

**BOZDOĞAN (AYDIN, TÜRKİYE) KÖMÜRLERİNİN  
KİMYASAL VE PETROGRAFIK ÖZELLİKLERİ**

**CHEMICAL AND PETROGRAPHIC PROPERTIES OF  
BOZDOGAN (AYDIN, TURKIYE) COALS**

**BAŞAK KARAHAAN**

**PROF. DR. ALİ İHSAN KARAYİĞİT**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

*Sevgili Aileme...*

# ÖZET

## BOZDOĞAN (AYDIN, TÜRKİYE) KÖMÜRLERİNİN KİMYASAL VE PETROGRAFIK ÖZELLİKLERİ

**Başak KARAHAN**

**Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali İhsan KARAYİĞİT**

**Ocak 2024, 242 sayfa**

Tez çalışması, Aydın (Güneybatı Anadolu) il sınırları içinde bulunan Bozdoğan Grabeni'nin havza dolgusu içerisindeki kömürlerin kimyasal ve petrografik özelliklerinin incelenmesini amaçlamaktadır. Bu çalışmaların ayrıntılı değerlendirilebilmesi amacıyla palinolojik, mineralojik, jeokimyasal ve Rock-Eval piroliz analizleri de tez kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bozdoğan Graben alanında kömür oluşumları, sondajlı aramalar sırasında oldukça derin seviyelerde saptanmış ve özellikleri ilk kez bu tez kapsamında incelenmiştir. Bozdoğan Grabeni, yaklaşık 15 km genişliğe ve 30 km uzunluğa sahip olup temelini Menderes Masifine ait Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar oluşturmaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde metamorfikler üzerine Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Akçay Grubuna ait sedimanter birimler (Karadere, Mortuma, Yenidere ve Künar/Kale Formasyonları) uyumsuz olarak gelir. Akçay Grubu, uyumsuz olarak Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı Muğla Grubuna ait sedimanter birimler (Sekköy, Yatağan, Milet Formasyonları) tarafından üzerlenmektedir. Tez kapsamında incelenen tümüyle karotlu yapılmış iki adet sondajda (AB-32 ve AB-33) kömür tabakaları, sırasıyla yüzeyden 300,63-406,90 m ve 716,36-719,98 m'de kesilmiştir. Sondaj karotlarında kömürler makroskobik olarak siyah renkli, parlak ve kırılğan olup kırık/çatlaklarında ikincil jips/anhidrit oluşumları görülmektedir. Tez kapsamında bu iki sondajdan oniki kömür,

bir kömürlü silttaşı ve bir karbonlu şeyl örneği alınmıştır. Ayrıca AB-33 nolu en derin (772m) sondajda derinlikle litolojik birimlerdeki mineralojik değişimi görmek amacıyla 70 adet kayaç örneği de alınmış ve mineralojik bileşimi değerlendirilmiştir. Her iki sondajdan alınan tüm kömür örneklerinde yapılan palinolojik çalışmalarla kömür oluşumlarının, Orta Miyosen (Serravaliyen) yaşlı Sekköy Formasyonu içinde yer aldığı ilk kez saptanmıştır. Her iki sondajdan alınan oniki kömür örneğinde sondajlara göre orijinal bazda ağırlıklı ortalama %21,6 toplam nem, havada kuru bazda (adb) %44,0 uçucu madde, %35,2 kül, %5,55 toplam S, %39,1 toplam C ve 3581 kcal/kg üst ısıl değerler hesaplanmıştır. Yüksek toplam kükürt içeren örneklerde yapılan ilave analizler, örneklerin alışılmışın dışında havada kuru bazda çok yüksek oranda ortalama %5,12 organik S içeriğini göstermektedir. X-ışınları tüm kayaç çekimlerine göre tüm kömür örneklerinde kuvars, jips, anhidrit, kalsit, feldispat mineralleri, kil mineralleri, dolomit, aragonit ve pirit saptanmıştır. AB-33 nolu sondajdan alınan kayaç örneklerinde benzer mineraller ve bunlara ilave olarak çok az örnekte kristobalit ve serpantin mineralleri de tanımlanmıştır. Kömür örneklerinde mineral maddesiz bazda (mmf) en önemli maseral grubunu hüminit oluşturmaktadır. Örneklerde liptinit ve özellikle inertinit grubu maseralleri çok daha az oranda hacimce yüzde değerlerine sahiptir. Rastgele yüzde ülminit yansıtımalarının ortalama değerleri (%Rr) ve standart sapmaları  $0,33 \pm 0,01$  olarak saptanmıştır. Kömür örneklerinde ortalama üst ısıl değer (7356 Btu/lb, Mmmf) ve ortalama ülminit yansıtma değeri kömürleşme derecesinin “linyit” aşamasında olduğunu göstermektedir. Rock-Eval piroliz analizi yardımıyla kömür örneklerinde  $T_{max}$  değerleri, 406-430 °C aralığında bulunmuştur. Bu değerler, üst ısıl değer ve %Rr sonuçlarıyla uyumlu olarak kömürlerde düşük kömürleşme derecesini göstermektedir. AB-32 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinde konsantrasyon katsayısına (CC) göre U’nce zenginleşme, B, Mo ve Sr’ca nispi zenginleşme, AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinde ise yalnızca B elementinde nispi bir zenginleşme görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Aydın, Bozdoğan, Linyit, Palinoloji, Mineraloji, Kömür Petrografisi, Element, Rock-Eval



## **ABSTRACT**

### **CHEMICAL AND PETROGRAPHIC PROPERTIES OF BOZDOĞAN (AYDIN, TURKIYE) COALS**

**Başak KARAHAN**

**Master of Science, Department of Geological Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Ali İhsan KARAYİĞİT**

**January 2024, 242 pages**

This thesis aims to investigate the chemical and petrographical features of seams within basin infillings of the Bozdoğan Graben (Aydın, SW Anatolia). Mineralogical, geochemical, Rock-Eval pyrolysis, and palynological studies have been conducted on samples in order to make detailed discussions. The studied seams were cored by boreholes within deeper parts of the basin infillings of Bozdoğan Basin and firstly investigated in this thesis study. The Bozdoğan Basin is 15 km wide and 30 km long, and its basement rocks are mainly composed of Palaeozoic metamorphic rocks from the Menderes Massif. The basement rocks are unconformably overlain by sedimentary rocks of the Oligocene–Early Miocene Akçay Group (Karadere, Mortuma, Yenidere, and Künar/Kale formations). Akçay Group is unconformably overlain by sedimentary units of the Middle Miocene-Pliocene Muğla Group (Sekköy, Yatağan and Milet formations). The investigated coal seams in this thesis are cored in two boreholes (AB-32 and AB-33) from 300.63–406.90 m and 716.3–619.98 m beneath the surface, respectively. A total of twelve coal samples—one coaly siltstone and one carbonaceous shale sample—were obtained from two boreholes. Furthermore, a total of seventy rock core samples were obtained from AB-33, which is the deepest core (772 m beneath the surface), in order to investigate mineralogical distributions throughout the basin infillings. Coal samples are macroscopically black in colour and brittle, and cleat/fracture epigenetic

gypsum/anhydrite infillings are commonly observed. The palynological studies from coal samples show that coal seams are located in the Middle Miocene (Serravallian) Sekköy Formation. The average total moisture on an as-received basis is 21.6%, whereas the average values of ash yield, volatile matter, total S and C, and gross calorific values on an air-dry basis (adb) are 35.2%, 44.0%, 5.6%, 39.1%, and 3581 kcal/kg, respectively. The sulphur form analyses of high total S-bearing samples show that the samples contain extra-ordinary organic sulphur contents (avg. 5.12%, adb). The identified minerals from coal samples by X-ray diffraction (XRD) are quartz, gypsum/anhydrite, calcite, feldspars, clay minerals, dolomite, aragonite, and pyrite. Furthermore, similar minerals are identified in rock samples from the AB-33 borehole, and cristobalite and serpentine group minerals are detected in a few rock samples in this borehole. Coal petrography studies revealed that huminite is the dominant maceral group in coal samples, while liptinite and inertinite display lower proportions. The random huminite reflection values (%Rr) are measured around  $0.33 \pm 0.01\%$ . The %Rr values along with gross calorific values of coal samples (avg. 7356 Btu/lb, on a moist, mineral-matter-free basis) show that coal samples are of lignite (low-rank A). In agreement with the coalification degree of coal samples,  $T_{\max}$  values are between 406 °C and 430 °C. The concentration co-efficiencies (CC) of coal samples suggest U enrichments, and B, Mo, and Sr are slightly enriched.

**Keywords:** Aydın, Bozdoğan, Lignite, Palynology, Mineralogy, Coal Petrography, Element, Rock-Eval

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışması, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde 2021-2023 yılları arasında yürütülmüştür.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi, birikim ve tecrübeleri ile yoluma ışık tutan ve tez çalışmasının her aşamasında sonsuz destek ve güvenini hissettiğim değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Ali İhsan KARAYİĞİT'e,

Tez çalışmaları sırasında kayaç örneklerinin XRD-KF çekimlerindeki ve XRD sonuçlarının yorumlanmasındaki katkıları nedeniyle Prof. Dr. Abidin TEMEL'e,

Tez kapsamında palinolojik çalışmalara büyük destek veren ve tez çalışmasının ileri bir noktaya taşınmasında büyük desteğini gördüğüm Doç. Dr. Mine Sezgül KAYSERİ ÖZER'e, Rock-Eval analizlerinin yorumlanmasındaki bilgi birikiminden yararlandığım Prof. Dr. İsmail Hakkı DEMİREL'e, tez çalışmalarım sırasında ikinci bir danışman gibi desteği ve bilgi birikimiyle katkı veren Dr. Öğr. Üyesi Rıza Görkem OSKAY'a,

Tez kapsamında Bozdoğan Graben alanında yapılmış iki sondajdan örnek almama ve bazı analiz sonuçlarının kullanılmasını izin veren MTA Genel Müdürlüğü'ne, tez kapsamında pozitif katkılarından dolayı MTA Genel Müdür Yardımcısı Jeoloji Yük. Müh. Haşim AĞRILI'ya, çalışmanın değişik aşamalarındaki katkıları nedeniyle MTA Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanı Jeoloji Yük. Müh. Ejder YAPICI, Koordinatör Dr. Yılmaz BULUT ve Proje Başkanı Jeoloji Müh. Mahir SEZGİN'e, MTA Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanı Maden Yük.Müh. Saruhan SAKLAR'a ve onun şahsında ilgili daire çalışanlarına,

Hayatımın her evresinde yanımda olmalarını istediğim, attığım her adımda sonsuz destek ve güvenlerini bir an bile esirgemeyen çok sevdiğim annem Songül KARAHAN, babam Niyazi KARAHAN, ikiz kardeşim ve aynı zamanda meslektaşım Ekin KARAHAN'a teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı .....	9
1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı .....	10
2. GENEL BİLGİLER.....	17
2.1. Kömür Tanımı ve Oluşumu.....	17
2.2. Önceki Çalışmalar .....	21
3. JEOLJİ.....	37
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	52
4.1. Materyal .....	52
4.2. İnceleme Yöntemleri .....	60
4.2.1. Örneklerin Hazırlanması .....	60
4.2.2. Makroskobik Tanımlamalar ve Litotipler .....	61
4.2.3. Kaba Kimyasal, Isıl Değer ve Elementer Analizler .....	61
4.2.4. Mineralojik Analizler .....	63
4.2.5. Jeokimyasal Çalışmalar (Majör Oksit ve İz Element Analizleri) .....	65
4.2.6. Kömür Petrografisi Çalışmaları .....	69
4.2.7. Rock-Eval Analizleri.....	77
4.2.8. Palinoloji Çalışmaları.....	77
5.SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	81

5.1. Makroskobik Tanımlamalar ve Litotipler.....	81
5.2. Kaba Kimyasal, Isıl Değer ve Elementer Analiz Sonuçları.....	81
5.3. Mineralojik Tanımlamalar .....	94
5.3.1. Kömür Örneklerinin XRD-TK Analizleri.....	94
5.3.2. Kömür Örneklerinin SEM-EDS Analizleri.....	99
5.3.3. Kayaç Örneklerinin Mineralojik Analizleri .....	131
5.4. Kömürlerin Jeokimyasal Analizleri .....	162
5.5. Kömür Petrografi Çalışmaları.....	168
5.5.1. Maseral-Mineral Madde Analizleri .....	168
5.5.2. Kömür Fasiyes Analizleri .....	177
5.5.3. Hüminit Yansıtmasının Ölçümü .....	181
5.6. Rock-Eval Analiz Sonuçları .....	182
5.7. Palinoloji Çalışmaları .....	196
5.7.1. AB-33 Nolu Sondajdan Alınan Örneklerin Mikroflorası, Jeolojik Yaş Değerlendirmesi ve Paleortamı .....	197
5.7.2. AB-32 Nolu Sondajdan Alınan Örneklerin Mikroflorası, Jeolojik Yaş Değerlendirmesi ve Paleortamı .....	201
6. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	210
6.1. Genel Sonuçlar.....	210
6.2. Öneriler .....	213
7. KAYNAKLAR .....	214

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya birincil enerji arzı içerisinde kömürün payı (Tamzok, 2022).....	1
Şekil 1.2. Ülkelerin kömür rezervleri (www.enerji.gov.tr).....	3
Şekil 1.3. Ülkemizde saptanmış önemli kömür yataklarının jeolojik yaşlarına göre dağılımları (Bulut, 2023'den).....	5
Şekil 1.4. Enerji tüketimi içerisinde kaynakların dağılımı (TKİ Linyit, 2020).....	6
Şekil 1.5. Toplam enerji tüketimi içindeki kömürün payı (Enerji Günlüğü, 2022). ....	7
Şekil 1.6. Elektrik üretiminde kullanılan kaynakların dağılımı (Enerji Günlüğü, 2022). .	8
Şekil 1.7. Çalışma alanının Google Earth haritası üzerindeki konumu. ....	10
Şekil 1.8. İnceleme alanının lokasyon haritası. ....	11
Şekil 1.9. İnceleme alanının içinde bulunduğu Aydın ilinin fiziki haritası (Saygılı, 2015). .....	11
Şekil 1.10. Bozdoğan Graben alanı içerisinde çalışma alanının konumu. ....	12
Şekil 1.11. Bozdoğan Graben alanı ve tez kapsamında incelenen iki adet sondajın Google Earth haritası üzerindeki konumları. ....	13
Şekil 1.12. Aydın ili madencilik haritası ( <a href="https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/il-maden-haritalari">https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/il-maden-haritalari</a> ). ....	14
Şekil 1.13. Aydın ili kömür yatakları ve zuhurları (MTA, 2010). ....	15
Şekil 1.14. Bozdoğan Graben alanında yapılmış ve kömür kesen bazı sondajlar ve konumları (Şengüler, 2019).....	16
Şekil 2.1. Organik ve inorganik malzemelerden itibaren turba oluşumu. ( <a href="http://www.uky.edu/KGS/coal/">www.uky.edu/KGS/coal/</a> ).....	18
Şekil 2.2. Turba oluşumu, zaman, basınç ve ısıya bağlı olarak linyit, altbitümlü, bitümlü (taşkömür) ve antrasit oluşumu ( <a href="http://www.uky.edu/KGS/coal/">http://www.uky.edu/KGS/coal/</a> ). ....	18
Şekil 2.3. Kömürleşme sürecinin şematik gösterimi (Speight, 1983).....	19
Şekil 2.4. Saraç (2003) tarafından memeli yaşları rapor edilen Olukbaşı, Amasya-1 ve -2 nolu örneklerin Google-Earth haritası üzerindeki konumları. ....	25
Şekil 2.5. Karacasu Grabeni 'nin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Açıkalın, 2005). ..	27
Şekil 2.6. Söke, Yatağan, Bozdoğan ve Karacasu havzalarının stratigrafisi, memeli yaşları ve çökeltme ortamlarını gösteren kolon kesit (Alçiçek, 2010). ....	27

Şekil 2.7. Karacasu Graben alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Alçiçek ve ark., 2013).....	29
Şekil 2.8. (A) Karacasu ve Bozdoğan grabeninin alanının jeolojisi, (B) A-B jeoloji kesiti. (Konak ve Göktaş, 2004; Ocakoğlu ve ark., 2014'den). ....	29
Şekil 2.9 Bozdoğan ve Karacasu Grabenlerinin stratigrafik kolon kesitleri (Ocakoğlu ve ark., 2014).....	30
Şekil 2.10. Bozdoğan Graben alanının güneydoğundaki Kale-Tavas sahasının basitleştirilmiş jeoloji haritası ve kömür ocaklarının konumları (Hakyemez, 1989; Atalay, 2007; Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020; Karayiğit ve ark., 2020'den yeniden düzenlenerek alınmıştır). ....	32
Şekil 2.11. Kale-Tavas alt havzasının stratigrafik kolon kesiti (Hakyemez, 1989; Atalay, 2007; Karayiğit ve Kayseri-Özer (2020); Karayiğit ve ark., 2020).....	33
Şekil 2.12. A) Türkiye ve çevresinin neotektonik yapıları (Bozkurt, 2001; Özsayın ve ark. 2023'den) B) Batı Türkiye'nin başlıca graben sistemleri (Bozkurt ve Mittwede, 2005; Özsayın ve ark., 2023'den. C) Bozdoğan ve Karacasu grabenlerinin sınır faylarının segmentlerini gösteren sayısal yükseklik modeli üzerinde çalışma alanının jeolojik haritası (Ocakoğlu ve ark., 2014; Özsayın ve ark., 2023'den). ....	35
Şekil 3.1. Bozdoğan Graben alanı ve çevresinin 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası (Pamir, 1974; Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020'den yeniden düzenlenerek alınmıştır). Not: Çalışma alanı kırmızı dikdörtgenle gösterilmiştir ve jeolojik yaş isimlendirilmelerinde harita üzerinde gösterilenlere bağlı kalınmıştır. ....	37
Şekil 3.2. Bozdoğan Grabeni ve yakın çevresinin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası (Açıklamalar: 1:Kuvaterner, 2:Pliyosen, 3:Üst Miyosen, 4:Orta Miyosen, 5:Alt Miyosen, 6:Oligosen, 7:Üst Eosen, 8:Üst Palesoen-Orta Eosen, 9:Kampaniyen-Maestrihtiyen, 10:Kretase, 11:Üst Kretase, 12:Toarsiyen-Üst Kretase, 13:Liyas, 14:Jura-Kretase, 15:Orta Triyas-Liyas, 16:Alt Liyas, 17:Permien, 18:Paleozoyik, 19:Prekambriyen) (1/100.000 ölçekli M20-Aydın ve M21-Denizli MTA jeoloji haritalarından basitleştirilerek çizilmiştir). ....	38
Şekil 3.3. Tez kapsamında incelenen AB-32 ve AB-33 nolu sondajların logları, tanımlanan formasyonlar ve karşılaştırılması.....	40
Şekil 3.4. Çalışma alanının güney doğusunda Akçay Çayında mermer ve diğer formasyonların uzaktan görünüşleri.....	41

Şekil 3.5. Tez kapsamında incelenen AB-33 nolu sondajın taban kısmında kesilen metamorfik kayalar.....	41
Şekil 3.6. Bozdoğan Grabeni'nin güneydoğusundaki Kale-Tavas sahasında Künar, Yatağan ve Milet Formasyonlarının uzaktan (a) ve daha yakından (b) görünümüleri. ....	44
Şekil 3.7. Kale-Tavas sahasında Sekköy Formasyonu içinde açılmış ve günümüzde terk edilmiş kömür açık ocağının uzaktan (a) ve daha yakından (b) görünümüleri. ....	46
Şekil 3.8. Kale-Tavas sahasında Yatağan Formasyonu'na ait tabakalı, yumrulu kireçtaşlarının görünümü.....	47
Şekil 3.9. Tez kapsamında incelenen AB-33 nolu sondajda Yatağan Formasyonu içinde farklı seviyelerde yüzeyden derine doğru tanımlanan yeşil renkli çamurtaşı-kiltaşı, kıvılcımsı-kahverengi çamurtaşı ve beyazımsı krem renkli kireçtaşlarından görünüm. ....	48
Şekil 3.10. Tez kapsamında incelenen AB-33 nolu sondajda Yatağan Formasyonu'nun taban seviyesinde görülen ve tez kapsamında Sekköy Formasyonu'ndan ayrılmasında kılavuz olarak kullanılan konglomeraların görünümü.....	48
Şekil 3.11. Kale-Tavas sahasında Milet Formasyonu'nun görünümü. ....	50
Şekil 3.12. Tez kapsamında incelenen AB-33 nolu sondajda Milet Formasyonu'nda tanımlanan gölsel kireçtaşlarının ve Yatağan Formasyonu'na geçiş olarak düşünülen dokanağın görünümü.....	50
Şekil 3.13. Bozdoğan Grabeni'nde tanımlanan normal faylar (Usta, 2015). ....	51
Şekil 4.1. Tez kapsamında AB-32 sondajından alınan örneklerin sondaj logu üzerindeki konumları. ....	55
Şekil 4.2. Tez kapsamında AB-33 sondajından alınan örneklerin sondaj logu üzerindeki konumları. ....	56
Şekil 4.3. Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlara ait kömürlü seviyelerden seçilen karot fotoğrafları. ....	58
Şekil 4.4. Tez kapsamında incelenen AB-33 nolu sondajın karotlarında kömür içerisinde gözlenen ikincil jips/anhidrit oluşumları.....	58
Şekil 4.5. İş akış şeması. ....	59
Şekil 4.6. Kömürlerdeki majör, minör ve iz elementler. ( <a href="https://www.uky.edu/KGS/coal/coal-major-minor-trace-elements.php">https://www.uky.edu/KGS/coal/coal-major-minor-trace-elements.php</a> ).....	66
Şekil 4.7. Jeokimyasal döngünün basitleştirilmiş versiyonu (Trudinger ve ark., 1979). 66	



Şekil 4.8. Kömürün bileşenleri ve bunlara karşılık gelen organik ve mineral birliktelikleri (Dai ve ark., 2020) .....	68
Şekil 4.9. Leica DM 4000M üstten aydınlatmalı mikroskop (Hacettepe Üniversitesi)..	71
Şekil 5.1 Tez kapsamında analiz edilen kömür örneklerinin ASTM D388 (2019) sınıflaması (Hower ve ark., 2022). .....	86
Şekil 5.2. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerde havada kuru bazda kül içeriği ile üst ısıl değerlerinin karşılaştırılması.....	86
Şekil 5.3. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerde kuru bazda kül içeriği ile toplam S değerlerinin karşılaştırılması. ....	87
Şekil 5.4. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerinin orijinal bazda yüzde toplam nem ve havada kuru bazda nem, uçucu madde ve kül analiz sonuçlarının derinliğe bağlı değişimleri. ....	89
Şekil 5.5. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerinin havada kuru bazda %bağlı karbon, üst ısıl değer, toplam S ve toplam C analiz sonuçlarının derinliğe bağlı değişimleri. ....	90
Şekil 5.6. Tez kapsamında kuru bazda %kül içeriği ile %toplam karbon değerlerinin karşılaştırılması.....	91
Şekil 5.7. AB-32 nolu sondajdan alınan kömür ve kömürlü silttaşı (AB32-1) örneklerinin XRD-TK difraktogramları (Ilt/Mc:İllit/Mika, Kln:Kaolinit, Cl=Kil min., Gp:Jips, Arg: Aragonit, Qz:Kuars, Fsp:Feldispat, Cal:Kalsit, Py:Pirit). ....	96
Şekil.5.8. AB-33 nolu sondajdan alınan kömür ve karbonlu şeyl (AB33-2) örneklerinin XRD-TK difraktogramları (Ilt/Mc:İllit/Mika, Kln:Kaolinit, Cl=Kil min., Gp:Jips, Arg: Aragonit, Anh: Anhidrit, Qz:Kuars, Felds:Feldispat, Cal:Kalsit, Py:Pirit)..	97
Şekil 5.9. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örneklerinde XRD-TK yardımıyla tanımlanan minerallerin yarı-kantitatif yüzde değerlerinin sondaj derinliğine göre değişimleri. ....	98
Şekil 5.10. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller, pomza parçaları, diyatom ve organik madde.	100
Şekil 5.11. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve fosil kavrıkları.....	101
Şekil 5.12. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan kemik ve kömür ile bunların SEM-EDS bileşimleri.....	102

Şekil 5.13. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve SEM-EDS bileşimleri. ....	103
Şekil 5.14. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan pomza, feldispat mineralleri, Ti-oksit minerali ve SEM-EDS bileşimleri.....	104
Şekil 5.15. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan pomza ve plajiyoklaz ile bunların SEM-EDS bileşimleri. ....	105
Şekil 5.16. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan pirit, Mn-içeren Fe-Ca-Al silikat, Simektit ile bunların SEM-EDS bileşimleri. ....	106
Şekil 5.17. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan diyatom kavrıkları. ....	107
Şekil 5.18. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri. ....	108
Şekil 5.19. Tez kapsamında AB32-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan kalsit, dolomit mineralleri ve bunların SEM-EDS bileşimleri. ....	109
Şekil 5.20. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan fosil kavrığı, illit, dolomit ve Ti-oksit oluşumları ve bunların SEM-EDS bileşimleri.....	110
Şekil 5.21. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan kükürtçe zengin organik madde, silika ve anhidrit mineralleri ile bunların SEM-EDS bileşimleri. ....	111
Şekil 5.22. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan iz oranda As ve Na- içeren F-apatit, dolomit ve iz oranda Mg-içeren kalsit mineralleri ve bunların SEM-EDS bileşimleri.....	112
Şekil 5.23. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan pirit, silika, iz oranda Mg-içeren kalsit, dolomit mineralleri ile bunların SEM-EDS bileşimleri. ....	113
Şekil 5.24. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan Sr-barit, Ba-sölestin, iz oranda Ca ve Ba içeren- sölestin ve dolomit mineralleri ve bunların SEM-EDS bileşimleri.....	114

Şekil 5.25. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.....	115
Şekil 5.26. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan jips, pomza, alkali feldispat ve kromit minerali ve SEM-EDS bileşimi.....	116
Şekil 5.27. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.....	117
Şekil 5.28. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.....	118
Şekil 5.29. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan silika ve anhidrit oluşumları ve bunların EDS bileşimleri. ....	119
Şekil 5.30. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.....	120
Şekil 5.31. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.....	121
Şekil 5.32. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan dolomit, Sr-içeren kalsit, Sr ve Mg-içeren kalsit, anhidrit oluşumları ve bunların SEM-EDS bileşimleri. ....	122
Şekil 5.33. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan silika ve anhidrit mineralleri. ....	123
Şekil 5.34. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan silika ve anhidrit mineralleri ve bunların SEM-EDS bileşimleri. ....	124
Şekil 5.35. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.....	125
Şekil 5.36. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.....	126
Şekil 5.37. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.....	127
Şekil 5.38. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan fosil kavkısı ve dolomit oluşumları ve EDS bileşimleri ..	128

Şekil 5.39. Tez kapsamında SEM-EDS incelemeleri sonucu tanımlanan mineral, fosil kavkısı, kemik, diyatom ve pomzaların kömürlerdeki oluşum modlarının yorumlanması.....	129
Şekil 5.40. Tez kapsamında AB-33nolu sondajdan temsili olarak seçilen örneklerin XRD-TK difraktogramları (İlt/Mc:İllit/Mika, Kln:Kaolinit, Cl=Kil min., Gp:Jips, Arg: Aragonit, Anh: Anhidrit, Qz:Kuvars, Ank:Ankerit, Felds:Feldispat, Cal:Kalsit, Py:Pirit).....	132
Şekil 5.41. AB-33 nolu sondajdan alınan kayaç örneklerinde XRD-TK difraktogramlarında tanımlanan minerallerin derinliğe bağlı değişimleri. ....	134
Şekil 5.42. AB-33 nolu sondajdan alınan tüm kayaç örneklerinde %karbonat mineralleri ile kil minerallerinin karşılaştırılması. ....	136
Şekil 5.43. AB-33 nolu sondajda Sekköy Formasyonu içinde ve kömürlü seviyenin üst kısımlarında gözlenen sinjenetik ve epijenetik olduğu düşünülen jips/anhidrit oluşumları.....	137
Şekil 5.44. Tez kapsamında seçilen örneklerin (AB33-13, 14, 15, 17, 26 ve 29) XRD-KF difraktogramları ve tanımlanan mineraller.....	138
Şekil 5.45. Tez kapsamında seçilen örneklerin (AB33-33, 36, 42, 61, 65 ve 66) XRD-KF difraktogramları ve tanımlanan mineraller.....	139
Şekil 5.46. SEM-EDS incelemeleri yapılan iki kayaç örneğinin (AB33-52 (lab no:142268) ve AB33-65 (lab no:142252) orijinal XRD-TK difraktogramları. ....	141
Şekil 5.47. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri.....	142
Şekil 5.48. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri.....	143
Şekil 5.49. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri.....	144
Şekil 5.50. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan feldispat (K ve Na), muskovit, kalsit, silika, iz oranda Ba içeren sölesitn, iz oranda Ca içeren Sr-barit.....	145
Şekil 5.51. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan Nb-rutil? ve bunların EDS bileşimleri. ....	146
Şekil 5.52. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri.....	147

Şekil 5.53. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan $\text{CaCO}_3$ , muskovit ve diyatom kavkıları. ....	148
Şekil 5.54. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan Granat? ve iz oranda Mg ve Fe-içeren kalsit oluşumları ve EDS bileşimleri. ....	149
Şekil 5.55. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan Mg-içeren kalsit, iz oranda Hf-içeren zirkon ve bunların EDS bileşimleri. ....	150
Şekil 5.56. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan kemik parçası, Na-feldispat, $\text{CaCO}_3$ ve framboidal pirit oluşumları. ....	151
Şekil 5.57. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri. ....	152
Şekil 5.58. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan fosil kavkısı, simektit ve silika mineralleri ve bunların EDS bileşimleri. ....	153
Şekil 5.59. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan kalsit, Mg-kalsit ve simektit oluşumları ve EDS bileşimleri. ....	154
Şekil 5.60. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan fosil kavkısı, Mg-kalsit ve sfalerit. ....	155
Şekil 5.61. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan zirkon, Ti- oksit, iz oranda Ti ve Mn- içeren pirit, Mg-kalsit ve pomza oluşumları ve EDS bileşimleri. ....	156
Şekil 5.62. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan silika, Mg-kalsit, Mg ve Fe-içeren kalsit oluşumları ve EDS bileşimleri. ....	157
Şekil 5.63. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan çeşitli mineraller ve EDS bileşimleri. ....	158
Şekil 5.64. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri. ....	159
Şekil 5.65. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve fosil kavkısı. ....	160

Şekil 5.66. Tez kapsamında incelenen AB32-1 (kömürlü silttaş) nolu örnekte tanımlanan maserallerin üstten aydınlatmalı normal ışıkta (a, c, e) ve mavi ışık, turuncu filtrede görünüşler (b, d, f). .....	170
Şekil 5.67. Tez kapsamında incelenen kömür örneklerinde tanımlanan füsinit maseralleri. ....	171
Şekil 5.68. Tez kapsamında incelenen kömür örneğinde tanımlanan alginite maserali. ....	172
Şekil 5.69. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin mineral maddeli bazda maseral gruplarının yüzde değerlerinin üçgen diyagram üzerinde gösterimi. ....	176
Şekil 5.70. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin mineral maddesiz bazda maseral gruplarının yüzde değerlerinin üçgen diyagram üzerinde gösterimi. ....	177
Şekil 5.71. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örneklerinin tek bir ABC üçgen diyagramı üzerindeki konumları (Mukhopadhyay 1989'dan düzenlenerek alınmıştır).....	178
Şekil 5.72. Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örneklerinin TPI-GI diyagramları üzerindeki dağılımları (Kalaitzidis ve ark. 2004'den düzenlenerek alınmıştır).....	180
Şekil 5.73. Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örneklerinin VI-GWI diyagramları üzerindeki dağılımları (Kalaitzidis ve ark. 2004'den düzenlenerek alınmıştır).....	180
Şekil 5.74. ASTM ve ISO standartlarına göre kömürlerin sınıflandırılması (Encyclopedia of Geochemistry, 2017).....	181
Şekil 5.75. İncelenen sondajlara göre kömür örneklerinde Rock-Eval analizi S <sub>1</sub> (mg HC/g kayaç) piki ile hacimce yüzde liptinit içeriği arasındaki ilişki. ....	183
Şekil 5.76. Rock-Eval S <sub>2</sub> ve S <sub>3</sub> pik değerlerinin hacimce yüzde hüminite, telohüminite ve liptinit ile kuru bazda hidrojen içerikleriyle karşılaştırılması. ....	185
Şekil 5.77. Sondajlara göre kuru bazda kül içeriği ile %TOC değerlerinin karşılaştırılması. ....	186
Şekil 5.78. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan incelenen kömür örnekleriyle, Kale-Tavas sahasında yer alan Sekköy ve Yenidere Formasyonlarında yer alan kömür örneklerinin TOC-S <sub>2</sub> değerlerinin karşılaştırılması (İlgili şekil, Langford ve Blanc-Valleron, 1990'dan değiştirilerek alınmıştır. Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait veriler Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020'den alınmıştır). ....	188

Şekil 5.79. Tez kapsamında incelenen kömür örnekleri ve Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait kömür örneklerinin pseudo-van Krevelen diyagramı üzerindeki dağılımları (Peters, 1986'dan Türkçeleştirilerek alınmıştır. Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait veriler Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020'den alınmıştır).....	189
Şekil 5.80. Tez kapsamında incelenen kömür örnekleriyle Yenidere ve Sekköy Formasyonlarında yer alan kömür örneklerinin $T_{max}$ değerlerinin HI değerleriyle karşılaştırılması (Peters, 1986'dan Türkçeleştirilerek alınmıştır. Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait veriler Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020'den alınmıştır.)....	190
Şekil 5.81 Tez kapsamında incelenen kömür örnekleri ile Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait kömür örneklerinin TOC-S <sub>2</sub> değerlerinin karşılaştırılması (Dembicki, 2009'dan Türkçeleştirilmiştir. Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait veriler Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020'den alınmıştır).....	191
Şekil 5.82. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan incelenen kömür örnekleriyle, Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait kömür örneklerinin $T_{max}$ değerlerinin HI değerleriyle karşılaştırılması (Sykes ve Snowdon, 2002'den Türkçeleştirilerek alınmıştır. Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait veriler Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020'den alınmıştır). ....	192
Şekil 5.83. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan rastgele hüminite yansıtması ölçülen kömür örnekleri ve Kale -Tavas sahasındaki kömür örneklerinin HI-%R <sub>r</sub> diyagramı üzerindeki dağılımları ve HI <sub>max</sub> sınır değerleri (Petersen, 2006'dan Türkçeleştirilerek alınmıştır. Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait veriler Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020'den alınmıştır).....	193
Şekil 5.84. AB-33 nolu sondajdan derlenen örneklere ait organik madde içeriğini gösteren resimler. ....	198
Şekil 5.85 AB-33 ve AB-32 nolu sondajlarda tanımlanmış palinomorfaların yüzde bolluklarını gösteren diyagram. ....	199
Şekil 5.86. AB 32 sondajında derlenen 1-4 örneklerine ait organik madde içeriğini gösteren resimler.....	202
Şekil 5.87. AB 32 sondajında derlenen 5-8 örneklerine ait organik madde içeriğini gösteren resimler.....	203
Şekil 5.88. Levha I.....	205
Şekil 5.89. Levha II.....	206
Şekil 5.90. Levha III .....	207

Şekil 5.91. Levha IV .....	208
Şekil 5.92. Levha V.....	209



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin yüzeyden derinlikleri ve tanımlamaları. ....	53
Çizelge 4.2. Tez kapsamında AB-33 nolu sondajdan alınan kayaç örneklerinin yüzeyden derinlikleri ve litolojik tanımlamaları. ....	54
Çizelge 4.3. Düşük kömürleşme derecesine sahip kömürlerin litotip sınıflandırması (ICCP, 1993'den Türkçeleştirilerek alınmıştır). ....	62
Çizelge 4.4. Kömürlerde sık rastlanan elementler ve kömürlerde bulunuş şekilleri (Finkelman, 1995).....	67
Çizelge 4.5. Linyit ve alt bitümlü kömürlerde kullanılan maseral sınıflaması (ICCP, 2001; Sýkorová ve ark., 2005; Pickel ve ark. 2017). ....	72
Çizelge 5.1. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örneklerinin litotip tanımlamaları. ....	82
Çizelge 5.2. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin orijinal (orj) ve havada kuru bazda (adb) analiz sonuçları. ....	82
Çizelge 5.3. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örnekler için kuru (db) ve kuru-külsüz bazda (daf) hesaplanan analiz sonuçları. ....	83
Çizelge 5.4. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerine ait analiz sonuçlarının minimum, maksimum, ağırlıklı ortalama değerleri. ....	84
Çizelge 5.5. Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan seçilen örneklerin havada kuru bazda ve kuru bazda %toplam S, %piritik kükürt, %sülfat kükürdü ve %organik kükürt analiz sonuçları. ....	92
Çizelge 5.6. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlarda XRD-TK analizleri tanımlanan mineraller. ....	98
Çizelge 5.7. AB-33 nolu sondajdan alınan 70 adet kayaç örneğinin XRD-TK difraktogramlarında tanımlanan mineraller ve bolluk yüzdeleri. ....	133
Çizelge 5.8. Tez çalışması kapsamında AB-33 nolu sondajdan seçilen kayaç örneklerinin XRD-KF çekimlerinde tanımlanan minerallerin yarı kantitatif yüzde değerleri. .	137
Çizelge 5.9. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin kül bazında XRF yardımıyla yapılan majör oksit analiz sonuçları (Not: <işareti konsantrasyonun dedeksiyon limitinden daha düşük olduğunu göstermektedir). ....	163

Çizelge 5.10. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin kül bazında ICP-OES yardımıyla yapılan iz element analiz sonuçları (Not: <işareti konsantrasyonun dedeksiyon limitinden daha düşük olduğunu göstermektedir).....	164
Çizelge 5.11. Tez kapsamında incelenen kömür, kömürlü silttaşı ve karbonlu şeyl örneklerine ait iz element konsantrasyonlarının ağırlıklı ortalamaları ve bu değerlerin Dünya kömürleriyle karşılaştırılması. Not: Karbonlu şeyl ve kömürlü silttaşına ait zenginleştirmelerin hesaplanmasında sedimanter kayalara ait Klark değerleri dikkate alınmıştır.....	166
Çizelge 5.12. Tez kapsamında AB-32 ve AB33 nolu sondajlardan alınan kömür, kömürlü silttaşı (ZT) ve karbonlu şeyl (XH) örneklerinin maseral-mineral analiz sonuçları. ....	169
Çizelge 5.13. Tez kapsamında AB-32 ve AB33 nolu sondajlardan alınan kömür, kömürlü silttaşı (ZT) ve karbonlu şeyl (XH) örneklerinin maseral gruplarının mineral maddesiz bazda hesaplanan hacimce yüzde değerleri.....	169
Çizelge 5.14. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin hesaplanan GI, TPI, VI ve GWI değerleri.....	179
Çizelge 5.15. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan seçilen kömür örneklerinin TOC ve Rock-Eval analiz sonuçları. ....	182

## SİMGELER VE KISALTMALAR

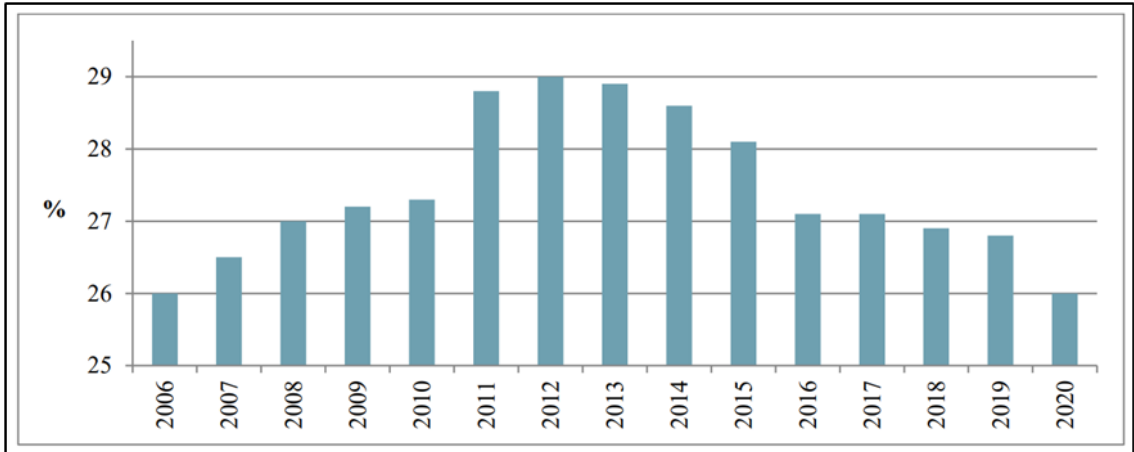
%Rr	Rastgele yüzde ülminit yansıtması
�C	Derece (Celcius)
�m	Mikrometre
�	Angstrom
adb	Havada kuru baz
as-rec	örneğin laboratuvara geldiği durumda
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
Au-Pd	Altın-Paladyum
avg	Aritmetik ortalama
bdl	Dedeksiyon limitinin altında
Bkz.	Bakınız
CHNSO	Karbon, Hidrojen, Azot, Kükürt, Oksijen
cps	Saniyedeki sayım sayısı
D	Doğu
daf	Kuru külsüz baz
DAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
D.E.�.	Dokuz Eylül �niversitesi
db	Kuru baz
dmmf	Kuru, mineral-maddesiz baz
G	Güney
H.�.	Hacettepe Üniversitesi
ICCP	Uluslararası Kömür ve Organik Petroloji Komitesi
ICP-OES	�nd�ktif eşleşmiş argon plazma-optik emisyon spektrometresi

ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu
K	Kuzey
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
max	Maksimum değer
min	Minimum değer
Mmmf	Nemli mineral maddesiz bazda
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel M¼d¼rl¼ę¼
MW	Moment magnit¼d¼
My	Milyon yıl
nm	Nanometre
orj.	Orijinal baz
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SEM-EDX	Taramalı elektron mikroskobu-enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi
TKİ	T¼rkiye K¼m¼r İşletmeleri
TOC	Toplam organik karbon
TPAO	T¼rkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı
UID	¼st ısıl değer
UV	Ultraviyole
vol%	Hacimce y¼zde
wt%	Ağırlıkça y¼zde
XRD	X-ışını difraksiyonu
XRD-KF	X-ışınları kil fraksiyonu difraktogramları
XRD-TK	X-ışınları t¼m kayaç (Toz) difraktogramları
XRF	X-ışını floresans spektrometresi

# 1. GİRİŞ

Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınmasına katkı sağlayan en önemli unsurlardan biridir. Kömür insanlık tarihi boyunca hem ekonomik hem de toplumsal kalkınmanın en temel enerji kaynaklarından biri olarak değerlendirilmiş ve sanayi devrimi ile birlikte buharlı makinaların enerji ihtiyacının karşılanmasında, metalürjik kok üretiminde, kömür yakan termik santrallerde, çimento sanayisinde, tuğla-kiremit fabrikalarında ve konut ısıtmasında kullanımının başlamasıyla dünya ekonomileri üzerinde belirleyici bir rol üstlenmiştir.

Yirminci yüzyılın başlarına gelindiğinde ise Dünya enerji ihtiyacının neredeyse %60'ı kömürle karşılanmıştır. Diğer taraftan küresel enerji tüketimi içindeki kömürün payı, ilk olarak petrol ve sonrasında doğal gazın kullanımının başlamasıyla yüzyılın sonlarına doğru %20'li seviyelere kadar düşmüştür (Şekil 1.1). Sonunun geldiği düşünülen kömür, yeni yüzyılın başlamasıyla birlikte yeniden bir canlanma dönemine girmiş, artan kömür talebine bağlı olarak küresel kömür tüketimi de rekor seviyelere ulaşmıştır. Günümüzde daha temiz alternatif enerji kaynaklarına yönelişin giderek artmasına rağmen mevcut durumda enerji talebinin büyük bir kısmı halen petrol, doğal gaz ve kömür gibi geleneksel fosil yakıtlardan karşılanmaktadır.

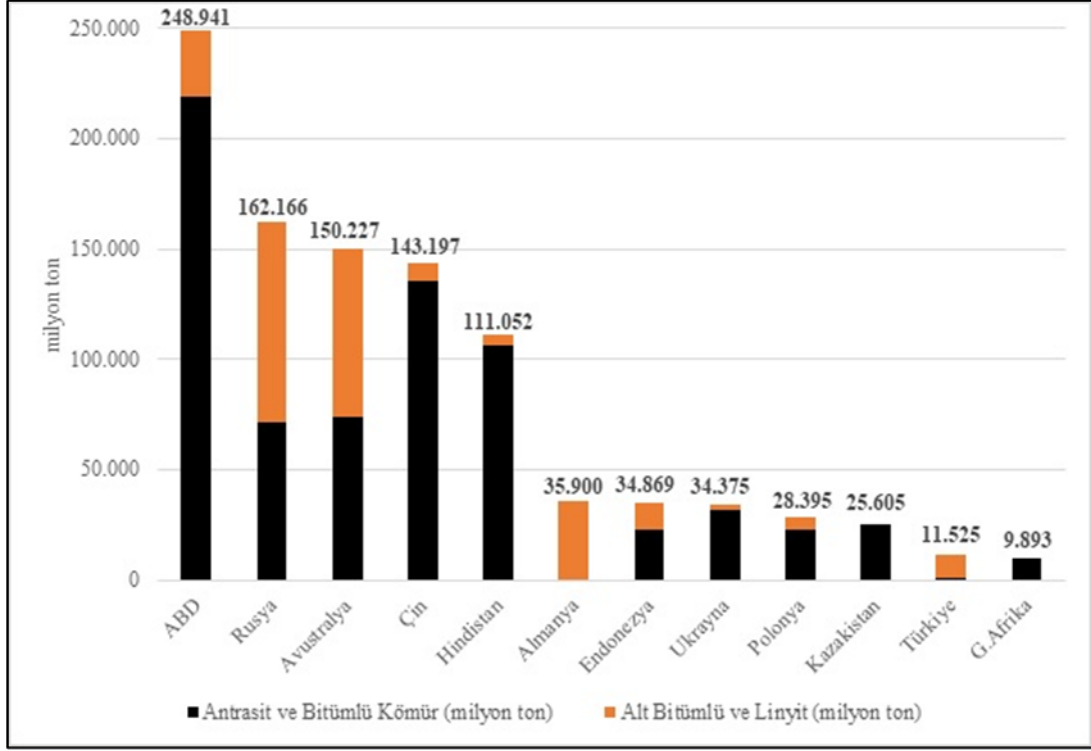


Şekil 1.1. Dünya birincil enerji arzı içerisinde kömürün payı (Tamzok, 2022).

İlk olarak Çin’de ortaya çıkan ve daha sonra tüm Dünya’ya yayılan COVID-19 pandemisine bağılı olarak küresel ekonominin yavaşlaması ve bu yavaşlamalara bağılı olarak artan kapanmalara karşın, Rusya'nın Ukrayna’yı işgali sonrası artan doğal gaz fiyatları, 2022 yılında tüm dünyada kömür kullanımının tekrar artmasına neden olmuştur. 2022 yılında yaşanan doğal gaz fiyatlarındaki anormal artışlar ve buna bağılı olarak gelişen küresel ölçekli kömür talebi, birçok ülkede gözlenen gazdan kömüre geçişle de desteklenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA)’nın yayınladıkları yeni raporlar, Dünya geneli göz önüne alındığında kömür tüketiminin 2022 yılı ile beraber yavaşlayan ekonomik büyüme ve enerji piyasasında yaşanan çeşitli dalgalanmalar sonucu hafifçe artacağını ve neredeyse on yıl önce gözlenen rekor seviyeye yeniden döneceğini yansıtmaktadır. Avrupa Birliği'ndeki 2022 yılı itibariyle kömür tüketiminin, geçen yılki %14'lük artışın üzerine %7 daha artması beklenmektedir. Bu artışa doğal gaz yerine kömürün gitgide daha fazla kullanıldığı elektrik sektöründen gelen talep neden olmaktadır. Bazı Avrupa Birliği ülkeleri, basında yer alan bilgilere göre gaz tüketimini daha aza indirmek için kapatılması planlanan kömür santrallerinin ömrünü uzatırken, çoktan kapatılmış kömür santrallerini de tekrardan açmayı planlamaktadır. Dünya üzerinde kömür kaynaklarının oldukça yaygın bulunması ve rezervlerinin diğer kaynaklara oranla daha fazla olması (yaklaşık 1 trilyon ton), üretim ve nakliyesinin kolaylığı, fiyat dalgalanmalarının fazla gözlenmemesi, depolama olanaklarının kolaylığı, kullanım sırasında güvenilir olması, kullanıcının diğer başka yakıtlara oranla daha ucuz ve kesintisiz erişilebilir özellikte olması nedeniyle, kömür vazgeçilmez bir enerji kaynağı olma özelliğini halen korumaktadır.

Dünya geneli göz önüne alındığında antrasit ve bitümlü kömür rezervlerinin en büyük kısmı 218,94 milyar ton (%29,1) ile Amerika Birleşik Devletleri’nde yer almaktadır. Amerika’yı 135,07 milyar ton (%17,9) ile Çin, 105,98 milyar ton (%14,1) ile Hindistan, 73,73 milyar ton (%9,8) ile Avustralya ve 71,72 milyar ton ile (%9,59) Rusya izlemektedir. Alt bitümlü kömür ve linyit rezervlerinin en büyük kısmı 9,45 milyar ton ile Rusya Federasyonu içerisinde yer almaktadır. Rusya’yı sırasıyla 76,51 milyar ton (%28,29) ile Avustralya, 35,90 milyar ton (%11,2) ile Almanya, 30,00 milyar ton (%9,4) ile Amerika, 11,73 milyar ton (%3,7) Endonezya ve 10,98 milyar ton (%3,4) Türkiye

izlemektedir (Şekil 1.2). Ülkemiz için verilen bu değerler, son yıllarda MTA Genel Müdürlüğü'nün sondajlı aramalarıyla kömür kaynağı neredeyse iki katına çıkmıştır.



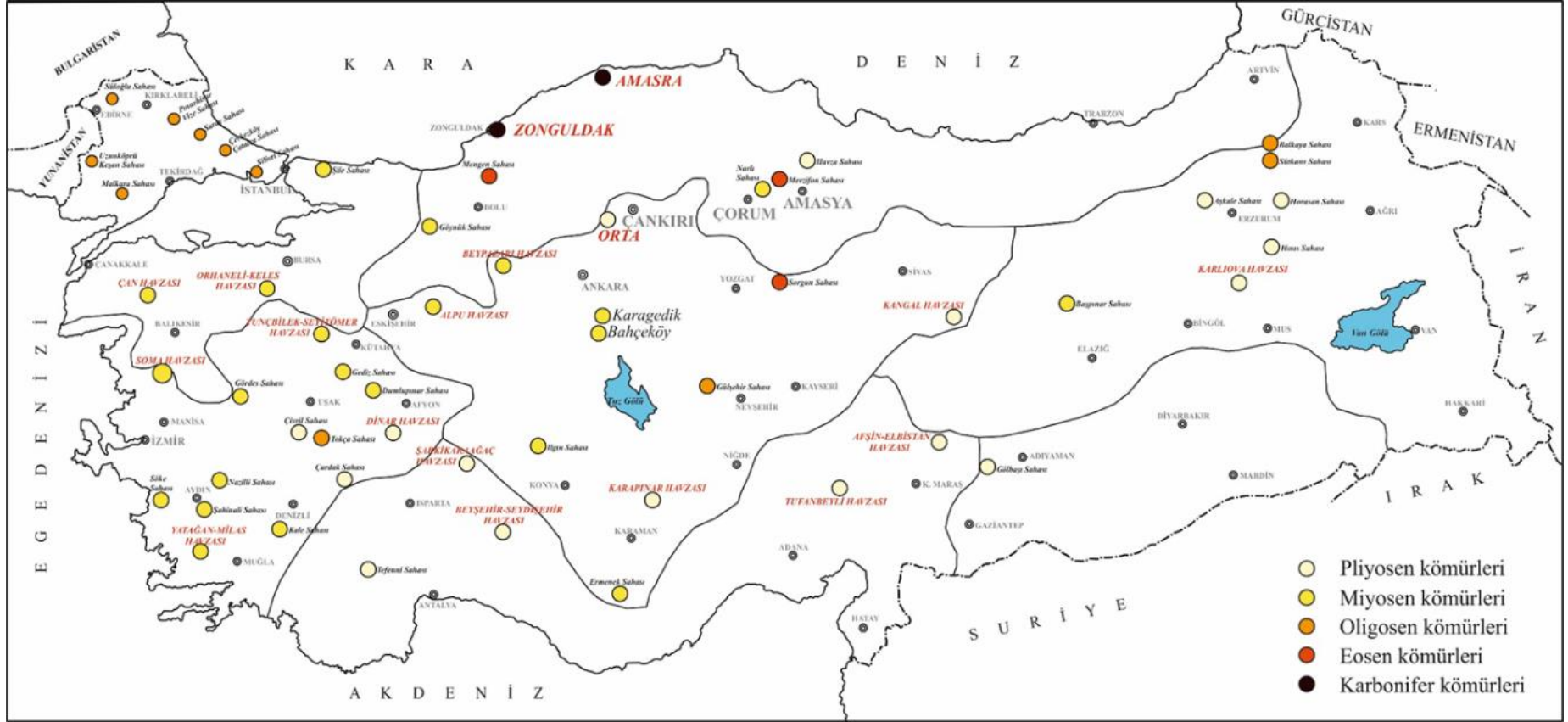
Şekil 1.2. Ülkelerin kömür rezervleri (www.enerji.gov.tr).

Günümüzde kömür, elektrik enerjisi üretiminde termik santrallerde yakıt hammaddesi olarak, ısınma amaçlı, endüstride, gaz üretiminde ve demir çelik sanayi gibi pek çok farklı amaçla kullanılsa da başlıca iki önemli kullanım alanı bulunmaktadır. Bu alanlar demir-çelik sanayinde kullanılmak üzere kömürün koklaştırılması ve termik santrallerde elektrik üretim amaçlı kullanılmasıdır. Günümüz teknoloji koşulları değerlendirildiğinde kömür özellikle demir-çelik sanayisinde bir süre daha kullanılmak zorundadır. Bu durumun asıl nedeni ise demir cevherinden sıvı ham demiri üretmek için alternatif başka bir teknolojinin günümüzde halen geliştirilememiş olmasından kaynaklanmaktadır. Kömürün kullanımı burada yalnızca demir cevherini ergitmekle kalmamakta, aynı zamanda oksijenle de birleşerek demirin saf halde ayrılmasını da mümkün kılmaktadır. Bu nedenle demir cevheri içindeki Fe'in indirgenmesi için kömür kullanımı şu an için zorunlu bir süreçtir. Kömürün bir diğer önemli kullanım alanı olan termik santrallerde ise

kömür yakılarak ısı enerjisine ardından da elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Elektrik enerjisine dönüşüm için ilk şart buhar üretimidir. Yakma işlemi ile buhar kazanlarında biriken buhar, türbin ve jeneratör kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Çalışma sistemi özetlenecek olduğunda; kondansede soğutulan buhar tekrar su haline döner, türbinden çekilen buharla çalışan yeniden ısıtma bölümüye suyun ısınıp yükseltip tekrar kazana gönderir. Bu çevrim içinde su ve buhar kapalı devre halinde dolaştıkları için, çevrim sürekli olarak sonsuza kadar yenilenmektedir.

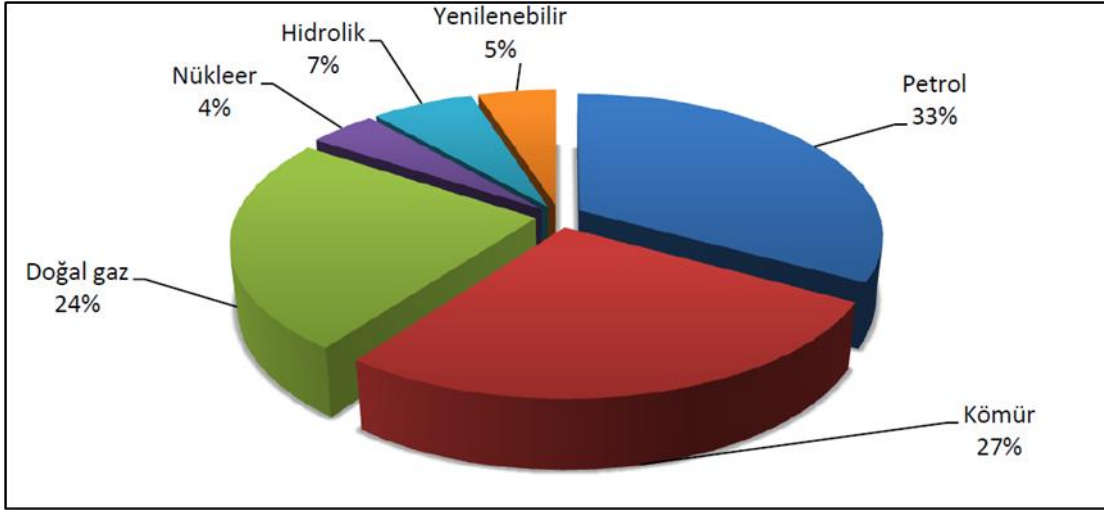
Ülkemizde linyit işletme ve arama çalışmalarına verilen önemin Cumhuriyetimizin kurulması ile birlikte arttığı görülmektedir. Bu durumu destekler biçimde 1927 yılında, Amasya-Çeltek, Kütahya-Tunçbilek-Değirmisaz, Yozgat-Yerköy ve Aydın-Nazilli-Girenez ocakları çalıştırılmaya başlanmış, 1935 yılına gelindiğinde ise yer altı kaynaklarımızın sistematik bir şekilde araştırılmasıyla amacıyla MTA Genel Müdürlüğü kurulmuş ve böylelikle programlı ve bilimsel bir şekilde kömür aramacılığı dönemine geçilmiştir. Türkiye’de kömür aramaları son yıllarda oldukça önem kazanmış ve aramalar için ciddi bütçeler ayrılmıştır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından 2005 yılında başlatılan yoğun kömür arama çalışmalarıyla 2022 yılı sonuna gelindiğinde toplamda 3,5 milyon metre sondaj çalışmaları sonucu; Eskişehir-Alpu, Tekirdağ-Malkara, Afyon-Dinar, Edirne-Merkez-Meriç, Konya-Karapınar-Ayrancı, Muş, İstanbul-Silivri, olmak üzere 7’si büyük 29 adet yeni kömür sahası keşfi gerçekleştirilmiştir. Bu sahalara ek olarak, maden kanunlarınca buluculuğu alınamayan ancak kömür kaynağı tespit edilen 8 yeni kaynak kömür sahasının keşfi de yapılmıştır. Yapılan bu keşifler sonucu Türkiye’nin 2003 yılında sahip olduğu 8,3 milyar ton olan linyit kaynağı geçtiğimiz son on yedi yılda 2,3 kat artırılmış ve yaklaşık 19,3 milyar tona kadar ulaşmıştır. Türkiye’de yer alan önemli önemli kömür oluşumları yaşları ile birlikte Şekil 1.3.’de gösterilmektedir. Ülkemizde bulunan kömür rezervlerinin önemli bir kısmını düşük kaliteli linyit kaynaklarını oluşturmakla birlikte 733 milyon tonu görünür rezerv olmak üzere tamamı Zonguldak Havzası’nda yer alan yaklaşık 1,5 milyar ton taşkömürü rezervi de ülkemizde bulunmaktadır.





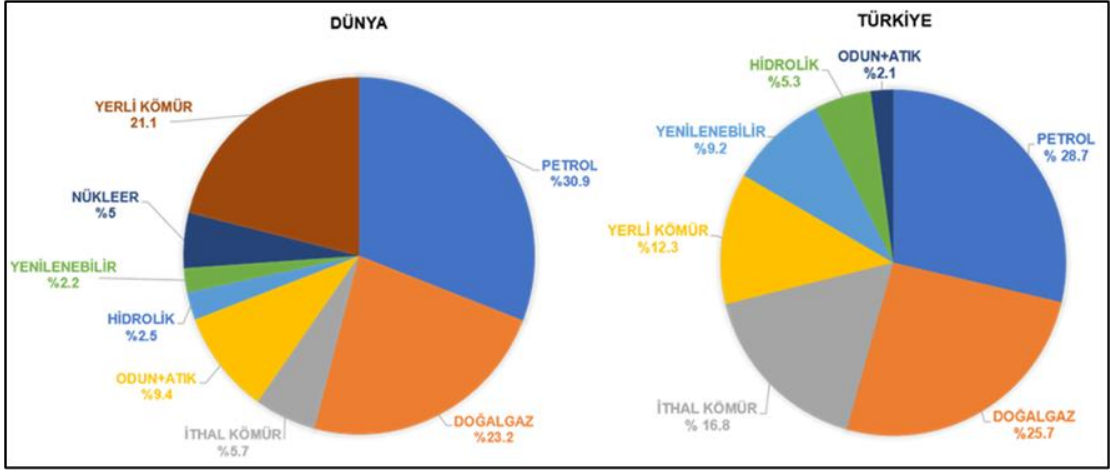
Şekil 1.3. Ülkemizde saptanmış önemli kömür yataklarının jeolojik yaşlarına göre dağılımları (Bulut, 2023'den).

Dünya genelinde 1937-2018 yılları arasında enerji tüketimi içerisinde petrolün oranı %46,2'den %33 seviyesine gerilemiştir. Bu yıllar arasında doğalgazın enerji tüketimi içerisindeki oranı %16'lardan %24 seviyesine, nükleer enerjinin oranı %0,9 seviyesinden %4'e, yenilenebilir enerjinin oranı %1,9 seviyesinden %5'e ve kömürün oranı ise %24,5'den %27 seviyesine yükselmiştir (TKİ, 2020) (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Enerji tüketimi içerisinde kaynakların dağılımı (TKİ Linyit, 2020).

Günümüz Türkiye'sinde enerji tüketimi içerisinde %29,1'lik oranla en yüksek payı kömür oluşturmaktadır. Kömürü sırasıyla %28,7 ile petrol ve %25,7 ile doğal gaz izlemektedir. Hidrolik enerji kaynakları dâhil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %14,5'tür. Toplam enerji tüketimi içinde ithal kömürün payı %16,8'dir. Diğer taraftan yerli kömürün toplam enerji tüketimi içerisindeki payı %12,3 civarındadır. Dünya genelinde kömürün toplam enerji tüketimi içerisindeki payı (%26,8), Türkiye tüketimine oldukça yakın bir düzeydedir. Bununla beraber, Dünya genelinde ithal kömür tüketimi, ortalama %5,7'lik bir orana sahiptir. Bu oran Türkiye ithal kömür tüketim oranları ile karşılaştırıldığında oldukça düşük kalmaktadır (Enerji Günlüğü, 2022) (Şekil 1.5).



