## T.C. PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

# BAYIRALAN FORMASYONU (DENİZLİ-GB TÜRKİYE) KUMTAŞLARININ PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET CAN ÖZKAN

DENİZLİ, KASIM - 2024

T.C. PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



# BAYIRALAN FORMASOYUNU (DENİZLİ-GB TÜRKİYE) KUMTAŞLARININ PETORGRAFİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET CAN ÖZKAN

DENİZLİ, KASIM - 2024

Bu tez çalışması Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2022FEBE060 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

AHMET CAN ÖZKAN

### ÖZET

#### BAYIRALAN FORMASYONU (DENİZLİ-GB TÜRKİYE) KUMTAŞLARININ PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ YÜKSEK LİSANS TEZİ AHMET CAN ÖZKAN PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI (TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. TAMER KORALAY)

#### DENİZLİ, KASIM - 2024

Denizli havzasının (güneybatı Türkiye) doğu ve kuzeydoğu kesiminde geniş yüzeylenmelere sahip Bayıralan Formasyonu, konglomera, kiltaşı, organik maddece zengin kayaç seviyeleri içeren ince-orta tabakalı çökel kayaçlardan oluşmaktadır. Yeşilimsi gri ve açık kahverengi renklerde görülen kumtaşları; kuvars, klorit, kil + mika, plajiyoklaz, opak mineraller, piroksen, kalsit ve kayaç parçalarından (kuvarsit, serpantinit, gabro, çört, mermer, kireçtaşı) oluşmakta olup, bu mineralojik bulgular XRD ve SEM-EDS analizleriyle de desteklenmiştir. Kumtaşlarının ana oksit element içeriklerine dayalı kimyasal sınıflandırma diyagramlarında, litarenit ve Fe'ce zengin kum alanlarına düştükleri belirlenmiştir. SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>, Rb-K<sub>2</sub>O ve Hf-La/Th gibi jeokimyasal diyagramlar, kumtaşlarını oluşturan bileşenlerin çoğunlukla felsik-ortaç kayaçlardan türediğini, ancak bazı örneklerin mafik-ultramafik bileşimlere yakın olduğunu göstermektedir. Ni/Co, Cr/V, Cr/Th, Co/Th, Sc/Th, La/Th, La/Sc, Ba/Nb ve Y/Ni gibi iz element oranları, kaynak alandaki litolojilerin şeyl/şist, granit gibi felsik kayaçlarla, gabro ve bazalt gibi mafik kayaçlar arasında çeşitlilik gösterdiğine işaret etmektedir. PAAS normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramlarında, Al, Ca, Cr, Co ve Ni elementlerinde önemli zenginlesmeler, Si, Ti, Na, K, Mn, Rb, Ba, Th, Nb, Sc ve V elementlerinde ise tüketilmeler gözlemlenmektedir. NASC ve PAAS normalize edilmiş REE diyagramlarında, kumtaşı örnekleri benzer ve düz desenler sergilemekte olup, REE içerikleri 22.11-178.67 ppm arasında değişmektedir. Kumtaşları, kaynak alanında zayıf ila orta derecede ayrışma olduğunu gösteren orta-hafif yüksek LOI, K/Cs, Al/Ti indeks değerleri ile düşük-orta ICV, CIA, PIA ve IOL indeks değerlerine sahiptir. Tektonik ayrım diyagramları kumtaşlarını oluşturan bileşenlerin aktif kıta kenarı (kıta ada yayı) ortamında olusmus kayaclardan türediğine isaret etmektedir. Jeolojik, palinolojik ve jeokimyasal veriler, Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının sıcak ve nemli iklimin etkisinde, sığ denizel-kıyı (geçiş) ortamında ve oksitleyici koşullar altında çökelmiş olduğuna işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bayıralan Formasyonu, litarenit, ayrışma indeksleri, sığ denizel-kıyı (geçiş) ortamı, Nadir Toprak Elementleri (REE)

#### ABSTRACT

#### PETORGRAPHIC AND GEOCHEMICAL PROPERTIES OF BAYIRALAN FORMATION (DENIZLI-GB TÜRKİYE) SANDSTONES MSC THESIS AHMET CAN ÖZKAN PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE GEOLOICAL ENGINEERING (SUPERVISOR: PROF. DR. TAMER KORALAY)

#### DENİZLİ, NOVEMBER 2024

The Bayıralan Formation, which has extensive exposures in the eastern and northeastern parts of the Denizli basin (southwestern Turkey), consists of thin- to medium-bedded sedimentary rocks containing conglomerate, claystone, and organicrich rock layers. Sandstones observed in greenish-gray and light brown colors consist of quartz, chlorite, clay + mica, plagioclase, opaque minerals, pyroxene, calcite, and rock fragments (quartzite, serpentinite, gabbro, chert, marble, limestone). These mineralogical findings were also supported by XRD and SEM-EDS analyses. In chemical classification diagrams based on sandstone's major oxide element contents, it was determined that they fall into litharenite and Fe-rich sand areas. Geochemical diagrams such as SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>, Rb-K<sub>2</sub>O, and Hf-La/Th show that the sandstone components are mainly derived from felsic-intermediate rocks. Still, some samples are close to mafic-ultramafic compositions. Trace element ratios such as Ni/Co, Cr/V, Cr/Th, Co/Th, Sc/Th, La/Th, La/Sc, Ba/Nb, and Y/Ni indicate that the lithologies in the source area vary between felsic rocks such as shale/schist, granite and mafic rocks such as gabbro and basalt. In the NASC and PAAS normalized multi-element variation diagrams, significant enrichments in Al, Ca, Cr, Co, and Ni elements and depletions in Si, Ti, Na, K, Mn, Rb, Ba, Th, Nb, Sc, and V elements are observed. In the PAAS normalized REE diagrams, sandstone samples display similar and flat patterns, with REE concentrations ranging from 22.11 to 178.67 ppm. Sandstones show moderate to slightly high LOI, K/Cs, and Al/Ti index values while exhibiting low to moderate ICV, CIA, PIA, and IOL values. This indicates weak to moderate weathering in the source area. Tectonic discrimination diagrams demonstrate that the sandstone components are derived from rocks formed in an active continental margin (continental island arc) environment. Geological, palynological, and geochemical data indicate that the Bayıralan Formation sandstones were deposited under a hot and humid climate, in a shallow marinecoastal (transitional) environment, and under oxidizing conditions.

Key Words: Bayıralan Formation, litharenite, weathering indices, shallow marine-coastal (transitional) environment, Rare Earth Elements (REE)

# İÇİNDEKİLER

ÖZET SAVI	<u>a</u>
	. I .::
ABSTRACT	
ļļindekilek	
FADIALİSTESİ	• .::
IADLU LISTESI	
ÖNSÖZ	
GIRIS	1
1.1 Tez Calismasının Amacı	1
1.2 Tez Calışmaşında Uygulanan Vöntemler	1
1.2 1 Arazi Calısmaları	1
1.2.1 Ander Şurşinaları 1.2.2 Ontik Mikroskon İncelemeleri	3
1.2.2 Optik Wikłoskop meelementer 1.2.3 X-Isınları Difraktometre (X-Ray Diffraction XRD) İncelemeleri	3
1.2.4 Palinoloji İncelemeleri	3
1.2.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEN	л 1)
İncelemeleri	4
1.2.6 Jeokimyasal Analizler	5
1.3 Önceki Çalışmalar	6
2. GENEL JEOLOJİK ÖZELLİKLER 1	.5
2.1 İnceleme Alanının Coğrafik Özellikleri ve Konumu 1	5
2.2 İnceleme Alanının Jeolojik Yapısı 1	6
2.2.1 Malıdağ Formasyonu 1	6
2.2.2 Çökelez Kireçtaşları 1	7
2.2.3 Karatepe Melanjı 1	7
2.2.4 Bayıralan Formasyonu	21
2.2.5 Kızılburun Formasyonu	21
2.2.6 Sazak Formasyonu	2
2.2.7 Sakızcılar Formasyonu	2
2.2.8 Alüvyon Çökelleri/Travertenler2	23
3. JEOLOJİK-MİNERALOJİK-PETROGRAFİK İNCELEMELER 2	24
3.1 Bayıralan Formasyonunun Jeolojik Özellikleri2	24
3.1.1 Köprübaşı Ölçülü Stratigrafik Kesiti	61
3.1.2 Acıdere Ölçülü Stratigrafik Kesiti	3
3.2 Palinoloji İncelemeleri	6

3	.3	Bayıralan Formasyonu Kumtaşlarının Petrografik Özellikleri
	3.3	<ul> <li>X-Işınları Difraktometre (X-Ray Diffractometer-XRD) İncelemeleri</li> <li>44</li> </ul>
	3.3 Ça	3.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM) lışmaları
4.	JE	COKİMYASAL ÖZELLİKLER62
4	.1	Ana Oksit Element Özellikleri69
4	.2	İz Element Özellikleri73
4	.3	Bayıralan Kumtaşlarının Jeokimyasal Adlandırması82
4	.4	Bayıralan Kumtaşlarındaki Mineral Bileşenlerin Kökeni
4	.5	Bayıralan Kumtaşlarının Kaynak Alan ve Birikim Karakteristikleri
4	.6	Bayıralan Kumtaşlarının Ayrışma Derecesi
4	.7	Kumtaşlarının Çökelme Ortamı Koşulları90
4	.8	Kumtaşlarını Oluşturan Bileşenlerin Tektonik Ortamı 100
5.	SC	DNUÇLAR
6.	KA	AYNAKLAR 104
7.	ÖZ	ZGEÇMİŞ 114

# ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analizler2
Şekil 2.1:İnceleme alanı yerbulduru haritası
Şekil 2.2: İnceleme alanının jeoloji haritası (MTA 1/100000 ölçekli M-22
paftasından düzenlenerek alınmıştır.)19
Şekil 2.3: a) Karatepe Melanjının genel görünümü ve kireçtaşı olistoliti oluşturan, b)
melanjı oluşturan serpantinit matriks, c) Radyolarit matriksin genel görünümü,
d) Karatepe Melanjı içerisinde görülen kireçtaşı olistolitinin arazi görünümü e,
f) Kireçtaşı olistolitinin yakından görünümü ve bazı olistolitlerde görülen çört
tabakaları20
Şekil 3.1: a-d) Bayıralan Formasyonu içerisinde görülen konglomeraların arazi
görünümleri24
Şekil 3.2: a) Bayıralan Formasyonu kumtaşı ve silttaşı-kitaşı biririmlerinin
ardalanmalı görünümü, b) Silttaşı-kiltaşı seviyelerinin yakından görünümü, c, d)
Morfolojide sert çıkıntılar oluşturan kumtaşı seviyelerinin genel görünümü, e, f)
Kumtaşı seviyelerinde görülen küresel ayrışmalar
Şekil 3.3: a-c) Bayıralan Formasyonu içerisinde görülen koyu kahverengi, siyah
renkli, ince laminalı yapı gösteren, organik madde bakımından zengin
seviyelerin arazideki görünümü, d) Silttaşı-kiltaşı laminaları içerisindeki bitki
kırıntıları, e) Turitella duplicata, f) Natica sp., türü fosil bileşenler, g, h) Kavkı
kırıkları içeren seviyelerin yakından görünümü
Şekil 3.4: a) Bayıralan Formasyonu içerisindeki kalın kumtaşı tabakalarında görülen
normal derecelenme, b) Çapraz tabakalanma, c) olası eski depremler veya yer
değiştirme olaylarının (sismik hareketler) bir göstergesi konvolüt laminalanma,
d) dalgali lamina yapisi (ripple mark)
Şekil 3.5: a) Bayıralan Formasyonu içerisindeki kalın kumtaşı tabakalarında görülen
renk bantlanması, b) Kumtaşı bloğunda gelişmiş petek aşınması
Şekil 3.6: a-e) Bayıralan Formasyonu içerisinde gorulen kahverengi, siyah renkli
demir yumrularının arazı gorunumleri, I) Demir yumruların içerisinde gorulen
yaprak 12 Iosili
Sekil 5./: Bayiralan Formasyonu Koprudaşı lokalitesinden alınan OSK (GPS
Koordinali: 55 S $0/05105$ ; 4194/08)
Sekii 5.8. Dayiralah Formasyonu Acidere lokantesinden alman OSK (GPS Voordingtu 25 S 0701615 + 4105228) 25
Solvil 2 0: Devurolon Formession indeki ergenik meddese zengin sevivelerden
şekii 5.9. Dayılalalı Formasyonu içerisindeki organik inaddece zengin seviyelerden
maximus b) Botrococcus braunii c) Glomus sp. 30
Sekil 3 10: Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaslarının mikroskon görüntüleri
a) İnce taneli kumtası, b) orta taneli kumtası, Kumtasları icerisindeki o) kuyarsit
ve radvolarit bilesimli d) mikasist bilesimli e) Mermer bilesimli f)
sernantinlesmis ultramafik kayac hilesimli kayac narcaları
Sekil 3 11: Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaslarında görülen a) Kil matriks
b) Bilesenler araşındaki mikrosparitik cimento c) Bilesenleri saran Fe-oksit
cimento d) Vari köseli sekilde görülen kuvars hilesenler e) Vari
vuvarlaklasmis kalsit mermer hilesenler. fi Rilesenlerde görülen kötü
hovlanma

Şekil 3.12: Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının çözümlenmiş XRD grafikleri 46 Şekil 3.13: BF-8 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri 48 Şekil 3.14: BF-14 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri. 49
Şekil 3.15: BF-18 numaralı kumtaşı orneginin SEM goruntusu ve nokta analizleri. 50
Şekil 3.16: BF-24 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analızleri. 51
Şekil 3.17: BF-41 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri. 52
Şekil 3.18: BF-44 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri. 52
Şekil 3.19: BF-49 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri. 53
Şekil 3.20: BF-59 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri. 54
Şekil 3.21: BF-64 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri. 54
Sekil 3.22: BF-68 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri. 55
, Şekil 3.23: BFAC-4 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri. 
Sekil 3.24: BFAC-7 numaralı kumtası örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.
57
Şekil 3.25: BFAC-13 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri
Sekil 3 26: BFAC-17 numaralı kumtası örneğinin SEM görüntüsü ve nokta
analizleri 58
Şekil 3.27: BFKB-3 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.
Şekil 3.28: BFKB-5 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri. 60
Şekil 3.29: BFKB-9 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri 60
Sekil 4.1: Kutu grafiği ve grafiği oluşturan bileşenler
, Sekil 4.2: Kumtası örneklerine ait ana oksit element iceriklerinin kutu grafikleri70
, Sekil 4.3: Kumtası örneklerine ait bazı iz element iceriklerinin kutu grafikleri
Sekil 4.4: Kumtası örneklerinin PAAS iceriklerine göre normalize edilmis a) ana
oksit element b) iz element ve c) NTE coklu element değişim diyagramları
(PAAS değerleri McLennan, 1989'dan alınmıştır)
Sekil 4 5: Kumtaşı örneklerinin a) (Fe $_{0}$ +MgO)-Na $_{0}$ -K $_{0}$ (Blatt ve diğ 1972) b)
$Log(Na_2O/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3) (Tucker, 1988), c) Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(Fe_2O_3/K_$
Log(SIO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (Herron, 1966) kiniyasai sininandirina diyagrannarindaki
KOHUMMATI
Section 4.6: Kumiaşi orneklerinin a) $(SIO_2 + AI_2O_3 + K_2O + IIO_2) - (CaO + MigO + Na_2O) - (CaO + MigO + MigO + MigO + MigO + (CaO + MigO + MigO + MigO + MigO + (CaO + MigO + MigO + MigO + MigO + MigO + MigO + (CaO + MigO + MigO + MigO + MigO + MigO + MigO + (CaO + MigO + MigO + MigO + MigO + MigO + MigO + (MigO + MigO + MigO + MigO + MigO + MigO + MigO + MigO + MigO + (MigO + M$
$(Fe_2O_3)$ uçgen diyagram (Vassilev ve Vassileva, 2009), b) $(AI_2O_3/I_1O_2)$ -SiO <sub>2</sub>
(Le Bas ve dig., 1986), c) Log $K_2O$ -Log Rb (Wronkiewicz ve Condie, 1990)
köken belirleme diyagramlarındaki konumları
Şekil 4.7: Kumtaşı örneklerinin a) $15^*$ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Zr - 300*TiO <sub>2</sub> , b) Th - Sc, c)
LogTh/Sc - LogZr/Sc, d) Hf - La/Th ve e) La/Sc - Co/Th diyagramlarındaki
dağılımları
Şekil 4.8: Kumtaşı örneklerinin çökelme ortamı koşullarını gösteren diyagramlardaki
konumları
Şekil 4.9: Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının çökelme ortamındaki paleoiklim
koşullarını gösteren a) SiO <sub>2</sub> -(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O), b) Rb/Sr-Sr/Cu ve c) Ga/Rb-
Sr/Cu ikili diyagramlarındaki konumu
Şekil 4.10: Kumtaşı örneklerinin tektonik ayrım a) SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O, b) La-Th-
Sc ve c) Th-Sc-Zr/10 diyagramlarındaki konumları 101

# TABLO LÍSTESÍ

### <u>Sayfa</u>

Tablo 3.1: Bayıralan Formasyonu içerisindeki organik maddece zengin seviyele	rden
alınan örneklerde belirlenen palinomorf listesi	38
Tablo 4.1: Bayıralan Forması kumtaşı örneklerinin tüm kayaç ana oksit, iz ve N	adir
Toprak Element (NTE) analiz sonuçları.	63
Tablo 4.2: Kumtaşı örneklerine ait Ni/Co, Cr/V, Cr/Th, Co/Th, Sc/Th, Ba/Nb, L	.a/Th,
La/Sc, Y/Ni oranları ve ortalama granit, gabro, kumtaşı, ultramafit, şeyl/şis	st ve
kireçtaşı değerleriyle karşılaştırması	88
Tablo 4.3: Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının bazı ayrışma indeksleri	92

### SEMBOL LİSTESİ

**XRF**: (X-Ray Fluorescence) X-Işını Floresan XRD: (X-Ray Difractometry) X-Işını Kırınımı LOI: (Loss On Ignition) Kızdırma Kaybı Analizi SEM: (Scanning Electron Microscope) Taramalı Elektron Mikroskobu EDS: (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi NTE: Nadir Toprak Elementleri ÖSK : Ölçülü Stratagrafik Kesit BFKB: Bayıralan Formasyonu Köprübaşı **BFAC**: Bayıralan Formasyonu Acıdere Å : ångström μm: Mikron **REE :** Genellikle Nadir Toprak Elementleri HREE: Ağır Nadir Toprak Elementleri **ppm** : parts per million (milyonda bir parça) PAAS : Arkeen Sonrası Avustralya Şeyl LREE : Hafif Nadir Toprak Elementleri **DAI**: Detritik/Otijenik İndeks **ICV**: Bileşimsel Çeşitlilik İndeksi CIA: Kimyasal Alterasyon İndeksi PIA: Plajiyoklaz Ayrışma İndeksi

IOL : Lateritleşme İndeksi

### ÖNSÖZ

Kumtaşları, oluştukları döneme ait jeolojik süreçler ve ortam koşulları hakkında önemli bilgiler taşıyan çökel kayaçlardır. İçerdikleri bileşenlerin tane boyutu, mineralojik bileşimi, sedimanter yapıları ve fosil içerikleri, bu kayaçların biriktikleri ortamların dinamiklerini ve paleoekolojik özelliklerini aydınlatmaya yardımcı olur. Bu çalışmada, Denizli'nin kuzeydoğusunda geniş yüzeylenmelere sahip Oligosen yaşlı Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşlarının mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özellikleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı analiz yöntemlerinin (Optik Mikroskop, XRD, ICP-MS, SEM-EDS) birlikte ve birbirinin tamamlayıcısı olarak kullanılmasıyla kumtaşlarının karakterizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının depolanma süreçleri ve ortamlarına dair yapılan değerlendirmeler, bölgenin Oligosen dönemindeki jeolojik evrimini, sedimentasyon süreçlerini ve iklim koşullarını daha iyi anlamamıza olanak sağlamıştır.

Tez çalışmamın başlangıcından bitişine kadar geçen sürede, bilgi ve tecrübeleriyle kişisel ve mesleki gelişimime katkı sağlayan, Prof. Dr. Tamer Koralay'a teşekkür ederim. Ayrıca görüş ve önerileriyle tez çalışmamın nihai şeklini almasında katkı sağlayan Doç. Dr. Barış Semiz ve Doç. Dr. Bahattin Güllü'ye teşekkür ederim. Tez çalışmama kaynak sağlayan Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü ve çalışanlarına ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

SEM-EDS çalışmaları kapsamında analizlerin gerçekleştirilmesinde katkıları ve emeklerinden dolayı Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) müdürü Doç. Dr. Kıymet Deniz Yağcıoğlu'na teşekkür ederim. Tez çalışmamda her türlü destek ve imkânı sağlayan Ata Zemin ve Yapı Test Laboratuvarındaki arkadaşlarım Raşit Süleyman Durucan ve Zeynep Uğurluoğlu'na, süreç boyunca hem arazi çalışmalarında hem de tez yazım aşamalarında desteğini sunan, kardeşim olarak gördüğüm Jeoloji Yüksek Mühendisi Gürcan Elçi'ye, yaşantımın her anında desteklerini hiç esirgemeyen annem Nevin Özkan, babam Nejdet Özkan, ablam Cansu Özkan Al'a teşekkür ederim.

Bu tez çalışmamı bitirmemi dört gözle bekleyen değerli eşim Esra Zeybekoğlu Özkan'a ve canımdan öte sevdiğim değerli oğlum Can Özkan'a ithaf ediyorum.

### 1. GİRİŞ

#### 1.1 Tez Çalışmasının Amacı

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalı Mineraloji-Petrografi programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın amacını Denizli' Kuzeydoğusundaki alanlarda geniş yüzeylenmeler gösteren Oligosen yaşlı Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşlarının ayrıntılı mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özellikleri ortaya çıkarılması, kumtaşlarının depolanma süreçleri ve ortamlarına yönelik değerlendirme çalışmaları oluşturmaktadır. Tez çalışması sonucunda elde edilen verilerle Denizli ve çevresi.1nde Oligosen döneminde etkin olan sedimantolojik ve paleoiklimle ilişkili süreçler hakkında bilgiler elde edilecektir.

#### 1.2 Tez Çalışmasında Uygulanan Yöntemler

Tez çalışmasıyla hedeflenen sonuçları elde edebilmek için Şekil 1.1'de özetlenen incelemeler ve analizler gerçekleştirilmiştir.

#### 1.2.1 Arazi Çalışmaları

Denizli il merkezine kuş uçumu 25 km mesafede bulunan ve Karapınar, Baklançakırlar, Bayıralan ve Belevi Mahallelerini içerisine alan çalışma alanında farklı zamanlarda arazi çalışmaları yürütülmüştür. Bayıralan Formasyonun karakterize edecek şekilde Köprübaşı, Acıdere ve Baklançakırlar lokasyonlarından Ölçülü Stratigrafik Kesitler (ÖSK), diğer alanlardan nokta örneklemeler yapılmıştır. Örnek alımı sırasında "Garmin Monterra" marka küresel konumla cihazı (Global Position System-GPS) kullanılmış, örneğin konumu ilgili topografik harita üzerine işaretlenmiştir. Ayrıca belirtilen lokasyonlarda jeolog pusulası kullanılarak kumtaşlarının tabaka duruşları belirlenmiştir.



### VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TEZ YAZIMI

Şekil 1.1: Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen analizler.

#### 1.2.2 Optik Mikroskop İncelemeleri

Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşlarının mineral bileşimlerinin belirlenmesi ve petrografik tanımlamalarının yapılabilmesi için ÖSK ve nokta örnekler olmak üzere 85 adet kumtaşı örneğinden optik mikroskop incelemeleri için ince kesitler hazırlanmıştır. İnce kesiti yapılacak kumtaşı örneklerinden 5x3x2 cm büyüklüğünde plakalar çıkarılmış, bir yüzeyi farklı boyutlu aşındırıcı tozlar ile döner disk üzerinde pürüzsüz hale getirildikten sonra yıkanarak ince tozlarından arındırılmış ve sonrasında 105±5°C'de 2 saat kurutularak lam üzerine yapıştırımaya hazır hale getirilmiştir. Kumtaşı örneklerinin ince kesitleri üzerinde mineral bileşimi, tane boyu ölçümü, doku tanımlaması ve petrografik adlandırmalar yapılmış, ince kesit fotoğrafları çekilmiştir. Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilen optik mikroskop incelemelerinde "Carl-Zeiss Primotech" marka alttan ve üstten aydınlatmalı polarize mikroskop kullanılmıştır.

#### 1.2.3 X-Işınları Difraktometre (X-Ray Diffraction, XRD) İncelemeleri

Bayıralan Formasyonu kumtaşı örneklerinde optik mikroskop çalışmalarında belirlenemeyen veya ayrışma/alterasyon sonucu oluşan yeni mineral bileşenleri ortaya çıkarmak için XRD incelemeleri yapılmıştır. Optik mikroskop incelemelerinde nispeten farklılık görülen 16 adet kumtaşı örneği XRD incelemeleri için, halkalı değirmende 150-200 mesh boyutuna kadar öğütülerek toz haline getirilmiştir. Toz halindeki kumtaşı örneklerinin XRD analizleri Pamukkale Üniversitesi İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (PAÜ-İLTAM) Laboratuvarında "GNR APD 2000" marka cihazla yapılmıştır. XRD analizlerinin gerçekleştirildiği cihazın teknik özellikleri şöyledir; Cu-K $\alpha$  katot tüp (1.54 A° dalga boyu), 10-60 kV gerilim, 5-60 mA akım, 0.1°(2 $\theta$ /s) tarama hızı ve -111° < 2 $\theta$  < 168° tarama aralığı.

#### 1.2.4 Palinoloji İncelemeleri

Bayıralan Formasyonu içerisinde organik maddece zengin seviyelerin varlığı belirlenmiş olup, bu seviyelerden palinolojik incelemeler için örnekler alınmıştır.

Palinolojik incelemeler için, 10 adet organik maddece zengin kayaç örneği "Direnç Jeolojik Danışmanlık şirketine gönderilerek incelemelere hazır hale getirtilmiştir. Örnekler öncelikle HCl (hidroklorik asit) ve HF (hidroflorik asit) asit ile yıkanarak karbonatlı ve silisli bileşenlerden arındırılmıştır. Örnekler içerisindeki organik materyalin temizlenmesi amacıyla Schulze çözeltisi (HNO<sub>3</sub>+KClO<sub>3</sub>) ve KOH (Potasyum Hidroksit) sırasıyla uygunlaşmıştır. Her bir örnek için ayrı lam hazırlamıştır. Örneklerin palinolojik incelemeleri Prof. Dr. Serkan AKKİRAZ (Dumlupınar Üniversitesi) tarafından LEICA DM-2500 araştırma mikroskobu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İncelemelerde genellikle 400 ve 1000 büyütmeli objektifler kullanılmış, her bir örnek için, 50-242 arasında birey sayılmıştır. Sayım sonuçları yüzde değerlerine dönüştürülmüştür Elde edilen yüzde değerleri istatistiksel bir program olan TILIA programına uygulanmıştır. Ayrıca seçilmiş sporomorflardan bir levha hazırlanmıştır.

# 1.2.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM) İncelemeleri

Kumtaşı örneklerini oluşturan bağlayıcının optik mikroskop çalışmalarıyla ortaya çıkarılamayan özelliklerini belirlemek, bozunma sonucu oluşabilecek yeni mineral bileşenlerini görüntülemek ve tanımlamak için SEM incelemeleri gerçekleştirilmiştir. SEM analizleri 10 adet kumtaşı örneği Quorum Q150T ES marka karbon kaplama cihazında karbon film ile kaplanmıştır. SEM görüntüleme analizleri Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) Laboratuvarlarında Tescan marka Tima/Mira model cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 30 kV voltaj ve 30 nA akım altında değişik büyütmelerde farklı görüntüleme (yüksek çözünürlüklü, derinlik vb.) şekillerinde ikincil elektron (SE) detektörü kullanılarak alınmıştır. Uygulanılan büyütmeye bağlı olarak hüzme çapı, çalışma mesafesi (WD) ve görüş odağı (FoV) değişmektedir.

#### 1.2.6 Jeokimyasal Analizler

Ana oksit, iz element ve Nadir Toprak Element (NTE) analizleri için ÖSK ve nokta olmak üzere 35 adet kumtaşı örnekleri, Tungsten-Carbid bileşimli halkalı değirmende 150-200 mesh boyutuna kadar öğütülerek toz haline getirilmiştir. Örneklerin öğütme aşamasında halkalı değirmen alkol-su karışımıyla temizlenerek örnek tozlarının birbiriyle karışarak kirlenmesi engellenmiştir. Toz halindeki örnekler jeokimyasal analizler için Wuhan Sample Solution Analytical Technology Laboratuvarların gönderilmiştir. Toz halindeki örneklerin ana oksit element analizleri lityum tetraborat, lityum metaborat ve lityum florür (45:10:5) ile karıştırılarak, 1050 °C'de 15 dakika eritilerek cam pelletler haline getirilmiştir. Tüm kayadaki ana elementlerin analizi için RIGAKU tarafından üretilen Zsx Primus II dalga boyu dağıtıcı X-ışını floresan spektrometresi (WD-XRF) kullanılmıştır (Test koşulları voltaj: 50 kV, akım: 60 mA). Analizler GBW07101-14, GBW07401-08, GBW07302-12 standartları kullanılarak kalibre edilmiştir (Bağıl standart sapma %2'den küçüktür). Kumtaşı örneklerinin iz ve NTE analizleri, Agilent 7700e ICP-MS cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örnek hazırlama süreçleri şu şekildedir: (a) Örnek tozları (200 mesh boyutlu) bağıl nem içeriklerini kaybetmeleri için 105 °C'de bir firinda 12 saat süreyle kurutulmuştur. (b) 50 mg örnek tozu Teflon bir taşıma kabına yerleştirilmiş ve 1 ml HNO<sub>3</sub> ve 1 ml HF çözeltileri Teflon kap içerisine eklenmiştir. (c) Teflon taşıma kabı paslanmaz çelik bir basınç hücre içerisine konularak ve 190 °C'lik fırında 24 saat süreyle ısıtılmıştır. (d) Soğutulduktan sonra, Teflon taşıma kabı açılarak, çözelti sıcaklığı 140 °C olan hücreye konulmuş ve başlangıç kuruluğuna kadar buharlaştırılmıştır. (e) Ardından 1 ml HNO<sub>3</sub> eklenerek tekrar buharlaştırılmıştır. (f) 1 ml HNO<sub>3</sub>, 1 ml saf su ve 1 ml 1ppm In standart çözeltisi eklenerek Teflon kap tekrar kapatılmıştır. Sonrasında 190 °C'de 12 saat süreyle fırında bırakılmıştır; (g) Son çözelti bir polietilen şişeye aktarılarak %2 HNO<sub>3</sub> eklenmiş ve 100 g'a kadar seyreltilerek analize hazır hale getirilmiştir.

#### 1.3 Önceki Çalışmalar

Yüksek Lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen kaynak tarama çalışmaları kapsamında inceleme alanı ve yakın çevresindeki jeolojik yapıyla ilişkili kaynaklar ve kumtaşlarının sedimantolojisi, petrografisi, jeokimyası ile ilgili ulusal/uluslararası düzeyde okuyucuyla buluşmuş çalışmalar özetlenmiştir. İncelenen kaynaklar tarih sırasına göre aşağıda özetlenmiştir.

Lebküchner (1970), Afyonkarahisar'ın Dinar ilçesinin güneyi ile Acıgöl'ün kuzeyindeki Neojen havzasının jeolojik yapısını incelemiş ve kömür arama amaçlı açılan sondajlara ait verileri değerlendirmiştir. Araştırmacı, Pliyosen çökellerini iki ana kategoriye ayırmıştır: Yatağan serisi ve Limnik seri. Yatağan serisinin, karasal ve akarsu çökellerinden oluştuğunu, Limnik serisinin ise gölsel kireçtaşlarından meydana geldiğini belirtmiştir. Bu çalışma, bölgenin jeolojik yapısı ve çökellerinin sınıflandırılması açısından önemli bir referans oluşturmaktadır.

Erişen (1971), Denizli ilinin doğusunda yer alan Dereköy bölgesinin jeolojik yapısı ve jeotermal enerji potansiyelini araştırmıştır. Bölgede temel kayaçların Paleozoik yaşlı şist, kuvarsit ve mermerlerden oluştuğunu, bu birimlerin üzerinde diskordan olarak Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarının yer aldığını belirten araştırmacı konglomera, kumtaşı ve kumtaşı-marn ardalanmasına ait birimleri detaylı olarak incelenmiştir. Karasal kökenli konglomera ve kumtaşlarının, içerdiği mollusk fosillerine göre Orta Eosen-Üst Oligosen dönemlerinde çökelmiş olabileceğini ifade etmiştir.

**Ercan ve diğ. (1978)**, Uşak ve çevresinin ayrıntılı Neojen stratigrafisini ve karasal havzaların fasiyes ile paleocoğrafyasına yönelik çalışmışlardır. Çalışmalarında, uranyum, bitümlü şeyl, kömür, kaolen, diyatomit ve bor tuzları gibi önemli oluşumları barındıran çökel kaya birimlerinin detaylı stratigrafisini ve farklı bileşimlere sahip volkanitlerin bu stratigrafik dizilimdeki konumlarını tartışmışlardır.