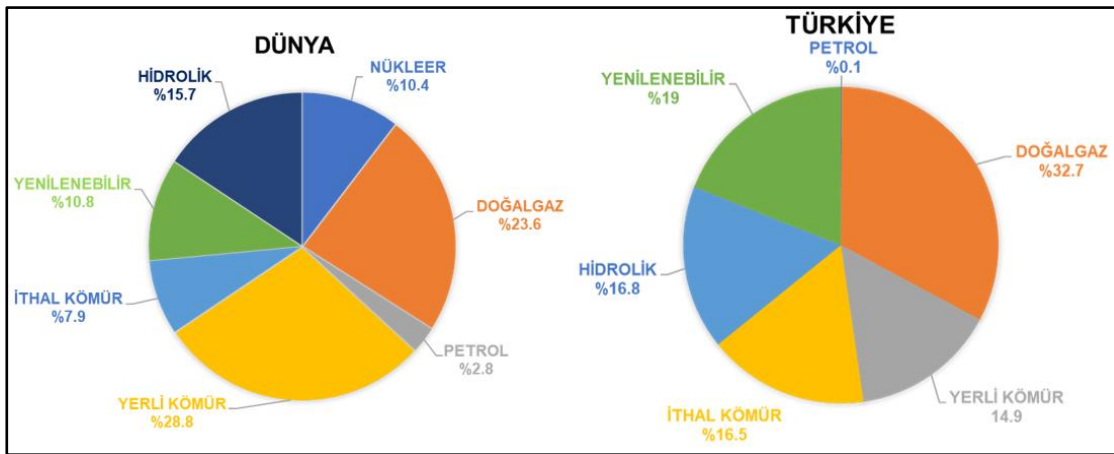
Şekil 1.5. Toplam enerji tüketimi içindeki kömürün payı (Enerji Günlüğü, 2022).

Türkiye'nin enerji politikaları incelendiğinde yerli kömürlere verilen önemin hiç azalmadığı gözlenmektedir. Yaşanan enerji krizlerini aşmak amacıyla linyite dayalı termik santral politikalarının benimsendiği 1970-1990'lı yılların sonuna kadar yerli kömür üretimleri devamlı bir artış göstermiş ve 1998 yılına gelindiğinde 67 milyon ton düzeyine kadar çıkmıştır. Devam eden yıllarda kimi zaman üretimde düşüşler yaşansa da genel hat hep artış yönünde olmuş, günümüzde ise üretim gözlenen en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Üretim dışında ithalat da hızla artmış ve bunun bir sonucu olarak ülkemiz, Dünya'da önde gelen kömür tüketicisi ülkeler arasında yerini almıştır. Bugüne kadarki en yüksek yıllık kömür üretimi 2019 yılında 87 milyon ton ile gerçekleşmiş ve üretimin 2020 yılında %16 oranında gerilemesiyle 72,7 milyon ton seviyesine kadar düşmüştür. Bu gerileme ve düşüşe rağmen Türkiye, Dünya bazında en fazla kömür üreten on birinci ülke konumunda yer almaktadır. Kömür üretiminin sadece %1,5'lük kısmı taşkömüründen sağlanırken, geriye kalan kısım linyit üretimi ile sağlanmaktadır (Enerji Günlüğü, 2022).

Ülkemizde kömür ithalatı son 10 yılda yaklaşık iki kat artmıştır. 2020 yılına gelindiğinde kömür ithalatı 40 milyon ton düzeyine yükselmiş ve 2021 yılına gelindiğinde her iki ülkeden de 14,7 milyon ton olmak üzere Kolombiya ve Rusya'dan yapmıştır. Bu iki ülkeyi sırasıyla 5,3 milyon ton ile Avustralya ve 1 milyon ton ile ABD takip etmektedir. Türkiye'nin kömür tüketimi ısı değer bazında incelendiğinde, tüketimin %34'ü linyit ve

%63'ü taşkömüründen karşılandığı gözlenmektedir. Tüketim miktar bazında incelendiğinde ise tüketimin %62'si linyit, %36'sı taşkömürü ve geri kalanı asfaltitten oluşmaktadır. Benzer şekilde, tüketimin miktar bazında %35'i ve ısı değer bazında %62'si ithal kömürden karşılanmaktadır. Türkiye'de kömür %77,4'lük oran ile en fazla elektrik üretimi ve konutlarda ısı üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Kömürün %9,5'u sanayi sektörlerinde, %8'i ısınmada, %5'i ise kok fırınlarında tüketilmektedir. Sanayideki tüketimi başlıca çimento (%35), demir-çelik (%15), tekstil (%15), gıda (%12), kimya (%7) ve diğer sektörler (%15) oluşturmaktadır (Enerji Günlüğü, 2022).

Ülkemizde Ocak-2022 ayı itibarıyla kömür kullanan elektrik santrallerinin toplam kurulu gücü 20.382 MW'dır ve Türkiye toplam kurulu gücünün %20,4'üne karşılık gelmektedir. Ülkemizde yer alan kömür kullanan santrallerin 52 tanesi (11.388 MW) yerli ve 15 tanesi (8.994 MW) ithal kömür ile çalışmaktadır. Santrallerde elektrik üretimi sırasında kullanılan yerli kömürler, çoğunlukla düşük kaliteli ve linyit olarak tanımlanan kömürlerden oluşmaktadır (Enerji Günlüğü, 2022). Ülkemizde 2021 yılı elektrik üretiminde kullanılan kaynakların dağılımı incelendiğinde en büyük payın %32,7 ile doğal gazla ait olduğu görülmektedir. Bu kaynağı sırasıyla %31,4'lük oran ile kömür, %19 ile yenilenebilir kaynaklar, %16,8 ile hidrolik enerji takip etmektedir. İthal kömürün elektrik üretiminde kullanılan kaynaklar içindeki payı %16,5 ve yerli kömürün payı ise %14,9'dur. Dünya genelinde elektrik üretiminde kömürün kullanım payı %36,7 düzeyinde iken ithal kömür kullanımını ortalama %7,9'luk oran ile Türkiye'nin neredeyse yarısı düzeyindedir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Elektrik üretiminde kullanılan kaynakların dağılımı (Enerji Günlüğü, 2022).

## 1.1. Çalışmanın Amacı

Ülkemizin güneybatısında Neojen boyunca oluşmuş ve ülkemiz açısından önemli kömür sahaları (örneğin; Manisa-Soma, Muğla, Kale-Tavas Havzaları) bulunmaktadır. Bu kömür sahalarının bir bölümü Batı Anadolu'nun geçirmiş olduğu tektonik evrime bağlı olarak D-B doğrultulu Büyük Menderes Grabeni boyunca genellikle K-G doğrultulu havzaların içerisinde bulunmaktadır (örneğin; Söke, İncirliova, Şahinalı, Hasköy, Başçayır, Köşk, Karacasu, Bozdoğan ve Sarayköy; Şekil 1.3). Bu tür K-G doğrultulu havza çökelleri içerisinde yer alan ve aynı zamanda zengin makro ve mikro fosil içeriğine sahip bu kömür içeren istiflerin, buldukları stratigrafik istifte hangi zaman aralığında çökdiklerinin belirlenmesi, Batı Anadolu'nun tektonik evriminin ve tektonizmasının anlaşılması açısından büyük öneme sahiptir.

Tez kapsamında incelenen Bozdoğan kömür sahası, yaklaşık KB-GD doğrultulu Bozdoğan Grabeni içerisinde yer almaktadır. Bu graben, D-B doğrultulu Büyük Menderes Grabeni'ne neredeyse dik konumdadır. Bozdoğan Grabeni daha önce farklı amaçlar doğrultusunda stratigrafik, sedimentolojik ve tektonik açıdan incelenmiştir (Nebert, 1955; Becker-Platen, 1971; Kastelli, 1971; Alçiçek 2010; Ocakoğlu ve ark., 2007, 2014; Özsayın ve ark., 2023). Diğer taraftan MTA Genel Müdürlüğü tarafından Bozdoğan Grabeni ve yakın çevresinde yapılan sondajlı kömür aramaları sırasında sondajlarda kömür tabakaları ilk kez kesilmiştir. Bu nedenle graben içerisindeki kalın Neojen yaşlı dolgu nedeniyle kömür oluşumları, yüzlek (mostra) vermemektedir ve buna bağlı olarak önceki çalışmalar tarafından kömür yatağı olarak rapor edilmemiştir. MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan sondajlı aramalara göre 2022 yılı sonu itibariyle Aydın-Bozdoğan sahasında 5,4 milyon ton kömür kaynak potansiyeli belirlenmiştir (<https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/komur-arama-arastirmalari>). Bu tez çalışması dışında Bozdoğan Graben alanı içerisindeki kömürlerin petrografisine ve kömürlerin kimyasal özelliklerine yönelik değerlendirmelere, palinolojik bulgulara ve yaşlandırmalara literatürde bugüne kadar rastlanılmamıştır.

Tez çalışması, Aydın (Güneybatı Anadolu) il sınırları içerisinde bulunan Bozdoğan Grabeni'nin havza dolgusu içerisindeki kömürlerin kimyasal ve petrografik özelliklerinin

incelenmesini amaçlamaktadır. Bu çalışmaların ayrıntılı değerlendirilebilmesi amacıyla palinolojik, mineralojik, jeokimyasal ve Rock-Eval piroliz analizleri de tez kapsamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tez çalışması kapsamında elde edilecek bulguların, incelenen alana yakın bir bölgede yer alan Akçay Vadisindeki (Kale-Tavas sahası) Erken Miyosen yaşlı Yenidere ve Orta Miyosen yaşlı Narlı (Sekköy Formasyonu) kömürleriyle karşılaştırılmalarının yapılması çalışmanın diğer bir hedefini oluşturmaktadır.

## 1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı

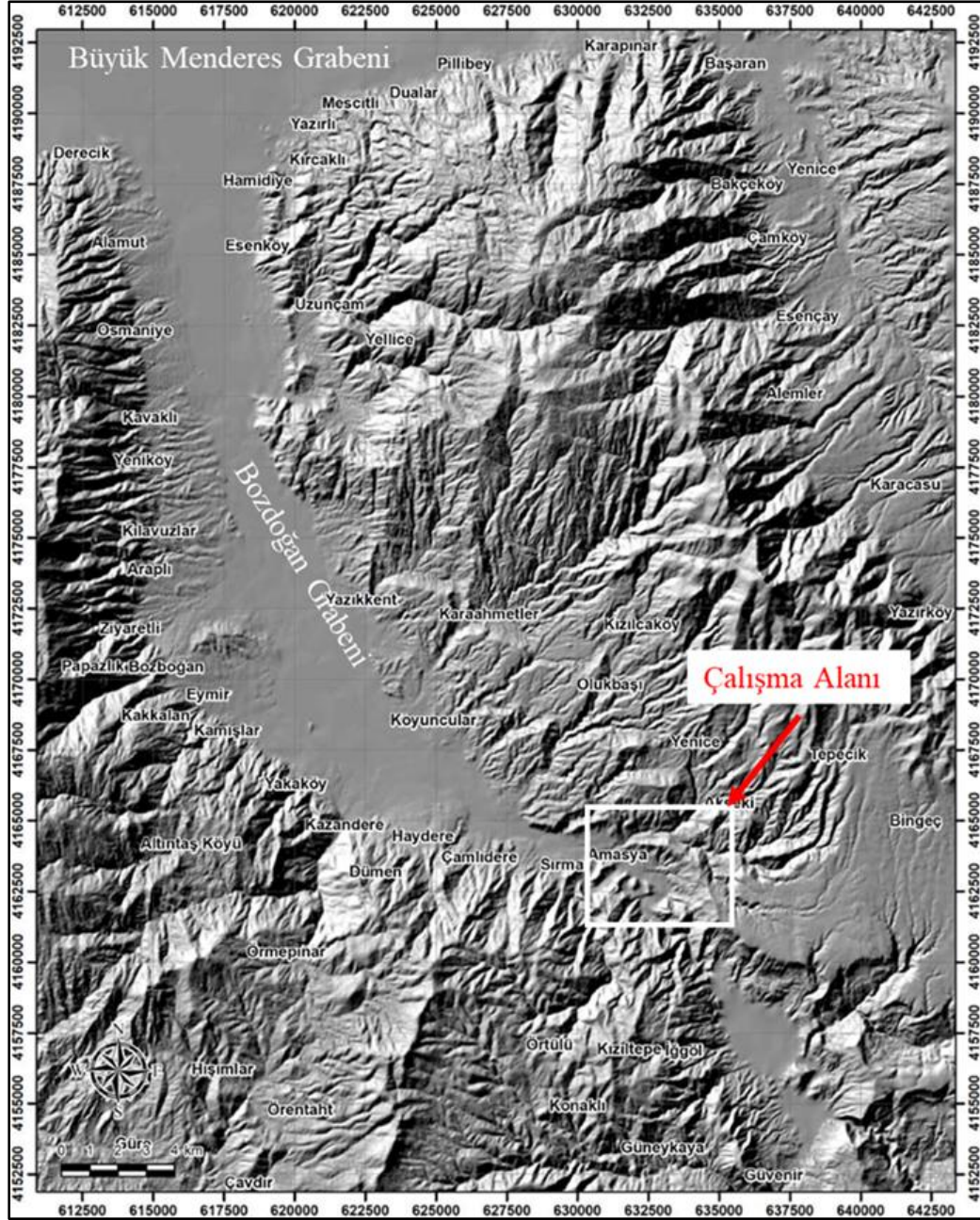
Tez kapsamında incelenen kömür oluşumları, daha önce açıklandığı gibi, Bozdoğan Graben alanı içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.7). İncelenen alan Aydın ilinin güneydoğusunda ve Denizli ilinin yaklaşık batısında bulunmaktadır (Şekil 1.8). Bozdoğan Graben alanının doğu kısmında Karıncalı Dağı ve batısında Doğu Menteşe Dağı bulunmaktadır (Şekil 1.9). Bozdoğan Grabeni ile Karacasu Grabeni'ni Karıncalı Dağı ayırmaktadır (Şekil 1.9). Bozdoğan Grabeni'nin kuzeyinde ise neredeyse D-B uzanımlı Büyük Menderes Grabeni yer almaktadır (Şekil 1.7, 1.9 ve 1.10).



Şekil 1.7. Çalışma alanının Google Earth haritası üzerindeki konumu.







Şekil 1.10. Bozdoğan Graben alanı içerisinde çalışma alanının konumu.

Bozdoğan ilçesinin diğer ilçe ve illere bağlantısı asfaltlı yollarla olmaktadır ve ulaşım sorunu bulunmamaktadır. Bölgede iklim, yazlar kurak ve sıcak, kışlar ise yağışlı ve ılık geçmektedir. Aydın ilinde ana akarsuyunu Büyük Menderes Nehri oluşturmaktadır.

MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan sondajlı aramalar sırasında Bozdoğan Graben alanının genelde güneydoğu kısmında kömür oluşumları saptanmıştır. Tez kapsamında

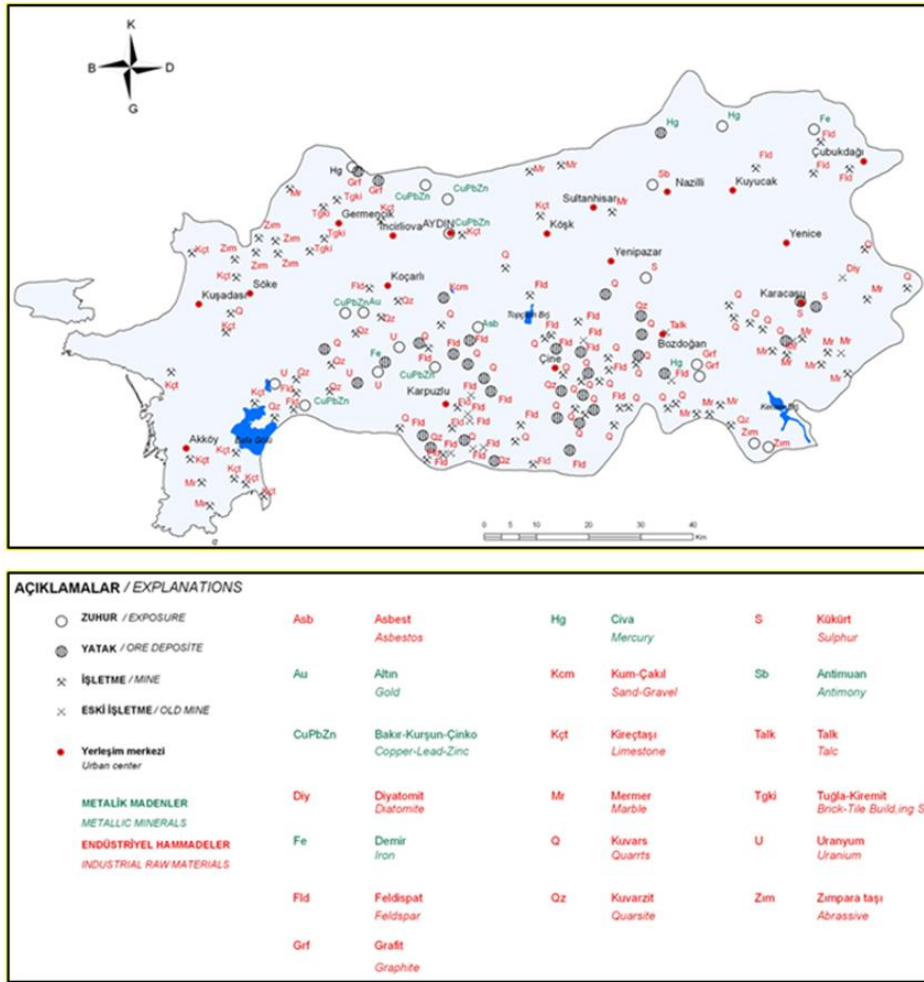


da bu bölgeden seçilmiş iki temsili sondajda kömürler çalışma amacı doğrultusunda ayrıntılı incelenmiştir (Şekil 1.11). Bozdoğan ilçesi Aydın il merkezine yaklaşık 67 km uzaklıkta ve Akçay Nehri vadisi içerisinde bulunmaktadır. Bozdoğan Grabeni yaklaşık 15 km genişliğinde ve 30 km uzunluğunda bir yarı graben olarak tanımlanmaktadır (Alçıçek, 2010). Havza Büyük Menderes Grabeni yakınında hemen hemen K-G yönelime sahip iken güneye doğru D-B yönünde sapma göstermektedir (Şekil 1.14). Grabenin orta kesiminin ortalama yükseltisi 85 m olup en yüksek zirvesini Bozdoğan Köyü'nün güneybatısında yer alan ve 1725 m'ye kadar uzanan Madran Dağı oluşturmaktadır. Çalışma alanı içerisindeki diğer önemli yükseltiler ise Göktepe (456 m), Teke Dağı (456 m), Honas Tepe (294 m) ve Yaran Tepe (355 m)'dir. Grabenin ana drenaj kaynağı Nazilli ili yakınında Menderes Nehrine karışan Akçay Nehridir. Akçay Nehri vadisi ve bu vadi içerisinde oluşan ova sahanın morfolojisini meydana getirmektedir. Büyük Menderes ve Bozdoğan havzalarının orta kesimlerinde gözlenen morfolojik farklılıklar dikkat çekicidir. Büyük Menderes Grabeni Büyük Menderes Nehri tarafından, Bozdoğan Grabeni ise Akçay Nehri tarafından derin bir şekilde kesilmiş ve yarılmıştır. Bu durum, deniz seviyesinden yaklaşık 50-90 m yükseklikte akarsu çökellerinin birikmesine imkan veren geniş vadilerin oluşmasına yol açmıştır. Havzanın kuzey kenarındaki olası temel yükselmesi, kalın alüvyal yelpazelerin oluşmasına neden olmuştur (Ocakoğlu ve ark. 2014).

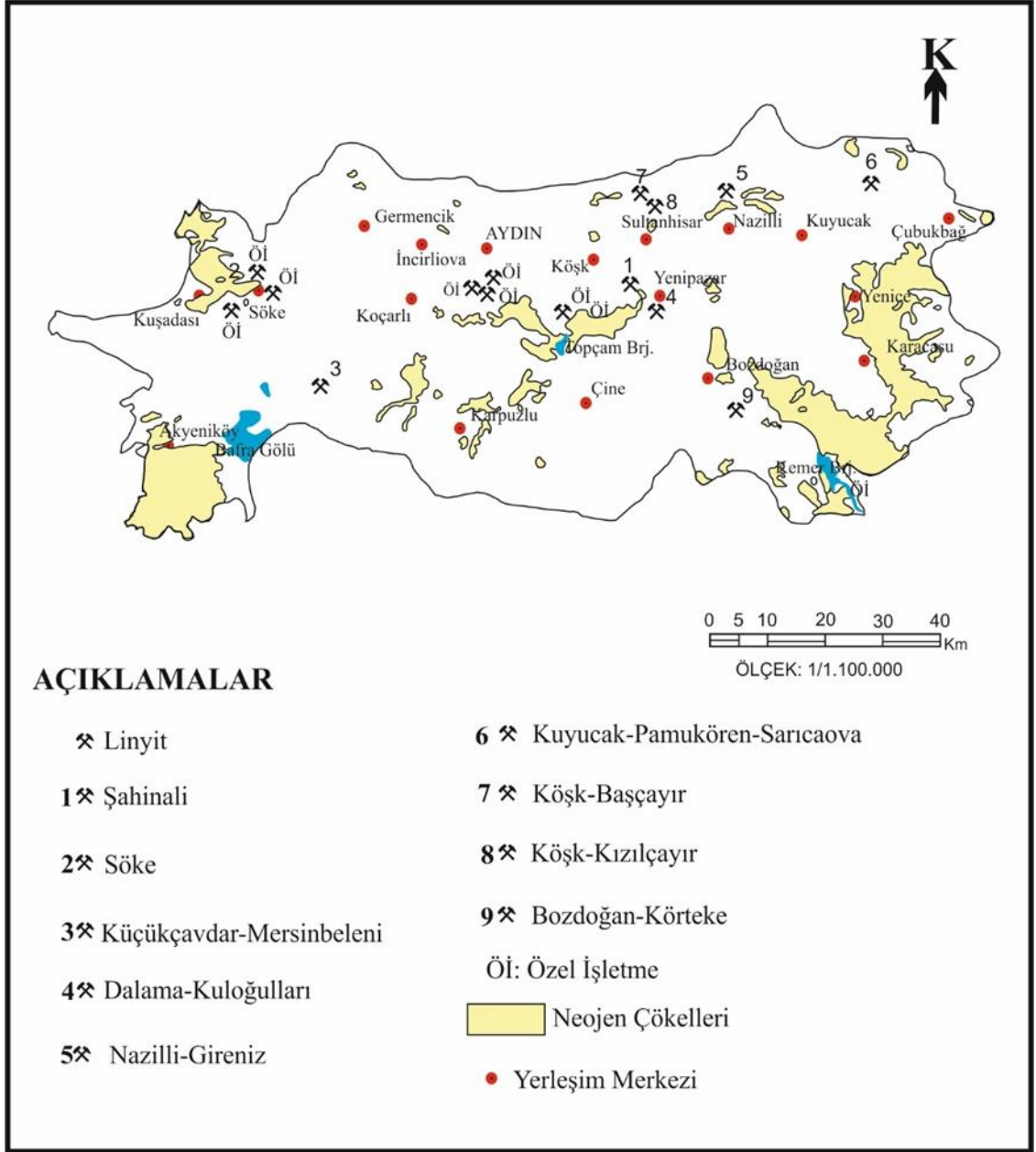


Şekil 1.11. Bozdoğan Graben alanı ve tez kapsamında incelenen iki adet sondajın Google Earth haritası üzerindeki konumları.

Aydın ili, madencilik ve jeotermal enerji üretimin yoğun olarak yapıldığı illerden birisidir. Dünya pazarındaki feldispat tüketimin büyük bir kısmı Türkiye’den sağlanmaktadır. Feldispat rezervlerinin yaklaşık %95’i Çine ve Söke (Aydın) civarında bulunmaktadır (Şekil 1.12). Aydın’da feldispat dışında altın, bakır, kurşun, çinko, civa ve demir, grafit gibi maden yatağı ve zuhurları bulunmaktadır (Şekil 1.12). İl genelinde yapılan arama çalışmalarıyla yeni kömür ve jeotermal sahaları keşfedilmiştir. Jeotermal kaynak, kaplıca tesisi ısıtılması, şehir ısıtmacılığı, sera ısıtması ve elektrik üretimi gibi birçok kullanım alanına sahiptir (MTA, 2010). Linyit yataklarının ve zuhurlarının gözlemlendiği sahaları ise Söke, Şahinali, Nazilli, Küçükçavdar, Dalama, Köşk, Kuyucak ve Bozdoğan-Körteke kömür zuhuru oluşturmaktadır (Şekil 1.13). Nitekim Söke kömür sahası Batı Anadolu’da en eski kömür üretim sahalarından biridir (Oskay ve ark., 2013).



Şekil 1.12. Aydın ili madencilik haritası (<https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/il-maden-haritalari>).

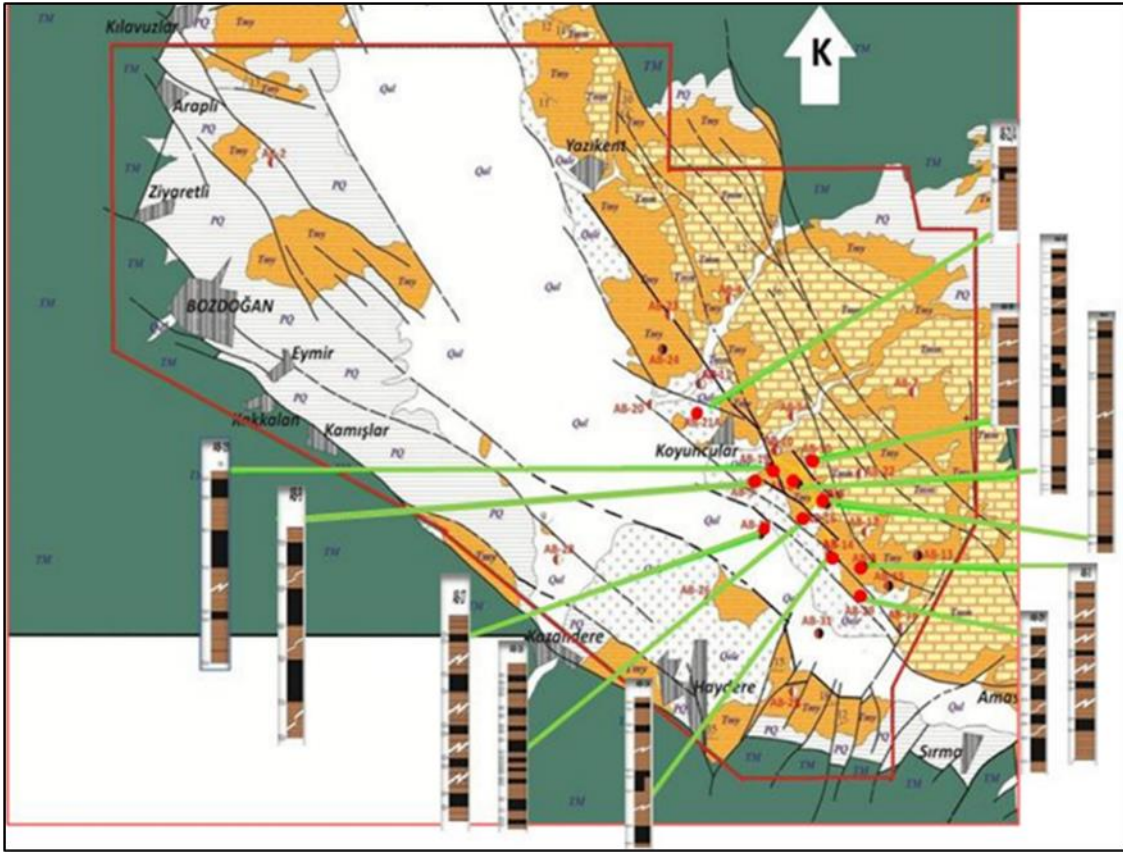


Şekil 1.13. Aydın ili kömür yatakları ve zuhurları (MTA, 2010).

Tez kapsamında Bozdoğan Graben alanı içerisinde kömür arama çalışmaları aşağıda özet olarak sunulmuştur. Diğer taraftan Aydın il sınırları içinde gösterilen Bozdoğan-Körteke'deki kömür zuhurlarının tez çalışmasıyla doğrudan bir ilgisi bulunmamaktadır. Çünkü, çalışma alanının çok güneydoğusunda bulunan Körteke zuhuru, Bozdoğan Graben alanının dışında Akçay vadisi içinde ve Yenidere (Kale-Denizli) kömür oluşumlarının batısında yer almaktadır. Bu oluşumla ilgili literatürde yeterli bilgi (litostratigrafisi, yaşı ve özellikleri) de bulunmamaktadır.



Bozdoğan Graben alanında kömür arama çalışmalarına MTA Genel Müdürlüğü tarafından 2014 yılında başlanılmış olup detay jeolojik etütler ve prospeksiyon çalışmalarının ardından sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şengüler, 2019). Sondajlı arama çalışmaları, tez çalışmasının yürütüldüğü sırada da devam ettirilmiştir. Bozdoğan Graben alanı içerisinde 2014 yılında 3.793,00 m, 2015 yılında 12.004,70 m ve 2016 yılında 21,30 m olmak üzere toplam 15.819,00 m kömür arama amaçlı sondaj yapılmıştır (Şengüler, 2019). Bu sondajlardan nispeten kalın kömür kesenleri Şekil 1.14’de sunulmuştur (Not: Sondaj loglarında kömürlü seviye (zonu) Erken Miyosen yaşlı Yenidere Formasyonu içerisinde gösterilmiştir).



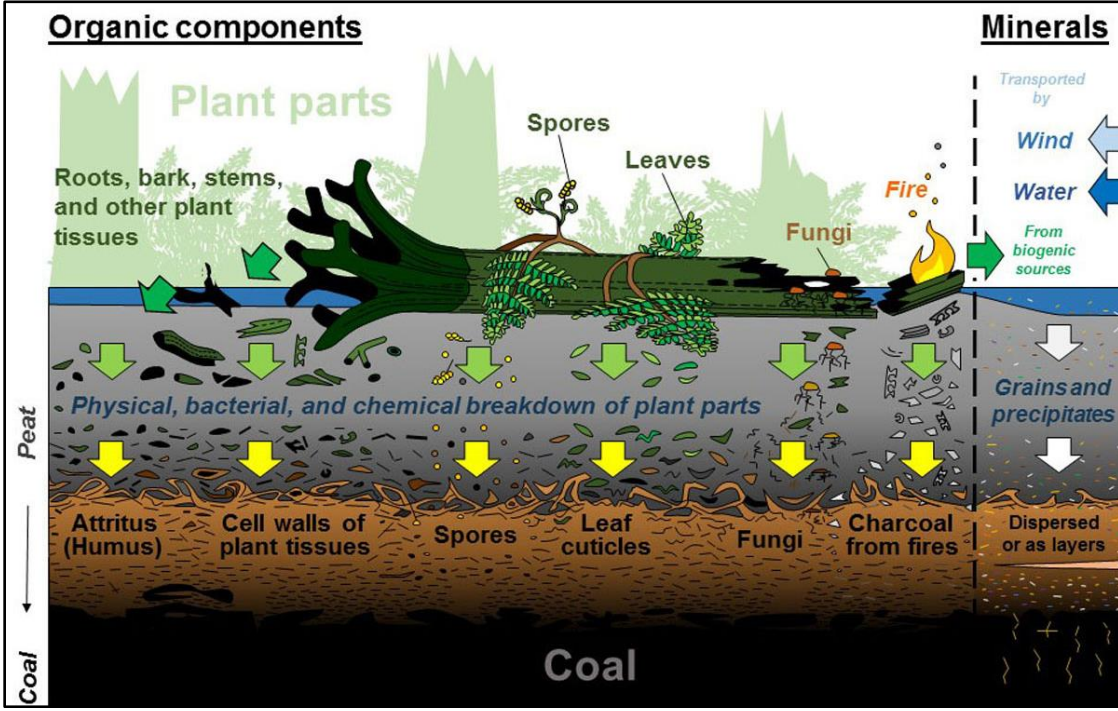
Şekil 1.14. Bozdoğan Graben alanında yapılmış ve kömür kesen bazı sondajlar ve konumları (Şengüler, 2019).

## 2. GENEL BİLGİLER

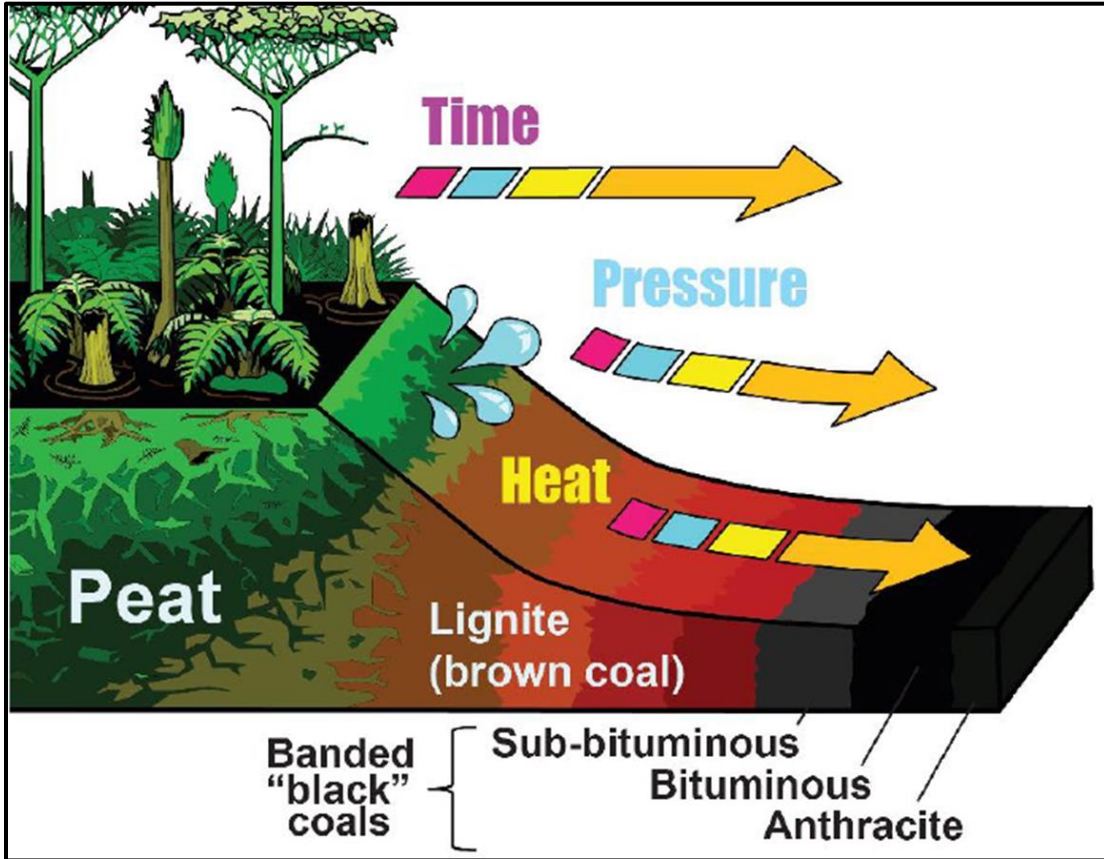
### 2.1. Kömür Tanımı ve Oluşumu

Fosil yakıtlar grubunda yer alan bitkisel kökenli organik maddeler ile inorganik bileşenlerin bir araya gelmesi sonucu oluşan ve sedimanter bir kayaç olarak tanımlanan kömür, oluşumu birkaç milyon yıl aldığı için yenilenemez bir enerji kaynağı olarak sınıflandırılmaktadır. Kömür, ağırlıkça %50'den fazla ve hacim olarak %70'ten fazla karbonlu malzeme içeren, turba çökellerine benzer çeşitli altere bitki kalıntılarının sıkıştırılması veya sertleştirilmesinden oluşan ve kolayca yanabilen bir kayaçtır (Schopf, 1956). Aşağıda kömür oluşumu ve sınıflandırılmasıyla ilgili özet bilgiler sunulmuştur.

Kömürün başlangıç maddesi olan turba, bataklık ortamında bitki topluluklarının birikimi-çökmesi, bunların biyokimyasal-jeokimyasal açıdan bozulması ve termokimyasal dönüşümler sonucu meydana gelmektedir (TKİ, 2019). Bu süreçte bitkisel kökenli organik maddeler önce aerobik mikro-organizmalar ve daha sonra anaerobik mikro-organizmalar tarafından işlenerek önce turbaya dönüştürülür. Turba oluşumu sırasında ilk olarak organik maddelerden hümik asitler oluşmaktadır. İlerleyen süreçte hümik asitlerin asidik karakterlerini kaybetmesi sonucu hüminler meydana gelmektedir. Hümin ve bozunmakta olan organik madde turba olarak isimlendirilmektedir. Turba bir kömür olmamakla birlikte kömür oluşumunun ilk evresini temsil etmektedir. Turbadan itibaren işletilebilir düzeyde kalınlık, kalite ve yeterli uzanım gösteren kömür damarlarının oluşabilmesi için havanın neden olacağı oksidasyon süreçlerinden korunmuş yeterli miktarda bitkisel materyal gereklidir. Ayrıca bataklıktaki su seviyesi turbalaşma süreçleri için son derece önemlidir. Bataklık olması gereken düzeyden daha fazla kurursa aşırı oksitlenme turba oluşumuna engel olacaktır. Diğer taraftan bataklıktaki su seviyesi çok fazla olursa turba yerine organik çamur ve diğer sedimanların çökme olasılığı artacaktır. İlerleyen süreçlerle birlikte turbanın yapısındaki uçucu madde oranı (örneğin oksijen ve hidrojen) gitgide azalır, karbon oranı ise gitgide artmaktadır. Turbanın gömülmesi ve artan ısı, basınç ve zaman koşullarına maruz kalması sonucu linyit-alt bitümlü kömür-bitümlü kömür (taş kömürü)-semiantrasit ile antrasit meydana gelmektedir (Şekil 2.1 ve 2.2).

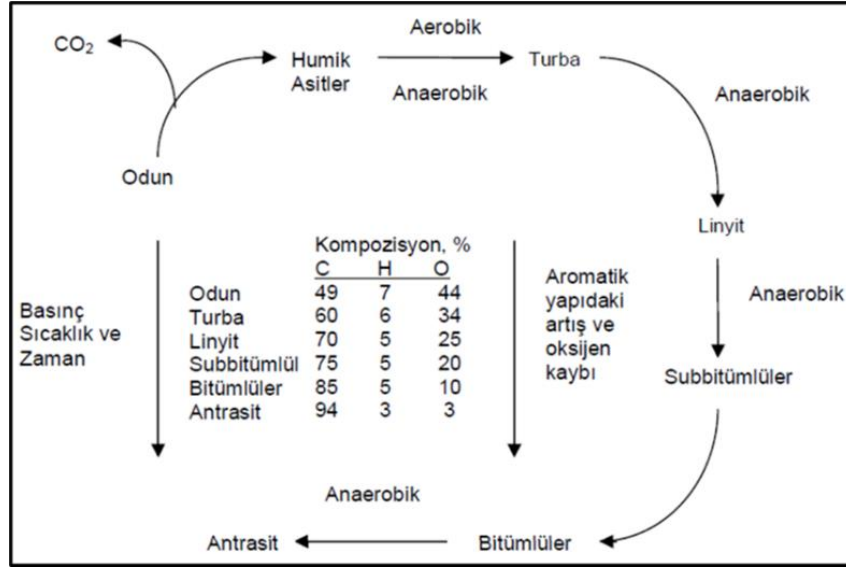


Şekil 2.1. Organik ve inorganik malzemelerden itibaren turba oluşumu. ([www.uky.edu/KGS/coal/](http://www.uky.edu/KGS/coal/))



Şekil 2.2. Turba oluşumu, zaman, basınç ve ısıya bağlı olarak linyit, altbitümlü, bitümlü (taşkömür) ve antrasit oluşumu (<http://www.uky.edu/KGS/coal/>).

Bitkisel kalıntılardan itibaren turba ve ardından kömür oluşumu ile tamamlanan süreç “kömürleşme” olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.2). Şekil 2.3.’de kömürleşme sürecinin basitleştirilmiş şematik bir gösterimi yer almaktadır. Kömürleşme sürecinin ilerlemesinde sıcaklık, basınç, tektonik olaylar, kıvrımlar, faylar, bindirmeler, kontak metamorfizma, radyoaktivite gibi bir dizi etmen etkin rol oynamaktadır (Kural, 1988).



Şekil 2.3. Kömürleşme sürecinin şematik gösterimi (Speight, 1983).

Karbon kömürü oluşturan ana elementtir. Bu nedenle, kömür oluşumu karbon çevrimine büyük oranda bağımlıdır. Kömürleşme süreci ilerledikçe karbon miktarı zamanla artar, hidrojen ve oksijen oranları ise zamanla azalmaktadır (Şekil 2.3). Ekonomik olarak işletilebilir bir kömür yatağı elde etmek için, kömürün oluşumu ve evrimi sırasında bir dizi koşulun bir araya gelmesi gerekmektedir. Bu koşullar kısaca aşağıda yer almaktadır:

- Önemli miktarda organik maddenin birikimi ve korunumu için uzun bir süre gereklidir.
- Organik maddenin birikim/yok olma oranı pozitif olmalıdır. Bu nedenle sınırlı su sirkülasyonu olan ıslak ortamlar tercih sebebidir. İşletilebilir bir kömür damarı elde etmek için çökme ve birikim arasında dengenin korunumu şarttır. Çökme hızı çok düşük ise, turbanın daha fazla büyümesi için yeterli alan koşulu sağlanamaz, çökme hızı çok yüksek ise turbalığa yüksek miktarda mineral madde dahil olur. Bu durum bu tür hızlı çöken ortamlarda gelişecek kömürleri ekonomik olarak olumsuz yönde etkilemektedir (mineral madde oranı arttıkça kömür kalitesi azalmaktadır).

- İklim turbalaşma sırasında önemli bir rol oynamaktadır. Tropikal iklimlerdeki bol miktardaki odunsu bitkiler, ılıman veya serin iklimlerde gelişen otsu bitkilerden ve yosunlardan çok daha yüksek miktarda korunabilir organik madde içermektedir. Ancak, sıcak iklimlerde organik maddenin yok olma hızı soğuk iklimlere oranla genellikle daha yüksektir.
- Turba oluşumu sırasında var olan bitkilerin türü kömürün özellikleri üzerinde etkilidir. Bu durum büyük ölçüde bitkilerin evrimi ile ilgilidir.
- Göl, taşkın ovaları, kıyı bataklıkları vb. gibi turbanın çökme ortamlarının çeşitliliği kömürün özellikleri üzerinde etkilidir.

Kömür yatakları sınıflandırılırken tanımlayıcı özellikler olarak kömürün enerji değeri (ısıl değeri) ve vitrinit yansıtma değeri gibi fiziksel özellikleri haricinde, nem içeriği (yatak nemi), uçucu madde ve toplam karbon içeriği gibi kimyasal içeriklerinden de yararlanılmaktadır. Kömürler içlerinde barındırdıkları organik maddelerin tipine göre de göre hümik kömür ve sapropelik kömür olmak üzere başlıca iki grupta sınıflandırılabilirler. Hümik kömürler bataklık ortamında biriken çeşitli boylardaki damarlı bitkilerin ilk olarak bakterilerin etkisi ile turbaya dönüşümünü ve artan gömülmeye bağlı olarak artan sıcaklık ile beraber turbadan itibaren linyit-alt bitümlü-bitümlü (taş kömür)-yarı antrasit-antrasit gibi isimlerle tanımlanan genel olarak parlak ve bantlı (litotip) kömürlerden oluşmaktadır. Bu tip kömürlerin içerdiği organik maddenin büyük bir kısmı tip III kerojenden oluşmaktadır. Bu nedenle hidrojen oranları düşüktür (Van Krevelen, 1961; Stach ve ark., 1982; Hunt, 1996; Killops, 2005). Belirli bir su derinliğine sahip havzaların tabanında oksijensiz ortamda biriken organik maddece zengin çamurlar (sapropel) sıcaklık etkisi ile kömürleşerek mat ve bantlı yapı göstermeyen sapropelik kömürleri meydana getirmektedir. Bu tip kömürlerde turbalaşma aşaması gözlenmemektedir. Algal açıdan zengin sapropelik kömürler boghead kömürü, spor ve polen açısından zengin sapropelik kömürler ise cannel kömürü olarak adlandırılmaktadır. Sapropelik kömürler rezerv bakımından hümik kömürler ile karşılaştırıldıklarında daha az bir rezerve sahiptirler.

Kömürler çökelim ortamının denize göre konumları dikkate alındığında ise paralik ve limnik kömürler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Paralik kömürler deniz



kenarlarında depolanan yani zaman zaman deniz baskınına uğrayan ortamlarda çökelen turbalardan itibaren oluşan kömürlerdir. Bu tip kömürlerin kalınlıkları az ama yanal olarak devamlılıkları fazladır. Limnik kömürler ise kara içlerinde tatlı su göl kenarlarında yer alan bataklıklarda, akarsu taşkın ovalarında yer alan bataklıklarda çökelen turbalardan itibaren oluşan kömürlerdir. Bu tip kömürler çoğu zaman kalın damarlar şeklinde gözlenmektedir.

Jeolojik devirde başlıca iki büyük kömür oluşum çağı bulunmaktadır. Bu çağlardan daha eski olanı Karbonifer (345-280 milyon yıl önce) ve Permien (280-225 milyon yıl) dönemlerini kapsamaktadır. Kuzey Amerika'nın doğusu ile Avrupa'daki taşkömürü yataklarının büyük bir kısmı Karbonifer döneminde; Sibirya, Asya'nın doğusu ve Avustralya'daki kömür yatakları ise Permien döneminde oluşmuştur. İkinci büyük kömürleşme çağı Kretase Dönemi'nde başlamış ve Tersiyer dönemi sırasında son bulmuştur. Dünyadaki linyitlerin büyük bir kısmı bu dönemde oluşmuştur. Taşkömürleri Karbonifer, Permien ve Jura dönemlerinde geniş kütleler halinde oluşmuş iken, linyit daha çok Tersiyer zamanda oluşmuştur. Kömür oluşumlarına yüzeyden başlayarak birkaç bin metre derinliklere kadar rastlanabilmektedir. Dünyadaki kömür yatakları 2000 metreye kadar araştırılmakta ve rezerv hesaplamaları yapılabilmektedir. Ancak günümüz şartları göz önüne alındığında ekonomik açıdan çıkarılabilir ve işletilebilir yataklar genellikle 600 metre ve daha altında olarak değerlendirilmektedir.

## **2.2. Önceki Çalışmalar**

Batı Anadolu'nun tektonik evrimi sırasında Geç Senozoyik'de kabuk kısılmasından kabuk genişlemesine bir geçiş yaşanmış ve bu geçişin kanıtları olarak bölge içerisinde yaklaşık D-B doğrultulu grabenler (örneğin; Gediz, Büyük Menderes, Küçük Menderes, Kütahya, Gökova ve Bakırçay grabenleri) ve bunlara yaklaşık dik konumlu olan K-G doğrultulu grabenler (örneğin; Selendi, Bozdoğan, Karacasu, Demirci ve Gördes grabenleri) oluşmuştur. Bu grabenlerin oluşumuna neden olan tektonik süreçler ve graben dolguları birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (örneğin Şengör, 1987; Koçyiğit ve ark., 1999; Bozkurt, 2000, 2001; Yılmaz ve ark., 2000; Bozkurt ve Oberhansli, 2001; Bozkurt ve Sözbilir, 2004; Bozkurt ve Mittwede, 2005; Koçyiğit, 2005; Gürer ve ark., 2009; Alçiçek ve Jimenez-Moreno, 2013; Sümer ve ark., 2013; Seyitoğlu ve Işık, 2015;

Kayseri-Özer ve Emre, 2022). Graben dolguları büyük ölçüde Neojen yaşlı akarsu ve göl fasiyesinde oluşmuş sedimanter kayalar ile temsil edilmektedir. Batı Anadolu'nun oluşumu ve gelişimine ilişkin farklı evrimsel modeller (örneğin tektonik kaçış modeli (Dewey ve Şengör, 1979; Şengör ve ark., 1985), yay ardı açılma modeli (LePichon ve Angelier, 1979; Jackson ve McKenzie, 1988; Meulenkamp ve ark., 1988), orojenik çökme modeli (Dewey,1988; Seyitoğlu ve Scott, 1991,1996), iki evreli grabenleşme modeli (Koçyiğit ve ark., 1999; Bozkurt, 2000; Yılmaz ve ark., 2000) literatürde yer almaktadır.

Tez çalışması kapsamında seçilen Bozdoğan Grabeni daha önce stratigrafik, sedimentolojik ve tektonik açıdan farklı araştırmacılar tarafından incelenmiştir (örneğin; Nebert, 1955; Becker-Platen, 1971; Kastelli, 1971; Alçıçek, 2010; Ocakoğlu ve ark., 2007, 2014). Ancak yapılan bu çalışmalar içerisinde, daha önce açıklandığı gibi, çalışma amacıyla örtüşen bir çalışma literatürde yer almamaktadır. Çalışma konusunda doğrudan yararlanılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

**Nebert (1955)** tarafından Bozdoğan ve Karacasu Grabenleri'nin sahip olduğu Neojen dolgu ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Çalışmada Neojen yaşlı istifin tabanda yatay ve düşey fasiyes değişimleri gösteren kırıntılar ile başlayıp, yanal olarak kumtaşlarına geçen kireçtaşları ve marnlar tarafından üzerlendikleri belirtilmiştir. 'Blok molozu' olarak nitelendirilen çökellerin Neojen yaşlı istif üzerine uyumsuz olarak geldiği açıklanmıştır. İncelenen birimlerin yaşlarının ve çökel ortamlarının daha iyi anlaşılabilmesi için toplanan yıkama örneklerinde tespit edilen ostrakodlar, istifin üst kesimlere doğru tatlılaşan bir göl ortamını yansıttığı ifade edilmiştir. İncelenen ostrakod faunalarına dayanarak birim için yaşlandırma çalışmaları yapan araştırmacı Pliyosen yaşının bu birim için kabul edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ancak araştırmacı aynı birimi, Denizli Pliyosen havzası ile karşılaştırılması sonucu istif için Üst Pliyosen yaşının verilmesinin daha iyi olacağını ifade etmiştir.

**Becker ve Platen (1970 ve 1971)** tarafından Güneybatı Anadolu'nun Senozoyik litostratigrafisi çalışılmıştır. Çalışma kapsamında bölgenin Tersiyer ve Kuvaterner stratigrafisi araştırılmış ve birimlerin çökelme ortamları tespit edilmiştir.

**Kastelli (1971)** tarafından Denizli, Sarayköy, Çubukdağ ve Karacasu bölgeleri arasında kalan alan (yaklaşık 400 km<sup>2</sup>) jeolojik açıdan incelemiş ve ostrakod faunalarına dayanarak yaşlandırma çalışmaları yapılmıştır. Çalışma alanı içerisinde genellikle metamorfik kayalardan oluşan temel kayaların (Menderes Masifine ait gnays, mikaşist, mermer ve kuvars şistler) üzerine büyük bir zaman boşluğu ardından genellikle kırmızı, yeşil-gri ve sarımsı beyaz renklerde gözlenen Erken Pliyosen (P11: Konglomera- marn karmaşığı, P12: Kalkerli seviye, P13: Marn-Kumtaşı seviyesi) yaşlı birimlerin yer aldığı belirtilmiştir. Bu serinin üzerine ise uyumsuz olarak Geç Pliyosen yaşlı birimlerin (alt kesimde çakıllı üste doğru kumtaşı, kumlu marn ve kil seviyesi) geldiğini belirten araştırmacı, Kuvaterner çökellerinin taraçalardan, alüvyonlardan, yelpazelerden ve birikinti konilerinden oluştuğunu ifade etmektedir.

**Tuncalı (1976)** tarafından Bozdoğan ilçesi ve yakın çevresinin kömür potansiyeli çalışılmıştır. Çalışma alanı içerisinde 5 alt birime ayrılan Neojen yaşlı birimlerin tanımlamaları, Yatağan (Muğla) çevresindeki formasyon tanımlamaları esas alınarak yapılmıştır. İncelenen istif, temel birimler (metamorfik şist, mermer, gnays) ve bunun üzerine uyumsuz olarak gelen Neojen ve Kuvaterner yaşlı birimlerden oluştuğu belirtilmiştir. Neojen yaşlı istif taban kesimlerinde killi silt seviyeleri ile başlayıp üst kesimlere doğru kömürlü marn, tuf, konglomera ve kireçtaşları ile Kuvaterner yaşlı birimler ise alüvyonlar ve yamaç molozları ile temsil edilmektedir.

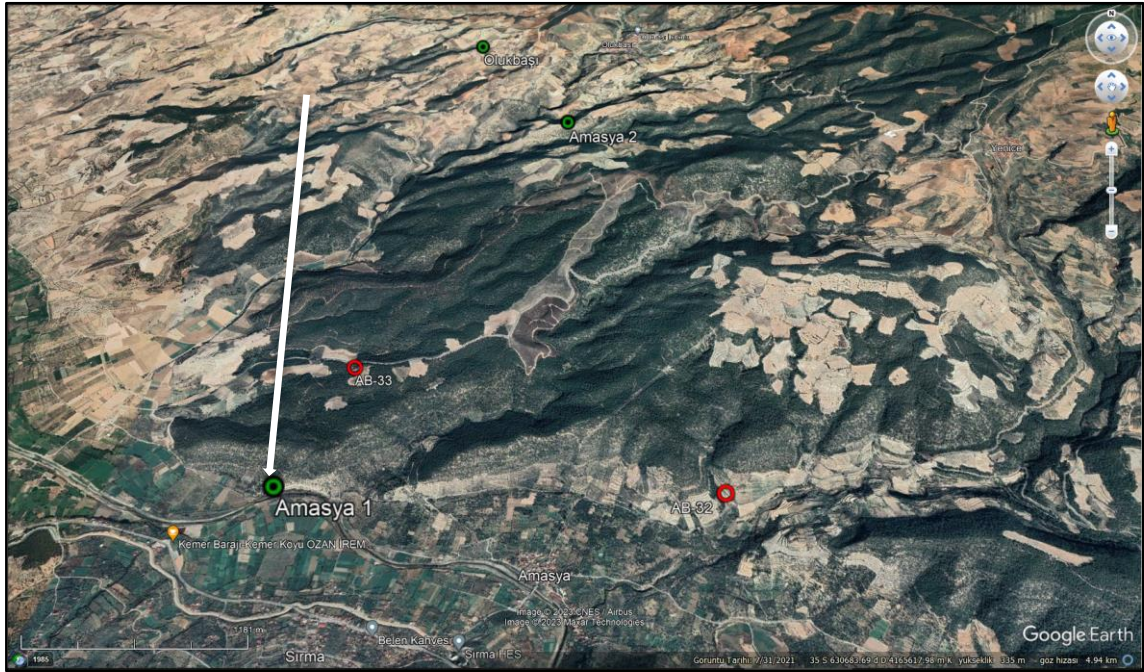
**Hakyemez ve Örcen (1982)** tarafından Muğla-Denizli arasında kalan bölgenin Senozoyik yaşlı çökel kayaları sedimantolojik ve biyostratigrafik özellikleri çalışılmıştır. Bu çalışmayla birlikte Yenidere Formasyonu ilk kez ayırtlanmış ve üç üyeye ayrılarak adlandırma çalışması gerçekleştirilmiştir. **Hakyemez (1989)** tarafından ise Kale-Kurbalık (GB Denizli) bölgesinde yer alan Senozoik yaşlı çökel kayaların jeolojisi ve stratigrafisi çalışılmıştır. Araştırmacı çalışma alanı içerisinde Paleozoyik ve Mezozoyik yaşlı temel kayalar ile Oligosen-Kuvaterner yaşlı çökel kayaları tanımlamıştır. Çalışma kapsamında Tersiyer yaşlı birimler Akçay Grubu ve Muğla Grubu olmak üzere iki grup altında çalışılmıştır. Akçay Grubu; Karadere, Mortuma, Yenidere, Künar Formasyonlarını kapsamaktadır. Bu dönemin çökelleri karasal ince-kaba kırıntılılar ile başlayıp dönemin sonuna doğru kısmen sığ denizel karbonatlar ile temsil

edilmektedir. Toplamda 4100 m kalınlığa sahip Akçay Grubu içerisinde Mortuma ve Yenidere Formasyonları arasında aşıl uyumsuzluk vardır. Diğer formasyonlar ise birbirleriyle uyumlu olarak yer almaktadır. Akçay grubunun üzerinde uyumsuz olarak Orta Miyosen- Pliyosen yaşlı Muğla Grubu yer almaktadır. Bu grup ise Sekköy, Yatağan ve Milet Formasyonları ile temsil edilmektedir. Bu dönemin çökelleri göl seltiltaş ve karbonatlar ile karasal kaba kırıntılı çökellerden oluşmaktadır. Toplam kalınlığı yaklaşık 550 m kadar olan Muğla grubu içerisinde yer alan formasyonlar birbirleriyle uyumlu ve geçişli olarak yer almaktadır. Kuvaterner çökeller ise alt ve üst olmak üzere iki bölümde çalışılmıştır.

**Akgün ve Sözbilir (2001)** tarafından Kale-Tavas ve Denizli molas havzalarının kömür içeren sedimanları palinostratigrafik açıdan çalışılarak palinomorf toplulukları tanımlanmıştır. Bölgede yer alan stratigrafi Oligosen öncesi temel kayalar ve Oligo-Miyosen yaşlı kayalar olmak üzere iki gruba ayrılarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında tanımlanan Oligosen öncesi temel kayalar Mesozoyik yaşlı Menderes metamorfikleri, Triyas-Üst Kretase yaşlı Likya napları, Üst Kretase yaşlı ofiyolitik melanji, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Alakaya grubu ve Üst Eosen yaşlı Kocaali Formasyonu ile temsil edilmektedir. Temel kayalar üzerinde yer alan Oligo-Miyosen yaşlı kayalar kaba klastik çökeller ile temsil edilen Karadere Formasyonu ile başlamaktadır. Yazarlar bu formasyonun Mortuma Formasyonu ile yatay ve düşey geçişli olarak gözlemlendiğini belirtmiş ve Yenidere Formasyonu'nun Mortuma Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak geldiğini açıklanmıştır. Bu formasyon üzerinde Yatağan ve Milet Formasyonları ile temsil edilen Muğla Grubu yer almaktadır. Mortuma ve Yenidere Formasyonlarına ait kömür ve kilaşlarını palinolojik açıdan incelenmesi sonucu *Leotriletes microadriensis*, *L. adriensis*, *L. dorogensis*, *Verrucatosporites scutulum*, *Polypodiaceoisporites marxheimensis*, *Dicolpopollenites kalewensis*, *Inaperturopollenites emmaensis* ve *Monocolpopollentes tranquillus* formları tespit edilmiş ve Kale Tavas havzası içerisindeki Mortuma Formasyonu içerisindeki kömürlü istifin Şattiyen (Geç Oligosen), Yenidere Formasyonu içerisindeki kömürlü istifin ise Akitanien (Erken Miyosen) yaşlı olduğu görüşü ifade edilmiştir.

**Saraç (2003)** tarafından Türkiye omurgalı fosil yatakları rapor edilmiştir. İlgili raporda Bozdoğan Graben alanı ve yan çevresindeki yüzleklerden alınan üç adet örneğe ait memeli fosil tanımlaması, yaşı ve çökelme ortamı rapor edilmiştir. Raporda bahsedilen

örneklerin, Google Earth haritası üzerindeki konumları Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Olukbaşı'ndan (Bozdoğan-Aydın) alınan yüzey örneğinde (K-37°39'47,7'', D-28°28'15.6'') memeli fosillere göre Geç Miyosen (MN 11-12; 7-8,7 Ma; Tortoniyen) yaşı ve ortam olarak fluviyal çökeller tanımlanmıştır. Amasya-1 örneğinde (K-37°33'00,7'', D-20°27'37,2'') memeli fosillere göre Geç Miyosen (MN 12; 7-7,75Ma; Tortoniyen-Messiniyen) yaşı ve ortam olarak fluviyal çökeller saptanmıştır. Amasya-2 (K-37°39'05,2'', D-28°28'49.6'') örneğinde ise tanımlanan memeli fosillerine göre Geç Miyosen (MN 13; 4,9-7 Ma; Messiniyen-Zankliyen) belirlenmiş ve gölsel çökeller tanımlanmıştır. Bu yaş verileri, tez kapsamında daha sonra açıklanacağı gibi, kömür içeren Sekköy Formasyonu üzerindeki Yatağan Formasyonunun yaşına uygun gelmektedir. Diğer taraftan, Sekköy Formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunan Yatağan Formasyonun Saraç (2003) tarafından hazırlanan raporda verilen memeli yaşlarda saptanan Geç Miyosen yaşı doğru kabul edildiğinde Sekköy Formasyonu için palinolojik olarak saptanmış yaşın da doğru olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu veri de çalışmanın amacına uygun olarak ilk kez saptanmış bulunmaktadır.

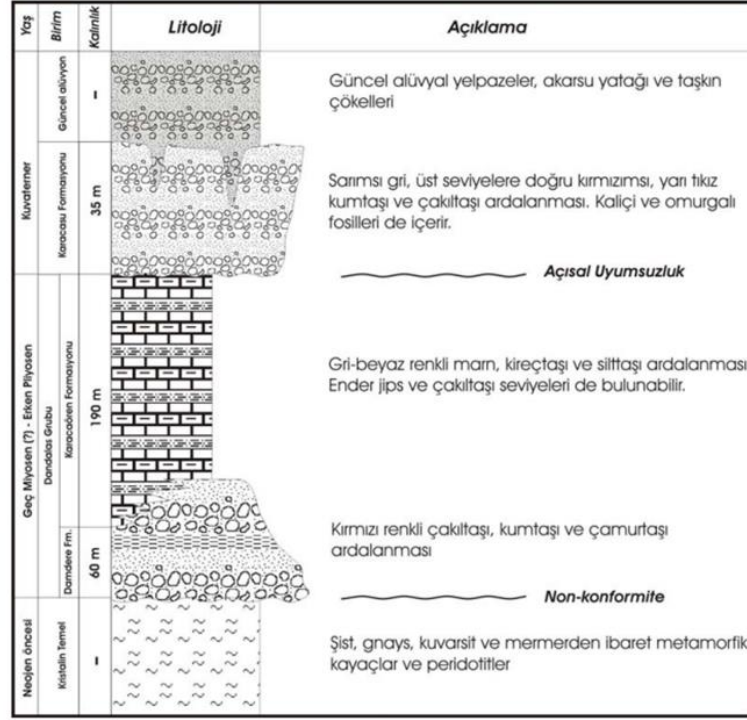


Şekil 2.4. Saraç (2003) tarafından memeli yaşları rapor edilen Olukbaşı, Amasya-1 ve -2 nolu örneklerin Google-Earth haritası üzerindeki konumları.

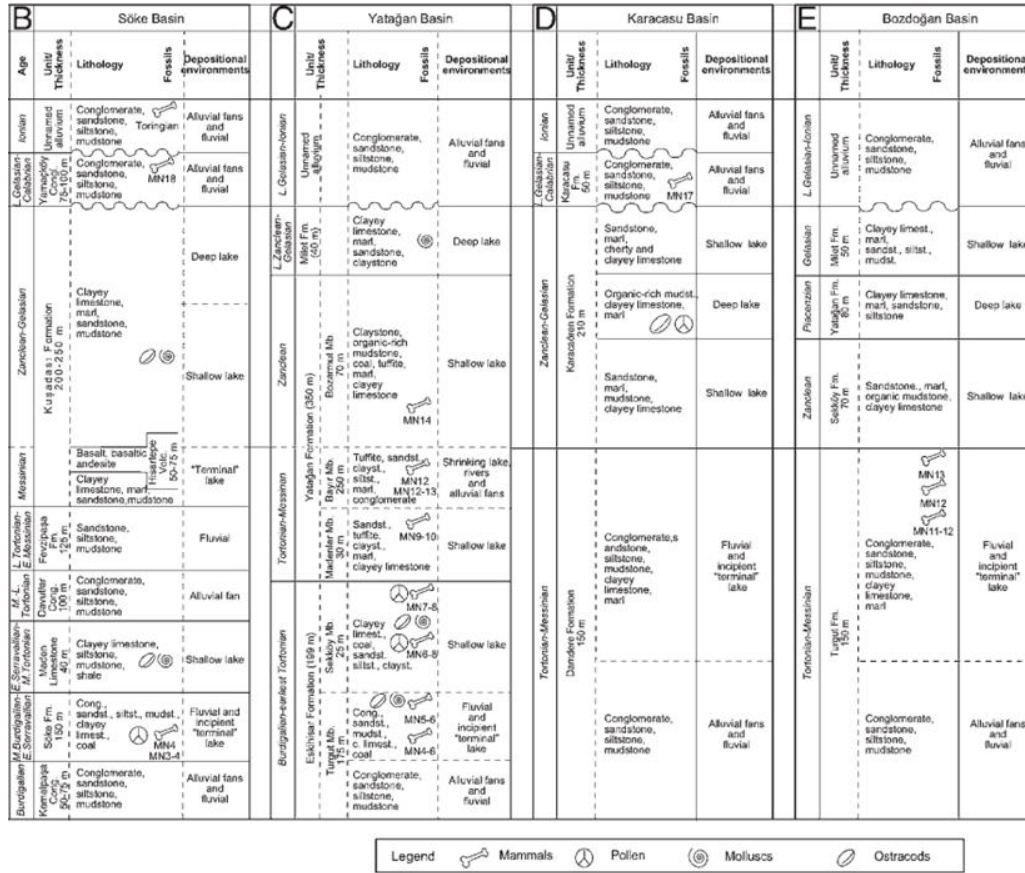
**Açıklan (2005)** tarafından Karacasu Grabeni'nin sedimanter evrimi çalışılmıştır. Araştırmacı Ege genişleme bölgesi içerisinde yer alan Karacasu Grabeni içerisinde yüzeyleyen dolgunun farklı tektonik çevrelere sahip iki bölüme ayrıldığı sonucuna varmıştır (Şekil 2.5). Damdere ve Karacaören Formasyonlarından oluşan ve tez çalışması bulgularından farklı olarak Geç Miyosen-erken Pliyosen yaşlı Dandalas Grubunun temel kayalar üzerinde uyumsuzlukla yer aldığını, istifin altta baskın olarak karasal (Damdere Formasyonu) ve yukarıya doğru görsel çökellerden (Karacaören Formasyonu) oluştuğu belirtilmiştir. Dandalas Grubunu bir uyumsuzlukla örten Karacasu Formasyonunu ikinci dolgu olarak tanımlayan araştırmacı, daha önce geç Pliyosen-Kuvaterner olarak yaşlandırılan bu formasyona istif içerisinde yer alan memeli fosillerine dayanarak Erken Pleyistosen yaşının verilmesinin uygun olduğunu belirtmiştir. Dandalas grubu ve Karacasu Formasyonu istiflerinin tane parametrelerinin birbirine oldukça benzer olduğunu ifade eden araştırmacı birbirinden farklı paleocoğrafik koşullarda çökelen bu birimlerin tektonik yerleşimlerinin benzer olduğunu düşünmektedir. Araştırmacı Damdere Formasyonu içerisinde gözlenen kaliçi gelişmeleri ve simektitlerin varlığına dayanarak iklimin yarı kurak ve sıcak olduğunu ileri sürmüştür. Karacasu Formasyonunda ise kaliçilerin gözlenip simektitlerin gözlenmemesinin iklimin az yağışlı yarı kurak ve sıcak olabileceğinden kaynaklanabileceğini ifade etmiştir.

**Alççek (2010)** tarafından Güneybatı Anadolu'da yer alan Neojen havzalarının stratigrafik korelasyonu yapılmıştır. Araştırmacı Güneybatı Anadolu'da yer alan havzaları, stratigrafik gelişimleri açısından iki ayrı grup altında çalışılmıştır. Birinci grup, gelişimine Erken Burdigaliyen'de başlayan ve benzer çevresel değişim evreleri geçiren Denizli, Söke ve Yatağan havzaları tarafından temsil edilmekte iken ikinci grup, tez çalışması bulgularından farklı olarak, gelişimine erken Tortoniyen'de başlayan ve ortak çevresel değişimlere uğrayan Karacasu, Bozdoğan, Çameli ve Eşen havzaları ile temsil edilmekte ve daha genç tektonik graben grubu olarak değerlendirilmiştir. Bozdoğan Grabeni'nin havza dolgusu Turgut Formasyonu, Sekköy Formasyonu, Yatağan Formasyonu ve Milet Formasyonu olmak üzere dört litostratigrafik birim altında incelenmiştir (Şekil 2.6). Bu birimler Kuvaterner yaşlı alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Havzada, Miyosen (Tortoniyen-Messiniyen) yaşlı istif, yaklaşık 150 m kalınlığa sahip, iki alt birime ayrılan Turgut Formasyonundan oluşmaktadır. Alt





Şekil 2.5. Karacasu Grabeni 'nin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Açıklan, 2005).



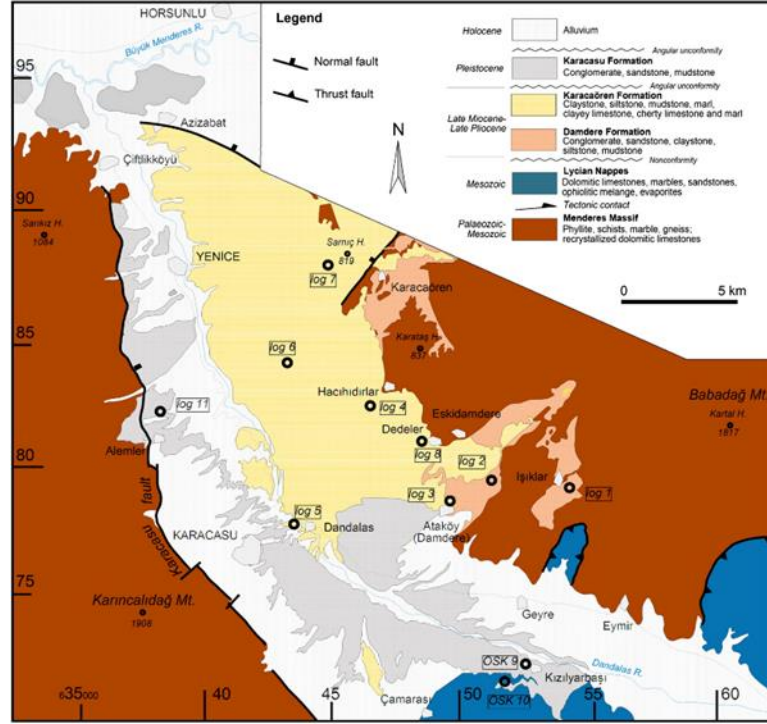
Şekil 2.6. Söke, Yatağan, Bozdoğan ve Karacasu havzalarının stratigrafisi, memeli yaşları ve çökme ortamlarını gösteren kolon kesit (Alçiçek, 2010).

birim, alüviyal-yelpaze ortamını temsil eden, kırmızımsı kahverengi çamurtaşları ile ara katkılı, matriks destekli iri taneli konglomera ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Üst birim ise akarsu ortamını temsil eden kırıntı destekli, çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır ve içerisinde yaşlandırma çalışmalarına olanak sağlayan pek çok memeli fosili barındırmaktadır. Havzadaki Pliyosen çökelleri yaklaşık 200 m kalınlıkta olup Sekköy, Yatağan ve Milet Formasyonlarından oluşmaktadır. Sekköy Formasyonu 70 m kalınlığa ulaşan ve sığ göl ortamını temsil eden killi kalker, marn ve kumtaşları ile temsil edilmektedir. Yatağan Formasyonu yaklaşık 80 m kalınlığa sahiptir ve derin göl ortamında çökelmiş killi kireçtaşı, marn, kumtaşı, silttaşı ve organik açıdan zengin çamurtaşları ile temsil edilmektedir. Yaklaşık 50 m kalınlıktaki Milet Formasyonu sığ göl ortamını temsil eden killi kireçtaşları, marnlar, kumtaşları, silttaşları ve çamurtaşları aralanması ile temsil edilmektedir. Pleyistosen yaşlı birim birkaç 10 metre kalınlıktaki ve bej- sarımsı gri renklerde gözlenen konglomera, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır.

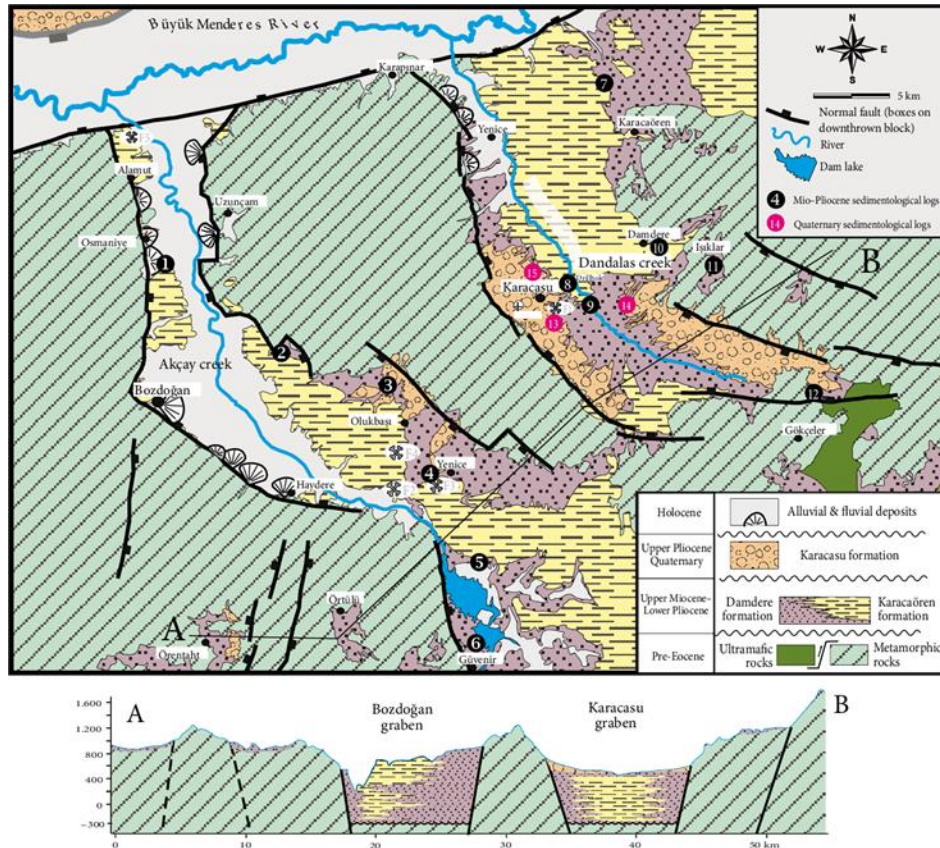
**Alçiçek ve Jiménez-Moreno (2013)** tarafından Bozdoğan Grabenine oldukça benzer bir istife sahip olan Karacasu Havzası'nın akarsu ve göl sistemleri; çökelim, paleocoğrafik ve paleoklimsel etkiler altında çalışılmıştır. Karasal yarı-graben olan Geç Senozoik Karacasu Havzasının tortul kaydı çalışma sonucu elde edilen verilere göre silisiklastik ve karbonat yatakları ile karakterize edilmektedir. Karacasu Havzasının paleo-çevresel ve paleoklimsel değişikliklerin önemli bir Neojen kaydını içerdiğini belirten araştırmacılar, havzada gözlenen sedimantasyonun Geç Miyosen'de başladığını (Damdere Formasyonu) belirtmiştir (Şekil 2.7). Erken Pliyosen'de, sığ bir gölün havzanın orta kısımlarını işgal ettiğini belirten araştırmacılar bu birimi Karacaören Formasyonu olarak tanımlamıştır. Pliyosen-Kuvaterner geçişinde, Güneybatı Anadolu'nun diğer havzalarında da olduğu gibi gölsel koşulların sona erdiğini belirtmişlerdir.

**Ocakoğlu ve ark. (2014)** tarafından yürütülen ve tez kapsamında çalışılan alanı doğrudan kapsayan çalışmada Orta Menderes Masifindeki grabenlere oblik bir eğilim gösteren Bozdoğan ve Karacasu havzalarının tektonosedimanter evrimi çalışılmıştır. Çalışma kapsamında uyumsuzlukla birbirinden ayrılmış iki litostratigrafik birimden oluşan litostratigrafik isimlendirme benimsenmiştir (Şekil 2.8 ve 2.9). Dandalas Grubu olarak

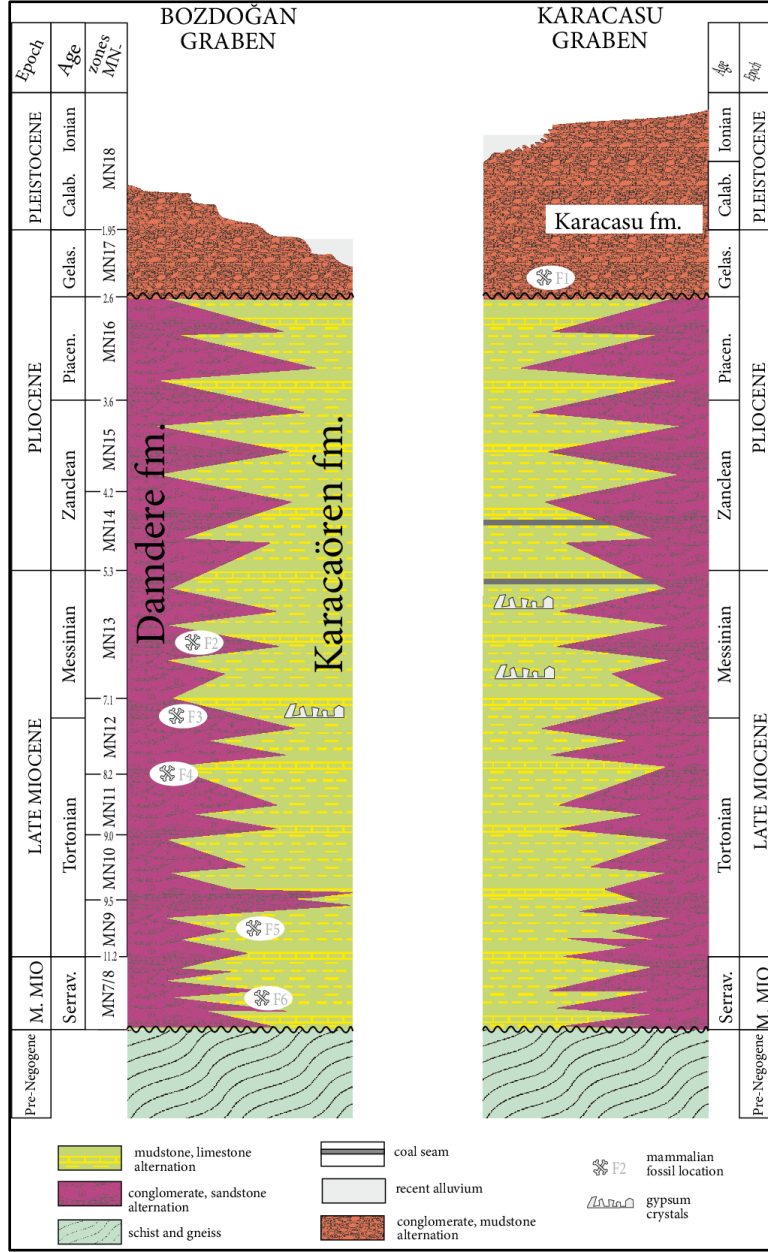




Şekil 2.7. Karacasu Graben alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Alçiçek ve ark., 2013).



Şekil 2.8. (A) Karacasu ve Bozdoğan grabeninin alanının jeolojisi, (B) A-B jeoloji kesiti. (Konak ve Göktaş, 2004; Ocakoğlu ve ark., 2014'den).



Şekil 2.9 Bozdoğan ve Karacasu Grabenlerinin stratigrafik kolon kesitleri (Ocakoğlu ve ark., 2014).

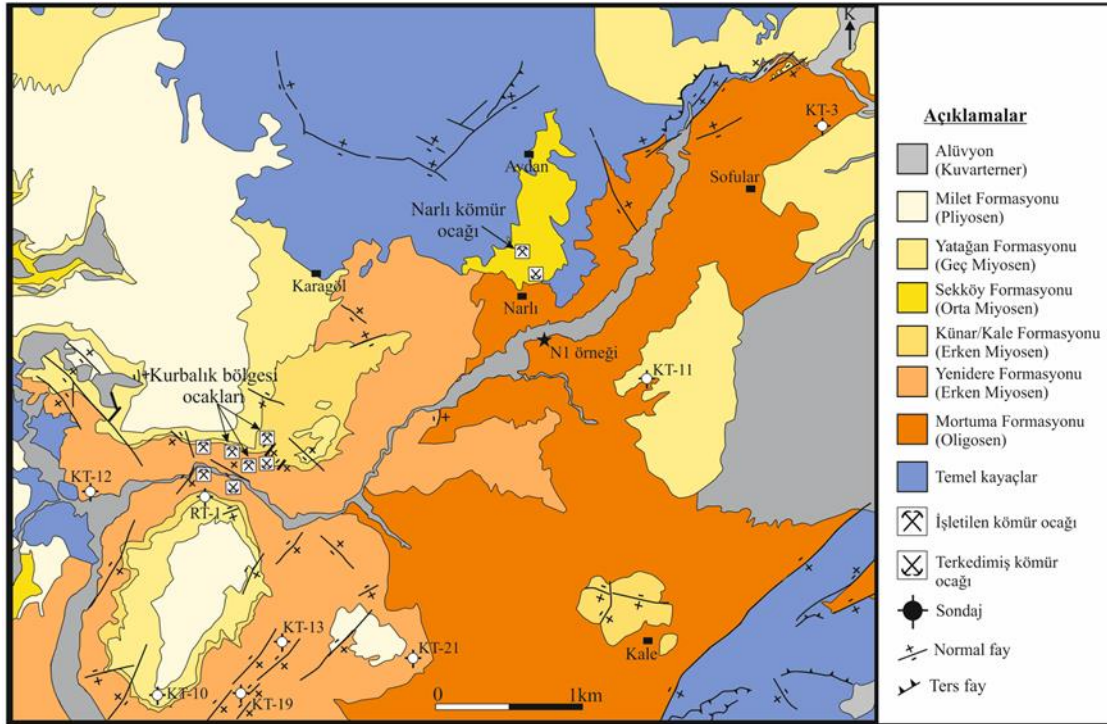
adlandırılan alt birim, iç içe geçmiş iki formasyondan (Damdere ve Karacaören Formasyonları) oluşmaktadır. Damdere Formasyonu, Karacasu Grabeni'nin doğu kenarında Işıklar, Damdere ve Karacaören köyleri civarında yaygın olarak yüzlekler vermektedir ve paleovadileri dolduran kırmızımsı konglomera ve kumtaşından oluşmaktadır. Bozdoğan Grabeni'nde ise Damdere Formasyonu çoğunlukla Olukbaşı ve Yenice köyleri civarında gözlenmiştir ve Karacasu Grabeni ile hemen hemen aynı litolojik özelliklere sahiptir. Karacaören Formasyonu tipik olarak griden beyaza değişen

çamurtaşı-kireçtaşı ardalansından oluşmuştur ve önemli miktarda kumtaşı, jips, dolomit ve organik açıdan zengin seviyeler içermektedir. Birim aynı zamanda lokal olarak zengin bir diyatom ve ostrakod faunasına sahiptir. Dandalas Grubunun Bozdoğan Grabeni'ndeki tahmin edilen maksimum kalınlığı, havzaların altındaki temel kotu (300 m) ve birimin en üst çökme yüzeyi (800 m) temelinde 1100 m'dir. Çalışma tüm güvenilir yaş verilerinin Bozdoğan Grabeni'nden elde edildiğini göstermiştir. Bu yaş verileri memeli fosillerine dayanmaktadır ve Tortoniyen'den Messiniyen'e kadar değişmektedir. Karacasu Formasyonu, Dandalas Grubu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Bu birim yüzeye doğru kırmızılaşan çakıllı kumtaşları ve konglomeralar ile karakterize edilmektedir. Araştırmacılar ayrıca 5'i Karacasu Grabeninden ve 6'sı Bozdoğan Grabeninden olmak üzere toplamda 11 sedimantolojik log incelemiştir. Bozdoğan Grabeninden alınan sedimantolojik logların 75-430 m kalınlığında olduğunu ve graben dolgusunun iki baskın görsel sedimenter paketinden oluştuğu belirtilmiştir. Karacasu Grabeninden alınan sedimantolojik logların ise Bozdoğan Grabeni ile karşılaştırıldığında çok daha ince (80-220 m) olduğunu sonucuna varmışlardır. Çalışma kapsamında elde edilen veriler bir arada değerlendirildiğinde K-G yönlü grabenlerin Geç Miyosenden önce D-B genişleme ve K-G yönlü sıkışma sonucu ortaya çıktıkları kanısına varılmıştır.

**Şengüler ve Aydın (2017)** tarafından incelenen alanın güneydoğu kısmını oluşturan Akçay (Aydın, Muğla, Denizli) ve civarının jeolojisi, önceki çalışmaların ışığında çalışılmıştır. Araştırmacılar temel birim üzerinde Oligosen- Burdigaliyen yaş aralığında çökelmiş başlıca karasal ve kısmen lagüner- denizel kırıntılı ve karbonat kayaçları ile temsil edilen Karadere (Tak), Mortuma (Tam), Yenidere (Tay) ve Künar (Takü) Formasyonları Akçay Grubu olarak tanımlanmıştır. Havza genelinde bu gruptaki formasyonlara ait kayaç toplulukları düzgün bir istif halinde de görülmemektedir. Diğer taraftan bu grubun toplam kalınlığının çalışma alanı sınırları içerisinde 2000 m civarında olduğu belirtilmiştir. Bu grup üzerine uyumsuzla Muğla grubunun geldiği ve bu grubun Üst Miyosen yaşlı Yatağan ve Pliyosen yaşlı Milet Formasyonları ile temsil edildiği ve toplam kalınlığının 600 m civarında olduğu belirtilmiştir.



**Karayığit ve ark. (2020)** tarafından Likya Molas havzasının güneybatısında yer alan ve yaklaşık 30 km uzunluğa ve 20 km genişliğe sahip Kale-Tavas Molas alt havzasındaki Geç Oligosen (Mortuma Formasyonu), Erken Miyosen (Yenidere Formasyonu) ve Orta Miyosen (Sekköy Formasyonu) yaşlı kömür damarlarının elementel ve mineralojik bileşimlerindeki değişimler incelenmiştir. Araştırmacılar havza çökellerini Senozoyik öncesi temel kayalar, Geç Oligosen, Erken Miyosen, Orta Miyosen, Geç Miyosen ve Kuvaterner çökelleri olmak üzere başlıca altı grupta incelemiştir (Şekil 2.10 ve 2.11). Havzanın temel kayaları başlıca Menderes masifinin metamorfik kayaları ve Likya Napları'nın ofiyolitleri ve metasedimentleri ile temsil edilmektedir. Temel kayalar üzerinde sırasıyla Geç Oligosen yaşlı alüvyal yelpaze çökelleri ile temsil edilen Karadere Formasyonu, örgülü-kıvrımlı nehir ve lagüner ortam koşullarında çökelen kömürlü Mortuma Formasyonu yer almaktadır. Geç Oligosen yaşlı birimler Erken Miyosen (Akitaniyen) yaşlı işletilebilir Meriç, Polat, Şentürk, Şeirf ve Ziyaçavuş kömür damarlarını içeren Yenidere Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür.



Şekil 2.10. Bozdoğan Graben alanının güneydoğundaki Kale-Tavas sahasının basitleştirilmiş jeoloji haritası ve kömür ocaklarının konumları (Hakyemez, 1989; Atalay, 2007; Karayığit ve Kayseri-Özer, 2020; Karayığit ve ark., 2020'den yeniden düzenlenerek alınmıştır).

Yaş		Grup		Formasyon	Kalınlık	Litoloji	Açıklamalar		
Kuvartner								?	70m
<b>Senozoik</b>		Plio.		<b>Muğla</b>	Milet	~140m	Çakıl, kum <i>UYUMSUZLUK</i> Konglomera, çamurtaşı <i>UYUMSUZLUK</i> Killi kireçtaşı		
		Geç Miyosen			Yatağan	~250m	Konglomera, çamurtaşı, kumtaşı, tüfit		
		Orta Miyosen			Sekköy	~150m	Killi kireçtaşı, marn, kiltası, silttaşı ve kömür		
		Erken Miyosen			Kale	~90m	<i>UYUMSUZLUK</i> Konglomera, silttaşı, çamurtaşı, kumtaşı, resifal kireçtaşı		
					Künar	~70m	Kumtaşı, silttaşı, marn		
					Yenidere	~1450m	Kumtaşı, kiltası, kömür		
							Kumtaşı-marn-kiltası ardalanması		
		Oligosen			<b>Akçay</b>		Mortuma	2400m	Konglomera-silttaşı-kumtaşı ardalanması <i>UYUMSUZLUK</i> Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kömür
							Karadere	425m	Konglomera, kumtaşı, silttaşı <i>UYUMSUZLUK</i>
		Senozoik öncesi							Kuvarsit, mermer, gnays, şist, kireçtaşı, radyolarit, ofiyolit

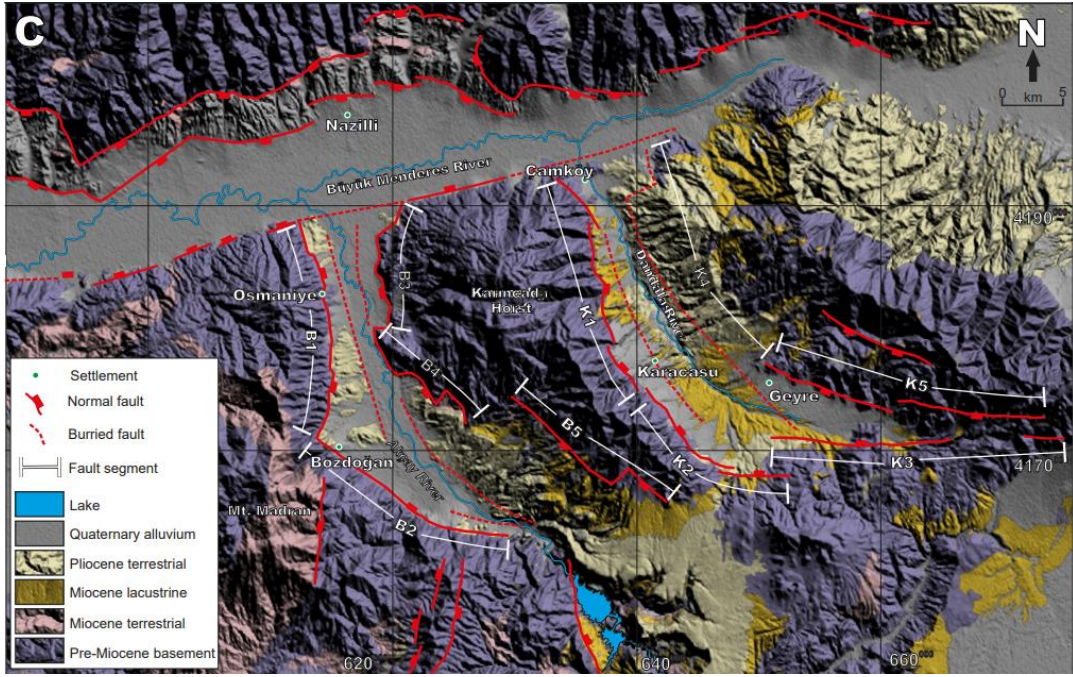
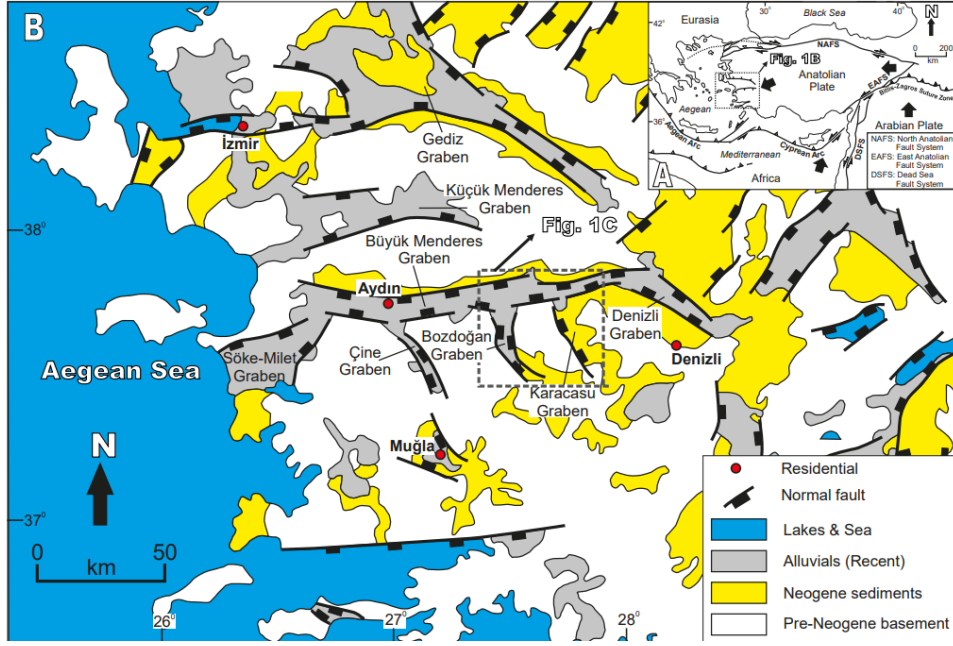
Ölçeksiz

Şekil 2.11. Kale-Tavas alt havzasının stratigrafik kolon kesiti (Hakyemez, 1989; Atalay, 2007; Karayığit ve Kayseri-Özer (2020); Karayığit ve ark., 2020).

Yenidere Formasyonu Burdigaliyen yaşlı Künar (flüvyal çökeller) ve Kale Formasyonu (konglomera, kumtaşı ve sığ denizel karbonat çökelleri) tarafından örtülmektedir. Gölsel karbonat, kil taşı ve kömür içeren Sekköy Formasyonu Künar ve Kale Formasyonları üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. Geç Miyosen-Pliyosen çökelleri (Yatağan ve Milet Formasyonu) ve Kuvaterner çökelleri havzada yer alan diğer kayaçları örtmektedir. Gerçekleştirilen rastgele hüminit/vitrinit yansıtımları sonucu (Rr) en yüksek Rr değerlerinin (%0,63-0,69) Geç Oligosen, en düşük Rr değerlerinin (%0,26-0,27) ise Orta Miyosen yaşlı kömürlerde ölçülmüştür. Mineralojik incelemeler Mortuma ve Yenidere Formasyonlarına ait kömürlerin alüminosilikat mineralleri, Sekköy Formasyonuna ait kömürlerin ise karbonat mineralleri açısından daha zengin olduğunu yansıtmaktadır. Tez kapsamında elde edilecek bulguların, bu çalışma sonuçlarıyla karşılaştırmaları da yapılacaktır.

**Özsayın ve ark. (2023)** tarafından Bozdoğan ve Karacasu Grabenlerinin tektonik jeomorfolojisi çalışılmıştır. Bozdoğan Grabeni yaklaşık 40 km uzunlukta 5-10 km genişlikte Karacasu Grabeni ise yaklaşık 35 km uzunluğunda ve 5-7 km genişliğinde tanımlanmıştır (Şekil 2.12). En yüksek zirvesi Bozdoğan köyünün güneybatısında 1725 m'ye (Madran Dağı) kadar ulaşan Bozdoğan Grabeni'nin kuzey-orta kısmı K-G gidişli iken orta-güney kısımları güneydoğuya doğru bir eğrilik göstermektedir. Karacasu Grabeni, Bozdoğan grabeninin doğusunda yer almakta ve Bozdoğan grabeninden Karıncalıdağ Horstu ile ayrılmaktadır. Her iki graben de yüzeylen kaya birimleri temel birimler, Miyosen kırıntılı çökeller ve modern graben dolgusu olmak üzere üç grupta incelenmiştir. Her iki graben üzerinde enine topografik simetri faktörü (T), dağ önü kıvrımlılık (Smf), vadi tabanı genişliğinin vadi yüksekliğine oranı (Vf), akarsu uzunluğu gradyan indeksi (SL) ve normalleştirilmiş kanal diklik indeksi (Ksn) olmak üzere morfometrik analizler gerçekleştirilmiştir. Hem Bozdoğan hem de Karacasu Grabenindeki T değerleri batıya/güneybatıya doğru eğimi temsil etmektedir. Her iki grabenin batı ve güneybatı kesimlerinde yüksek tektonik aktiviteyi temsil eden düşük Smf değerleri bulunmuştur. Her iki graben de aynı litolojiye ve benzer sınır morfolojilerine sahip olmasına rağmen, SL indeksleri Karacasu Grabeninde'de daha yüksek çıkmıştır. Daha yüksek SL değerlerinin daha yüksek aktiviteyi işaret ettiği ifade edilmiştir. Yüksek Ksn değerlerinin yüksek tektonik aktiviteye işaret ettiğini belirten çalışmada diğer morfometrik analizlerle de tutarlı olarak batı kenarlarının nispeten daha yüksek tektonik





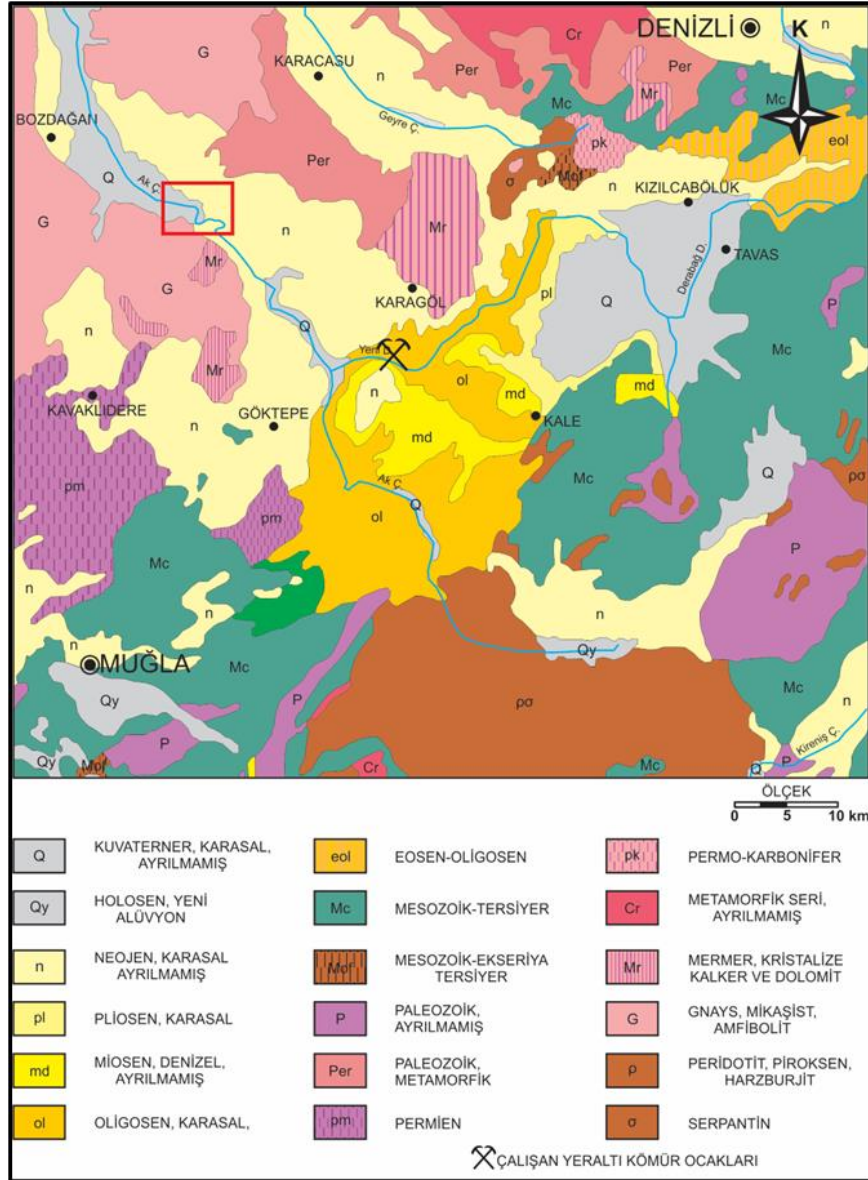
Şekil 2.12. A) Türkiye ve çevresinin neotektonik yapıları (Bozkurt, 2001; Özsayın ve ark. 2023'den) B) Batı Türkiye'nin başlıca graben sistemleri (Bozkurt ve Mittwede, 2005; Özsayın ve ark., 2023'den. C) Bozdoğan ve Karacasu grabenlerinin sınır faylarının segmentlerini gösteren sayısal yükseklik modeli üzerinde çalışma alanının jeolojik haritası (Ocakoğlu ve ark., 2014; Özsayın ve ark., 2023'den).

aktiviteye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Morfometrik analizler bir arada değerlendirildiğinde her iki graben içinde batı/güneybatı kenarındaki tektonik aktivitenin doğu sınırı fay segmentlerinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bozdoğan grabeninin doğu kenarındaki vadiler U şekillidir ve dağ cepheleri kıvrımlıdır bu durum düşük tektonik aktiviteyi yansıtmaktadır. Karacasu Grabeni'nin doğu kenarı, yoğun erozyona ve düşük tektonik aktiviteye işaret eden, v-u şekilli vadiler ve alçak rölyefin hakim olduğu gömülü bir fay ile tanımlanmıştır.

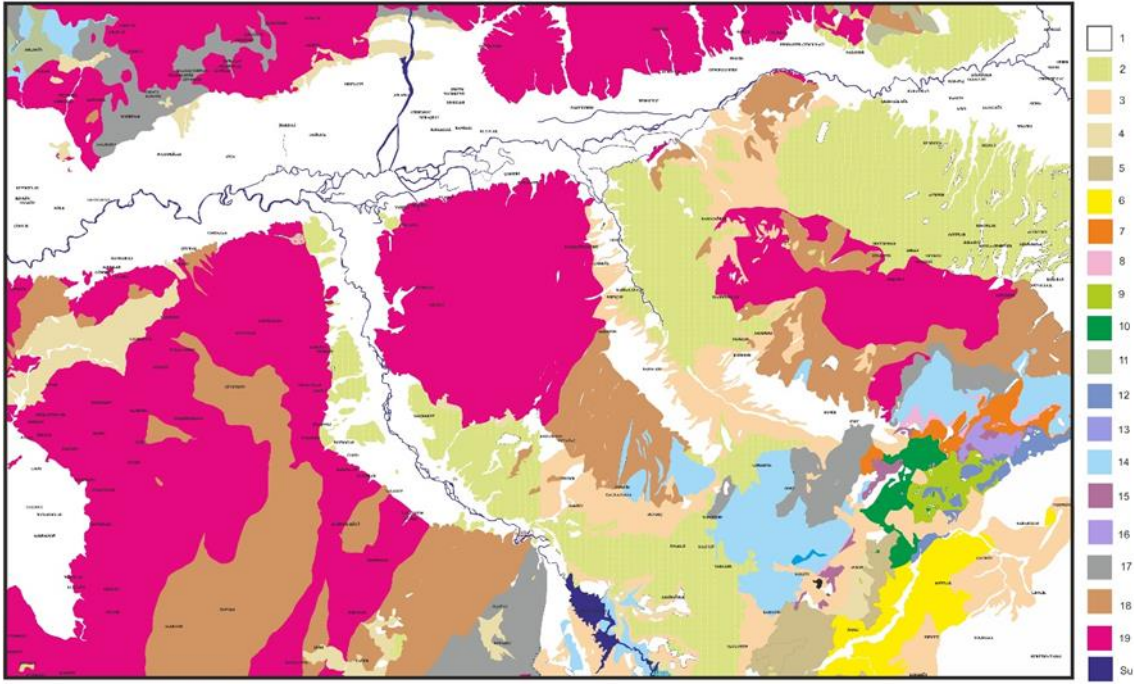


### 3. JEOLJİ

Tez çalışması kapsamında Aydın il sınırları içerisinde yer alan Bozdoğan Graben alanının jeolojisi ve tektoniği, literatür bilgileri ışığında bu bölümde özetlenmiştir. Çalışma alanı, 1/100.000 ölçekli Aydın M20 ve Denizli M21 paftaları içerisinde yer almaktadır. Sahanın sırasıyla 1/500.000 ve 1/100.000 ölçekli MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış jeoloji haritaları basitleştirilerek Şekil 3.1 ve 3.2’de sunulmuştur. Bölgenin stratigrafik istifi, Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Bozdoğan Graben alanı ve çevresinin 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası (Pamir, 1974; Karayığit ve Kayseri-Özer, 2020’den yeniden düzenlenerek alınmıştır). Not: Çalışma alanı kırmızı dikdörtgenle gösterilmiştir ve jeolojik yaş isimlendirilmelerinde harita üzerinde gösterilenlere bağlı kalınmıştır.



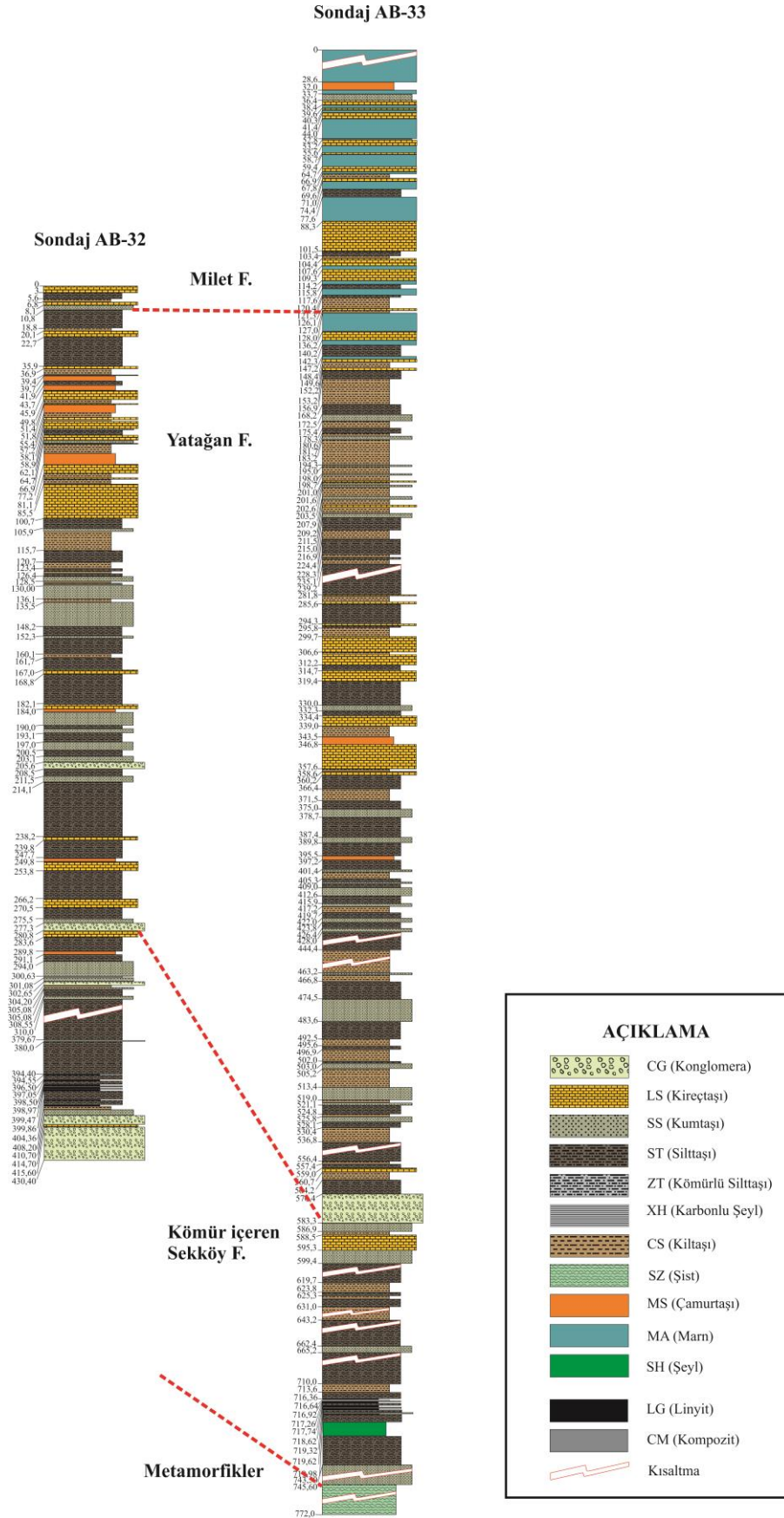
Şekil 3.2. Bozdoğ an Grabeni ve yakın çevresinin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası (Açıklamalar: 1:Kuvaterner, 2:Pliyosen, 3:Üst Miyosen, 4:Orta Miyosen, 5:Alt Miyosen, 6:Oligosen, 7:Üst Eosen, 8:Üst Palesoen-Orta Eosen, 9:Kampaniyen-Maestrihtiyen, 10:Kretase, 11:Üst Kretase, 12:Toarsiyen-Üst Kretase, 13:Liyas, 14:Jura-Kretase, 15:Orta Triyas-Liyas, 16:Alt Liyas, 17:Permilen, 18:Paleozoyik, 19:Prekambriyen) (1/100.000 ölçekli M20-Aydın ve M21-Denizli MTA jeolji haritalarından basitleştirilerek çizilmiştir).

Çalışma alanının jeolojisinin anlaşılmasında Hakyemez ve Örcen (1982), Hakyemez (1989), Açıkalın (2005), Alçiçek ve Jiménez-Moreno (2013), Ocakoğ lu ve ark. (2007, 2014), Karayiğ it ve Kayseri-Özer (2020), Karayiğ it ve ark. (2020), Usta (2015), Özsayın ve ark. (2023)'de yer alan bilgilerden büyük ölçüde yararlanılmıştır. Ancak saha çalışmaları sırasında Bozdoğ an Graben alanı ve yakın çevresinde yapılmış sondaj karotlarında tanımlanan birimler, Kale-Tavas sahasında tanımlanan birimlere benzerlik göstermektedir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında formasyon adlandırmaları Hakyemez ve Örcen (1982), Hakyemez (1989) tarafından belirlenen formasyon isimlendirilmeleri esas alınmıştır. Ayrıca, tanımlamalarda Karayiğ it ve Kayseri-Özer (2020) ve Karayiğ it ve ark. (2020)'de verilen daha güncel bilgilerden de geniş ölçüde faydalanılmıştır. Aşağıda bölgenin stratigrafi birimleri ve tektoniği özetlenmiştir.

Çalışma alanı ve çevresinde en yaşlı birimler, daha önce açıklandığı gibi, Menderes Masifi'ne ait Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar ile temsil edilmektedir (Şekil 2.11). Metamorfikler üzerine Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Akçay Grubuna ait sedimanter birimler (Karadere, Mortuma, Yenidere ve Künar/Kale Formasyonları) uyumsuz olarak gelmektedir. Akçay grubu, uyumsuz olarak Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı Muğla Grubuna ait sedimanter birimler (Sekköy, Yatağan, Milet Formasyonları) tarafından üzerlenmektedir. Saha içerisinde yer alan Kuvaterner yaşlı birimler diğer tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir (Şekil 2.11). Tez çalışması kapsamında incelenen AB-32 ve AB-33 nolu sondajların basitleştirilmiş sondaj logları, tanımlanan formasyonlar ve karşılaştırmaları Şekil 3.3'de verilmiştir.

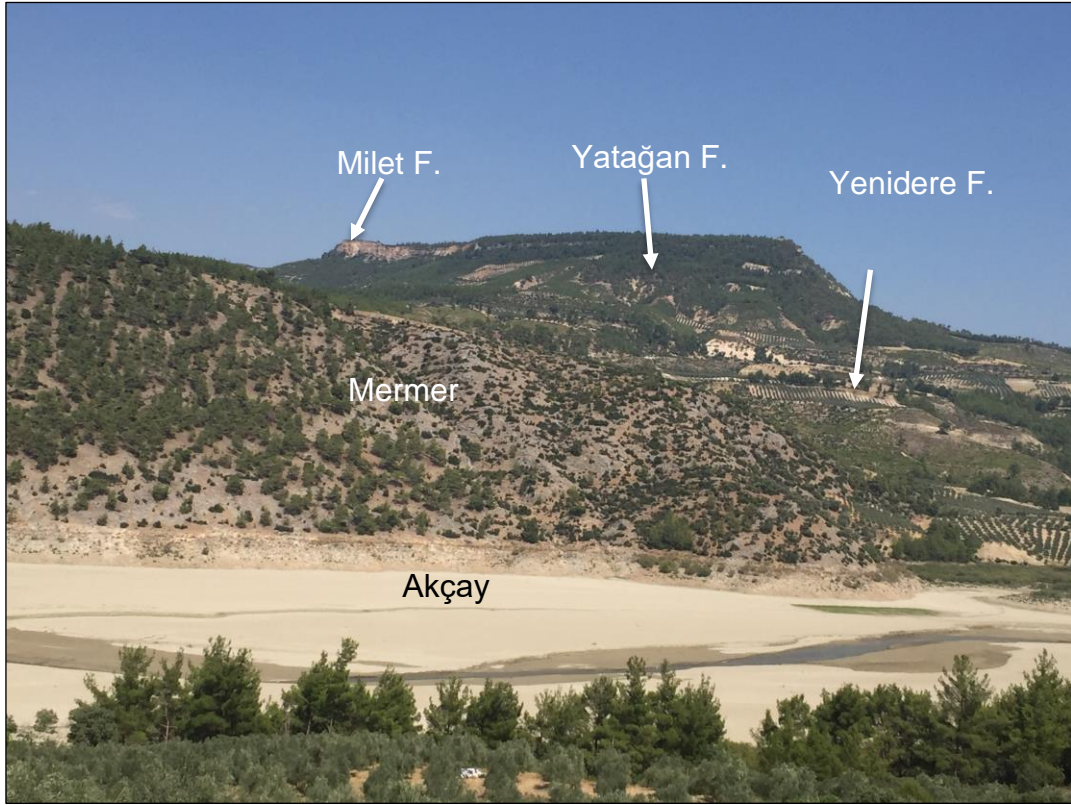
### **Temel Kayalar:**

Bölgede bulunan en yaşlı kayalar Paleozoyik yaşlı Menderes Masifine ait çekirdek (core) ve örtü (cover) kayalarından oluşmaktadır. Çekirdek kayaları baskın olarak gnays türü ve yüksek dereceli metamorfik kayalardan oluşmaktadır (Seyitoğlu ve ark. 2015). Gnaysların büyük bir kısmı şekilsel görünümünden dolayı 'gözlü gnays' olarak tanımlanmaktadır. Gnaysların yaşına dair farklı birçok görüş literatürde yer almaktadır. Bir kesim araştırmacı gnaysların Prekambriyen yaşlı olduğunu savunurken (Şengör ve ark., 1984; Dora ve ark.,1995; Satır ve Friedrichsen, 1986; Hetzel ve ark., 1998) gnaysların Tersiyer yaşlı olduğu görüşü de birçok araştırmacı tarafından kabul görmektedir (Bozkurt ve ark., 1993,1995). Örtü kayalar baskın olarak şist ve mermerlerle (Şekil 3.4 ve 3.5) temsil edilen düşük dereceli metamorfitlerden oluşmaktadırlar. Bu kayaların sınırlı fosil içerikleri incelendiğinde yaş aralığının Paleozoik-Tersiyer olduğu kanısına varılmıştır (Dürr, 1978; Çağlayan ve ark., 1980; Şengör ve ark., 1984; Satır ve Friedrichsen, 1986; Dora ve ark., 1995; Özer ve ark., 2001). Çalışma alanı ve yakın çevresinde görülen mermerler, çoğunlukla gri-bej olup çok kırıklı-çatlaklı olup ve yer yer yoğun karstlaşmalar içermektedir. Çalışma sahası içerisinde Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayalardan oluşan Temel Kayalar, daha genç yaşlı birimler tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Şekil 2.11) ve bunları Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Akçay Grubuna ait sedimanter birimler ve Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı Muğla Grubuna ait sedimanter birimler (Sekköy, Yatağan, Milet Formasyonları) oluşturmaktadır (Şekil 2.11).

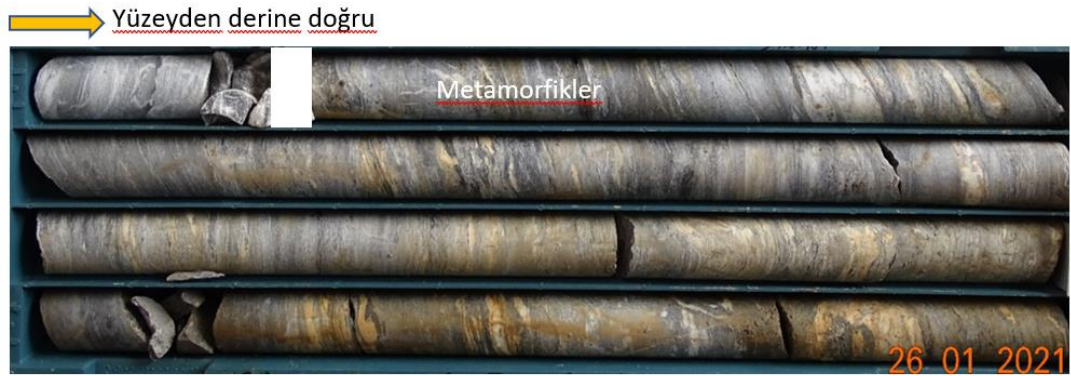


Şekil 3.3. Tez kapsamında incelenen AB-32 ve AB-33 nolu sondajların logları, tanımlanan formasyonlar ve karşılaştırılması.





Şekil 3.4. Çalışma alanının güney doğusunda Akçay Çayında mermer ve diğer formasyonların uzaktan görünüşleri.



Şekil 3.5. Tez kapsamında incelenen AB-33 nolu sondajın taban kısmında kesilen metamorfik kayalar.

### **Akçay Grubu:**

Bu grup içerisinde daha önce açıklandığı gibi Hakyemez ve Örçen (1982) ve Hakyemez (1989) tarafından Karadere, Mortuma, Yenidere ve Künar/Kale Formasyonları tanımlanmıştır. Bu grup, çalışma alanında yüzlek vermemektedir. Bu grup içinde Mortuma Formasyonu ve özellikle Yenidere Formasyonu kömür oluşumları

içermektedir. Günümüzde sadece kapalı ocaklarda işletilen kömürler, Yenidere Formasyonu içinde bulunmaktadır.

**Karadere Formasyonu:** Bu formasyon ilk olarak Hakyemez ve Örçen (1982) tarafından tanımlanmıştır. Birimin tip yeri ve tip kesiti, Eski Kale'nin 1 km doğusundaki Masıt dereidir (Hakyemez, 1989). Formasyon alüvyon yelpazesi ortamında çökelmiş genel olarak koyu kırmızı- zeytin yeşili renklerde çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı birimleri ile temsil edilmektedir. Formasyon içerisinde yaşlandırma çalışması yapılabilecek herhangi bir fosil bulgusuna rastlanmadığından formasyonun yaşı yanaldikey yönde geçişli olduğu Mortuma Formasyonu ile olan ilişkisi değerlendirilerek Oligosen olarak belirlenmiştir (Hakyemez, 1989).

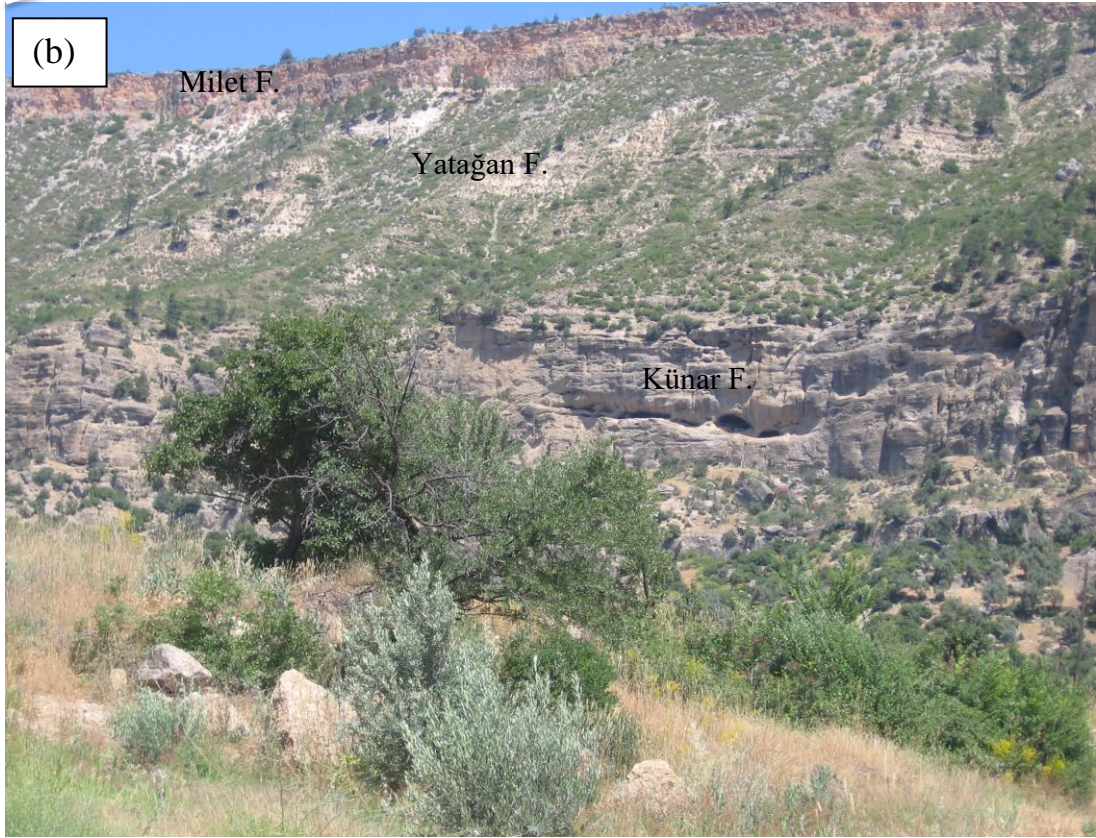
**Mortuma Formasyonu:** Kömür içeren bu formasyon ilk olarak Hakyemez ve Örçen (1982) tarafından tanımlanmıştır (Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020; Karayiğit ve ark. 2020). Birimin tip yeri Mortuma Çayı ve tip kesiti Masıt dereidir (Hakyemez, 1989). Formasyon alt kesimlerde örgülü ırmak ortamında çökelmiş sarımsı renkli çakıltaşı-kumtaşı araldanması ile başlar ve üst kesimlerde menderesli ırmak ortamında çökelmiş sarımsı-kahve, gri ve yeşil renklerde silttaşı, kiltası ve killi kireçtaşı birimleri ile temsil edilmektedir. Karadere Formasyonu üzerinde yanaldikey geçişli olarak bulunan Mortuma Formasyonu, Erken Miyosen yaşlı Yenidere Formasyonu tarafından aşıl uyumsuzlukla örtülmektedir (Şekil 2.11). Formasyon içerisinde yaşlandırma çalışmalarına uygun olarak balık dişi, *Operculina ammonoides* ve Miliolidae gibi foraminiferlerin yanı sıra *Ampullina (Ampullinopsis) cf. bourcarti*, *Barbatia (Barbatia) albanica*, *Tympanotonus sp.* ve *Potamides sp.* gibi gastropodlar ve ostrakod bulguları tanımlanmıştır. Tüm bu bulgular değerlendirilerek formasyona Geç Oligosen yaşı verilmiştir (Hakyemez, 1989). Benzer yaş, İslamoğlu (2008), Karayiğit ve Kayseri-Özer (2020) tarafından da tanımlanmıştır.

**Yenidere Formasyonu:** Daha önceki çalışmalarda çökelme ortamlarının oldukça benzer olması nedeniyle Mortuma Formasyonu ile birlikte tek bir formasyon olarak tanımlanan kömür içeren Yenidere Formasyonu, ilk kez Hakyemez ve Örçen (1982) tarafından tanımlanmış ve adlandırılmıştır. Yenidere Formasyonu yapılan önceki çalışmalarda

Esenkaya, Ortaköy ve Karakaya Üyelerine ayrılarak incelenmiştir. Daha sonraki çalışmalarda ise Karakaya Üyesi ayrı bir formasyon olarak tanımlanmış ve Künar Formasyonu olarak haritalanmıştır (Hakyemez, 1987 ve 1989). Bu formasyonun litolojisi, fosil içeriği ve yaşlandırılması ile kömür özellikleri, Karayığit ve Kayseri-Özer (2020) ile Karayığit ve ark. (2020) tarafından ayrıntılı çalışılmıştır. Formasyonun tip yeri Yenidere çayının Narlı köyü ile Yenidere köyü arasında alan kesim, tip kesiti ise Kuru deredir. Formasyon tabanda alüvyon yelpazesi çökelleri ile başlayıp sırasıyla örgülü ırmak, menderesli ırmak, lagün ve delta çökellerinden oluşmaktadır. Formasyon genel olarak sarımsı kahve ve boz renklerde çakıldaş kumtaşı ve çamurtaşı birimleri ile kömür seviyeleri temsil edilmektedir. Yenidere Formasyonu, Mortuma Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmekte ve uyumlu olarak Künar Formasyonu tarafından üzerlenmektedir (Şekil 3.6). Formasyonun yaşı gastropod ve pelesipod fosillerine dayanarak Akitaniyen (erken Miyosen) olarak belirlenmiştir (Hakyemez, 1989). Benzer şekilde Sözbilir ve ark. (2005), Akgün ve Sözbilir (2001), Karayığit ve ark. (2020) tarafından kömür içeren istif içerisinde yapılan çalışmalar (kömür petrografisi, sedimantolojik , ostrokod ve mollusk faunası ve detaylı palinolojik çalışmalar) birlikte değerlendirildiğinde Yenidere Formasyonu'nun Akitaniyen başından itibaren çökelmeye başladığı ve erken Burdigaliyene kadar transgresif-regresif hareketlere bağlı olarak deltatik (delta düzlüğü ve taşkın düzlüğü), akarsu, sığ göl , lagün (mangrov gerisi) ve plaj fasiyesinde çökeldiği ortaya konulmuştur.

**Künar Formasyonu:** Bu formasyon ilk olarak Hakyemez ve Örcen (1982) tarafından Yenidere Formasyonu'nun Karakaya (Tyk) Üyesi olarak tanımlanmıştır. Bu üye daha sonraki çalışmalarda Hakyemez (1987) tarafından formasyon mertebesine çıkarılarak Künar Formasyonu olarak tanımlanmış ve adlandırılmıştır. Formasyon sarımsı-gri renklerde olup kötü boylanmalı çakıldaş, çapraz ve paralel tabakalı çakıldaş-kumtaşı ve çapraz laminalı kumtaşı-paralel laminalı siltaşı olmak üzere üç fasiyes ile temsil edilmektedir (Şekil 3.6). Yenidere Formasyonu'nun üzerinde uyumlu olarak bulunan Künar Formasyonu, Sekköy Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. Yaşlandırma yapılabilecek herhangi bir fosil bulgusu içermeyen formasyon Kale Formasyonu'nun karasal eşdeğeri olarak kabul görmektedir. Formasyonun yaşlandırılması Kale Formasyonu ile olan ilişkisi göz önüne alınarak Burdigaliyen olarak saptanmıştır.