Hakyemez ve Örçen (1982), Denizli ve Muğla illeri arasındaki Senozoyik yaşlı sedimanter kayaçların sedimantolojisi ve biyostratigrafine yönelik araştırmalar yapmışlardır. Temel kayaçlar üzerinde yer alan sedimanter birimleri, Akçay ve Muğla grubu olmak üzere iki başlık altında inceleyen araştırmacılar, Akçay grubunun, Oligosen-Burdigaliyen yaşları arasında çökelmiş Karadere, Mortuma, Yenidere, Künar ve Kale, Orta Miyosen-Pliyosen yaş aralığını temsil eden Muğla grubunun ise Turgut, Sekköy, Yatağan ve Milet formasyonlarından meydana geldiğini ifade etmişlerdir.

**Ercan ve diğ. (1983)**, Honaz ilçesinin Aydınlar, Yukarıkaraçay ve Aşağıkaraçay bölgelerindeki volkanik kayaçları petrografik ve jeokimyasal özellikler açısından incelemişlerdir. Üst Pliyosen yaşlı volkanitlerin şoşonitik bazalt, latit ve trakit türünde olduğu, tamamının şoşonitik özellik taşıdığını ve volkanizmanın bölgede etkin olan tansiyon rejimi sonucunda meydana gelen kıtasal riftleşmenin bir ürünü olduğunu ifade etmişlerdir.

**Bhatia (1983)**, Doğu Avustralya'nın Paleozoyik türbidit dizilimlerindeki kumtaşlarının ana oksit element jeokimyasını incelemiştir. Araştırmacı, türbidit dizilimindeki kumtaşlarını bileşimlerine göre Tamworth, Hill End, Hodgkinson, Bendigo ve Cookman olmak üzere beş grupta sınıflandırmıştır. Kumtaşlarının jeokimyasal bileşimleri ile tektonik ortamları arasında güçlü bir ilişki olduğunu belirten araştırmacı, okyanusal ada yayı ortamında çökelmiş kumtaşlarının yüksek MgO ve düşük SiO<sub>2</sub>, kıtasal ada yayı kumtaşlarının ise daha düşük MgO ve TiO<sub>2</sub>, ancak daha yüksek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranlarına sahip olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca, aktif kıta kenarı ortamında çökelmiş kumtaşlarının ise SiO<sub>2</sub> bakımından zengin, CaO ve Na<sub>2</sub>O açısından fakir olduğunu belirtmiştir.

**Okay (1989)**, Honaz Dağı ve çevresinde, sırasıyla Göbecik Tepe birimi, Honaz şeyli, Menderes masifi, Sandak birimi ve Honaz ofiyoliti olmak üzere beş ana tektonik birim yer aldığını, Honaz Dağı'nın, doğuya doğru devrik bir antiklinal yapısı oluşturduğunu ifade etmiştir. Bölgedeki deformasyon süreçlerini, Orta Eosen'deki nap hareketleri, Geç Eosen-Oligosen dönemindeki kıvrımlar ve bindirmeler ile Akitanien sonrası normal faylanmaların oluşturduğunu söylemiştir.

Göktaş ve diğ. (1989), Çardak-Dazkırı havzasındaki Oligosen yaşlı tortul istifi, "Acıgöl Grubu" olarak adlandırmışlardır. Arştırmacılar, Acıgöl Grubu içerisinde Armutalan, Çardak, Hayrettin, Tokça ve Bozdağ olmak üzere 5 ayrı formasyon tanımlamışlardır. Acıgöl Grubunun kalın katmanlı çakıltaşı, kumtaşı ve

çamurtaşı bileşenlerinden oluştuğunu ifade eden araştırmacılar, Hayrettin ve Tokça Formasyonları içerisinde yanal devamlılığı olmayan linyit oluşumları bulunduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Konak ve diğ. (1990), Çal, Çivril ve Karahallı bölgelerinde, Oligosen-Erken Miyosen öncesine ait temel kayaları Bekilli Grubu ve Çökelez Grubu olarak ikiye ayıran araştırmacılar, Çökelez Grubu'nun Bekilli Grubu üzerinde bindirmeli bir dokanakla yer aldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Bayıralan Formasyonu'nun temel kayaları uyumsuzlukla üzerlediğini ve Pliyosen yaşlı çökeller tarafından uyumsuz bir şekilde örtüldüğünü ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, Pliyosen yaşlı çökellerin stratigrafik olarak sırasıyla Killik Formasyonu, Sakızcılar Formasyonu ve Ulubey Formasyonu'ndan oluştuğunu, Kuvaterner yaşlı Asartepe Formasyonu ile traverten oluşumları tarafından örtüldüğünü vurgulamışlardır.

Sun (1990), Denizli ve Uşak arasındaki karasal havzaların çökel dolgusu ve linyit potansiyelini araştırmıştır. Önceki çalışmalarda Kızılburun, Sazak, Sakızcılar ve Kolonkaya Formasyonu olarak adlandırılan birimleri Denizli Grubu adı altında olarak tanımlamıştır. Önceki araştırmacıların "kalkşist", "killi şist" olarak tanımladıkları birimi ilk defa "Malı Dağı Flişi" olarak adlandırmıştır.

Westaway (1993), Batı Türkiye'nin en doğusundaki Neojen havzalarından birini oluşturan Denizli Havzası'nın Neojen dönemi jeolojik evrimine yönelik inceleme yapmıştır. Havzanın yakın aralıklı "en échelon" normal fay hatları içeren aktif normal fay zonları içerdiğini, derinliğinin < 1 km, genişliğinin ~4 km olduğunu ifade etmiştir. Havzanın genişliğini kontrol eden normal fayların başlangıçtaki eğimlerini ~54-57° arasında olduğunu, günümüzde ise ~45-50° civarına ulaştığını söyleyen araştırmacı, havazanın ~0.1 mm/yıl oranında yükseldiğini belirlemiştir.

Sözbilir (1995), Denizli ilinin doğu ve güneydoğusunda yer alan Bayıralan Formasyonu'nun, yani diğer adıyla Çaykavuştu Formasyonu'nun ve Neojen yaşlı diğer birimlerin sedimantolojik ve tektonik özelliklerini detaylı bir şekilde incelemiştir. Şenel (1997), Batı Toroslar'da Acıgöl ve çevresinin jeolojisi üzerine yaptığı çalışmada, kayaç birimlerini allokton, paraallokton ve neootokton olarak sınıflandırmış; allokton konumlu Likya naplarını Bodrum napı, Marmaris ofiyolit napı, Gülbahar napı ve Domuzdağı napları olarak tanımlamıştır. Ayrıca, bu naplar arasındaki dokanak ilişkilerini ve stratigrafik bağlantıları ortaya koymuştur.

Akgün ve Sözbilir (2001), Kale-Tavas ve Denizli molas havzalarının Oligosen-Miyosen stratigrafisini palinolojik verilerle incelemiş, kömür içeren molas birikintilerinin haritalamasını yapıp ölçülü kesitlerini oluşturmuşlardır. Kale-Tavas molas birikintilerinin, Oligosen öncesi temel kayalar üzerine uyumsuzlukla geldiğini ve Şattiyen döneminin Karadere ve Mortuma formasyonlarıyla başladığını, ardından Akitaniyen yaşlı Yenidere formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtüldüğünü belirtmişlerdir. Şattiyen ve Burdigaliyen arasındaki açısal uyumsuzluğun yalnızca Kale çevresinde görüldüğünü ifade eden araştırmacılar, Tavas kesitinde Akitaniyen Burdigaliyen birimlerinin bulunmadığı söylemişlerdir. Denizli ve molas birikintilerinin, sırasıyla, allüvyal yelpaze, deltaik-sığ deniz birikintileri ve karbonat yamaç resiflerinden oluştuğunu belirlemişlerdir. Palinostratigrafik çalışmalar, kömürlü oluşumlardan Şattiyen yaşını elde etmişler, bu oluşumların üzerindeki karbonat resiflerindeki mercan ve foraminiferal içeriğin Şattiyen-Akitaniyen yaşını doğruladığını belirtmişlerdir.

Kıral ve diğ. (2002), Kuyucak bölgesi ile Kocapınar'daki sepiyolit yataklarının özelliklerini ve ekonomik durumunu incelemiştir. Çökelme ortamlarının gölsel karakterde olduğunu, dolomitlerin diyajenetik yolla ya da doğrudan çökelmeyle oluştuğu sonucuna varmışlardır.

Özkul ve diğ. (2002), Denizli havzasında güncel ve eski traverten oluşumlarını arazi ve petrografik (litofasiyes) özelliklerine göre sınıflandırmışlardır. Araştırmacılar her bir litofasiyesin çökleme ortamını ve izotopik değişimlerini incelemişlerdir. 9 farklı litofasiyes tanımlanan Kuvaterner yaşlı traverten oluşumlarının  $\delta^{13}$ C izotop değerlerinin ‰ 0.35-6.70 arasında,  $\delta^{18}$ O izotop değerlerinin ise ‰ (-6.47)-(-15.10) arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, litofasiyeslerin yapısal özelliklerine ve oluşum ortamlarına göre izotopik bir gruplaşma gösterdiğini ifade etmişlerdir.

9

Sözbilir (2002), Denizli'nin doğusundaki Dereköy bölgesinin güneyindeki Geç Paleosen-Eosen yaşlı metamorfik olmayan tortul istifin, önceki araştırmalarda Menderes Masifi'nin en üst kısmı olarak değerlendirilmesine karşın, sonraki çalışmalar Dereköy istifinin Likya melanjı üzerinde uyumsuzlukla konumlandığını ve Menderes istifinin bir parçası olarak kabul edilemeyeceğini ortaya koymuştur.

Akbulut ve Kadir (2003), Batı Anadolu'da Serinhisar-Acıpayam havzasında, Neojen dönemine ait alkali bir gölde, sepiolit, paligorskit ve saponitin dolomit kristalleri arasındaki gözenek suyundan otijenik ya da doğrudan çökelme aracılığıyla oluştuğunu belirtmişlerdir.

Semiz (2003), Denizli'nin 40 km güneydoğusunda yüzeylenen volkanitler ve çevresinin jeoloji, petrografi ve petrokimyasal özelliklerini incelemiştir. Araştırmacı Denizli volkanitlerinin, lav akıntıları ve volkanoklastiklerden oluştuğunu, lavların alkalen nitelikte fonolitik tefrit, bazaltik trakiandezit ve trakiandezit bileşimli olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca lavlarda feldispatoyidli monzodiyorit bileşimli elipsoidal anklavların bulunduğunu, Sazak ve Kızılburun formasyonlarında tüfit düzeylerinin gözlendiğini söylemiştir. Jeokimyasal veriler, volkanitlerin manto kökenli magma veya magmalardan türediğini ve magma karışımı ile fraksiyonel kristallenme, asimilasyon süreçleriyle kabuktan etkilendiğini ortaya koymaktadır.

**İslamoğlu ve diğ. (2005)**, Batı Toroslar'daki denizel Oligo-Miyosen çökellerinin biyostratigrafisini değerlendirmiştir. Oligosen dönemi denizel istiflerinin havzanın kuzeydoğusuna doğru daha genç ve daha derin olduğu saptanmış; buna ek olarak, karasal, acı su, lagün ve bataklık çökellerinin havzanın orta kısmı, kuzeydoğusu ve doğusunda yayıldığı gözlemlenmiştir.

**Pekuz (2007)**, Oligosen döneminin, Ege Bölgesi'nde büyük çaplı ofiyolit nap yerleşimlerinin devam ettiği ve bindirme tektoniğine bağlı bölgesel yükselmelerin geliştiği bir zaman dilimi olduğunu ifade etmiştir. Denizli ve çevresinde, Honaz Dağı eteklerinde Oligosen yaşlı, molas karakterli kalın ve kaba kırıntılı çökelleri Çaykavuştu Formasyonu olarak tanımlayan araştırmacı, birimin Eosen yaşlı türbiditik çökeller tarafından uyumlu bir dokanakla üzerlendiğini belirtmiştir. Honaz Dağı'ndan türeyen alüvyonal yelpazeler ve akarsu ortamlarında gelişen çökellerin, Oligosen dönemi yükselimleriyle ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Helvacı ve diğ. (2013), Acıgöl havzasının Miyosen'den itibaren sürekli tektonik, sedimantasyon, iklimsel ve kimyasal etkileşimlerle çevre havzalarla bağlantılı olarak genişlediği tespit edilmiştir. Mevcut çökelim alanlarında aktif evaporasyonun devam ettiği ve sodyum sülfat, Mg-Ca karbonat ile kil minerallerinin yoğun olarak depolandığı tipik bir sığ-kalıcı playa-göl havzası niteliği taşıdığı görülmüştür. Acıgöl havzasının zamanla derin bir göl ortamından sığ bir playa gölüne dönüşeceği öngörülmüştür.

Hu ve diğ. (2014), Tibet Platosu'nun kuzeyindeki Qiangtang Havzası'nda, Qiangzi 5 kuyusunda bulunan, Alt Permiyen Zhanjin Formasyonu'na ait ince-klastik sedimenter-volkanik breşya-karbonat kayaç serisinin jeokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmacılar örneklerin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> oranlarının 0.28-0.41 arasında değiştiğini, düşük olgunlukta, zayıf kimyasal ayrışma gösterdiklerini ve sedimenter geri dönüşümden etkilendiklerini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte düşük-orta LREE fraksiyonlaması ve düz bir HREE deseni sergilediklerini, negatif Eu anomalisinin çoğunlukla görülmediğini ortaya koymuşlardır.

Koralay (2014), Denizli-Acıgöl yöresinin kuzeybatısında yer alan Hayrettin Formasyonu'na ait kömür içeren sedimanları incelemiştir. Çalışmanın amacı, organik madde içeriği, tipi, olgunluğu ve çökelme paleoortamını değerlendirmektir. Karbonlu kayaçların organik karbon içeriği %0.21-%39.61 arasında değişirken, hidrojen indeksi değerleri 25-174 mg HC/g kayaç arasında değiştiği belirlenmiştir. İncelenen örneklerde tip III organik madde saptanmıştır. Kayaçlar, turba-linyit kömür aşamasında olup, suboksik bir ortamda çökelmiştir.  $\delta^{13}$ C ve  $\delta^{15}$ N değerleri, bu kayaçların turba-bataklık ortamında oluştuğunu göstermektedir.

Ferdous ve Farazi (2016), kumtaşlarının orojenik kaynaklardan gelip, yavaş çöken bir yarık havzasında, pasif kıtasal tektonik ortamda biriktiği sonucuna varılmıştır. Çalışma, bu kumtaşlarının çökelme sürecinin, yer kabuğundaki dağ oluşumu süreçlerinden kaynaklanan orojenik materyallerin, düşük hızda çökelme koşullarında birikmesiyle gerçekleştiğini vurgulamaktadır. Yarık havzası, tektonik hareketlerin etkili olduğu bir bölge olup, çökelme hızının yavaş olması nedeniyle kumtaşları zaman içinde istikrarlı bir şekilde birikmiştir. Ayrıca, pasif kıtasal tektonik ortamların çökelme süreçlerinde önemli bir rol oynadığı belirtilmiş ve bu ortamların kumtaşı oluşumua uygun koşullar sağladığı ifade edilmiştir.

Abedini ve diğ. (2017), Kuzey İran'ın Mazandaran Eyaleti'ndeki Dalir fosfatlı şeyllerini incelemiştir. Soltanieh Formasyonunda yer alan bu şeyllerin mineralojik, kimyasal ve petrografik özellikleri araştırılmıştır. Kalsit, dolomit ve flor-apatit gibi minerallerin yanı sıra kuvars, illit ve pirit gibi aksesuar mineraller içerdiği tespit edilmiştir. Kimyasal analizler ise negatif Ce anomalileri ve hafif pozitif Eu anomalileri ortaya koymuştur. Çalışma sonucunda Flor-apatit kristalleşmesi ve deniz suyu karışımı gibi çeşitli faktörlerin Dalir fosfatlı şeyllerinin oluşumu sırasında tetrad etkilerine katkıda bulunabileceği sonucuna varılmıştır.

Koralay ve Koralay (2018), Denizli ili Honaz-Kocapınar çevresinde kömürlü birimlerinin organik petrografik ve organik jeokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Kömürlü seviyelerin karasal ve gölsel birimlerle ardalanmalı olduğunu, egemen kayaç litolojileri kırıntılı (kumtaşı, killi kumtaşı, kiltaşı) ve karbonatlı (kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn) kayaçlardan oluştuğunu belirlemişlerdir. Kömür örneklerinde hüminit maseral grubunun baskın olduğunu ve diyajenez aşamasındaki kahverengi renkli kömürler olduğunu söyleyen araştırmacılar, örneklerin Tip-III kerojene sahip organik maddeden oluştuklarını ve ısısal olgunlaşmalarının erken evrede olduğunu ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar element ve izotop jeokimyası verilerine göre, kömürlerin nemli iklim koşulları altında, hafif tuzlu su ortamında, C3 türü bitkilerin baskın olduğu telmatik bir ortamda çökeldiğini ifade etmişledir.

Ding ve diğ. (2018), Güneybatı Çin'in Güney Guizhou bölgesindeki Zhenning kesitinden elde edilen otuz siyah kaya örneğinin toplam organik karbon (TOC), ana, iz ve nadir toprak elementleri (REE'ler) jeokimyasal özellikleri sistematik bir şekilde incelenmiştir. Bu incelemeler, kayaların kökenini, paleoredoks koşullarını, paleoklimayı, paleoproduktiviteyi ve tortul birikim hızını değerlendirmek ve organik madde zenginleşmesi üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Zou ve diğ. (2020), Çin'deki, Binnan Petrol Sahası'ndan alınan kil karot örneklerinin ana oksit ve iz element içeriklerinin ICP-MS tekniği ile belirlenmesini amaçlamışlardır. Shahejie Formasyonu'nun çökelme ortamını incelemek için Sr, Ba, V, Ni ve B iz elementlerinden yararlanmışlardır. Örneklerin B içeriği ve Sr/Ba oranının, tuzlu su ve tatlı su sedimenter ortamlarını ayırt etmek için etkili olduğunu, V/(V + Ni) oranının çökelme ortamında indirgen koşulların hâkim olduğunu ifade etmişlerdir. Rb/Sr oranında görülen değişimin Shahejie Formasyonu'nun paleoklimasını yansıttığını ve kuru, nemli ve tekrar kuru dönemler arasında değişim gösterdiğini söylemişlerdir.

Mikheeva ve diğ. (2021), Irkutsk Havzası'nın Cheremkhovo Formasyonu (Pliensbachiyen) ve üstündeki Alt Prisayan Formasyonu'ndan alınan 68 örneğin jeokimyasal verilerini değerlendirmişlerdir. Jeokimyasal verilere göre, Cheremkhovo Formasyonu'nda sıcak ve nemli, Alt Prisayan Formasyonu'nda ise sıcak ve kuru iklim koşullarına işaret eden farklılıklar görüldüğünü, Irkutsk kömür havzasındaki çökellerin kökeninin çoğunlukla felsik ve ortaç kayaçlardan türetilmiş olduğunu belirtmişlerdir.

Wang ve diğ. (2021), Sr/Ba oranının denizsel ve karasal sedimenter ortamları ayırt etmedeki etkinliğini araştırmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları deneylerde, farklı tuzluluk seviyelerinde hazırlanan yapay deltaik sedimanlarda Sr ve Ba'nın davranışları incelemişlerdir. Araştırma sonuçları, Ba'nın tuzluluk arttıkça azaldığını ve Sr/Ba oranının değiştirilebilir fraksiyonunda tuzlulukla doğrusal bir ilişki gösterdiğini ortaya koymuştur. Ancak, toplam Sr/Ba oranının tuzlulukla anlamlı bir değişim göstermediğini Bu nedenle, denizsel ve karasal ortamları ayırt etmek için Sr/Ba oranının yalnızca seçici ekstraksiyonla belirlenmesi gerektiği ve geleneksel toplam Sr/Ba oranının bu amaç için uygun olmadığı sonucuna varmışlardır.

Koralay ve Koralay (2022), Güneybatı Türkiye'deki Çameli-Acıpayam havzasının kuzey sınırında bulunan Pliyosen yaşlı karbonlu kayaçların organik ve inorganik jeokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçlar, karbonlu kayaçların iyi ile mükemmel arasında değişen kaynak kayaç potansiyeline sahip olduğunu ve gaz üretim potansiyeli taşıdığını göstermektedir. Organik maddelerin çoğunlukla alokton kökenli olduğu ve termal olgunluklarının oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Karbonlu kayaçlar, kuvars, kil ve mika mineralleri (çoğunlukla illit ve daha az miktarda smektit, klorit, kaolinit), feldspat ve opak mineraller (piritt ve ilmenit) gibi yüksek miktarda inorganik madde içermektedir. Karbonlu kayaçlar, ana oksit ve iz element konsantrasyonları açısından benzer özellikler gösterse de, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO ve bazı ağır metaller (Ni, Cr, Co, V, Sc gibi) açısından belirgin farklar sergilemektedir. Ana oksit, iz element konsantrasyonları ve element oranları, karbonlu kayaçların aktif kıtasal kenarda oluşmuş mafik/ultramafik magmatik kayaçlara ait özellikler taşıdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, karbonlu kayaçların oksik koşullar altında tuzlu su ortamında çökelmiş olduğu ve sıcak/nemli bir ortamda hızlıca birikerek geri dönüşüm yaşamadığı tespit edilmiştir.

Zhou ve diğ. (2022), çalışma Ri-Qing-Wei Havzası'ndaki Lingshan Adası'nda bulunan LK-1 kuyusundaki kayaçlardan alınan kil ve şist örneklerinin TOC (toplam organik karbon) ve element jeokimya analizleri ile yapılan bir değerlendirmeyi içermektedir. Sonuçlar, kaynak kayaçlarının organik madde içeriğinin genellikle yüksek olduğunu ve ortalama TOC içeriğinin %1.26 olduğunu göstererek, bu kayaçların iyi kaynak kayaçları olduğunu ortaya koymuştur. Jeokimyasal özellikler, sedimentasyon ortamının çoğunlukla anoksik tuzlu suya yakın brakis su ortamı olduğunu ve iklimin kuru ile yarı kurak koşullar arasında değiştiğini göstermektedir.

### 2. GENEL JEOLOJİK ÖZELLİKLER

#### 2.1 İnceleme Alanının Coğrafik Özellikleri ve Konumu

Tez konusu olan çalışma alanı Batı Anadolu Genişleme Bölgesi içerisinde bulunan Denizli ili sınırları içerisinde yer almakta olup, Denizli şehir merkezine kuş uçumu 25 km mesafede bulunan Karapınar, Baklançakırlar, Bayıralan ve Belevi Mahallelerini içerisine almaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1:İnceleme alanı yerbulduru haritası.

Bayıralan Formasyonu 1/25000 ölçekli Denizli M22 b1, b2 ve b3 paftalarında yaklaşık 120 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır. Dünya Miras Taşlar listesinde yeralan Denizli Traverteni'nin çıkarıldığı traverten ocaklarının kuzeyinde bulunan inceleme alanının kuzeydoğu'sunda Küçük Çökelez Dağı (1580 m), güneydoğu'sunda Malı Dağı (1150 m) ve Küçük Malı Tepe (1050 m) ile çalışma alanının merkezinde bulunan Kara Tepe (1100 m) önemli yükseltileri oluşturmaktadır.

#### 2.2 İnceleme Alanının Jeolojik Yapısı

Çalışma alanında temel kayaçlarını Jura-Kretase yaşlı Malıdağ Formasyonu ve Çökelez Kireçtaşları ile Kretase yaşlı Karatepe Melanjı oluşturmaktadır. Çökelez Kireçtaşları Malıdağ Formasyonu üzerine tektonik dokanak ile gelmektedir. Temel kayaçları üzerine uyumsuzlukla Oligosen yaşlı Bayıralan Formasyonu gelmektedir. Bayıralan Formasyonu üzerinde açısal uymsuzlukla Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılburun, Alt Pliyosen yaşlı Sazak ve Sakızcılar Formasyonları bulunmaktadır. Kuvaterner yaşlı yamaç molozu, alüvyon, alüvyon yelpaze ve traverten çökelleri temel kayaçlarını ve sedimanter birimleri uyumsuz olarak örtmektedir (Şekil 2.2) (Okay 1986; Sarıkaya 1986; Sun 1990; Alçiçek ve diğ. 2007; Alçiçek 2010; Çobanoğlu ve diğ. 2011; Özkul ve diğ. 2013). Bu tez çalışmasında alanda görülen birimlerin adlandırmalarında ve tanımlamalarında daha önceki çalışmacıların önerdiği adlar (örneğin; Çökelez Kireçtaşı, Sakızcılar Formasyonu, Sazak Formasyonu gibi) çalışma amacının dışında kalacağı düşünüldüğü için aynen kullanılmıştır. Bununla birlikte birimler hakkında genel bilgiler verilirken farklı araştırmacılar tarafından yapılmış adlandırmalara da değinilmiştir.

#### 2.2.1 Malıdağ Formasyonu

Birim, açık ve koyu yeşil tonlarında metakumtaşı ve şeyl ardalanmasından oluşmakta olup, bu ardalanma içerisinde yer yer kristalize kireçtaşı ara tabakaları gözlenmektedir. İlk olarak Sun (1990) tarafından "Malıdağ Flişi" adıyla tanımlanmış olan birim, adını inceleme alanında yer alan Küçük Malıdağ'daki tip lokalitesinden almıştır. Birim içerisindeki şeyller laminalı bir yapı sergilemekte olup, belirgin kıvrımlanma ve ondülasyon yapıları içermektedir. Fosil bulgusuna rastlanmamakla birlikte, stratigrafik konumuna dayanarak tarafından Üst Kretase yaşlı olarak değerlendirilmiştir. Bu yaşlandırma, Gürel (1997) ve Özpınar ve diğ. (2002) tarafından da desteklenmektedir. (Sun 1990; Gürel 1997; Özpınar ve diğ. 2002).

#### 2.2.2 Çökelez Kireçtaşları

Tabanda koyu gri ile siyahımsı renkte, orta ve kalın tabakalı dolomitler; üst seviyelere doğru açık gri-bej renkli dolomitik kireçtaşları, sarımsı bej mikritik kireçtaşları ve pembemsi bej renkte çörtlü kireçtaşlarından oluşan bu birim, Nebert (1956) tarafından "Mesozoyik Kireçtaşları" olarak adlandırılmıştır. Erakman ve diğ., (1986) bu birimi "Çatalcatepe Kireçtaşları", Konak ve diğ. (1990) ise "Çökelez Kireçtaşları" olarak tanımlamıştır. Çökelez Kireçtaşları alt ve üstten yatay veya yataya yakın tektonik dokanaklarla sınırlıdır. Alt seviyelerin tektonik dokanağa yakın kesimlerinde kırıklı ve breşik yapıda görülen Çökelez Kireçtaşlarının ortalama kalınlığı 300-500 metre arasında değişmektedir. Stratigrafik olarak, Çökelez Kireçtaşı'nın altında Malıdağ Formasyonu, üstünde ise Karatepe Melanjı yer alır.

Okay (1986) tarafından Çatalcatepe Kireçtaşları içerisinde tespit edilen *Ostracoda, Miliolidae, Opthalmidiidae, Gastropoda, Brachiopoda* ve *Clodocoropsis* sp. fosillerine dayanarak birimin yaşı Üst Jura-Alt Kretase olarak belirlenmiştir. Konak ve diğ., (1990) ise Çökelez Kireçtaşı'nın mikritik kireçtaşı seviyelerinde *Trocholina* sp., Lituolidae ve alg fosilleri tespit etmiş olup, bu bulgulara dayanarak birimi Jura-Kretase yaşlı olarak tanımlamışlardır (Sun 1980; Okay 1986; Konak ve diğ., 1990; Gürel 1997; Semiz 2003).

#### 2.2.3 Karatepe Melanjı

Karatepe mevkiinde mafik/ultramafik kayaçlar, serpantinit, radyolarit, kireçtaşı, şeyl, kumtaşı bileşimli kayaçlardan oluşan karmaşık, ilk kez Erişen (1971) tarafından "Karatepe Melanjı" olarak adlandırılmıştır. Arazide yeşilimsi, mavimsi ve yer yer kırmızı, kahverengi renklerde gözlenen Karatepe Melanjı, yoğun şekilde serpantinleşmiş harzburjit ve serpantinit matriksi içinde gabro, diyabaz daykları,

radyolarit, çörtlü kireçtaşları ile neritik ve pelajik kireçtaşı bloklarıyla kırıntılı sedimanter kayaçlardan oluşmaktadır (Şekil 2.3a).



Şekil 2.2: İnceleme alanının jeoloji haritası (MTA 1/100000 ölçekli M-22 paftasından düzenlenerek alınmıştır.)

Melanjın matriksini oluşturan serpantinit ve radyolaritler, arazide yumuşak topoğrafya oluştururken, kireçtaşı bloklarının olduğu kesimler belirgin çıkıntılar meydana getirmektedir (Şekil 2.3.b,c,d). Melanj içerisinde yer alan gri/bej renkli kireçtaşı blokları (olistolitler), peridotit, gabro, dünit, harzburjit, serpantinit ve diyabaz gibi okyanusal kabuğa ait ofiyolitik kayaçlar arasında kısmen gömülü olarak bulunur (Şekil 2.3d). Bazı kireçtaşı bloklarında, kalınlıkları 1-2 cm ile 15-20 cm arasında değişen çört (kuvarsit) bantlarının varlığıyla tanımlanan tabakalı yapılar gözlenmektedir (Şekil 2.3e,f).



Şekil 2.3: a) Karatepe Melanjının genel görünümü ve kireçtaşı olistoliti oluşturan, b) melanjı oluşturan serpantinit matriks, c) Radyolarit matriksin genel görünümü, d) Karatepe Melanjı içerisinde görülen kireçtaşı olistolitinin arazi görünümü e, f) Kireçtaşı olistolitinin yakından görünümü ve bazı olistolitlerde görülen çört tabakaları

Karatepe Melanjı'nın üzerine, açısal uyumsuzlukla konglomera, kumtaşı, kiltaşı ve yerel kömür/karbonlu kayaç seviyeleri içeren tortul kayaçlardan oluşan Oligosen yaşlı Bayıralan Formasyonu yerleşmiştir. Bu nedenle, Karatepe Melanjı'nın yerleşim yaşı Oligosen öncesi bir dönemde, muhtemelen Paleosen-Oligosen arasında gerçekleşmiş olmalıdır. Bölgesel deneştirmelere göre bu birimin yerleşim yaşı Eosen sonu olarak kabul edilmektedir (Konak ve diğ. 1990).

#### 2.2.4 Bayıralan Formasyonu

Kirli sarı ve yeşilimsi gri tonlarda kumtaşlarıyla yer yer ince kömür katmanlarına sahip silttaşı ve kiltaşlarından oluşan formasyonun alt seviyelerinde silttaşı ve kiltaşı baskınken, üst seviyelerde ince kömür katmanları bulunur. İlk kez Konak ve diğ. (1990) tarafından "Bayıralan Formasyonu", Pekuz (1998) tarafından "Çaykavuştu Formasyonu" adı altında tanımlanmıştır. Bayıralan Formasyonu içerdiği fosil bulgularına göre Üst Oligosen yaşlıdır. Tez konusunu oluşturan Bayıralan Formasyonu hakkında detaylı bilgiler Bölüm 3'de verilecektir.

#### 2.2.5 Kızılburun Formasyonu

Konglomera, kumtaşı, kiltaşı ve silttaşı gibi litolojilerin egemen olduğu Kızılburun Formasyonu, ilk defa Şimşek (1984) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon Kastelli (1971) tarafından "Kızıl Seri", Taner (1974) tarafından "Kırmızı Kaide Konglomeraları", Pekuz (1998) tarafından "Karaçay Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Formasyonun tabanında kötü boylanmış, konglomera ve iri taneli kumtaşı yer almaktadır. Konglomeraları oluşturan bileşenler genellikle ultrabazik kayaçlar, serpantinit, şist, mermer, kumtaşı ve kuvarsit'ten oluşmaktadır. Bileşenler genellikle köşeli ve/veya yarı yuvarlaktır. Kızılburun Formasyonu'nun üst seviyelerinde görülen masif kumtaşları, yer yer küresel ayrışma yapıları göstermektedir. Bu çökeller üzerinde örgülü akarsuların oluşturduğu açık sarı renklerde çakıllı kumtaşı ve kumtaşı serisi gelir. (Sun 1990). Formasyonun üst kesimlerine doğru tane boyu giderek incelir ve karbonat miktarı artar. Kızılburun Formasyonu alüvyon yelpazesi çökelleriyle başlar, örgülü akarsu çökelleriyle devam eder ve menderesli akarsu çökelleriyle de son bulur (Şimşek 1984; Konak ve diğ. 1990; Sun 1990; Alçiçek 2007).

Kızılburun Formasyonu'nun yaşı konusunda farklı çalışmalar mevcuttur. Kastelli (1971), formasyonun yaşını Alt Pliyosen olarak belirtirken, Sun (1990), bu formasyonu Üst Miyosen'e tarihlendirmiştir. Erten (2014) formasyon içinde bulunan mikro memeli fosil bulgularına (MN 5-6) dayanarak Orta-Üst Miyosen yaşını vermiştir.