Şekil 3.6. Bozdoğan Grabeni'nin güneydoğusundaki Kale-Tavas sahasında Künar, Yatağan ve Milet Formasyonlarının uzaktan (a) ve daha yakından (b) görünüşleri.



### **Muğla Grubu:**

Bu grup içerisinde daha önce açıklandığı gibi Hakyemez ve Örçen (1982) ve Hakyemez (1989) tarafından Sekköy, Yatağan ve Milet Formasyonları tanımlanmıştır (Şekil 2.11). Sekköy Formasyonu içinde kömür oluşumları bulunmaktadır. Kale-Tavas sahasında Sekköy Formasyonu içindeki kömürler daha önce açık ocakta işletilmiştir. Bu işletmeden görünümler Şekil 3.7’de sunulmuştur.

**Sekköy Formasyonu:** Becker-Platen (1970) tarafından Sekköy tabakaları, Atalay (1980) tarafından ise Sekköy üyesi olarak tanımlanan birim, Hakyemez ve Örçen (1982) tarafından formasyon aşamasına çıkarılmıştır. Formasyonun tip yeri Narlı köyü kuzeyi tip kesiti ise Kuru derededir. Kömür ara katmanlı silttaşı, kırıntılı kireçtaşı ve killi kireçtaşı-mikritik kireçtaşı- karbonatlı silttaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Formasyon genel olarak bataklık, göl kumsalı ve göl çanağı ortamlarında çökelmiş sarımsı-yeşil, gri, grimsi beyaz renklere çakıllı kumtaşı, silttaşı, kiltası, kömür, marn ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyon içerisinde yer yer ince tuf ve tüfit ara katmanları yer almaktadır. Formasyon içerisinde *Candona* cf. *neglecta*, Cytheridae gibi ostrakodlar ile *Pseudoamnicola* sp., *Valvata* sp., Planorbidae gibi gastropodlar ve polen bulguları bulunmuştur. Ancak bu bulgular ayrıntılı yaş vermediğinden Atalay'ın (1980) omurgalı fosil verileri ile Becker-Platen ve ark. (1977) radyometrik yaşlandırmaları ( $11.1 \pm 0.2$  ve  $13.2 \pm 0.35$  my) esas alınarak Astarasiyen (Orta Miyosenin üstü) yaşı kabul edilmiştir (Hakyemez, 1989). Tez çalışması kapsamında yapılan palinolojik çalışmalarla Orta Miyosen (Serravaliyen) yaşı saptanmıştır. Benzer yaş, Kale-Tavas sahasında Karayiğit ve Kayseri-Özer (2020) tarafından yine palinolojik çalışmalarla belirlenmiştir.

**Yatağan Formasyonu:** Bu formasyonu ilk olarak Becker-Platen (1970) tarafından Yatağan tabakaları olarak tanımlanmış ardından Atalay (1980) tarafından formasyon tanımlaması yapılmıştır. Formasyonun tip yeri Adamharmanı köyü civarı ve tip kesiti kuru dere içindedir (Hakyemez, 1989). Formasyon alüvyon yelpazesi, örgülü akarsu ve gölsel ortamlarda çökelen kızıl-kahve renkli, kötü boylanmış, köşeli, boylanması orta-kötü arasında değişim gösteren çamurtaşı, kumtaşı ve pembemsi renklere gözlenen tuf ve tüfit ara katkılı silttaşı ve çamurtaşı çökelleri ile temsil edilmektedir. Kale-Tavas sahasında bu formasyon daha çok tabakalı, yumrulu kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 3.8). Tez kapsamında incelenen sondajlarda çoğunlukla tavan seviyeleri yeşil-yeşilimsi



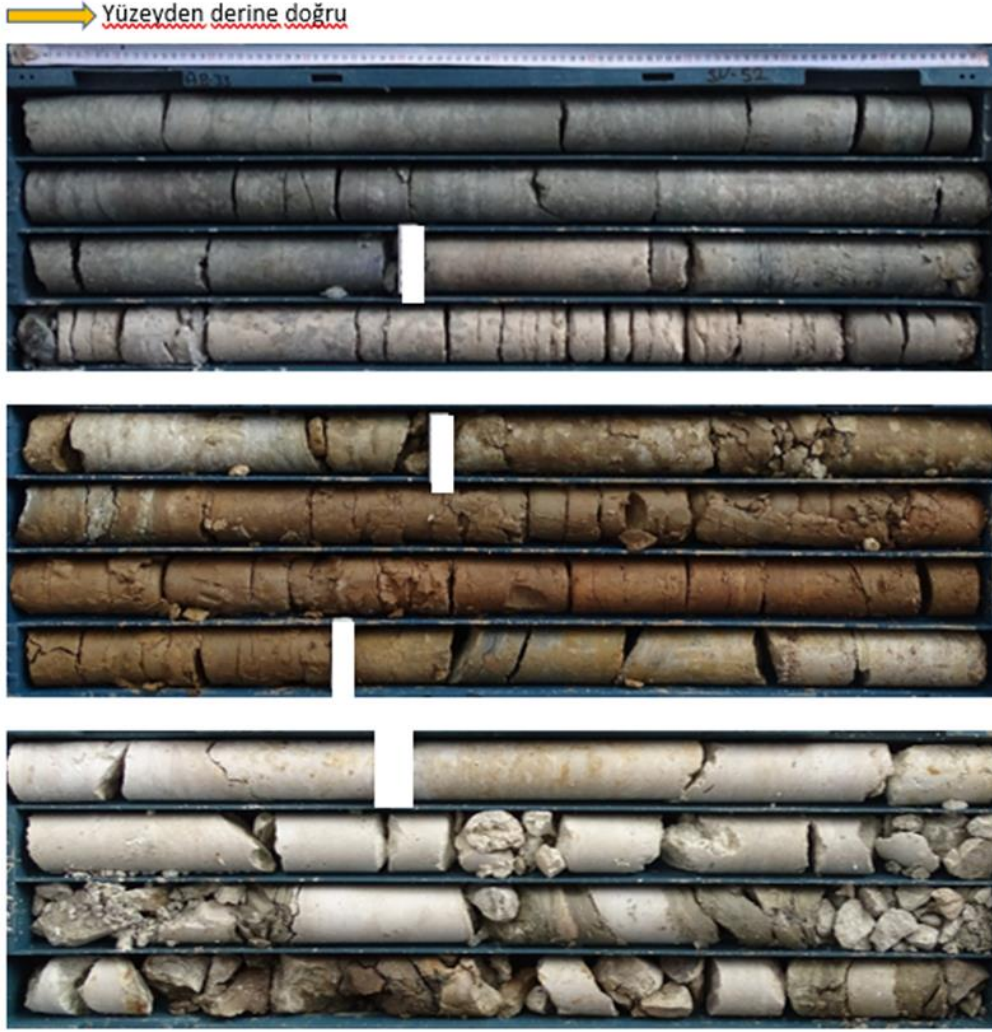
Şekil 3.7. Kale-Tavas sahasında Sekk y Formasyonu içinde açılmış ve günümüzde terk edilmiş kömür açık ocağının uzaktan (a) ve daha yakından (b) görünümleri.



Şekil 3.8. Kale-Tavas sahasında Yatağan Formasyonu'na ait tabakalı, yumrulu kireçtaşlarının görünümü.

çamurtaşı-kiltaşı, orta ve taban seviyelere doğru kızılımsı-kahverengi çamurtaşı ve beyazımsı krem renkli kireçtaşı aralanmalarından oluşmaktadır (Şekil 3.9). Tez çalışması kapsamında Yatağan ve Sekköy Formasyonlarının iyi pekişmiş ve iyi yuvarlaklaşmış çoğunlukla kireçtaşı bileşenlerinden oluşan konglomera ile ayrıldığı düşünülmektedir. Bu konglomeralar, bu sahada yapılmış sondajlarda izlenebilmektedir ve bu yönüyle kılavuz seviyeyi oluşturmaktadır (Şekil 3.10). Yaş tayini sırasında Atalay (1980) omurgalı fosil verileri ve Becker-Platen (1977) radyoaktif yaş tayinleri verileri kullanılarak Hakyemez ve Örçen (1982) tarafından Vallesiyen-Türoliyen (Üst Miyosen) yaşı verilmiştir. Benzer yaş, önceki çalışmalar kapsamında da açıklandığı gibi Saraç (2003) tarafından memeli fosillere göre de verilmiştir.





Şekil 3.9. Tez kapsamında incelenen AB-33 nolu sondajda Yatağan Formasyonu içinde farklı seviyelerde yüzeyden derine doğru tanımlanan yeşil renkli çamurtaşı-kiltaşı, kıvılcımsı-kahverengi çamurtaşı ve beyazımsı krem renkli kireçtaşlarından görünümler.



Şekil 3.10. Tez kapsamında incelenen AB-33 nolu sondajda Yatağan Formasyonu'nun taban seviyesinde görülen ve tez kapsamında Sekköy Formasyonu'ndan ayrılmasında kılavuz olarak kullanılan konglomeraların görünümü.

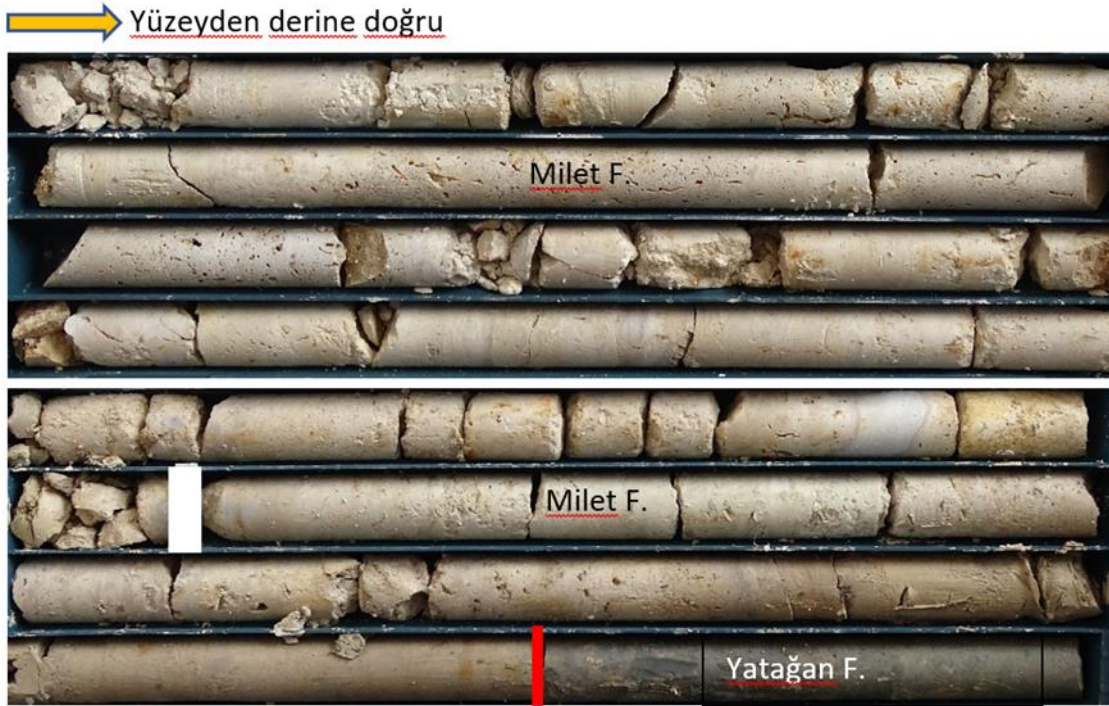
**Milet Formasyonu:** İlk olarak Hakyemez ve Örcen (1982) tarafından tanımlanan Milet Formasyonu yoğun karbonat çökeliminin gerçekleştiği gölssel ortam çökelleri ile temsil edilmektedir. Bu çökeller formasyonun tabanında beyaz renkli mikritik kireçtaşları ile başlayıp üst kesimlere doğru killi kireçtaşı, silttaşı, kumtaşı ve çakıltası çökelleri ile devam etmektedir. Başlıca mikritik kireçtaşları ile temsil edilen formasyonun tip yer ve tip kesiti Yukarı Görle köyünde bulunmaktadır (Hakyemez, 1989). Yatağan Formasyonu üzerinde uyumlu ve geçişli olarak bulunan Milet Formasyonu (Şekil 3.11 ve 3.12), Kuvaterner çökelleri tarafından örtülmektedir. Formasyon gölssel gastropod fosili bakımından oldukça zengindir. Bu doğrultuluda Atalay (1980)'ın omurgalı fosilleri de değerlendirilerek formasyona Üst Miyosen-Pliyosen yaşı verilmiştir (Hakyemez, 1989).

**Kuvaterner Yaşlı Çökeller:** Bu birim, kendilerinden yaşlı tüm birimleri uyumsuz olarak örter. Kuvaterner yaşlı çökeller, Erken Kuvaterner ve Geç Kuvaterner çökelleri olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Alüvyon yelpazesi ortamında çökelen kızıl kahve renklerde gözlenen kötü boylanmalı çakıltası ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Bazı seviyelerde kireçtaşı arakatlı silttaşı, kumtaşı, çakıllı kumtaşı ve çakıltası çökelleri gözlenebilmektedir. Geç Kuvaterner çökelleri esas olarak Akçay ve Yenidere Çayına ait güncel çökellerden oluşmaktadır. Çoğunlukla kızılımsı kahverengi, sarımsı gri ve gri renklerde gözlenen çökeller iri taneli ve köşeli çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve kilttaşları ile temsil edilmektedir.



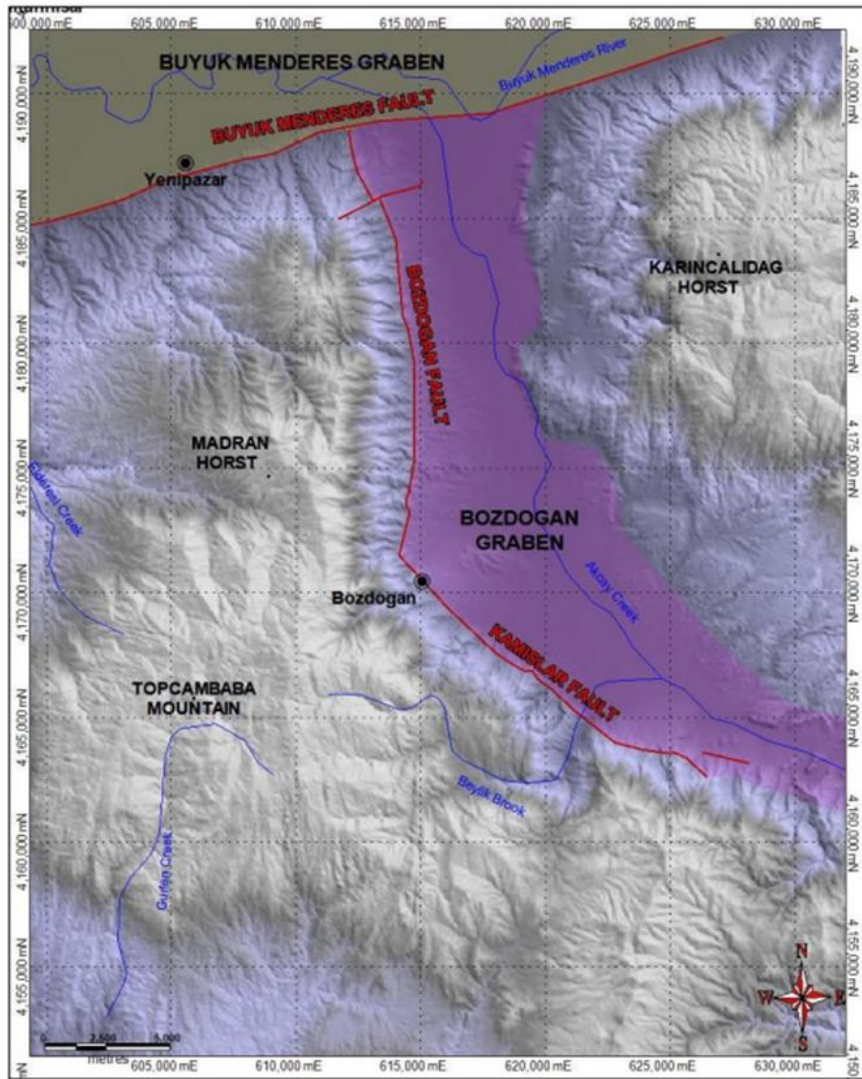


Şekil 3.11. Kale-Tavas sahasında Milet Formasyonu'nun görünümü.



Şekil 3.12. Tez kapsamında incelenen AB-33 nolu sondajda Milet Formasyonu'nda tanımlanan gösel kireçtaşlarının ve Yatağan Formasyonu'na geçiş olarak düşünülen dokanağın görünümü.

**Tektonik:** Bozdoğan Grabeninin oluşumu ve özellikleri, daha önce açıklanmıştır. Usta (2015) tarafından da ayrıntılı açıklandığı gibi Büyük Menderes Grabeni'ni güney kenarından sınırlayan, yaklaşık D-B uzanımlı Büyük Menderes fayı, Bozdoğan Grabeninin batı kenarını oluşturan K-G doğrultulu Bozdoğan fayı ve KB-GD uzanımlı Kamışlar fayı olmak üzere 3 adet aktif normal fay çalışma alanında tanımlanmıştır (Şekil 3.13). Tez çalışması kapsamında incelenen AB-33 nolu sondajda kömürler, AB-32'ye göre oldukça derinde kesilmiştir. Her iki sondaj arası yaklaşık 2,6 km'lik bir mesafe bulunmaktadır ve AB-33 nolu sondajda daha kalın Milet ve Yatağan Formasyonları kesilmiştir (Şekil 3.3). İki sondajda farklı kalınlıkta Yatağan Formasyonu'nun kesilmesi sedimentasyonu kontrol eden normal fayla ilgili olabilir. Ayrıca, AB-32 nolu sondajda Milet Formasyonunun ince olması, oluşum sonrası horst-graben tektoniğine bağlı olarak aşınmayla ilgili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.13. Bozdoğan Grabeni'nde tanımlanan normal faylar (Usta, 2015).

## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Materyal

Tez çalışması kapsamında MTA Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülen ‘‘Aydın-Muğla Neojen Havzaları Kömür Arama Projesi’’ kapsamındaki çok sayıda karotlu kömür arama sondajından Bozdoğan (Aydın) Graben alanı içerisinde yer alan tümüyle karotlu yapılmış derin iki adet sondaj (AB-32 ve AB-33) seçilmiştir. Seçilen AB-32 nolu sondaj derinliği yüzeyden 430 m ve AB-33 nolu sondaj ise yüzeyden 772 m olarak yapılmıştır. Tez çalışması için AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan sırasıyla 8 ve 6 toplamda 14 adet örnek alınmıştır. Ayrıca AB-33 nolu en derin sondajda derinlikle litolojik birimlerdeki mineralojik değişimi görmek amacıyla toplam 70 adet kayaç (örneğin kiltası, silttaşı, marn, kireçtaşı) örneği de alınmış ve sadece mineralojik bileşimi değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında karotlardan alınan kömür örnekleri, Larkin ve Green (2020) tarafından verilen bilgiler ışığında, kuru bazdaki kül içerikleri ve sondaj karotlarındaki makroskobik görünümleri dikkate alınarak gruplanmıştır. Gruplandırma yapılırken litolojik tanımlama ve kuru bazdaki kül içeriği <math><50\%</math> olan örnekler kömür (CO), %50-75 arasında olan örnekler kömürlü silttaşı (ZT) ve >math>75\%</math> olan örnekler karbonlu şeyl (XH) olarak tanımlanmıştır. AB-32 nolu sondajdan alınan sekiz örnekten yedisinin kuru bazda kül içeriği %50’den az olduğundan kömür (CO) olarak tanımlanmıştır. Geri kalan bir örneğin (AB32-1) kuru bazdaki kül içeriği (%74,1) ve makroskobik görünümü dikkate alınarak kömürlü silttaşı (ZT) olarak tanımlanmıştır. AB-33 nolu sondajdan alınan altı adet örnekten yalnızca birinin (AB33-2) kuru bazdaki kül içeriği %75’den büyük (%84,5) olduğundan karbonlu şeyl (XH) olarak tanımlanırken geri kalan beş örnek kömür (CO) olarak tanımlanmıştır.

Sondajlardan alınan örneklerinin tanımlamaları, yüzeyden giriş ve çıkış metrajları ve kalınlıkları (m) Çizelge 4.1.’de, alınan kömür örneklerinin tavan ve taban kayaçlarına göre konumları Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.’de ve AB-33 nolu sondajdan alınan 70 adet kayaç örneğinin sondajdaki derinlikleri ve litolojik tanımlamaları ise Çizelge 4.2.’de verilmiştir. Sondaj karotlarındaki bazı kömürlü seviyelerin görüntüleri Şekil 4.3’de sunulmuştur.



Sondaj karotlarından alınan bazı seviyelerde ikincil jips/anhidrit oluşumları gözlenmiştir (Şekil 4.3 ve 4.4.).

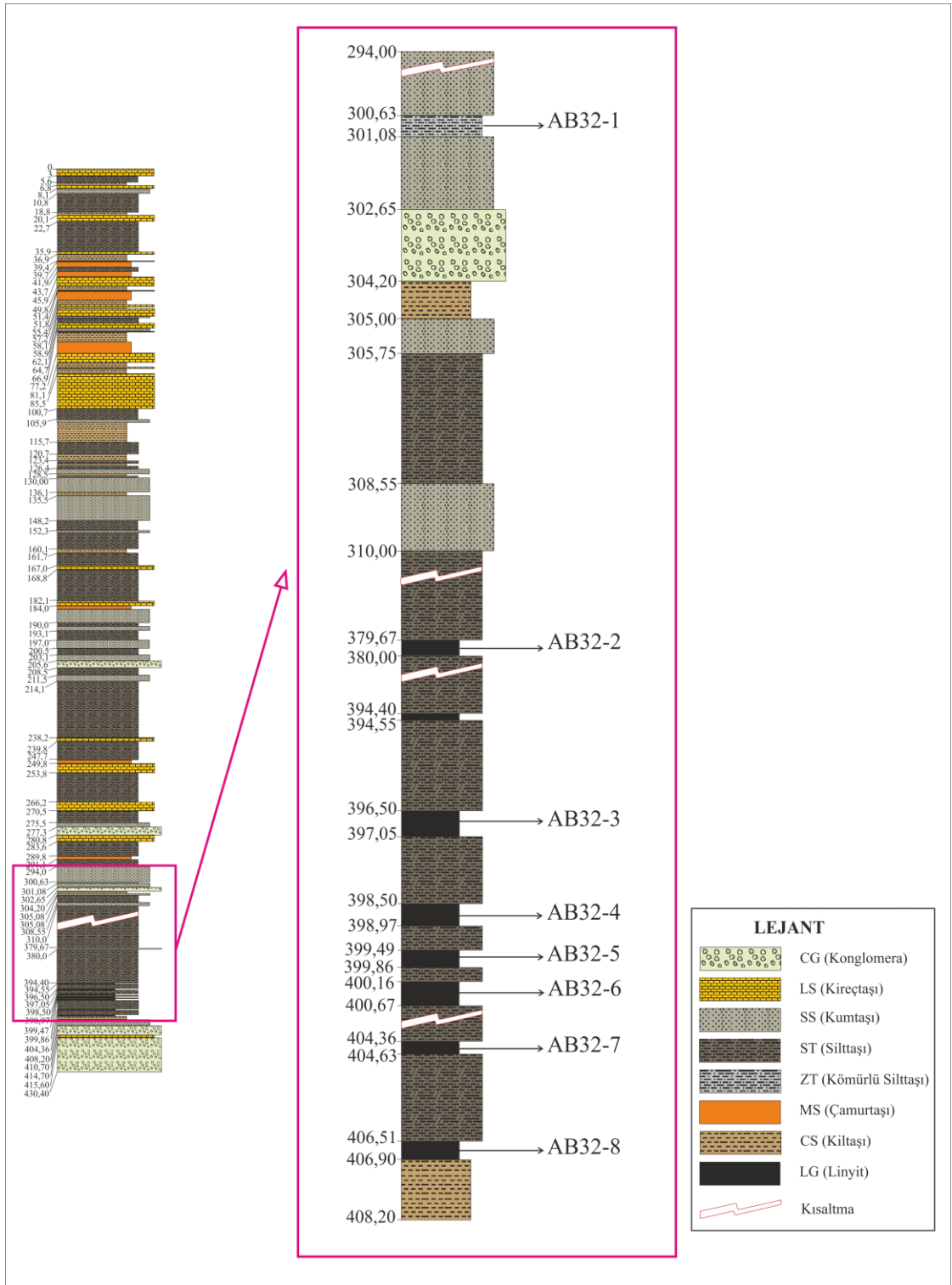
Kömür ve kayaç örnekleri, karotlardan yarılama yöntemiyle alınmış, çift plastik torbalara konmuş ve laboratuvara getirilmiştir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar çalışmalara ait iş akış şeması Şekil 4.5’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin yüzeyden derinlikleri ve tanımlamaları.

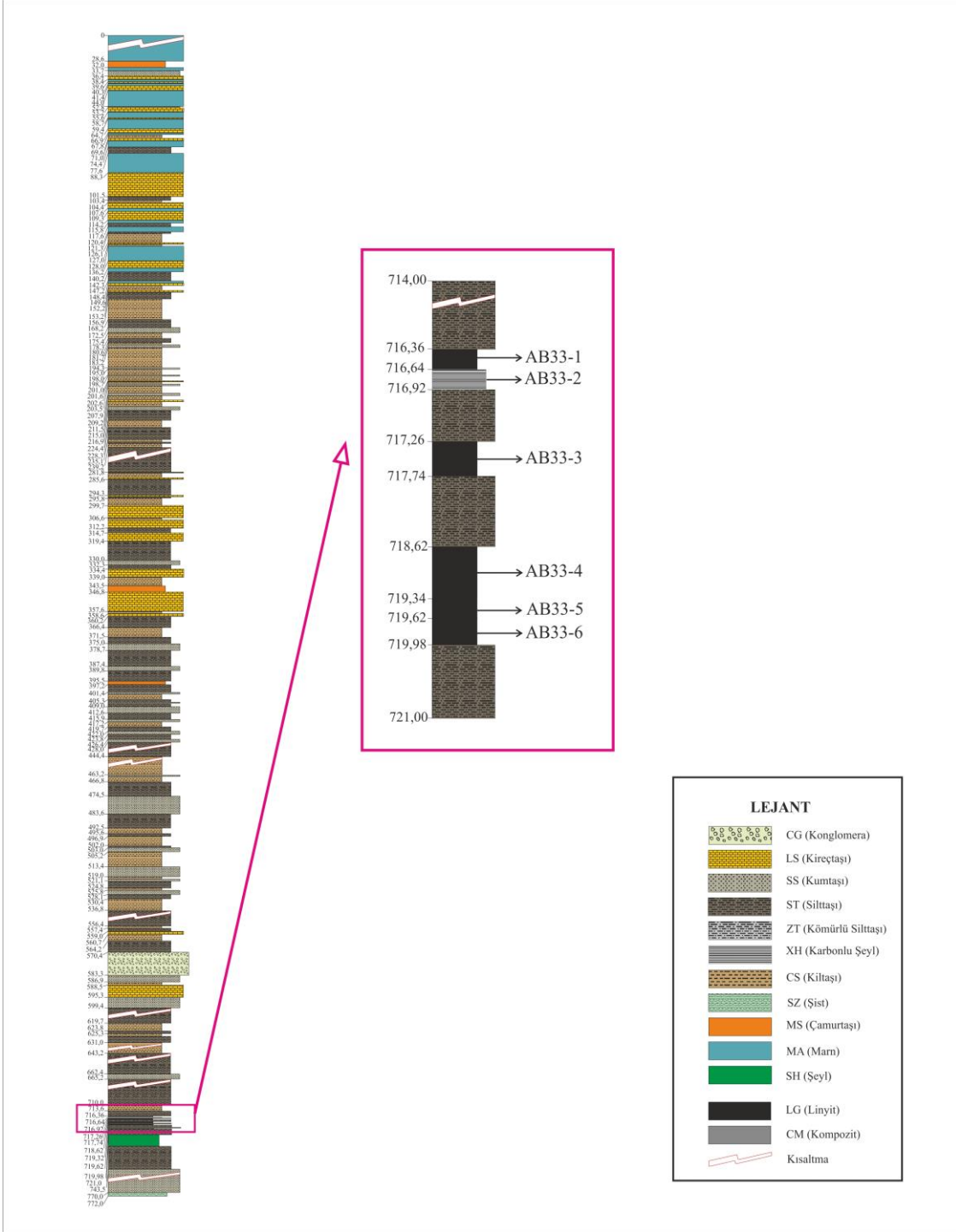
Örnek No	Derinlik (m)		Kalınlık (m)	Tanımlama
AB32-1	300,63	301,08	0,45	Kömürlü Silttaşı (ZT)
AB32-2	379,67	380,00	0,33	Kömür (CO)
AB32-3	396,50	397,05	0,55	Kömür (CO)
AB32-4	398,50	398,97	0,47	Kömür (CO)
AB32-5	399,49	399,86	0,37	Kömür (CO)
AB32-6	400,16	400,67	0,51	Kömür (CO)
AB32-7	404,36	404,63	0,27	Kömür (CO)
AB32-8	406,51	406,90	0,39	Kömür (CO)
AB33-1	716,36	716,64	0,28	Kömür (CO)
AB33-2	716,64	716,92	0,28	Karbonlu Şeyl (XH)
AB33-3	717,26	717,74	0,48	Kömür (CO)
AB33-4	718,62	719,34	0,72	Kömür (CO)
AB33-5	719,34	719,62	0,28	Kömür (CO)
AB33-6	719,62	719,98	0,36	Kömür (CO)

Çizelge 4.2. Tez kapsamında AB-33 nolu sondajdan alınan kayaç örneklerinin yüzeyden derinlikleri ve litolojik tanımlamaları.

Ömek No	Derinlik (m)	Litoloji	Örnek No	Derinlik (m)	Litoloji
AB-33/1K	2,80-2,90	Mam	AB-33/36K	458,20-458,30	Kiltaş
AB-33/2K	23,60-23,70		AB-33/37K	465,00-465,10	Silttaş
AB-33/3K	39,00-39,10		AB-33/38K	472,40-472,50	Kiltaş
AB-33/4K	47,60-47,80		AB-33/39K	493,50-493,60	Silttaş
AB-33/5K	63,60-63,70		AB-33/40K	538,60-538,70	Silttaş
AB-33/6K	77,60-77,80	Silttaş	AB-33/41K	545,20-545,30	Kiltaş
AB-33/7K	99,80-100,00	Kireçtaş	AB-33/42K	562,30-562,40	Silttaş
AB-33/8K	106,50-106,60		AB-33/43K	600,50-600,60	
AB-33/9K	121,60-121,70	Kiltaş	AB-33/44K	604,90-605,00	Silttaş
AB-33/10K	129,40-129,60	Mam	AB-33/45K	608,50-608,60	
AB-33/11K	144,00-144,10	Silttaş	AB-33/46K	610,60-610,70	
AB-33/12K	164,40-164,60	Kiltaş	AB-33/47K	614,20-614,30	Silttaş
AB-33/13K	167,10-167,20		AB-33/48K	619,50-619,60	
AB-33/14K	182,40-182,60	Kumtaş	AB-33/49K	622,80-622,90	Kiltaş
AB-33/15K	198,00-198,20		AB-33/50K	627,40-627,50	
AB-33/16K	220,40-220,50	Silttaş	AB-33/51K	634,70-634,80	Silttaş
AB-33/17K	238,20-238,30	Kiltaş	AB-33/52K	638,00-638,10	
AB-33/18K	241,50-241,60	Silttaş	AB-33/53K	642,20-642,30	Silttaş
AB-33/19K	254,00-254,10		AB-33/54K	646,50-646,60	
AB-33/20K	263,20-263,30		AB-33/55K	661,40-661,50	
AB-33/21K	271,90-272,00		AB-33/56K	664,80-664,90	Kumtaş
AB-33/22K	276,40-276,60		AB-33/57K	673,90-674,00	Silttaş
AB-33/23K	289,40-289,50	AB-33/58K	684,40-684,50		
AB-33/24K	295,55-295,65	AB-33/59K	693,40-693,50		
AB-33/25K	303,30-303,40	Kireçtaş	AB-33/60K	700,10-700,20	Silttaş
AB-33/26K	327,80-327,90	Silttaş	AB-33/61K	714,20-714,30	
AB-33/27K	337,00-337,10	Kireçtaş	AB-33/2-S	716,64-716,92	Kömür
AB-33/28K	341,80-341,90	Kiltaş	AB-33/63K	718,20-718,30	Silttaş
AB-33/29K	345,60-345,70	Çamurtaş	AB-33/5-S	719,34-7119,62	Karbonlu silttaş
AB-33/30K	354,00-354,10	Kireçtaş	AB-33/64K	722,60-722,70	Silttaş
AB-33/31K	369,60-369,70	Kiltaş	AB-33/65K	723,60-723,70	Kömürlü silttaş
AB-33/32K	385,70-385,80	Silttaş	AB-33/66K	732,70-732,80	Silttaş
AB-33/33K	399,70-399,80		AB-33/67K	743,00-743,10	
AB-33/34K	419,90-420,00	Kiltaş	AB-33/68K	758,00-758,10	Kumtaş
AB-33/35K	426,90-427,00	Silttaş	AB-33/69K	771,70-771,80	Şist

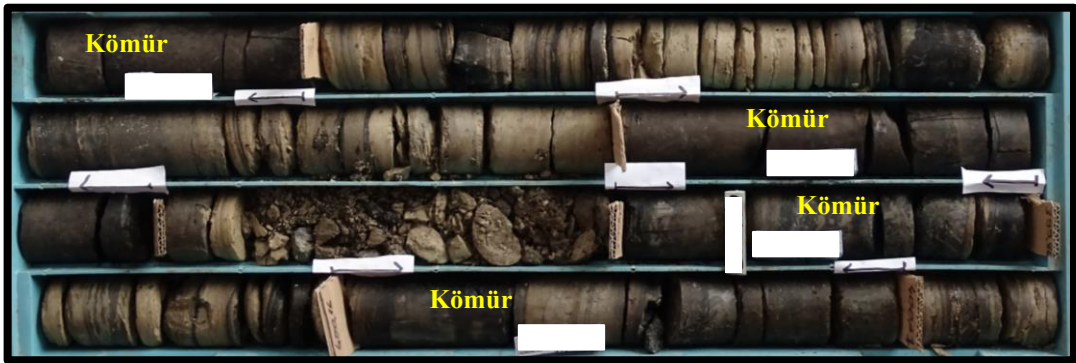


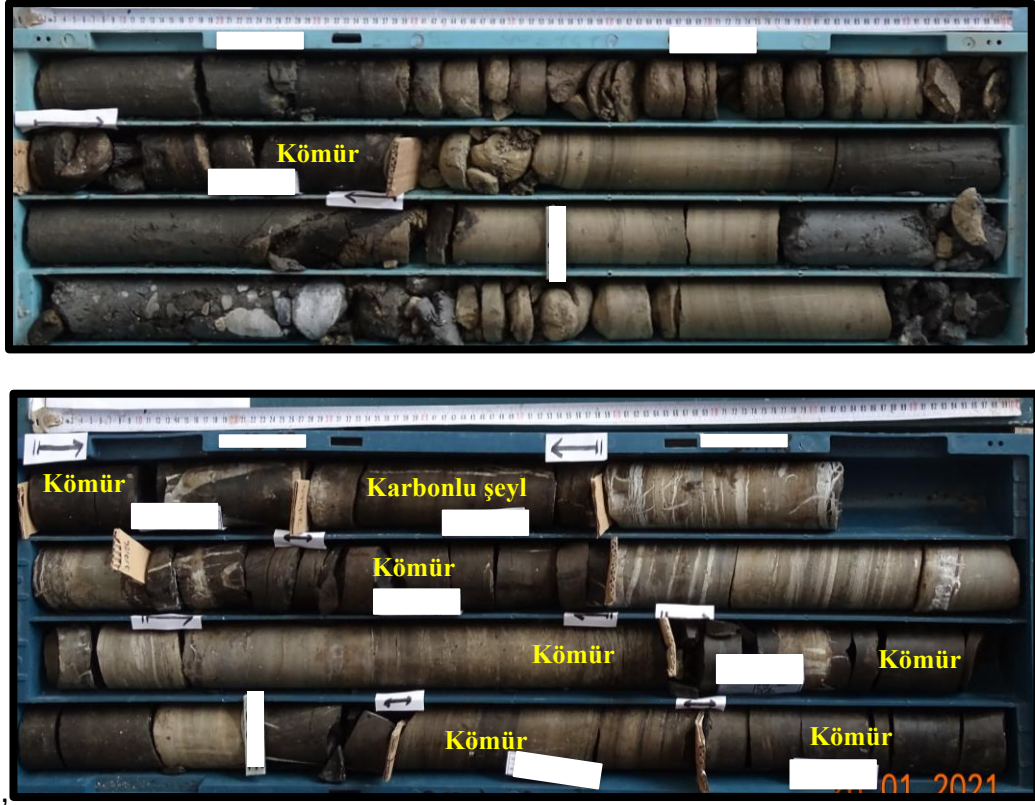
Şekil 4.1. Tez kapsamında AB-32 sondajından alınan örneklerin sondaj logu üzerindeki konumları.



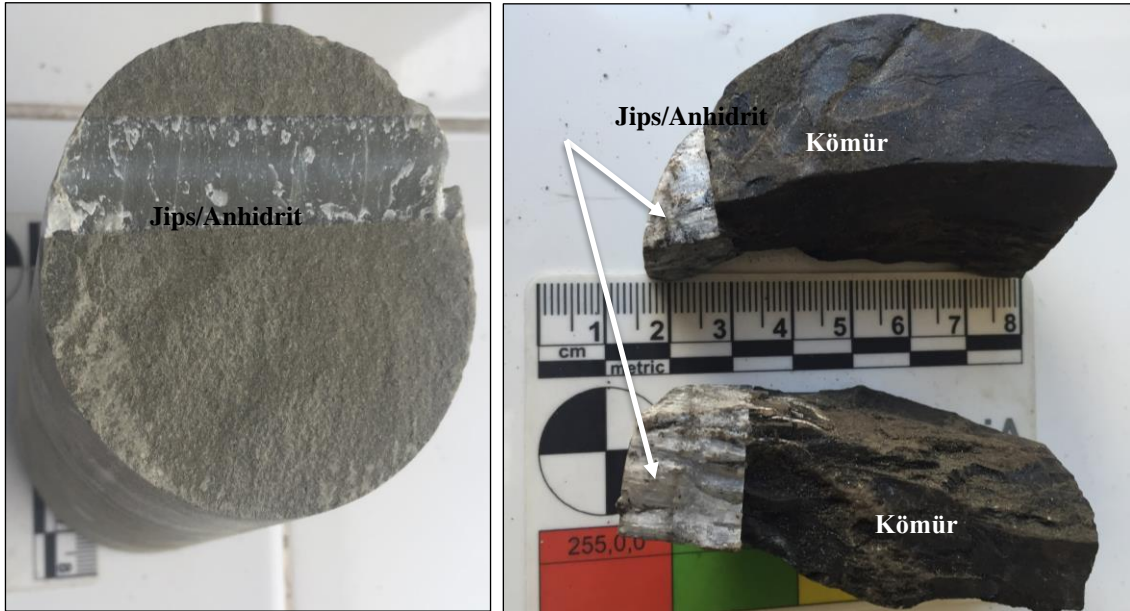
Şekil 4.2. Tez kapsamında AB-33 sondajından alınan örneklerin sondaj logu üzerindeki konumları.



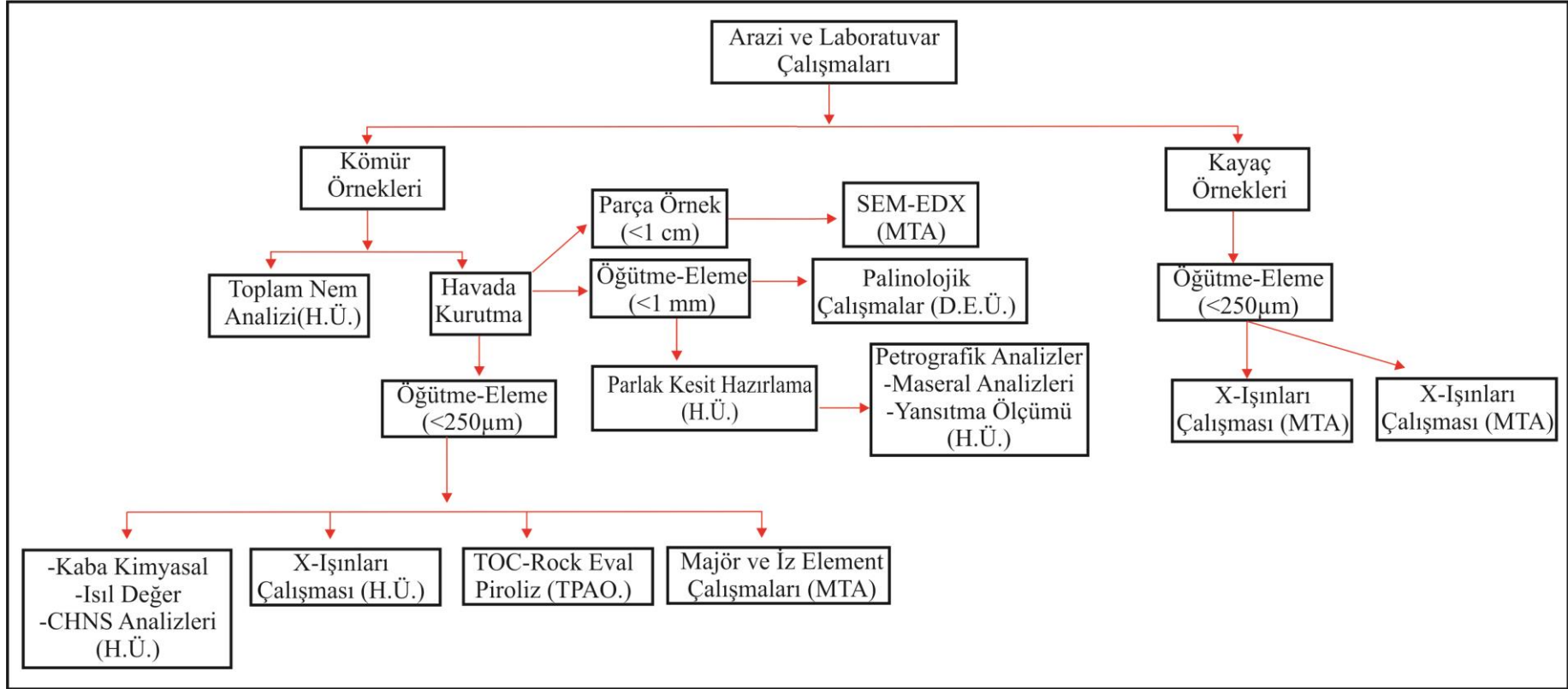




Şekil 4.3. Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlara ait kömürlü seviyelerden seçilen karot fotoğrafları.



Şekil 4.4. Tez kapsamında incelenen AB-33 nolu sondajın karotlarında kömür içerisinde gözlenen ikincil jips/anhidrit oluşumları.



Şekil 4.5. İş akış şeması.



## 4.2. İnceleme Yöntemleri

Tez çalışması kapsamında seçilen sondaj karotlardan alınan kömür ve kayaç örnekleri üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, bu alt bölümde özetlenmiştir. Örneklere uygulanan yöntemler, Şekil 4.5’de iş akış şemasında sunulmuştur. Örneklerin ASTM standartlarına uygun olarak analizlere hazır hale getirilmesi ve örnekler üzerinde gerçekleştirilen kaba kimyasal, elementer, ısıl değer, mineralojik çalışmalar (XRD-TK, XRD-KF), jeokimyasal analizler (majör oksit ve iz element analizleri), Rock-Eval piroliz analizleri, palinoloji çalışmaları ve ek olarak kömür örnekleri üzerinde gerçekleştirilen kömür petrografisi (maseral analizleri ve rastgele yüzde ülminit yansıtması ölçümleri) ve SEM-EDS çalışmaları açıklanmıştır. Kömür tanımlamaları sırasında ASTM standartlarından ASTM D121 (2015)’den yararlanmıştır.

### 4.2.1. Örneklerin Hazırlanması

Tez çalışması kapsamında sondaj karotlardan yarılama yöntemiyle alınan ve plastik torba içinde muhafaza edilerek laboratuvara getirilen kömür/kayaç örnekleri ilk olarak çekiçle kırılmıştır. Analiz edilecek örneklerin hazırlanmasında ASTM D2013 (2007) standardından yararlanılmıştır. Tez çalışmasının yürütüldüğü H.Ü. Jeoloji Mühendisliği Kömür Teknolojisi Laboratuvarında yer alan, mekanik agat öğütücü, yarılayıcı, etüv ve elek gibi pek çok teçhizattan yararlanılmıştır.

Laboratuvara getirilen ve boyutları çekiç yardımıyla küçültülen kömür örnekleri, nemli olmasından dolayı havada kuruma sonucu kaybedilecek kaba nem analizleri ASTM standartlarından ASTM D3302/D3302M (2012)’ye uygun olarak yapılmıştır. Bu analiz sırasında kömür örnekleri etüv içerisinde maksimum iki gün olacak şekilde  $\sim 40$  °C’de ağırlık kaybı sabitlenene kadar kurumaya bırakılmış ve havada kuruma sonucu kaybedilen nem değerleri hesaplanmıştır. ASTM standartlarına uygun olarak kaba nem analizleri tamamlanan örnekler homojen bir şekilde yarılanabilmek için yarılama kabı kullanılarak analiz ve şahit örnekler olmak üzere iki eşit miktara ayrılmıştır. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilecek olan çeşitli kimyasal, elementer ve mineralojik analizler için ayrılan örnekler, önce tane boyutları 1 mm’lik elekten geçebilecek şekilde mekanik agat havan kullanılarak küçültülmüştür. Tane boyutları küçültülen bu örneklerin (<1 mm)

bir kısmı maseral analizleri, rastgele ülminit yansıtması ölümü ve SEM-EDS  alışmaları için epoksi reçine kullanılarak parlatma blokları hazırlanmıştır. Örneklerin geri kalan kısmı ise yine mekanik agat yardımıyla 250  m'nin altına  g t lerek (toz hale getirilerek) kaba kimyasal (nem, kül, uçucu madde), ısıl değer, elementer, mineralojik ve Rock-Eval piroliz analizleri gibi işlemler için kullanılmıştır.

Tez  alışması kapsamında AB-33 nolu sondajdan alınan 70 adet kayaç örneğinin çalışma amacı doğrultusunda XRD-TK analizleri yapılmıştır. Ayrıca, XRD-TK difraktogramlarında kil mineralleri saptanan 12 adet kayaç örneğinde kil fraksiyonları ayrılmış ve XRD-KF  ekimleri Gündoğdu (1982) ile Gündoğdu ve Yılmaz (1984) tarafından verilen yöntemlere uygun olarak yapılmıştır.

Palinolojik  alışmalar için her iki sondajdan alınan toplamda 14 adet örneğe ait palinolojik slaytlar Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü'nde Doç.Dr. Mine Sezgül Kayseri  zer tarafından hazırlanmış ve palinolojik tanımlamaları gerçekleştirilmiştir.

#### **4.2.2. Makroskobik Tanımlamalar ve Litotipler**

Tez kapsamında ilk olarak karotlarda kömürlerin makroskobik tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. Özellikle taşk m rlerinde makroskobik olarak tanımlanabilen ve parlaklık, renk, Şekil, kalınlık gibi fiziksel özellikleriyle birbirlerinden ayrılabilen bantlar litotip olarak isimlendirilmektedir. Tez  alışması kapsamında örneklerin litotip tanımlamaları ICCP (1993) tarafından tanımlanan d şuk kömürleşme derecesine sahip kömürlerin (linyit ve alt bitümlü kömür) litotip sınıflandırılmasına ( izelge 4.3) uygun olarak yapılmıştır.

#### **4.2.3. Kaba Kimyasal, Isıl Değer ve Elementer Analizler**

Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan ve ASTM standartlarına uygun olarak analize hazır hale getirilmiş 14 adet kömür örneğinin nem, kül, uçucu madde, toplam S, CHN ve ısıl değer analizleri yapılmıştır.

Çizelge 4.3. Düşük kömürleşme derecesine sahip kömürlerin litotip sınıflandırması (ICCP, 1993'den Türkçeleştirilerek alınmıştır).

Litotip grubu	Alt litotip	Litotip çeşidi
Matriks	Tabakalı	Kahverengi / zayıf jelleşmiş
		Siyah / jelleşmiş
	Tabakasız	Sarı / jelleşmemiş
		Kahverengi / zayıf jelleşmiş
		Siyah / jelleşmiş
Ksilitçe zengin		
Odun kömürü (Charcoal)		
Mineralce zengin		

Tez çalışması kapsamında havada kuru bazda nem, kül, uçucu madde analizleri (kaba kimyasal analizler) LECO TGA-601 cihazı kullanılarak ASTM D7582 (2012) standardına uygun olarak yapılmıştır. İncelenen örneklerin ısı değer analizleri, LECO AC-350 model kalorimetre cihazı kullanılarak ASTM D5865 (2013) standardına göre yapılmıştır. Örneklerin elementer (toplam kükürt, karbon, hidrojen, azot) analizleri sırasında ASTM standartlarından ASTM D4239 (2014) ve ASTM D5373 (2014) esas alınmıştır. Toplam kükürt ve karbon analizleri sırasında LECO SC-144DR cihazı kullanılmıştır. LECO TruSpec cihazı ise CHN analizleri sırasında kullanılmıştır. LECO SC-144DR cihazı 1350 °C yakma sıcaklığında yaklaşık 25 mg numune analiz edilmesine karşın LECO TruSpec CHN cihazında 950 °C yakma sıcaklığında yaklaşık 10 mg numune analiz edilmektedir.

Kömür içerisinde damarlar, bantlar, mercekler, küresel veya dissemine tanecikler şeklinde değişik biçim ve şekillerde gözlenebilen kükürt, kömürlerde yüksek oranda bulunduğu hava kirliliği ve korozyona sebebiyet vermesi nedeniyle istenmeyen bir durumdur. Kömürlerdeki başlıca kükürt formları piritik, sülfat ve organik kükürt olmak üzere 3 grupta sınıflandırılmaktadır. Piritik kükürt, kömürlerdeki sülfat minerallerinde (örneğin pirit, galenit, sfalerit, kalkopirit, vb.), sülfat kökürdü sülfat minerallerinde (örneğin jips, anhidrit, sölestin, barit, vb.) ve organik kükürt ise kömürün organik fraksiyonunda bulunur ve geleneksel ayırma yöntemiyle ayrılamaz. Elementer analizler

sonucunda yalnızca toplam kükürt hesaplanabilmektedir. Bundan dolayı piritik ve sülfat kükürdü tespiti için ise ek analizler gereklidir. Organik kükürt içeriği analizler ile doğrudan ölçülebilen bir parametre değildir, piritik kükürt ve sülfat kükürt içeriğinin toplam kükürt içeriğinden çıkarılması ile hesaplanabilmektedir. Örneklerde gözlenen yüksek kükürt içeriğinin kökenine yönelik bilgi sahibi olmak amacıyla tez çalışması kapsamında en yüksek % toplam kükürt içeriğine sahip sekiz kömür örneğin piritik ve sülfat kükürt analizleri MTA Kömür Analizleri Laboratuvarında ISO 157 (1996) standardı esas alan TSE 329 (2020) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu analiz için ilk olarak yaklaşık iki gram örnek tartılır ve seyreltik hidroklorik asit ile karıştırılır. Bu işlemin amacı sülfat kükürdü ve piritik olmayan demirin çözeltiliye alınmasıdır. Piritik demir ve kükürt çözeltiliye geçemez ve süzülerek ayrılır. Seyreltik hidroklorik asitle çözeltiliye alınmış olan sülfat kükürdü baryum klorürle çöktürülerek gravimetrik olarak tayin edilir. Hidroklorik asit ile karıştırılmış ve çözeltiliye geçemeyen artı kalan kısım, pirit demirini çözeltiliye almak amacıyla seyreltik nitrik asitle karıştırılır. Bu işlemden sonra çözeltiliye geçen demir titrimetrik, kalorimetrik veya atomik absorpsiyon spektrometrik teknikleriyle tayin edilmektedir.

Analiz sonuçlarından elde edilen ham verilerin farklı kömür bazlarındaki (orijinal, havada kuru, kuru, kuru-külsüz, nemli mineral maddesiz gibi) değerlerinin hesaplanması için ASTM Standardı (ASTM D3180, 2015) kullanılmıştır. Ayrıca, tez kapsamında kömürlerin sınıflandırılması amacıyla ısı değerlerinden de yararlanılmıştır. Bu amaçla ASTM Standardı (ASTM D388, 2019) kullanılmıştır.

#### **4.2.4. Mineralojik Analizler**

Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan toplam 14 adet kömür örneğinin ve ayrıca AB-33 nolu sondajdan alınan 70 adet kayaç örneğinin tamamında mineralojik bileşimlerinin tespit edilebilmesi amacıyla XRD-TK (XRD-Tüm Kayaç) çekimleri MTA Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında yer alan XRD cihazında 2θ açısı 2-70° olacak şekilde çekilmiştir. XRD çekimlerine ait hem .jpeg hem de .raw dijital dosyaları alınmıştır. Örneklerin mineralojik bileşimi TOPAS yazılımı yardımıyla Oskay ve ark. (2016) ve Siavalas ve ark. (2009)'da belirtilen esaslara göre belirlenmiştir. XRD-TK çekimlerinde kil minerali saptanan kayaç örneklerinden 12 adet örnek (AB33-13K,

14K, 15K, 17K, 26K, 29K, 33K, 36K, 42K, 61K, 65K, 66K) seçilerek kil fraksiyonu ayırma işlemleri Gündoğdu ve Yılmaz (1984)'de verilen yöntemlere uygun olarak H.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü kayaç öğütme, kil ayırma ve x-ışınları laboratuvarında bulunan teçhizatlar yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında ayrılan kil fraksiyonlarından sıvama yöntemi ile 3 adet oluklu cam preparatı hazırlanmıştır. Hazırlanan preparatların tamamı H.Ü. X-ışınları (XRD) Laboratuvarında bulunan Rigaku D/MAX 2200 PC marka XRD cihazı kullanılarak 2θ açısı 2-30° olacak şekilde normal (havada kuruma sonucu), etilen glikollü (12 saat süreyle içerisinde etilen glikol bulunan desikatörde bekletilir ve bu süre sonunda etilen glikollü çekim yapılır) ve fırınlı (490 °C'da 4 saat süreyle bekletilir ve bu süre sonunda fırınlı çekim yapılır) pikleri çekilmiştir. Kil fraksiyonu sonucu elde edilen minerallerinin yarı-kantitatif yüzdeleri, glikollü piklerin yükseklikleri esas alınarak hesaplanmıştır.

Kömürler içerisinde bulunan mineraller/kayaç taneleri gibi inorganik bileşenler sinjenetik (early diagenetic) ya da epijenetik (late diagenetic) olarak oluşabilmektedir. Sinjenetik olanlar kömür oluşumu sırasında kömürü oluşturan turba bataklığına detritik olarak havza dışından su ve/veya rüzgâr gibi çeşitli taşıyıcı ajanlar tarafından taşınabilmekte ve/veya turbalaşma sırasında ortamda var olan inorganik maddelerin doğrudan çökmesiyle (otijenik) ve bitkilerden itibaren oluşmaktadır. Bu sinjenetik oluşumlara ek olarak biyolojik kalıntılar (örneğin; CaCO<sub>3</sub> bileşimli fosil kabuk ve kavkıları, silika bileşimli diatom, sünger spikülleri, Ca-Fosfat bileşimli kemik kalıntıları, vb gibi bazı oluşumlar) da organik madde birikimine katılabilmektedir (McCabe, 1984; Karayığit ve ark., 2020b; Oskay ve ark., 2016; Çelik ve ark. 2017; Bulut, 2023). Diğer taraftan epijenetik mineral/kayaç taneleri, kömür oluşum süreçleri tamamlandıktan sonra kömürün kırık ve çatlak sistemlerinde ikincil olarak çökebilirler. Ayrıca oksitlenmeye bağlı olarak da epijenetik mineral oluşumları gelişebilmektedir. Günümüzde X-ışınları toz difraktogram çekimleri tek başına mineralojik çalışmalar için yeterli olmamaktadır. Bu durum güncel kömür jeolojisi çalışmalarında parlak kesitler üzerinde yapılan SEM-EDS çalışmalarını yaygınlaştırmıştır (Karayığit ve ark., 2020; Çelik ve ark., 2017). SEM-EDS çalışmaları ayrıca kömür ve kayaç içerisinde dağınık, küme ve/veya mikro bantlar halinde gözlenen minerallerin oluşum şekillerinin tespitinde de önemli katkılar sağlamaktadır.

Mineralojik çalışmalar sırasında XRD analizleriyle tespit edilen minerallerin bileşimlerinin ve epijenetik mi yoksa sinjenetik kökene mi sahip olduğunu saptamak amacıyla AB32-2 (kömür), AB33-4 (kömür), AB33-5 (kömür), AB33-52K (kayaç) ve AB33-65K (kayaç) olmak üzere seçilen toplam 5 adet örnekte SEM-EDS çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda seçilen parlatma briketleri petrografik çalışmalar sonrası kömür laboratuvarında tekrar parlatılmış ve MTA Genel Müdürlüğü Laboratuvarında bulunan Leica Em Ace200 model karbon kaplama cihazında karbon kaplanarak SEM çalışmalarına hazır hale getirilmiştir. Tez çalışması kapsamında görüntü alımı ve kimyasal analizler sırasında MTA Genel Müdürlüğü'nde bulunan Quanta 400 MK2 model SEM cihazı kullanılmıştır.

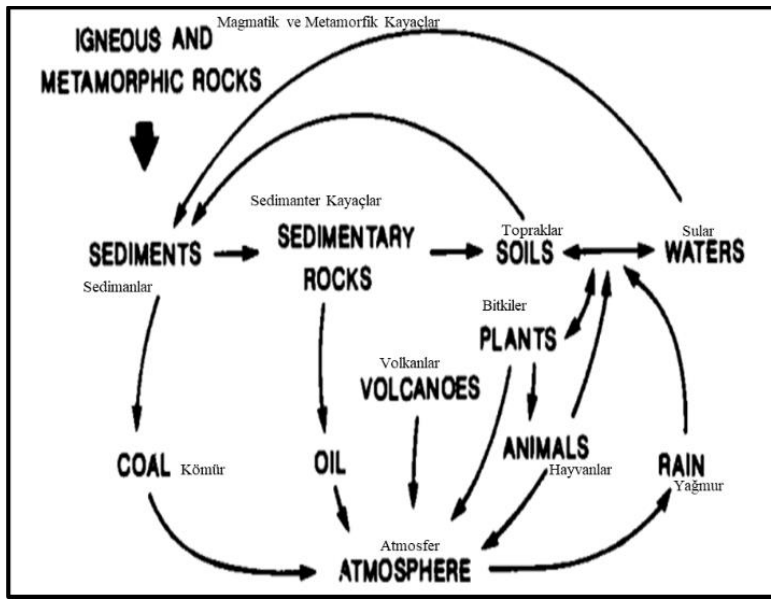
#### **4.2.5. Jeokimyasal Çalışmalar (Majör Oksit ve İz Element Analizleri)**

Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan toplam 14 adet kömür örneğin sadece majör oksit ve iz element analizleri MTA Genel Müdürlüğü Jeokimya Laboratuvarında sırasıyla 35-30-AJ-37 ve 35-30-AJ-38 test koduyla yapılmış ve sonuçların kullanılabilmesi için gerekli şifai izin ilgili kurumdan alınmıştır. Majör oksit analizleri sırasında örnekler ilk olarak 815 °C'da külleştirilmiş ve elde edilen küller preslenerek disk haline getirilmiştir. Disk haline getirilen örnekler XRF (X-Işını Floresans Spektrometresi) cihazı yardımıyla analiz edilmiştir. İz element analizleri ise 550°C'de külleştirilmiş örnekler ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Argon Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi) cihazında analizi yapılmıştır. İz element analizleri sırasında örnekler çeşitli asitlerle (derişik perklorik asit (HClO<sub>4</sub>), derişik hidroklorik asit (HCl), derişik nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) çözeltiye alınmış ve hazırlanan çözeltiler analiz edilmiştir. Kömürlerdeki minerallerin sınıflandırılması genel olarak derişimleri esas alınarak majör, minör ve iz mineraller olarak üç grupta incelenmektedir (Meyers, 1982). İz elementler çoğunlukla kömürün oluştuğu sırada (sinjenetik olarak) veya daha sonra ortama çevredeki etkileşimler ya da taşıyıcılar yardımıyla (epijenetik olarak) katılırlar. İz elementlerin konsantrasyonları çoğunlukla ppm cinsinden verilmektedir. Kömürde içerikleri genellikle 1000ppm'den fazla olan ve organik matriksi oluşturan C, H, O, N ve S majör elementler olarak adlandırılırlar. Konsantrasyonları genellikle 1000ppm'den az olan elementler kömürde iz elementler olarak isimlendirilirler (Liu ve ark., 2003) (Şekil 4.6.).

1												2																							
1	H Hydrogen											2	He Helium																						
3	Li Lithium	4	Be Beryllium											10	Ne Neon																				
11	Na Sodium	12	Mg Magnesium											18	Ar Argon																				
19	K Potassium	20	Ca Calcium	21	Sc Scandium	22	Ti Titanium	23	V Vanadium	24	Cr Chromium	25	Mn Manganese	26	Fe Iron	27	Co Cobalt	28	Ni Nickel	29	Cu Copper	30	Zn Zinc	31	Ga Gallium	32	Ge Germanium	33	As Arsenic	34	Se Selenium	35	Br Bromine	36	Kr Krypton
37	Rb Rubidium	38	Sr Strontium	39	Y Yttrium	40	Zr Zirconium	41	Nb Niobium	42	Mo Molybdenum	43	Tc Technetium	44	Ru Ruthenium	45	Rh Rhodium	46	Pd Palladium	47	Ag Silver	48	Cd Cadmium	49	In Indium	50	Sn Tin	51	Sb Antimony	52	Te Tellurium	53	I Iodine	54	Xe Xenon
55	Cs Cesium	56	Ba Barium	57-71	Lanthanides	72	Hf Hafnium	73	Ta Tantalum	74	W Tungsten	75	Re Rhenium	76	Os Osmium	77	Ir Iridium	78	Pt Platinum	79	Au Gold	80	Hg Mercury	81	Tl Thallium	82	Pb Lead	83	Bi Bismuth	84	Po Polonium	85	At Astatine	86	Rn Radon
87	Fr Francium	88	Ra Radium											89-92	Natural Actinides																				
Rare-earth elements		57	La Lanthanum	58	Ce Cerium	59	Pr Praseodymium	60	Nd Neodymium	61	Pm Promethium	62	Sm Samarium	63	Eu Europium	64	Gd Gadolinium	65	Tb Terbium	66	Dy Dysprosium	67	Ho Holmium	68	Er Erbium	69	Tm Thulium	70	Yb Ytterbium	71	Lu Lutetium				
		89	Ac Actinium	90	Th Thorium	91	Pa Protactinium	92	U Uranium																										

Şekil4.6. Kömürlerdeki majör, minör ve iz elementler.  
(<https://www.uky.edu/KGS/coal/coal-major-minor-trace-elements.php>)

İz elementler kömür kullanımı sırasında atmosfere ulaşarak jeokimyasal döngünün bir parçası olarak aktif olarak döngüde yer alırlar (Şekil 4.7). Fosil yakıtların yanması ve bozunması ile harekete geçirilen elementlerin miktarları, farklı kömürler için, yani farklı konsantrasyonlar ve farklı çalışma koşulları için büyük ölçüde değişmektedir. Atmosferdeki iz elementlerin doğal kaynakları arasında volkanlar, orman yangınları, kayaların aşınması, metalce zengin yüzey birikintilerinin erozyonu, su yüzeylerindeki reaksiyonlar ve bitki büyümeleri sayılabilmektedir (Swaine, 1984).



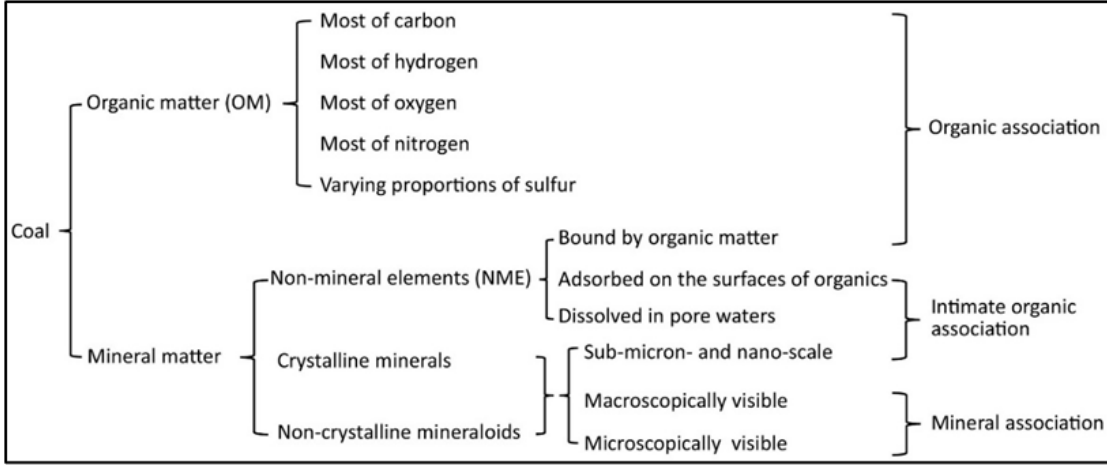
Şekil 4.7. Jeokimyasal döngünün basitleştirilmiş versiyonu (Trudinger ve ark., 1979).



Kömürler içerisinde bulunan iz elementler, daha önce de açıklandığı üzere kömürleşme sürecinin farklı aşamalarında kömürün bünyesine girebilmektedir. İz elementlerin büyük bir kısmı kömürdeki mineral madde ile ilişkili iken bazıları organik madde bazıları ise hem mineral hem de organik madde ile birliktelik gösterebilmektedir (Finkelman, 1994). Kömürlerde en sık rastlanan elementler ve kömürde bulunuş şekilleri Çizelge 4.4.'de sunulmuştur. Swaine (1977) tarafından iz elementlerin karboksilik asit (COOH), hidroksil (OH), merkaptto (SH) ve imino (NH) asit gibi organik maddenin belirli bir parçasıyla ilişkili olabileceğini öne sürmüştür. Ancak çoğu kömür için iz elementler esas olarak mineral madde ile, ayrı mineraller olarak, serbest veya organik maddeye gömülü olarak minerallerde başka iyonların yerini alarak veya mineraller üzerine adsorbe olarak bulunabilmektedir (Şekil 4.8.).

Çizelge 4.4. Kömürlerde sık rastlanan elementler ve kömürlerde bulunuş şekilleri (Finkelman, 1995)

ELEMENT	İÇİNDE BULUNDUĞU MİNERAL MADDE/ MİNERAL
Antimon	Organik madde, pirit ve diğer sülfidler
Arsenik	Arsenopirit, sfalerit, galen, kalkopirit, pirolit
Baryum	Barit ve diğer baryumlu mineraller
Berilyum	Organik madde
Bor	Organik madde, illit
Kadmiyum	Sfalerit
Klor	Gözenek suyu ve organik madde
Krom	Organik madde, illit, kromit
Kobalt	Organik madde, pirit
Bakır	Kalkopirit, organik madde
Flor	Çeşitli mineraller ve organik madde
Kurşun	Galen (PbS), Clausthalite (PbSe)
Civa	Pirit
Manganez	Karbonatlar; siderit ve ankerit
Molibden	Sülfidler ve organik madde
Nikel	Sülfidler ve organik madde
Fosfor	Fosfat
Selenyum	Organik madde, pirit, clausthalite, ferroselit(FeSe <sub>2</sub> ) galen
Gümüş	Sülfidler
Talyum	Pirit
Toryum	Monazit, zenotim, zirkon, kil
Kalay	Oksitler ve sülfidler
Vanadyum	Kil ve organik madde
Uranyum	Organik madde, zirkon
Çinko	Sfalerit (ZnS)



Şekil 4.8. Kömürün bileşenleri ve bunlara karşılık gelen organik ve mineral birliktelikleri  
(Dai ve ark., 2020)

Kömürlerdeki kül içeriği genel olarak majör ve çok az oranda iz element içeriği ile ilgilidir. Kül içeriği ile pozitif korelasyon gösteren elementler genellikle inorganik birlikteliği ifade eder. Diğer taraftan kül içeriği ile negatif korelasyon gösterenler elementler organik birliği yansıtmaktadır (Yerin, 2006).

Kömürün bünyesindeki iz elementler madencilik sırasında, ısınma ve termik santrallerde enerji amaçlı kullanım esnasında çevresel açıdan risk teşkil etmeleri haricinde iz elementlerin yüksek konsantrasyonlu olması durumunda bu elementlerin ekonomik kazanımı ve kullanımı açısından da önemlidir (Toprak, 1999).

- ✓ Yüksek derece de çevresel sorunlara yol açan iz elementler: As, Se, S, Pb, Cd, N, C, B, Hg, Mo
- ✓ Orta derecede çevresel sorunlara yol açan iz elementler: V, Cr, Ni, Cu, Zn, F, Sb
- ✓ Düşük derecede çevresel sorunlara yol açan iz elementler: Sr, Na, Li, Al, Ge, Br, Ba, Co, Mn
- ✓ Radyoaktif etkilere sahip olan iz elementler: U, Th, Rn, Po
- ✓ Sorunlu ama kömürlerde ihmal edilebilecek değerlere sahip iz elementler: Tl, Be, Ag, Sn
- ✓ Çevresel açıdan önemli sorunlar yaratmayan elementler: Periyodik cetvelde yer alan ve yukarıda verilen elementler dışında kalan tüm elementler.

#### 4.2.6. Kömür Petrografisi Çalışmaları

Kömürlerin daha iyi bir şekilde anlaşılabilmesi ve tanımlanabilmesine imkan sağlayan en etkili metotlardan biri kömürün mikroskop altında petrografik açıdan incelenmesidir. Kömürler, daha önceki yıllarda ince kesitler halinde alttan aydınlatmalı polarizan mikroskoplar yardımıyla incelenmiştir. Ancak ince kesit yönteminde kesit kalınlığının 5-10 mikron kalınlığa kadar inceltilmesi kömürlerin oldukça kırılğan ve gevrek malzemeler olması nedeniyle oldukça zorlu bir süreçtir. Bu duruma ek olarak kömürleşme derecesi arttıkça kömürlerin alttan yansıyan ışığı geçirme oranı da azalmaktadır. Yukarıda bahsi geçen pek çok olumsuz durumların yarattığı güçlükler nedeniyle farklı inceleme metotları zaman içerisinde geliştirilmiştir. Günümüz teknoloji koşulları içerisinde kömürler parlatma briketleri hazırlanarak üstten aydınlatmalı mikroskop altında incelenmektedir. Kömürler ilksel turbalık koşulları ve kömürleşme sürecinden dolayı homojen değildir ve farklı bileşenlerin değişik oranlarda bir araya gelmesiyle oluşurlar. Organik maddelerin en küçük birimi olan maseraller, kömürlerin elementer petrografik yapı maddeleri olarak tanımlanmaktadır (Nakoman, 1971). Kömürler, kayaçlardaki minerallere benzer bir şekilde maserallerin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Ancak mineraller ile maseraller arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklardan en önemlisi minerallerin inorganik kökene, maserallerin ise organik kökene sahip olmasıdır. Bir diğer önemli fark ise maserallerin kimyasal bileşiminin genel olarak çok geniş bir aralıkta değişim göstermesidir. Aynı zamanda maseraller herhangi bir kristal yapıya sahip değil iken mineraller ayırt edici kristal özelliklere sahiptir (Köksoy, 1985).

Tez çalışması kapsamında sondaj karotlarından alınan örnekler Hacettepe Üniversitesi Kömür Teknolojisi laboratuvarında geliştirilen yöntemler yardımıyla parlatma briketleri hazırlanarak Stuers marka Labo-Pol-5 parlatma makinasıyla, çeşitli elmas diskler, elmas süspansiyonlar, silika çözeltisi ve çeşitli keçeler kullanılarak aşındırılmış ve parlatılmıştır. 30 mm çapa sahip silindirik şekilli parlatma briketleri maseral analizi ve hüminit yansıtması ölçümde kullanılmak üzere aşındırma ve parlatma aşamaları ASTM standartlarından ASTM D27797/D2797M (2011)'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Daha önce açıklandığı üzere parlatma briketleri hazırlanmak üzere örnekler ilk olarak 1 mm lik elekten geçecek şekilde mekanik agat yardımıyla kırılmıştır. Ardından boyutları

küçültülen örnekler vazelin ile kaplanmış 30mm çapındaki polipropilen kalıplara dökülerek epoksi reçine ile kaplanmış ve en az bir gece kalıplarda bekletilmiştir. Daha sonra örnekler kalıplardan çıkarılmış ve Stuers marka Labo-Pol-5 parlatma makinasıyla ilk olarak aşındırılmıştır. Aşındırılma işlemi kaba aşındırma (coarse grinding) ve ince aşındırma (fine grinding) olmak üzere iki aşamalı bir işlemdir. Örneklerin kaba aşındırılması suyla yapılmaktadır ve aşındırma sırasında 220, 500, 1200 elmas diskler kullanılmaktadır. Tez kapsamında örneklerin kaba aşındırması sırasında MD-Piano (500) elmas diski kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında ince aşındırma ve parlatma yapılırken sırasıyla MD-Largo keçesiyle 9 mikron elmas solüsyon, MD-Dac keçesi ile 3 mikron elmas solüsyon, MD-Dur keçesi ile 1 mikron elmas solüsyon ve son aşamada MD-Chem keçesi ile 0,05 mikron silika çözeltisi kullanılmıştır.

Soğuk kalıplama yöntemiyle hazırlanan parlatma biriketleri ilk olarak kömür petrografisi çalışmaları sırasında (maseral analizi ve hüminit yansıtma ölçümleri) kullanılmış, ilerleyen süreçte ise daha detaylı görüntüler ve XRD çalışmaları ile tespit edilen mineral oluşumlarının daha iyi incelenebilmesi amacıyla tekrardan parlatılarak SEM-EDS çalışmaları sırasında kullanılmıştır. Tez kapsamında gerçekleştirilen petrografik çalışmalar sırasında H.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümünde yer alan elektronik motorize Leica DM 4000M üstten aydınlatmalı mikroskop, floresans görüntüler için ise mavi ışık ve sarı filtre kaynakları kullanılmıştır (Şekil 4.9) Mikroskopta görüntüler, Leica T 7000 model dijital kamera yardımıyla alınmıştır. Yansıtma ölçümleri sırasında J&M marka cihaz ve MSP 200 yazılımından yararlanılmıştır. Maseral ve mineral madde hacimce yüzde bileşimlerinin tespiti için Swift marka nokta sayıcısı kullanılmıştır. Her bir örnekte minimum 500 farklı nokta sayılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Leica DM 4000M üstten aydınlatmalı mikroskop (Hacettepe Üniversitesi).

Kömür petrografisi çalışmalarında maseral analizi ve hüminit yansıtmalarının ölçümü için Stach ve ark. (1982), ICCP (1993, 2001), ISO Standartları (ISO 7404-3, 2009; ISO 7404-5, 2009), Sýkorová ve ark. (2005), Pickel ve ark. (2017)'de verilen bilgilerden büyük ölçüde yararlanılmıştır.

Uluslararası Kömür ve Organik Petroloji Komitesi (ICCP) tarafından geliştirilen maseral grupları, maseral alt grupları ve maseral sınıflamaları Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Tez kapsamında kömür petrografisi sonuçlarının kolay anlaşılabilmesi amacıyla ICCP (2001), Sýkorová ve ark. (2005), Pickel ve ark. (2017)'de verilen bilgiler ışığında maseral grupları ve maseraller hakkında bazı bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

Benzer özelliklere sahip maseraller, maseral grubu adı altında toplanarak incelenmektedir. Kömürleşme derecesi arttıkça maserallerin sahip oldukları fiziksel, kimyasal ve teknolojik özellikler gibi morfolojik ve yapısal özellikleri de gittikçe birbirine benzer ve antrasit aşamasına gelindiğinde birbirinden neredeyse ayırt edilemez hale gelirler.

Çizelge 4.5. Linyit ve alt bitümlü kömürlerde kullanılan maseral sınıflaması (ICCP, 2001; Sýkorová ve ark., 2005; Pickel ve ark. 2017).

Maseral grubu	Maseral altgrubu	Maseral	Maseral tipi	Maseral çeşidi	
Hüminit	Telohüminit	Tekstinit		A (koyu) B (açık)	
		Ülminit		A (koyu) B (açık)	
		Detrohüminit	Atrinit		
			Densinit		
	Gelohtüminit	Korpohüminit	Filobafinit		
			Psödofilobafinit		
		Gelinit	Levigelinit		
			Porigelinit		
	İnertinit		Füsinit		
			Semifüsinit		
Funginit					
Sekretinit					
Makrinit					
Mikrinit					
İnertodetrinit					
Liptinit		Sporinit			
		Kütinit			
		Süberinit			
		Klorofillinit			
		Alginit			
		Resinit			
		Eksudatinit			
		Bitüminit			
		Liptodetrinit			

Tez kapsamında maseral gruplarının ve maserallerin bazı özellikleri, ICCP (1993, 2001), Sýkorová ve ark. (2005), Pickel ve ark. (2017)'de verilen bilgilerden büyük ölçüde yararlanılmış ve kısaca aşağıda özetlenmiştir.

**Hüminit Maseral Grubu:** Taşkömürlerindeki vitrinit grubu, alt bitümlü kömür ve linyitlerde hüminit grubu olarak isimlendirilmektedir. Hüminit grubu maseralleri çoğu kömürün en önemli bileşeni oluşturmaktadır. Bu grup bitkilerin sahip olduğu kök, gövde ve yapraklarını oluşturan selüloz, lignin ve tanin bileşimli parankima, odun dokuları ve hücre içeriklerinden türemektedir. Bozunma süreçlerine, hümfikasyon süreçlerine, jelleşme ve kömürleşme derecelerine bağlı olarak hüminitlerdeki hücre yapıları

korunabilir ve mikroskop altında değişik derecelerde görülebilir. Bu grup maseraller aynı kömür içerisinde daha açık renkli inertinit maseral grubu ile daha koyu renkli liptinit maseral grubu arasında orta gri renkli maseralleri kapsamaktadır. Hüminit grubunun rengi ve ışığı yansıtması, kömürleşme derecesi, jelleşme derecesi ve bitkinin kökeni ve hüminit maserallerinin kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmektedir. Diğer maseral gruplarına oranla oldukça yüksek oranda oksijen içerikleri ile karakteristiklerdir. Hüminit/ vitrinit grubu artan kömürleşme derecesine bağlı olarak düzenli fiziksel-kimyasal değişimler geçirirler. Bu nedenle artan kömürleşme derecesine bağlı olarak yansıtma özellikleri de sürekli olarak düzenli bir şekilde artar. Bu özellikleri hüminit/vitrinit grubu maserallerinin kömürleşme derecesinin tespit edilmesinde yaygın olarak kullanılması neden olmaktadır. İmmersiyon yağında ölçülen rastgele hüminit yansıtmaları, ~0,2 ve 0,4 %R<sub>r</sub> değerleri arasında değişmektedir. Hüminit grubu maseraller genellikle izotropik özelliktedirler ayrıca mavi ışık ve turuncu filtrede rengi ve şiddeti de hüminitin kömürleşme derecesine bağlı olarak sarı-kahverengiden kırmızı-kahverengiye kadar değişmektedir.

Hüminit maseral grubu; telohüminit, detrohüminit ve gelohüminit olmak üzere üç maseral alt grubundan ve tekstinit, ülminit, atrinit, densinit, gelinit ve korpohüminit olmak üzere altı maserale oluşmaktadır. Telohüminit alt grubu bitkisel hücre yapısının korunduğu ve mikroskop altında belirgin şekilde gözlenebildiği maseral alt grubudur. Bu maseral alt grubuna ait maseraller kök, gövde, yaprak, kabuk ve sapların (kimyasal olarak selüloz ve ligninden oluşurlar) parankinamatöz ve odunsu dokularından oluşurlar. Tekstinit ve ülminit olmak üzere farklı jelleşme derecelerine sahip iki maseral ile temsil edilmektedir. Tekstinit linyitlerdeki hücre duvarı malzemesinin tanımlanabilen gri renkli maserale dir. Daha koyu renklerde ve daha düşük reflektans gösteren tekstinit A ve daha açık renklerde gözlenen ve daha yüksek reflektansa sahip olan tekstinit B olmak üzere iki türü bulunmaktadır. Hücrelerin boyutları çoğu zaman değişkendir ve içleri genelde boştur. Ancak bu boşluklar çeşitli mineraller ya da maseraller tarafından kolaylıkla doldurulabilmektedirler. En sık gözlenen dolgular resinit, korpohüminit, porigelinit, kil mineralleri ve karbonatlardır. Petrografik analizler sonucu tespit edilen yüksek tekstinit miktarı, göreceli olarak kuru, muhtemelen düşük pH koşullarına sahip ormanlık turbalarındaki hücre dokularının korunumunu yansıtmaktadır. Ayrıca teksinit dokuları yardımıyla belirli bitki türleri tanımlanabilmekte ve stratigrafik korelasyon



çalışmalarında da kullanılabilir. Ülminit az ya da çok jelleşmiş, gri renkte gözlenen (tekstinit maseraline benzer şekilde daha koyu olanlar ülminit A ve daha açık olanlar ülminit B olarak tanımlanmaktadır) hücre duvarlarından oluşan maseral çeşididir. Tekstinit maserallerinden farklı olarak hücre boşlukları çoğunlukla kapalıdır. Detrohüminit maseral alt grubu, 10 µm'den daha küçük hüminit kırıntılarında oluşmaktadır. Bu maseral alt grubu jelleşme dereceleri dikkate alınarak atrinit ve densinit olmak üzere iki maserale ayrılmaktadır. Atrinit 10 µm'den küçük, jelleşmemiş hüminit kırıntıları ile temsil edilirken, densinit jelleşmiş hüminit kırıntılarında oluşmaktadır. Kömürleşme derecesi arttıkça atrinitler jelleşme süreçleri ile densinite ve vitrinitleşme ile de kollodetrinite geçiş yapmaktadır. Densinitlerin iki farklı süreç sonucu oluşabileceği görüşü kabul görmektedir. Bunlardan ilki artan kömürleşme derecesine bağlı olarak atrinitin jeokimyasal jelleşmesi ile densinit oluşumudur. İkincisi ise ıslak koşullar altında selüloz ve ligninden oluşan çeşitli bitki parçalarının turbalaşma sırasında biyokimyasal jelleşmesi sonucu densinit oluşumudur.

Jelohüminit maseral alt grubu amorf hüminik malzemelerden oluşan gri renkli bir maseral alt grubudur. Jelleşmiş ve herhangi bir iç yapıya sahip değildir. Korpohüminit ve gelinit olmak üzere iki maserali kapsamaktadır. Korpohüminitler bitki hücre malzemesinin dolgu maddesinin oluştururlar. Küresel, oval ve çubuk gibi değişik şekillerde gözlenebilmektedirler. Gelinit, homojendir ve herhangi bir iç yapı göstermez.

**Liptinit Maseral Grubu:** Liptinit grubu, spor (sporinit), reçine (resinit), yağ, mum, alg (alginit), bitüm (bitüminit), süberin (süberinit) ve kütinlerden (kütinit) türeyen maserallerden oluşmaktadır. Diğer iki maseral grubu ile karşılaştırıldığında daha yüksek hidrojen ve uçucu madde içeriğine, daha düşük yoğunluğa, yansıtmaya ve karbon içeriğine sahiptir. Yansıyan ışıkta koyu gri-siyah renkte gözlenirken, mavi ışık veya ultraviyole ışık altında ayırt edici floresans renkleri ile karakterize edilirler. Bu özellikleri liptinit grubu maserallerin minerallerden kolayca ayrılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak kömürleşme derecesi arttıkça gösterdikleri floresans şiddeti azalmaktadır. Liptinitlerin sahip oldukları kimyasal ve optik özellikleri, artan kömürleşme derecesine bağlı olarak vitrinitleşme sürecindeki düzenli değişimin aksine önemli ölçüde düzensiz bir değişim

göstermektedir. Sahip oldukları ayırt edici özelliklerinin büyük bir kısmı, yüksek kömürleşme derecesine ulaşmış kömürlerde (örneğin, antrasitte) ortadan kalkmaktadır.

Kütinit, yaprak ve köklerdeki fosil kütiküllerden itibaren oluşmaktadır. Benzen ve alkol de çözülemez ya da çok az çözünmektedir. Kömürlerde genellikle ince bantlar şeklinde gözlenmektedir. Maseralin mikroskop altındaki en ayırt edici özelliği tek taraflı dişli yapısıdır. Süberinit, kömürleşmiş olmuş hücre duvarları tanımlamaktadır. Liptinitik karakterleri nedeniyle telohüminitten ayrılırlar. Mikroskop altında az ya da çok dikdörtgen ve/veya 4-6 kenarlı düzensiz çokgen görünümü sunarlar. Orman turbalıklarından türeyen kömürler içerisinde yaygın olarak gözlenirler ve çoğu çözücüde (benzen, alkol, aseton ve benzin) çözünmezler. Sporinit, spor ve polen taneleri gibi bitkilerin üreme organlarından türeyen maseralleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Hidrojen açısından oldukça zengindirler. Mikroskop altında, spor boşlukları yardımıyla kolayca tanımlanabilmektedir. Boyutları yaklaşık olarak 10-2000 µm arasında değişmektedir. Floresans renkleri kömürleşme derecesine bağlı olarak değişim göstermektedir. Resinit, kömürleşmiş reçine ve balmumları tanımlarken kullanılan maseraldır. Mikroskop altında genellikle dairesel, oval veya çubuk şekillidirler. Çoğunlukla hücre boşluklarını doldurmuş biçimde gözlenirler. Eksudatinit çoğunlukla kömürlerin kırık, çatlak ve diğer boşluklarda görülen ısıl olgunlaşma ile birlikte hidrojen zengin kaynaklardan türeyen ikincil bir liptinit maseralidir. Klorofillinit, klorofil pigmentlerinin kömürleşmesi sonucu oluşan liptinit grubu maserali tanımlamaktadır. Boyutları çoğunlukla 1-5 µm arasındadır ancak algal klorofillinitler 100 µm boyutlara ulaşabilirler. Üstten aydınlatmalı mikroskopta kan kırmızısı floresans göstermesi ile karakterize edilirler. Diğer liptinit grubu maserallere oranla daha kolay bozulurlar. Yalnızca belirli fasiyes koşullarına (güçlü anaerobik koşullar ve ılıman-serin iklimler) sahip olan klorofillinit maseralleri korunabilmektedir. Alginit, lipid açısından zengin alglerden itibaren oluşmuş liptinit grubu maseraldir. Mikroskop altında elips ya da disk şekillidirler. Liptodetrinit, liptinit grubu maseraller içinde tanımlanamayan son derece küçük liptinit taneleri tanımlamaktadır. Bitüminit, belirgin bir şekli olmayan liptinit maseralidir. Çoğunlukla petrolü şeylerin ve petrol kaynak kayalarının karakteristik bir maseralidir.

**İnertinit Maserale Grubu:** Bu maserale grubu bataklık ortamında oksitlenmiş veya yanmış organik maddelerden oluşmaktadır. Bu gruba ait maseraller füsinitleşme olarak adlandırılan bir dizi süreçten geçerler ve bu süreç sonucunda hidrojen içerikleri oldukça azalır. Diğer iki maserale grubu ile karşılaştırıldığında daha yüksek yansıtma değeri ve karbon içeriği, daha az uçucu madde ve hidrojen içeriği ile karakterize edilmektedir. Bu grup, füsinit, semifüsinit, funginit, sekretinit, mikrinit, makrinit ve inertodetrinit maserallerinden oluşmaktadır. Yansıyan ışık altında diğer iki maserale grubu ile karşılaştırıldıklarında en açık renge (beyaz, sarımsı beyaz) sahip maserale grubudur ayrıca mavi ışık veya ultraviyole ışık altında floresans renk göstermezler. Sahip oldukları optik özelliklerine göre diğer maserale gruplarından ayrılabilirler.

Füsinit, inertinit maserale grubunun en çok rastlanan maserale çeşididir. Mikroskop altında bitkilerin sahip olduğu hücre yapıları oldukça net bir şekilde gözlenebilmektedir. Rengi kömürleşme derecesine bağlı olarak grimsi beyazdan ve sarımsı beyaz renklerde gözlenebilmektedir. Floresans özellikleri yoktur. Kimyasal açıdan nispeten yüksek C ve düşük H, O ve diğer uçucu bileşenlere sahiptir. Semifüsinit, maseralinin özellikleri füsinit ve telohüminit arasında değişmektedir ayrıca füsinit ile karşılaştırıldığında daha koyu renklerde gözlenmektedir. Funginit maseralleri mantarlara ait sporların korunumu sonucu oluşmaktadır. Küresel veya oval şekillerde gözlenmektedirler, tek veya çok localı olabilmektedirler ve çok yüksek yansıtma dereceleri ile karakteristiklerdir. Sekretinit maseralinin kökeni tam olarak bilinmemektedir, ancak oksitlenmiş reçine olabileceği literatürde kabul gören fikirler arasındadır (Suarez-Ruis ve Crelling, 2008). Mikroskop altında çoğunlukla yuvarlak veya elips şekilli olarak gözlenmektedir. Mikrinit maserali tane boyu 2 µm'den küçük açık gri-beyaz renklerde gözlenen yuvarlaklaşmış tanelerden oluşmaktadır. Çoğunlukla diğer inertinit maserallerinin aşırı derecede ufalanması sonucu oluşmaktadır. Linyitlerde nadir gözlenirler ve küçük yuvarlak taneli görümleri ve küçük boyutlu olmalarıyla makrinit maseralinden kolaylıkla ayrılırlar. Makrinit maseralinin belirli bir şekli yoktur, ancak boyutları 10 µm'den büyüktür. Oluşumunun büyük ihtimalle bitkisel kökenli jelleşmiş organik malzemenin aşırı oksitlenmesi ve kuruması sonucu oluşabileceği düşünülmektedir. İnertodetrinit maserali diğer inertinit grubu maserallerinin tanınamayan ve boyutları 10 µm'den küçük kırıntılarında oluşmaktadır.

#### 4.2.7. Rock-Eval Analizleri

Rock-Eval pirolizin amacı, petrol aramasına yönelik olarak kaynak kayaların varlığını taramak ve bunların hidrokarbon üretim potansiyellerini, mevcut organik maddenin türünü ve termal olgunluğunun bir göstergesini belirlemektir (Espitalié ve ark.1977). Tez çalışması kapsamında incelenen AB-32 ve AB-33 nolu sondajların farklı derinliklerinden alınan sırasıyla AB32-2, 3, 4, 5 ve AB33-1, 3, 4, 5, 6 nolu örneklerin Rock-Eval Piroliz analizleri TPAO Araştırma-Geliştirme Laboratuvarlarında yer alan Rock-Eval 6 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Rock-Eval 6 cihazı, 1996 yılından itibaren Vinci Technologies tarafından ticarileştirilen Rock-Eval ürün serisinin en son sürümüdür (Behar ve ark. 2001). Rock-Eval 6 cihazında analiz süreci <60 mesh'lik (<250 µm) yaklaşık 100 mg'lik toz kayaç örneğinin ilk olarak piroliz fırında helyum gazı kullanılarak oluşturulan inert atmosferde 5 dakika boyunca 300 °C sıcaklıkta ısıtılması ile başlamaktadır. Daha sonra sıcaklık 25 °C/dakika hızında arttırılarak 650 °C'ye kadar ısıtılmış ve örnekler bu sıcaklıkta değerinde yaklaşık 1 dakika boyunca tutulmuştur. Bu aşamada ortaya çıkan S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> ve T<sub>max</sub> değerleri ölçülmüştür. Elde edilen temel parametreler yardımıyla diğer pek çok parametre (örneğin; HI-hidrojen indeksi, OI-oksijen indeksi, PI-üretim indeksi vb.) tez çalışması kapsamında hesaplanmıştır. Piroliz analizleri ve yorumlanmasıyla ilgili daha ayrıntılı bilgiler Karayiğit ve ark. (2018 ve 2021)'de verildiğinden konunun ayrıntısına burada girilmemiştir.

#### 4.2.8. Palinoloji Çalışmaları

Bitki biyolojisinin bir alt dalı olan palinoloji temel olarak spor ve polenleri (fosil ve güncel) inceleyen bir bilim dalıdır. Palinoloji ayrıca dinoflagellat kistleri, akritarklar, kitinozoan, skolekodontlar ve kerojen gibi bazı mikrofosilleri ve organik yapıları da incelemektedir. Çalışılan tüm bu organik yapılar “palinomorflar” olarak adlandırılmaktadır. Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan sırasıyla sekiz ve altı adet olmak üzere toplam ondört örneğin tamamı palinolojik çalışmalar için derlenmiştir. Derlenen örneklere ait palinolojik çalışmalar Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü'nde Doç.Dr. Mine Sezgül Kayseri-Özer tarafından gerçekleştirilmiştir ve çalışmaya ait şahit örnekler kurumda saklanmaktadır. Örneklerin sahip olduğu palinomorfları mikroskop altında inceleyebilmek için, ilk olarak o örneği oluşturan minerallerin örnekten uzaklaştırılarak

geriye sadece fosillerin kalmasını sağlamak gereklidir. Bu amaç doğrultusunda örnekler üzerinde gerçekleştirilen tüm laboratuvar işlemleri “maserasyon” olarak adlandırılmaktadır. Aşağıda yer alan bölümde gerçekleştirilen laboratuvar işlemleri tez kapsamında kısaca açıklanmıştır.

**Temizleme, Kırma ve Öğütme:** Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan derlenen örnekler, temizleme işleminden sonra çeneli kırıcı ya da havan yardımıyla boyutları 1–2 cm olana kadar kırılırlar. Boyutları küçültülen örnekler daha sonra, agat havan ile 2 mm boyutuna ulaşıncaya kadar öğütülürler. Öğütme işlemi tamamlanan örnekler, çeyrekleme yöntemiyle 5'er gr'lık kısımlara ayrılır. En son yaklaşık 25–30 gram kadar örnek erlenmayere konur.

**Karbonatlar:** Bu aşamadaki temel amaç, örnek içindeki yer alan karbonatlardan suda çözülebilir bir tuz meydana getirmek ve böylece örnekten karbonatın uzaklaştırılmasını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda %36'lık 20 ml HCl erlenmayerdeki örneğin üzerine yavaş yavaş ve köpürme olmamasına özen gösterilerek eklenir. Köpürmenin fazla gözlenmesi durumunda, erlenmayere az miktarda aseton püskürterek reaksiyon kontrol altında tutulabilmektedir. Reaksiyonun tamamlanması için ortam ısıtılmamışsa en az bir gün, ısıtılıyorsa iki saat beklenir. Bekleme süresi tamamlandığında arı su ile dört kez santrifüjlenir.

**Silikatlar:** Bu aşamadaki amaç, örnek içinde bulunan silikatları silisyum tetraflorür bileşiği haline getirmektir. Karbonatların uzaklaştırıldığı örnek plastik behere alınır ve üzerine az miktarda su eklenir. Yüzde 40'lık 30 ml HF asit örnek üzerine eklenir. Ardından karışım oda sıcaklığında iki gün bekletilir. En son aşamada örnek sıcak arı su ile üç kez yıkanır ve dekantasyonu sağlanmış olur. Burada üzerine dökülen kayacın silis içeriği de dikkate alınarak HF asit örnek üzerine yavaş yavaş eklenmelidir (silisli kayalarda HF asit'in tepkimeye girme hızının fazla olmasından dolayı). Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise HF asitle hiçbir cam gerecin kullanılmaması gerektiğidir.

**Oksidasyon:** Bu aşamada amaç kömüre kömürleşme süreci sırasında kaybettiği oksijeni geri vermektir. Ayırılmış organik artıkların, alkali bazlarda çözünebilir hümik asitlere dönüşmesini sağlamak için kullanılır. Beş gram örnek içine 5 g  $KClO_3$  karıştırılır ve ardından %65'lik 30 ml  $HNO_3$  karışıma oldukça yavaş bir şekilde eklenir (Schulze eriği). Oksidasyonun sürecinin tamamlandığı, kalıntı renginin siyah kahverengiden, koyu kırmızı kahverengiye dönüşümü ile kolayca anlaşılabilir. Oksidasyon süresi örneğe bağlı olarak 1–15 gün arasında değişim göstermektedir. Bu süre zaman zaman mikroskop yardımıyla yapılan denetimlerle belirlenebilmektedir. Çözeltinin asitten arındırılabilmesi için arı su ile santrifüjlenmesi gerekmektedir.

**Alkali Uygulaması:** Bu aşamada temel amaç oksitleme ile ayrıştırılan kömürün içerdiği palinomorfları çevreleyen hümik maddeleri suda eriyebilir hale getirmektir. Schulze eriğinden yıkanarak temizlenen örnek, cam erlenmayere alınır. Ardından örnek üzerine 98 cm<sup>3</sup> su eklenerek 70 °C' ye kadar ısıtma işlemi gerçekleştirilir. İki gram KOH ısıtılan örnek üzerine ilave edilir. Ancak işlemlerin seri bir şekilde yapılması ve KOH' in organik maddelere ve özellikle palinomorfların dış çeperine zarar verme olasılığı bulunduğu unutulmamalıdır. En son aşamada örnek saf su ile santrifüjlenmektedir. Örnekten geriye kalan tortul yeterli miktarda arı su ile şişelenmektedir. Şişe içine ayrıca 1–2 damla gliserin ve 4–5 damla alkol eklenir.

**Mikroskop Çalışması:** İlk olarak maserasyon işlemleri tamamlanan örneğin şişesi iyice çalkalanarak homojenliği sağlanır. Ardından örnekten bir damla pipet kullanılarak örnek jelatinli gliserin bulunan, 22x40 mm boyutunda lamel üzerine damlatılır. Jelatinli gliserin ısıtılarak eritilir ve böylece lamel kapatılarak incelemeye hazır duruma getirilir. Mikroskop çalışmaları alttan aydınlatmalı araştırma mikroskobu ve üzerinde X, Y koordinat sistemine göre yanal olarak iki yönde hareket edebilen hareketli tablası olan araştırma mikroskopunda yapılır. Mikroskop tablasına sabitlenen lam incelemeye bir köşesinden başlanacak şekilde ayarlanır. Soldan sağa doğru X eksenini boyunca ilerlenerek gözlenen bütün palinomorfların tayinleri yapılır. Ek olarak tayini yapılan taksonun örnek içindeki bolluk derecesi de mikroskop çalışmaları sırasında saptanmalıdır. Bu analiz için en kolay yol, örnekte tanımlanan taksona daha sonra her rastlanıldığında bir çizgi ile

işaretlemektir. Bu işaretlenen çizgilerin beşli gruplar oluşturması ilerleyen süreçte gerçekleştirilecek hesaplama işlemleri sırasında oldukça kolaylık sağlamaktadır.

Palinolojik çalışmalar sırasında palinomorf bolluklarını gerçeğe en yakın bir şekilde tespit edebilmek için örnekte tanımlanması gereken birey sayısı oldukça önemlidir. Tanımlanacak birey sayısı ise örneğin yaşına göre değişmektedir. Değişik araştırmacılar 100 bireyden 1000 bireye kadar varabilen sayılar önermişlerdir. Ancak çoğu araştırmacı ikiyüzelli bireyin sayımıyla beraber hemen hemen tüm taksonların yüzdelerinin saptanabildiği ifade etmektedir. İkiyüzelli bireyden sonraki sayımlarda ise kompozisyona eklenen takson adedi azalmaktadır. Çoğu zaman örneklerdeki palinomorf miktarı çok yoğun değil ise 100, 200 veya imkân dahilinde 300 bireyin tayininin yapılması uygundur. Gerçekleştirilen bu tez çalışması kapsamında herbir örnekten 200 birey sayımı gerçekleştirilmiştir. İncelenen örneğe ait palinomorf kompozisyonundaki taksonların listesi ve bunlara ait yüzde değerler pollinik spektra olarak tanımlanmaktadır. Örnekteki bir taksona ait birey sayısının yüzde olarak tanımı ise bolluk değeri veya frekansı olarak tanımlanmaktadır. Bir pollinik spektra incelendiğinde 1–5 adet taksonun %10'nun üzerinde bolluk değerine sahip olduğu görülür. Bunlara temel taksonlar denir. Yüzde 10 değerinin altında bolluğa sahip olan taksonlar ise yan tipler olarak isimlendirilir. Temel tipler deneştirmelerde, temel ve yan tipler birlikte olarak yaşlandırma çalışmalarında kullanılırlar. Bir pollinik spektra, o örneğin alınmış olduğu düzeyin palinomorf kompozisyonunu simgeler. Bir formasyonun veya belirli bir çökel aralığının düşey yönde sıkça örneklenmesiyle oluşacak pollinik spektraların üst üste yer almasıyla o formasyonun pollinik diyagramı elde edilir.



## 5.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 5.1. Makroskobik Tanımlamalar ve Litotipler

Tez kapsamında incelenen tümüyle karotlu yapılmış iki adet sondajda (AB-32 ve AB-33) kömür tabakaları, sırasıyla yüzeyden 300,63-406,90 m ve 716,36-719,98 m’de kesilmiştir. AB-32 nolu sondajda kömürlü zondan alınan örneklerin toplam kalınlığı 2,89 metre iken bu değer AB-33 nolu sondajda 2,12 metredir. Tez çalışması kapsamında seçilen sondaj karotlarına ait fotoğraflar daha önceki bölümlerde yer alan Şekil 4.3.’de sunulmuştur. Kömürler makroskobik olarak siyah renkli, parlak ve kırılıgandır. Alınan bazı örnek seviyelerinde ikincil kırık/çatlak dolgusu jips/anhidrit oluşumları gözlenmiştir (Şekil 4.4) Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örneklerinin litotip sınıflandırılması ICCP (1993) tarafından tanımlanan düşük kömürleşme derecesine sahip kömürlerin (linyit ve alt bitümlü kömür) litotip sınıflandırılmasına uygun olarak yapılmıştır. Bu sınıflandırma yapılırken kuru bazda kül içeriği <math><30\%</math> olanlar matriks litotip, <math>30\%-50\%</math> arasında olanlar mineralce zengin litotip ve <math>50\%-80\%</math> arasında olanlar karbonlu şeyl ve kömürlü silttaşı olarak tanımlanmıştır (Çizelge 5.1). Buna göre çoğu örnek, mineralce zengin litotipi oluşturmaktadır. Bu durumun daha önce açıklandığı gibi örneklerde tanımlanan ikincil mineral oluşumlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

### 5.2. Kaba Kimyasal, Isıl Değer ve Elementer Analiz Sonuçları

Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan toplamda 14 örneğin kaba kimyasal, ısıl değer ve elementer analiz sonuçları, orijinal bazda nem ve havada kuru bazda nem, kül, uçucu madde, üst ısıl değer, toplam S ve CHNO analiz sonuçları Çizelge 5.2’de, karşılaştırmalarda kullanılmak üzere hesaplanan kuru, kuru-külsüz bazda analiz sonuçları ise Çizelge 5.3’de sunulmuştur. Ayrıca, tez kapsamında kömür örneklerinde gerçekleştirilen analiz sonuçlarının daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla kömürlü silttaşı ve karbonlu şeyl örnekleri hariç olmak üzere oniki kömür örneğine ait analiz sonuçlarının minimum, maksimum, ağırlıklı ortalamaları ve her iki sondaja ait aritmetik ortalamalar Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örneklerinin litotip tanımlamaları.

Örnek No	Derinlik (m)		Kalınlık (m)	Tanımlama	%Kül (db)	Litotip
AB32-1	300,63	301,08	0,45	Kömürlü Silttaşı (ZT)	74,1	Kömürlü Silttaşı
AB32-2	379,67	380,00	0,33	Kömür (CO)	12,1	Matriks
AB32-3	396,50	397,05	0,55	Kömür (CO)	34,1	Mineralce Zengin
AB32-4	398,50	398,97	0,47	Kömür (CO)	29,6	Matriks
AB32-5	399,49	399,86	0,37	Kömür (CO)	38,6	Mineralce Zengin
AB32-6	400,16	400,67	0,51	Kömür (CO)	47,7	Mineralce Zengin
AB32-7	404,36	404,63	0,27	Kömür (CO)	41,2	Mineralce Zengin
AB32-8	406,51	406,90	0,39	Kömür (CO)	37,1	Mineralce Zengin
AB33-1	716,36	716,64	0,28	Kömür (CO)	39,5	Mineralce Zengin
AB33-2	716,64	716,92	0,28	Karbonlu Şeyl (XH)	84,5	Karbonlu Şeyl
AB33-3	717,26	717,74	0,48	Kömür (CO)	42,9	Mineralce Zengin
AB33-4	718,62	719,34	0,72	Kömür (CO)	35,5	Mineralce Zengin
AB33-5	719,34	719,62	0,28	Kömür (CO)	49,4	Mineralce Zengin
AB33-6	719,62	719,98	0,36	Kömür (CO)	26,0	Matriks

Çizelge 5.2. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin orijinal (orj) ve havada kuru bazda (adb) analiz sonuçları.

ÖRNEK NO	%Toplam nem (orj)	Havada Kuru Bazda (adb)									
		%Nem	%Uçucu Madde	% Kül	%Bağlı Karbon	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	%TS	%N	%C	%H	%O
AB32-1	17,5	3,0	20,6	71,9	4,6	1129	4,41	0,16	15,56	1,91	6,10
AB32-2	28,7	5,2	51,9	11,5	31,5	5706	8,64	1,53	57,06	5,57	15,73
AB32-3	26,6	4,7	41,0	32,5	21,8	4130	7,55	1,13	41,25	4,57	12,98
AB32-4	26,8	4,9	47,4	28,2	19,6	4511	8,18	1,21	45,51	4,92	12,02
AB32-5	24,0	3,5	49,5	37,3	9,7	3319	3,18	0,85	37,39	3,77	17,52
AB32-6	18,4	2,0	37,5	46,8	13,7	1633	0,83	0,27	26,20	2,18	23,76
AB32-7	24,6	3,3	48,1	39,9	8,7	2845	2,21	0,75	33,65	3,28	20,26
AB32-8	30,8	3,5	50,5	35,8	10,2	3361	2,76	0,54	37,54	3,83	19,51
AB33-1	17,1	3,7	37,3	38,1	20,9	3784	6,52	1,26	38,30	4,04	11,81
AB33-2	34,2	3,3	14,3	81,7	0,7	518	3,77	0,01	7,73	1,44	5,32
AB33-3	20,2	3,8	35,9	41,3	19,1	3436	7,74	1,01	34,91	3,86	11,22
AB33-4	17,9	3,5	46,7	34,3	15,5	3839	6,27	1,22	42,80	4,24	11,20
AB33-5	8,4	1,3	42,8	48,8	7,2	1140	0,58	0,10	22,56	1,60	26,34
AB33-6	22,2	3,5	45,7	25,1	25,7	4867	8,17	1,25	48,75	4,87	11,90

Çizelge 5.3. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örnekler için kuru (db) ve kuru-külsüz bazda (daf) hesaplanan analiz sonuçları.

ÖRNEK NO	Kuru Bazda (db)								Kuru-Külsüz Bazda (daf)						
	%Uçucu Madde	% Kül	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	%TS	%N	%C	%H	%O	%Uçucu Madde	Üst Isıl Değer (kcal/kg)	%TS	%N	%C	%H	%O
AB32-1	21,2	74,1	1164	4,55	0,16	16,03	1,63	3,59	81,9	4485	17,52	0,62	61,78	6,27	13,82
AB32-2	54,7	12,1	6020	9,11	1,62	60,20	5,27	11,70	62,2	6849	10,37	1,84	68,49	5,99	13,31
AB32-3	43,0	34,1	4332	7,92	1,19	43,27	4,25	9,25	65,3	6576	12,02	1,80	65,68	6,45	14,04
AB32-4	49,8	29,6	4744	8,60	1,28	47,85	4,59	8,06	70,7	6740	12,22	1,81	67,99	6,52	11,45
AB32-5	51,3	38,6	3439	3,30	0,88	38,75	3,50	14,93	83,6	5605	5,37	1,43	63,15	5,71	24,33
AB32-6	38,3	47,7	1667	0,84	0,28	26,73	2,00	22,43	73,2	3188	1,61	0,53	51,13	3,82	42,91
AB32-7	49,8	41,2	2941	2,28	0,77	34,79	3,01	17,93	84,7	5003	3,88	1,31	59,18	5,12	30,51
AB32-8	52,3	37,1	3483	2,86	0,56	38,91	3,57	16,99	83,2	5540	4,55	0,88	61,88	5,67	27,02
AB33-1	38,7	39,5	3931	6,78	1,31	39,79	3,76	8,82	64,0	6503	11,21	2,17	65,81	6,22	14,59
AB33-2	14,7	84,5	536	3,90	0,01	8,00	1,11	2,47	95,2	3463	25,17	0,08	51,65	7,15	15,95
AB33-3	37,3	42,9	3572	8,05	1,05	36,29	3,57	8,15	65,3	6254	14,09	1,84	63,55	6,26	14,27
AB33-4	48,4	35,5	3978	6,50	1,26	44,36	3,99	8,38	75,1	6168	10,08	1,96	68,78	6,19	12,99
AB33-5	43,3	49,4	1154	0,59	0,10	22,85	1,48	25,55	85,6	2283	1,17	0,20	45,19	2,92	50,53
AB33-6	47,4	26,0	5042	8,47	1,29	50,50	4,64	9,14	64,0	6809	11,43	1,75	68,20	6,27	12,35

Çalışma kapsamında Çizelge 5.2’de verilen analiz sonuçlarından AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan oniki kömür örneğinin laboratuvara geldiği durumda (orijinal baz) toplam nem değerleri sırasıyla ağırlıklı ortalama %25,5 ve %17,8 (iki sondaj ortalaması %21,6) olarak hesaplanmıştır. Bu veri, kömür örneklerinin nispeten düşük ortalama toplam nem içerdiğini göstermektedir. Diğer taraftan nispeten ortalama düşük toplam nem içeriği, kömür karotlarının nispeten havayla teması sonucu yüzeysel toplam nemin bünyeden kısmen ayrılmasıyla da ilgili olabilir. Çünkü, AB32-8 nolu örnekte toplam nem değeri %30,8 olarak bulunulmuştur.

AB-32 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin (7 adet) ortalama havada kuru bazda (adb) uçucu madde ve kül değerlerinin sınır değerleri sırasıyla %37,5-51,9 (ağırlıklı ort. %45,7) ve %11,5-46,8 (ağırlıklı ort. %33,7) olarak bulunmuştur (Çizelge 5.2 ve 5.4). AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinde (5 adet) bu sınır değerleri %37,3-46,7 (ağırlıklı ort. %42,3) uçucu madde ve %25,1-48,8 (ağırlıklı ort. %36,7) kül olarak bulunmuştur. Her iki sondajdan alınan oniki adet kömür örneğinde havada kuru bazda ortalama %44,0 uçucu madde ve %35,2 kül hesaplanmıştır (Çizelge 5.4). Bu veri, beklenildiği gibi, incelenen kömürlerin yüksek uçucu madde ve nispeten yüksek kül içeriğini göstermektedir. Diğer taraftan, oniki adet kömür örneği içerisinde en yüksek kül içeriği AB33-5 nolu mineralce zengin litotipin tanımlandığı örnekte, en düşük kül

Çizelge 5.4. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerine ait analiz sonuçlarının minimum, maksimum, ağırlıklı ortalama değerleri.

Analizler	AB-32 sondajı (n=7)			AB-33 sondajı (n=5)			AB-32 ve AB-33
	Minimum	Maksimum	Ağırlıklı ortalama	Minimum	Maksimum	Ağırlıklı ortalama	Ortalama
Havada kuru bazda (adb)							
%Nem	2,0	5,2	3,9	1,3	3,8	3,3	3,6
%Uçucu madde	37,5	51,9	45,7	35,9	46,7	42,3	44,0
%Kül	11,5	46,8	33,7	25,1	48,8	36,7	35,2
%Bağlı karbon	8,7	21,8	16,8	7,2	25,8	17,7	17,2
Üst ısı değer (kcal/kg)	1633	5706	3604	1140	4867	3558	3581
%Toplam S	0,83	8,64	4,88	0,58	8,17	6,21	5,55
%N	0,27	1,53	0,89	0,10	1,26	1,04	1,00
%C	26,20	57,06	39,39	22,56	48,75	38,76	39,07
%H	2,18	5,57	4,00	1,60	4,87	3,89	3,94
%O	12,02	23,76	17,18	11,20	26,34	13,40	15,29
Kuru baz (db)							
%Uçucu madde	38,3	54,7	47,6	37,3	48,4	43,8	45,7
%Kül	12,1	47,7	34,9	26,0	49,4	37,9	36,4
%Bağlı karbon	9,0	33,2	17,5	7,3	26,7	18,3	17,9
Üst ısı değer (kcal/kg)	1667	6020	3763	1154	5042	3688	3725
%Toplam S	0,84	9,11	5,10	0,59	8,05	6,40	5,80
%N	0,28	1,62	0,90	0,10	1,31	1,10	1,00
%C	26,73	60,20	41,10	22,85	50,50	40,10	40,60
%H	2,00	5,27	3,70	1,48	4,64	3,60	3,70
%O	8,06	22,43	14,20	8,15	25,55	10,80	12,50
Kuru külsüz baz (daf)							
%Uçucu madde	62,2	84,7	73,8	64,0	85,6	70,9	72,4
Üst ısı değer (kcal/kg)	3188	6849	5625	2283	6809	5828	5726
%Toplam S	1,61	12,22	7,40	1,17	14,09	10,20	8,80
%N	0,88	1,84	1,40	0,20	2,17	8,80	1,50
%C	51,13	68,49	62,40	45,19	68,78	64,00	63,20
%H	3,82	6,52	5,60	2,92	6,27	5,80	5,70
%O	11,45	42,91	23,20	12,35	50,53	18,30	20,80
Nemli mineral maddesiz baz (Mmmf)							
Üst ısı değer (Btu/lb)	4198	8501	6753	3697	9075	7959	7356

içeriği ise matriks litotipin tanımlandığı AB32-2 nolu kömür örneğinde görülmektedir. Kömür örnekleri dışında AB- 32 nolu sondajda tanımlanan bir adet kömürlü silttaşında (AB32-1) havada kuru bazda %20,6 uçucu madde, %71,9 kül içeriği bulunulmuştur. AB-33 nolu sondajda ise bir adet karbonlu şeyl (AB33-2) örneğinde ise bu değerler sırasıyla %14,3 uçucu madde ve %81,7 kül olarak ölçülmüştür.

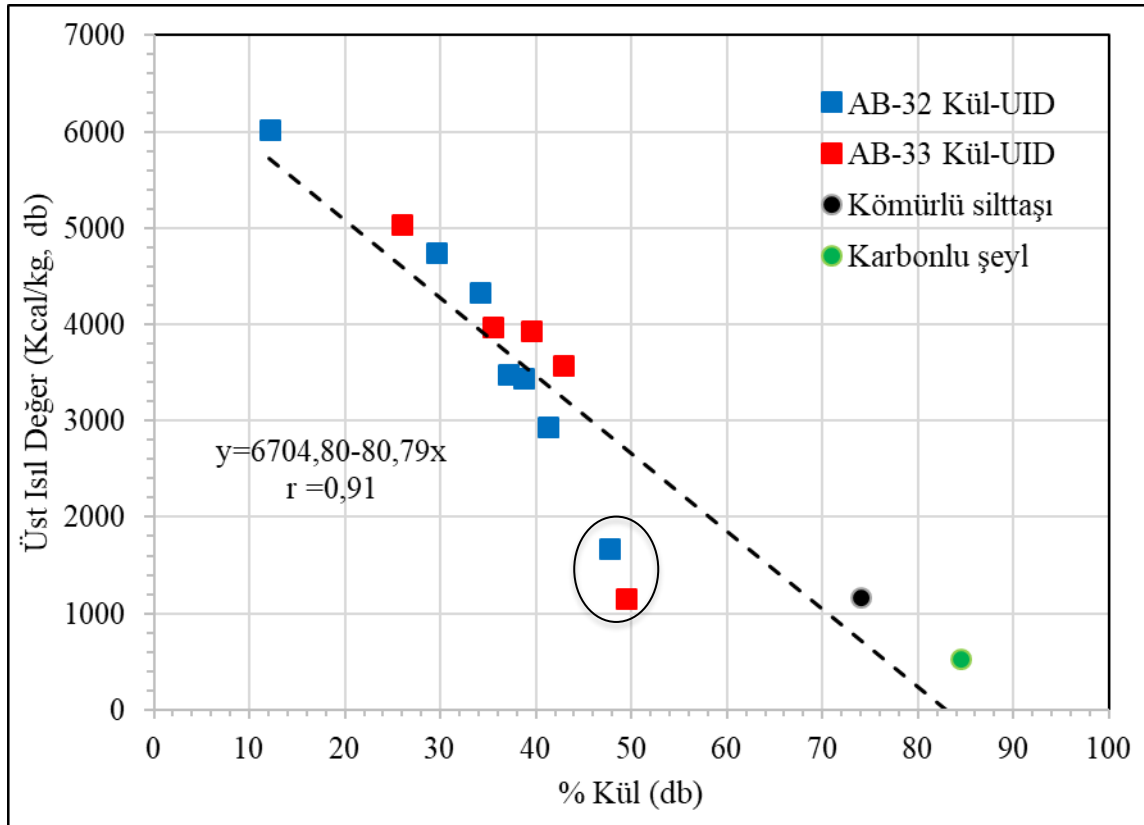
AB-32 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin üst ısıl değerlerinin sınır değerleri 1633-5706 kcal/kg'dir. Bu değer AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinde 1140-4867 kcal/kg'dir. Havada kuru bazda kömür örneklerinde üst ısıl değerler AB-32 nolu sondajda ağırlıklı ortalama 3604 kcal/kg ve AB-33 nolu sondajda ise 3558 kcal/kg ve her iki sondaja ait ortalama değer havada kuru bazda 3581 kcal /kg olarak hesaplanmıştır. Bu değer, ülkemiz bazı çok önemli linyit kömürlerine (örneği Sivas-Kangal, Adana-Tufanbeyli ve Afşin-Elbistan, vb.) göre oldukça yüksektir. Bu yönüyle bu saha oldukça ilginçtir. Diğer taraftan, AB-32 nolu sondajda bir adet kömürlü silttaşında havada kuru bazda 1129 kcal/kg ve AB-33 nolu sondajdan alınan bir adet karbonlu şeyl örneğinde havada kuru bazda 518 kcal/kg üst ısıl değer bulunmuştur.

Kömürleşme derecesinin tespit edilebilmesi amacıyla ASTM D388 (2019) sınıflamasına göre üst ısıl değerler, nemli mineral maddesiz bazda (Mmmf) da hesaplanmıştır (Çizelge 5.4). Bu kapsamda AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin nemli, mineral maddesiz bazda hesaplanan üst ısıl değerleri sırasıyla ağırlıklı ortalama 6753 Btu/lb ve 7959 Btu/lb'dir. Her iki sondaja ait oniki adet kömür örneğinin nemli mineral maddesiz bazda 7356 Btu/lb olarak hesaplanmıştır. Bu ortalama değer, Bozdoğan Graben alanında yer alan kömürlerin kömürleşme derecesinin "Linyit A" aşamasında olduğunu göstermektedir (Şekil 5.1).

Tez kapsamında analiz edilen kömür, kömürlü silttaş ve karbonlu şeyl örneklerinin kuru bazda kül içerikleri ile üst ısıl değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 5.2). Kül-üst ısıl değer karşılaştırılmasında beklenildiği gibi tüm örnekler (14 adet) arasında negatif doğrusal bir ilişki ( $r=-0,91$ ) görülmektedir (Şekil 5.2). Ancak bu doğrusallıktan iki örnek (AB32-6 ve AB33-5), diğer kömür örneklerine göre nispeten çok yüksek kül içeriklerinden dolayı ayrı noktada konumlanmaktadır (Şekil 5.2).

Class/Group	FC <sub>d,MMI</sub> Limits, %		VM <sub>d,MMI</sub> Limits, %		GCV <sub>m,MMI</sub> Limits <sup>B</sup>				Agglomerating Character
	Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Btu/lb		MJ/kg <sup>C</sup>		
					Equal or Greater Than	Less Than	Equal or Greater Than	Less Than	
Anthracitic:									
Meta-anthracite	98	...	...	2	...	...	...	...	} non-agglomerating
Anthracite	92	98	...	8	...	...	...	...	
Semianthracite <sup>D</sup>	86	92	8	14	...	...	...	...	
Bituminous:									
Low volatile bituminous coal	78	86	14	22	...	...	...	...	} commonly agglomerating <sup>E</sup>
Medium volatile bituminous coal	69	78	22	31	...	...	...	...	
High volatile A bituminous coal	...	69	31	...	14 000	...	32.557	...	
High volatile B bituminous coal	...	...	...	...	13 000	14 000	30.232	32.557	
High volatile C bituminous coal	...	...	...	...	11 500	13 000	26.743	30.232	
					10 500	11 500	24.418	26.743	} agglomerating
Subbituminous:									
Subbituminous A coal	...	...	...	...	10 500	11 500	24.418	26.743	} non-agglomerating
Subbituminous B coal	...	...	...	...	9 500	10 500	22.09	24.418	
Subbituminous C coal	...	...	...	...	8 300	9 500	19.30	22.09	
Lignite:									
Lignite A	...	...	...	...	6 300	8 300	14.65	19.30	
Lignite B	...	...	...	...	...	6 300	...	14.65	

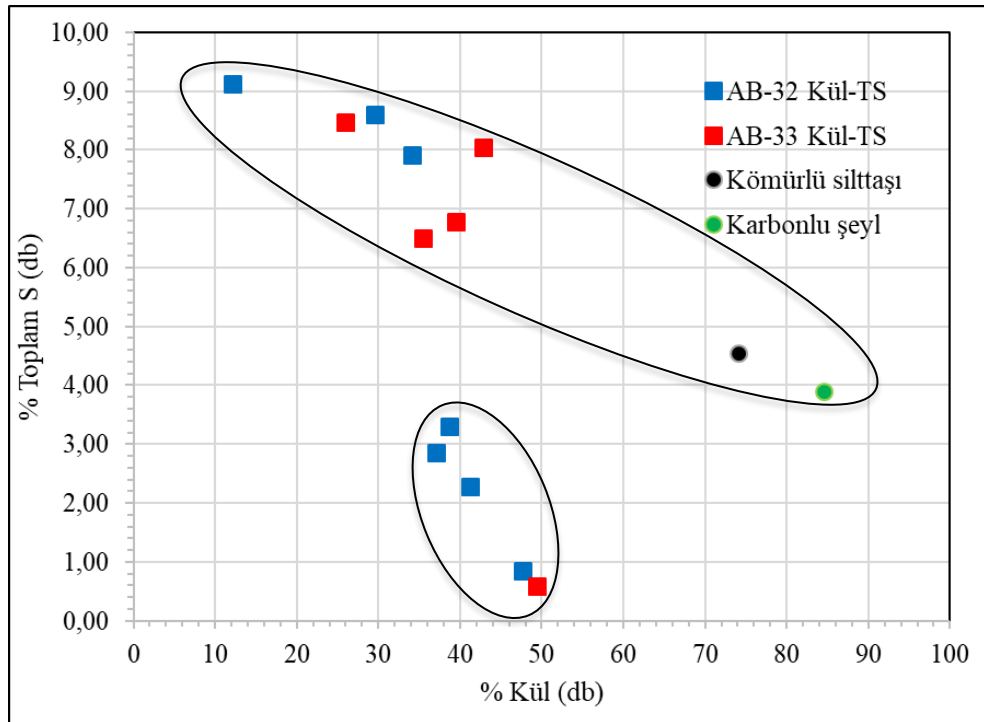
Şekil 5.1 Tez kapsamında analiz edilen kömür örneklerinin ASTM D388 (2019) sınıflaması (Hower ve ark., 2022).



Şekil 5.2. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerde havada kuru bazda kül içeriği ile üst ısıl değerlerinin karşılaştırılması.



Kömür örneklerinde havada kuru bazda toplam kükürt içerikleri AB-32 nolu sondajda %0,83-8,64 (ağırlıklı ort. %4,88) ve AB-33 nolu sondajda %0,58-8,17 (ağırlıklı ort. %6,21) olarak bulunmuştur. Her iki sondajdan alınan kömür örnekleri bir arada değerlendirildiğinde havada kuru bazda ortalama %5,55 toplam S içeriği hesaplanmıştır. İncelenen her iki sondajda çok düşük ve çok yüksek toplam S içeriklerinin saptanması son derece ilginçtir. Daha sonra açıklanacağı üzere, yüksek S içeriğinin piritik, sülfat ve organik S'den mi kaynaklandığı da tez kapsamında araştırılmıştır. AB-32 nolu sondajdan alınan bir adet kömürlü siltaşında ve AB-33 nolu sondajdan alınan bir adet karbonlu şeyl örneğinde havada kuru bazda sırasıyla %4,41 ve %3,77 toplam kükürt içeriği tespit edilmiştir. Kömürlerde olduğu gibi, kömürlü siltaşında ve karbonlu şeyl örneğinde yüksek kükürt içeriğinin saptanması da son derece dikkat çekicidir. Tez kapsamında analiz edilen kömür, kömürlü siltaşı ve karbonlu şeyl örneklerinin kuru bazda kül içerikleri ile toplam S içerikleri karşılaştırılmıştır (Şekil 5.3). Kül-toplam S karşılaştırılmasında örneklerin benzer kül içeriklerinde toplam S içeriklerine göre nispeten iki farklı alanda kümelendikleri görülmektedir (Şekil 5.3). Daha sonra açıklandığı gibi, yüksek toplam S içerikleri saptanan çoğu örnekte ikincil jips/anhidrit gibi kükürt içeren ikincil/epijenetik mineral oluşumları belirlenmiştir. Bu nedenle toplam S içerikleri bu örneklerde arttırılmış görünmektedir.