#### 2.2.6 Sazak Formasyonu

Kiltaşı-silttaşı, çamurtaşı, ince taneli karbonat çimentolu kumtaşı, killi kireçtaşı ve kireçtaşı/traverten litolojilerinden oluşan formasyon içerisinde yer yer jips oluşukları görülmektedir. Kızılburun Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Sazak Formasyonu alt seviyelerinde kiltaşı ve silttaşı, üst seviyelerinde ise killi kireçtaşı ve kireçtaşları yer almaktadır. Kireçtaşları, kirli beyaz renkte, dayanıklı, orta katmanlı, oldukça çatlaklı ve erime boşluklarına sahip olup, bol miktarda Gastropod kavkıları içermektedir. Formasyonun kalınlığı ortalama 250-300 metre arasında değişmektedir. Çökel karakteristikleri ve fosil içeriklerine göre Sazak Formasyonu'nun Neotektonik dönemde grabenleşme etkisi altında gelişen düşük enerjili, sakin ve sığ bir göl ortamında oluştuğu söylenebilir.

Kastelli (1971) ve Taner (1974) fosil içeriklerine dayanarak, formasyonun yaşının Alt Pliyosen olabileceğini belirtmişlerdir (Sun 1990; Konak ve diğ. 1990). Alçiçek (2007) MN 6-8 mikro memeli bulgularına göre formasyonun yaşının Orta-Geç Miyosen olabileceğini ifade etmiştir.

#### 2.2.7 Sakızcılar Formasyonu

Sakızcılar Formasyonu, killi kireçtaşı, marn, kiltaşı, silttaşı ve çok ince kumtaşı ara seviyeleriyle yanal yönde devamlılık göstermeyen tüf litolojilerinden oluşmaktadır. Sarımsı ve kırmızımsı renkli kumtaşı seviyelerinde yer yer çapraz katmanlanma ve laminalanma gibi sedimanter yapılar gözlenmekte olup, iyi boylanmış, gevşek tutturulmuş yapıdadır. Kumtaşları kuvars, kuvarsit, şist ve mermerlerden oluşan çakıllar içerirler ve siltli-killi bağlayıcıyla çimentolanmıştır. Silttaşları ise genellikle grimsi ve bej renkte olup, ince, belirgin ve düzenli tabakalanmalar gösterir. Kumtaşlarına kıyasla daha sıkı dokulu olan bu silttaşları, yer yer gastropod fosilleri ve jips oluşumları içerir. Sakızcılar Formasyonu içinde bulunan Gastropod ve Ostracod fosilleri, bir tatlı su ortamında çökelmenin gerçekleştiğini gösterirken, jips oluşumları ise buharlaşmanın etkin olduğu sığ çökel havzalarını işaret etmektedir. Ayrıca formasyon içerisinde akarsuların etkisiyle çökelmiş, iyi yuvarlaklaşmış mikrokonglomeralar ve çapraz katmanlı kumtaşı seviyeleri de gözlemlenmektedir. Bu özellikler, akarsu aktivitelerinin formasyonun çökelme sürecinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Sakızcılar Formasyonunun yaşı bölgesel eşlenikleri olan formasyonlar ve fosil içeriklerine göre Alt-Orta Pliyosen olarak değerlendirilmektedir (Sun, 1990).

#### 2.2.8 Alüvyon Çökelleri/Travertenler

İnceleme alanında görülen alüvyon çökelleri, kil, silt, kum ve çakıl boyutundaki ince ve kaba bileşenlerden oluşmaktadır. Genellikle daha düşük topoğrafyalı alanlarda yayılım gösteren alüvyon çökelleri, aynı zamanda dere yataklarının Denizli Grabeni ile birleştiği kesimlerde birikinti konileri (alüvyon yelpazeleri) ile temsil edilmektedir.

Küresel Miras Taş olarak kabul edilen Denizli Traverteni (Özkul ve diğ. 2024) oluşumları, Denizli grabenini kuzeyden sınırlayan ana fay hattı ve sintetik fayları boyunca gelişmiştir. İnceleme alanındaki traverten ocaklarında farklı renk ve doku özelliklerine sahip oluşumlar gözlenmektedir. Denizli travertenlerinin ana mineral bileşeni kalsiyum karbonattır (CaCO<sub>3</sub>). Travertenler, genellikle gözenekli bir yapıya sahip olup, beyaz, krem, sarı, turuncu ve kahverengi tonlarında değişen renklerde görülmektedirler.
# 3. JEOLOJİK-MİNERALOJİK-PETROGRAFİK İNCELEMELER

## 3.1 Bayıralan Formasyonunun Jeolojik Özellikleri

Sedimanter kayaçlar (özellikle kumtaşları), oluştukları dönemlere ait jeolojik süreçler ve ortam koşulları hakkında önemli bilgiler taşımaktadır. Bayıralan Formasyonunun jeolojik özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla 2 farklı lokasyonda Ölçülü Stratigrafik Kesit (ÖSK) alımı ve 68 farklı lokasyonda nokta örnek alımı gerçekleştirilmiştir. Bayıralan Formasyonu, çakıltaşı/konglomera, kumtaşı, kiltaşı ve yerel organik maddece zengin seviyeler içeren sedimanter kayaçlardan oluşmaktadır. Çakıltaşı/konglomeralar kumtaşları içerisinde ara seviyeler ve/veya mercek şekilli oluşumlar halinde görülmektedir (Şekil 3.1a, b, c, d). Yeşilimsi kahve, gri renkli ve kötü boylanma göstermektedir. Konglomeraları oluşturan çakıllar birkaç mm'den birkaç on cm boyutuna değişim göstermekte olup, çoğunlukla kireçtaşı, dolomit, mafik/ultramafik kayaç, radyolarit bileşimlidirler (Şekil 3.1b).



Şekil 3.1: a-d) Bayıralan Formasyonu içerisinde görülen konglomeraların arazi görünümleri.

Tez konusunu oluşturan kumtaşları, silttaşı-kiltaşı birimleriyle ardalanmalı olarak bulunmaktadır (Şekil 3.2a). Silttaşı-kiltaşı ardalanması gri, yeşilimsi gri renklerde, çok ince taneli (< 0.063 mm), ince laminalı (< 0.3 cm) ve oldukça kırılgan bir yapıda görülmektedir (Şekil 3.2b). Kumtaşı seviyeleri yeşilimsi gri, sarımsı kahverengi renklerde, ince (0.063-0.2 mm) - orta (0.2-0.63 mm) taneli, ince (3-10 cm) - kalın (30-100 cm) arasında değişen tabaka kalınlıklarına sahip ve morfolojide sert çıkıntılar oluşturan yapıda görülürler (Şekil 3.2c, d).



**Şekil 3.2: a)** Bayıralan Formasyonu kumtaşı ve silttaşı-kitaşı biririmlerinin ardalanmalı görünümü, **b)** Silttaşı-kiltaşı seviyelerinin yakından görünümü, **c, d)** Morfolojide sert çıkıntılar oluşturan kumtaşı seviyelerinin genel görünümü, **e, f)** Kumtaşı seviyelerinde görülen küresel ayrışmalar.

Kalın (30-100 cm) tabakalı kumtaşı seviyelerinde tipik olarak küresel ayrışmalar (Eksfoliyasyon yapısı) görülmektedir (Şekil 3.2e, f). Eksfoliyasyon

yapıları genellikle sıcaklık değişimlerine bağlı olarak meydana gelen bir ayrışma sonucu ortaya çıkmaktadır. Özellikle sıcak iklimlerde, gündüzleri kayaçlar genişlerken, geceleri ani soğuma nedeniyle büzülür. Bu ısıl gerilmeler, kayaçların dış katmanlarında çatlaklar ve kırılmalar oluşturur, zamanla bu çatlaklar genişler ve kayaçlar tabaka tabaka soyulur. Bu ayrışma zaman içerisinde kayacın dışından iç kısmına doğru ilerler ve kayacın köşelerinin yuvarlaklaşarak küresel bir şekil almasına neden olur. Küresel ayrışma genellikle nemli ve tropik bölgelerde yaygındır (Hendrix ve diğ. 2021).

Kumtaşlarını oluşturan bileşenler ince (0.063-0.2 mm) - orta (0.2-0.63 mm) tane boyutuna sahip olup, çoğunlukla mika mineralleri, açık (kuvars) ve koyu renkli (mafik/ultramafik kayaç parçaları) tanelerden oluşmaktadır. Mika pulcukları gün ışığında parlak bir görünüm sunmakta ve elimizi sürdüğümüzde sim bırakmaktadır. Bileşenler iyi boylanmış ve sıkı tutturulmuştur. Kumtaşı tabakaları arasında kalınlığı birkaç cm'den birkaç on cm'ye değişen koyu kahverengi, siyah, grimsi siyah renkli bitki sap ve yaprakları içeren organik madde bakımından zengin seviyeler bulunmaktadır (Şekil 3.3a, b, c, d). Kumtaşı tabakaları içerisinde iyi korunmuş, genellikle tatlı ve tuzlu suyun karıştığı haliç veya kıyı ortamlarını yansıtan *Polymesoda* sp., orta büyüklükteki denizel ortam gastropodu olan *Turitella duplicata*, ile küçük ila orta büyüklükteki yırtıcı deniz gastropodaları olan *Natica* sp., türü fosil bileşenler bulunmuştur. Bununla birlikte bol miktarda kavkı kırıkları içeren organik madde bakımından zengin seviyeler

Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşı tabakalarında bileşen boyutlarına ve tabakaların stratigrafik konumuna bağlı olarak ters/normal derecelenme, çapraz ve konvolüt laminalı tabakalanma, dalgalı lamina yapıları (ripple marks) görülmektedir (Şekil 3.4 a, b, c, d). Çapraz tabakalanma, akıntı yönü ve hızı hakkında bilgiler taşırken, Dalgalı lamina yapıları, oluşum ortamı, akıntı yönü ve ortamın enerji seviyesini anlamamıza olanak sağlamaktadır. Çapraz tabakalanma yapısı görülen kayaçlarda çapraz tabakalanmanın eğim yönü sedimanların taşındığı akıntı yönünü, eğim açısı ise akıntının hızına ve taşıma kapasitesi belirlemede kullanılabilir.



Şekil 3.3: a-c) Bayıralan Formasyonu içerisinde görülen koyu kahverengi, siyah renkli, ince laminalı yapı gösteren, organik madde bakımından zengin seviyelerin arazideki görünümü, d) Silttaşı-kiltaşı laminaları içerisindeki bitki kırıntıları, e) *Turitella duplicata*, f) *Natica* sp., türü fosil bileşenler, g, h) Kavkı kırıkları içeren seviyelerin yakından görünümü.

Çöl ortamlarında oluşan çapraz tabakalar genellikle daha yüksek eğim açılarıyla yerleşirken, sulu ortamlarında oluşan çapraz tabakalanmalar daha düşük eğim açısına sahiptirler. Benzer şekilde geniş çapraz tabakalanmalar kurak bir iklimin veya çöl ortamının göstergesi olabilmektedir (Allen 1982; Tucker 2001; Boggs 2006). Dalgalı lamina yapısında asimetrik dalgalar tek yönlü, simetrik dalgalar iki yönlü dalga hareketine işaret ederken, büyük ölçekli dalgalar yüksek, küçük ölçekli dalgalar düşük enerjili ortamları göstermektedir. Dalgalı lamina yapıları genellikle göl, nehir, kıyı gibi sığ sularda oluşmaktadır (Allen 1968; Reineck and Singh 1980; Boggs 2006).



**Şekil 3.4: a)** Bayıralan Formasyonu içerisindeki kalın kumtaşı tabakalarında görülen normal derecelenme, **b)** Çapraz tabakalanma, **c)** olası eski depremler veya yer değiştirme olaylarının (sismik hareketler) bir göstergesi konvolüt laminalanma, **d)** dalgalı lamina yapısı (ripple mark).

Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşı, silttaşı-kiltaşı tabakalarının ilksel konumları bölgenin tektonik olarak hareketli olması nedeniyle çoğunlukla bozulmuş olduğundan akıntı yönü hakkında herhangi bir yorumlama yapılamamıştır. Ancak çökelme ortamı olarak su derinliğinin ve enerji seviyesinin değişkenlik gösterdiği kıyı-bataklık ortamından bahsedilebilir.

Sedimanter kayaçlar depolandıktan sonra günümüzdeki konumuna gelene kadar geçen sürede paleortam koşullarına bağlı olarak gelişen bir takım özellikler taşıyabilmektedir. Renk bantlanması ve petek aşınması gibi sedimanter yapılar yaygın olarak görülmektedir (Şekil 3.5a, b). Çökelme ortamında farklı seviyelerde oksijen bulunması, demir içeren minerallerin oksitlenmesine veya indirgenmesine neden olur. Oksitlenmiş demir kırmızı veya kahverengi renkler oluştururken, indirgenmiş demir gri, yeşil veya mavi tonlar ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Petek aşınması (Honeycomb) özellikle kuru, yarı kurak ve kıyı bölgelerinde, tuz ve su etkisiyle kayaçların fiziksel ve kimyasal olarak bozunması sonucu ortaya çıkmaktadır (Mottershead ve Pye 1994; Bishop 2007).



Şekil 3.5: a) Bayıralan Formasyonu içerisindeki kalın kumtaşı tabakalarında görülen renk bantlanması, b) Kumtaşı bloğunda gelişmiş petek aşınması.

Yumru ve nodül, sedimanter kayaçların taşlaşma süreçleri sırasında oluşan sedimanter yapılardır. Yumru ve nodül kavramları çoğu zaman birbiri yerine kullanılsa da jeolojik anlamda farklı özelliklere ve oluşum süreçlerine sahip yapılardır. Bu iki kavram arasındaki başlıca farklar: Yumrular genellikle yuvarlak ve büyük, nodüller ise düzensiz ve daha küçük yapıdadırlar. Yumrular, mineral birikimi ile oluşurken, nodüller mevcut mineral konsantrasyonunun artması ile oluşurlar. Yumrular genellikle belirli bir mineral etrafında oluşurken, nodüller daha heterojen yapılar gösterirler (Pettijohn ve diğ. 1987; Tucker 2001). Bayıralan Formasyonunun

ince taneli kumtaşı tabakaları içerisinde kırmızımsı kahverengi veya siyahımsı kahverengi renkli, çoğunlukla elips ve/veya yarı yuvarlak şekillerde, boyutları 1-2 cm ile 10 cm arasında değişen demir yumruları görülmektedir (Şekil 3.6.a-f). Demir yumruları varlığı Bayıralan Formasyon'un oksijenli ve düşük enerjili su koşullarının hâkim olduğu kıyı veya nehir deltasında çökeldiğine işaret etmektedir.



Şekil 3.6: a-e) Bayıralan Formasyonu içerisinde görülen kahverengi, siyah renkli demir yumrularının arazi görünümleri, f) Demir yumruların içerisinde görülen yaprak iz fosili.

#### 3.1.1 Köprübaşı Ölçülü Stratigrafik Kesiti

Çalışma alanında Bayıralan Mahallesine giden araç yolunun Köprübaşı olarak adlandırılan mevkiinden alınan ve toplam kalınlığı ~35 m olan Ölçülü Stratigrafik Kesit (ÖSK) Şekil 3.7' de verilmiştir. Bu lokaliteden alınan kumtaşı örnekleri petrografik, XRD ve jeokimyasal analizlerde BFKB kısaltması ile gösterilmiştir.

Bu lokalite alınan ÖSK tabanda koyu kahverengi, siyah renkli, ince laminalı, bitki kökleri içeren, organik madde bakımından zengin, gevşek tutturulmuş kiltaşı ile başlamaktadır (40 cm). Bu seviye üzerine sırasıyla gri-yeşilimsi gri renkli, laminalı, konkoidal kırık yüzeyleri veren, kiltaşı seviyesi (60 cm), sarımsı kahverengi renkli, ince-orta taneli, gastropod ve kavkı parçaları içeren kumtaşı seviyesi (30 cm), sarımsı kahverengi renkli, orta tabakalı, ince-orta taneli, eksfoliyasyon yapısı gösteren kumtaşı seviyesi (310 cm), gri-yeşilimsi gri renkli laminalı kiltaşı seviyeleri içeren, ince tabakalı, ince taneli, gevşek tutturulmuş kumtaşı seviyesi (260 cm), sarımsı kahverengi renkli, organik maddece zengin laminalı kiltaşı seviyeleri içeren, ince tabakalı, ince taneli kumtaşı seviyesi (130 cm) gelmektedir. Köprübaşı ÖSK'sının bu kısmı üstteki birimlerin kayması sonucu oluşan toprak örtüsü ile örtülü olduğu için birim tanımlaması yapılamamıştır (Şekil 3.7). Toprak örtüsünün hemen üzerinde griyeşilimsi gri renkli, yer yer konkoidal kırık yüzeyleri veren, silttaşı-kiltaşı aradalanmasından oluşan seviye (190 cm) bulunmaktadır. Bu seviye üzerine griyeşilimsi gri renkli, kalın tabakalı, ince-orta taneli kumtaşı seviyesi (90 cm), griyeşilimsi gri renkli, laminalı silttaşı-kiltaşı aradalanması (100 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, kalın tabakalı, ince-orta taneli kumtaşı seviyesi (60 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, yer yer konkoidal kırık yüzeyleri veren, üst seviyelere doğru organik madde bakımından zengin kiltaşı seviyeleri içeren silttaşı-kiltaşı aradalanması (240 cm), griyeşilimsi gri renkli, ince tabakalı, ince taneli kumtaşı-silttaşı ardalanması (230 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, yer yer konkoidal kırık yüzeyleri veren, üst seviyelere doğru organik madde bakımından zengin laminalı kiltaşı seviyeleri içeren silttaşı-kiltaşı aradalanması (330 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, kalın tabakalı, ince-orta taneli kumtaşı seviyesi (100 cm), sarımsı kahverengi renkli, organik maddece zengin laminalı kiltaşı seviyeleri içeren, ince tabakalı, ince taneli kumtaşı seviyesi (230 cm) ve sarımsı kahverengi renkli, üst seviyelere doğru tabaka kalınlığının azaldığı ince taneli kumtaşı-silttaşı ardalanması (~900 cm) bulunmaktadır.



Şekil 3.7: Bayıralan Formasyonu Köprübaşı lokalitesinden alınan ÖSK (GPS Koordinatı: 35 S 0703163 ; 4194768).

Kumtaşı seviyelerinde eksfoliyasyon yapısı karakteristik olarak görülmektedir (Şekil 3.7). Orta taneli kumtaşı seviyelerinde yeşil, siyah renkli, kısmen yuvarlaklaşmış, ofiyolit türevli çakılları ile gri, beyaz renkli kireçtaşı türevli çakıllı seviyeler belirgin olarak görülmektedir. Köprübaşı ÖSK'sı içerisinde görülen organik maddece zengin bu seviyeler koyu kahverengi, siyah renkli olup, çoğunlukla kiltaşı-silttaşı birimleriyle ardlanmalı olarak görülmektedir. Bitki kökleri ve yaprak izleri bulunduran bu seviyeler kırıldığında kömürsü kötü koku yayar, kolay kırılgan özelliktedir ve kil/silt içerikleri yüksektir.

## 3.1.2 Acıdere Ölçülü Stratigrafik Kesiti

Çalışma alanında en önemli drenaj kanalı ve su kaynağı olan Acıdere'nin içerisinde ölçülen ve toplam kalınlığı ~66 m olan ÖSK Şekil 3.8' de verilmiştir. Bu lokaliteden alınan kumtaşı örnekleri petrografik, XRD ve jeokimyasal analizlerde BFAC kısaltması ile gösterilmiştir.

Acıdere lokasyonundan alınan ÖSK tabanda gri, koyu kahverengi renkli, ince laminalı, organik madde bakımından zengin silttaşı-kiltaşı ardalanması ile başlamaktadır (55 cm). Organik maddece zengin bu seviye üzerinde sırasıyla griyeşilimsi gri renkli, orta tabakalı, orta-iri taneli, çapraz tabakalanma gösteren, 5-10 cm arasında değişen kalınlıklarda silttaşı seviyeleri içeren kumtaşı-silttaşı ardalanması (350 cm), koyu kahverengi renkli, ince laminalı, organik madde bakımından zengin seviye (20 cm), gri renkli, ince tabakalı, konkoidal kırık yüzeyleri veren, oldukça sert ve tıkız bir yapıya sahip mikritik kireçtaşı seviyesi (35 cm), griyeşilimsi gri renkli, kalın tabakalı, orta taneli kumtaşı seviyesi (110 cm), tabanında 30 cm'lik koyu kahverengi renkli, ince laminalı, organik maddece zengin seviye bulunan, gri renkli, oldukça sert ve tıkız bir yapıya sahip mikritik kireçtaşı seviyeleri içeren silttaşı-kiltaşı ardalanması (75 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, orta-kalın tabakalı, ince-orta taneli kumtaşı seviyesi (125 cm), sarımsı kahverengi renkli, ince laminalı kiltaşı ara seviyeleri içeren, ince taneli kumtaşı-silttaşı ardalanması (65 cm), griyeşilimsi gri renkli, ince-orta tabakalı, 1-10 cm çapında koyu kahverengi, bordo renkli demir yumruları içeren killi kumlu kireçtaşı seviyesi (200 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, kalın tabakalı, orta taneli, kahverengi-bordo renkli renk bantlanması

gösteren kumtaşı seviyesi (125 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, ince laminalı silttaşıkiltaşı ardalanması (110 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, ince-orta tabakalı, ince taneli, kahverengi renkli organik maddece zengin laminalar içeren kumtaşı seviyesi (90 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, ince taneli kumtaşı ara seviyeleri içeren siltaşı-kiltaşı ardalanması (200 cm), sarımsı kahverengi renkli, ince tabakalı, orta taneli, silttaşı ara seviyeleri içeren kumtaşı-silttaşı ardalanması (90 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, kahverengi, siyah renkli organik maddece zengin ince laminalı kiltaşı seviyeleri içeren silttaşı-kiltaşı aradalanması (110 cm), sarımsı kahverengi renkli, orta-kalın tabakalı, ince taneli, silttaşı-kiltaşı ara seviyeleri içeren kumtaşı-silttaşı-kiltaşı ardalanması (250 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, ince laminalı silttaşı-kiltaşı ardalanması (60 cm), sarımsı kahverengi renkli, taze kırık yüzeyleri yeşilimsi gri renkli olan, orta-kalın tabakalı, orta taneli, silttaşı-kiltaşı ara seviyeleri içeren kumtaşı-silttaşı-kiltaşı ardalanması (260 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, ince tabakalı,  $\sim$ 1-5 cm çapında koyu kahverengi, bordo renkli demir yumruları içeren killi kumlu kireçtaşı seviyesi (50 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, orta tabakalı, ince taneli kumtaşı seviyesi (40 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, ince tabakalı, ~1-10 cm çapında koyu kahverengi, bordo renkli demir yumruları içeren killi kumlu kireçtaşı seviyesi (900 cm) görülmektedir.

Acıdere ÖSK'sının bu kısmı üstteki birimlerin kayması sonucu oluşan toprak örtüsü ile örtülü olduğu için birim tanımlaması yapılamamıştır (Şekil 3.8). Toprak örtüsünün hemen üzerinde gri-yeşilimsi gri renkli, ince laminalı, kolaylıkla ufalanabilen silttaşı-kiltaşı ardalanması (150 cm), sarımsı kahverengi renkli, ince tabakalı kumtaşı ara seviyeleri içeren, gri-yeşilimsi gri renkli silttaşı-kiltaşı ardalanması (210 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, orta tabakalı, orta taneli kumtaşı seviyesi (100 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, ince laminalı, silttaşı-kiltaşı ardalanması (300 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, orta tabakalı, ince taneli kumtaşı seviyesi (60 cm) bulunmaktadır. Acıdere ÖSK'sının bu kısmı üstteki birimlerin kayması sonucu oluşan toprak örtüsü ile örtülü olduğu için birim tanımlaması yapılamamıştır (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8:** Bayıralan Formasyonu Acıdere lokalitesinden alınan ÖSK (GPS Koordinatı: 35 S 0701615; 4195228).

Toprak örtü sonrası gelen birimler gri-yeşilimsi gri renkli, ince tabakalı, ~1-10 cm çapında koyu kahverengi, bordo renkli demir yumruları içeren killi kumlu kireçtaşı seviyesi (300 cm) ile devam etmekte olup, bu birim üzerine sırasıyla tabanda ~1-5 cm çapında koyu kahverengi, bordo renkli demir yumruları içeren, griyeşilimsi gri renkli, kalın tabakalı, orta taneli kumtaşı seviyesi (90 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, kahverengi, siyah renkli organik maddece zengin ince laminalı kiltaşı seviyeleri içeren silttaşı-kiltaşı aradalanması (200 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, orta tabakalı, ince-orta taneli kumtaşı seviyesi (60 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, ince tabakalı, ~1-10 cm çapında koyu kahverengi, bordo renkli demir yumruları içeren killi kumlu kireçtaşı seviyesi (660 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, inceorta taneli kumtaşı seviyesi (150 cm), gri-yeşilimsi gri renkli, kahverengi, siyah renkli organik maddece zengin ince laminalı kiltaşı aradalanması (80 cm) ve sarımsı kahverengi renkli, taze kırık yüzeyleri yeşilimsi gri renkli olan, orta-kalın tabakalı, orta taneli, silttaşı-kiltaşı ara seviyeleri içeren kumtaşı-silttaşı-kiltaşı ardalanması (260 cm) gelmektedir.

# 3.2 Palinoloji İncelemeleri

Bayıralan Formasyonu Köprübaşı ve Acıdere ÖSK'ları ile arazide belirlenen organik madde bakımından zengin seviyelerden kumtaşlarının çökeldiği dönemdeki flora hakkında bilgi elde edebilmek amacıyla 10 adet palinolojik amaçlı örnek alınmıştır. Örneklerin palinomorf içeriği oldukça kısıtlı olup, tür çeşitliliği bakımından da fakirdir. Toplam 7 örneğin incelemesi yapılabilmiştir. Ancak bu örneklerin sayımı tanımlanan formların az olması nedeniyle gerçekleştirilememiştir (Tablo 3.1). Tanımlanan formların bazılarının resimleri ayrıca Şekil 3.9'da verilmiştir.

İncelenen örneklerde spor çeşitliliği polenlere göre daha fazladır. Genellikle Leiotriletes eğreltisinin farklı türleri ile temsil edilmektedir. Polenlerden ise sadece *Inaperturopollenites hiatus* (bataklık servisi), *Pityosporites* ssp (çam). ve *Caryapollenites simplex* (cevizgiller) formları kaydedilmiştir. Bunların dışında yeşil alglerden Botryococus braunii bir tür mantar olan *Glomus* sp. formları da tanımlanmıştır. Örneklerdeki spor çeşitliliğinin fazla olması tortul oluşum yaşının genç olmadığını göstermektedir (Akgün ve Akyol 1999).

Palinomorf	BFKB-1	BFAC-18	BFAC-3	BFAC-1	BF-19	BF-15	<b>BF-11</b>
Leiotriletes maxoides maximus	+				+		
Leiotriletes maxoides maxoides					+		+
Leiotriletes ssp.					+	+	
Triplanosporites sinuosus		+			+		
Inaperturopollenites hiatus		+		+			+
Pityosporites ssp.	+	+	+			+	+
Caryapollenites simplex	+	+					
Botryococus braunii				+	+	+	+
Glomus sp.	+						

Tablo 3.1: Bayıralan Formasyonu içerisindeki organik maddece zengin seviyelerden alınan örneklerde belirlenen palinomorf listesi.

(+) formların varlığını göstermekte, nicel bir anlam taşımamaktadır.



Şekil 3.9: Bayıralan Formasyonu içerisindeki organik maddece zengin seviyelerden alınan örneklerde tanımlanan bazı palinomorflar a) *Leiotriletes maxoides maximus*, b) *Botryococcus braunii*, c) *Glomus* sp.

Ayrıca bir eğrelti formu olan *Leiotriletes maxodies maximus* özellikle Erken "orta" Oligosen yaşlı tortullarda yüksek miktarlardadır (Akkiraz ve Akgün 2005; Akkiraz ve diğ. 2011). *Caryapollenites simplex* formu Oligosen'de ortaya çıkar ve daha genç yaşlı tortullalarda da bulunmaktadır (Akkiraz ve Akgün 2005). Örnekler palinomorf açısından fakir olmasına karşılık, yukarıda bahsedilen biyostratigrafik açıdan önem teşkil edebilecek formları barındırmaktadır. Dolayısıyla, çok kuvvetli olasılıkla, tortulaşma Erken "orta" Oligosen süresince gerçekleşmiş olmalıdır. Bataklık servisi ve cevizgillerin bulunması nemli koşulları belirtmektedir. BF-11 ve BF-15 numaralı örneklerde yüksek miktarlarda kaydedilen yeşil alglerden *Botryococus braunii* formu tatlı su veya acısu ortamlarındaki bir tortulaşmayı ifade edebilir. Özel bir mantar formu olan *Glomus* sp. buzullaşma sonrası, toprak erozyununu işaret etmektedir (Cook ve diğ. 2011).

## 3.3 Bayıralan Formasyonu Kumtaşlarının Petrografik Özellikleri

Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşlarının mineralojik-petrografik özelliklerini belirlşemek amacıyla ince kesit çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla Köprübaşı ve Acıdere ÖSK'larından ve 68 adet farklı lokasyondan alınan nokta örneklerden petrografik incelemeler için ince kesitler hazırlanmıştır. İnce kesitler altta ve üstten aydınlatmalı polarize mikroskop altında incelenerek kumtaşlarının mineralojik bileşimleri ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. Kumtaşları, üç temel bileşenden oluşan sedimanter kayaçlardır. Bu bileşenler:

Ana Taneler (Çerçeve Bileşenler): Genellikle kuvars, feldispat ve mikadan oluşan, kumtaşının temel mineral bileşenlerini oluşturan detritik kökenli taneciklerdir. Çoğunlukla kaynak alanın mineralojik yapısını yansıtırlar.

**Matriks:** Çoğunlukla ince taneli, kil veya silt boyutunda, çerçeve bileşenler arasında bulunan ve tortul ortamda biriken malzemedir. Matriks, kumtaşının gözenekliliğini azaltarak geçirgenliği üzerinde etkili olur.

Çimento: Kumtaşının litifikasyon sürecinde (çökelme sonrası süreçlerde) çerçeve bileşenlerin boşluklarını dolduran mineral birikintisidir. Genellikle silis, kalsit veya demir oksitlerden oluşur ve kayaç sağlamlığını artırır.

Bu bileşenlerin mineralojik ve dokusal özellikleri, kumtaşlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini, dolayısıyla kullanım alanlarını ve yer bilimleri açısından önemini belirler (Üşenmez 1985; Erkan 1998; Tucker 2001; Boggs 2009). Kumtaşlarının sınıflandırılması ilgili olarak çeşitli araştırmacılar tarafından farklı ölçütlere dayanan sınıflandırma tabloları geliştirilmiştir. Bu sınıflandırma tablolarında mineral bileşimi, kimyasal bileşim, yapısal ve dokusal özellikler gibi ölçütler esas alınmaktadır. Ancak, kumtaşlarının gerek sınıflandırılmasında gerekse adlandırılmasında evrensel bir birliktelik sağlanamamıştır (Üşenmez 1985; Erkan 1998).

Mineral bileşimine dayalı yapılan sınıflandırma, kayaçların kaynak alanlarının belirlenmesi, çökelme ortamlarının karakterize edilmesi ve paleoklimatik koşulların yorumlanması açısından önemli bilgiler sağlamaktadır. Ayrıca, mineralojik bileşime dayalı sınıflandırma, ekonomik potansiyelin belirlenmesi ve rezervuar kayaç değerlendirmelerinde de kritik veriler sunmaktadır. Bununla birlikte, farklı kaynak alanlarından gelen bileşenlerin karmaşıklığı ve büyük ölçekli çalışmalarda zaman ve maliyet açısından sınırlayıcı olan ince kesit/mikroskop incelemelerinin gerekliliği, mineral bileşimi temelli sınıflandırmanın evrensel bir sistematiğe oturtulmasını zorlaştırmaktadır.

Kimyasal bileşime dayalı kumtaşı sınıflandırması, kayaçların kaynak alanları, çökelme ortamları ve diyajenetik süreçlerin anlaşılması açısından önem taşımaktadır.

Bununla birlikte jeokimyasal modelleme ve ekonomik değerlendirmelerde de değerli bilgiler sağlamaktadır. Ancak, kayaçlardaki tane boyutu, şekli ve yapısı gibi fiziksel özellikleri göz ardı edilmekte, farklı kaynaklardan türeyen minerallerin karmaşıklığını yeterince yansıtılmamaktadır. Ayrıca, kimyasal analizler için özel laboratuvar donanımları gerektirir, bu da maliyetli ve zaman alıcı olabilir. Çevresel ve sedimentolojik süreçlerin etkilerini de tam olarak gösteremeyebilir. Sonuç olarak, kumtaşlarının tam olarak karakterize edilebilmesi için mineralojik, kimyasal ve dokusal/yapısal özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi kullanılması gereklidir (Üşenmez 1985; Erkan 1998; Tucker 2001; Boggs 2009).

Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşlarının mineralojik olarak kuvars, kalsit, kil mineralleri (montmorillonit ve illit), mika mineralleri (muskovit), klorit, plajiyoklaz, piroksen ve opak mineraller oluştuğu belirlenmiştir. Mineral bileşenlerin uzun eksenleri boyunca yapılan tane boyu ölçümlerinde tane boyutlarının 33.6-595.4 µm (ortalama 208±108.1 µm) arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 3.10a, b). Mineral bileşenler haricinde kumtaşları içerisinde kısmen yuvarlaklaşmış ve/veya köşeli yapıda kuvarsit, çört, mermer, radyolarit, gabro, bazalt ile serpantinleşmiş ultramafik kayaç parçaları görülmüştür (Şekil 3.10c, d, e, f).

Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen kumtaşı sınıflandırma diyagramlarında kullanılan verilerin kumtaşı ince kesitleri üzerinde nokta sayımı yapılarak belirlenmesi gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında bileşenlerin % içeriklerine yönelik nokta sayım çalışması gerçekleştirilememiştir. Bileşenlerin göreceli % miktarları Terry ve Chilingar (1955) tarafından önerilen çizelgeye göre değerlendirilmiştir. Buna göre Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının ~% 35 oranında kuvars, ~% 10 oranında mika, ~% 5 oranında plajiyoklaz, ~% 30 oranında kayaç parçası, ~% 20 oranında matriks'ten oluştuğu değerlendirilmiştir. Bayıralan kumtaşları Pettijohn (1975) sınıflandırmasına göre "litik kumtaşı" olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.10: Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşlarının mikroskop görüntüleri a) İnce taneli kumtaşı, b) orta taneli kumtaşı, Kumtaşları içerisindeki c) kuvarsit ve radyolarit bileşimli, d) mikaşist bileşimli, e) Mermer bileşimli, f) serpantinleşmiş ultramafik kayaç bileşimli kayaç parçaları.

İncelenen kumtaşı örneklerinde mineral ve kayaç bileşenler arasında kil matriks bulunmaktadır. Örneklerin matriks içerikleri ~% 5-10 civarındadır. Bununla birlikte bazı örneklerde mikrosparitik ve demiroksit çimento da görülmektedir (Şekil 3.11a, b). Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşlarını oluşturan mineral bileşenler ve kayaç parçaları yarı yuvarlak/elips ve yarı köşeli şekilde görülmektedir. Kuvars, kuvarsit, çört, radyolarit bileşenler yarı köşeli şekillerdeyken, kalsit, mermer, mikaşist bileşenler kısmen yuvarlaklaşmış/elips şekilli olarak görülmektedir (Şekil 3.11c, d, e, f).



Şekil 3.11: Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşlarında görülen a) Kil matriks, b) Bileşenler arasındaki mikrosparitik çimento, c) Bileşenleri saran Fe-oksit çimento, d) Yarı köşeli şekilde görülen kuvars bileşenler, e) Yarı yuvarlaklaşmış kalsit, mermer bileşenler, f) Bileşenlerde görülen kötü boylanma.

Kumtaşlarının mineralojik ve dokusal özellikleri açısından ne derece gelişmiş ve duraylı olduğu olgunluk kavramı ile ifade edilmektedir. Olgunluk, sediman taşınımının bir fonksiyonu olup, kumtaşlarında başlıca iki tür olgunluktan söz edilir.

**Dokusal olgunluk:** Kumtaşlarını oluşturan bileşenlerin boyutu, şekli, dağılımı ve bağlanma özellikleri açısından ne kadar gelişmiş olduğunu ifade eden bir terimdir.

Bileşenlerin yuvarlaklaşma (roundness) derecesine,

Bileşenlerdeki boylanma (sorting) durumuna bakılar belirlenir.

Dokusal olgunluk gösteren kumtaşlarının en önemli özelliği iyi boylanma ve iyi yuvarlaklaşma göstermeleridir.

**Mineralojik olgunluk:** Kumtaşları içerisindeki % kuvars bileşenlerinin miktarı ile değerlendirilir.

Taşınma süreçlerinde feldispat bileşenler duraysızdırlar,

Kuvars bileşenler taşınma süreçlerinde oldukça dayanıklıdır.

Mineralojik olarak olgunluk gösteren kumtaşlarının % kuvars içerikleri oldukça fazladır.

Kumtaşlarını oluşturan bileşenlerin boyut dağılımını ve homojenliğini ifade eden bir kavram olan boylanma çökelme ortamı ve oluşum süreci hakkında bilgi vermektedir. Bayıralan Formasyonu kumtaşlarını oluşturan bileşenlerin boyutlarının 33.6-595.4 µm (ortalama 208±108.1 µm) arasında değişiyor olması kısmen kötü boylanma gösterdiklerine ve çökelme ortamında ani değişen süreçlerinin geliştiğine işaret etmektedir. Benzer şekilde örneklerin göreceli % kuvars içerikleri de kısmen düşüktür. Sonuç olarak inceleme alanındaki kumtaşlarının mineralojik ve dokusal açıdan tam olgunlaşmamış olduğu, akarsu hareketlerinin fazlaca etkin olduğu sığ denizel/kıyı ortamında çökeldikleri değerlendirilmektedir.

# 3.3.1 X-Işınları Difraktometre (X-Ray Diffractometer-XRD) İncelemeleri

Bayıralan Formasyonu kumtaşı örnekleri birbiriyle uyumlu ve benzer XRD grafikleri vermektedirler. Tüm grafiklerde 20 15 Å' dan itibaren düzenli ve belirgin mineral pikleri görülmektedir. Ayrıca tüm kayaç XRD grafiklerinde 5-15 Å arasında yükselim desenleri verdikleri görülmektedir. Kumtaşı örneklerinin tüm kayaç toz XRD grafikleri üzerinde yapılan çözümleme sonuçlarına göre, başlıca kuvars, kalsit,

muskovit, klorit, kil mineralleri (illit ve montmorillonit), krizotil (serpantin minerali), dolomit, plajiyoklaz ve piroksen (ojit) ve pikleri belirlenmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12: Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının çözümlenmiş XRD grafikleri.

Kumtaşlarının XRD analizlerinde 5-15 Å arasında görülen yükselim desenleri genellikle kil mineralleri veya diğer tabakalı yapıya sahip minerallerin varlığını işaret etmektedir. Bu aralık, özellikle tabakalı silikat minerallerinin karakteristik aralığıdır. Kil mineralleri, kristal yapılarında belirgin tabakalı yapıya sahiptirler ve bu yapı, XRD analizlerinde 5-15 Å arasında belirgin bir pik veya yükselim olarak kendini gösterir. Örneğin montmorillonit türü kil mineralleri su içeriğine bağlı olarak 12-15 Å civarında pikler gösterirken, illit türü kil mineralleri 10 Å civarında pikler göstermektedir. Klorit mineralleri yaklaşık 14 Å'da belirgin pikler gösterir ve genellikle kil mineralleri ile birlikte bulunurlar (Brown and Brindley 1980; Moore and Reynolds 1997).

# 3.3.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM) Çalışmaları

Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının ince kesit analizleri ve X-ışını kırınımı (XRD) analizleri ile belirlenen mineral bileşimlerinin detaylı incelenmesi amacıyla Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) çalışmaları yapılmıştır. SEM çalışmalarıyla mineral bileşenlerinin yüzey morfolojileri, bileşenler arasındaki sınır ilişkileri ve matriks ile olan bağlanma şekilleri hakkında bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca, SEM analizleri örneklerin gözenek yapısının yanı sıra geçirgenlik özelliklerinin değerlendirilmesine de olanak sağlamıştır. Mineral bileşenler ve matriksin kimyasal bileşimi ise Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS) yöntemiyle belirlenmiştir. Nokta analiz sonuçları atomik % olarak ilgili şekillerin üzerinde verilmiştir.

Yapılan SEM incelemeleri sonucunda, BF-8 numaralı kumtaşı örneğinin kısmen gözenekli bir yapıya sahip olduğu ve bileşenlerin birbirleriyle sıkı bir şekilde bağlandığı tespit edilmiştir (Şekil 3.13). EDS analizi sonuçlarına göre, 1. noktada %25.47 Ca ve %0.47 Mg içeriği bulunmuştur. Bu noktada herhangi bir kristal yapısı gözlemlenmediği için, muhtemelen matriks malzeme olabileceği ve analiz sonucuna göre kalsit bileşimli olabileceği değerlendirilmiştir. Kalsit, doğada yaygın olarak bulunan bir mineraldir ve genellikle çok düşük oranda Mg (%1 civarı veya daha az) içermektedir. İkinci noktada %20.21 Ca, %9.27 Mg, %1.77 Fe ve %0.87 Si içeriği belirlenmiştir. Bu noktada kısmen prizmatik bir yapı gözlemlenmiş olup, kimyasal

bileşimine dayanarak dolomit bileşimli olabileceği düşünülmektedir (Şekil 3.13). Dolomit, ideal olarak %21.7 Ca ve %13 Mg bileşiminde olup, genellikle Fe ve Si içermez veya çok düşük oranlarda bulunabilir. Mevcut Fe ve Si içerikleri, bu noktada az miktarda başka bileşenlerin veya safsızlıkların varlığını işaret etmektedir. 3. Nokta tamamen kristalli bir yapıda olup, üst üste yığılmış geniş levhalar şeklinde görülmektedir. Bu noktanın kimyasal bileşimi incelendiğinde, %17.66 Mg, %16.13 Si, %5.93 Fe, %2.05 Al ve %1.18 Ca içerdiği, bu bileşimin olasılıkla klorit mineraline karşılık geldiği değerlendirilmiştir. Dördüncü noktada herhangi bir kristal yapı görülmemekle birlikte, %9.32 Ca, %8.78 Mg, %2.67 Si, %1.21 Fe ve %0.80 Al içerdiği belirlenmiştir. 4. noktanın tek bir mineralin teorik bileşiminden ziyade, birden fazla mineralin karışımını veya diyajenetik süreçlerin etkisiyle oluşmuş bir mineral topluluğunu (muhtemelen matriks malzeme) işaret ediyor olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: BF-8 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

BF-14 numaralı kumtaşı örneğinin SEM incelemesi sonucunda, incelenen kısımda yaprak silikatlarının yoğun bir şekilde bulunduğu ve kısmen gözenekli bir yapı sergilediği tespit edilmiştir (Şekil 3.14). Birinci noktada yapılan EDS analizi sonuçlarına göre, %18.06 Si, %11.18 Al, %6.39 K, %2.06 Fe, %1.51 Mg ve %0.24 Na içeriği belirlenmiştir. Geniş levhamsı yüzeye sahip olan bu mineral bileşenin, mika mineral grubuna, özellikle muskovit türüne ait olabileceği değerlendirilmiştir. Muskovit genellikle düşük Mg ve Fe içeriğine sahiptir, ancak bazı türlerinde Fe içeriklerinin daha yüksek olması mümkündür. Benzer şekilde muskovit analizlerinde

Na genellikle çok düşük seviyelerde bulunur, bununla birlikte düşük miktarda Na içeriklerine de rastlanabilir. Analiz sonucunda görülen düşük Mg, Fe ve Na içeriklerinin önemli bir farklılık oluşturması beklenmemektedir. İkinci nokta %13.19 Si, %8.83 Mg, %2.45 Al, %2.12 Fe ve %0.28 Ca bileşimindedir. Kısmen yapraksı yüzeylerin görüldüğü bu noktanın krizotil (serpantin grubu mineral) mineraline ait olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.14). Özellikle Mg ve Si içeriği, krizotil ile uyum gösteriyorken, Al ve Fe içerikleri, krizotil için beklenen değerlerden yüksektir. 2. noktanın krizotil olma olasılığı yüksektir, ancak Al ve Fe içeriği daha düşük olsaydı, bu olasılık daha kesin olabilirdi. Ancak yine de, bu minerali serpantin grubu mineralleri olarak tanımlamak mümkündür. 3. noktada üst üste yığılmış küçük levhacıklar şeklinde mineral bileşenler görülmektedir. Bu noktanın kimyasal bileşimi incelendiğinde %48.18 Si, %5.10 Fe, %3.37 Ca, %2.95 Mg, %2.05 Al ve içerdiği, bu bileşimin olasılıkla krizotil bileşimli serpantin mineraline karşılık geldiği değerlendirilmiştir. Dördüncü noktada levhamsı yüzeye sahip kristal yapı görülmekte olup, EDS analizinde %14.06 Mg, %13.88 Si, %9.18 Fe ve %5.91 Al içerdiği belirlenmiştir. Levhamsı kristal yüzeylerinin görüldüğü noktanın, Mg ve Fe içeriği, biyotitin bileşimiyle örtüşmektedir. Si içeriği biraz düşük olsa da, biyotit genellikle Mg ve Fe içeren bir mika mineralidir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: BF-14 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

BF-18 numaralı kumtaşı örneğinin nispeten gözenekli bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.15). EDS analizi sonuçlarına göre, 1. noktada %20.69 Ca ve %1.10 Mg ve %1.01 Si içeriği tespit edilmiştir. Bu noktada geniş düzlemsel bir kristal yüzeyi gözlemlenmektedir. Bu noktanın olasılıkla kalsit bileşimli olabileceği değerlendirilmiştir. Kalsit, doğada yaygın olarak bulunan bir mineraldir ve genellikle

çok düşük oranda Mg (%1 civarı veya daha az) içermektedir. İkinci noktada %18.83 Si, %11.57 Fe, %2.53 Mg, %1.14 Ca %0.36 Al içeriği belirlenmiştir. Bu noktada kısmen prizmatik bir yapı gözlenmekte olup, kimyasal bileşimi piroksen minerali (ojit gibi Fe ve Mg'ce zengin) ile uyumlu olabileceği değerlendirilmiştir. Si içeriği beklenen değerden düşük olsa da, bazı piroksen türlerinde Si içeriği bu kadar düşük olabilmektedir (Şekil 3.15).

BF-24 numaralı kumtaşı örneğinin SEM incelemesi sonucunda, örneğin nispeten gözenekli bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.16). Birinci noktada yapılan EDS analizi sonuçlarına göre, %12.71 Si, %10.86 Al, %6.59 Fe ve %4.92 K içeridiği tespit edilmiştir. Düzlem şeklinde kristal yüzeye sahip olan bu bileşenin, mika mineral grubuna, özellikle biyotit türüne ait olabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 3.15: BF-18 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

İkinci nokta %14.95 Fe, %9.99 Si, %2.10 Mn, %0.85 Mg ve %0.58 Ca bileşimindedir. Herhangi bir kristal yapısının gözlemlenmediği için bu noktanın muhtemelen yüksek Fe içeren bir bileşen olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.16). Bu bileşim, özellikle piroksen ve amfibol grubu mineralleri ile uyumlu görünmektedir. Fe ve Mn içeriği yüksek olup, Si ve Ca içeriği bu gruplarla uyumludur. 3. noktanın kimyasal bileşimi incelendiğinde %27.05 Ca, %3.30 Fe, %1.72 Si ve %1.64 Al içerdiği, bu bileşimin olasılıkla diyopsit veya ferrosilit gibi Ca-zengin bir piroksen olabileceği değerlendirilmiştir. Dördüncü noktada levhamsı yüzeye sahip kristal yapı görülmekte olup, EDS analizinde %16.06 Si, %10.24 Al, %4.37 K, %1.29 Fe ve %1.23 Mg içerdiği belirlenmiştir. Levhamsı yüzey yapısına sahip bileşenin, muhtemelen mika grubu minerallerden birine, özellikle de muskovit veya illit gibi alüminyum ve potasyum içeriği yüksek olan bir mika minerali olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.16).

BF-41 numaralı kumtaşı örneğinin SEM incelemesi sonucunda, nispeten gözenekli yapıya sahip olduğu ve bileşenlerin arasında düzensiz küçük boşlukların olduğu görülmektedir (Şekil 3.17). Birinci noktada yapılan EDS analizi sonuçlarına göre, %16.22 Si, %10.73 Al, %4.57 K, %1.51 Mg ve %0.78 Fe içeriği belirlenmiştir. Daha küçük ve düzensiz levhamsı yüzeylere sahip olan bu mineral bileşenin, illit türü mika olabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 3.16: BF-24 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

İkinci nokta kısmen yuvarlaklaşmış, oldukça prüzlü yüzey morfolojisine sahip olup, %33.72.19 Si içermektedir. Bu noktadaki bileşenin kuvars minerali olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.17). 3. noktada üst üste yığılmış düzensiz kristal agregatları şeklindeki mineral bileşeni görülmektedir. Bu noktanın kimyasal bileşimi incelendiğinde %16.38 Si, %7.16 Na, %6.04 Al içerdiği, bu bileşimin olasılıkla albit bileşimli feldispat mineraline karşılık geldiği değerlendirilmiştir. Dördüncü noktada düzgün ve prüzsüz yüzey morfolojisine sahip kristal yapı görülmekte olup, EDS analizinde %17.72 Si, %7.16 Na, ve %6.45 Al içerdiği belirlenmiştir. Bu bileşimin olasılıkla albit bileşimli feldispat mineralini yansıttığı değerlendirilmiştir. (Şekil 3.17).



Şekil 3.17: BF-41 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

BF-44 numaralı kumtaşı örneğinin SEM incelemesi sonucunda, örneğin gözenekli bir yapıya sahip olduğu ve incelenen alanda yapraksı minerallerin bol miktarda bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 3.18). Birinci noktada yapılan EDS analizi sonuçlarına göre, %16.48 Si, %12.24 Al, %5.00 K, %2.97 Fe, %0.74 Mg ve %0.60 Na içeridiği belirlenmiştir. Düzensiz küçük levhalar şeklinde kristal yüzeye sahip olan bu bileşenin, mika mineral grubuna, özellikle biyotit türüne ait olabileceği değerlendirilmiştir. İkinci nokta %14.01 Fe, %11.83 Si, %6.45, %0.81 K, %0.76 Na ve %0.55 Ca bileşimindedir. Bu noktanın muhtemelen yüksek demir içeren klorit minerali olabilceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.18). 3. noktanın kimyasal bileşimi incelendiğinde %34.65 Si içeren kuvars mineraline karşılık geldiği düşünülmektedir. Dördüncü noktada küçük prizmatik kristal yüzeyine sahip kristal yapı görülmekte olup, EDS analizinde %16.55 Ca, %9.63 P, %8.20 F ve %0.58 Si içerdiği belirlenmiştir. Bu noktadaki mineral bileşen büyük olasılıkla F-apatit (Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>F) (apatit grubu mineralleri) olarak tanımlanabilir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18: BF-44 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

SEM incelemeleri sonucunda, BF-49 numaralı kumtaşı örneğinin kısmen gözenekli bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.19). EDS analizi sonuçlarına göre, birinci noktada %8.25 Al, %7.58 Si, %5.00 Mg, %4.46 Fe ve %0.56 K içeriği belirlenmiştir. Bu noktada levhamsı kristal yüzeylerinin görülmesi muhtemelen biyotit bileşiminde olabileceğini düşündürmektedir. İkinci noktada %27.83 Si içeriği belirlenmiştir. Bu noktanın keskin köşelere ve nispeten prüzsüz yüzeylere sahip kuvars minerali olabileceği değerlendirilmiştir. 3. nokta üst üste yığılmış küçük levhacıklar şeklinde görülmektedir. Bu noktanın kimyasal bileşimi incelendiğinde, %21.95 Si, %4.56 Al, %2.60 Ca ve %1.83 K içerdiği belirlenmiştir. Bu noktadaki bileşimin olasılıkla K-feldispat mineraline karşılık geldiği değerlendirilmektedir. Dördüncü noktada herhangi bir kristal yapı görülmemekle birlikte, %15.59 Si, %12.48 Al, %3.15 K, %1.18 Na ve %0.57 Mg içerdiği belirlenmiştir. Bu noktanın muhtemelen matriks malzeme olabileceği ve illit ((K<sub>0.5</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub> nH<sub>2</sub>O) minerali ile büyük oranda uyumlu olabileceği değerlendirilmiştir. Bu noktanın Si, Al, ve Mg içeriği illit için tipik olup, K ve Na içerikleri illit minerali için düşüktür (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: BF-49 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

BF-59 numaralı kumtaşı örneğinin SEM incelemesi sonucunda, örneğin gözenekli bir yapıya sahip olduğu ve incelenen alanda yapraksı minerallerin bol miktarda bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 3.20). Birinci noktada %27.35 Si içeriği belirlenmiştir. Bu noktanın keskin köşelere ve nispeten pürüzsüz yüzeylere sahip kuvars minerali olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.20). İkinci noktada belirgin bir yüzey morfolojisine sahip kristal yapı görülmemekte olup, EDS analizinde %17.78 Si, %6.21 Al ve %6.00 Na içerdiği belirlenmiştir. Bu bileşimin olasılıkla

albit bileşimli feldispat mineralini yansıttığı değerlendirilmiştir. (Şekil 3.20). 3. noktanın kimyasal bileşimi incelendiğinde %15.35 Ca, %10.04 Mg, %0.63 Si ve %0.17 Al içerdiği, bu bileşimin olasılıkla dolomit bileşimli bir karbonat minerali olabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 3.20: BF-59 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

BF-64 numaralı kumtaşı örneğinin SEM incelemesi sonucunda, örneğin kısmen gözenekli bir yapıya sahip olduğu ve incelenen alanda prizmatik minerallerin fazla miktarda bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 3.21). Birinci noktada yapılan EDS analizi sonuçlarına göre, %16.64 Ca ve %11.82 Mg içeriği bulunmuştur. Bu noktada tipik olarak rombohedral kristal yapısı gözlemlenmediği için, muhtemelen dolomit bileşimli olabileceği değerlendirilmiştir. İkinci nokta %18.82 Si, %6.64 Al ve %6.13 Na içerdiği belirlenmiş olup, olasılıkla albit bileşimli feldispat minerali olabileceği değerlendirilmiştir. (Şekil 3.21).



Şekil 3.21: BF-64 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

3. noktanın EDS analizinde %7.31 Mg, %5.28 Si, %4.35 Fe, %4.43 Ca ve %1.16 Al içerdiği belirlenmiştir. Bu noktanın klorit minerali minerali olabileceği değerlendirilmiştir. Noktanın Mg, Fe, ve Si içeriği klorit minerali ile uyumludur.

SEM incelemeleri sonucunda, BF-68 numaralı kumtaşı örneğinin kısmen gözenekli bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.22). EDS analizi sonuçlarına göre, birinci noktada %15.09 Fe, %9.12 Si, %8.74 Al ve %6.78 Mg içeriği belirlenmiştir. BF-68 numaralı örneğin birinici noktasının kimyasal bileşiminin piroksen minerali (ojit gibi Fe ve Mg'ce zengin) ile uyumlu olabileceği değerlendirilmiştir. İkinci nokta %20.81 Si, %7.31 Al ve %6.24 Na içerdiği belirlenmiş olup, olasılıkla albit bileşimli feldispat minerali olarak değerlendirilmiştir. (Şekil 3.22). EDS analizlerine göre üçüncü ve dördüncü noktalarda sırasıyla %30.11 Fe, %6.38 Al, %5.54 Si ile %22.77 Fe, %18.36 Si, %9.52 Al, %1.96 K içerikleri belirlenmiştir. Herhangi bir kristal yapısı gözlemlenmediği için bu noktaların muhtemelen yüksek Fe içeren (hematit) bir çimento olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22: BF-68 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

Acıdere ÖSK'sından alınan BFAC-4 numaralı kumtaşı örneğinin SEM-EDS incelemeleri sonucunda kısmen gözenekli bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Birinci ve üçüncü noktaların sırasıyla %32.42 Si ve %34.58 Si içerdikleri tespit edilmiştir. Bu noktaların köşeli yapıda, pürüzsüz kristal yüzeyine sahip kuvars minerali olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.23). İkinci noktanın EDS analizinde %25.57 Ca, %2.75 Si, %2.62 Mg, %0.49 Fe ve %0.47 Al içerdiği belirlenmiştir. 2. noktanın tek bir mineralin teorik bileşiminden ziyade, birden fazla mineralin

karışımını veya diyajenetik süreçlerin etkisiyle oluşmuş bir mineral topluluğunu (muhtemelen matriks malzeme) işaret ediyor olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.23). Dördüncü noktanın kimyasal bileşimi incelendiğinde %24.21 Ca, %7.56 Mg, %5.16 Fe ve %0.50 Al içerdiği, bu bileşimin olasılıkla ankerit (Ca (Fe, Mg)(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) bileşimli bir karbonat minerali olabileceği değerlendirilmiştir.

Acıdere ÖSK'sından alınan BFAC-7 numaralı kumtaşı örneğinin SEM-EDS incelemeleri sonucunda kısmen gözenekli bir yapıya sahip olduğu ve köşeli yüzeylere sahip minerallerin fazlaca olduğu belirlenmiştir. Birinci, ikinci ve dördüncü noktaların sırasıyla %14.12 Ca, %11.72 Mg; %14.32 Ca, %11.79 Mg ve %10.29 Ca, %8.99 Mg içerdikleri tespit edilmiştir. Bu noktaların köşeli yapıda, pürüzsüz kristal yüzeylerine sahip dolomit minerali olabileceği değerlendirilmiştir. Üçüncü noktanın EDS analizinde %17.28 Ca, %1.91 Si, %0.97 Mg ve %0.17 Al içerdiği belirlenmiştir. Bu noktanında muhtemelen matriks malzeme olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.23: BFAC-4 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.



Şekil 3.24: BFAC-7 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

Acıdere ÖSK'sından alınan BFAC-13 numaralı kumtaşı örneğinin SEM-EDS incelemelerine göre kısmen gözenekli bir yapıya sahip olduğu ve prizmatik yüzeylere sahip minerallerin fazlaca olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.25). 1. ve 2. noktaların kimyasal bileşimlerinin sırasıyla %20.86 Si, %7.16 Al, %6.68 Na ile %19.71 Si, %6.98 Al, %6.48 Na olduğu belirlenmiş olup, olasılıkla albit bileşimli feldispat mineralleri olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.25). 3. noktada küçük prizmatik kristal yüzeyine sahip kristal yapı görülmekte olup, EDS analizinde %28.16 Ca, %12.39 P ve %0.67 Si içerdiği belirlenmiştir. Bu noktadaki mineral bileşen büyük olasılıkla apatit (Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) olarak tanımlanabilir. 4. nokta %13.41 Fe, %11.28 Ca, %3.12 Mg ve %2.26 Si bileşiminde olup, piroksen minerali (ojit gibi Fe ve Mg'ce zengin) ile uyumlu olabileceği değerlendirilmiştir. Si içeriği beklenen değerden düşük olsa da, bazı piroksen türlerinde Si içeriği bu kadar düşük olabilmektedir (Şekil 3.25).



Şekil 3. 25: BFAC-13 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

Acıdere ÖSK'sından alınan BFAC-17 numaralı kumtaşı örneğinin SEM-EDS incelemeleri sonucunda nispeten gözeneksiz bir yapıda olduğu, köşeli yüzeylere sahip mineraller ile yapraksı minerallerin fazlaca bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 3.26). Birinci noktanın kimyasal içeriğinin %13.75 Si, %9.86 Al, %3.72 K, %1.23 Mg ve %0.60 Fe olduğu tespit edilmiştir. Bu noktada görülen levhamsı kristal muhtemelen muskovit bilesiminde yüzeylerinin görülmesi olabileceğini düşündürmektedir (Şekil 3.26). EDS analizi sonuçlarına göre, ikinci noktada %25.28 Si ve %2.93 Fe içeriği belirlenmiştir. Bu noktada kısmen yuvarlaklaşmış bir tane görülmekte olup, kimyasal bileşimine dayanarak kuvars bileşimli olabileceği düşünülmektedir. Bu nokta görülen Fe içeriği kuvarsın etrafını saran demirli bileşiklerin varlığıyla açıklanmıştır. 3. noktanın EDS analizine göre %11.50 Si, %10.45 Al, %9.14 Fe, %4.03 Mg ve %2.54 K içerdiği belirlenmiştir (Şekil 3.26). Kısmen yapraksı yüzeylerin görüldüğü bu noktanın klorit mineraline ait olabileceği değerlendirilmiştir. Dördüncü nokta %15.60 Fe, %9.44 Si, %2.83 Al, %2.13 Ca, %1.51 Ti, %1.32 K ve %0.25 Na bileşiminde olup, olasılıkla diyopsit bileşimli bir piroksen olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.26).



Şekil 3.26: BFAC-17 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

Köprübaşı ÖSK'sından alınan BFKB-3 numaralı kumtaşı örneğinin SEM-EDS incelemeleri sonucunda kısmen gözenekli bir yapıda olduğu, levhamsı yüzeylere sahip minerallerin fazlaca bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 3.27). Birinci noktanın kimyasal içeriğinin %18.65 Ca, %2.94 Si, %1.62 Mg ve %0.52 Al oluştuğu tespit edilmiştir. Bu noktada görülen rombohedral kristal yapısı eser miktarda Si, Mg ve Al içeren kalsit minerali olabileceğini düşündürmektedir. EDS analizi sonuçlarına göre, ikinci noktanın %17.67 Si, %10.74 Mg, %4.40 Fe, %2.86 Al ve %1.95 Ca içerdiği belirlenmiştir (Şekil 3.27). Kısmen yapraksı yüzeylerin görüldüğü bu noktanın klorit mineraline ait olabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 3. 27: BFKB-3 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

Köprübaşı ÖSK'sından alınan BFKB-5 numaralı kumtaşı örneğinin SEM-EDS incelemeleri sonucunda nispeten gözeneksiz bir yapıda olduğu, levhamsı yüzeylere sahip minerallerin fazlaca bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 3.28). Birinci noktanın kimyasal içeriğinin %20.16 Ca, %5.38 Mg, %4.31 Si, %3.48 Al, %1.91 Fe, %0.67 Na ve %0.65 K'dan oluştuğu tespit edilmiştir. Herhangi bir kristal morfolojisinin görülmediği bu noktanın tek bir mineralin teorik bileşiminden ziyade, birden fazla mineralin karışımını veya diyajenetik süreçlerin etkisiyle oluşmuş bir mineral topluluğunu (muhtemelen matriks malzeme) işaret ediyor olabileceği değerlendirilmiştir. EDS analizi sonuçlarına göre, ikinci noktanın %17.84 Si, %12.81 Al, %7.15 K, %2.02 Fe ve %1.08 Mg içerdiği belirlenmiştir (Şekil 3.28). Pseudohekzagonal bir kristal yapısına sahip olan mineralin mika grubuna (muhtemelen biyotit) ait olabileceği değerlendirilmiştir. 3. noktanın kimyasal içeriğinin %19.54 Ca, %6.87 Mg, %1.80 Fe ve %0.28 Si 'dan oluştuğu tespit edilmiştir. Bu noktanında muhtemelen matriks malzeme olabileceği değerlendirilmiştir (Şekil 3.28).


Şekil 3.28: BFKB-5 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri.

Köprübaşı ÖSK'sından alınan BFKB-9 numaralı kumtaşı örneğinin SEM-EDS incelemeleri sonucunda gözenekli bir yapıda olduğu, levhamsı yüzeylere sahip minerallerin fazlaca bulunduğu belirlenmiştir (Şekil 3.29). 1, 2. ve 3. noktaların kimyasal içeriklerinin sırasıyla %11.82 Si, %7.02 Mg, %4.59 Al, %2.73 Ca, %1.97 Fe, 0.29 K; %19.76 Si, %7.08 Mg, %6.38 Fe, %4.03 Ca, %3.39 Al, %0.99 K; %11.82 Si, %7.02 Mg, %4.59 Al, %2.73 Ca, %1.97 Fe, %0.29 K'dan oluştuğu tespit edilmiştir'dan oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 3.29). Bu noktaların klorit mineraline ait olabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 3.29: BFKB-9 numaralı kumtaşı örneğinin SEM görüntüsü ve nokta analizleri..

SEM-EDS nokta analizi yapılırken, yalnızca belirli bir bölgedeki bileşim ölçülmektedir. Analiz edilen nokta çok küçük (mikrometre boyutlarında) ve sınırlı olduğundan, analiz edilen bölgenin özelliklerine göre farklı sonuçlar almamız olağan bir durumdur. Benzer optik özelliklere sahip bileşenlerin SEM-EDS ile belirlenen kimyasal içeriklerinde görülen farklılıklar genellikle örneğin heterojen yapısından, analiz koşullarından, cihaz kalibrasyonundan ve bileşenler arasındaki kimyasal

etkileşimlerden metamorfizma, (diyajenez, alterasyon süreçlerinde) kaynaklanmaktadır. Ayrıca, aynı mineral bileşene ait farklı yüzeylerde mineral içi fazların heterojen olarak dağılması nedeniyle, ölçümlerde farklılık görülmesi beklenen bir durumdur. SEM-EDS analizleri sonucunda, kumtaşlarını oluşturan mineral bileşenlerin matriks ile olan ilişkileri ve gözeneklilik durumu, gerçekleştirilen büyütmenin yetersiz kalması, daha büyük büyütmelerde sağlıklı görüntü elde edilememesi, karbon kaplamanın bazı bölgelerde yetersizliği ve genellikle birçok farklı bileşen ile mineral fazının varlığı nedeniyle SEM görüntüleri üzerinde daha derinlemesine bir değerlendirme yapılamamıştır. Bununla birlikte, SEM-EDS çalışmalarında belirlenen mineral bileşimlerin, optik mikroskop ve XRD incelemeleriyle belirlenen mineralojik bileşimle yüksek bir uyum gösterdiği tespit edilmiştir.