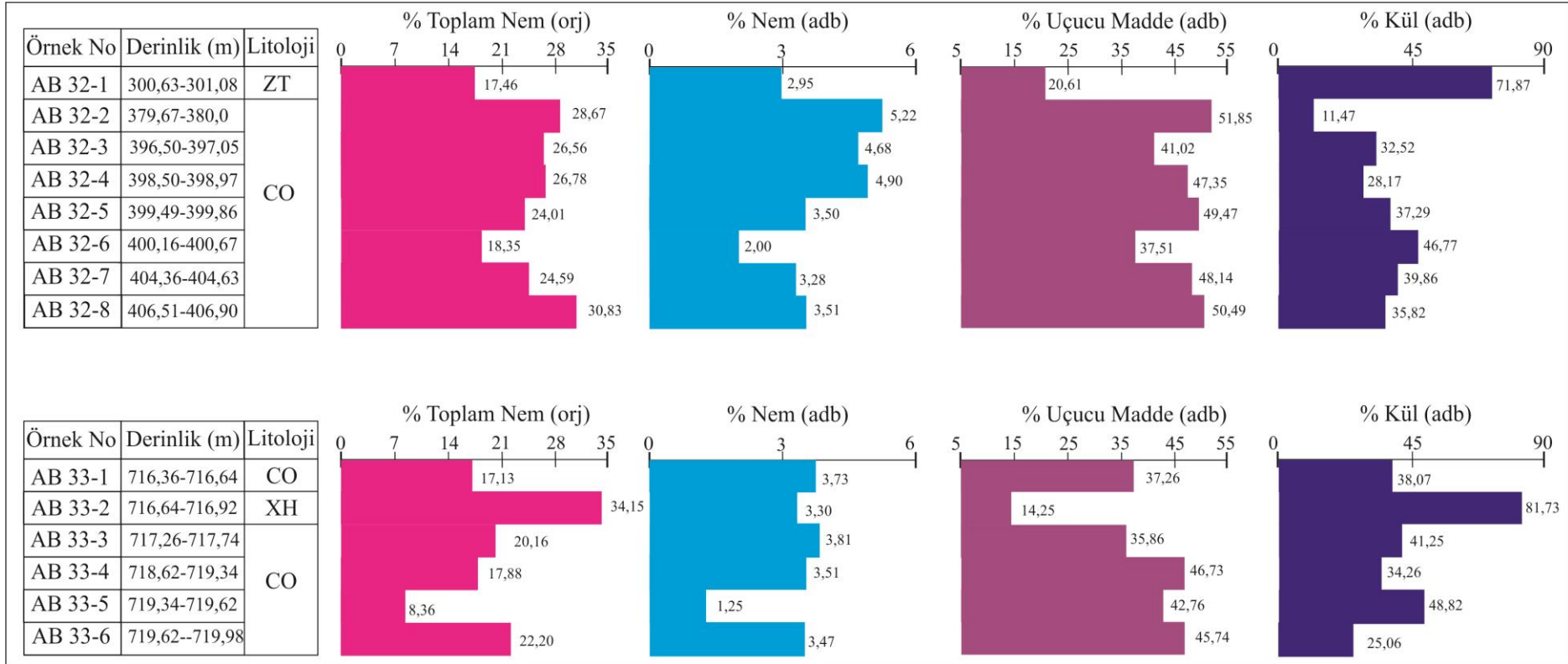


Şekil 5.3. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerde kuru bazda kül içeriği ile toplam S değerlerinin karşılaştırılması.

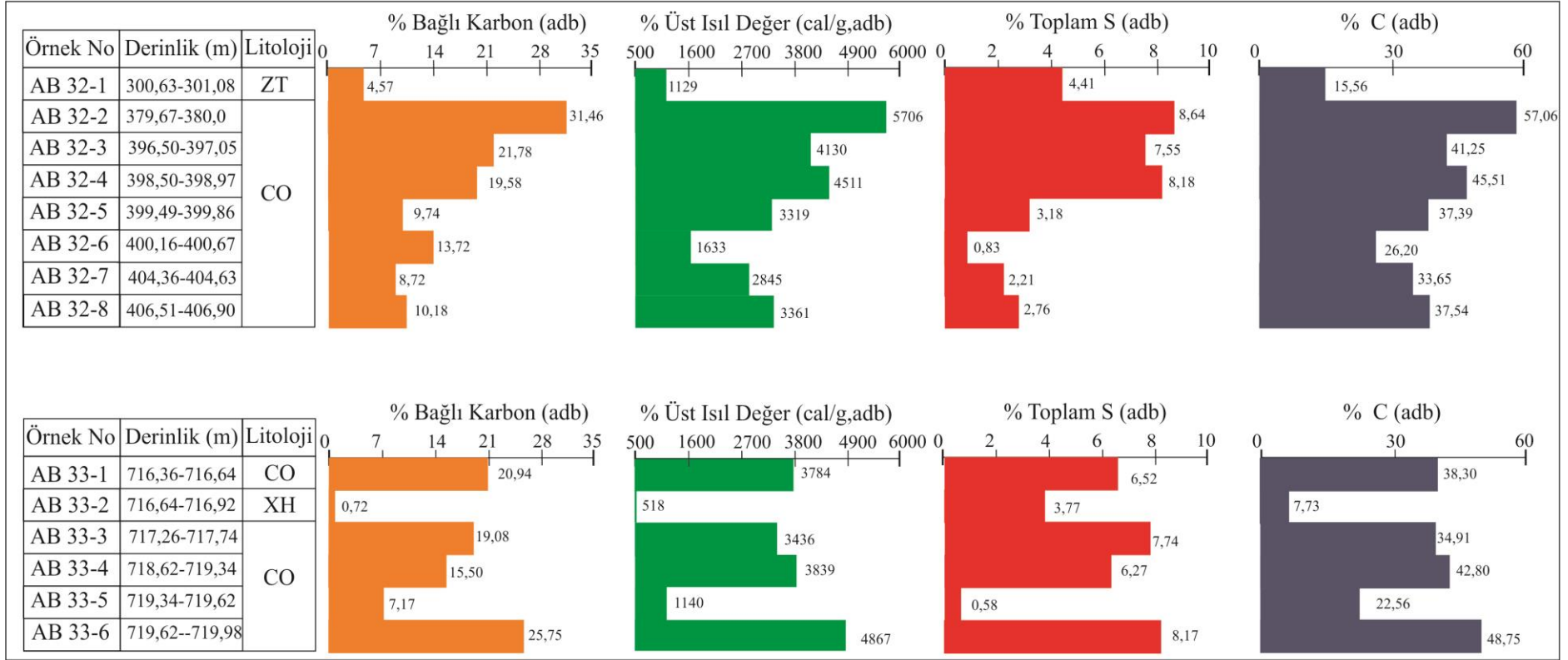
Kömür örneklerinde havada kuru bazda %N, C, H ve hesaplanan %O değerleri AB-32 nolu sondajlarda sırasıyla %0,27-1,53 (ağırlıklı ort. %0,89) azot, %26,20-57,06 (ağırlıklı ort. %39,39) karbon, %2,18-5,57 (ağırlıklı ort. %4,0) hidrojen ve %12,02-23,76 (ağırlıklı ort. %17,18) oksijen olarak bulunmuştur. Bu değerler AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinde %0,10-1,26 (ağırlıklı ort %1,04) azot, %22,56-48,75 (ağırlıklı ort. %38,76) karbon, %1,60-4,87 (ağırlıklı ort. %3,89) hidrojen ve %11,20-26,34 (ağırlıklı ort. %13,40) oksijen olarak elde edilmiştir. Her iki sondajdan alınan kömür örnekleri bir arada değerlendirildiğinde hava kuru bazda ortalama %1,00 N, %39,07 C, %3,94 H ve %15,29 O hesaplanmıştır. AB- 32 nolu sondajda bir adet kömürlü silttaşında havada kuru bazda % 0,16 N, %15,56 C , %1,91 H ve % 6,10 O değeri tespit edilmiştir. Bu değerler AB-33 nolu sondajdan alınan bir adet karbonlu şeyilde ise %0,01 N, %7,73 C, %1,44 H ve % 5,32 O tespit edilmiştir.

Tez kapsamında kaba kimyasal, ısıl değer ve elementer analizleri incelenen ondört örneğe ait sonuçların AB-32 ve AB-33 nolu sondajlarda derinliğe göre değişimleri de araştırılmıştır (Şekil 5.4 ve 5.5). İlgili şekillerde toplam nem orijinal bazda olmak üzere nem, uçucu madde, kül, bağlı karbon, üst ısıl değer, toplam S ve karbon değerleri havada kuru bazda olacak şekilde gösterilmiştir. Tez kapsamında analiz edilen H ve N değerleri, sayısal olarak çok küçük olduğu için çizilememiştir. Kömür örneklerinde derinliğe göre analiz sonuçlarında çoğunlukla zikzaklı bir durum görülmekle beraber yüksek kül içeriğine sahip kömürlü silttaşı ve karbonlu şeyil örnekleri hariç tutulursa analiz sonuçlarının benzer özelliklere de sahip olduğu görülebilmektedir (Şekil 5.4 ve 5.5).

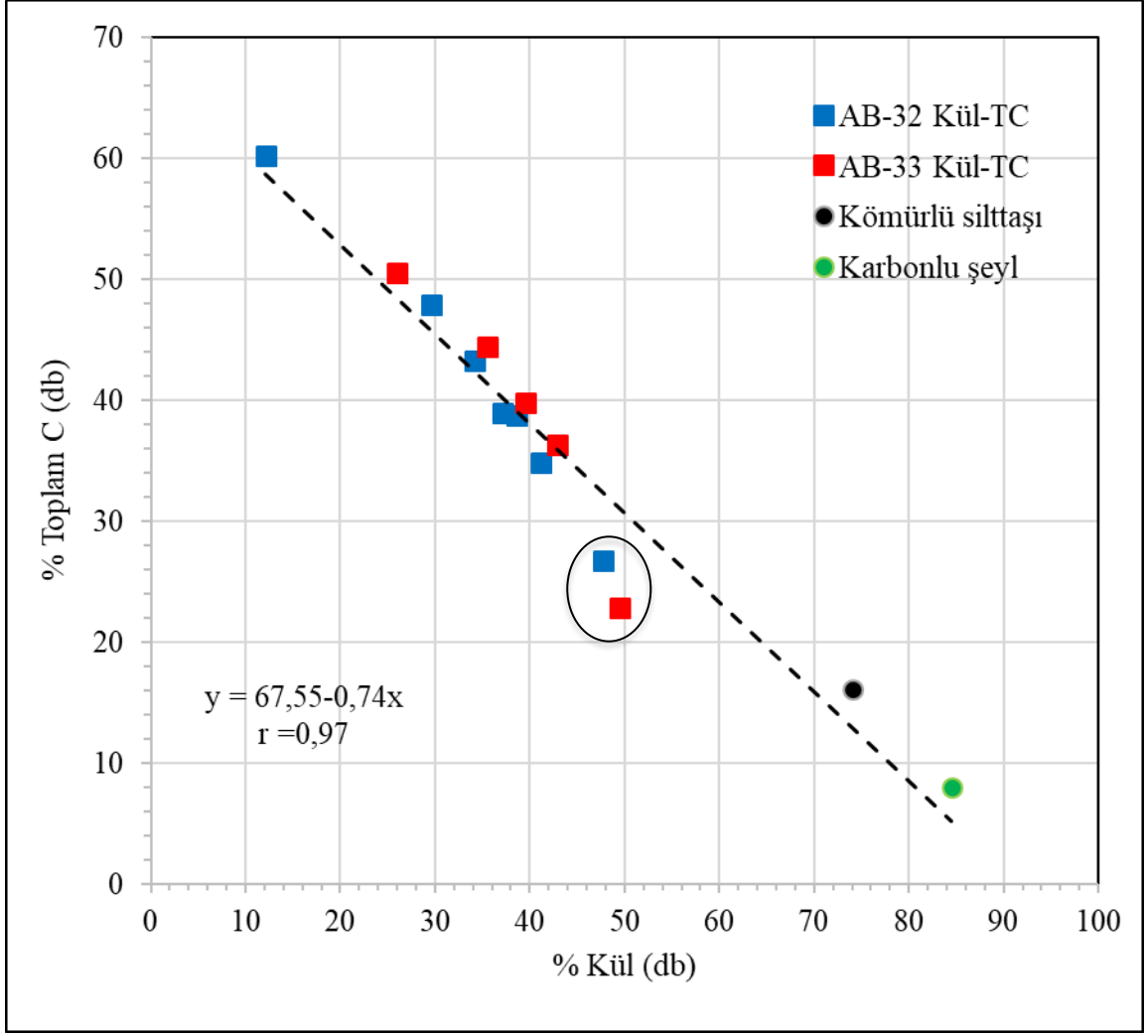
Kuru bazda kül analiz sonuçları ile toplam karbon değerleri arasında tüm örnekler (14 adet) için negatif doğrusal bir ilişki ( $r=-0,97$ ) görülmektedir (Şekil 5.6). Ancak kuru bazda kül içeriği-üst ısıl değer arasında olduğu gibi, bu doğrusallıktan yine iki örnek (AB32-6 ve AB33-5), diğer kömür örneklerine göre nispeten çok yüksek kül içeriklerinden dolayı ayrı noktada konumlanmaktadır (Şekil 5.6).



Şekil 5.4. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerinin orijinal bazda yüzde toplam nem ve havada kuru bazda nem, uçucu madde ve kül analiz sonuçlarının derinliğe bağlı değişimleri.



Şekil 5.5. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerinin havada kuru bazda %bağlı karbon, üst ısıl değer, toplam S ve toplam C analiz sonuçlarının derinliğe bağlı değişimleri.



Şekil 5.6. Tez kapsamında kuru bazda %kül içeriği ile %toplam karbon değerlerinin karşılaştırılması.

Tez çalışması kapsamında daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere yüksek %toplam kükürt içeriğine sahip örnekler seçilerek MTA Kömür Analizleri Laboratuvarında ISO tarafından kabul edilen ISO 157 (1996) standardı esas alınarak piritik ve sülfat kükürdü analizleri gerçekleştirilmiştir. Organik kükürt değerleri, toplam kükürt değerinden piritik ve sülfat kükürt toplamlarının çıkarılması sonucu elde edilmiştir (Çizelge 5.5).

Literatürde kömürlerdeki kükürt içeriği çoğunlukla çökeltme ortamı (limnik ve/veya paralik), turba oluşum fasiyes koşulları ve turbalaşma sırasında veya sonrasında hidrotermal sıvı/çözelti girişlerine, sinjenetik volkanik/detritik volkanik malzeme girişlerine bağlı olarak kömür damarlarındaki toplam S içeriği değişebilmektedir (Chou, 2012).

Çizelge 5.5. Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan seçilen örneklerin havada kuru bazda ve kuru bazda %toplam S, %piritik kükürt, %sülfat kükürdü ve %organik kükürt analiz sonuçları.

Sondaj / Örnek no	Derinlik (m)		Havada Kuru Baz (adb)				Kuru Baz (db)		
			% Toplam S	% Piritik S	% Sülfat S	% Organik S	% Piritik S	% Sülfat S	% Organik S
AB32-1	300,63	301,08	4,41						
AB32-2	379,67	380,00	8,64	0,38	0,53	7,72	0,41	0,56	8,15
AB32-3	396,50	397,05	7,55	1,58	0,19	5,78	1,66	0,19	6,07
AB32-4	398,50	398,97	8,18	1,52	0,27	6,39	1,6	0,28	6,72
AB32-5	399,49	399,86	3,18	1,25	0,23	1,69	1,3	0,24	1,75
AB32-6	400,16	400,67	0,83						
AB32-7	404,36	404,63	2,21						
AB32-8	406,51	406,90	2,76						
AB33-1	716,36	716,64	6,52	1,23	0,6	4,69	1,28	0,62	4,87
AB33-2	716,64	716,92	3,77						
AB33-3	718,62	719,34	7,74	1,64	1,73	4,37	1,7	1,8	4,55
AB33-4	719,34	719,62	6,27	0,69	1,21	4,37	0,71	1,25	4,53
AB33-5	719,34	719,62	0,58						
AB33-6	719,62	719,98	8,17	1,69	0,42	6,07	1,75	0,43	6,28

Kömür damarlarında yüksek kükürt içeriği literatürde ayrıntılı tartışılmıştır (örneğin Whateley ve Tuncalı, 1995a, 1995b; Karayığit ve ark., 2022) ve bu nedenle konunun ayrıntısına burada girilmemiştir. Toplam S içeriği %1'den az olan kömürler, literatürde düşük kükürtlü kömür olarak sınıflandırılırken, %1-3 arasında olan kömürler orta kükürtlü ve %3'den fazla olan kömürler yüksek kükürtlü kömür olarak sınıflandırılmaktadır. Süper yüksek organik kükürtlü (SHOS) kömürler ise genellikle %4-11 aralığında olmak üzere organik kükürt bakımından oldukça zengin olan özel bir kömür sınıfı olarak tanımlanmaktadır (Chou, 1997). Süper yüksek organik kükürtlü (SHOS) kömürler, organik kükürt bakımından oldukça zengindir, ancak piritik kükürt bakımından fakirdir. SHOS kömürleri ve bunların çok yüksek organik kükürt içerikleri yaygın olarak gözlenmemekle beraber birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Dai ve ark., 2008, 2017, 2018; Li ve Tang, 2014; Li ve ark., 2015; Medunić ve ark., 2020; Smith ve Batts, 1974; Torres-Ordóñez ve ark., 1990; White ve ark., 1990; Zhao ve ark., 2014 ve 2020). Tez kapsamında sınırlı laboratuvar olanakları nedeniyle AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan seçilen toplam 8 adet kömür örneğin 7 tanesi havada kuru veya kuru bazda organik S içerikleri dikkate alındığında bu yedi örnek “**süper yüksek organik kükürtlü (SHOS) kömür**” olarak değerlendirilebilir (Çizelge 5.5). Çünkü bu yedi örneğin yüzde

organik S değerleri, 4'den daha büyüktür (Çizelge 5.5) ve hatta en yüksek değer havada kuru bazda %7,72'ye kadar ulaşmaktadır. Ayrıca, daha sonra mineraloji kısmında da açıklandığı gibi SEM-EDS çalışmaları sırasında organik madde içinde çok yüksek kükürt EDS spektrumları gözlenmiştir. Bu SEM-EDS çalışmaları örneklerdeki SHOS durumunu desteklemektedir. Diğer taraftan, mineraloji kısmında da tartışıldığı gibi, incelenen örneklerde SEM-EDS çalışmaları sırasında organik madde içindeki yüksek SEM-EDS spektrumları organik madde içinde nanomikron boyutunda S içeren minerallerle ilişkili (örneğin jips) olabilir. Bu aşamada kimyasal analiz yöntemiyle analiz edilen sekiz örneğin yedisinde SHOS saptanması ve sülfat S'nün bazı örneklerde yüksek (örneğin AB33-3'de %1,73 ve AB33-4'de %1,21) olmasına karşın bu örneklerde havada kuru bazda %4'den daha fazla organik S'ün bulunması çalışılan örneklerin çoğunun SHOS'lü olduğunu kanıtlamaktadır. Diğer taraftan, tez kapsamında seçilen Bozdoğan Graben alanında Sekköy Formasyonu oluşumu sırasında herhangi bir deniz girdi etkisi bulunmamaktadır. Bu nedenle yüksek kükürt içeriğinin deniz suyu içerisindeki sülfat kaynaklı olmasının mümkün olamayacağı düşünülmektedir. Örneklerde gözlenen yüksek kükürdün kaynağının tıpkı Beypazarı-Çayırhan sahasında olduğu gibi volkanik malzeme getirimleriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bu görüş, daha sonra mineraloji bölümünde de açıklandığı gibi, AB32-2 ve AB33-4 örneklerinde SEM-EDS çalışmaları sırasında gözlenen pomza parçalarıyla yani volkanik getirimlerle desteklenmektedir. Çalışma kapsamında kömür petrografisi mikroskobunda ve özellikle SEM-EDS çalışmaları sırasında kömür örneklerinde köşeli pomza parçaları saptanmıştır. Ayrıca, örneklerde saptanmış ikincil jips/anhidrit gibi sülfat minerallerine bağlı olarak örneklerdeki kükürt arttırılmış olabilir.

Tez kapsamında elde edilen kaba kimyasal, ısıl değer ve elementer analiz sonuçları, Karayiğit ve Kayseri-Özer (2020) ve Karayiğit ve ark. (2020) tarafından ayrıntılı çalışılan ve çalışma alanının güneydoğusundaki Kale-Tavas sahasında yer alan Erken Miyosen yaşlı Yenidere Formasyonu içindeki kömür damarları (üstten alta doğru Ziyaçavuş, Şerif, Şentürk, Polat, Meriç damarı) ve Orta Miyosen yaşlı Sekköy Formasyonu içindeki Narlı kömür damarına ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Kale-Tavas sahasında Yenidere ve Sekköy Formasyonu içindeki kömürlerde orijinal bazda sırasıyla ortalama %25,6 ve %47,6 toplam nem saptanmıştır. Bu veri, incelenen alandaki kömürlerin toplam nem içeriği (%21,6), Erken Miyosen yaşlı Yenidere Formasyonu kömürlerine benzer ve Orta



Miyosen yaşlı Sekk y Formasyonu içindeki Narlı kömürlerinden belirgin olarak daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu durum, incelenen alanda kömürlerin çok derinde yer almasıyla ilgili olabileceği düşünülmektedir. Kale-Tavas sahasında Yenidere Formasyonu içindeki kömürlerde kuru bazda %25,1 k l, kuru-külsüz bazda %58,8 uçucu madde ve %71,5 toplam C belirlenmiştir. Bu değerler Narlı kömürleri için ortalama %25,3 k l, %64,1 uçucu madde ve %73,0 toplam C olarak saptanmıştır. Tez kapsamında oniki kömür örneğinde kuru bazda saptanan ortalama %36,4 kül ve kuru-külsüz bazda %72,4 uçucu madde ile %63,2 toplam C içeriği Bozdoğan sahası kömürlerinin daha yüksek kül ve uçucu madde içeriğine ve nispeten daha düşük toplam C içeriğine sahip olduğu söylenebilir. Tez kapsamında oniki kömür örneğinde kuru bazda saptanan ortalama 3725 kcal/kg ısıl değer, Yenidere Formasyonu içindeki kömürlerde ve Narlı kömürlerinde saptanan sırasıyla ortalama 4490 ve 4626 kcal/kg ısıl değerlerine göre daha yüksek kül içeriklerinden dolayı daha düşük olarak belirlenmiştir. Tez kapsamında örneklenen iki sondajdan alınan oniki kömür örneğinde kuru bazda ortalama %5,80 toplam S içeriği saptanmıştır (izelge 5.4). Daha önce incelenmiş Yenidere Formasyonu içindeki kömürlerde ve Narlı kömürlerinde kuru bazda yüksek kükürt değerleri de saptanmıştır. Bu değerler sırasıyla ortalama %4,0 ve %6,6 toplam S olarak rapor edilmiştir. Buna göre incelenen kömürler, daha çok Narlı kömürleri gibi yüksek toplam S içermektedirler.

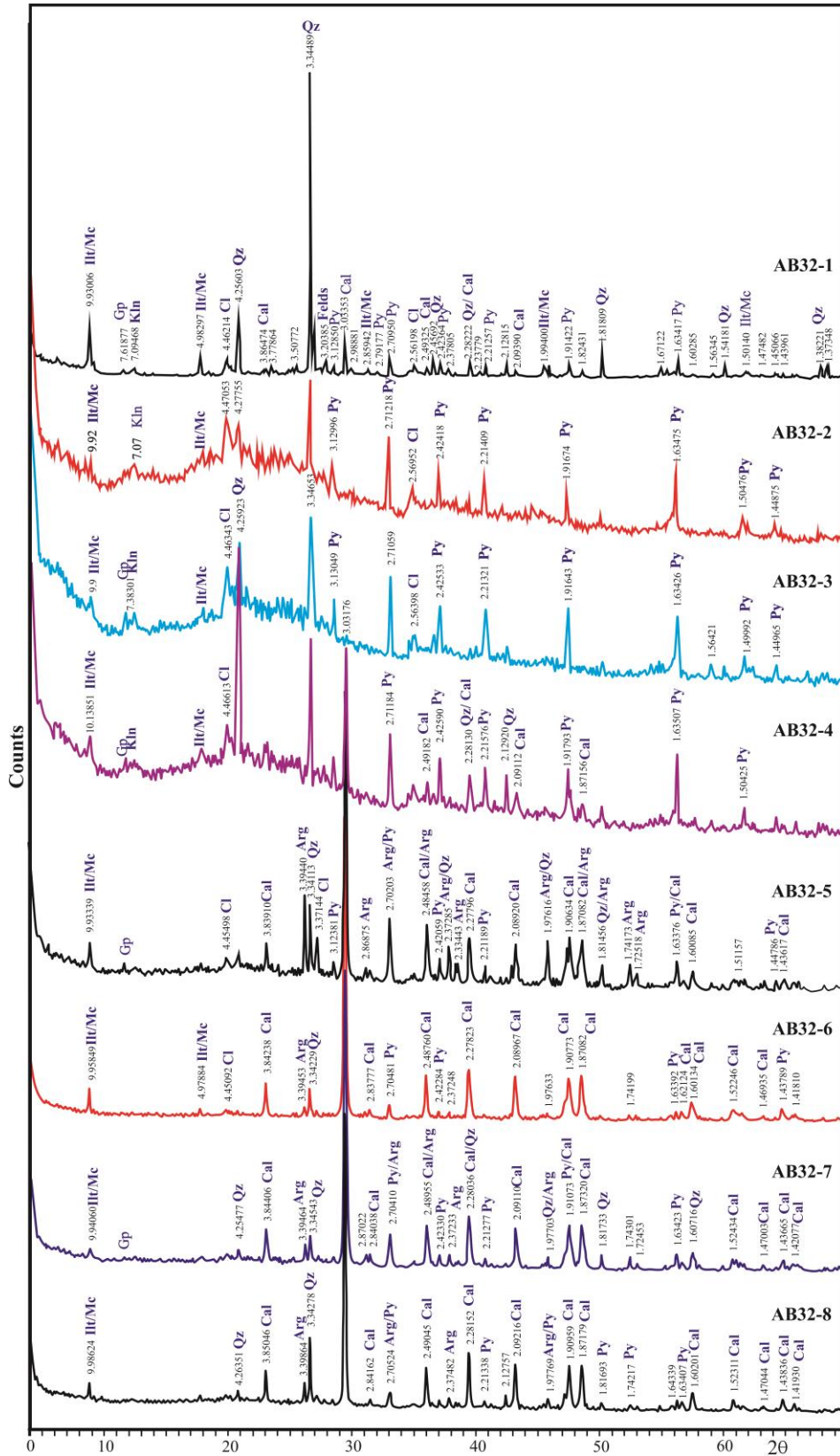
### **5.3. Mineralojik Tanımlamalar**

Tez kapsamında sondajlardan alınan kömür ve kayaç örneklerinin mineralojik bileşimlerinin tespit edilebilmesi amacıyla gerçekleştirilen XRD-TK, XRD-KF, SEM-EDS analiz sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir.

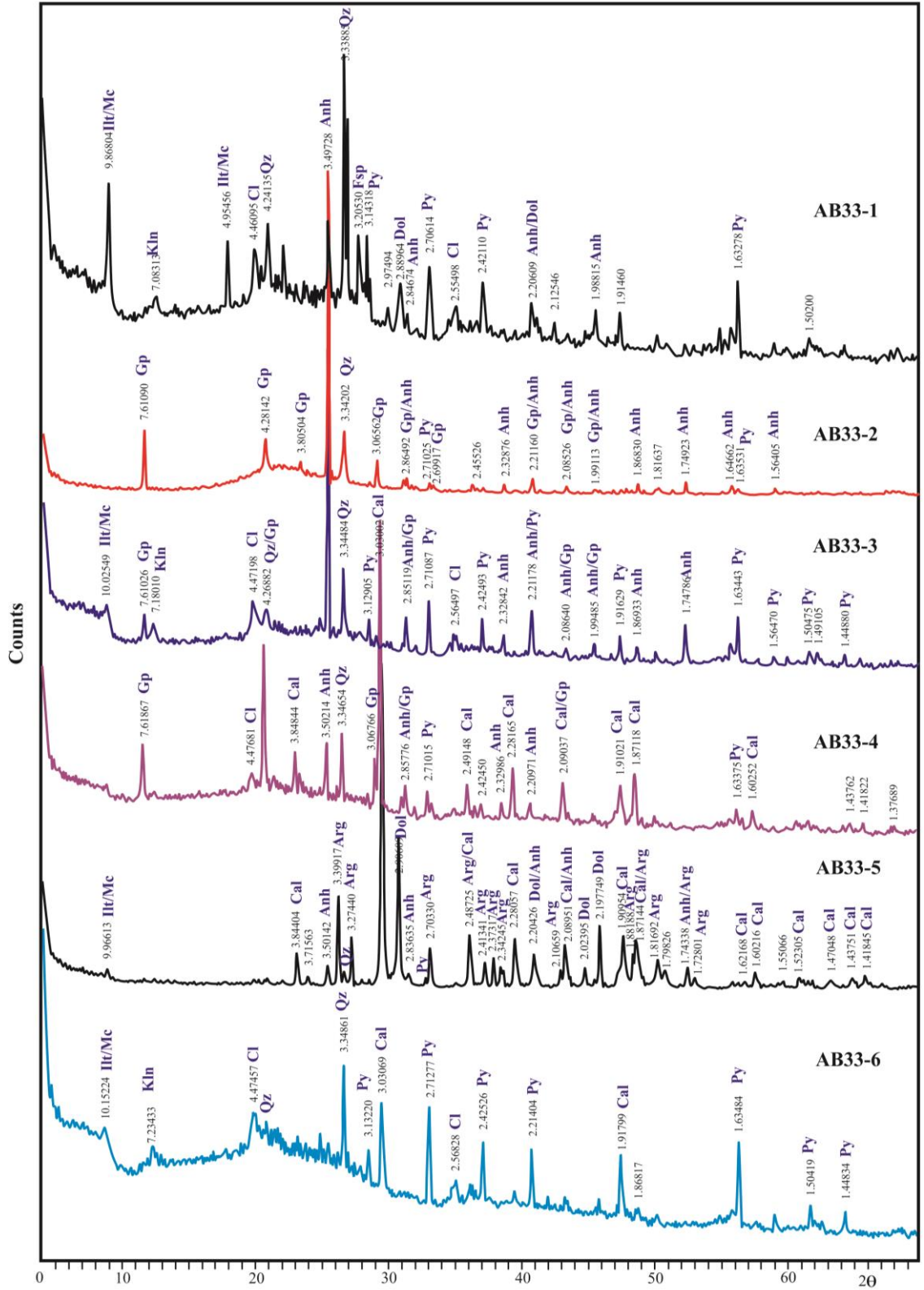
#### **5.3.1. Kömür  rneklerinin XRD-TK Analizleri**

Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan oniki adet kömür, bir adet kömürlü siltaşı ve bir adet karbonlu Şeyl olmak üzere toplam ondört  rneğin XRD-TK difraktogramları ve bunlar üzerinde kristal fazında tanımlanan mineraller, Şekil 5.7 ve 5.8’de sunulmuştur. Analizler sırasında tanımlanan minerallerin TOPAS programı yardımıyla hesaplanan yarı-kantitatif bolluk yüzdeleri ise izelge 5.6’da verilmiştir. Kömür  rneklerinde XRD-TK difraktogramları üzerinde kil minerallerinin ( rneğin

simektit, klorit, kaolinit, vb.) tanımlanması sırasındaki problemler nedeniyle kil mineralleri birlikte değerlendirilmiştir (Çizelge 5.6). Her iki sondajdan alınan tüm örnekler birlikte değerlendirildiğinde incelenen örneklerde amorf madde (kömür) dışında kristal fazında değişik oranlarda olmak üzere kil mineralleri (kaolinit (Kln), illit/mika (Ilt/Mc)), kuvars (Qz), feldispat mineralleri (Fsp), kalsit (Cal), dolomit (Dol), aragonit (Arg), pirit (Py), jips (Gp) ve anhidrit (Anh) mineralleri tanımlanmıştır. Tez kapsamında daha önce açıklandığı gibi kömür örneklerinde ikincil oluşmuş jips/anhidrit oluşumları makroskopik olarak da tanımlanmıştır (Bkz. Şekil 4.4). Bu nedenle her iki sondajdan alınmış örneklerde XRD-TK difraktogramlarında tanımlanan jips ve sadece AB-33 nolu sondajdan alınan örneklerde tanımlanan anhidritler kömür örneklerinde ikincil (epijenetik) olarak oluşmuştur. Örneklerde tanımlanan minerallerin yarı-kantitatif yüzdelerinin sondajlardaki derinliğe bağlı mineralojik değişimleri de Şekil 5.9’da sunulmuştur. Tez kapsamında değerlendirilen kömür, kömürlü silttaşı ve karbonlu şeyl örnekleri birlikte değerlendirildiğinde (Şekil 5.9) kuvars içeriği sondajların üst seviyelerinden alınan örneklerde daha yaygın olarak görülmektedir. Buna karşın kalsit ve aragonit sondajların alt seviyelerinden alınan örneklerde daha yaygın olarak görülmektedir. Bulut (2023) tarafından da ayrıntılı olarak açıklandığı gibi ülkemizdeki Neojen kömürlerinde (linyit) aragonit ve kalsit sıklıkla beraber rapor edilmektedir. Benzer şekilde incelenen kömür örneklerinde aragonitin tanımlanması bunların örneklerdeki fosil kavkılarıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü petrografi çalışmaları sırasında da örneklerde fosil kavkıları tanımlanabilmektedir. Pirit, incelenen her iki sondajdan alınan örneklerde de tanımlanmakla birlikte bazı örneklerde çok yüksek değerlere (örneğin %17,2) kadar ulaşmaktadır. AB-32 nolu sondajdan alınan örneklerin çoğunda %pirit içeriği çok yüksek, buna karşın AB-33 nolu taban seviyeden alınan bir örnekte yüksek pirit (%13,6) tanımlanmıştır. Tez çalışması kapsamında pirit içeriği ile ikincil jips/anhidrit oluşumları arasında bir paralellik görülmemektedir. Bunun nedeni piritlerin sinjenetik ve jips/anhidritlerin epijenetik/ikincil oluşmasından kaynaklanmaktadır. Kil mineralleri, incelenen örneklerde kuvars içeriğine benzer şekilde özellikle AB-32 nolu sondajda olduğu gibi sondajların üst seviyelerinden alınan örneklerde yarı-kantitatif yüzde değerleri daha yüksektir (Şekil 5.9). Feldispat mineralleri incelenen örneklerin sadece üçünde tanımlanabilmiştir (Şekil 5.9).



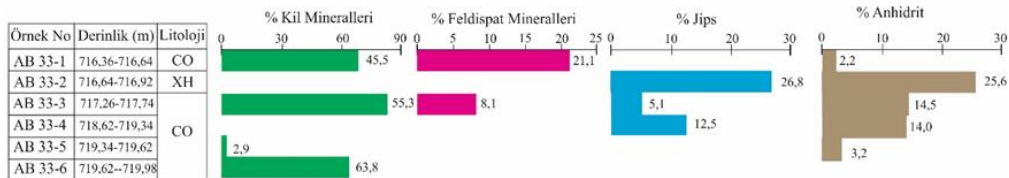
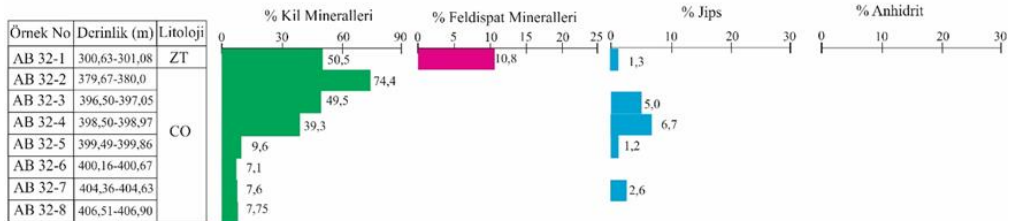
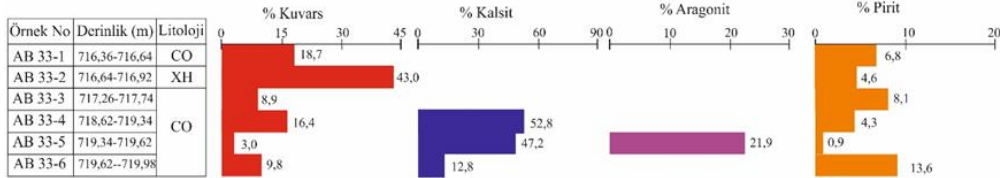
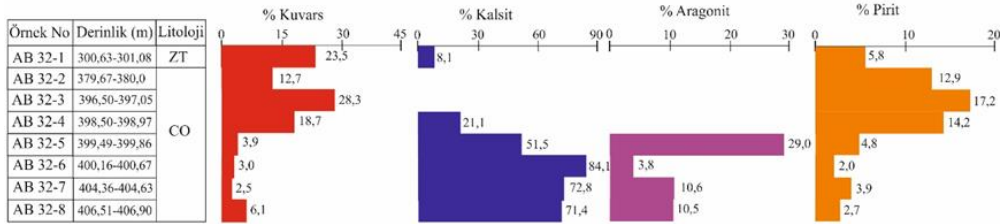
Şekil 5.7. AB-32 nolu sondajdan alınan kömür ve kömürlü siltaşı (AB32-1) örneklerinin XRD-TK difraktogramları (Ilt/Mc:İllit/Mika, Kln:Kaolinit, Cl=Kil min., Gp:Jips, Arg: Aragonit, Qz:Kuars, Fsp:Feldspat, Cal:Kalsit, Py:Pirit).



Şekil.5.8. AB-33 nolu sondajdan alınan kömür ve karbonlu şeyl (AB33-2) örneklerinin XRD-TK difraktogramları (Ill/Mc:İllit/Mika, Kln:Kaolinit, Cl=Kil min., Gp:Jips, Arg: Aragonit, Anh: Anhidrit, Qz:Kuvars, Felds:Feldispat, Cal:Kalsit, Py:Pirit).

Çizelge 5.6. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlarda XRD-TK analizleri tanımlanan mineraller.

Örnek No	Derinlik (m)	Tanımlama	Kuvars	Kalsit	Aragonit	Pirit	Kil Mineralleri	Feldispat Mineralleri	Dolomit	Jips	Anhidrit
AB32-1	300,63-301,08	Kömürlü Silttaşı (ZT)	23,5	8,1		5,8	50,5	10,8		1,3	
AB32-2	379,67-380,00	Kömür	12,7			12,9	74,4				
AB32-3	396,5-397,05	Kömür	28,3			17,2	49,5			5,0	
AB32-4	398,5-398,97	Kömür	18,7	21,1		14,2	39,3			6,7	
AB32-5	399,49-399,86	Kömür	3,9	51,5	29,0	4,8	9,6			1,2	
AB32-6	400,16-400,67	Kömür	3,0	84,1	3,8	2,0	7,1				
AB32-7	404,36-404,63	Kömür	2,5	72,8	10,6	3,9	7,6			2,6	
AB32-8	406,51-406,90	Kömür	6,1	71,4	10,5	2,7	9,3				
AB33-1	716,36-716,64	Kömür	18,7			6,8	45,5	21,1	5,7		2,2
AB33-2	716,64-716,92	Karbonlu Şeyl (XH)	43,0			4,6				26,8	25,6
AB33-3	717,26-717,74	Kömür	8,9			8,1	55,3	8,1		5,1	14,5
AB33-4	718,62-719,34	Kömür	16,4	52,8		4,3				12,5	14,0
AB33-5	719,34-719,62	Kömür	3,0	47,2	21,9	0,9	2,9		20,9		3,2
AB33-6	719,62-719,98	Kömür	9,8	12,8		13,6	63,8				



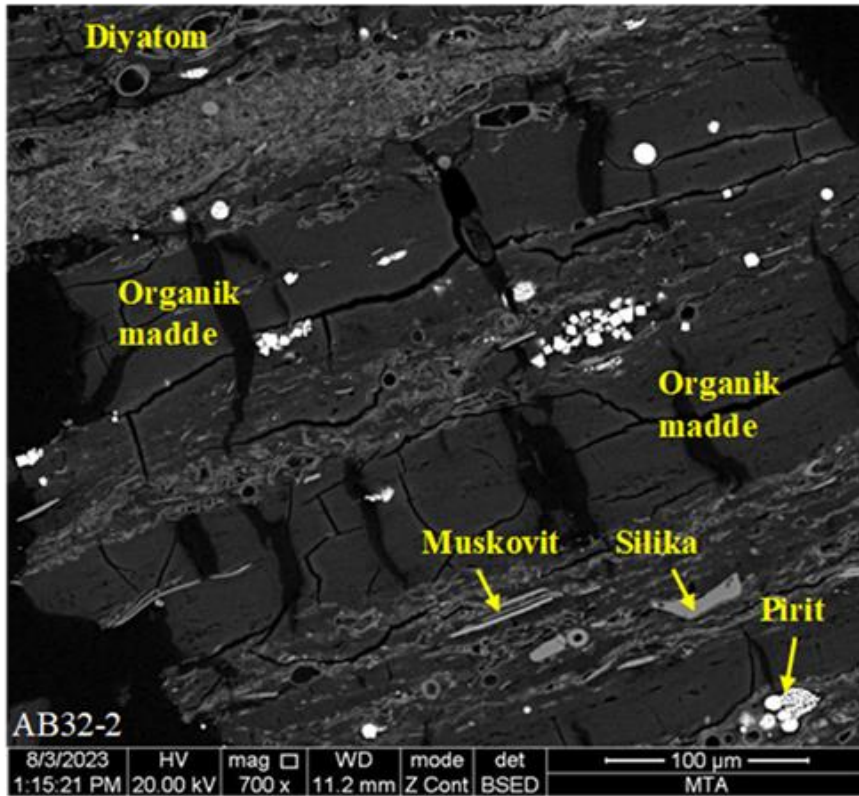
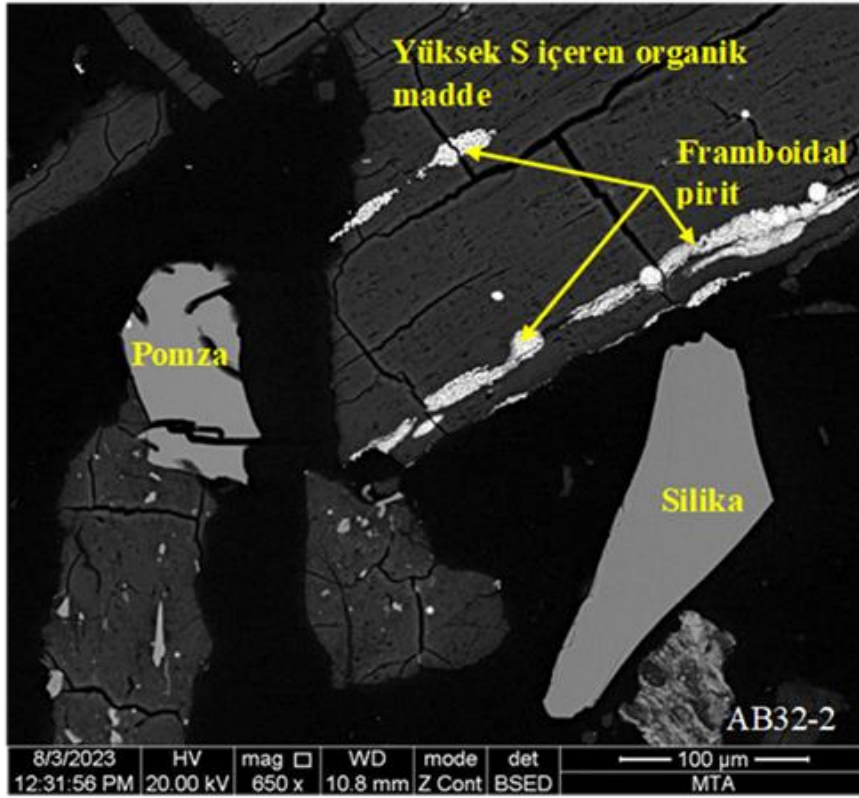
Şekil 5.9. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örneklerinde XRD-TK yardımıyla tanımlanan minerallerin yarı-kantitatif yüzde değerlerinin sondaj derinliğine göre değişimleri.

### 5.3.2. Kömür Örneklerinin SEM-EDS Analizleri

Tez kapsamında element analiz sonuçları dikkate alınarak AB-32 nolu sondajdan alınan bir adet örnek (AB32-2) ile AB-33 nolu sondajdan alınan iki örneğin (AB33-4 ve 5) parlak kesitleri üzerinde SEM-EDS analizleri yapılmıştır. Karbonla kaplanmış parlak kesitler üzerinde SEM-EDS çalışmaları, XRD-TK yardımıyla tanımlanan minerallerin bileşimlerinin belirlenmesi ve kömürlerde var olabilecek mikron boyutundaki minerallerin tanımlanmasını ve bileşimlerinin incelenmesini amaçlamaktadır. Diğer taraftan, SEM-EDS çalışmaları yardımıyla örneklerde tanımlanan minerallerin oluşum modlarına da yaklaşımda bulunulmuştur. Bu çalışmalar sırasında XRD-TK yardımıyla tanımlanan mineraller, SEM-EDS çalışmalarıyla da tanımlanmıştır. Tez kapsamında üç adet kömür parlak kesitinde yapılan SEM-EDS çalışmalarından örnek görüntüleri, örneklere göre gruplandırılarak Şekil 5.10-5.38’de sunulmuştur. Ayrıca, SEM-EDS yardımıyla tanımlanan minerallerin, oluşum modlarının yorumlamaları da Şekil 5.39’da verilmiştir. İncelenen örneklerde XRD-TK yardımıyla tanımlanan mineraller, SEM-EDS çalışmalarıyla da tanımlanmıştır. İncelenen üç adet kömür örneğinin organik maddesi üzerinde yapılan SEM-EDS çalışmaları, organik maddenin yüksek-çok yüksek oranda S ve çok az/iz oranda Ca, Mg, Al içerdiğini göstermektedir (örneğin Şekil 5.12 ve 5.21). Organik maddenin yüksek-çok yüksek S içermesi nedeniyle incelenen örnekler son derece ilginç gözükmektedir. Diğer taraftan incelenen örneklerde framboidal ve tekli pirit taneleri ile silikalar neredeyse saf bileşimlidirler.

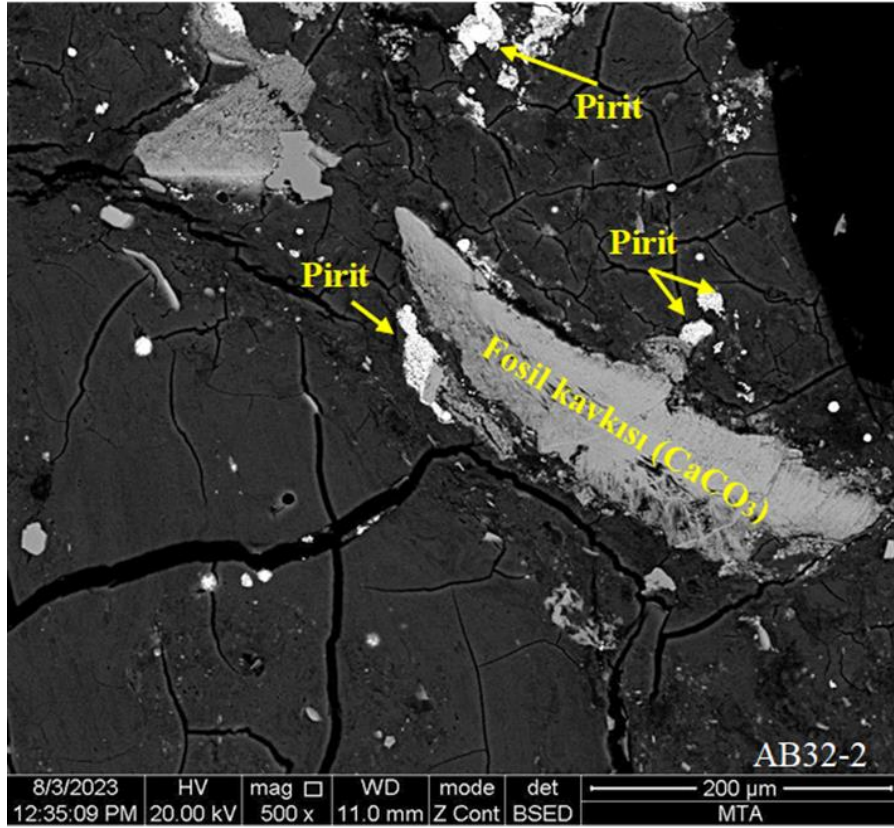
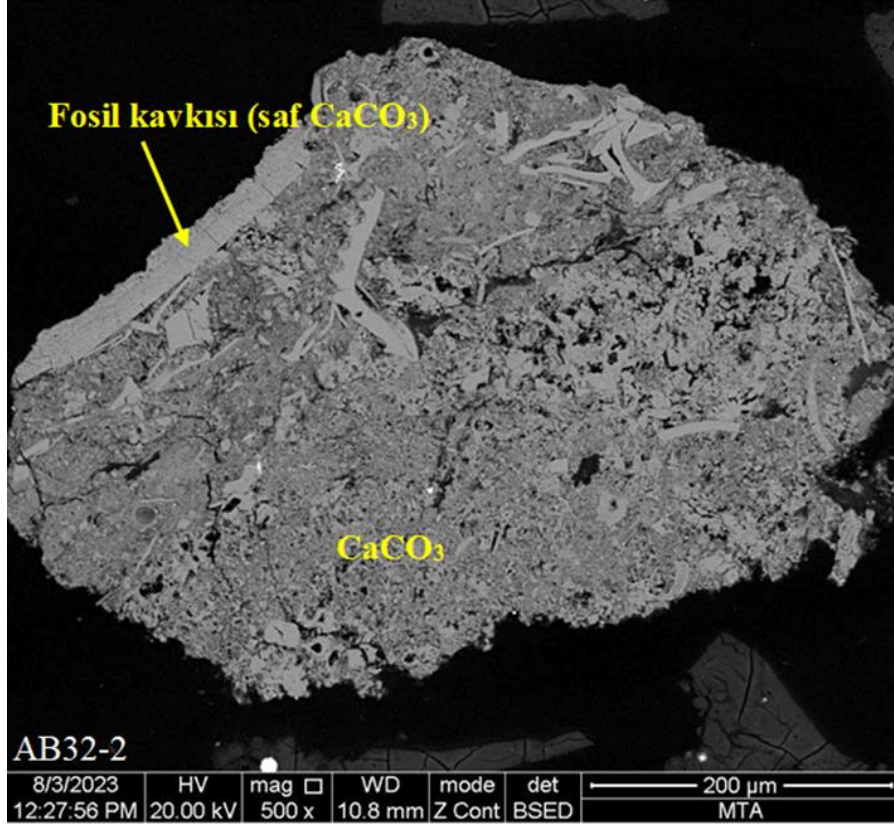
Tez kapsamında kömür örneklerinin parlak kesitleri üzerinde yapılan SEM-EDS çalışmaları sırasında ülkemiz kömürlerinde rutin olarak tanımlanan mineraller (örneğin silika, karbonat mineralleri, kil mineralleri, pirit vb.) dışında ilginç olarak örneklerde sinjenetik oluşmuş pomza parçaları, diyatom kavkıları ile epijenetik oluşmuş jips/anhidrit, barit ve sölestin oluşumları tanımlanmıştır. Ülkemiz kömürlerinde pomza (volkanik cam kıymıkları) parçaları (örneğin Kangal kömürleri; Kangal ve Çayırhan kömürlerinde de daha önce tanımlanmıştır. Sölestin oluşumları ise Oskay ve Karayiğit (2023) tarafından Bozburun kömürlerinde tanımlanmış ve kökeni ayrıntılı tartışılmıştır. İncelenen kömürlerde nispeten öz şekilli pomza parçalarının varlığı ilginçtir ve bunların oluşumu aşağıda özetlenmiştir (Şekil 5.10, 5.13,5.14, 5.15, 5.25, 5.26, 5.27).



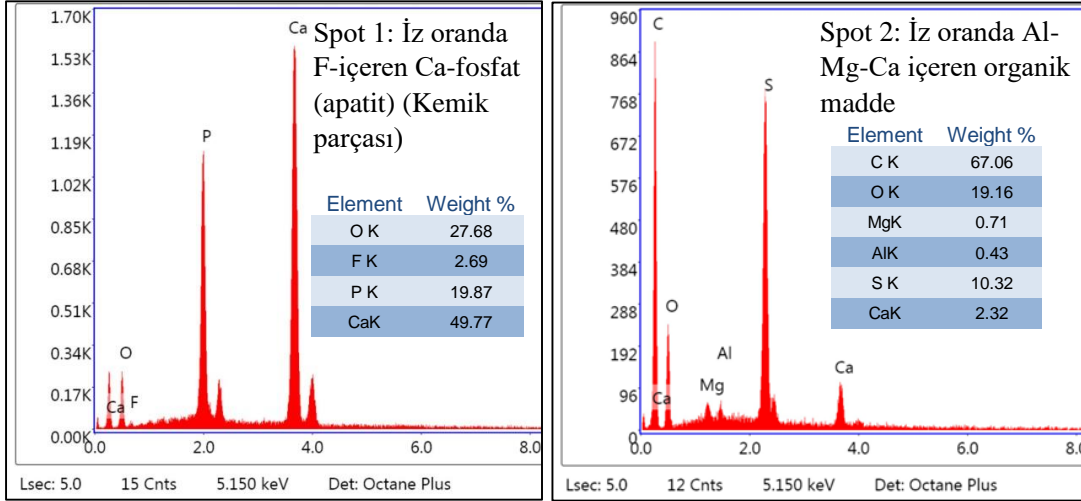
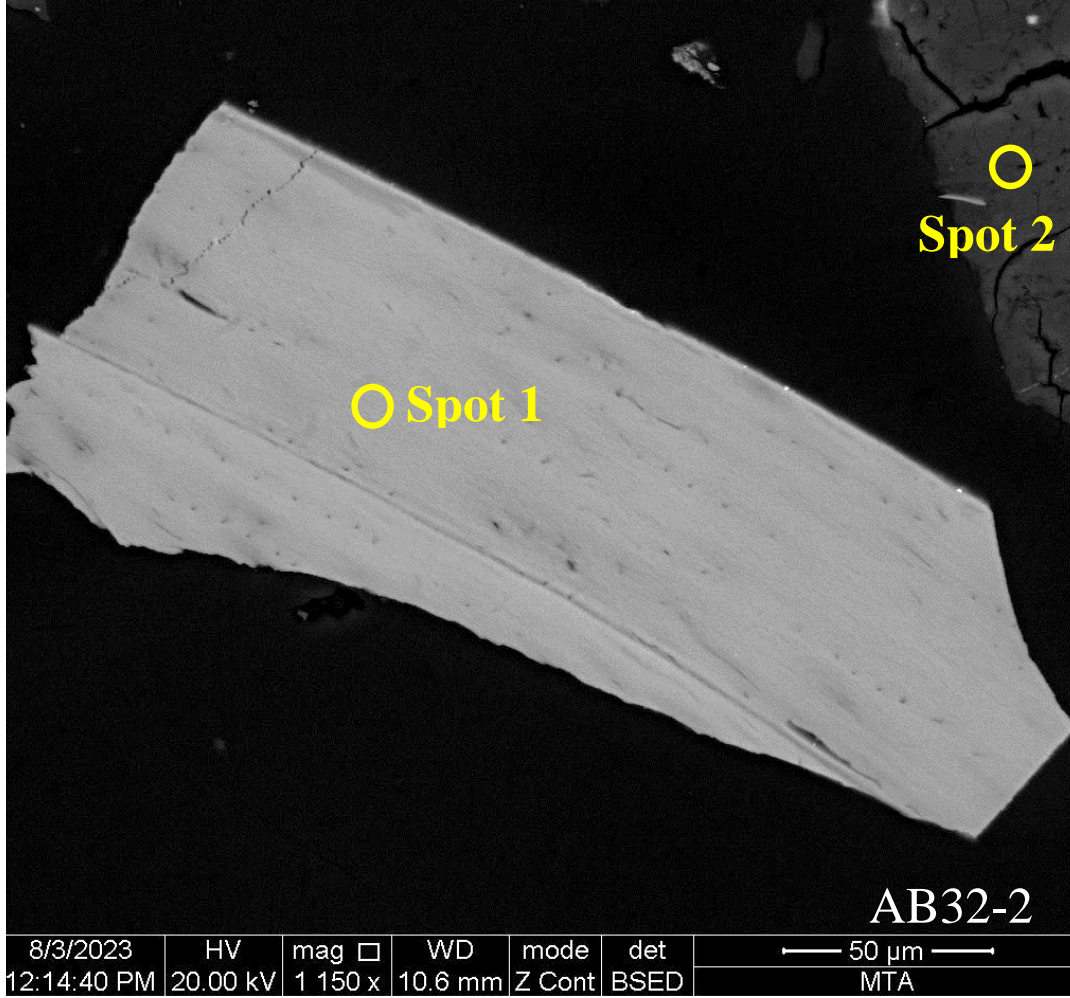


Şekil 5.10. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller, pomza parçaları, diyatom ve organik madde.



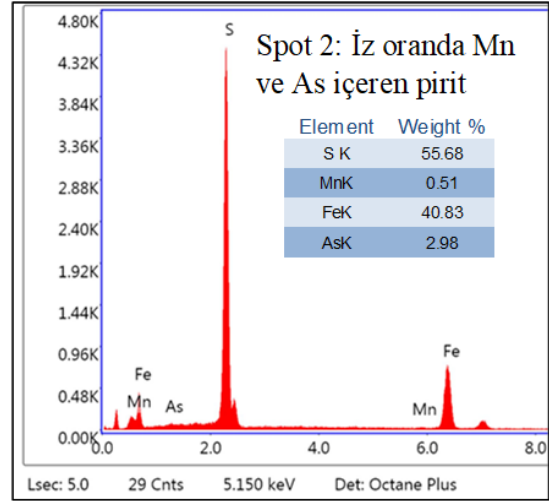
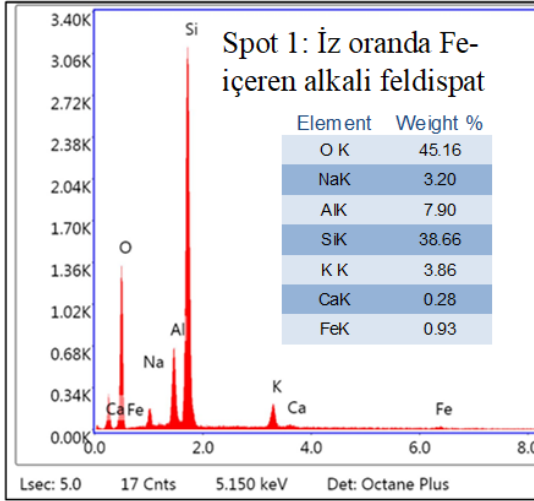
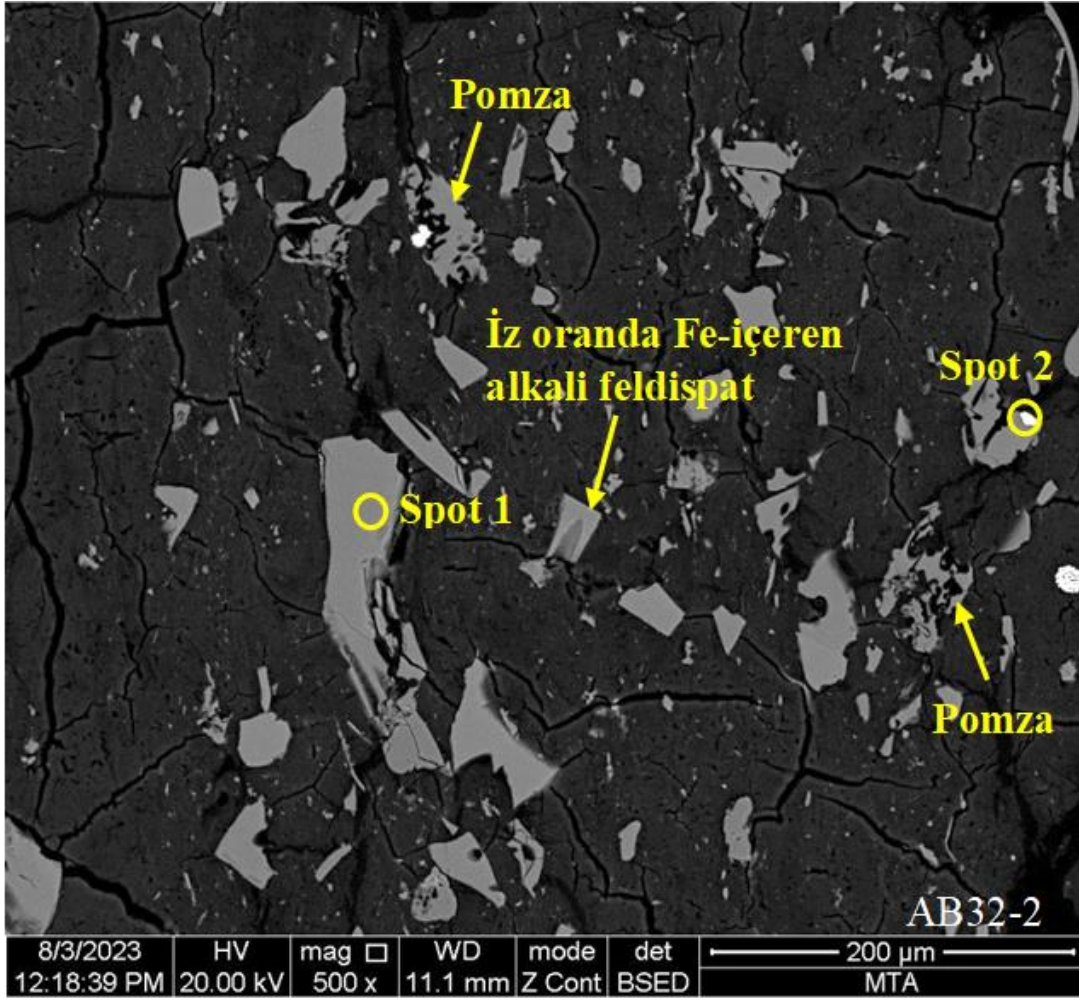


Şekil 5.11. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve fosil kavkıları.

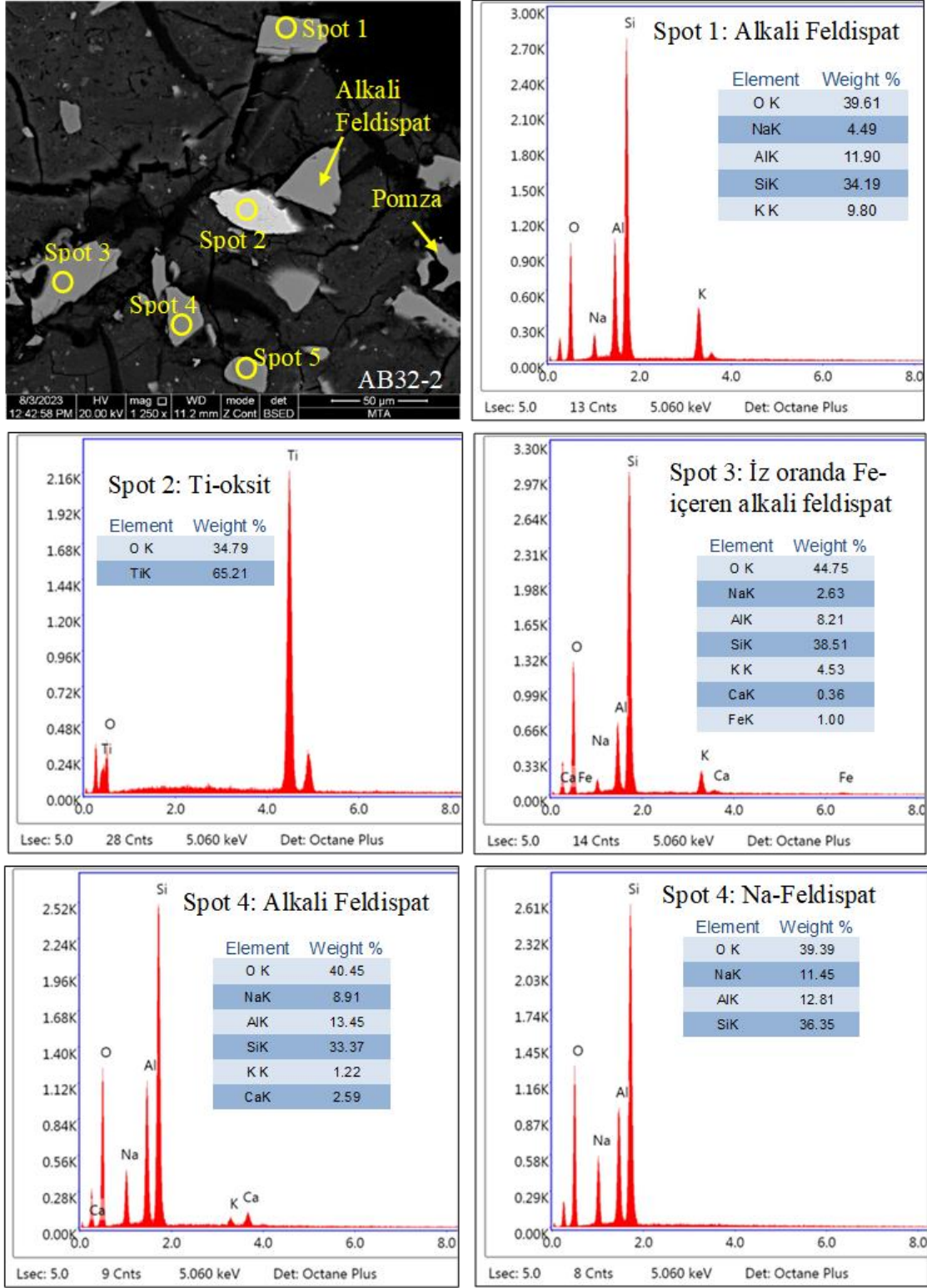


Şekil 5.12. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğın parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan kemik ve kömür ile bunların SEM-EDS bileşimleri

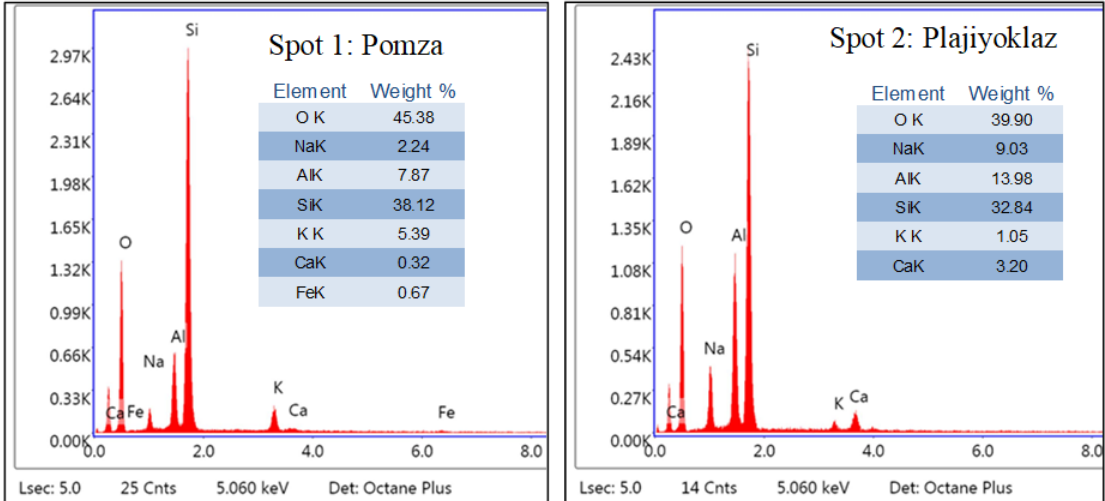
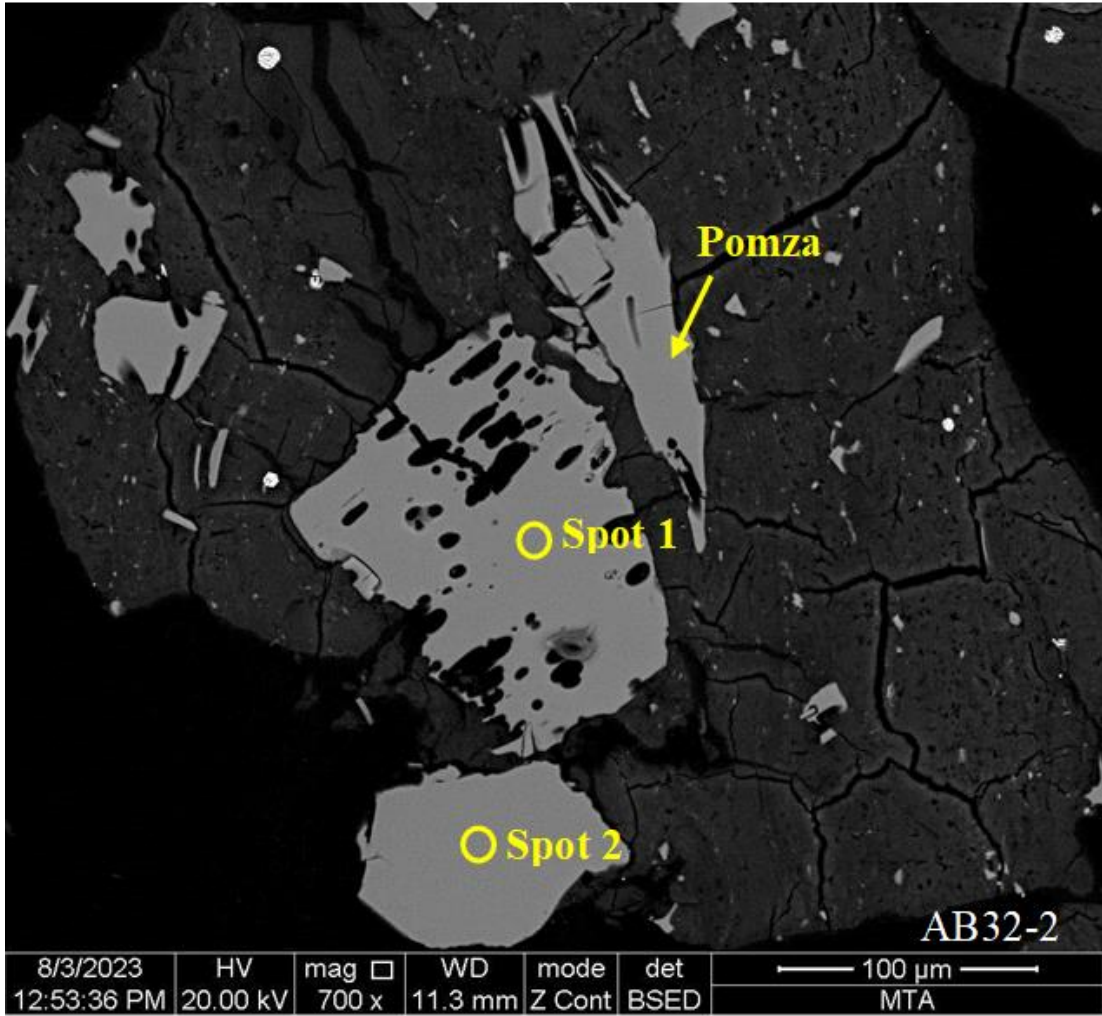




Şekil 5.13. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve SEM-EDS bileşimleri.

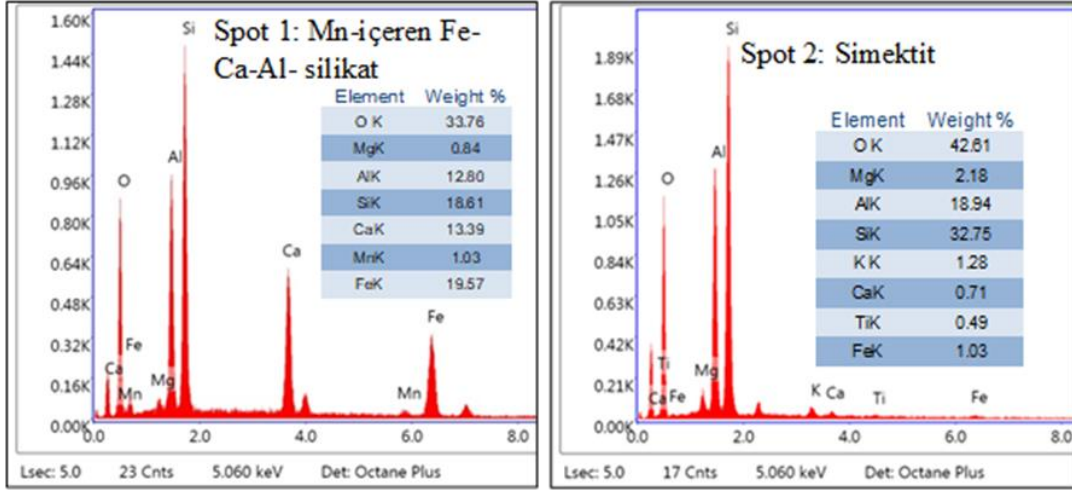
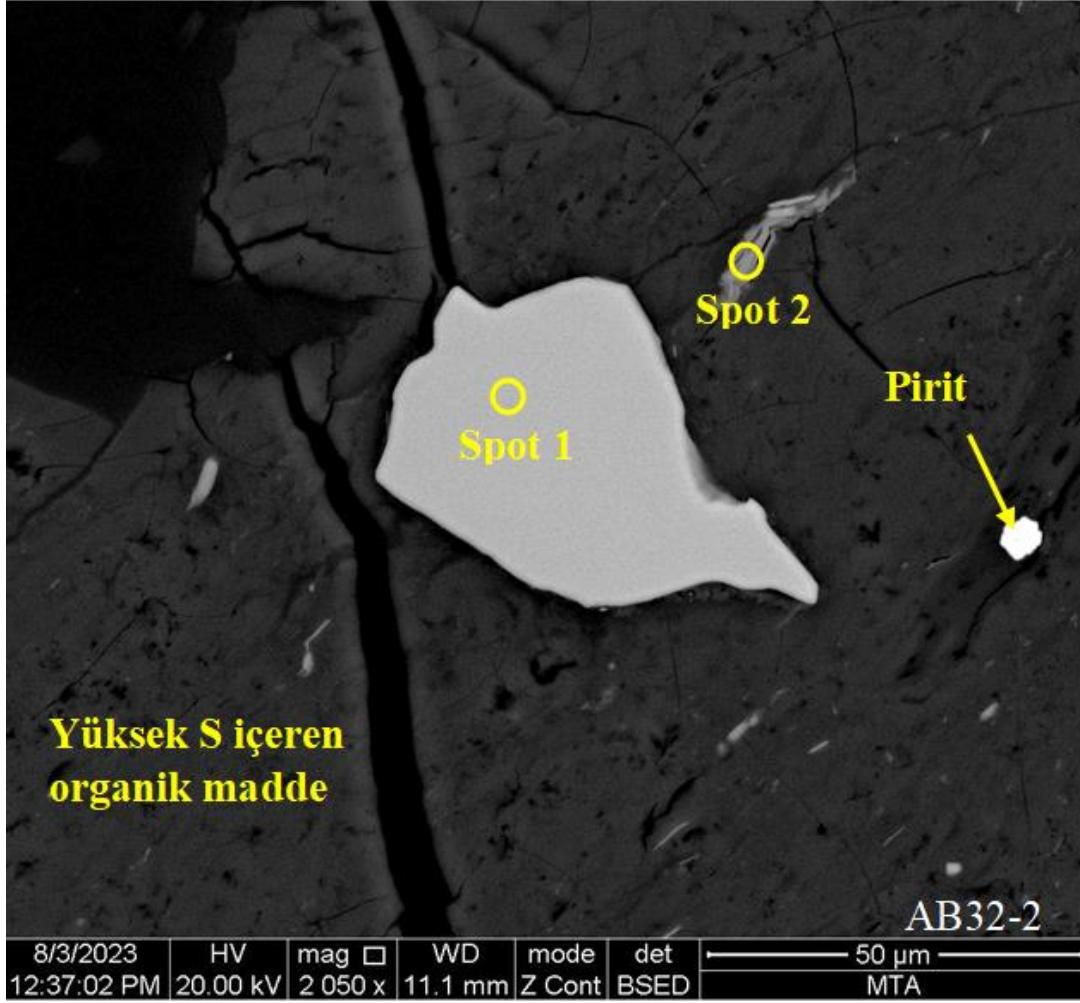


Şekil 5.14. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan pomza, feldispat mineralleri, Ti-oksit minerali ve SEM-EDS bileşimleri.

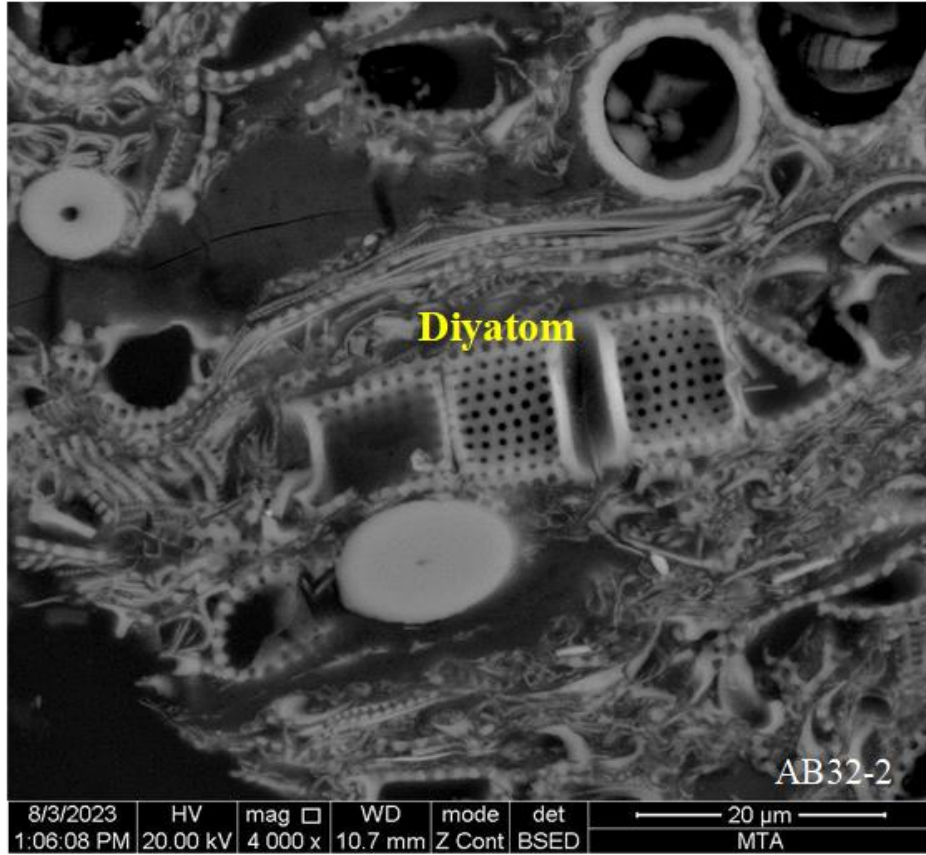


Şekil 5.15. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan pomza ve plajiyoklaz ile bunların SEM-EDS bileşimleri.



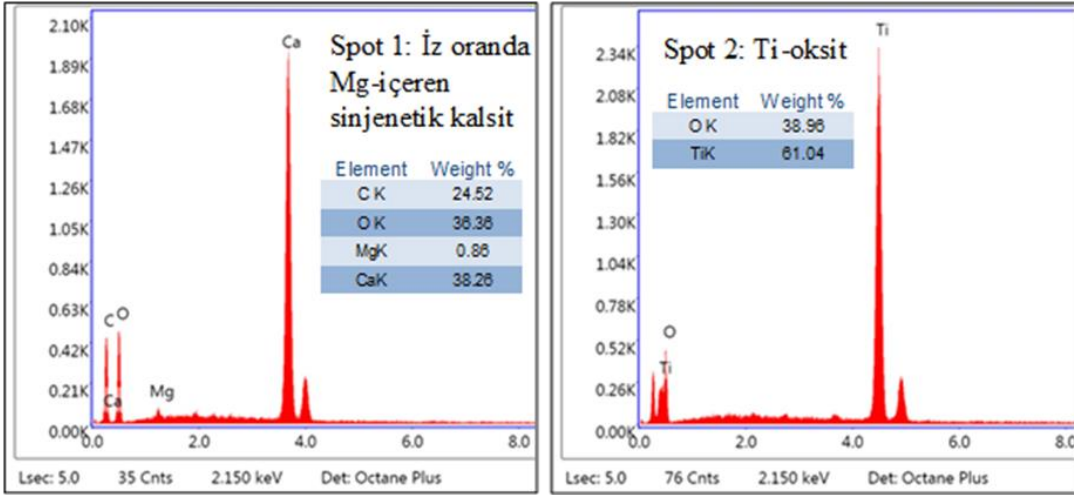
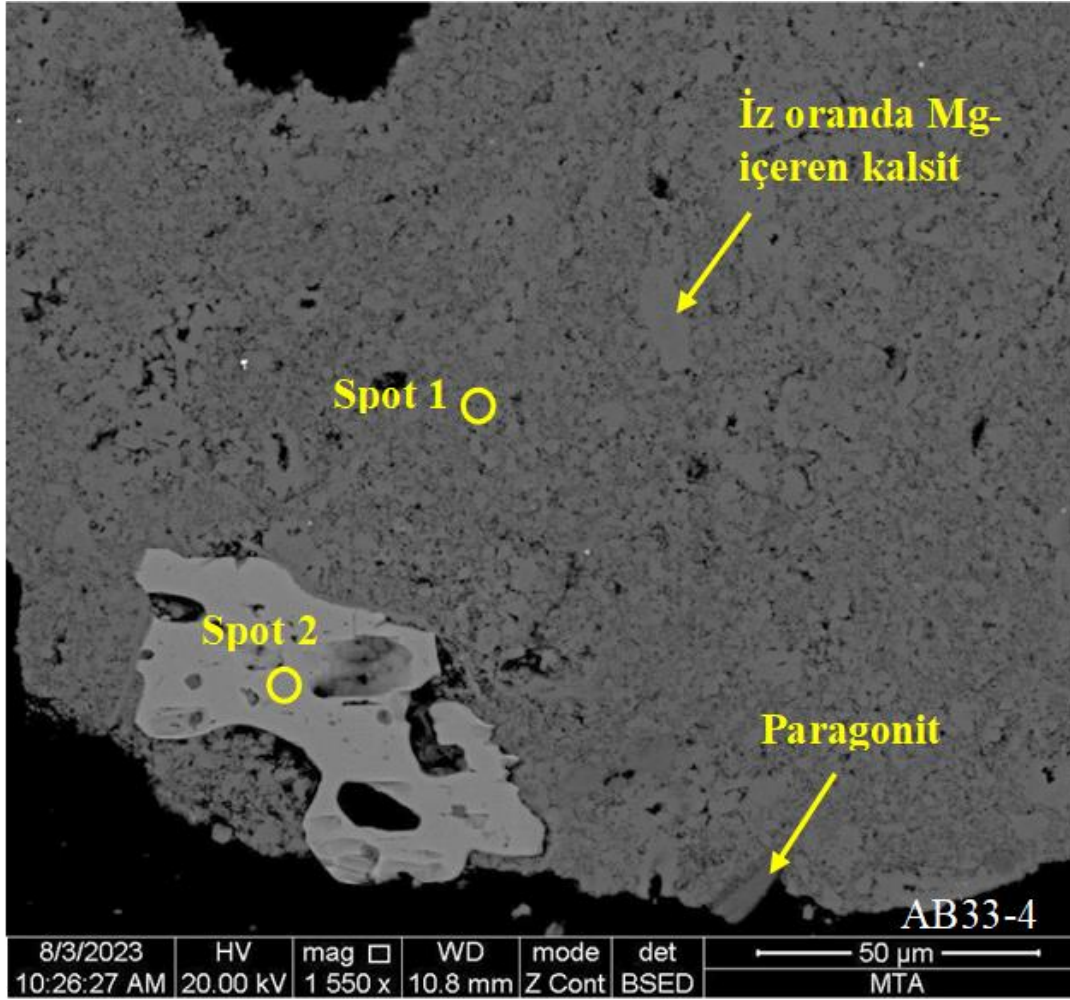


Şekil 5.16. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan pirit, Mn-içeren Fe-Ca-Al silikat, Simektit ile bunların SEM-EDS bileşimleri.

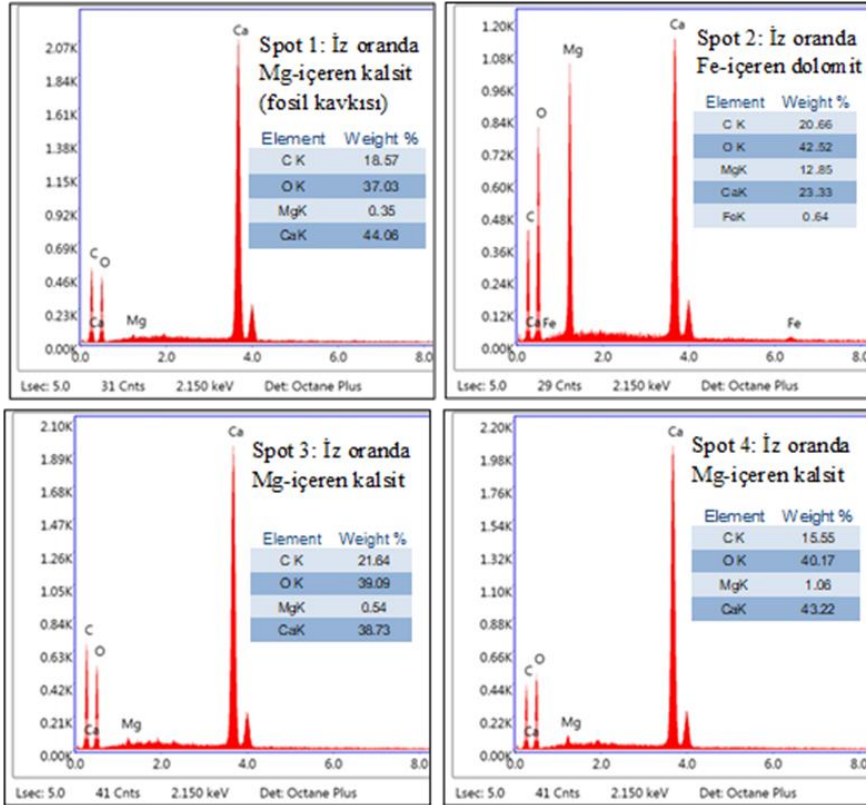
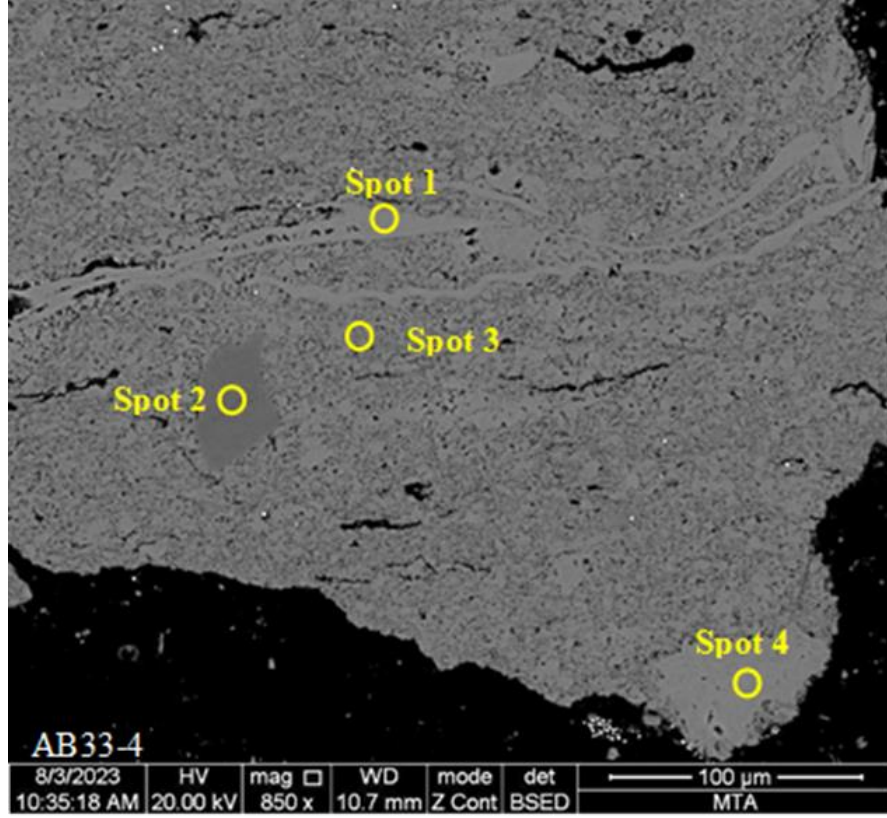


Şekil 5.17. Tez kapsamında AB32-2 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan diyatom kavkıları.

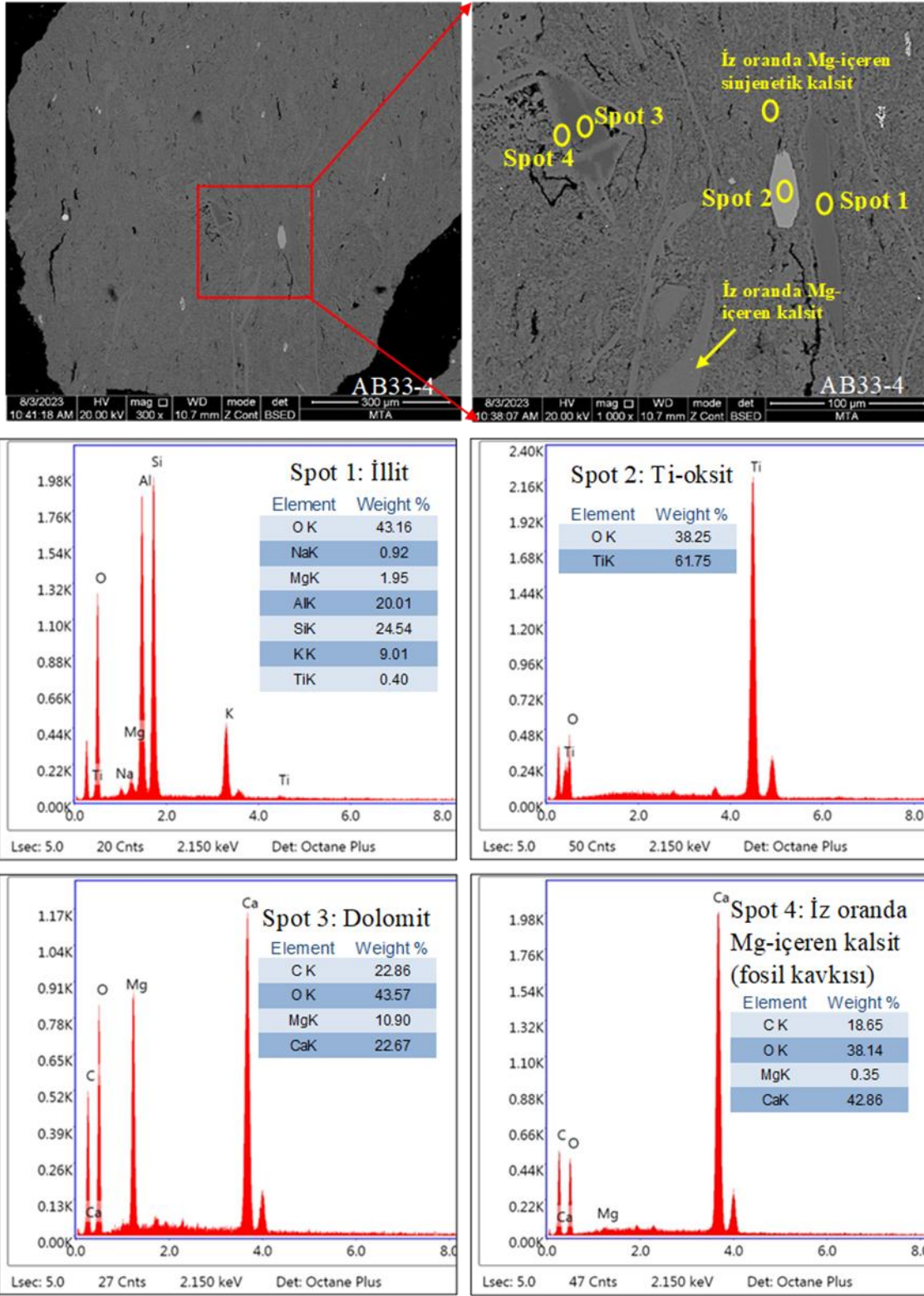




Şekil 5.18. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.

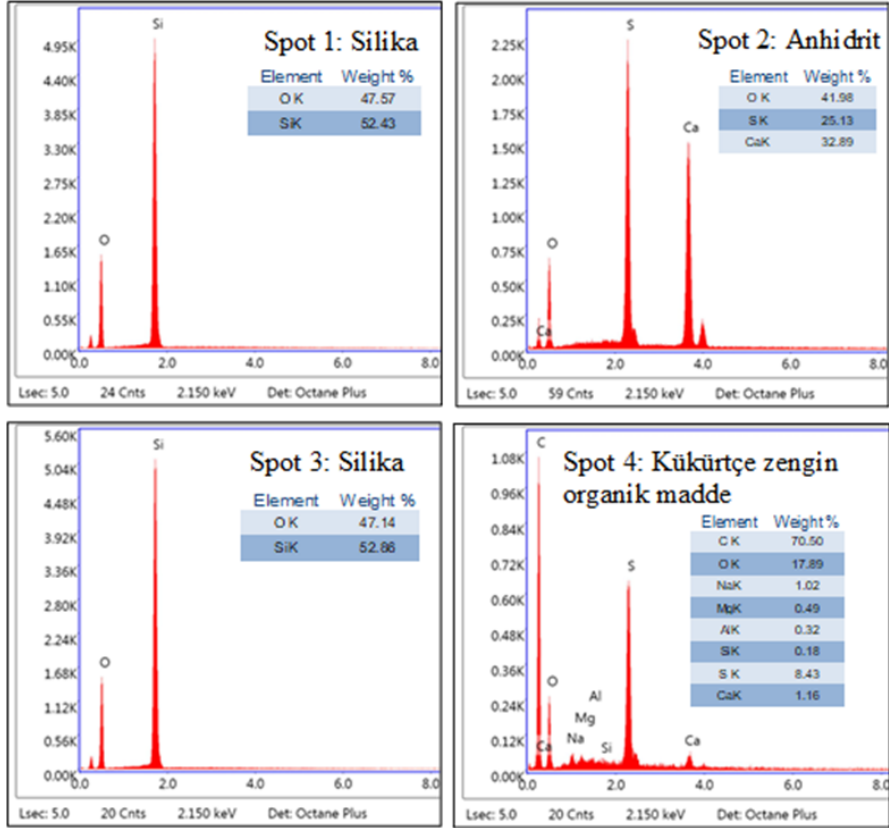
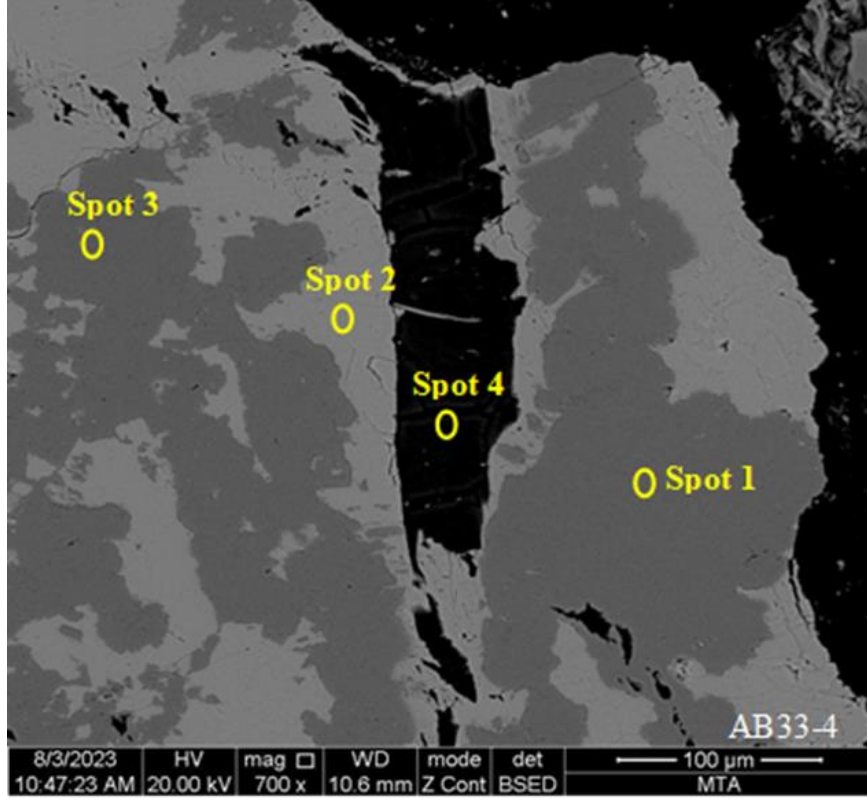


Şekil 5.19. Tez kapsamında AB32-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan kalsit, dolomit mineralleri ve bunların SEM-EDS bileşimleri.

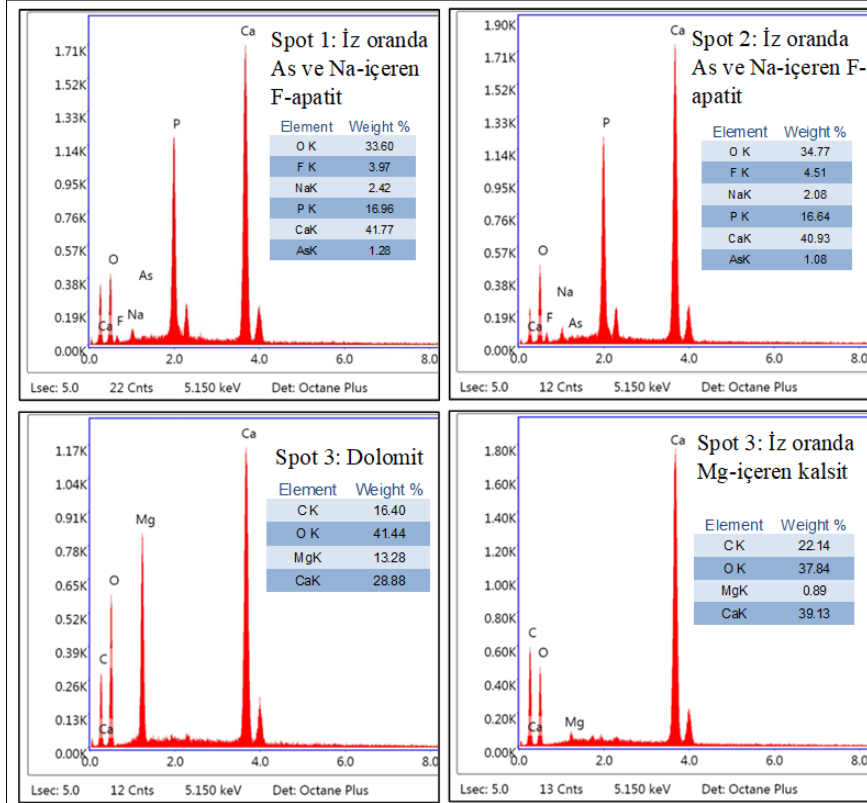
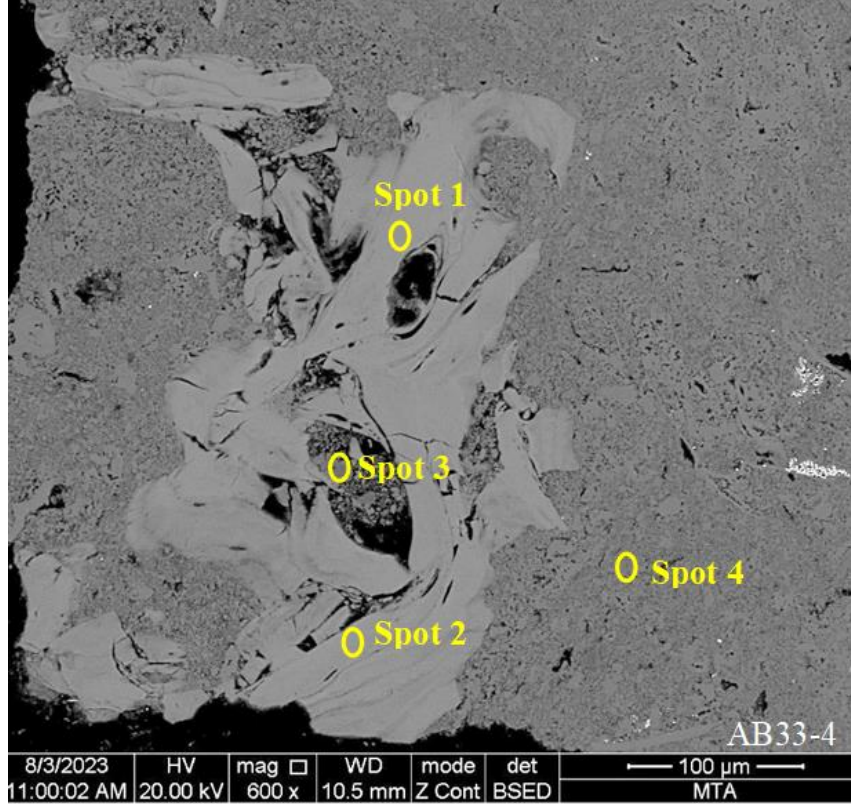


Şekil 5.20. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan fosil kavkısı, illit, dolomit ve Ti-oksit oluşumları ve bunların SEM-EDS bileşimleri.

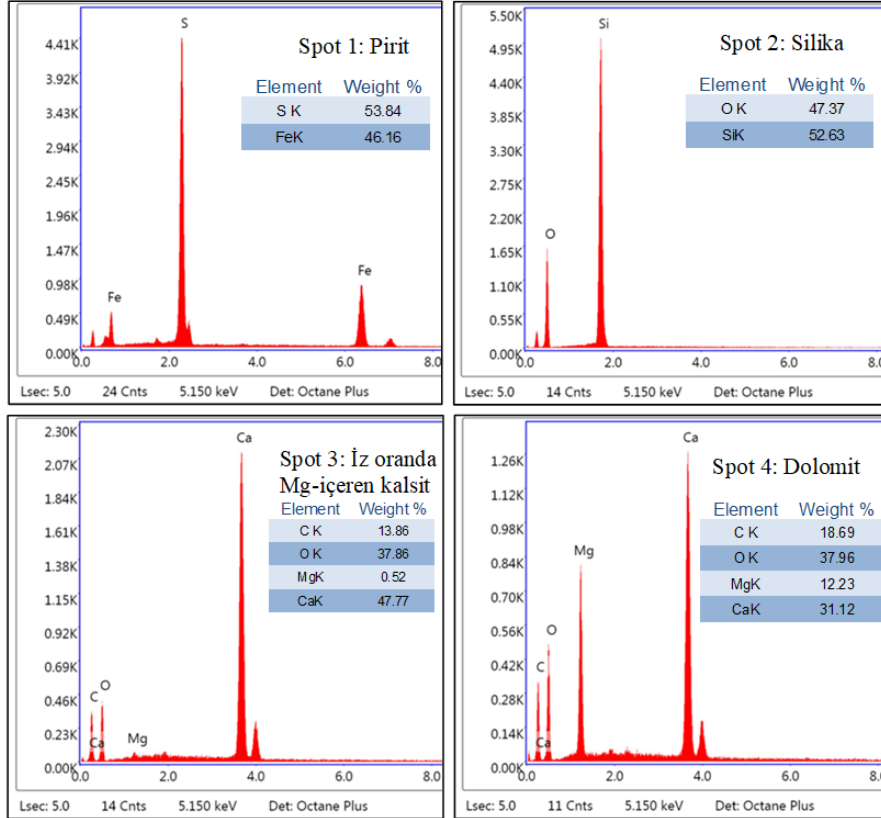
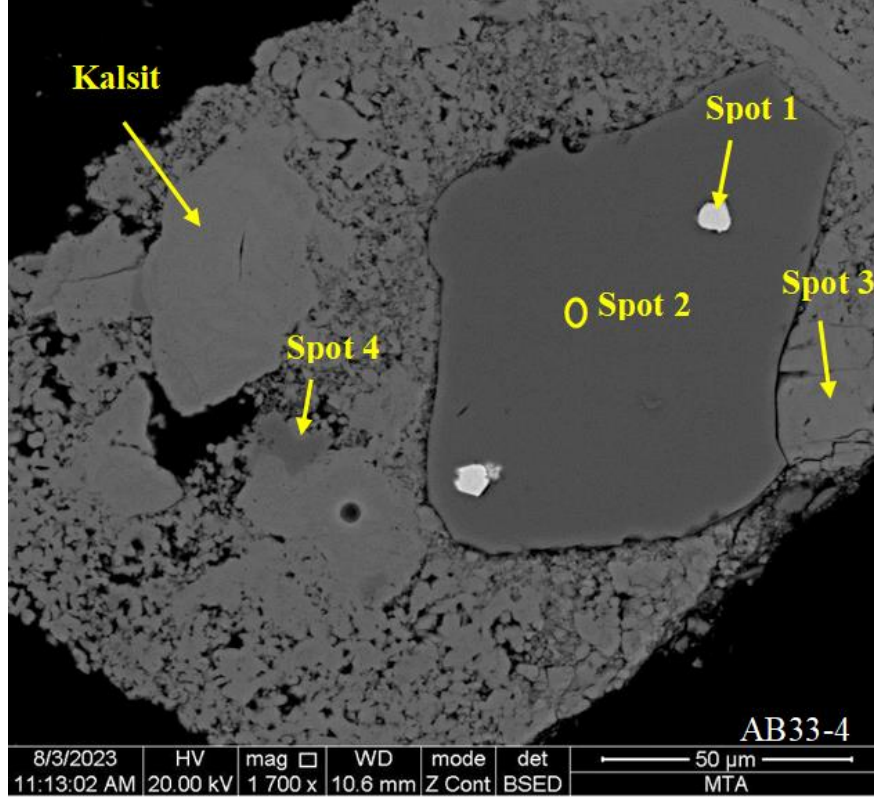




Şekil 5.21. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan kükürtçe zengin organik madde, silika ve anhidrit mineralleri ile bunların SEM-EDS bileşimleri.

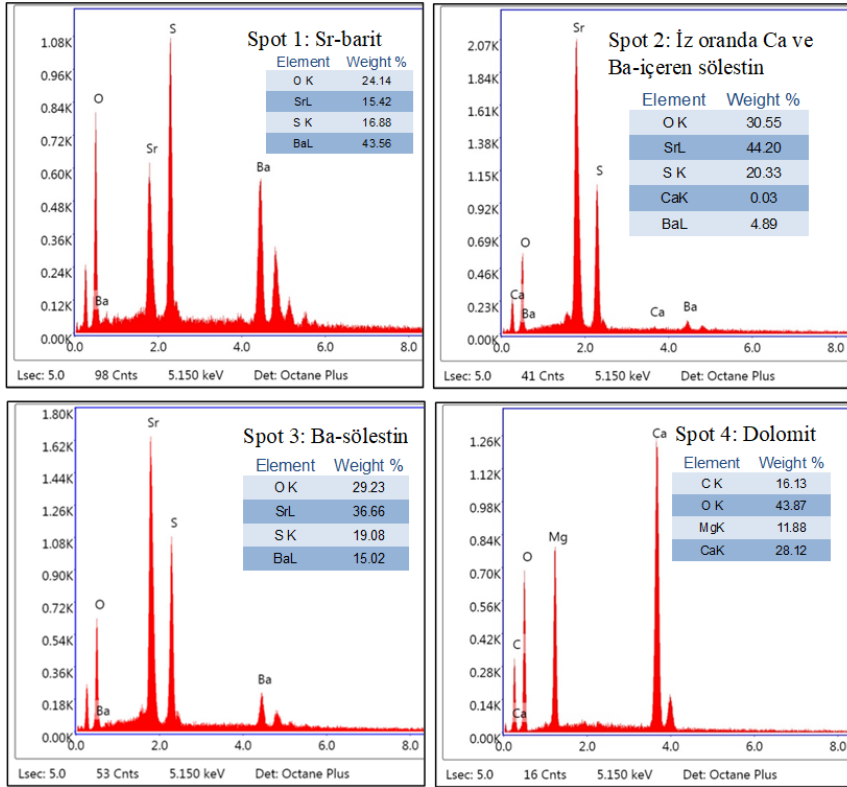
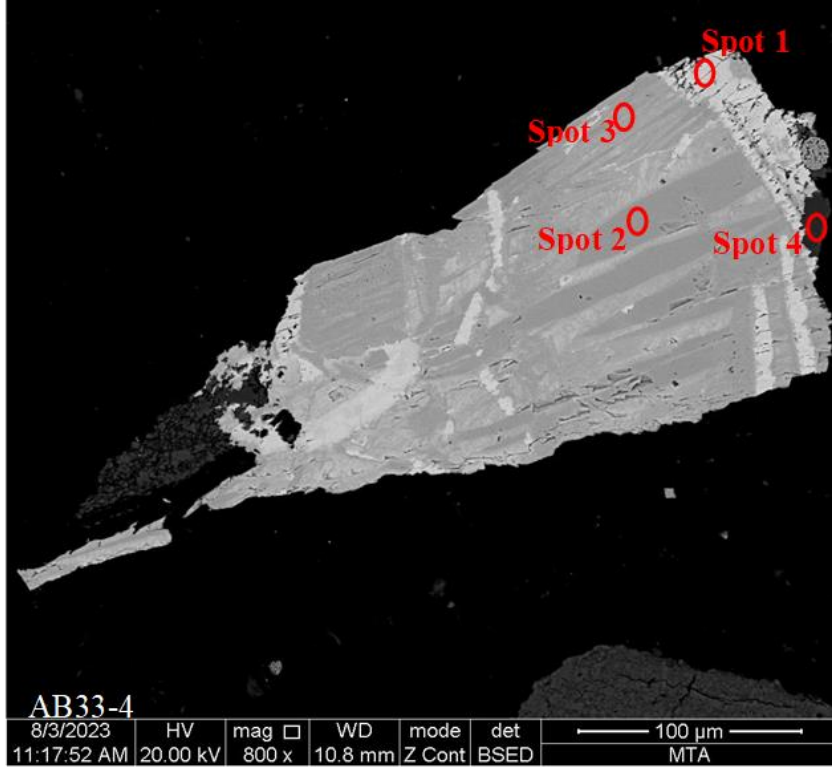


Şekil 5.22. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan iz oranda As ve Na-ıçeren F-apatit, dolomit ve iz oranda Mg-ıçeren kalsit mineralleri ve bunların SEM-EDS bileşimleri.

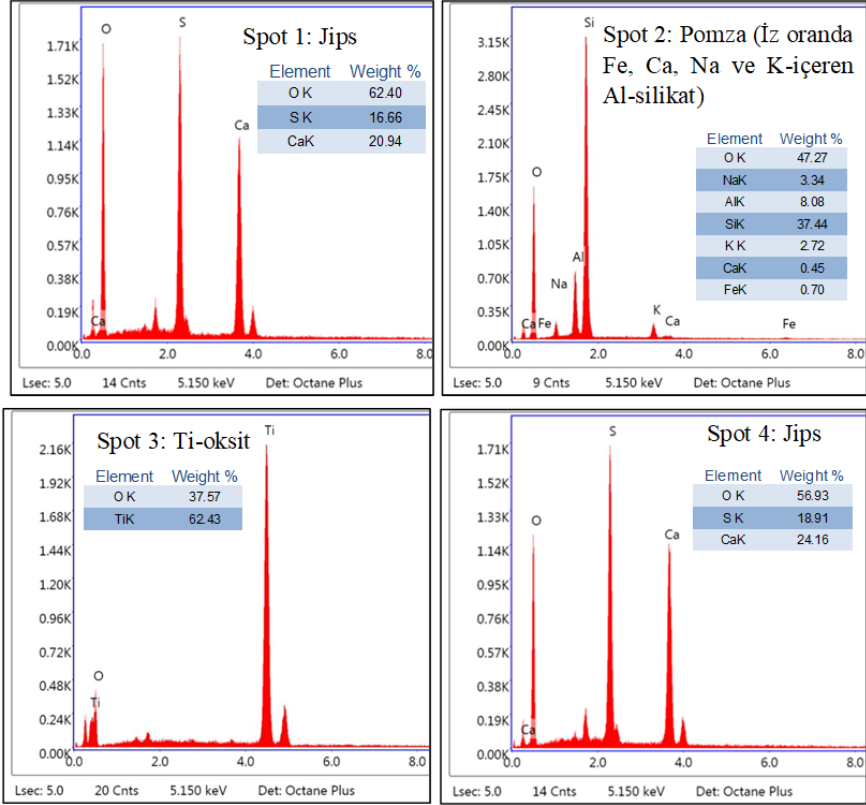
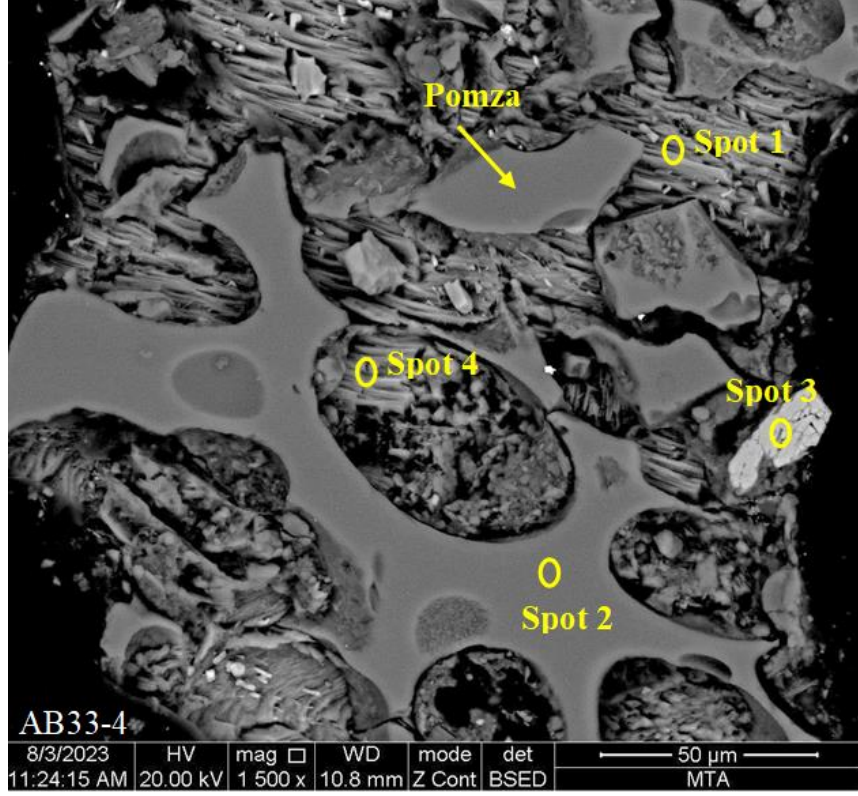


Şekil 5.23. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan pirit, silika, iz oranda Mg-içeren kalsit, dolomit mineralleri ile bunların SEM-EDS bileşimleri.

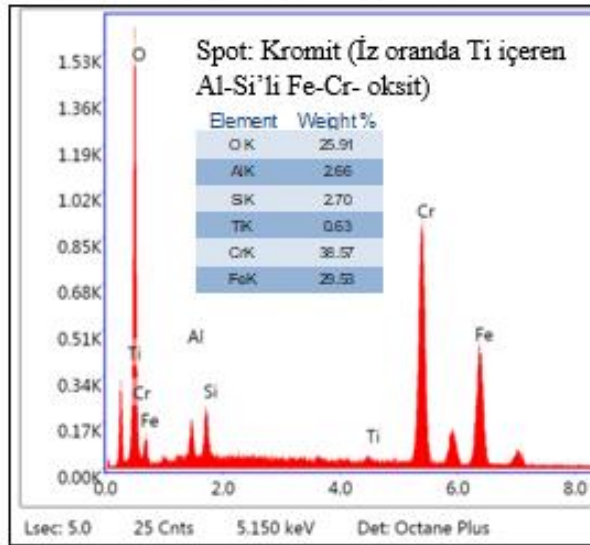
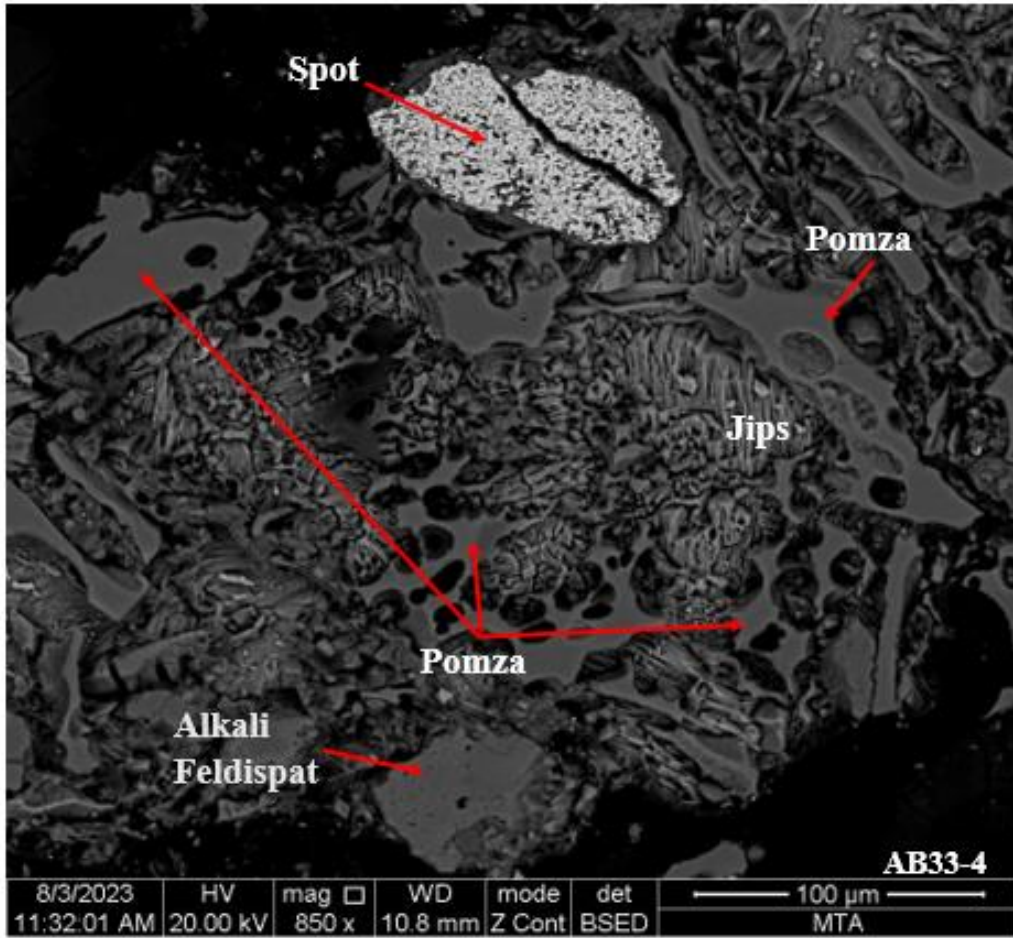




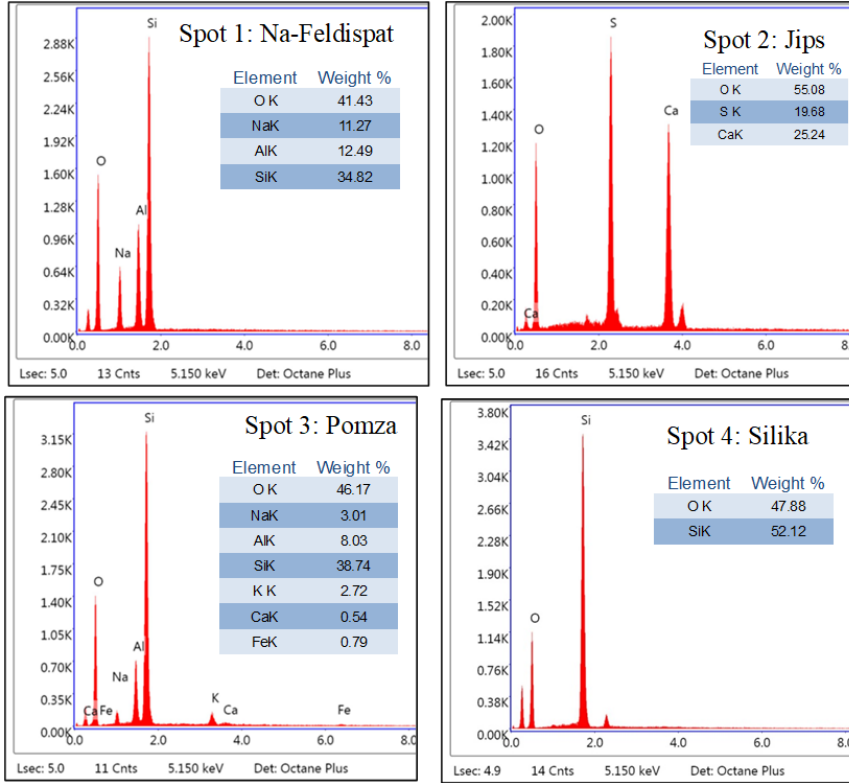
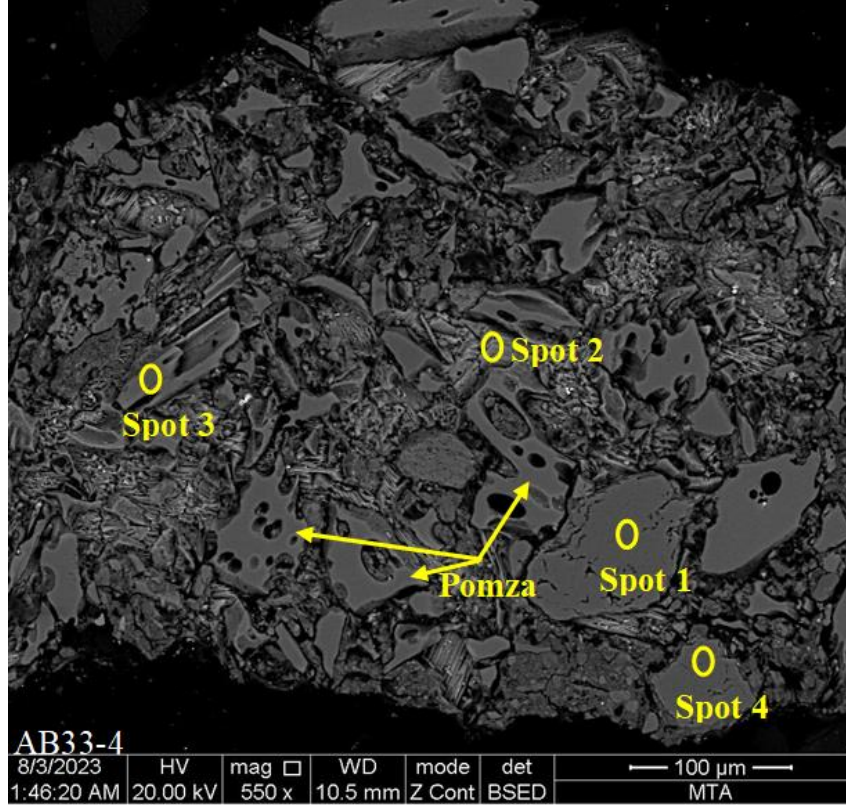
Şekil 5.24. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan Sr-barit, Ba-sölestin, iz oranda Ca ve Ba içeren-sölestin ve dolomit mineralleri ve bunların SEM-EDS bileşimleri.



Şekil 5.25. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.

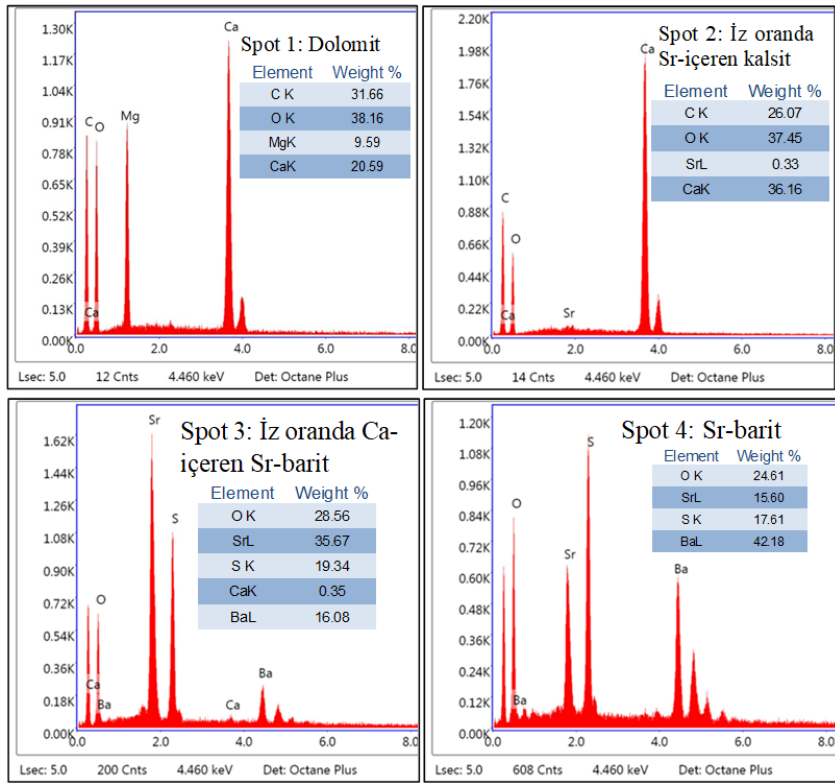
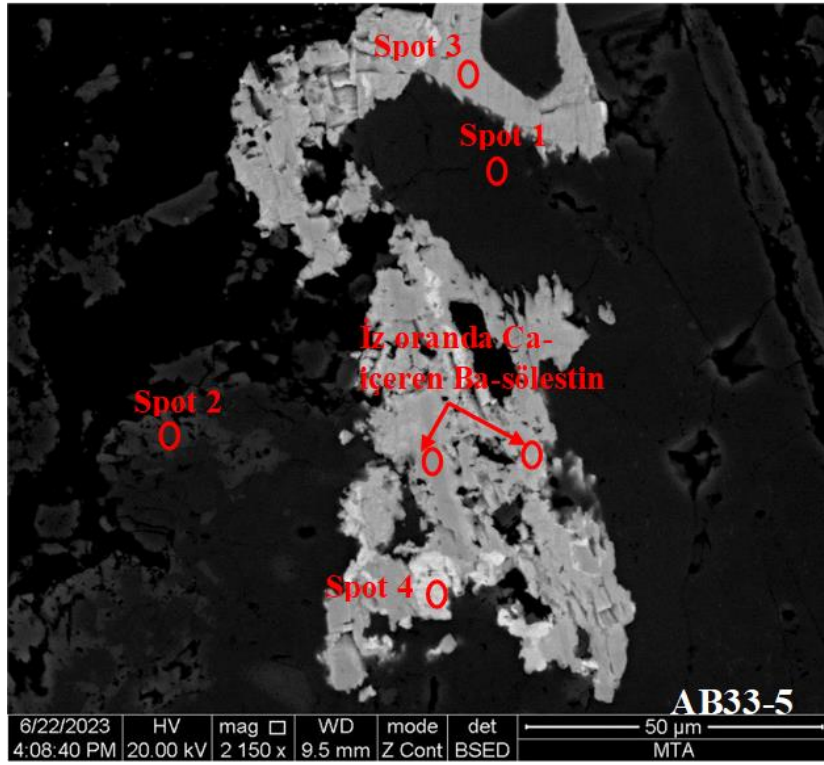


Şekil 5.26. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan jips, pomza, alkali feldispat ve kromit minerali ve SEM-EDS bileşimi.