# 4. JEOKİMYASAL ÖZELLİKLER

Arazi, XRD ve SEM-EDS çalışmalarında mineraolojik-petrografik özellikleri ayrıntılı olarak ortaya çıkarılan kumtaşı örneklerinin jeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla ana, iz element ve Nadir Toprak Elementleri (NTE) analizleri yaptırılmıştır. Analiz sonuçlarının kutu grafikler kullanılarak yorumlaması yapılmış ve kumtaşı örneklerinin karakteristik jeokimyasal özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Kumtaşı örneklerine ait ana oksit, iz ve NTE element analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Kumtaşlarının kimyasal analiz sonuçları kutu grafikler kullanılarak yorumlanmış, kimyasal karakteristikleri ortaya çıkarılmıştır. Kutu grafikleri (boxplot) bir veri setindeki dağılımı özetlemek için kullanılan bir istatistiksel görselleştirme aracıdır. Kutu grafiği, veri setindeki en küçük değer, birinci dörtlük (Q1), medyan (Q2), üçüncü dörtlük (Q3) ve en büyük değerleri gösterir. Aynı zamanda veri setindeki beklenmeyen değerleri de görselleştirmeye yarar (Şekil 4.1).

Kutu grafiği aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

Kutu: Kutu, birinci dörtlük (Q1) ile üçüncü dörtlük (Q3) arasındaki veriyi kapsar. Kutu içindeki çizgi medyanı (Q2) temsil eder.

**Bıyıklar:** Kutu dışına uzanan çizgilerdir. Verinin en küçük ve en büyük değerlerini gösterir.

**Beklenmeyen Değerler:** Kutu dışındaki verilerdir ve genellikle "bıyık" sınırlarının dışında kalan değerlerdir. Bu noktalar çoğunlukla veri kümesindeki uç veya sıra dışı değerleri ifade eder.

Bu grafikler veri setindeki merkezi eğilim ve dağılımın yanı sıra, simetri veya asimetri olup olmadığını da görmeye yardımcı olur (Davis 2002; Attanasio 2003; Koralay ve Kılınçarslan 2016).

Örnek Numaras 1	BFKB-3	BFKB-5	BFKB-8	BFKB-10	BFKB-14	BFAC-4	BFAC-6	BFAC-7	BFAC-10	BFAC-13	BFAC-14	BFAC-17	BFAC-20	BF-5	BF-8	BF-13	BF-14	BF-16
SiO2	45,53	13,83	11,92	25,78	60,44	25,71	21,98	25,38	73,37	66,58	63,24	61,07	69,57	64,89	31,67	69,58	37,65	55,76
TiO2	0,18	0,20	0,19	0,26	0,68	0,10	0,37	0,10	0,76	0,84	1,04	0,76	0,62	0,82	0,26	0,72	0,31	0,36
Al2O3	2,95	3,53	3,58	3,41	10,57	1,61	7,81	1,52	11,77	8,87	8,95	9,69	8,73	8,48	3,67	10,56	4,12	5,77
Fe2O3	3,78	3,28	2,79	4,12	4,61	1,82	3,45	1,84	3,34	4,60	4,02	6,11	2,98	4,14	3,83	3,71	4,54	3,00
MnO	0,06	0,14	0,09	0,15	0,07	0,04	0,08	0,05	0,03	0,07	0,07	0,15	0,05	0,10	0,11	0,04	0,08	0,05
MgO	12,65	16,61	16,94	13,03	1,73	10,45	11,18	10,13	1,08	1,73	1,35	1,46	0,81	1,35	10,20	1,55	12,81	4,90
CaO	15,12	24,04	24,68	22,46	8,99	27,33	22,67	28,20	2,39	7,01	9,36	8,48	7,44	9,04	23,98	4,64	17,25	14,18
Na2O	0,09	0,25	0,25	0,31	1,23	0,23	0,44	0,20	1,21	1,30	1,20	1,07	1,06	1,04	0,18	1,18	0,47	0,50
K2O	0,32	0,59	0,64	0,42	1,76	0,20	1,61	0,19	1,84	1,34	1,33	1,49	1,39	1,19	0,48	1,72	0,52	0,91
P2O5	0,05	0,17	0,15	0,09	0,14	0,04	0,08	0,04	0,10	0,18	0,23	0,15	0,11	0,20	0,07	0,09	0,08	0,06
LOI	19,27	37,49	38,78	29,61	9,69	31,25	29,86	31,93	3,86	7,55	9,12	9,19	7,50	8,79	25,53	5,47	22,02	14,88
Toplam	99,99	100,12	100,01	99,63	99,91	98,78	99,54	99,57	99,74	100,09	99,90	99,61	100,27	100,03	99,97	99,26	99,85	100,36
Cs	0,89	2,55	2,59	4,76	4,14	0,65	4,61	0,57	4,74	2,82	2,79	3,47	3,28	3,05	1,67	4,26	1,23	2,11
Rb	11,1	25,3	28,8	75,1	73,9	7,19	66,2	6,52	75,8	54,2	53,9	60,8	56,7	49,0	18,0	71,1	18,5	35,4
Ba	49,7	109	114	352	362	45,5	274	47,6	347	268	258	288	285	231	85,3	338	88,5	175
Sr	136	359	288	105	147	163	209	172	105	134	166	153	175	150	159	108	119	114
Pb	6,02	7,26	8,04	13,4	14,0	7,53	38,9	7,33	13,2	10,6	10,5	12,0	11,8	9,59	7,71	11,3	6,55	8,40
Th	1,62	2,77	2,84	8,45	8,55	0,98	6,45	0,92	8,29	8,08	10,1	8,05	6,67	9,78	2,68	7,53	2,97	4,18
U	2,71	3,37	3,09	1,91	2,28	1,57	2,80	1,38	1,90	2,17	2,50	2,02	1,61	2,45	1,57	1,83	1,56	1,29
Zr	27,2	44,3	43,5	155	178	14,8	74,9	13,3	156	211	204	132	139	229	51,1	148	73,3	71,2

Tablo 4.1: Bayıralan Forması kumtaşı örneklerinin tüm kayaç ana oksit, iz ve Nadir Toprak Element (NTE) analiz sonuçları.

Örnek Numarası	BFKB-3	BFKB-5	BFKB-8	BFKB-10	BFKB-14	BFAC-4	BFAC-6	BFAC-7	BFAC-10	BFAC-13	BFAC-14	BFAC-17	BFAC-20	BF-5	BF-8	BF-13	BF-14	BF-16
Hf	0,80	1,31	1,22	4,53	5,14	0,44	2,17	0,38	4,40	6,02	5,97	3,81	3,99	6,43	1,44	4,20	2,13	2,08
Та	0,64	0,44	0,35	1,85	1,61	0,57	0,58	0,53	1,81	1,78	2,29	1,61	2,84	2,27	0,54	1,84	0,59	0,98
Y	6,97	7,44	6,50	22,1	22,1	6,15	13,2	5,88	21,2	23,8	29,7	23,1	18,4	32,2	8,60	21,0	10,3	11,8
Nb	2,81	4,27	4,12	13,7	13,2	1,93	7,53	1,67	13,6	14,9	19,3	14,5	12,0	15,2	4,39	14,0	5,48	6,75
Sc	6,94	4,92	5,03	9,4	10,4	4,66	9,68	4,31	9,7	8,76	9,36	10,1	8,01	8,87	7,41	9,93	8,14	6,88
Cr	974	202	170	55,9	81,5	737	166	496	56,6	46,9	51,1	52,9	46,1	54,1	927	56,8	1044	280
Ni	695	141	142	38,6	67,9	366	223	231	39,5	33,8	34,9	34,0	52,0	40,1	623	37,2	696	210
Со	54,2	17,9	16,2	34,1	36,1	41,6	25,7	38,4	34,6	31,6	34,0	27,5	62,9	45,5	43,1	42,1	45,4	36,0
V	38,2	38,7	37,3	80,5	83,9	28,7	77,7	25,3	81,9	68,2	73,0	78,0	63,0	69,6	48,1	81,5	53,0	50,6
Ga	3,41	4,72	4,76	15,1	14,6	2,02	10,2	1,82	15,0	11,7	11,8	12,9	11,2	11,5	4,64	14,2	5,00	7,45
Zn	35,4	25,7	28,8	56,5	66,3	34,5	84,2	32,4	57,9	57,5	61,5	56,4	50,3	51,1	42,1	56,4	44,3	44,4
Cu	9,07	10,4	11,5	16,3	15,0	9,18	37,2	5,97	16,9	15,3	12,4	14,3	15,0	10,9	12,3	12,7	14,7	10,0
Li	11,1	14,6	14,9	34,5	28,9	7,31	25,4	6,80	34,5	22,3	22,4	26,6	22,6	23,4	14,0	30,2	12,4	20,6
Be	0,34	0,64	0,66	1,83	1,77	0,18	1,34	0,17	1,91	1,34	1,07	1,53	1,21	1,17	0,44	1,58	0,41	0,86
Sn	0,43	0,83	0,64	2,26	2,21	0,70	1,50	0,26	2,20	1,94	2,22	2,28	1,95	2,03	0,60	2,39	0,64	1,02
La	6,05	8,93	8,91	27,5	29,3	5,45	17,6	5,04	27,9	27,0	34,0	25,1	21,1	36,1	10,2	24,5	11,2	15,7
Ce	11,4	18,2	18,2	51,3	58,9	7,80	32,9	7,02	52,2	53,2	68,0	49,7	42,2	72,8	19,5	49,1	22,9	29,2
Pr	1,54	2,14	2,17	6,23	6,98	1,23	4,01	1,15	6,29	6,42	8,10	5,98	4,94	8,62	2,41	5,79	2,75	3,52
Nd	5,62	7,79	8,21	22,9	26,0	4,77	15,2	4,35	23,5	23,6	29,7	22,1	18,6	32,1	9,05	21,2	10,1	13,0
Sm	1,29	1,72	1,72	4,61	5,48	1,02	3,21	1,01	4,82	4,94	6,24	4,63	3,97	6,46	1,92	4,46	2,07	2,82

# Tablo 4.1: devamı

Örnek Numarası	BFKB-3	BFKB-5	BFKB-8	BFKB-10	BFKB-14	BFAC-4	BFAC-6	BFAC-7	BFAC-10	BFAC-13	BFAC-14	BFAC-17	BFAC-20	BF-5	BF-8	BF-13	BF-14	BF-16
Eu	0,33	0,35	0,34	0,94	1,17	0,25	0,66	0,22	0,94	1,04	1,26	0,99	0,81	1,37	0,42	0,93	0,52	0,62
Gd	1,40	1,48	1,33	4,21	4,50	1,00	2,54	0,95	4,12	4,55	5,54	4,35	3,59	6,08	1,75	3,94	2,10	2,47
Tb	0,22	0,24	0,21	0,68	0,71	0,15	0,43	0,15	0,66	0,73	0,87	0,67	0,57	0,94	0,27	0,64	0,31	0,39
Dy	1,32	1,40	1,28	3,97	4,04	0,95	2,51	0,89	3,78	4,37	5,30	4,20	3,35	5,78	1,60	3,80	1,98	2,27
Но	0,26	0,26	0,24	0,83	0,80	0,19	0,50	0,19	0,79	0,85	1,06	0,85	0,69	1,17	0,32	0,76	0,37	0,45
Er	0,69	0,76	0,68	2,21	2,23	0,55	1,42	0,53	2,24	2,48	3,05	2,39	1,97	3,30	0,88	2,20	1,08	1,27
Tm	0,100	0,11	0,11	0,32	0,32	0,079	0,21	0,077	0,31	0,35	0,42	0,35	0,28	0,46	0,13	0,31	0,15	0,18
Yb	0,71	0,76	0,70	2,17	2,22	0,49	1,40	0,46	2,12	2,28	2,73	2,24	1,82	3,02	0,85	2,05	1,05	1,21
Lu	0,112	0,11	0,11	0,32	0,31	0,072	0,21	0,070	0,31	0,34	0,40	0,33	0,28	0,43	0,13	0,30	0,16	0,18
Toplam REE	31,03	44,27	44,14	128,21	142,97	24,00	82,79	22,11	129,94	132,15	166,70	123,82	104,24	178,58	49,44	119,94	56,82	73,26
(La/Lu) <sub>NASC</sub>	0,80	1,21	1,20	1,28	1,39	1,13	1,22	1,06	1,33	1,18	1,26	1,13	1,13	1,23	1,18	1,20	1,06	1,30
(La/Lu) <sub>PAAS</sub>	0,61	0,93	0,92	0,98	1,06	0,86	0,93	0,82	1,02	0,90	0,96	0,87	0,87	0,94	0,91	0,92	0,81	1,00
(La/Sm) <sub>NASC</sub>	0,84	0,93	0,93	1,07	0,96	0,96	0,99	0,90	1,04	0,98	0,98	0,97	0,96	1,00	0,96	0,99	0,98	1,00
(Sm/Lu) <sub>NASC</sub>	0,95	1,30	1,28	1,19	1,44	1,17	1,24	1,18	1,28	1,20	1,28	1,16	1,19	1,23	1,23	1,21	1,09	1,30
(La/Sm) <sub>PAAS</sub>	0,68	0,75	0,75	0,87	0,78	0,78	0,80	0,73	0,84	0,79	0,79	0,79	0,77	0,81	0,78	0,80	0,79	0,81
(Sm/Lu) <sub>PAAS</sub>	0,90	1,23	1,22	1,13	1,37	1,11	1,17	1,12	1,21	1,14	1,22	1,10	1,13	1,16	1,17	1,15	1,03	1,24
(Eu/Eu*) <sub>NASC</sub>	1,10	0,98	1,00	0,95	1,04	1,08	1,02	1,01	0,93	0,97	0,95	0,98	0,95	0,97	1,01	0,98	1,10	1,05
(Eu/Eu*) <sub>PAAS</sub>	1,17	1,04	1,06	1,00	1,11	1,15	1,09	1,07	0,99	1,03	1,01	1,04	1,00	1,03	1,07	1,04	1,17	1,11

Tablo 4	<b>.1:</b> devamı
---------	-------------------

Örnek Numarası	BF-18	BF-20	BF-21	BF-24	BF-34	BF-41	BF-42	BF-44	BF-49	BF-55	BF-59	BF-60	BF-61	BF-63	BF-64	BF-66	BF-68
SiO2	44,87	40,71	35,89	64,11	65,60	69,55	71,06	64,32	68,48	73,36	74,48	61,00	60,45	71,96	42,39	53,09	65,17
TiO2	0,28	0,37	0,28	0,60	0,74	0,57	0,82	0,65	0,59	0,74	0,83	0,57	0,69	0,46	0,36	0,62	0,86
Al2O3	4,18	5,97	3,46	7,98	10,35	8,28	10,77	9,59	8,58	10,35	9,03	8,12	8,25	7,24	5,14	7,20	9,92
Fe2O3	4,06	3,37	2,58	4,45	8,52	3,14	4,40	3,66	2,71	3,96	4,83	4,13	3,71	2,41	4,10	13,66	8,69
MnO	0,05	0,08	0,05	0,08	0,07	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,03	0,05	0,13	0,04	0,08	0,12	0,07
MgO	12,73	4,32	5,32	1,30	1,21	0,80	0,91	0,81	1,11	1,35	1,79	6,71	1,20	0,90	5,33	1,67	1,12
CaO	14,61	21,84	26,05	9,74	4,55	7,80	4,13	6,98	7,89	3,05	2,59	6,42	12,09	7,46	20,12	10,13	4,92
Na2O	0,21	0,74	0,56	0,80	1,24	1,04	1,26	1,14	1,08	1,09	1,01	0,83	1,10	0,91	0,60	0,75	0,99
К2О	0,61	1,03	0,50	1,28	1,64	1,40	1,71	1,45	1,42	1,71	1,21	1,22	1,22	1,23	0,72	1,13	1,47
P2O5	0,06	0,10	0,06	0,10	0,15	0,09	0,12	0,11	0,08	0,10	0,13	0,09	0,15	0,08	0,09	0,15	0,21
LOI	18,02	21,59	25,41	9,91	6,29	7,67	5,02	7,86	7,74	4,29	3,93	11,21	10,99	7,04	20,90	11,63	6,62
Toplam	99,66	100,12	100,16	100,34	100,36	100,38	100,26	96,61	99,72	100,03	99,86	100,36	99,97	99,72	99,83	100,14	100,04
Cs	1,99	2,18	1,01	3,24	4,16	2,77	3,84	3,68	3,14	4,02	3,22	2,69	2,71	2,46	1,95	2,61	3,64
Rb	22,4	44,0	19,6	54,0	69,3	56,4	69,2	62,2	58,8	69,1	51,2	49,0	49,3	48,5	28,7	47,4	61,5
Ba	123	177	83,3	241	328	287	342	288	292	318	239	238	244	241	125	250	292
Sr	131	216	235	228	116	133	108	123	192	93,7	89,8	70,4	165	119	177	157	120
Pb	8,72	8,21	6,77	12,4	11,5	10,9	13,9	12,5	12,1	9,85	11,6	9,72	12,0	10,5	8,53	10,3	12,5
Th	2,78	5,18	3,31	7,13	9,56	6,73	11,2	8,24	6,32	9,14	9,93	6,66	7,66	5,57	3,72	6,68	9,87
U	1,30	1,59	1,28	1,95	3,03	1,58	1,91	2,92	1,72	2,19	2,45	1,80	2,14	1,28	2,07	2,80	2,74
Zr	46,2	95,5	43,5	112	171	102	141	179	139	138	357	124	150	99,6	70,8	98	216

Örnek Numarası	BF-18	BF-20	BF-21	BF-24	BF-34	BF-41	BF-42	BF-44	BF-49	BF-55	BF-59	BF-60	BF-61	BF-63	BF-64	BF-66	BF-68
Hf	1,31	2,51	1,22	3,15	4,87	2,97	4,06	5,17	3,75	3,83	10,4	3,39	4,44	2,92	1,99	2,73	6,07
Та	0,62	1,12	0,88	1,80	1,56	1,80	1,62	1,65	1,71	2,39	1,87	1,16	1,41	2,13	0,94	1,40	1,66
Y	8,47	14,2	9,15	20,4	24,1	18,7	21,8	29,2	18,8	19,3	36,9	21,9	24,6	16,7	12,0	21,4	23,6
Nb	5,52	7,75	5,06	11,7	13,7	9,99	14,2	12,2	9,82	12,3	15,9	9,95	11,3	7,85	6,85	11,8	15,1
Sc	7,29	6,24	4,36	8,28	10,4	7,57	9,88	9,10	7,93	9,52	8,98	9,39	7,74	6,24	8,01	8,23	9,35
Cr	668	237	327	42,3	61,4	41,0	56,9	52,8	44,0	54,8	96,5	377	44,3	34,3	618	40,8	56,9
Ni	502	148	152	38,5	37,6	37,1	35,3	39,7	37,1	48,0	67,5	274	29,7	39,1	377	27,6	35,5
Со	40,4	34,7	30,6	41,0	25,6	40,7	25,0	33,8	39,9	52,7	37,5	33,0	23,9	54,0	37,2	20,9	27,2
V	47,3	50,1	34,6	62,4	99,9	60,8	80,9	71,0	63,0	78,4	79,2	72,1	63,7	50,5	56,4	69,8	84,9
Ga	5,21	7,89	4,20	10,9	14,2	11,0	14,6	12,8	11,6	13,9	12,4	10,7	10,5	8,95	6,51	9,43	13,2
Zn	42,7	41,0	28,9	47,6	59,6	51,5	58,9	59,5	49,8	58,1	54,9	55,8	48,3	38,7	43,9	49,1	54,7
Cu	7,05	11,2	6,73	15,7	11,6	11,9	15,8	15,4	11,6	13,4	14,0	13,4	14,6	10,1	10,1	10,6	17,0
Li	14,4	18,3	12,9	23,7	29,0	19,0	28,6	29,3	21,5	28,6	29,8	25,5	21,6	18,1	19,9	20,3	27,7
Be	0,59	1,01	0,48	1,40	1,78	1,28	1,72	1,53	1,41	1,73	1,37	1,22	1,26	1,13	0,71	1,40	1,62
Sn	0,70	1,80	0,86	2,02	2,57	1,89	2,53	2,52	1,90	2,27	2,09	1,77	1,92	1,53	1,00	1,90	2,56
La	10,1	18,0	11,8	21,5	31,4	20,2	30,7	27,6	18,5	26,1	36,3	21,3	26,1	16,1	12,6	22,3	33,5
Ce	20,1	36,7	24,4	42,4	62,7	39,3	60,8	55,4	38,1	51,9	72,0	42,7	51,6	33,2	25,4	43,9	67,1
Pr	2,45	4,37	2,97	5,10	7,43	4,80	7,41	6,65	4,68	6,14	8,49	5,20	6,24	3,97	3,16	5,19	8,04
Nd	8,74	16,1	10,7	19,0	27,7	17,6	26,8	24,8	16,9	22,3	31,7	19,5	23,1	14,6	11,8	19,5	29,4
Sm	1,81	3,30	2,07	4,01	5,47	3,49	5,12	4,98	3,47	4,32	6,34	4,01	4,68	2,99	2,41	4,13	5,80

# Tablo 4.1: devamı

Örnek Numarası	BF-18	BF-20	BF-21	BF-24	BF-34	BF-41	BF-42	BF-44	BF-49	BF-55	BF-59	BF-60	BF-61	BF-63	BF-64	BF-66	BF-68
Eu	0,43	0,68	0,43	0,81	1,13	0,73	1,01	1,05	0,75	0,85	1,31	0,87	0,94	0,65	0,55	0,90	1,12
Gd	1,74	2,79	1,88	3,61	4,74	3,30	4,24	4,69	3,18	3,72	5,83	3,72	4,29	2,98	2,25	4,12	5,01
Tb	0,27	0,42	0,28	0,57	0,73	0,50	0,65	0,79	0,53	0,61	0,99	0,62	0,71	0,49	0,37	0,68	0,73
Dy	1,63	2,60	1,63	3,65	4,29	3,30	3,88	5,23	3,23	3,60	6,34	3,84	4,34	2,87	2,15	4,05	4,41
Но	0,33	0,54	0,34	0,77	0,89	0,71	0,85	1,10	0,68	0,76	1,31	0,84	0,93	0,58	0,47	0,83	0,88
Er	0,91	1,44	0,92	2,09	2,44	1,95	2,27	3,05	1,96	1,99	3,67	2,15	2,51	1,68	1,24	2,29	2,50
Tm	0,13	0,21	0,13	0,29	0,34	0,27	0,33	0,43	0,27	0,28	0,54	0,30	0,34	0,24	0,17	0,32	0,34
Yb	0,88	1,37	0,91	2,00	2,35	1,85	2,27	2,93	1,91	1,94	3,41	2,03	2,23	1,70	1,27	2,28	2,39
Lu	0,12	0,20	0,12	0,29	0,34	0,26	0,32	0,40	0,27	0,29	0,47	0,28	0,33	0,24	0,17	0,32	0,34
<b>Total REE</b>	49,62	88,69	58,67	106,19	152,00	98,22	146,54	139,21	94,45	124,76	178,67	107,39	128,38	82,39	64,05	110,84	161,67
(La/Lu) <sub>NASC</sub>	1,19	1,36	1,42	1,10	1,37	1,16	1,43	1,03	1,03	1,34	1,15	1,12	1,18	1,01	1,10	1,04	1,45
(La/Lu) <sub>PAAS</sub>	0,91	1,05	1,09	0,84	1,05	0,89	1,09	0,79	0,79	1,03	0,88	0,86	0,90	0,77	0,85	0,79	1,11
(La/Sm) <sub>NASC</sub>	1,00	0,98	1,02	0,97	1,03	1,04	1,08	1,00	0,96	1,08	1,03	0,96	1,00	0,97	0,94	0,97	1,04
(Sm/Lu) <sub>NASC</sub>	1,19	1,39	1,39	1,14	1,33	1,12	1,33	1,03	1,08	1,24	1,11	1,17	1,18	1,04	1,17	1,06	1,39
(La/Sm) <sub>PAAS</sub>	0,81	0,79	0,83	0,78	0,83	0,84	0,87	0,81	0,77	0,88	0,83	0,77	0,81	0,78	0,76	0,79	0,84
(Sm/Lu) <sub>PAAS</sub>	1,13	1,32	1,31	1,08	1,26	1,06	1,26	0,98	1,02	1,17	1,06	1,11	1,12	0,99	1,11	1,01	1,32
(Eu/Eu*) <sub>NASC</sub>	1,08	0,99	0,97	0,95	0,98	0,96	0,96	0,97	1,00	0,94	0,95	1,00	0,93	0,97	1,04	0,97	0,92
(Eu/Eu*) <sub>PAAS</sub>	1,15	1,05	1,04	1,00	1,04	1,02	1,02	1,03	1,06	1,00	1,01	1,06	0,99	1,03	1,10	1,03	0,98

# Tablo 4.1: devamı



Şekil 4.1: Kutu grafiği ve grafiği oluşturan bileşenler

# 4.1 Ana Oksit Element Özellikleri

Ana oksit element içerikleri değerlendirilirken birbirleriyle uyumlu hareket eden elementler birlikte değerlendirilmişlerdir (Şekil 4.2). Kutu grafiğinde kutunun genişliği, veri setindeki dağılımın derecesini gösterir. Geniş veya uzun kutular verilerin daha fazla dağıldığını, dar veya kısa kutular ise verilerin daha dar bir aralıkta yoğunlaştığını ifade eder. Kumtaşı örnekleri incelendiğinde, SiO<sub>2</sub> içeriği açısından nispeten geniş bir dağılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.2). Kutu grafiğindeki medyan çizgisinin konumu, verilerin simetrik veya asimetrik dağılımı hakkında bilgi sunar. Medyan çizgisinin kutuyu iki eşit parçaya böldüğü durumlarda, veri setindeki örneklerin simetrik (homojen) dağılım gösterdiği anlaşılır. Kumtaşı örneklerinin medyan değeri yaklaşık %61.00 olarak belirlenmiş ve kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın bir konumda bulunmaktadır (Şekil 4.2). Bu durum, kumtaşı örneklerinin SiO<sub>2</sub> içerikleri bakımından negatif eğik (sola çarpık) bir dağılıma sahip olduğuna işaret etmektedir. Örneklerin SiO<sub>2</sub> içeriklerinin büyük çoğunluğunun üst çeyreklerde (Q3), yani yüksek değerlere yakın bir aralıkta yoğunlaştığı, düşük SiO<sub>2</sub> içerikli örneklerin ise sınırlı sayıda olduğu anlaşılmaktadır. Bıyıklar, veri setindeki minimum ve maksimum değerleri temsil etmektedir. Alt bıyık yaklaşık %10 seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık %75'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.2).

Alt bıyık uzunluğu üst bıyık uzunluğundan fazla olup, SiO<sub>2</sub> içeriğine göre geniş bir dağılım aralığı olduğunu ve bazı örneklerin oldukça düşük veya yüksek SiO<sub>2</sub> içeriklerine sahip olduklarını göstermektedir.



Şekil 4. 2: Kumtaşı örneklerine ait ana oksit element içeriklerinin kutu grafikleri

Kil ve mika grubu minerallerin esas bileşimini oluşturan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%) içeriklerine göre kumtaşı örnekleri geniş bir dağılım göstermektedir (Şekil 4.2). Örneklerin medyan değerleri (%8.12) kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumdadır. Bununla birlikte alt ve üst bıyık uzunlukları birbirine eşit olup, alt bıyık yaklaşık %1.52 seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık %11.77'ye kadar çıkmaktadır (Şekil 4.2). Bıyık uzunluklarının eşit ve medyanın Q3'e yakın olması, verilerin sağa veya sola çarpık olmadığını, ancak veri yoğunluğunun üst değerlere yakın olduğunu gösterebilir. Bu durumda, genel olarak yüksek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikli örneklerin yoğunlukta olduğu, ancak dağılımın her iki yönde de dengeli şekilde yayıldığı söylenebilir.

Feldispat (Na-Plajiyoklaz) ve tuz minerallerinin varlığıyla ilişkilendirilen Na<sub>2</sub>O (%) içeriklerinde geniş bir dağılım gösteren kumtaşı örneklerinin medyan değeri (%0.91) olup, kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumdadır. Örnekler Na<sub>2</sub>O içerikleri bakımından negatif eğik (sola çarpık) bir dağılım göstermektedir. Alt bıyık yaklaşık %0.09 seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık %1.30'a kadar çıkmaktadır (Şekil 35). Alt bıyığın uzun olması, düşük Na<sub>2</sub>O içeriklerinin geniş bir aralığa yayıldığını ve bazı örneklerde oldukça düşük değerlerin olduğuna işaret etmektedir.

Kumtaşı örnekleri feldispat, kil ve mika minerallerinin (muskovit, biyotit, serizit gibi) varlığıyla ilişkilendirilen K<sub>2</sub>O (%) içeriklerine göre geniş bir dağılıma sahiptir (Şekil 35). Örneklerin medyan değeri (%1.22) kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumdadır. Alt ve üst bıyık uzunlukları biribirine eşit olup, alt bıyık yaklaşık %0.19 seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık %1.85'ye kadar çıkmaktadır (Şekil 35). Bıyık uzunluklarının eşit ve medyanın Q3'e yakın olması, verilerin sağa veya sola çarpık olmadığını, ancak veri yoğunluğunun üst değerlere yakın olduğunu gösterebilir. Bu durumda, genel olarak yüksek K<sub>2</sub>O içerikli örneklerin yoğunlukta olduğu, ancak dağılımın her iki yönde de dengeli şekilde yayıldığı söylenebilir.

Piroksen, epidot, sfen ve karbonat (kalsit) minerallerinin ana bileşimini oluşturan CaO (%) içeriklerine göre kumtaşı örnekleri geniş bir dağılıma sahiptir (Şekil 35). Medyan değerinin (%9.36) kutunun alt çeyreğine (Q1) yakın konumu, örneklerin CaO içerikleri bakımından pozitif eğik (sağa çarpık) bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık %2.39 seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık %28.20'ye kadar çıkmaktadır (Şekil 4.2). Üst bıyığın uzun olması, kumtaşı örneklerinin çoğunluğunun CaO içeriklerinin düşük veya orta değerlere yakın, sınırlı sayıda örneğin oldukça yüksek değerlerde olduğuna işaret etmektedir. Bu durum bazı örneklerdeki kalsit/kireçtaşı ve/veya piroksen, epidot bileşenlerin fazla miktarda olmasıyla açıklanabilir.

Kumtaşı örnekleri mafik mineral fazlarının (olivin, piroksen gibi) ana bileşenini oluşturan MgO (%) içeriği bakımından geniş bir dağılıma sahiptir (Şekil 35). Medyan değerinin (%1.73) kutunun alt çeyreğine (Q1) yakın konumu, örneklerin MgO içerikleri bakımından pozitif eğik (sağa çarpık) bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık %0.80 seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık %16.94'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.2). Üst bıyığın daha uzun olması, kumtaşı örneklerinin çoğunluğunun MgO içeriklerinin düşük veya orta değerlere yakın, sınırlı sayıda örneğin oldukça yüksek değerlerde olduğuna işaret etmektedir. Bu durum bazı örneklerdeki olivin, piroksen, epidot ve/veya dolomit bileşenlerin fazla miktarda olmasıyla açıklanabilir.

Ferro-magnezyumlu mineraller (olivin, piroksen, amfibol, biyotit) ile Fe-oksit (hematit, limonit, ilmenit), Fe-sülfür (pirit, manyetit) minerallerinin ana bileşimini oluşturan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%) içerikleri bakımından kumtaşı örnekleri dar bir dağılım göstermektedir (Şekil 4.2). Medyan değeri (%3.83) hafifçe kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumludur. Bu durum kumtaşı örnekleri arasında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriklerinin fazla değişkenlik göstermediğine ve birbirine yakın değerlerde olduğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte alt ve üst bıyık uzunlukları birbirine eşit olup, alt bıyık yaklaşık %1.82 seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık %13.66'ya kadar çıkmaktadır (Şekil 4.2). Bıyık uzunluklarının eşit ve medyanın hafifçe Q3'e yakın olması, verilerin sağa veya sola çarpık olmadığını, ancak veri yoğunluğunun üst değerlere yakın olduğunu göstermektedir.

Rutil, ilmenit, sfen gibi minerallerinin varlığıyla ilişkilendirilen TiO<sub>2</sub> (%) değerleri bakımından kumtaşı örnekleri geniş bir dağılım göstermektedir (Şekil 4.2). Medyan değeri (%0.59) hafifçe kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumludur. Alt ve üst bıyık uzunlukları nispeten biribirine eşit olup, alt bıyık yaklaşık %0.10 seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık %1.04'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.2). Bıyık uzunluklarının eşit ve medyanın hafifçe Q3'e yakın olması, verilerin sağa veya sola çarpık olmadığını, ancak veri yoğunluğunun üst değerlere yakın olduğunu

gösterebilir. Bu durumda, genel olarak yüksek  $TiO_2$  içerikli örneklerin yoğunlukta olduğu, ancak dağılımın her iki yönde de dengeli şekilde yayıldığı söylenebilir.

MnO (%) içerikleri bakımından kumtaşı örnekleri nispeten dar bir dağılım göstermektedir (Şekil 35). Medyan değeri (%0.07) hafifçe kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumludur. Alt bıyık yaklaşık %0.03 seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık %0.15'e kadar çıkmaktadır. Medyanın Q3'e yakın olması, çoğu verinin nispeten düşük aralıkta toplandığını, üst bıyığın uzun olması ise bu dar aralığın dışında bazı yüksek MnO değerlerinin varlığına işaret etmektedir (Şekil 4.2).

 $P_2O_5$  (%) içeriği bakımından nispeten dar bir dağılıma sahiptir (Şekil 4.2). Medyan değerinin (%0.10) kutunun alt çeyreğine (Q1) yakın konumu, örneklerin MgO içerikleri bakımından pozitif eğik (sağa çarpık) bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık %0.04 seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık %0.24'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.2). Üst bıyığın daha uzun olması, kumtaşı örneklerinin çoğunluğunun  $P_2O_5$  içeriklerinin düşük veya orta değerlere yakın, sınırlı sayıda örneğin oldukça yüksek değerlerde olduğuna işaret etmektedir.

## 4.2 İz Element Özellikleri

Kumtaşı örneklerinin iz element içerikleri değerlendirilirken birbirleriyle uyumlu hareket eden elementler birlikte değerlendirilmişlerdir (Şekil 4.3).

Skandiyum (Sc), doğada nadir bulunan bir elementtir ve bağımsız mineralleri nadirdir. 0.81 Å iyon yarıçapı Fe<sup>+2</sup> iyonlarına oldukça yakın olup, yüksek elektrik yükü nedeniyle ferromagnezyumca zengin mineraller içerisinde bulunmaktadır. Genellikle Nadir Toprak Elementleri (Rare Earth Elements-REE), Ti, Zr, Al gibi elementlerle uyum içinde olup, piroksen, biyotit ve hornblend mineralleri içinde belirgin Sc konsantrasyonları görülmektedir. Kumtaşı örnekleri Sc içerikleri bakımından nispeten geniş bir dağılıma sahiptir (Şekil 4.3). Medyan değerinin (8.23 ppm) kutunun alt çeyreğine (Q1) yakın konumu, örneklerin Sc içerikleri bakımından pozitif eğik (sağa çarpık) bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık 4.31 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 10.45 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Alt bıyığın uzun olması, düşük Sc içeriklerinin geniş bir aralığa yayıldığını ve bazı örneklerde oldukça düşük değerlerin olduğuna işaret etmektedir.

Vanadyum (V) düşük elektronegativitesi nedeniyle vanadinit ve manyetit içerisinde belirgin bir zenginleşme gösterir. Bununla birlikte V piroksen, amfibol, biyotit, apatit, titanit ve rutil mineralleri içerisinde değişen oranlarda görülebilir. V (ppm) içerikleri bakımından seramik örnekleri Co içerikleriyle benzer davranış göstermektedir. Medyan değerinin (63.69 ppm) kutunun orta noktasındaki konumu, örneklerin V içerikleri bakımından simetrik bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık 25.30 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 99.90 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3).

Krom (Cr) elementi kromit mineralinin ana bileşimini oluşturmakla birlikte, özellikle peridotit gibi ultramafik kayaçlarda ve bazaltlarda bulunabilir. Bu kayaçlar, Cr içeriği bakımından zengin olabilir, çünkü Cr, Fe ve Mg ile kimyasal açıdan benzer davranış gösterir. Kumtaşı örnekleri Cr içerikleri bakımından nispeten dar bir dağılıma sahiptir (Şekil 4.3). Medyan değerinin (56.92 ppm) kutunun alt çeyreğine (Q1) oldukça yakın konumu, örneklerin Cr içerikleri bakımından pozitif eğik (sağa çarpık) bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık 34.27 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 1044.36 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 36). Üst bıyığın daha uzun olması, kumtaşı örneklerinin çoğunluğunun Cr içeriklerinin düşük veya orta değerlere yakın, dört örneğin oldukça aykırı ve yüksek değerlerde olduğuna işaret etmektedir.

Kobalt (Co) elementi Fe<sup>+2</sup> elementi ile aynı iyon yarıçapına sahiptir. Bu durum Co'nun demirli mineraller (olivin, piroksen, amfibol, garnet, pirit, sfalerit) içerisinde yüksek konsantrasyonlarda bulunmasını gerektirir. Ancak kobalt Fe<sup>+2</sup> tarafından değil, genellikle Mg tarafından saklanmaktadır. Kumtaşı örnekleri Co içerikleri bakımından nispeten dar bir dağılıma sahiptir (Şekil 4.3). Medyan değerinin (35.96 ppm) kutunun orta noktasındaki konumu, örneklerin Co içerikleri bakımından simetrik bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık 16.20 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 62.90 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Bıyık uzunluklarının eşit ve medyanın kutu ortasına karşılık gelen konumu, verilerin normal (veya simetrik) bir dağılıma sahip olduğunu ve bir örneğin aşırı yüksek uç değerde olduğu belirlenmiştir. Nikel (Ni) elementi, Magnezyum (Mg) elementi ile benzer iyon yarıçapı ve elektrik yüküne sahip olduğu için Mg mineralleri (olivin, piroksen, Amfibol, Mg'lu killer, klorit vb.) içerisinde bulunmaktadır. Kumtaşı örnekleri Ni içerikleri bakımından nispeten dar bir dağılıma sahiptir (Şekil 4.3). Medyan değerinin (47.96 ppm) kutunun alt çeyreğine (Q1) yakın konumu, örneklerin Ni içerikleri bakımından pozitif eğik (sağa çarpık) bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık 27.59 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 695.81 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Üst bıyığın daha uzun olması, kumtaşı örneklerinin çoğunluğunun Ni içeriklerinin düşük veya orta değerlere yakın, sınırlı sayıda örneğin oldukça aykırı ve yüksek değerlerde olduğuna işaret etmektedir.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile kimyasal olarak benzer davranış gösteren ve kristal yapılarında Al'nin yerini alabilen Galyum (Ga), feldispatlar ve bazı alüminyum açısından zengin kil minerallerinde Al ile birlikte bulunmaktadır. Kumtaşı örnekleri Ga içeriklerine göre geniş bir dağılıma sahiptir (Şekil 4.3). Medyan değerinin (10.93 ppm) kutunun hafifçe üst çeyreğe (Q3) yakın konumda olup, negatif eğik (sola çarpık) bir dağılım göstermektedir. Alt bıyık yaklaşık 1.82 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 15.05 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Alt bıyığın uzun olması, düşük Ga içeriklerinin geniş bir aralığa yayıldığını ve bazı örneklerde oldukça düşük değerlerin olduğuna işaret etmektedir.

Rubidyum (Rb) doğada tek başına mineral oluşturabilecek bir element olmayıp, daima potasyum (K) mineralleri içerisinde bulunur. Rb'nin iyon yarıçapı K'nın iyon yarıçapına göre oldukça büyük olduğu için, Rb K mineralleri içerisinde tutulur. Örneklerin medyan değeri (51.25 ppm) kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumdadır. Alt ve üst bıyık uzunlukları biribirine eşit olup, alt bıyık yaklaşık 6.51 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 75.83 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Bıyık uzunluklarının eşit ve medyanın Q3'e yakın olması, verilerin sağa veya sola çarpık olmadığını, ancak veri yoğunluğunun üst değerlere yakın olduğunu gösterebilir. Bu durumda, genel olarak yüksek Rb içerikli örneklerin yoğunlukta olduğu, ancak dağılımın her iki yönde de dengeli şekilde yayıldığı söylenebilir.



Şekil 4.3: Kumtaşı örneklerine ait bazı iz element içeriklerinin kutu grafikleri

Stronsiyum (Sr), özellikle sülfat minerallerinde ve karbonat minerallerinde yoğun olarak bulunur. Ayrıca bazı fosfat ve silikat minerallerinde de iz miktarda yer

alabilir. Sr'nin iyon yarıçapının büyüklüğünün, Ca veya K elementlerine yakın olduğu için ya Ca mineralleri (Ca zengin plajiyoklaz, kalsit vb.) tarafından yakalanır veya K'lı minerallerinde (ortoklaz, mikroklin vb.) K elementinin yerini almaktadır. Kumtaşı örnekleri Sr içeriklerine göre dar bir dağılıma sahiptir (Şekil 4.3). Medyan değerinin (146.59 ppm) kutunun orta noktasındaki konumu, örneklerin Sr içerikleri bakımından simetrik bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık 70.41 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 358.55 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Bıyık uzunluklarının eşit ve medyanın kutu ortasına karşılık gelen konumu, verilerin normal (veya simetrik) bir dağılıma sahip olduğunu ve iki örneğin aşırı yüksek uç değerde olduğu belirlenmiştir.

Yitriyum (Y) elementi ksenotim (YPO<sub>4</sub>) ve yitrialit (Y,Th)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> gibi mineralleri oluşturan, aynı zamanda biyotit, hornblend, piroksen ve granat içerisinde değişen miktarlarda bulunan litofil element'tir. Y elementi Disprosyum (Dy) ve holmiyum (Ho) arasında bir jeokimyasal davranışa sahip olup, Ağır Nadir Toprak Elementleri (Heavy Rare Earth Elements-HREE) zenginleşmeleri için önemli bir göstergedir. Y'nin elektron yükü ve iyon yarıçapı HREE'lerine benzemekle birlikte bu elementlerce zenginleşmiş kayaç ve minarellerde belirgin artış göstermektedir. Örneklerin medyan değeri (19.31 ppm) kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumda olup, negatif eğik (sola çarpık) bir dağılım göstermektedir. Alt bıyık yaklaşık 5.86 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 36.90 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Üst bıyığın uzun olması, çoğu kumtaşı örneğinin Y içeriğinin düşük değerlere yakın olduğunu, ancak yüksek Y içeriğine sahip bazı örneklerin dağılımı etkilediğini göstermektedir.

Zirkonyum (Zr) jeolojik süreçlerde SiO<sub>2</sub> ile birlikte hareket etmektedir. Ayrıca yüksek elektrik yükü ve nisbeten daha yüksek iyon yarıçapına sahip olup, kayaç oluşturan yaygın minerallerin bünyesine girmez ve zirkon minerali olarak da bulunabilir. Kumtaşı örnekleri Zr içeriklerine göre nispeten dar bir dağılıma sahiptir (Şekil 36). Medyan değerinin (124.06 ppm) kutunun orta noktasındaki konumu, örneklerin Zr içerikleri bakımından simetrik bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık 13.34 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 357.40 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Bıyık uzunluklarının eşit ve medyanın kutu ortasına karşılık gelen konumu, verilerin normal (veya simetrik) bir dağılıma sahip olduğunu ve ve bir örneğin aşırı yüksek uç değerde olduğu belirlenmiştir.

Niyobyum (Nb) güçlü jeokimyasal tutarlılığa sahip bir element olup, Ta ile birlikte hareket eder ve çoğu kayaç ve mineralde birlikte bulunurlar. Hem Nb hem de Ta litofil elementlerdir, oksijene karşı güçlü bir afinite gösterirler ve yeryüzünün silikat kabuğunda zenginleşmişlerdir. Piroklor, kolumbit ve tantalit içerisinde zenginleşen Nb, biyotit, rutil, ilmenit, titanit kassiterit ve zirkon içerisinde değişen oranlarda bulunmaktadır. Örneklerin medyan değeri (11.28 ppm) kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumda olup, negatif eğik (sola çarpık) bir dağılım göstermektedir. Alt bıyık yaklaşık 1.67 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 19.26 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Üst bıyığın alt bıyıktan hafifçe uzun olması, çoğu kumtaşı örneğinin Nb içeriğinin düşük değerlere yakın olduğunu, ancak yüksek Nb içeriğine sahip bazı örneklerin dağılımı etkilediğini göstermektedir.

Sezyum (Cs) nispeten nadir bulunan bir elementtir. Kimyasal olarak çok yakından ilişkili olduğu Rb'den 30 kat daha az bol bulunur. Cs iyonik olarak K'ya benzer davranış gösterir ve özellikle K içeren minerallerde iz miktarda bulunabilir. Rb gibi, Cs'de potasyumun yerini alabilme eğilimindedir, ancak bu durum daha nadir olarak gerçekleşmektedir. Örneklerin medyan değeri (2.79 ppm), kutunun hafifçe alt çeyreğine (Q1) yakın bir konumda yer almakta olup, alt bıyık yaklaşık 0.57 ppm seviyesine kadar uzanırken üst bıyık 4.76 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 36). Bu durum, Cs içeriklerinin dağılımının sola çarpık olduğunu ve örneklerin büyük kısmının daha düşük ppm değerlerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Aynı zamanda, veri setinde birkaç düşük uç değerin varlığı da dikkat çekicidir.

Baryum (Ba), kalsiyum (Ca) veya sodyum (Na) ile yer değiştirmek için oldukça büyük iyon yarıçapına sahip bir element'dir. K ile karşılaştırılabilecek kadar büyük iyon yarıçapına sahip tek element olup, biyotit ve k-feldspatlar içerisinde yaygın olarak görülür. Ba ve K, benzer jeokimyasal süreçlerde taşınabilir, ancak Ba iyonik yarıçapı nedeniyle K'nın yerini almakta zorlanır. Yine de belirli sedimanter ve evaporit ortamlarda birlikte çökelme eğilimi gösterebilirler. Örneklerin medyan değeri (243.94 ppm) kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumdadır. Alt ve üst bıyık uzunlukları biribirine eşit olup, alt bıyık yaklaşık 45.51 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 361.54 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Bıyık

uzunluklarının eşit ve medyanın Q3'e yakın olması, verilerin sağa veya sola çarpık olmadığını, ancak veri yoğunluğunun üst değerlere yakın olduğunu gösterebilir. Bu durumda, genel olarak yüksek Ba içerikli örneklerin yoğunlukta olduğu, ancak dağılımın her iki yönde de dengeli şekilde yayıldığı söylenebilir.

Lantanyum (La) genellikle Seryum (Ce) ve diğer NTE'ler birlikte, biyotit, apatit, feldispat ve zirkon minerallerinin içerisinde yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Kumtaşı örnekleri La içerikleri bakımından geniş bir dağılıma sahiptir (Şekil 4.3). Medyan değeri (21.32 ppm) kutunun hafifçe üst çeyreğine (Q3) yakın konumda olup, negatif eğik (sola çarpık) bir dağılım göstermektedir. Alt bıyık yaklaşık 5.04 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 36.31 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 36). Eşit bıyık uzunlukları La içeriği bakımından aşırı uçların (outliers) olmadığı veya varsa bile simetrik bir şekilde dağıldığını, verinin belirli bir uçta yığılmadığına işaret etmektedir.

Hafniyum (Hf) jeolojik süreçlerde Zr ile aynı elektrik yüküne ve neredeyse aynı iyon yarıçapına sahip olması nedeniyle Zr ile birlikte hareket etmektedir. Bununla birlikte birlikte piroksen, garnet ve biyotit içerisinde değişen oranlarda bulunabilir. Kumtaşı örnekleri Hf içeriklerine göre geniş bir dağılıma sahiptir (Şekil 36). Medyan değerinin (3.39 ppm) kutunun orta noktasındaki konumu, örneklerin Hf içerikleri bakımından simetrik bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık 0.38 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 10.38 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Bıyık uzunluklarının eşit ve medyanın kutu ortasına karşılık gelen konumu, verilerin normal (veya simetrik) bir dağılıma sahip olduğunu ve bir örneğin aşırı yüksek uç değerde olduğu belirlenmiştir.

Talyum (Ta), K ile benzer iyonik yapıya sahip olduğu için K içeren bazı minerallerde iz miktarda bulunabilir. Özellikle biyotit ve muskovit gibi mika minerallerinde, bazı potasyum feldispatlarda (ortoklaz) ve bazı kil minerallerinde eser miktarda Ta bulunabilir veya çevredeki sülfür minerallerinden ayrışarak kil minerallerinin bünyesine geçebilir. Özellikle sedimanter ortamlarda bulunan kil mineralleri Ta içerebilir. Kumtaşı örnekleri Ta içeriklerine göre geniş bir dağılıma sahiptir (Şekil 4.3). Medyan değerinin (1.61 ppm) kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumda olup, negatif eğik (sola çarpık) bir dağılım göstermektedir. Alt bıyık yaklaşık 0.35 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 2.84 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Üst bıyığın uzun olması, çoğu kumtaşı örneğinin Ta içeriğinin düşük değerlere yakın olduğunu, ancak yüksek Ta içeriğine sahip bazı örneklerin dağılımı etkilediğini göstermektedir.

Kurşun (Pb) doğada çoğunlukla sülfür, karbonat, sülfat ve fosfat minerallerinde bulunur ve gümüş, çinko, bakır gibi metallerle uyumlu olarak bir arada yer alır. Özellikle galenit (PbS) kurşunun en yaygın mineralidir. Kumtaşı örnekleri Pb içerikleri bakımından dar bir dağılıma sahiptir (Şekil 4.3). Medyan değerinin (10.49 ppm) kutunun orta noktasındaki konumu, örneklerin Pb içerikleri bakımından simetrik bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık 6.02 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 38.86 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Bıyık uzunluklarının eşit ve medyanın kutu ortasına karşılık gelen konumu, verilerin normal (veya simetrik) bir dağılıma sahip olduğunu ve bir örneğin aşırı yüksek uç değerde olduğu belirlenmiştir.

Toryum (Th), doğada çoğunlukla silikat, fosfat, oksit ve karbonat minerallerinde bulunur ve Uranyum (U), NTE, Y, Ti gibi elementlerle uyumlu olarak yer alır. En yaygın Th mineralleri arasında zirkon, monazit, epidot, allanit, ksenotim ve uraninit bulunur. Kumtaşı örnekleri Th içerikleri bakımından geniş bir dağılıma sahiptir (Şekil 4.3). Medyan değeri (6.68 ppm) kutunun üst çeyreğine (Q3) yakın konumda olup, negatif eğik (sola çarpık) bir dağılım göstermektedir. Alt bıyık yaklaşık 0.92 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 11.16 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 4.3). Üst bıyığın alt bıyıktan uzun olması, çoğu kumtaşı örneğinin Th içeriğinin düşük değerlere yakın olduğunu, ancak yüksek Th içeriğine sahip bazı örneklerin dağılımı etkilediğini göstermektedir.

U elementi, doğada NTE, Th, V, Ca, P, Cu ve Si gibi elementlerle uyum içinde yer alır. Yaygın U mineralleri arasında uraninit, karnotit, autunit, torbernit ve zirkon bulunur. Örneklerin medyan değeri (1.95 ppm) kutunun hafifçe alt çeyreğine (Q1) yakın konumda olup, örneklerin U içerikleri bakımından pozitif eğik (sağa çarpık) bir dağılım gösterdiğine işaret etmektedir. Alt bıyık yaklaşık 1.28 ppm seviyesine kadar uzanırken, üst bıyık 3.37 ppm'e kadar çıkmaktadır (Şekil 36). Üst bıyığın alt bıyıktan uzun olması, çoğu kumtaşı örneğinin U içeriğinin düşük değerlere yakın olduğunu, ancak yüksek U içeriğine sahip bazı örneklerin dağılımı etkilediğini göstermektedir.

Çoklu element değişim diyagramları, çok sayıda jeokimyasal verinin görsel olarak karşılaştırılması ve incelenmesi için kullanılan bir grafik aracıdır. Genellikle farklı kayaç örneklerinin veya elementlerin (ana oksit, iz elementler veya NTE) bağıl bolluklarını, dağılımlarını ve ilişkilerini gösteren bir diyagram türüdür. Bu diyagramlar, özellikle kayaçların kimyasal bileşimini ve elementler arasındaki değişimi görsel olarak anlamak için kullanılır. Çoklu element değişim diyagramları oluşturmak için Arkeen sonrası döneme ait tortul kayaçların (özellikle şeyllerin) ortalama kimyasal bileşimini yansıtan Arkeen Sonrası Avustralya Şeyl (Post Archaean Australian Shale-PAAS) verileri kullanılmıştır. PAAS'ın genellikle NTE açısından zengin bir bileşime sahip olduğu, ana oksit element içerikleri açısından küresel bir ortalama kayaç bileşimini daha iyi yansıttığı kabul edilir.

Bayıralan Formasyonu kumtaşı örneklerinin, ana oksit element içerikleri açısından PAAS'a göre normalleştirildiği çoklu element değişim diyagramında, örneklerin benzer dağılım desenlerine sahip oldukları görülmektedir (Şekil 4.4a). Genel olarak kumtaşı örneklerinde Al, Ca ve Mg içerikleri bakımından PAAS'a göre belirgin zenginleşmeler görülürken, Si, Ti, Na ve K içerikleri bakımından 1-10 kata arasında değişen tüketilmeler oldukça belirgindir. PAAS'a göre normalize edilmiş iz element değişim diyagramında kumtaşı örneklerinde genel olarak 1-20 kat arasında değişen tüketilmeler karakteristiktir. Bununla birlikte özellikle ultramafik kayaçlarda yüksek değerlerde bulunabilen Cr, Co ve Ni içeriklerinde 1-10 arasında zenginleşmeler görülmektedir (Şekil 4.4b). PAAS referans değerlerine göre Al'da görülen zenginleşme örneklerin kil mineralleri ve mika içerikleri, Ca'da görülen zenginleşme karbonat mineralleri içeriği veya kireçtaşı katkısı, Mg içeriklerinde görülen kısmi zenginleşmelerin piroksen, klorit, serpantin minerallerinin göreli bolluğundan kaynaklandığı değerlendirilmiştir.



Şekil 4.4: Kumtaşı örneklerinin PAAS içeriklerine göre normalize edilmiş a) ana oksit element, b) iz element ve c) NTE çoklu element değişim diyagramları (PAAS değerleri McLennan, 1989'dan alınmıştır).

PAAS'a oranlanmış NTE çoklu element değişim diyagramında kumtaşı örneklerinin birbiriyle uyumlu ve benzer dağılım desenleri gösterdikleri görülmektedir (Şekil 4.4c). Kumtaşı örneklerinin PASS değerlerine göre NTE bakımından 1-10 arasında tüketilmiş oldukları belirlenmiştir. Kumtaşı örneklerinde (La/Lu)<sub>N</sub> orani 0.61-1.11 (ortalama 0.91±0.11), (Eu/Eu\*)<sub>N</sub> orani 0.98-1.17 (ortalama 1.05±0.05), (La/Sm)<sub>N</sub> orani 0.68-0.88 (ortalama 0.80±0.04) ve (Sm/Lu)<sub>N</sub> orani 0.90-1.37 (ortalama 1.15±0.11) arasında değişmektedir. (La/Lu)<sub>N</sub> oranı bakımından ortalama değerin 1'e yakın olması, Hafif Nadir Toprak Elementleri (Light Rare Earth Element-LREE) ve Ağır Nadir Toprak Elementleri (Heavy Rare Earth Element-HREE) arasında belirgin bir zenginleşme veya tükenme olmadığını, yani genel olarak dengeli bir NTE dağılımı olduğunu görülmektedir. Diğer bir deyişle kumtaşı örneklerinde LREE veya HREE açısından önemli bir ayrım olmadığını, dolayısıyla kaynak kayaçlarının büyük oranda kimyasal değişim veya farklılaşmaya uğramadığı düşünülebilir. (Eu/Eu\*)<sub>N</sub> oranı ortalama değeri 1'e çok yakın olup, Eu anomalisi bulunmadığını veya Eu'nun diğer REE'lere göre belirgin bir eksiklik veya fazlalık göstermediğine işaret etmektedir. Bu durum, plajiyoklaz gibi Eu bakımından zengin minerallerin yokluğu veya düşük oranlarda varlığına işaret edebilir. (La/Sm)<sub>N</sub> oran 1'den küçük olduğu için LREE içerikleri bakımından hafif bir tüketilmeden bahsedilebilir. Bu durum, kaynak kayaçların mafik kökenli olabileceğine işaret edebilir, çünkü felsik kayaçlar genellikle daha yüksek LREE/HREE oranlarına sahiptir. (Sm/Lu)<sub>N</sub> oranı ortalaması 1'den biraz büyük olup, hafif bir HREE zenginleşmesi olduğunu gösterir. Kumtaşı örneklerinde görülen hafif HREE zenginliği diajenetik süreçlerden kaynaklanabileceği gibi kaynak kayacın bileşim özelliklerinden de kaynaklanabilir.

# 4.3 Bayıralan Kumtaşlarının Jeokimyasal Adlandırması

(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO)-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O üçgen diyagramı, kumtaşlarının kimyasal bileşenlerine göre adlandırılmasında, mineralojik içeriğini, olgunluk düzeyini, kaynak kayaç türünü ve taşınma süreçlerine yaklaşımda bulunabilmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Blatt ve diğ. 1972; Pettijohn 1975). Diyagramda (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO) köşesi ferromagnezyumlu mineralleri (olivin, piroksen gibi mafik mineraller), Na<sub>2</sub>O köşesi sodyum açısından zengin feldispatlar (plajiyoklazlar) ve bazı zeolitler ile K<sub>2</sub>O köşesi K-feldispatlar (ortoklaz) ve mika grubu mineralleri (muskovit) temsil etmektedir. Bayıralan kumtaşı örneklerinin (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO)-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O üçgen diyagramında (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO) köşesine yakın olarak konumlandığı ve litarenit bileşiminde oldukları belirlenmiştir (Şekil 4.5a). Kumtaşı örneklerinin Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O içeriklerinin düşük olması, feldispat ve muskovit gibi mineral içerikleri bakımından nispeten fakir, yani olgunlaşmamış (kimyasal olarak ayrışmış) olduklarını göstermektedir. Örneklerin (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO) içeriklerinin yüksek oluşu kaynak kayaları içerisinde mafik/ultramafik kökenli kayaçların baskın olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4.5a).

Log(Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O)-Log(SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) diyagramı, kumtaşlarının kimyasal ve mineralojik bileşenlerini sınıflandırarak olgunluk derecelerini, taşınma süreçlerini ve kaynak kayaçlarının anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Kumtaşındaki düşük Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O ve düşük SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı, genellikle potasyum feldispat ve kil mineralleri açısından zengin ve daha az olgun bir kumtaşını işaret ederken, düşük Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O, yüksek SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı kayaçların daha olgun, kimyasal olarak ayrışmış ve taşınma sürecine daha fazla maruz kalmış olduğunu göstermektedir (Tucker 1988). Log(Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O)-Log(SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) diyagramında kumtaşı örneklerinin ortaç Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O ve SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranlarına sahip oldukları ve baskın olarak litarenit alanına düştükleri belirlenmiştir. Bununla birlikte sınırlı sayıda örneğin subarkoz alanında konumlandığı görülmektedir (Şekil 4.5b).

Herron (1988) tarafından önerilen Log(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/K<sub>2</sub>O)-Log(SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) diyagramı silisiklastik kayaçların mineralojik ve kimyasal bileşimlerini analiz etmek için kullanılan önemli bir adlandırma diyagramıdır. Diyagram, kayaçları demir ve silika içeriğine göre sınıflandırır ve bu sınıflandırmalar üzerinden kayaçların olgunluk derecelerini, taşınma süreçlerini ve kaynak kayalarını değerlendirme imkânı sağlamaktadır. İncelenen kumtaşı örneklerinin Log(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/K<sub>2</sub>O)-Log(SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) diyagramında Fe'li kumtaşı ve Litarenit alanlarına düştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.5).



**Şekil 4.5:** Kumtaşı örneklerinin **a**) (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MgO)-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O (Blatt ve diğ., 1972), **b**)  $Log(Na_2O/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3)$  (Tucker, 1988), **c**)  $Log(Fe_2O_3/K_2O)-Log(SiO_2/Al_2O_3)$  (Herron, 1988) kimyasal sınıflandırma diyagramlarındaki konumları.

#### 4.4 Bayıralan Kumtaşlarındaki Mineral Bileşenlerin Kökeni

Detritik/Otijenik İndeks (DAI), sedimanter kayaçlardaki detritik (dış kaynaklı) ve otijenik (yerinde oluşmuş) minerallerin oranını ifade eden bir ölçüttür. DAI, kayaçların element içerikleri veya detritik ve otijenik bileşenlerin modal oranları üzerinden hesaplanabilir. Yüksek DAI değerleri, kıtasal kaynaklı, uzun taşınma mesafesine sahip ve ayrışmaya uğramış kayaçları ifade eder ve genellikle nehir veya delta gibi yüksek enerjili ortamlarda oluşmuş kayaçlarda görülürler. Düşük DAI değerleri ise, durgun, kimyasal çökelmeye uygun denizel veya gölsel ortamlarda oluşan kayaçları tanımlamaktadır. Orta DAI değerleri, detritik ve otijenik bileşenlerin dengede olduğu, kıyı ve lagün gibi hem taşınımın hem de otijenik mineral oluşumunun gözlendiği ortamlarda çökelmiş kayaçları temsil etmektedir (Vassilev ve diğ. 2010). Kumtaşı örneklerinin DAI değerleri 0.37-13.07 (ortalama 4.42±3.31) arasında değişim göstermekte olup, detritik ve otijenik bileşenlerin dengede olduğu orta DAI değerleri.

Vassilev ve Vassileva (2009) tarafından organik madde bakımından zengin kayaç örnekleri için önerilen (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+K<sub>2</sub>O+TiO<sub>2</sub>)-(CaO+MgO+Na<sub>2</sub>O)-(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) üçgen diyagram, kumtaşı içerisindeki mineral bileşenler için de kullanılabilir (Şekil 4.6a). Diyagramda, (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+K<sub>2</sub>O+TiO<sub>2</sub>) köşesi, kuvars, kil mineralleri, mika grubu, K-feldispat, Al-hidrooksit, Ti oksit ve volkan camı gibi silikat ve alüminosilikat minerallerini; (CaO+MgO+Na<sub>2</sub>O) köşesi ise Ca-Mg-Na karbonat, sülfat, fosfat, hidroksit, plajiyoklaz ve zeolit minerallerini; (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) köşesi Fe içeren karbonat, sülfat, sülfür, hidroksit ve fosfat minerallerini temsil etmektedir. Diyagramda yer alan üç köşe arasındaki dağılımlar, kayaçların mineralojik bileşenlerini ve bu bileşenlerin taşınma, ayrışma süreçlerinde nasıl değiştiğini anlamamıza yardımcı olabilmektedir. Kumtaşı örneklerinin (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+K<sub>2</sub>O+TiO<sub>2</sub>)-(CaO+MgO+Na<sub>2</sub>O)-(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) üçgen diyagramında ağırlıklı olarak S (silikat ve Al-silikat) ve CS (Ca-Mg-Na karbonat/sülfat/fosfat/hidroksit, plajiyoklaz ve zeolit) alanlarına düştükleri belirlenmiştir (Şekil 4.6a).

Silisiklastik kayaçların mineral bileşenlerinin kökenine yaklaşımda bulunmak için kullanılan bir diğer diyagram Le Bas ve diğ. (1986) tarafından geliştirilen geliştirilen (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>)-SiO<sub>2</sub> diyagramıdır. Diyagramda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> oranı, kayaçların ayrışma derecesini ve kaynak kayaç tipini anlamaya yardımcı olmaktadır. Yüksek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> oranı genellikle granitik veya felsik kaynak kayaları işaret etmekte olup, uzun süreli taşınma ve yüksek derecede ayrışmış minerallerin varlığıyla ilişkilidir. Düşük Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> oranı ise daha mafik kayaçlara veya volkanik kaynak kayalara işaret etmekte olup, genellikle daha az ayrışmış ve daha kısa süreli taşınmış mineral içeriğini göstermektedir. Benzer şekilde yüksek SiO<sub>2</sub> içerikleri özellikle kuvars açısından zengin kumtaşlarında görülür ve genellikle daha uzun taşınmış, yüksek derecede ayrışmış kayaçları temsil etmektedir. (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>)-SiO<sub>2</sub> diyagramında kumtaşı örneklerinin çoğunlukla ultramafik ile felsik alana düştüğü belirlenmiştir (Şekil 4.6b). Bu durum kaynak alandaki metamorfik ve ultramafik kayaçların varlığıyla ilişkilendirilmiştir.

K<sub>2</sub>O/Rb oranı, kayaçların ayrışma derecesi ve kaynak kayaçlarının bileşimini gösteren önemli bir jeokimyasal göstergedir. Yüksek K<sub>2</sub>O/düşük Rb oranı, potasyum açısından zengin feldispat minerallerinin varlığını ve daha az ayrışmış, genç kayaçların özelliklerini yansıtır. Buna karşılık, yüksek Rb/düşük K<sub>2</sub>O oranı, kayaçların yoğun ayrışma sonucu rubidyum bakımından zenginleştiğini ve feldispat gibi potasyum minerallerinin ayrışmasıyla Rb'nin biriktiğini ifade eder. Bu durum, kaynak kayaçların uzun süre taşındığını ve kimyasal olarak olgunlaştığını göstermektedir. K<sub>2</sub>O ve Rb içeriklerine göre, kayaçlar kimyasal olgunluk seviyelerine göre de sınıflandırılabilir; örneğin, olgun kayaçlar (kuvars açısından zengin kumtaşları gibi) düşük K<sub>2</sub>O ve yüksek Rb içerirken, genç ve daha az ayrışmış kayaçlar yüksek K<sub>2</sub>O içeriği gösterir. Log K<sub>2</sub>O Log Rb diyagramında kumtaşı örneklerinin çoğunun K/Rb çizgisinin altında ve asidik-ortaç bileşim alanında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.6c). Bu diyagramda kıtasal kökenli kayaçlar için K/Rb oranı 230'un üzerinde iken, okyanusal kabuk kökenli kayaçlarda bu değer 230'un altındadır (Wronkiewicz ve Condie, 1990).



**Şekil 4.6:** Kumtaşı örneklerinin **a**) (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+K<sub>2</sub>O+TiO<sub>2</sub>)-(CaO+MgO+Na<sub>2</sub>O)-(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) üçgen diyagram (Vassilev ve Vassileva, 2009), **b**) (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>)-SiO<sub>2</sub> (Le Bas ve diğ., 1986), **c**) Log K<sub>2</sub>O-Log Rb (Wronkiewicz ve Condie, 1990) köken belirleme diyagramlarındaki konumları.

# 4.5 Bayıralan Kumtaşlarının Kaynak Alan ve Birikim Karakteristikleri

Kumtaşlarında SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı kayaçların olgunluk derecesini, mineralojik bileşimini ve ayrışma derecesini değerlendirmede kullanılan önemli bir jeokimyasal göstergedir (Roser ve diğ. 1996; Hou ve diğ. 2021). Yüksek SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı daha olgun, ayrışmış kayaçları, düşük oran ise daha az olgun, feldispatça zengin kayaçları temsil etmektedir. SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı >5 ise olgun, 3-5 arasında ise orta olgun ve <3 ise olgunlaşmamış kayaçları göstermektedir (Herron 1988). Kumtaşı örneklerinin SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı en düşük 2.81, en yüksek 16.72 (ortalama 8.07±3.01) olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre Bayıralan Formasyonu kumtaşları orta olgun kayaçlardan oluşmaktadır.

Sedimanter kayaçların ana oksit ve iz element bileşimleri, kaynak alanlarının litolojik özellikleriyle yakından ilişkilidir. Ana oksitler taşınma ve biriktirme süreçlerinde oldukça hareketliyken, Ba, Nb, La, Th, Zr, Ni, Cr, Co, V ve Sc gibi iz elementler daha hareketsiz olup kaynak alanın kimyasal karakterini tanımlamada kullanılmaktadırlar (McLennan ve Taylor 1991; Roser ve diğ, 1996; Cullers 2000; Caracciolo ve diğ. 2011). Ba, Nb, La, Zr ve Th gibi elementler felsik bileşimli

kayaçlarda baskın olup, feldispat, biyotit, amfibol, monazit, zirkon, apatit ve sfen gibi minerallerde yoğunlaşır. Diğer taraftan, Ni, Cr, Co, V ve Sc elementleri mafikultramafik bileşimli kayaçlarda baskın olup, özellikle olivin, piroksen, spinel, kromit ve rutil mineralleri içinde yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadırlar. Kumtaşı örneklerinin Ni/Co, Cr/V, Cr/Th, Co/Th, Sc/Th, Ba/Nb, La/Th, La/Sc ve Y/Ni oranları Tablo 4.2'de hesaplanmış olup; karşılaştırma amacıyla ortalama granit, gabro, kumtaşı, ultramafik kayaç, şeyl/şist ve kireçtaşı değerleri de Tablo 4.2'de sunulmuştur. Kumtaşlarının ortalama bazalt/ultramafik kayaç bileşimlerine benzerliği, kaynak alanındaki baskın kayaçların mafik-ultramafik litolojiye sahip olduğunu göstermektedir.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ve Zr gibi elementler kaynak alandaki ayrışma süreçlerinde diğer elementlere göre nispeten daha duraylı kabul edilmektedir. Bu nedenle söz konusu elementler kaynak alandaki ayrışma etkisini göz ardı ederek sedimanların kaynak alan bileşimleri, depolanma hızı ve boylanma durumlarıyla ilgili yorumlamalar yapmak amacıyla kullanılabilir (Herron 1988; Garcia ve diğ. 1991). Kumtaşlarının kaynak kayaçlarının karakterini ve çökelme ortamını belirlemek, kimyasal evrimlerini anlamak amacıyla (15×Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-Zr-300×TiO<sub>2</sub> diyagramı geliştirilmiştir. Ayrıca bu diyagram kumtaşlarının mineralojik olgunluğunu, taşınma mesafesini ve jeolojik kökenini analiz etmek için de kullanılabilmektedir. Olgunlaşmış sedimanlar TiO<sub>2</sub>/Zr oranı bakımından geniş bir dağılım gösterirken, olgunlaşmamış sedimanlar bu oran açısından daha sınırlı bir dağılım sergilemektedir. Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının (15×Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-Zr-300×TiO<sub>2</sub> diyagramında merkeze yakın alanda kümelendikleri ve TiO2/Zr oranları bakımından sınırlı bir dağılım gösterdikleri belirlenmiştir (Şekil 4.7a). Aynı diyagramda ortalama granit, gabro, kumtaşı, ultramafik kayaç, şeyl/şist ve kireçtaşı bileşimleri de gösterilmiş olup, örneklerin şey/şist-kireçtaşı bileşimi arasında yoğunlaştığı görülmektedir.

Th-Sc diyagramı, kumtaşlarının kaynak alanlarının karakterizasyonu için kullanılan jeokimyasal diyagramlardan biridir. Bu diyagram farklı kayaç türlerinin ve bunların ayrışma ürünlerinin Th ve Sc içeriklerine göre ayırt edilmesini sağlar. Th içeriği genellikle kaynak kayacın felsik veya mafik karakterini yansıtırken, Sc ise özellikle mafik minerallerin oranını temsil etmektedir. Felsik bileşenlerin baskın olduğu kaynak alanda Th/Sc oranların 1'in üzerindeyken, mafik bileşenlerin baskın

olduğu kaynak alanda Th/Sc oranları 0.6'nın altındadır (Bhatia ve Crook 1986). Kumtaşı örneklerinin Th/Sc oranları 0.21-1.23 (ortalama 0.75±0.26) arasında değişmekte olup, hafifçe felsik, çoğunlukla ortaç bileşimli kaynak alanda yoğunlaşmaktadır (Şekil 4.7b).

**Tablo 4.2:** Kumtaşı örneklerine ait Ni/Co, Cr/V, Cr/Th, Co/Th, Sc/Th, Ba/Nb, La/Th, La/Sc, Y/Ni oranları ve ortalama granit, gabro, kumtaşı, ultramafit, şeyl/şist ve kireçtaşı değerleriyle karşılaştırması

Örnek No	Ni/Co	Cr/V	Cr/Th	Co/Th	Sc/Th	Ba/Nb	La/Th	La/Sc	Y/Ni
BF-5	0.9	0.8	5.5	4.7	0.9	15.3	3.7	4.1	0.80
BF-8	14.5	19.3	346.3	16.1	2.8	19.4	3.8	1.4	0.01
BF-13	0.9	0.7	7.6	5.6	1.3	24.1	3.3	2.5	0.57
BF-14	15.3	19.7	351.5	15.3	2.7	16.2	3.8	1.4	0.01
BF-16	5.9	5.5	66.9	8.6	1.6	25.9	3.8	2.3	0.06
<b>BF-18</b>	12.4	14.1	240.2	14.5	2.6	22.3	3.6	1.4	0.02
BF-20	4.3	4.7	45.8	6.7	1.2	22.8	3.5	2.9	0.10
BF-21	5.0	9.5	98.9	9.3	1.3	16.5	3.6	2.7	0.06
<b>BF-24</b>	0.9	0.7	5.9	5.8	1.2	20.5	3.0	2.6	0.53
BF-34	1.5	0.6	6.4	2.7	1.1	24.0	3.3	3.0	0.64
<b>BF-41</b>	0.9	0.7	6.1	6.0	1.1	28.7	3.0	2.7	0.50
<b>BF-42</b>	1.4	0.7	5.1	2.2	0.9	24.1	2.7	3.1	0.62
<b>BF-44</b>	1.2	0.7	6.4	4.1	1.1	23.6	3.4	3.0	0.73
BF-49	0.9	0.7	7.0	6.3	1.3	29.8	2.9	2.3	0.51
BF-55	0.9	0.7	6.0	5.8	1.0	25.8	2.9	2.7	0.40
BF-59	1.8	1.2	9.7	3.8	0.9	15.1	3.7	4.0	0.55
BF-60	8.3	5.2	56.6	4.9	1.4	23.9	3.2	2.3	0.08
BF-61	1.2	0.7	5.8	3.1	1.0	21.6	3.4	3.4	0.83
BF-63	0.7	0.7	6.2	9.7	1.1	30.7	2.9	2.6	0.43
BF-64	10.1	11.0	166.4	10.0	2.2	18.2	3.4	1.6	0.03
BF-66	1.3	0.6	6.1	3.1	1.2	21.1	3.3	2.7	0.78
<b>BF-68</b>	1.3	0.7	5.8	2.8	0.9	19.3	3.4	3.6	0.67
BFAC-10	1.1	0.7	6.8	4.2	1.2	25.4	3.4	2.9	0.54
BFAC-13	1.1	0.7	5.8	3.9	1.1	18.0	3.3	3.1	0.71
BFAC-14	1.0	0.7	5.1	3.4	0.9	13.4	3.4	3.6	0.85

Tablo	4.2.	devamı	
-------	------	--------	--

Örnek No	Ni/Co	Cr/V	Cr/Th	Co/Th	Sc/Th	Ba/Nb	La/Th	La/Sc	Y/Ni
BFAC-17	1.2	0.7	6.6	3.4	1.3	19.9	3.1	2.5	0.68
BFAC-20	0.8	0.7	6.9	9.4	1.2	23.7	3.2	2.6	0.35
BFAC-4	8.8	25.7	748.3	42.2	4.7	23.6	5.5	1.2	0.02
BFAC-6	8.7	2.1	25.7	4.0	1.5	36.4	2.7	1.8	0.06
BFAC-7	6.0	19.6	537.0	41.5	4.7	28.5	5.5	1.2	0.03
BFKB-3	12.8	25.5	601.7	33.5	4.3	17.7	3.7	0.9	0.01
BFKB-5	7.9	5.2	72.9	6.4	1.8	25.6	3.2	1.8	0.05
BFKB-8	8.7	4.6	59.8	5.7	1.8	27.6	3.1	1.8	0.05
BFKB-10	1.1	0.7	6.6	4.0	1.1	25.8	3.3	2.9	0.57
BFKB-14	1.9	1.0	9.5	4.2	1.2	27.4	3.4	2.8	0.33
Ortalama	4.4	5.3	101.6	9.1	1.6	22.9	3.4	2.5	0.4
Granit	1.3	0.1	0.7	0.3	0.3	33.3	3.3	10.0	1.0
Gabro	2.9	1.0	113.6	20.5	15.9	33.0	2.7	0.2	-
Kumtaşı	6.7	1.8	7.0	0.1	0.6	30.0	4.0	6.7	0.7
Ultramafit	18.2	28.8	46000	2200	200	5.0	20	0.1	-
Şeyl/Şist	3.5	0.8	8.3	1.7	1.3	32.4	3.3	2.7	-
Kireçtaşı	50.0	0.3	2.5	0.1	0.5	900.0	3.0	6.0	0.8

\*Granit, gabro, kumtaşı, ultramafit, şeyl/şist ve kireçtaşı verileri Reimann ve Caritat (1998)'den alınmıştır.

Log Th/Sc - Log Zr/Sc diyagramında doğrusal bir yönelim kırıntılı sedimanların kaynak alanından itibaren zaman içinde bileşimlerinde meydana gelen değişimleri yansıtırken; yatay veya yataya yakın bir yönelim kırıntılı malzemenin oluşumundan itibaren sürekli olarak yeniden işlendiğini göstermektedir (Caracciolo ve diğ. 2011). Felsik kayaçlarda Th/Sc oranı genellikle yüksek değerlerdeyken, mafik kayaçlarda bu oran daha düşük değerlerdedir. Th elementi özellikle granitik (felsik) kayaçlarda yoğunlaşırken, Sc mafik minerallerde yoğunlşamaktadır. Bu nedenle diyagramda Th/Sc oranı arttıkça kaynak alanda felsik kayaçların, düşüktükçe mafik kayaçların baskın olduğu yorumu yapılır. Bununla birlikte yüksek Zr/Sc değerleri, yüksek mineralojik olgunluk ve güçlü ayrışma süreçlerine işaret ederken; düşük Zr/Sc oranları daha az ayrışmış ve mineralojik olarak olgunlaşmamış sedimanları göstermektedir. Kumtaşlarını oluşturan mineral bileşenlerin granitultramafik kayaç bileşimi arasında değişen temel kayaçlardan türediği, yeniden işlenmeye uğramadan ilksel olarak depolandığı söylenebilir (Şekil 4.7c). Diyagramda

orta değerlere yakın değerler felsik-mafik ayrımının belirgin olmadığı veya karmaşık bir kaynak kayaç bileşimine sahip sedimanları temsil etmektedir. Kaynak kayaçların karışık kökenli mineralojik olgunluğun orta düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.7: Kumtaşı örneklerinin a) 15\*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Zr - 300\*TiO<sub>2</sub>, b) Th - Sc, c) LogTh/Sc - LogZr/Sc, d) Hf - La/Th ve e) La/Sc - Co/Th diyagramlarındaki dağılımları

Kaynak alandaki kayaç bileşimlerine yaklaşımda bulunmak amacıyla Hf-La/Th, Co/Th-La/Sc diyagramları kullanılmaktadır (Şekil 4.7d, e). Hf-La/Th diyagramı, sedimanter kayaçların kaynak alanlarının litolojik özellikleri ve ayrışma süreçleri hakkında bilgi sağlayan diğer bir jeokimyasal diyagramdır. La ve Th elementleri genellikle felsik kayaçlarla ilişkili olup, La/Th oranı, kaynak alandaki litolojilerin felsik veya mafik kökenli olup olmadığına dair bilgi vermektedir. Bununla birlikte Hf, genellikle zirkon gibi dayanıklı minerallerde bulunur ve ayrışma süreçlerine oldukça dirençlidir. Hf-La/Th diyagramında kumtaşı örnekleri düşük La/Th ve Hf alanında kümelendiği belirlenmiştir (Şekil 4.7d). Benzer şekilde Co/Th-La/Sc diyagramında düşük Co/Th ve yüksek La/Sc oranları kaynak alanın felsik kayaçlardan oluştuğuna işaret ederken, yüksek Co/Th ve düşük La/Sc oranları kaynak alanda mafik veya ultramafik kayaçların baskın olduğuna işaret etmektedir. Co/Th-La/Sc diyagramında kumtaşı örneklerinin şeyl/şist ile gabro bileşimi arasında kümelendikleri belirlenmiştir (Şekil 4.7e). Ortalama granit, gabro, kumtaşı, ultramafit, şeyl/şist ve kireçtaşı bileşimleri de bu diyagramlarda referans noktaları olarak yerleştirilmiştir. Sonuç olarak kumtaşlarına bileşen veren kaynak alanda felsik-mafik bileşimli kayaçların değişen oranlarda bulunduğu, net bir ayrımının yapılamadığı, mineralojik olgunluğu orta düzeyde olan kayaçlardan türmiş olduğu değerlendirilmiştir.

#### 4.6 Bayıralan Kumtaşlarının Ayrışma Derecesi

Ayrışma, yerküre üzerindeki kayaçların fiziksel (disintegration) ve kimyasal (decomposition) süreçler aracılığıyla yapısal ve mineralojik değişimlere uğradığı, çevresel etkenlerin etkisiyle gerçekleşen bir olgudur. Bu süreç, kayaçların doğal çevre koşullarıyla etkileşime girerek, kimyasal bileşimlerinde ve fiziksel özelliklerinde değişiklikler meydana getirir. Ayrışmanın derecesi, temel olarak etkenlerin etkileşim şiddeti ve süresine bağlı olarak farklılık gösterir. Kayaçların ayrışmasına yol açan başlıca faktörlerden biri, kayaçların jeolojik oluşumları ve bu süreçler sırasında meydana gelen yapısal zayıflıklardır. Jeolojik süreçler, kayaçların içyapısını, mineralojik bileşimini ve mekanik dayanıklılığını etkileyerek, ayrışma için elverişli koşulların oluşmasına neden olur. Bunun yanı sıra, çevresel etkenler, örneğin su, sıcaklık değişimleri, asidik atmosferik koşullar ve biyolojik aktiviteler de ayrışma süreçlerini hızlandırabilir ve belirli bir kayaç türünün ayrışma derecesini etkileyebilir (White ve Blum, 1995). Ayrışma süreçleri, kayaç ve/veya mineral kimyasında önemli değişikliklere yol açar. Kayaçların kimyasal analiz sonuçları temel alınarak, farklı araştırmacılar tarafından bu ayrışma süreçlerini izlemek ve değerlendirmek amacıyla çeşitli ayrışma indeksleri geliştirilmiştir. Kumtaşı örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre hesaplanan bazı ayrışma indeks değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Örnek No	LOI	K/Cs	Al/Ti	ICV	CIA	PIA	IOL
BF-5	8.8	3224.8	16.3	2.1	30.9	28.9	16.3
BF-8	25.5	2370.3	22.0	10.6	7.7	6.7	19.1
BF-13	5.5	3348.2	22.9	1.3	46.8	46.2	17.0
BF-14	22.0	3503.1	20.8	8.7	11.2	10.0	18.7
BF-16	14.9	3563.4	25.0	4.1	17.4	15.3	13.6
BF-18	18.0	2532.9	23.4	7.8	13.2	11.6	15.5
BF-20	21.6	3942.2	25.5	5.3	12.5	10.7	18.7
BF-21	25.4	4075.4	19.5	10.2	6.6	5.7	14.4
BF-24	9.9	3266.6	20.9	2.3	28.4	26.0	16.2
BF-34	6.3	3280.4	21.8	1.7	46.9	46.3	22.3
<b>BF-41</b>	7.7	4194.5	22.7	1.8	32.5	30.2	14.1
<b>BF-42</b>	5.0	3699.0	20.6	1.2	49.2	49.0	17.6
<b>BF-44</b>	7.9	3272.7	23.1	1.5	37.7	35.9	17.1
BF-49	7.7	3759.4	23.0	1.7	33.0	30.7	14.1
BF-55	4.3	3542.6	22.0	1.1	53.6	54.5	16.3
BF-59	3.9	3120.2	17.0	1.4	55.1	56.1	15.7
<b>BF-60</b>	11.2	3773.9	22.2	2.4	36.5	34.6	16.7
<b>BF-61</b>	11.0	3731.3	18.8	2.4	25.0	22.8	16.5
BF-63	7.0	4143.2	24.8	1.8	30.9	28.5	11.8
<b>BF-64</b>	20.9	3045.2	22.6	6.1	11.9	10.5	17.9
BF-66	11.6	3607.2	18.2	3.9	26.0	23.6	28.2
<b>BF-68</b>	6.6	3363.3	18.1	1.8	46.0	45.3	22.2
BFAC-4	31.3	2598.1	25.0	24.9	3.1	2.7	11.8
BFAC-6	29.9	2899.3	32.7	5.1	15.2	12.7	33.9
BFAC-7	31.9	2720.7	24.8	26.8	2.9	2.5	11.7
BFAC-10	3.9	3224.3	24.4	0.9	59.3	61.6	17.1
BFAC-13	7.5	3963.8	16.5	1.9	35.8	33.9	16.8
BFAC-14	9.1	3940.8	13.5	2.0	31.0	28.9	17.0
BFAC-17	9.2	3572.9	19.9	2.0	34.5	32.4	20.6
BFAC-20	7.5	3525.9	21.9	1.6	34.6	32.5	14.4
BFKB-3	19.3	2965.7	25.4	10.9	9.6	8.6	12.9
BFKB-5	37.5	1914.9	28.2	12.7	7.4	6.2	33.0
BFKB-8	38.8	2052.9	28.9	12.7	7.3	6.0	34.8
BFKB-10	29.6	729.0	20.7	11.9	7.6	6.7	22.6
BFKB-14	9.7	3538.0	24.5	1.8	34.6	32.4	20.1
Ortalama	15.1	3257.3	22.2	5.6	26.9	25.6	18.5

Tablo 4.3: Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının bazı ayrışma indeksleri

Kızdırma kaybı (Loss On Ignition; LOI) değerleri kayaçların ayrışma derecesi hakkında bilgi veren önemli göstergelerden birisidir. LOI, bir kayacın yüksek sıcaklıkta (~1000°C) ısıtıldığında, buharlaşan su ve organik bileşiklerin kaybı sonucu kalan maddelerin oranını ifade etmektedir. LOI değerinin artması genellikle kayacın ayrışma derecesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Kumtaşı örneklerinin LOI değerleri %3.9-%37.5 (ortalama %15.1±10.4) arasında değişim göstermekte olup, az-orta derecede ayrışmış oldukları değerlendirilmiştir.

K/Cs oranı, kayaç ve toprak örneklerinde ayrışma sürecinin izlenmesinde kullanılan bir parametredir. K feldispat, muskovit ve diğer silikat minerallerinde bulunurken, Cs ayrışma süreçlerinde kil minerallerinde birikme eğilimindedir. Ayrışma süreci ilerledikçe, kil minerallerinin artışıyla birlikte Cs konsantrasyonu artmakta, K/Cs oranı ise düşmektedir (Perri ve diğ., 2012). Kumtaşı örneklerinin K/Cs oranları 729-4194.5 (ortalama 3257.3±713.2) arasında değişim göstermektedir. Geniş değişim aralığı, farklı kayaç türlerinin ve minerallerin ayrışma seviyeleri arasında heterojen bir dağılıma işaret etmektedir. En düşük K/Cs oranı (729), bu örneğin daha ileri derecede ayrışmış ve kil mineralleri açısından zenginleşmiş olduğunu gösterirken, en yüksek oran (4194.5), daha az ayrışmış bir kayaç veya genç bir kaynak alanına işaret etmektedir. Ortalama değere göre kumtaşı örneklerinin çoğunluğunun orta derecede ayrışmış olduğunu ve kayaların fazla olgunlaşmamış ya da erken evre ayrışma süreçlerinden geçtiği şeklinde yorumlanmıştır.

Al/Ti oranı, ayrışma süreçlerinin değerlendirilmesinde kullanılan diğer önemli bir parametredir. Al, feldispatlar, amfiboller, biyotit gibi silikat minerallerinin yapısında bulunur ve genellikle ayrışma sürecinde daha fazla çözünür. Bu nedenle, ayrışma sırasında Al elementinin miktarı azalabilir. Ti, kayaçların ayrışma süreçlerinde daha dirençli bir element olup, genellikle daha duraylı kalmaktadır. Kayaçların ayrışma derecesi arttıkçaAl'nin çözünürlüğü artar ve Al/Ti oranı düşer. Bayıralan Formasyonu kumtaşı örneklerinin Al/Ti oranlarının 13.5-32.7 (ortalama 22.2±3.80) arasında değişiyor olması, orta derecede ayrışmış olduklarını göstermektedir. Bileşimsel Çeşitlilik İndeksi (Index of Compositional Variability - ICV), bir kayaç veya sediment örneğinin kimyasal bileşimindeki çeşitliliği ölçen bir parametredir. ICV, özellikle kayaçların kaynak alanı, taşıma süreci, çökelme ortamı ve ayrışma durumu gibi faktörler hakkında bilgi vermektedir (Caracciolo ve diğ., 2011). ICV indeksinde ana oksit elementlerinin konsantrasyonları dikkate alınmaktadır. ICV indeksi aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

 $ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + TiO_2)/Al_2O_3 \text{ (Cox ve Lowe 1995;}$ Cox ve diğ. 1995)

Kumtaşı örneklerinin ICV indeks değerleri 0.9-26.8 (ortalama 5.6±6.3) arasında değişmektedir. Kumtaşı örneklerinin ICV değerleri, orta derecede ayrışmaya işaret etmektedir. Ortalama değerin 5.6 olması, kaynak alanının ve çökelme koşullarının heterojen olduğunu ve örneklerin farklı ayrışma derecelerina sahip olduklarını göstermektedir. Yüksek standart sapma değerleri, kumtaşı örneklerinin kimyasal bileşim açısından nispeten geniş bir dağılım gösterdiği, taşıma, çökelme ve ayrışma süreçlerinde farklı kaynaklardan türeyen bileşenlerin aynı kayaçta bir araya geldiğini göstermektedir.

Kimyasal Alterasyon Indeksi (Chemical Alteration Index-CIA) kayaçların kimyasal ayrışma sürecinde hangi aşamada olduğunu belirlemek için güvenilir bir gösterge olup, Nesbitt ve Young (1982) tarafından Erken Proterozoyik yaşlı sedimanter kayaçlar üzerinde yeniden uyarlanmış bir ayrışma indeksidir. CIA indeksi aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

# $CIA = (Al_2O_3 * 100) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$

Kumtaşı örneklerinin CIA indeks değerleri 2.9-59.3 (ortalama 26.9±16.5) arasında değişmektedir. Kumtaşı örneklerinin düşük CIA değerleri, örneklerin henüz fazla ayrışmamış olduğu, birincil minerallerin baskın olduğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte yüksek CIA değerleri, nemli ve sıcak bir iklimde yoğun kimyasal ayrışma sürecine işaret ederken, düşük CIA değerleri daha soğuk ve kuru iklimleri işaret etmektedir (Fedo ve diğ. 1995; Gao ve diğ. 2009).

Plajiyoklaz Ayrışma İndeksi (Plagioclase Alteration Index-PIA), kayaç veya sedimanlardaki plajiyoklaz minerallerinde bulunan Ca, Na ve K elementlerinin ayrışma sürecindeki davranışını değerlendiren bir indeksdir. PIA, feldispat minerallerinin ayrışarak kil minerallerine dönüşme derecesini yansıtır ve kimyasal olgunlaşma sürecinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte yüksek PIA değerleri genellikle nemli ve sıcak iklim koşulları altında gerçekleşen kimyasal ayrışmaya işaret eder. Bu nedenle PIA, eski iklim koşullarının anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. PIA indeksi aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

### $PIA = ((Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O))*100$

Kumtaşı örneklerinin PIA indeks değerleri 2.5-61.6 (ortalama 25.6±16.9) arasında değişmektedir. Kumtaşı örneklerinin düşük PIA değerleri, örnekler içerisindeki plajiyoklazın düşük düzeyde ayrıştığını, yani kimyasal olgunlaşmanın henüz başlamamış olduğunu göstermektedir. CIA ile benzer şekilde düşük PIA değerleri soğuk ve kuru iklim koşullarına işaret etmektedir.

Lateritleşme İndeksi (Index of Laterization-IOL), kayaçların veya sedimentlerin yoğun tropikal ayrışma süreçlerine ne kadar maruz kaldığını değerlendirmek için kullanılan bir ayrışma indeksidir. Lateritleşme, sıcak ve nemli iklim koşullarında meydana gelen kimyasal ayrışma sonucu bazı elementlerin çözünüp uzaklaşması ve diğer elementlerin (özellikle demir ve alüminyum oksitler) birikmesiyle oluşan bir süreçtir. IOL, bu süreçte silikat minerallerinin parçalanma ve değişme derecesini gösterir (Fedo ve diğ, 1995; Tardy 1997; Price ve Velbel 2003). IOL indeksi aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

# $IOL = ((Fe_2O_3 + Al_2O_3) / SiO_2)$

Kumtaşı örneklerinin IOL indeks değerleri 11.7-34.8 (ortalama 18.5±5.9) arasında değişmektedir. IOL değerleri, kumtaşlarının orta derecede ayrışmış olduğunu ve tam olgunlaşmamış, yani yoğun lateritleşme sürecinden geçmemiş olduğuna işaret etmektedir. Kumtaşlarının kimyasal dayanıklılığı ve kaynak bölgesindeki ayrışma koşulları göz önüne alındığında, bu değerler özellikle ılıman veya yarı-nemli koşullarda kimyasal değişimlerin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.
## 4.7 Kumtaşlarının Çökelme Ortamı Koşulları

Sedimanter kayaçlardaki bazı iz elementler (örneğin, Ni, V, Cr, U, Sr, Cu, Ga) ve bunların oranları (Ni/Co, V/Cr, Sr/Cu, Ga/Rb, U/Th gibi), çökelme ortamı ve iklim koşullarına ilişkin önemli bilgiler sunabilir. Bu elementler, sedimanter süreçler sırasında genellikle kimyasal olarak hareketsiz kaldıkları için, kayaçların oluşumu sırasında mevcut olan çevresel koşulları değerlendirmede güvenilir göstergeler olarak kullanılmaktadır (Wignall ve Myers 1988; Jones ve Manning 1994; Rimmer 2004; Xu ve diğ. 2010; El Aouidi ve diğ. 2017; Ding ve diğ. 2018; Koralay 2018; Han ve diğ. 2020; Mikheeva ve diğ. 2021; Koralay ve Koralay 2022).

V/(V+Ni) oranı, tortul ortamlardaki oksidasyon koşullarını değerlendirmede yaygın olarak kullanılan bir göstergedir. Bu oranın 0.5'ten küçük olması, ortamın oksitleyici özellikte olduğunu ifade ederken; 0.5'ten büyük olması ise indirgeyici bir ortam koşuluna işaret eder. Bu nedenle, V/(V+Ni) oranı, tortul kayaların oluşum sürecinde maruz kaldığı oksidasyon veya indirgenme koşullarının belirlenmesinde önemli bir parametre olarak kabul edilir (Zuo ve diğ. 2020; Koralay ve Koralay 2022). Kumtaşı örneklerinin V/(V+Ni) oranı 0.05 - 0.73 (ortalama 0.45±0.25) arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.8a). Örneklerin geniş aralıkta dağılan V/(V+Ni) oranları, çökelme süreci boyunca farklı oksidasyon-indirgenme koşullarına maruz kaldığını; yani ortamın oksijen düzeylerinin yer yer değişkenlik gösterdiğini düşündürmektedir.

U/Th oranı, sedimantasyon ortamının oksitleyici veya indirgeyici olup olmadığını ortaya koyan bir diğer parametredir. U, oksitleyici ortam koşullarında çözünür ve sıvı fazda daha hareketli duruma gelir. Bu nedenle, oksitleyici ortamlarda U daha kolay çözünür ve taşınır, dolayısıyla U/Th oranı yüksek olabilir (Zuo ve diğ. 2020; Koralay ve Koralay 2022). U/Th oranına göre çökelme ortamı koşulları <0.7 oksitleyici ortam; 0.7-1.2 geçiş ve >1.25 indirgeyici ortam olmak üzere üç kategoriye ayrılır. Kumtaşı örneklerinin U/Th oranları 0.17-1.67 (ortalama 0.47±0.41) arasında değişmekte olup, çökelme ortamında genelde oksitleyici bir ortamın etkin olduğunu göstermektedir (Şekil 4.8b).

Sadece tek element konsantrasyonlarının olası analitik hatalarından kaçınmak için, kumtaşı örneklerinin çökelimi sırasında paleortam koşullarının bir göstergesi olarak Ce\* parametresi hesaplanmıştır. Yüksek Ce\* (>-0.1) oksitleyici ortamların en tipik özelliği iken, Ce\* (<-0.1) sedimantasyon süreçleri sırasında indirgeyici ortamı göstermektedir (Wright ve diğ. 1987; Koralay ve Koralay 2022). Kumtaşı örneklerinin Ce\* değerleri 0.11 - 0.91 (ortalama 0.51±0.23) arasında değişmekte olup, oksitleyici ortam koşullarına işaret etmektedir (Şekil 4.8c).

SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O ve Na<sub>2</sub>O ana oksit elementlerini içeren diyagramlar, iklim koşullarının kayaların kimyasal bileşimindeki etkisini gösteren önemli bir araçtır Suttner ve Dutta (1986) tortul kayaçların birikimi sırasında paleoiklim koşulları değerlendirmek için SiO<sub>2</sub>-(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) ikili diyagramını önermiştir. Yüksek nem ve sıcaklık, ayrışmayı hızlandırır. Bu durumda SiO<sub>2</sub> oranı kısmen azalır çünkü yoğun kimyasal ayrışma, SiO<sub>2</sub>'nin çözülmesine ve taşınmasına neden olur. Bu koşullarda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (özellikle kil mineralleri gibi oluşumlar) oranı artabilir, yani (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) toplamı daha yüksek olabilir. Kumtaşı örnekleri SiO<sub>2</sub>-(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O) diyagramında sıcak-nemli alanda yoğunlaşmışlardır (Şekil 4.8a).

İnce taneli tortul kayaçların Rb/Sr, Ga/Rb ve Sr/Cu oranları, tortullaşma sırasında paleoiklim koşulları hakkında bilgi edinmek için kullanılabilir. Rb ve Ga, yerkabuğunda mineral formlarında bulunmaz, ancak feldispat, mika ve kil minerallerinde önemli miktarlarda bulunur. Bununla birlikte Rb ve Ga elementleri, ayrışma süreçleri sırasında kil minerallerinde zenginleşirler. Nemli ve yağışlı bölgelerdeki kayalar, sıcak ve kuru bölgelerdeki kayalardan çok daha hızlı ayrışır. Sr ve Cu oranı, paleoiklim yorumlamalarında, özellikle kuraklık ve nem koşullarının belirlenmesinde kullanılabilir. Sr, karbonat minerallerinde zenginleşirken, Cu ise organik madde ve bazı metalik minerallerde tutulmaktadır. Yüksek Rb/Sr oranı ileri derecede kimyasal ayrışmayı göstermektedir. Ayrışma sürecinde Rb, kil minerallerinde birikmeye devam ederken, Sr daha kolay çözünerek ortamdan uzaklaşmaktadır. Düşük Rb/Sr oranı, ayrışmanın sınırlı olduğu ya da feldispat gibi minerallerin henüz çok fazla çözünmediği daha genç, daha az ayrışmış kayaçlara işaret etmektedir. Benzer şekilde yüksek Ga/Rb oranları, daha az ayrışmış, yani

nispeten ilk oluşum özelliklerini koruyan kayaçlara işaret etmekte olup, soğuk ve kuru iklimlerde kimyasal ayrışmanın düşük olduğu durumlarda daha yüksektir.



Şekil 4.8: Kumtaşı örneklerinin çökelme ortamı koşullarını gösteren diyagramlardaki konumları

Düşük Ga/Rb oranları daha fazla ayrışmış kayaçlarda gözlenmektedir. Yüksek Sr/Cu oranı, kurak iklim koşullarını gösterirken, düşük Sr/Cu oranı, nemli koşulları ifade etmektedir (Xu ve diğ. 2010; Koralay 2018; Hou ve diğ. 2021; Mikheeva ve diğ. 2021; Koralay ve Koralay 2022; Zhou ve diğ. 2022). Yüksek Rb/Sr, Ga/Rb ve düşük Sr/Cu içerikleri sıcak ve nemli iklim koşullarını gösterirken, düşük Rb/Sr, Ga/Rb ve yüksek Sr/Cu oranları sıcak ve kurak iklim koşullarını gösterir. Kumtaşı örneklerinin Rb/Sr, Ga/Rb ve Sr/Cu oranları sırasıyla 0.0.04-0.74 (ortalama 0.36±0.22); 0.15-0.31 (ortalama 0.22±0.03) ve 5.25-34.92 (ortalama 13.40±7.55) arasında değişmektir. Buna göre Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşlarının yılın belirli dönemlerde hem sıcaklığın hem de nemin yüksek olduğu sıcak ve kurak iklim koşullarında çökelmiş olabilecekleri değerlendirilmiştir (Şekil 4.9b,c).



Şekil 4.9: Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının çökelme ortamındaki paleoiklim koşullarını gösteren a) SiO<sub>2</sub>-(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O), b) Rb/Sr-Sr/Cu ve c) Ga/Rb-Sr/Cu ikili diyagramlarındaki konumu.

Paleosalinite, geçmişteki su kütlelerinin, özellikle denizlerin veya göllerin tuzluluk oranını (salinite) ifade eden bir terimdir. Paleosalinite çalışmaları, sedimanter kayaçların bileşimi ve mineralojisi, iz element analizleri ve fosil içerikleri gibi göstergeler üzerinden geçmiş su kütlelerinin tuzluluğu hakkında veriler sunmaktadır. Sr/Ca, Mg/Ca, B/Ca gibi iz element oranları, geçmiş deniz ve göl tuzluluğunu belirlemede kullanılabilir. CaO/(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO) oranı, çökelme ortamının paleosalinitesi hakkında fikir verebilir. Çökelme ortamı tatlı su (nehir, göl) ise Fefosfat mineralleri oluşurken, tuzlu su (buharlaşan göl, deniz) ise Ca-fosfat mineralleri çökelmektedir (Wang ve diğ. 2016; Koralay ve Koralay, 2022). Kumtaşlarının CaO/(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO) oranları 0.35-0.94 (ortalama 0.69±0.18) arasında değişmektedir. CaO/(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO) oranlarının 0.35-0.94 aralığında değişmesi ve ortalamanın 0.69 olması, incelenen kumtaşı örneklerinin bir kısmının tuzlu bir ortamda, diğer örneklerin ise daha düşük tuzluluk içeren ortamda çökeldiğini göstermektedir.

Ancak, paleosalinite hakkında daha kesin bilgi elde edebilmek için bu oranın diğer iz element oranları (örneğin Sr/Ca veya Mg/Ca) ve izotop analizleriyle desteklenmesi gerekmektedir. Sr/Ba oranı paleosaliniteyi değerlendirmek için kullanılan diğer bir jeokimyasal parametredir. Sr/Ba oranına göre paleosalinite koşulları üç kategoriye ayrılır. Sr/Ba oranı < 0.5 tatlı su (karasal), 0.5 < Sr/Ba < 1 acı su (geçiş) ve Sr/Ba oranı > 1.0 tuzlu su (deniz) ortamlarını temsil etmektedir (He ve diğ. 2019; Wang ve diğ. 2021). Kumtaşı örneklerinin Sr/Ba oranı 0.29-3.62 (ortalama  $1.07\pm1.01$ ) aralığındadır. Ortalama Sr/Ba oranının 1'e yakın olması ve geniş bir standart sapma ( $\pm 1.01$ ) göstermesi, ortamın bazen tatlı suya yakın, bazı durumlarda ise hipersalin özellik gösterebileceğini işaret etmektedir. Bu değişkenlik, denizel ortamdan kaynaklanan tuzlu suyun, karasal ortamdan gelen tatlı suyla karışım yaptığı yarıkapalı, lagün veya kıyıya yakın ortamlar gibi karmaşık çökelme ortamlarını yansıtmaktadır.

## 4.8 Kumtaşlarını Oluşturan Bileşenlerin Tektonik Ortamı

Ana oksit elementlerin davranışı kayaçların tektonik ortamı hakkında çok az bilgi verirken, Sc, Ti, Co, Zr, La ve Th gibi eser elementler ayrışma, alterasyon, metamorfizma ve sedimantasyon süreçleri sırasında hareketsiz olmaları nedeniyle birçok araştırmacı tarafından tektonik ortam belirlemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Kumtaşlarını oluşturan bileşenlerin oluştuğu tektonik ortama yaklaşımda bulunabilmek amacıyla bazı tektonik ayrım diyagramlarından yararlanılmıştır. Kumtaşı örneklerinin SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranları 2.81-16.7 (ortalama 8.07 $\pm$ 3.01) arasında değişirken, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranları 0.88-3.68 (ortalama 1.59 $\pm$ 0.70) arasında değişmektedir. SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O tektonik ayrım diyagramında kumtaşını oluşturan bileşenlerin türediği kaynak kayaçların aktif bir kenar ortamında oluştuklarını göstermektedir (Şekil 4.10a). Kumtaşları, oluştukları kaynak alanların tektonik özelliklerini yansıtabilir. La, Th, Zr ve Sc elementleri farklı tektonik ortamlarda farklı dağılım özellikleri gösterirler. Bu elementlerin miktarları, bileşenlerin kaynağının tektonik özelliklerini yansıtacak şekilde değişebilmektedir. La, Th ve Sc elementlerinin dağılımı, özellikle kaynağın kıtasal mı yoksa okyanusal mı olduğu, ayrışma derecesi ve tektonik ortamın aktif mi yoksa pasif mi olduğu gibi farklı tektonik özelliklere göre değişiklik göstermektedir (Bhatia 1983; Pearce 1983; Bhatia ve Crook 1986; Wilson 1989; Garcia ve diğ. 1991; Rollinson 1993; Caracciolo ve diğ. 2011; Han ve diğ. 2020; Mikheeva ve diğ. 2021). Bhatia ve Crook (1986) tarafından önerilen La-Th-Sc ve Th-Sc-Zr/10 tektonik ayrım diyagramlarında kumtaşı örnekleri kıtasal ada yayı alanına düşmektedirler (Şekil 4.10b, c). Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının yüzeylenme gösterdiği alandaki temel kayaçlarını Karatepe Melanjının oluşturduğu ve bileşenlerin çoğunlukla bu kayaçlardan türediği düşünüldüğünde bu sonucun alandaki veriler ile de uyumlu olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.10: Kumtaşı örneklerinin tektonik ayrım a) SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O, b) La-Th-Sc ve c) Th-Sc-Zr/10 diyagramlarındaki konumları

## **5. SONUÇLAR**

Denizli'nin kuzeydoğusundaki Oligosen yaşlı Bayıralan Formasyonu içerisindeki kumtaşlarının arazi gözlemleri, mineralojik, petrografik, palinolojik ve jeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak ilk defa bu tez çalışmasında ele alınmıştır. Tez çalışması sonucunda kumtaşlarının arazi özellikleri, mineral bileşimleri ve jeokimyasal karakteristikleri ortaya konulmuş, ayrışma durumları, çökelme ortamındaki etkin iklim şartları, bileşenlerin türediği kayaçların tektonik ortamlarını değerlendirebilmek için sayısal veriler elde edilmiştir. Tez çalışmasında elde edilen bulgular ve gelecek çalışmalar için öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Çalışma alanında temel kayaçlar, Jura-Kretase yaşlı Malıdağ Formasyonu ve Çökelez Kireçtaşları ile Kretase yaşlı Karatepe Melanjı tarafından temsil edilmektedir. Çökelez Kireçtaşları, Malıdağ Formasyonu üzerine tektonik dokanakla gelmektedir. Temel kayaları uyumsuz olarak üzerleyen Bayıralan Formasyonu, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılburun Formasyonu ve Alt Pliyosen yaşlı Sazak ve Sakızcılar Formasyonları ile açısal uyumsuzluk göstermektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve traverten çökelleri temel kayaçlar ve sedimanter birimleri uyumsuz olarak örtmektedir.

Bayıralan Formasyonu, çakıltaşı/konglomera, kumtaşı, kiltaşı ve organik maddece zengin seviyeler içeren tabakalı sedimanter birimlerden oluşmaktadır. Çakıltaşları, kumtaşı seviyeleri arasında mercek şeklinde yer almakta olup, yeşilimsi gri, kahverengi renkli kumtaşları ince-orta tabakalı yapıda ve kısmen iyi boylanmış tanelerden oluşmaktadır. Bayıralan Formasyonu'nunda görülen sedimanter yapıları, kıyı-bataklık gibi değişken enerji ve su derinliğine sahip ortam koşullarında çökeldiğine işaret etmektedir.

Bayıralan Formasyonu'nun organik maddece zengin seviyelerinden alınan palinolojik örneklerde, sınırlı palinomorf içeriği ve düşük tür çeşitliliği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, tortulaşmanın Erken "orta" Oligosen döneminde nemli koşullarda gerçekleştiğini ve tatlı su veya acısu ortamlarının etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bayıralan Formasyonu kumtaşlarının temel bileşenleri kuvars, feldispat, mika, kil mineralleri, plajiyoklaz, klorit, piroksen ve opak minerallerden oluşmaktadır. Litarenit olarak tanımlanan kumtaşları içerisinde çeşitli boyutlarda kayaç parçaları (kuvarsit, serpantinit, gabro, çört, mermer ve kireçtaşı) görülmektedir. Optik mikroskop çalışmalarında belirlenen mineral bileşimi XRD ve SEM-EDS analiz sonuçlarıyla da desteklemektedir.

Bayıralan Formasyonu kumtaşlarında SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> içeriklerinde farklı dağılımlar gözlemlenmiştir. İz elementlerde Sc ve Cs düşük içeriklerle pozitif eğik dağılımlar sergilerken, V, Co, Zr, La ve Nb daha simetrik bir dağılım göstermektedir.

Kumtaşlarının Nadir Toprak Element (REE) içeriği 22.11-178.67 ppm arasında değişmekte olup, ortalama 101.32 ppm'dir. Bu değer PAAS (184.77 ppm) değerlerine göre nispeten düşüktür. PAAS normalize edilmiş REE diyagramlarında, kumtaşı örnekleri benzer ve düz desenler sergilemektedir ((La/Lu)<sub>PAAS</sub>=0.61-1.11). Elementlerinde Hafif Nadir Toprak Ayrıca, REE desenleri (LREE)  $((La/Sm)_{PAAS}=0.68-0.88)$ Ağır Nadir Toprak Elementlerine (HREE) ((Sm/Lu)<sub>PAAS</sub>=0.90-1.37) göre minimal bir tükenme göstermektedir.

Kumtaşlarının SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O oranları, bileşenlerin aktif bir kenar ortamında oluşmuş kaynak kayaçlardan türemiş olduklarını gösterirken, La, Th ve Sc elementlerinin dağılımı kıtasal ada yayı ortamına işaret etmektedir. Bu bulgular, Karatepe Melanjı'ndan türemiş bileşenlerle uyumludur.

Kumtaşları az-orta derecede ayrışmış olup, sıcak, nemli iklim koşullarında, oksitleyici ortam koşullarında çökelmişlerdir. Ayrıca, Sr/Ba oranları çökelme ortamının tatlı su ve hipersalin ortamların karışımını yansıttığı değerlendirilmiştir. maktadır.

## 6. KAYNAKLAR

Abedini, A., Rezaei Azizi, M., Calagari, A. A. and Cheshmehsari, M., "Rare Earth Element Geochemistry and Tetrad Effects of the Dalir Phosphatic Shales, Northern Iran", *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*, 286(2), 169-188, (2017).

Akbulut, A. ve Kadir, S., "The Geology and Origin of Sepiolite, Palygorskite and Saponite in Neogene Lacustrine Sediments of the Serinhisar-Acipayam Basin, Denizli, SW Turkey", *Clays and Clay Minerals*, 51(3), 279-292, (2003).

Akgün, F. ve Akyol, E., "Palynostratigraphy of the Coal-Bearing Neogene Deposits Graben in Büyük Menderes Western Anatolia", *Geobios*, 32(3), 367-383, (1999).

Akgün, F. ve Sözbilir, H., "A Palynostratigraphic Approach to the SW Anatolian Molasse Basin: Kale-Tavas Molasse and Denizli Molasse", *Geodynamica Acta*, 14(1-3), 71-93, (2001).

Akkiraz, M. S. ve Akgün, F., "Palynology and Age of the Early Oligocene Units in Çardak–Tokça Basin, Southwest Anatolia: Paleoecological Implications", *Geobios*, 38(3), 283-299, (2005).

Akkiraz, M. S., Akgün, F., Utescher, T., Bruch, A. A. and Mosbrugger, V., "Precipitation Gradients During the Miocene in Western and Central Turkey as Quantified from Pollen Data", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 304(3-4), 276-290, (2011).

Alçiçek, H., "Stratigraphic Correlation of the Neogene Basins in Southwestern Anatolia: Regional Palaeogeographical, Palaeoclimatic and Tectonic Implications", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291(3-4), 297-318, (2010).

Alçiçek, H., Varol, B., & Özkul, M., "Sedimentary facies, depositional environments and palaeogeographic evolution of the Neogene Denizli Basin of SW Anatolia Turkey", *Sedimentary Geology*, 202, 596-637, (2007).

Allen, J. R. L., "The Nature and Origin of Bed-Form Hierarchies", *Sedimentology*, 10(3), 161-182, (1968).

Allen, J., Sedimentary Structures, Their Character and Physical Basis Volume 1, Amsterdam: Elsevier, 593 pp (1982).

Attanasio, D., Ancient White Marbles: Analysis and Identification by Paramagnetic Resonance Spectroscopy, Italy: L'Erma di Bretschneider, 282 pp, (2003).

Bhatia, M. R. and Crook, K. A., "Trace Element Characteristics of Graywackes and Tectonic Setting Discrimination of Sedimentary Basins", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92(2), 181-193, (1986).

Bhatia, M. R., "Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones", *Journal of Geology*, 91, 611-627, (1983).

Bishop, P., "Long-term landscape evolution: linking tectonics and surface processes", *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(3), 329-365, (2007).

Blatt, H., Tracy, R. and Owens, B., *Petrology: Igneous, Sedimentary, and Metamorphic*, USA: W. H. Freeman, 530 pp, (1972).

Boggs, S., *Petrology of Sedimentary Rocks*, UK: Cambridge University Press, 607 pp (2009).

Boggs, S., *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*, USA: Pearson Prentice Hall, 676 pp, (2006).

Brown, G. and Brindley, G. W., "X-ray diffraction procedures for clay mineral identification", in Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification, UK: Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, (1980).

Caracciolo, L., Le Pera, E., Muto, F. and Perri, F., "Sandstone petrology and mudstone geochemistry of the Peruc-Korycany Formation (Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic)", *International Geology Review*, 53(9), 1003–1031, (2011).

Cook, E.J., Van Geel, B., Van den Kaars, S., and Van Arkel, J., "A review of the use of non-pollen palynomorphs in palaeoecology with examples from Australia" *Palynology*, 35:2, 155-178, (2011).

Cox, R. and Lowe, D. R., "A conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover", *Journal of Sedimentary Research*, 65(1A), 1-12, (1995).

Cox, R., Lowe, D. R. and Cullers, R. L., "The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(14), 2919-2940, (1995).

Cullers, R. L., "The geochemistry of shales, siltstones, and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: Implications for provenance and metamorphic studies", *Lithos*, 51(3), 181-203, (2000).

Çobanoğlu, İ., Koralay, T., Kaya, A. ve Çelik, S. B., "Karatepe Melanjı (Kaklık-Denizli) içerisindeki kireçtaşı bloklarının beton agregası olarak kullanabilirliğinin incelenmesi", 6. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı. 215-223 s., Sivas-Türkiye, (2011).

Davis, J. C., *Statistics and Data Analysis in Geology*, USA: John Wiley and Sons, Inc., 656 pp, (2002).

Ding, J., Zhang, J., Tang, X., Huo, Z., Han, S., and Lang, Y., "Elemental geochemical evidence for depositional conditions and organic matter enrichment of black rock series strata in an Inter-Platform Basin: The Lower Carboniferous Datang Formation, Southern Guizhou, Southwest China", *Minerals*, *8*(11), 509, (2018).

El Aouidi S, Fakhi S, Laissaoui A, Malek OA, Benmansour M, Ayach A, et al. "Geochemical characterization of the black shale from the Ama Fatma coastal site in the Southwest of Morocco", *Am J Chem.* 7(5):153-62, (2017).

Erakman, B. ve Alkan, H., "Kalkan-Elmalı-Yeşilova-Acıpayam-Fethiye Arasının Jeoloji ve Petrol Olanakları", *TPAO Raporu, No: 2190*, (1986).

Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A. ve Günay, E., "Geology of the Neogene Basins in Uşak Region", *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, *21*, 97-106, (1978).

Ercan, T., Güney, E. ve Baş, H., "Petrology and plate tectonic implications of Denizli Volcanics", *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 2, 153-159, (1983).

Erişen, B., "Denizli-Dereköy sahasının jeolojik etüdü ve jeotermik enerji imkanları hakkında rapor", *MTA Derleme Raporu*, Rapor No: 4665, (1971).

Erkan, Y., Metamorfik Petrografi, Hacettepe Üniversitesi, (1998).

Erten, H., Şen, S. ve Görmüş, M., "Middle and late Miocene Cricetidae (Rodentia, Mammalia) from Denizli Basin (southwestern Turkey) and a new species of Megacricetodon", *Journal of Paleontology*, *88*(3), 504-518, (2014).

Fedo, C. M., Nesbitt, H. W. and Young, G. M., "Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance", *Geology*, 23(10), 921-924, (1995).

Ferdous, N. and Farazi, A. H., "Geochemistry of Tertiary sandstones from SW Sarawak, Malaysia: Implications for provenance and tectonic setting", *Acta Geochimica*, *35*(3), 1-15, (2016).

Gao, Q., Tao, Z., Huang, X., Nan, L., Yu, K., & Wang, Z., "Chemical weathering and CO<sub>2</sub> consumption in the Xijiang River basin, South China", *Geomorphology*, *106*(3-4), 324-332, (2009).

Garcia, D., Coehlo, J. and Perrin, M., "Fractionation between TiO<sub>2</sub> and Zr as a measure of sorting within shale and sandstone series (Northern Portugal)", *European Journal of Mineralogy*, 3, 401-414, (1991).

Göktaş, F., Çakmakoğlu, A., Tarı, E., Sütçü, Y. F. ve Sarıkaya, H., "Çivril-Çardak arasının jeolojisi", *MTA Derleme Raporu*, No: 8701, (1989).

Gürel, H., "Kaklık-Yokuşbaşı-Belevi (Denizli) Yakın Çevresinin Jeolojik İncelemesi", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayınlanmamış)*, (1997).

Hakyemez, H. Y. ve Örçen, S., "Denizli-Muğla arasındaki (GB Anadolu) Senozoyik yaşlı çökel kayaların sedimentolojik ve biyostratigrafik incelenmesi", *MTA Derleme Raporu*, No: 7311, (1982).

Han, S., Zhang, Y., Huang, J., Rui, Y. and Tang, Z., "Elemental geochemical characterization of sedimentary conditions and organic matter enrichment for Lower Cambrian shale formations in Northern Guizhou, South China", *Minerals*, *10*(9), 793, (2020).

He, C., Ji, L., Su, A., Wu, Y., Zhang, M. and Zhou, S., "Source-rock evaluation and depositional environment of black shales in the Triassic Yanchang Formation, Southern Ordos Basin, North-Central China", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 173, 899–911, (2019).

Helvacı, C., Alçiçek, M. C., Gündoğan, İ. veGemici, Ü., "Tectonosedimentary development and palaeoenvironmental changes in the Acıgöl shallow-perennial playa-lake basin, SW Anatolia, Turkey", *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22(2), 173-190, (2013).

Hendrix, M. S. ve Thompson, G. R. Jonathan, T. (ed), *Earth Science: An Introduction*, Boston: Cengage Learning, (2021).

Herron, M. M., "Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data", *Journal of Sedimentary Research*, 58(5), 820-829, (1988).

Hou, H., Liu, S., Shao, L., Li, Y. and Wang, C., "Elemental geochemistry of the Middle Jurassic shales in the northern Qaidam Basin, Northwestern China: Constraints for tectonics and paleoclimate", *Open Geoscience, 13*(1), 1448–1462, (2021).

Hu, J., Li, Q., and Fang, N., "Geochemistry characteristics of the Low Permian sedimentary rocks from central uplift zone, Qiangtang Basin, Tibet: Insights into source-area weathering, provenance, recycling, and tectonic setting", *Arabian Journal of Geosciences*, *8*, 5373–5388, (2014).

İslamoğlu, Y., Atay, G., Gedik, F., Aydın, A., Hakyemez, A., Babayiğit, S. ve Sarıkaya, H., "Batı Toroslar'daki denizel Oligosen–Miyosen biyostratigrafisi (Denizli)", *MTA Derleme Raporu*, No: 10763, (2005).

Jones, B. and Manning, D. A. C., "Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones", *Chemical Geology*, *111*(1-4), 111-129, (1994).

Kastelli, M., "Denizli vilayeti güneyinin jeoloji incelemesi ve jeotermal alan olanakları", *MTA Derleme Raporu*, No: 5199, (1971).

Kıral, N., Kadir, S., Çağlı, S., Karakaya, Y. Ve Özsoy, S., "Kocapınar ve Kuyucak (Serinhisar ve Acıpayam İlçeleri/Denizli) Sepiyolit/Sepiyolitik Kil Yatakları", *MTA, Proje No: 98-18*, (2002).

Konak, N., Akdeniz, N., & Çakır, M. H., "Çal-Çivril-Karahallı dolayının jeolojisi", *MTA Derleme Raporu*, No: 8945, (1990).

Koralay, D. B., "Geç Miyosen yaşlı Honaz (Denizli) kömürlü birimlerinin organik jeokimyasal özellikleri ve çökelme ortamı", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24*(6), 1192-1199, (2018).

Koralay, D. B., "Organic geochemical and isotopic (C and N) characterization of carbonaceous rocks of the Denizli Area, Western Turkey", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *116*, 90-102, (2014).

Koralay, D. B., & Koralay, T., "Denizli Güneydoğusundaki (Honaz/GB Türkiye) Organik Maddece Zengin Kayaçların Jeokimyası ve Organik Petrografik Özelliklerinin İncelenmesi", TÜBİTAK Proje No: 114Y668, (2018).

Koralay, T. and Kılınçarslan, S., "A multi-analytical approach for determining the origin of the marbles in Temple-A from Laodicea ad Lycum (Denizli-Western Anatolia, Turkey)", *Journal of Cultural Heritage, 17*, 42-52, (2016).

Koralay, T. and Koralay, D. B., "Geochemical properties and heavy metal contents of carbonaceous rocks in the Pliocene siliciclastic rock sequence from southeastern Denizli-Turkey", *Open Geosciences*, 14(1), 1324-1346, (2022).

Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram", *Journal of Petrology*, 27(3), 745-750, (1986).

Lebküchner, R., "Acıgöl-Afyon-Dinar'ın kuzeyinde Neojen Havzasının detaylı araştırmalarının neticesi hakkında rapor", *MTA Derleme Raporu*, No:6186.5, (1970).

McLennan, S. M. and Taylor, S. R., "Sedimentary rocks and crustal evolution: Tectonic setting and secular trends", *The Journal of Geology*, 99(1), 1-21, (1991).

McLennan, S. M., "Rare earth elements in sedimentary rocks: Influence of provenance and sedimentary processes", in *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*, Berlin: Walter de Gruyter GmbH, 21(1), 169-200, (1989).

Mikheeva, E. A., Demonterova, E. I. and Ivanov, A. V., "Geochemistry of the Cheremkhovo and Lower Prisayan formations from the Jurassic Irkutsk coalbearing basin: Evidence for provenance and climate change in Pliensbachian–Toarcian", *Minerals*, *11*(4), 357, (2021).

Moore, D. M. and Reynolds, R. C., Jr., *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals* (2nd ed.), UK: Oxford University Press, (1997).

Mottershead, D. N., & Pye, K. "Tafoni on coastal slopes, South Devon, UK", *Earth Surface Processes and Landforms*, 19(6), 543-563, (1994).

Nebert, K., "Denizli Acıgöl mevkiinin jeolojisi", *MTA Derleme Raporu*, No: 2509, (1956).

Nesbitt, H. W. and Young, G. M., "Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites", *Nature, 299*, 715-717, (1982).

Okay, A. I., "Geology of the Menderes Massif and the Lycian Nappes South of Denizli, Western Taurides", *Bulletin of Mineral Research and Exploration*, *109*, 37–51, (1989).

Okay, A. İ., "Denizli-Tavas Arasındaki Bölgenin Jeolojisi", *TPAO, Rapor No: 2128*, (1986).

Özkul, M., Gül, A., Koralay, T., Özen, H., Semiz, B., & Duman, B. Denizli Travertine: A Global Heritage Stone Resource Nominee from Western Türkiye. *Geoheritage 16*, 67 (2024).

Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C. C., Jones, B., Baykara, M. O., Fórizs, I., Németh, T., Chang, Y. W. and Alçiçek, M. C., "Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin based on their depositional and geochemical data", *Sedimentary Geology, 294*, 179-204, (2013).

Özkul, M., Varol, B. ve Alçiçek, M. C., "Denizli Travertenlerinin Petrografik Özellikleri ve Depolanma Ortamları", *MTA Dergisi, 125*, 13-29, (2002).

Özpınar, Y., Hançer, M. and Semiz, B., "Clays in Denizli region (Southwestern Anatolia), Turkey", *Geologica Carpathica*, 53(2), 1-8, (2002).

Pearce, J. A., "Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins", in C. J. Hawkesworth & M. J. Norry (Eds.), *Continental basalts and mantle xenoliths* (pp. 230-249), UK: Shiva Publishing, (1983).

Pekuz, Ü., "Denizli (Honaz) doğusunda yer alan Oligosen yaşlı molas tipi kırıntılı tortulların tektono-sedimanter özellikleri", *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, 23*(1-2), 185-194, (2007).

Pekuz, Ü., "Honaz (Denizli) çevresinde evaporit içeren Neojen tortullarının stratigrafisi ve depolanma özellikleri", Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi*, (1998).

Perri, F., Critelli, S., Cavalcante, F., Mongelli, G., Dominici, R., Sonnino, M. and De Rosa, R., "Provenance signatures for the Miocene volcaniclastic

succession of the Tufiti di Tusa Formation, southern Apennines, Italy", *Geological Magazine*, 149(3), 423-442, (2012).

Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R., *Sand and sandstone* (2<sup>nd</sup> ed.), Germany: Springer-Verlag, (1987).

Pettijohn, F. J., *Sedimentary Rocks* (2nd ed.), New York: Harper and Row, (1975).

Price, J. R. and Velbel, M. A., "Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks", *Chemical Geology*, 202(3-4), 397-416, (2003).

Reimann, C. and De Caritat, P., *Chemical elements in the environment: Factsheets for the geochemist and environmental scientist*, USA: Springer, (1998).

Reineck, H. E. and Singh, I. B., *Depositional environments. Depositional Sedimentary Environments: With Reference to Terrigenous Clastics*, USA: Springer, 5-7, (1980).

Rimmer, S. M., "Geochemical paleoredox indicators in Devonian-Mississippian black shales, Central Appalachian Basin (USA)", *Chemical Geology*, 206(3-4), 373-391, (2004).

Rollinson, H. R., Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation, UK: Longman Scientific & Technical, (1993).

Roser, B. P., Cooper, R. A., Nathan, S. and Tulloch, A. J., "Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand", *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 39(1), 1–16, (1996).

Sarıkaya, H., *Denizli M22-c2-c3-c4-d3 paftalarının jeoloji haritaları*, Ankara: Maden Tetkik ve Arama Yayınları, (1986).

Semiz, B., "Denizli Volkanitlerinin Jeolojik, Petrografik ve Petrokimyasal Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, (2003).

Sözbilir, H., "Revised Stratigraphy and Facies Analysis of Palaeocene-Eocene Supra-allochthonous Sediments (Denizli, SW-Turkey) and Their Tectonic Significance", *Turkish Journal of Earth Sciences*, *11*, 87-112, (2002). Sözbilir, H., "Stratigraphy and Provenance of the Paleocene - Eocene Alakaya Basin in the Denizli Province. Southwestern Turkey", *IESCA*, *1*, 309-329, (1995).

Sun, S., "Denizli - Uşak arasının jeolojisi ve linyit olanakları", *MTA Derleme Raporu*, No: 92, (1990).

Suttner, L. J. and Dutta, P. K., "Alluvial sandstone composition and paleoclimate; I. framework mineralogy", *Journal of Sedimentary Research*, *56*(3), 329–345, (1986).

Şenel, M., "1/25 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, İsparta paftası (No: 4)", Ankara: MTA Yayınları, (1997).

Şimşek, Ş., "Aydin-Germencik-Omerbeyli geothermal field of Turkey", *Proceeding of UN seminar on utilization of geothermal energy for electric power production and space heating, 1*, 1-30, (1984).

Taner, G., "Denizli Bölgesi Neojenin paleontolojik ve stratigrafik etüdü", *Maden Tetkik Arama Dergisi, 82*, 89-127, (1974).

Tardy, Y., *Petrology of laterites and tropical soils*, UK: Oxford and IBH Publishing, (1997).

Terry, R. D. and Chilingar, G. V., "Summary of 'Concerning some additional aids in studying sedimentary formations,' by MS Shvetsov", *Journal of Sedimentary Research*, *25*(3), 229-234, (1955).

Tucker, M. E. (Ed.), Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks, UK: John Wiley & Sons, (2001).

Tucker, M. E., *Techniques in Sedimentology*, Oxford: Blackwell Scientific Publications, (1988).

Üşenmez, Ş., *Sedimantoloji ve Sedimanter Kayaçlar*, Ankara: Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları No: 5, (1985).

Vassilev, S. V. and Vassileva, C. G., "A new approach for the combined chemical and mineral classification of the inorganic matter in coal, 1. chemical and mineral classification systems", *Fuel*, *88*(2), 235-245, (2009).

Vassilev, S. V., Vassileva, C. G., Baxter, D. and Andersen, L. K., "Relationships between chemical and mineral composition of coal and their potential applications as genetic indicators. Part 1. chemical characteristics", *Geological Balkanica*, *39*(3), 21–41, (2010).

Wang, A., Wang, Z., Liu, J., Xu, N. and Li, H., "The Sr/Ba ratio response to salinity in clastic sediments of the Yangtze River Delta", *Chemical Geology*, *559*, (2021).

Wang, J., Yao, W., Wang, Q., Zhou, J. and Li, J., "Geochemistry of elements in the coal seams of the Xishanyao formation from Gashunwusan Mine, Xinjiang, Northwest China", *Open Fuels Energy Science Journal*, 9, 11–20, (2016).

Westaway, R., "Neogene evolution of the Denizli region of Western Turkey", *Journal of Structural Geology*, 15(1), 37–53, (1993).

White, A. F. and Blum, A. E., "Effects of climate on chemical weathering in watersheds", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(9), 1729-1747, (1995).

Wignall, P. B. and Myers, K. J., "Interpreting benthic oxygen levels in mudrocks: A new approach", *Geology*, *16*(5), 452-455, (1988).

Wilson, M., *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*, London: Harper Collins, (1989).

Wright, J., Schrader, H. and Holser, W. T., "Paleoredox variations in ancient oceans recorded by rare earth elements in fossil apatite", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51(3), 631–644, (1987).

Wronkiewicz, D. J. and Condie, K. C., "Geochemistry and mineralogy of sediments from the Ventersdorp and Transvaal Supergroups, South Africa: Cratonic evolution during the early Proterozoic", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *54*(2), 343-354, (1990).

Xu, H., Liu, B. and Wu, F., "Spatial and temporal variations of Rb/Sr ratios of the bulk surface sediments in Lake Qinghai", *Geochemical Transactions*, *11*(3), (2010).

Zhou, T., Zhou, Y., Zhao, H., Li, M. and Mu, H., "Depositional setting and enrichment mechanism of organic matter of lower Cretaceous shale in Ri-Qing-Wei Basin in the Central Sulu Orogenic Belt", *Frontiers in Earth Science*, 9, (2022).

Zou, X., Li, C., Zhang, J., Ma, G. and Chen, P., "Geochemical characteristics and depositional environment of the Shahejie Formation in the Binnan Oilfield, China", *Journal of Geophysical Engineering*, *17*(3), 539–51, (2020).