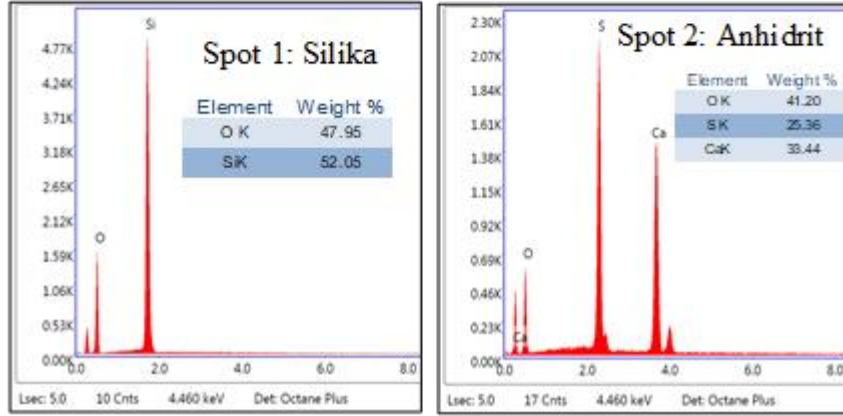
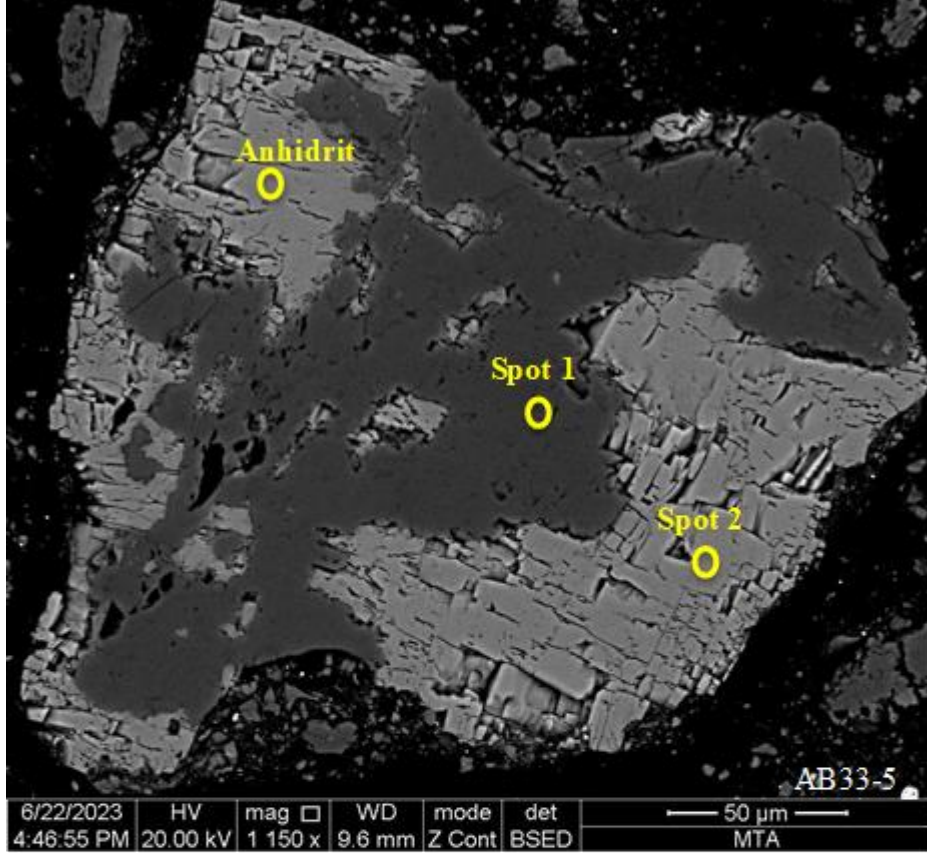


Şekil 5.27. Tez kapsamında AB33-4 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.



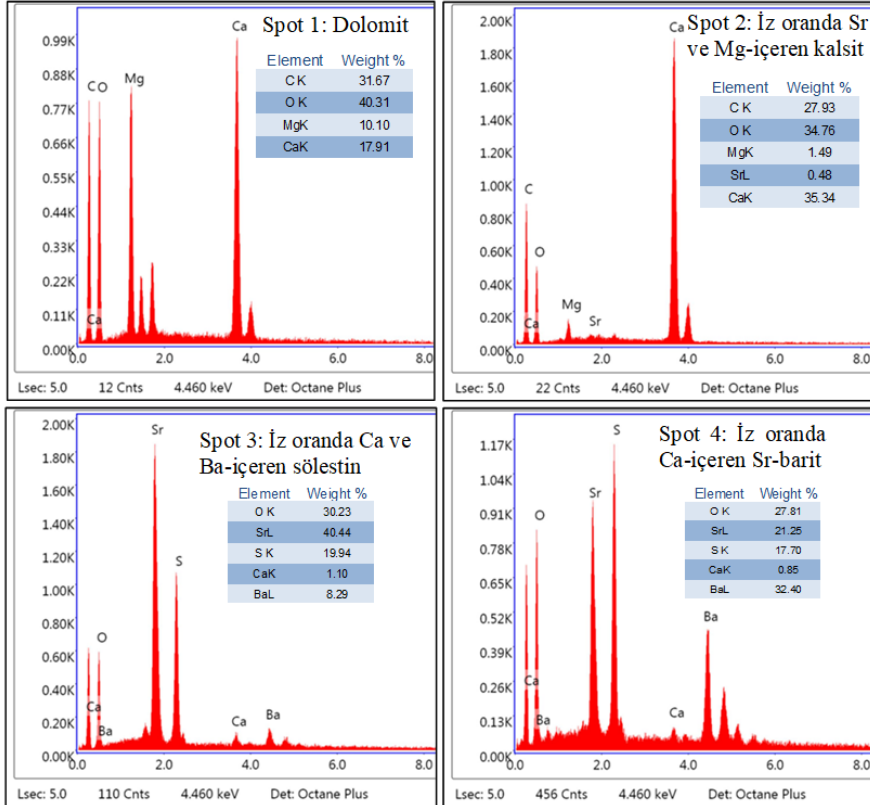
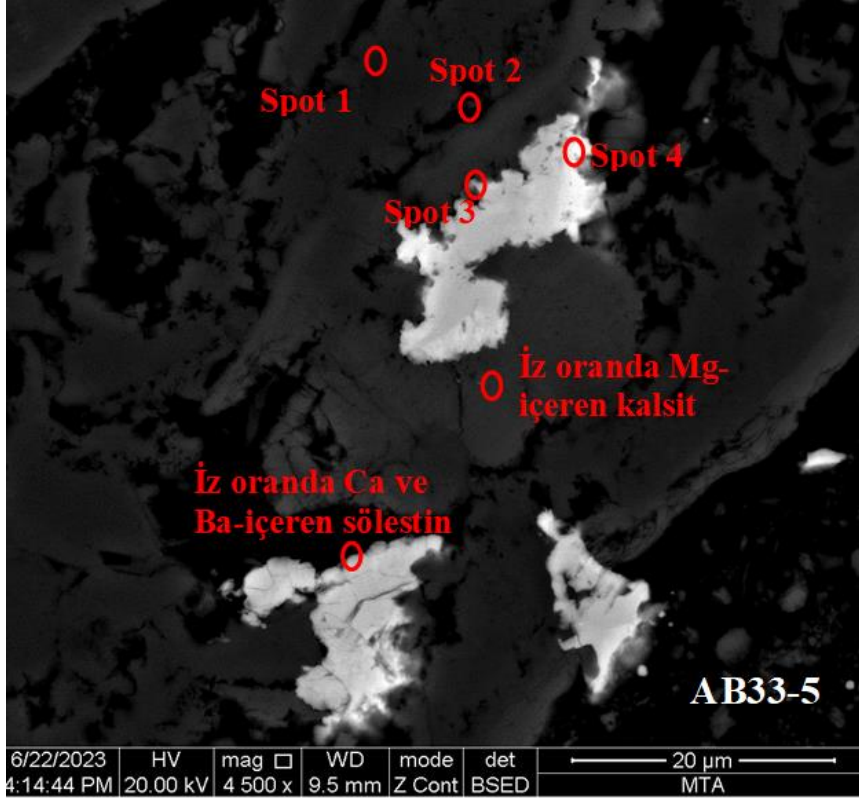


Şekil 5.28. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.

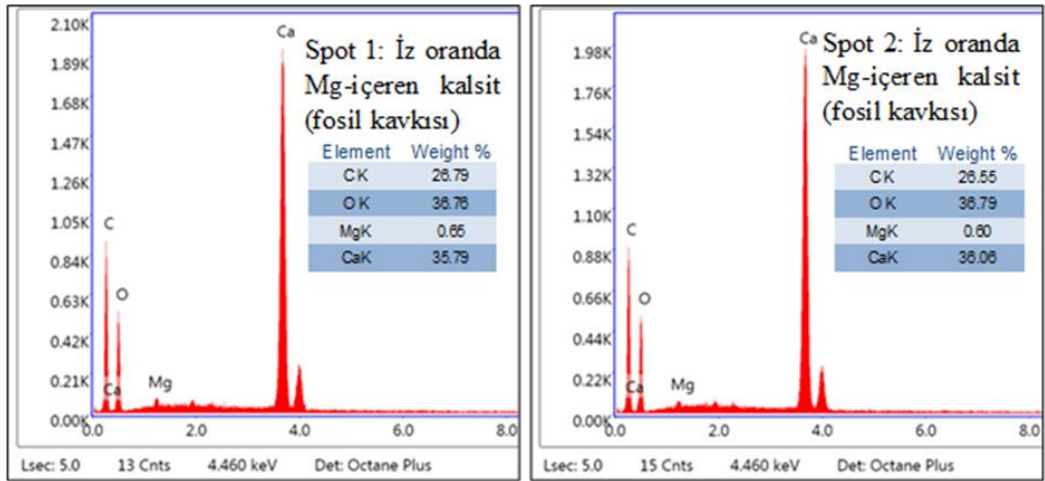
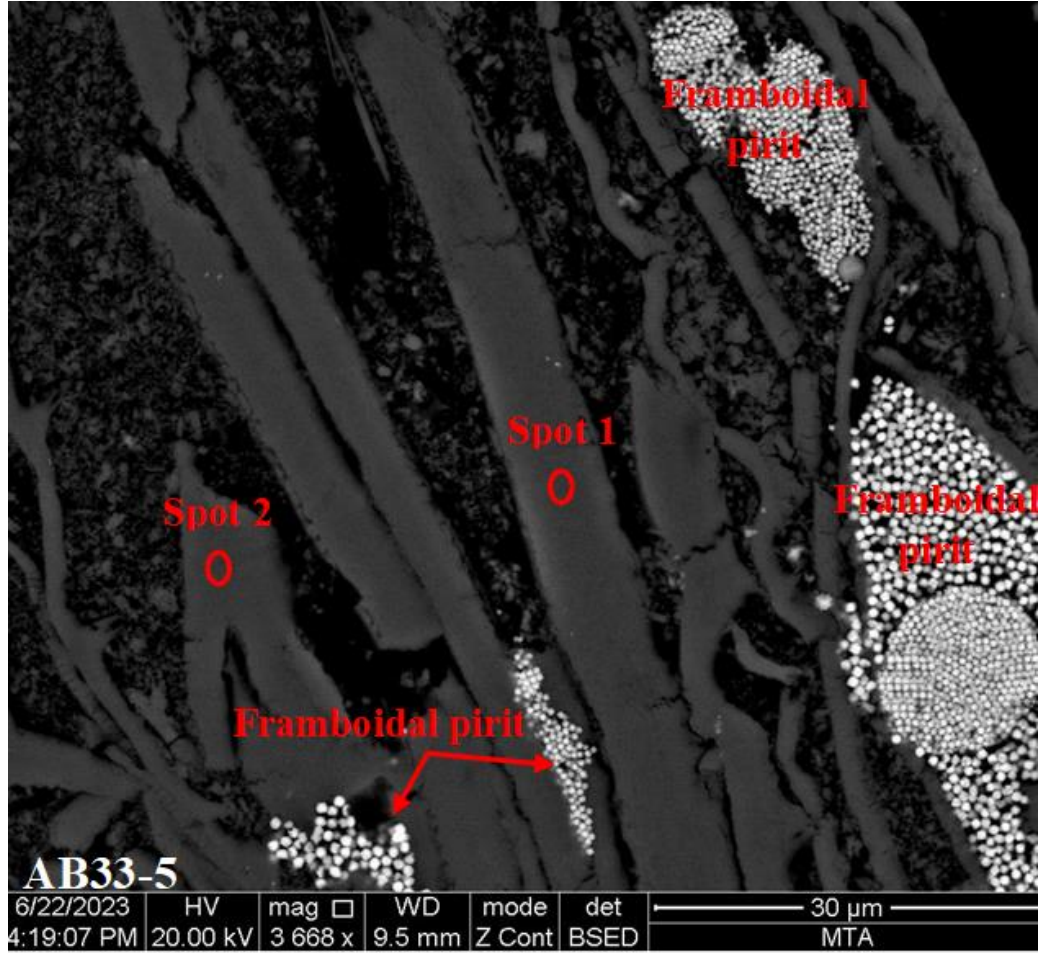


Şekil 5.29. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan silika ve anhidrit oluşumları ve bunların EDS bileşimleri.

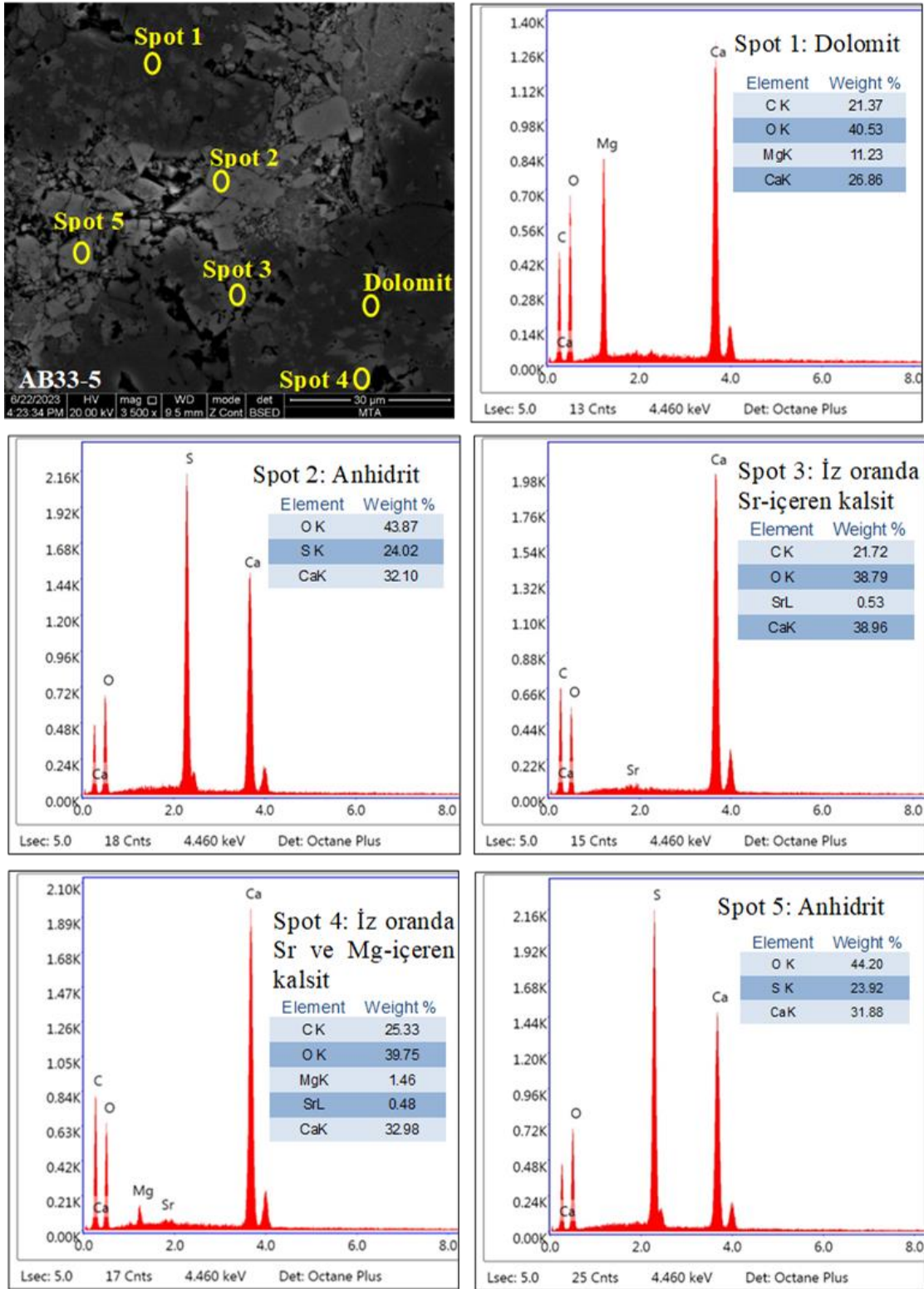




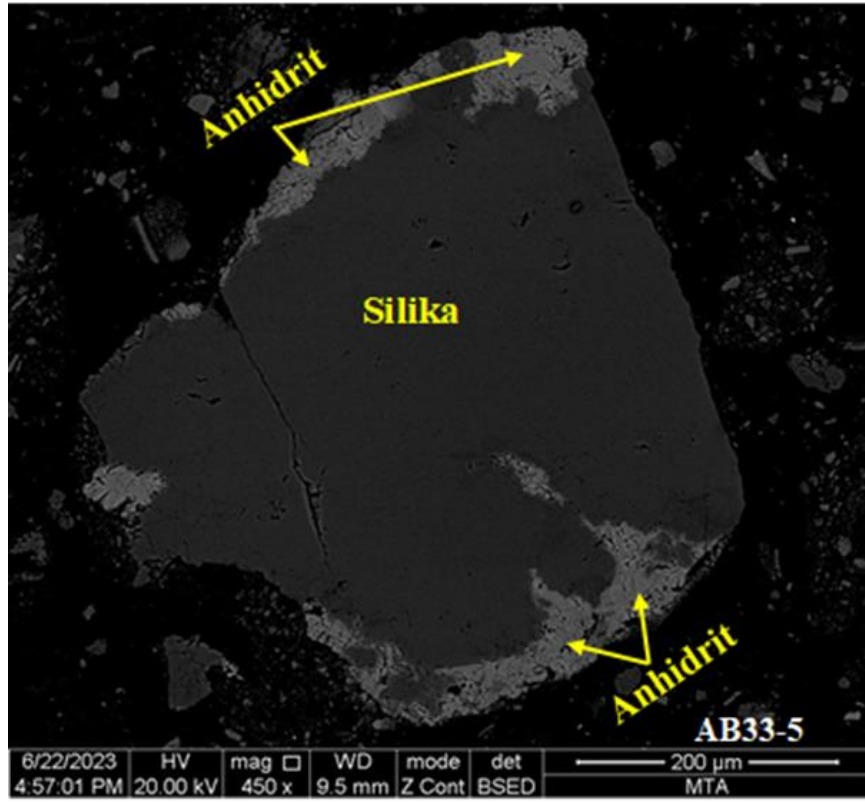
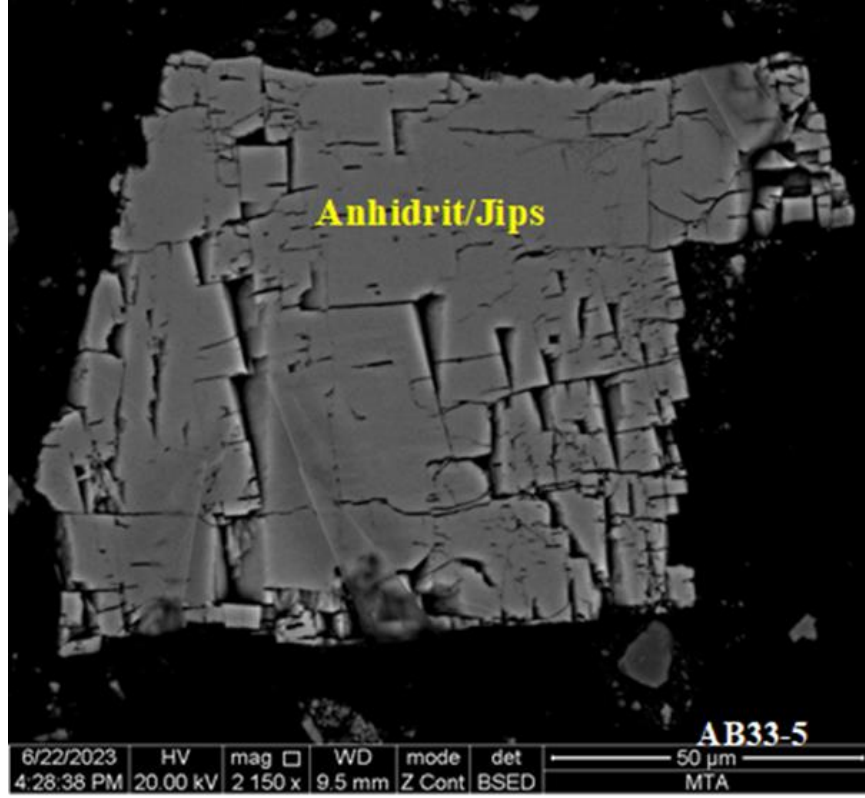
Şekil 5.30. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.



Şekil 5.31. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.

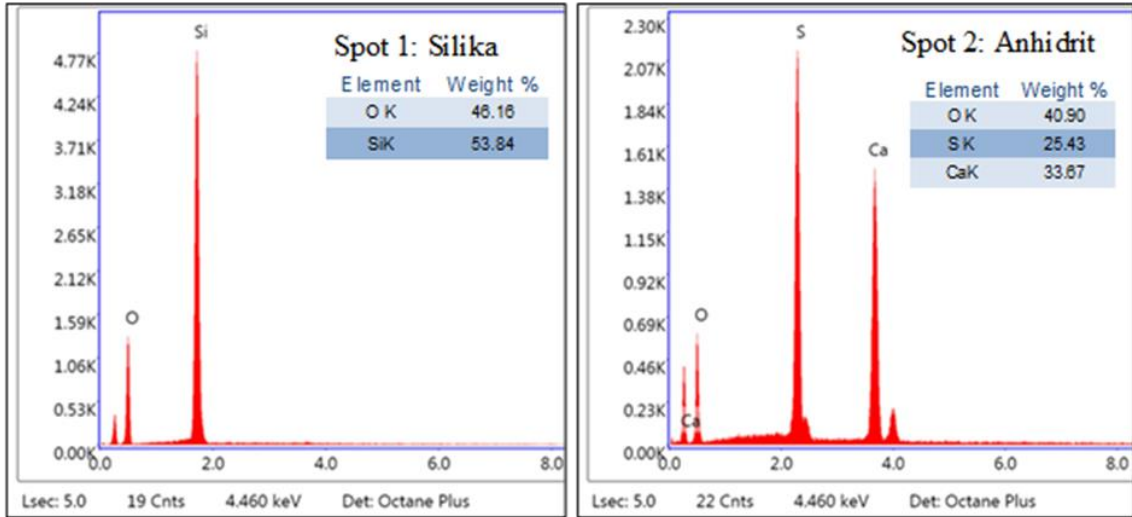
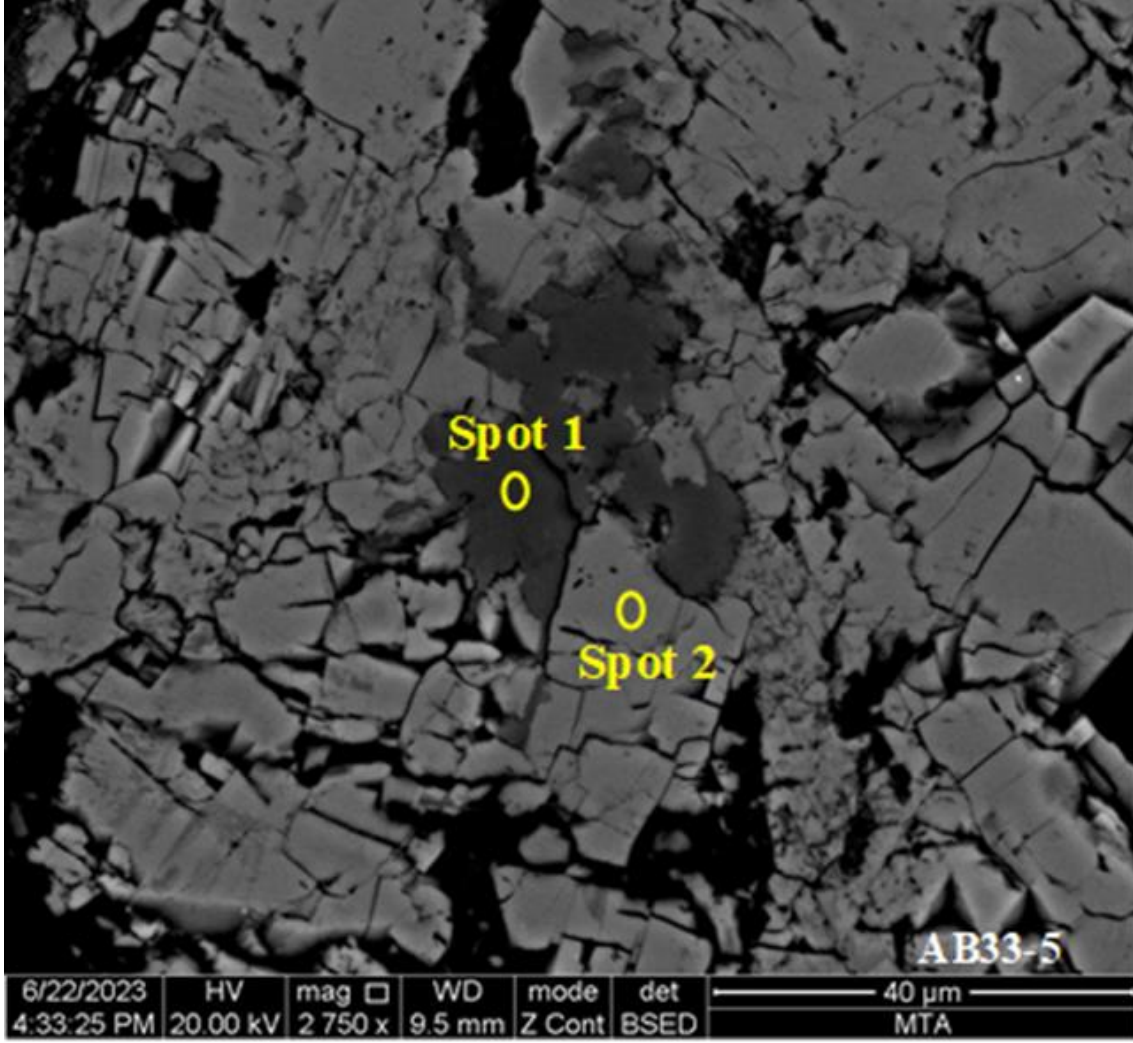


Şekil 5.32. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan dolomit, Sr-içeren kalsit, Sr ve Mg-içeren kalsit, anhidrit oluşumları ve bunların SEM-EDS bileşimleri.

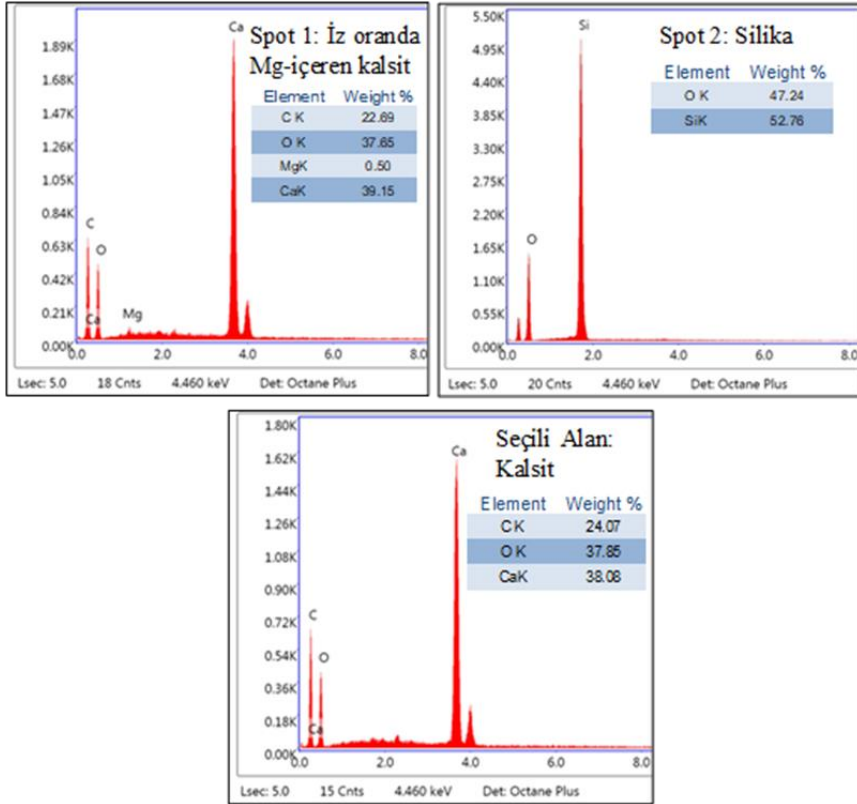
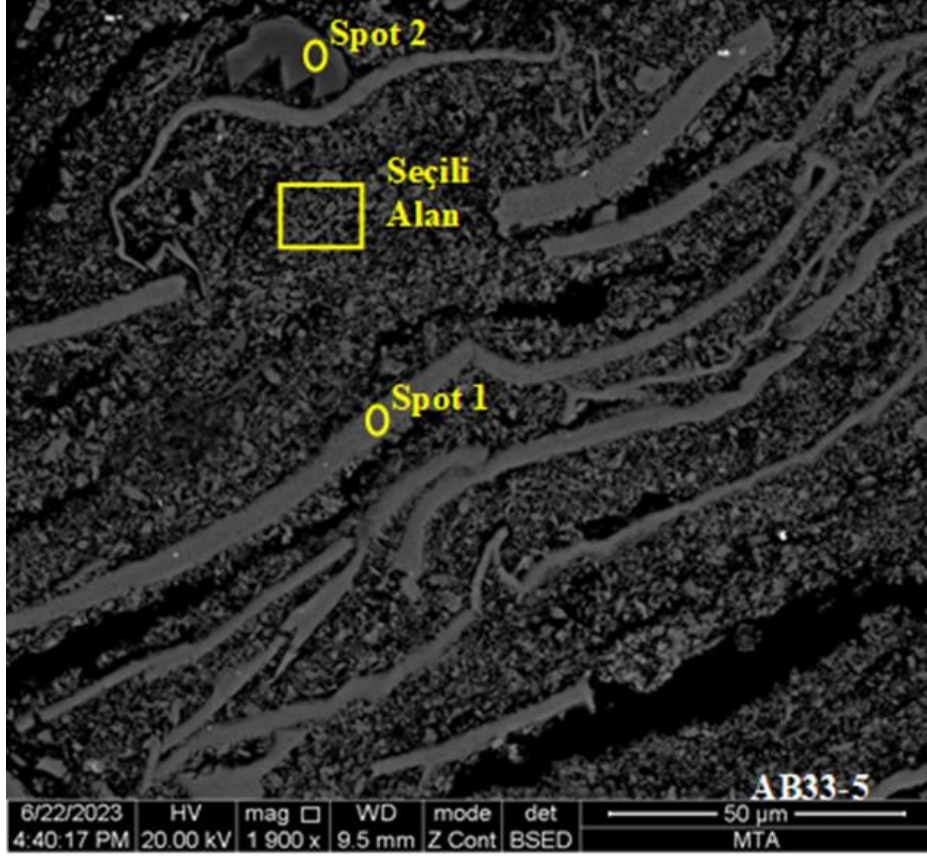


Şekil 5.33. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan silika ve anhidrit mineralleri.



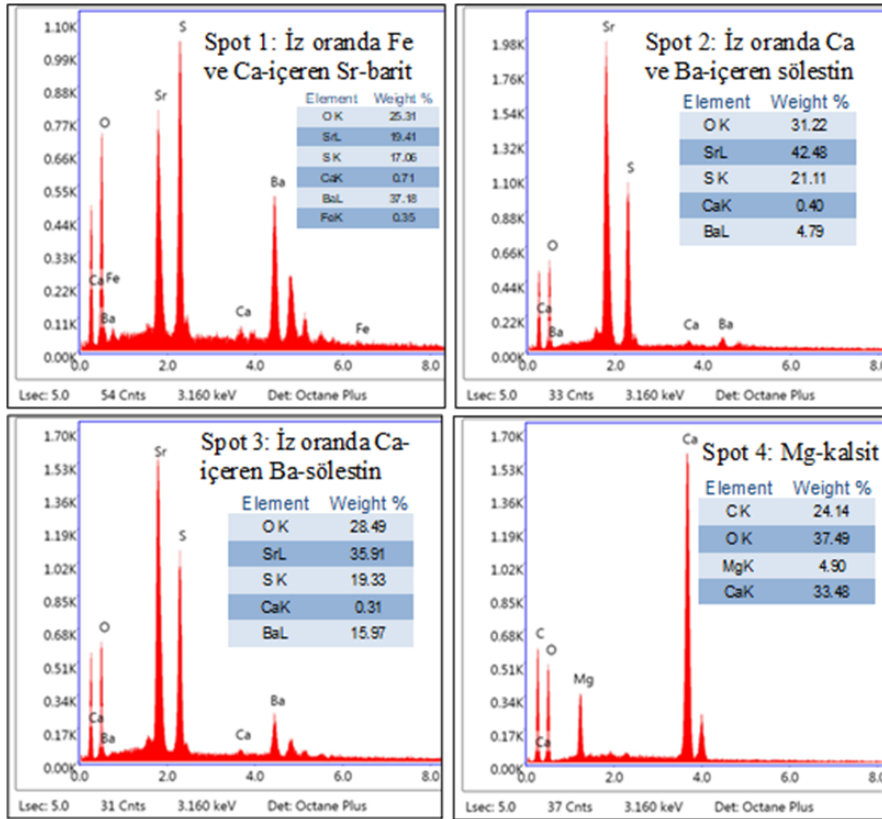
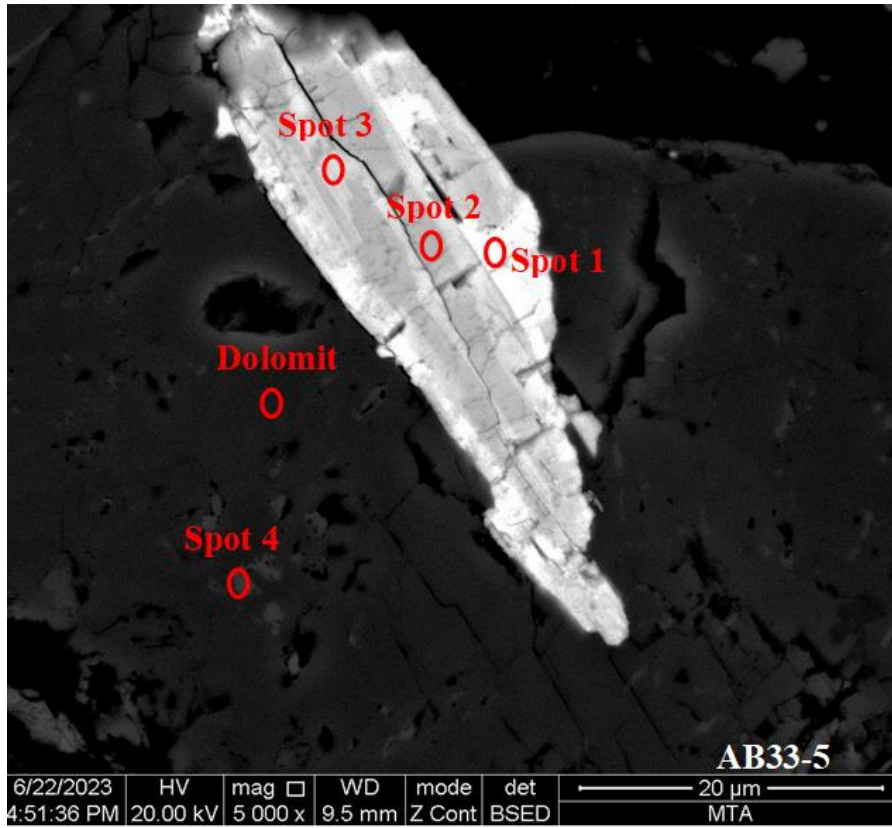


Şekil 5.34. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan silika ve anhidrit mineralleri ve bunların SEM-EDS bileşimleri.

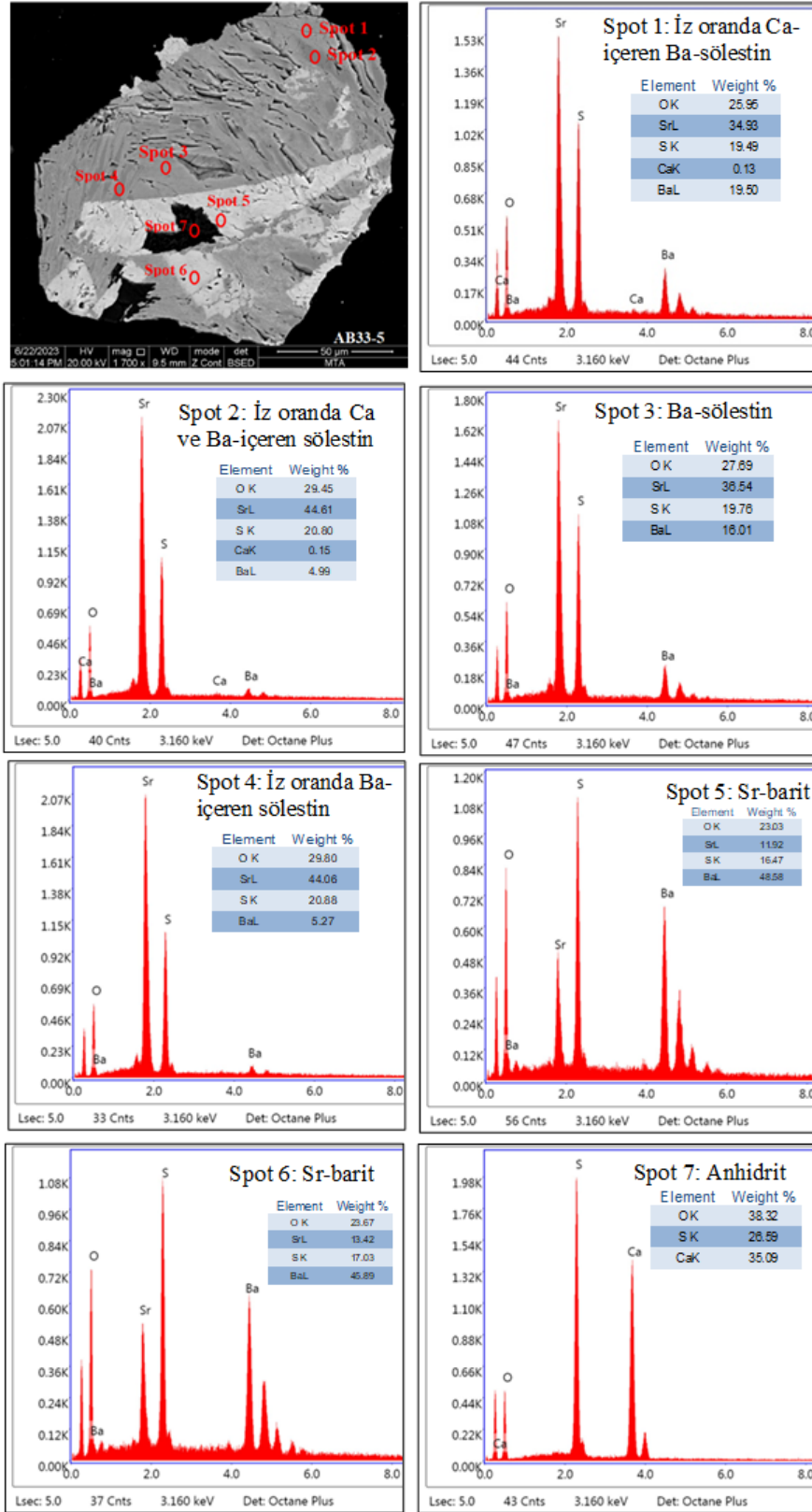


Şekil 5.35. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.

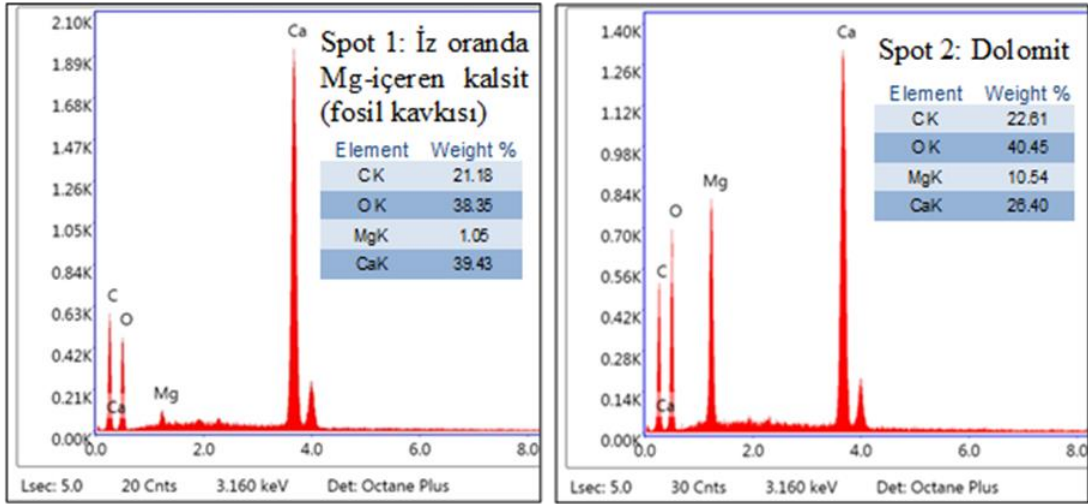
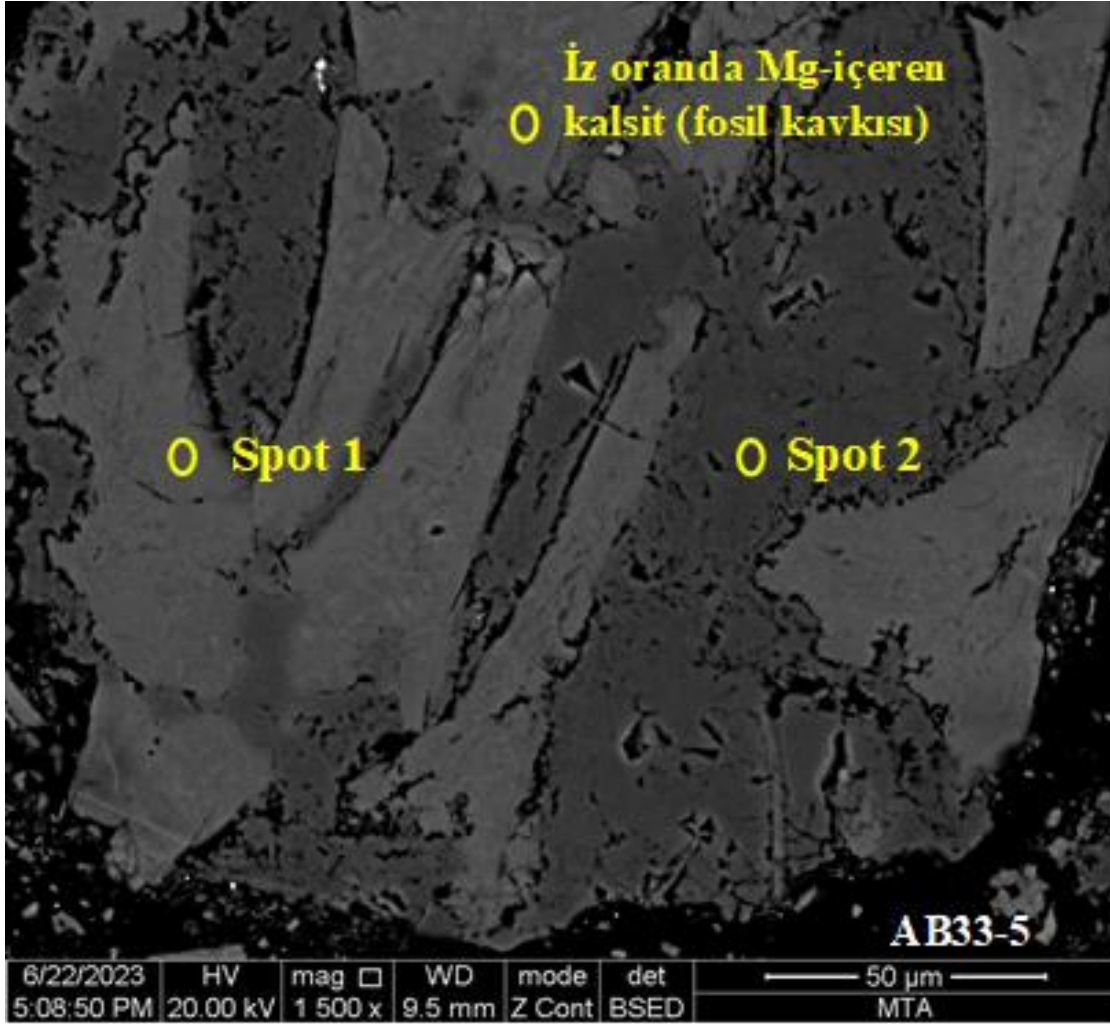




Şekil 5.36. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.



Şekil 5.37. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların SEM-EDS bileşimleri.



Şekil 5.38. Tez kapsamında AB33-5 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan fosil kavkısı ve dolomit oluşumları ve EDS bileşimleri

Mineral	Sinjenetik		Epijenetik (Diyajenez sonu/sonrası)
	Detritik	Bataklıkta oluşum	
Kuars (Silika)	—————	.....	.....
İllit/Mika	—————		
Kaolinit ve Simektit		.....	
Feldispat	—————		
Kalsit	.....	—————	
Dolomit		—————	
Pirit		—————	
Zirkon	—————		
Paragonit	—————		
Ti-oksit	—————		
Fe-Cr-oksit	—————		
Fe-Ca-Al-silikat	—————		
Barit			—————
Sölestin			—————
Jips/Anhidrit			—————
Fosil kavkısı		—————	
Kemik (F-Apatit)	-----	—————	
Diyatom		—————	
Pomza	—————		

Şekil 5.39. Tez kapsamında SEM-EDS incelemeleri sonucu tanımlanan mineral, fosil kavkısı, kemik, diyatom ve pomzaların kömürlerdeki oluşum modlarının yorumlanması.

Tez kapsamında incelenen AB32-2 nolu kömür örneğinde yapılan SEM-EDS çalışmalarıyla bu örnekte mikron boyutunda sinjenetik  $\text{CaCO}_3$  oluşumları (Şekil 5.10), feldispat (plajiyoklaz, Na-feldispat, iz oranda Fe içeren alkali feldispat) (Şekil 5.13, 5.14,5.15) Ti-oksit (Şekil5.14), muskovit (Şekil 5.10), simektit (Şekil 5.16), Fe-Ca-Al-silikat minerali (Şekil 5.16), saf  $\text{CaCO}_3$  bileşimli fosil kavkısı (Şekil 5.11), iz oranda F- içeren Ca-fosfat (apatit) bileşimli fosil kemik parçası(Şekil 5.12), organik madde içinde dağılmış durumda pomza (Şekil 5.10, 5.13, 5.14, 5.15) , diyatom kavkıları (Şekil 5.10 ve

5.17) ve fosil kavkuları ( $\text{CaCO}_3$ ) gözlenmiştir. Piritler çoğunlukla framboidal pirit şeklinde gözlenmiştir (Şekil 5.10 ve 5.11). İncelenen AB32-2 nolu örneğe benzer olarak AB33-4 nolu kömür örneğinde mikron boyutunda sinjenetik iz oranda Mg içeren  $\text{CaCO}_3$  oluşumları (Şekil 5.18, 5.19, 5.22, 5.23), Na-feldispat (Şekil 5.27), Ti-oksit (Şekil 5.18, 5.20, 5.25) dolomit (Şekil 5.19, 5.20, 5.22, 5.23, 5.24), paragonit (Şekil 5.18), Sr-barit (Şekil 5.24), iz oranda Ca ve Ba içeren sölestin (Şekil 5.24), Ba- sölestin (Şekil 5.24), kromit (iz oranda Ti içeren Al-Si'lu FeCr-oksit) (Şekil 5.26),  $\text{CaCO}_3$  bileşimli fosil kavkısı, saf bileşimli anhidrit ve bazı anhidrit içinde silika oluşumları (Şekil 5.21), iz oranda As ve Na -içeren Ca-fosfat (apatit) bileşimli fosil kemik parçası (Şekil 5.22), jips (Şekil 5.25 ve 5.26), anhidrit, pomza (iz oranda Fe, Ca, Na ve K-içeren Al-silikat) (Şekil 5.25, 5.26, ve 5.27) tanımlanmıştır. Diğer iki örneğin parlak kesitinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan minerallere benzer şekilde AB33-5 nolu kömür örneğinde mikron boyutunda sinjenetik  $\text{CaCO}_3$  oluşumları, Mg-kalsit (Şekil 5.36), dolomit (Şekil 5.28, 5.30, 5.32, 5.36 ve 5.38), iz oranda Sr ve Mg-içeren kalsit (Şekil 5.30 ve 5.32), iz oranda Sr-içeren kalsit (Şekil 5.28 ve 5.32), Mg-içeren  $\text{CaCO}_3$  bileşimli fosil kavkısı (Şekil 5.31), Sr-barit (Şekil 5.28, ve 5.37), iz oranda Fe ve Ca-içeren Sr-barit (Şekil 5.36), iz oranda Ca ve Ba-içeren sölestin (Şekil 5.28, 5.30, 5.37), iz oranda Ca-içeren Ba-sölestin (Şeki 5.36) , Ba-sölestin (Şekil 5.37), iz oranda Ba-içeren sölestin (Şekil 5.37), saf bileşimli anhidrit ve bazı anhidrit içinde silika oluşumları (Şekil 5.29, 5.33, 5.34 ve 5.37) tanımlanmıştır. İncelenen örneklerde jips/anhidrit ayrımı, SEM-EDS bileşimlerindeki Ca, S ve O içeriği esas alınarak yapılmıştır.

Tez kapsamında SEM-EDS incelemeleri yapılan kömür örneklerinin ikisinde (AB32-2 ve AB33-4), daha önce açıklandığı gibi, pomza parçaları saptanmıştır. İncelenen kömür örneklerinde SEM çalışmaları ile saptanan pomza parçalarının SEM-EDS yardımıyla elde edilen kimyasal bileşimleri, ortalama %45,61 O, %38,98 Si, %7,65 Al, %4,01 K, %2,62 Na, %0,43 Ca ve %0,82 Fe olarak belirlenmiştir. Pomza oluşumları, Kale-Tavas sahasında Yenidere ve Narlı kömürlerinde tespit edilmemiştir (Karayığit ve Kayeri-Özer, 2020; Karayığit ve ark., 2020). Bu yönüyle incelenen kömürler son derece ilginçtir. Tez çalışması kapsamında bu pomzaların nereden taşınabileceği araştırılmıştır. Daha sonra ayrıntılı olarak açıklandığı gibi incelenen kömürler Orta Miyosen (Serravaliyen) yaşlıdır. Bu yaş konağına sahip volkanik/piroklastik kayaların çalışma alanı ve çevresinde olup olmadığı incelenmiştir. Palinolojik olarak kömürlerde tanımlanmış nispeten öz şekilli

pomza parçalarının Söke-Selçuk-Kuşadası bölgesinden detritik ve/veya küllerin (air-fall ash) havada kısa mesafe taşınarak turba bataklık ortamına taşındığı düşünülmektedir. Çünkü ilgili bölgede Tersiyer yaşlı birimler, karasal Miyosen yaşlı Söke Formasyonu, Balatçık ve Hisartepeler volkanitleri ile temsil edilmektedir. Balatçık volkanitleri, riyodasit ve andezit türde volkanitler olup Orta Miyosen yaşlıdır. Geç Miyosen yaşlı Hisartepeler volkanitleri ise trakiandezit, andezit, latit ve dasit türde lavlardan oluşmaktadır. Söke yöresi volkanitlerinin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  izotop oranları 0.70480-0.70509 arasında değişmekte olup radyometrik K/Ar yaşlandırması yapılan volkanitler 14-6,5 milyon yıl arasında bir jeolojik yaşa sahiptirler (Ercan ve ark. 1985; 1986; 1996; Williamson, 1982). Literatürde yer alan bu yaş ile tez kapsamında kömür örnekleri üzerinde gerçekleştirilen palinolojik çalışmalar sonucu elde edilen Orta Miyosen yaşlı büyük uyumluluk göstermektedir. Bu nedenle daha önce de açıklandığı üzere kömürler içerisinde gözlenen bu pomzaların detritik ve/veya küllerin havada kısa mesafe taşınarak kömürleri oluşturan turba bataklığına detritik olarak taşınmış olması olasıdır.

### **5.3.3. Kayaç Örneklerinin Mineralojik Analizleri**

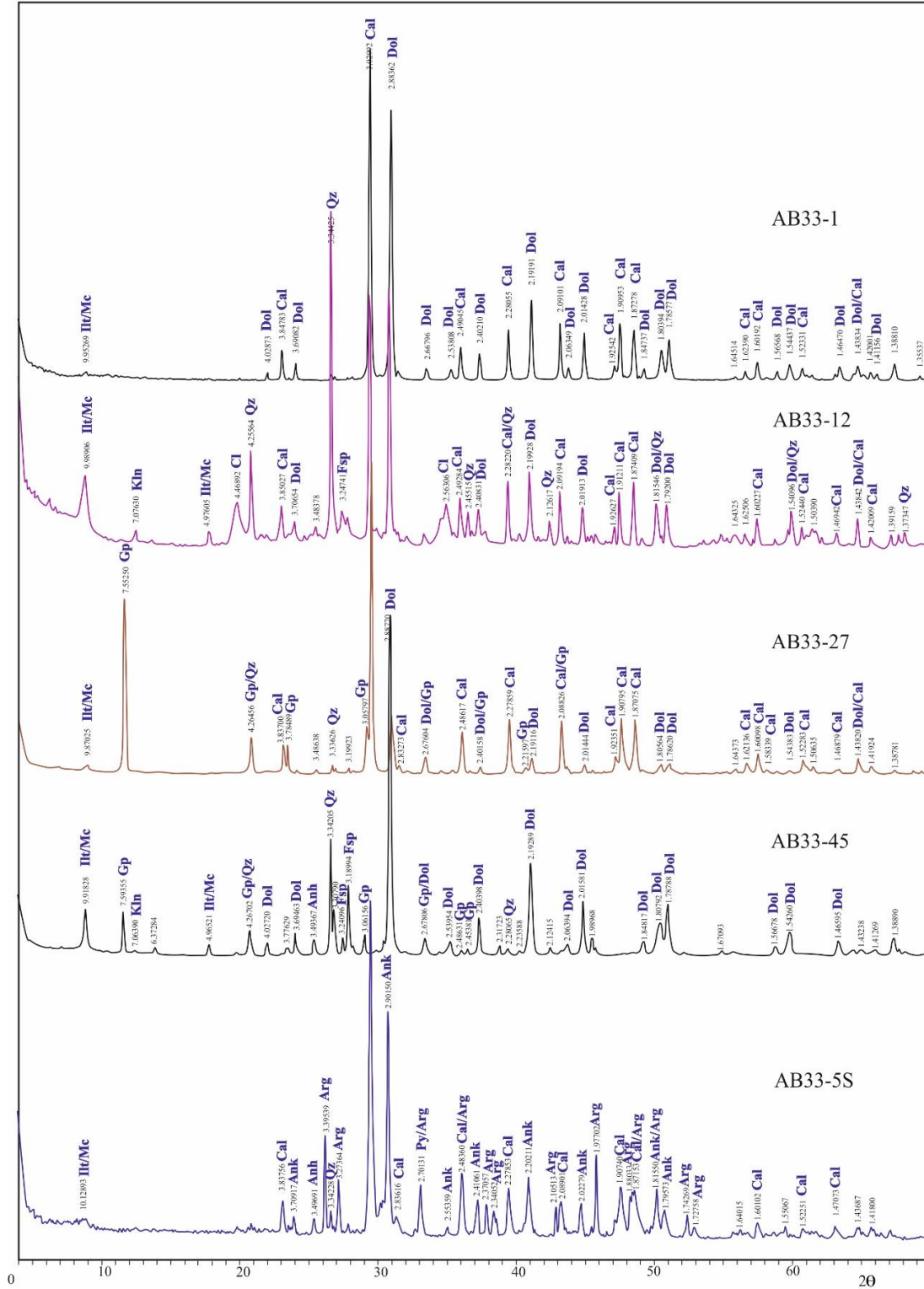
Tez çalışması kapsamında AB-33 nolu sondajdan derinlik boyunca alınan 70 adet kayaç örneğinin mineralojik (XRD-TK, XRD-KF ve SEM-EDS) analizlerinin değerlendirmeleri bu alt bölümde sunulmuştur. Tez kapsamında inceleme yöntemleri bölümünde de açıklandığı gibi, 70 adet kayaç örneğinin XRD-TK, seçilen 12 adet kayaç örneğinin XRD-KF ve 2 adet kayaç parlak kesiti üzerinde yapılan SEM-EDS tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında AB-33 nolu sondaj, daha önce açıklandığı gibi, litolojik farklılıklara göre 0-121,30 m arası Milet Formasyonu, 121-30-584,40m arası Yatağan Formasyonu ve 584,30-745,80 m arası Sekköy Formasyonu ve 745,80-772m arası metamorfikler olarak ayrılmıştır (Çizelge5.7).

#### **Kayaç örneklerinin XRD-TK incelemeleri:**

Tez kapsamında AB-33 nolu sondajdan alınan örneklerden seçilen 5 adet örneğin XRD-TK difraktogramları Şekil 5.40'da verilmiştir. Tez kapsamında alınan kayaç örneklerinin tümünde tanımlanan mineraller ve bunların yarı-kantitatif yüzdeleri Çizelge 5.7'de sunulmuştur. Sondaj derinliği boyunca örneklerin çoğunda tanımlanabilen minerallerin



(kuvars, kalsit, kil mineralleri, feldispat, dolomit, jips, aragonit, anhidrit ve pirit) değişimleri de Şekil 5.41’de verilmiştir.



Şekil 5.40. Tez kapsamında AB-33nolu sondajdan temsili olarak seçilen örneklerin XRD-TK difraktogramları (Ilt/Mc:İllit/Mika, Kln:Kaolinit, Cl=Kil min., Gp:Jips, Arg: Aragonit, Anh: Anhidrit, Qz:Kuars, Ank:Ankerit, Felds:Feldispat, Cal:Kalsit, Py:Pirit).

Çizelge 5.7. AB-33 nolu sondajdan alınan 70 adet kayaç örneğinin XRD-TK difraktogramlarında tanımlanan mineraller ve bolluk yüzdeleri.

Örnek No	Derinlik (m)	Formasyon	Litoloji	Kuvars	Kalsit	Aragonit	Pirit	Kil Mineralleri	Feldispat Mineralleri	Dolomit	Jips	Anhidrit	Ankerit	Kristobalit	Serpantin Mineralleri		
AB33-1	2,80-2,90	Milet	Marn	1	42,3			0,7		56							
AB33-2	23,60-23,70							2,1	2,9	95							
AB33-3	39,00-39,10					1	99										
AB33-4	47,60-47,80						100										
AB33-5	63,60-63,70					97,7					2,3						
AB33-6	77,60-77,80			Silttaşı	1,1	86,4					12,5						
AB33-7	99,80-100,00			Kireçtaşı	0,9	99,1											
AB33-8	106,50-106,60					100											
AB33-9	121,60-121,70	Yatağan	Kiltası		100												
AB33-10	129,40-129,60			Marn		97,8		2,2									
AB33-11	144,00-144,10			Silttaşı	1	92,4	4,5		2,1								
AB33-12	164,40-164,60			Kiltası	9,4	12,7			59,3	1,1	17,5						
AB33-13	167,10-167,20					10,2	16,5			65,9	2	5,4					
AB33-14	182,40-182,60			Kumtaşı	34,6				37,9	12	14,3					1,1	
AB33-15	198,00-198,20					25,4	24,2			25,3	8,4	10,6					6,1
AB33-16	220,40-220,50			Silttaşı	11,2				22	4,1	62,7						
AB33-17	238,20-238,30			Kiltası	15,2	52,3		0,6	26,1		5,9						
AB33-18	241,50-241,60			Silttaşı	1,3	98,7											
AB33-19	254,00-254,10					0,9	99,1										
AB33-20	263,20-263,30					5,3	90			4,7							
AB33-21	271,90-272,00					1,1	98,9										
AB33-22	276,40-276,60					5,1	89,4		0,7	48,4							
AB33-23	289,40-289,50					1,2	96,3			2,5							
AB33-24	295,55-295,65					10,8	27,3		1,4	58,2	2,3						
AB33-25	303,30-303,40				Kireçtaşı	0,5	98,5			1							
AB33-26	327,80-327,90				Silttaşı	11,2	15,2			65,4	0,9	7,4					
AB33-27	337,00-337,10				Kireçtaşı	1,3	64,2			1		16,5	16,9				
AB33-28	341,80-341,90			Kiltası	8,7	17,2			66,8	1,6	5,7						
AB33-29	345,60-345,70			Çamurtaşı	4,5	11,6			78,2	0,9	4,8						
AB33-30	354,00-354,10			Kireçtaşı		100											
AB33-31	369,60-369,70			Kiltası	1,5	76,8			4,6		17,2						
AB33-32	385,70-385,80			Silttaşı	20,1	24,4			27,7	7,7	20,1						
AB33-33	399,70-399,80					9	14,4			47,3	0,9	28,4					
AB33-34	419,90-420,00			Kiltası	5	29,6			61,9	3,5							
AB33-35	426,90-427,00			Silttaşı	27,2	28,9			24,3	13,9	5,7						
AB33-36	458,20-458,30			Kiltası	4,9	32			52,4	9,6		1,1					
AB33-37	465,00-465,10					7,5	18			69,3	2,6	2,6					
AB33-38	472,40-472,50			Silttaşı	33,4	23			23,1	13,3	7,2						
AB33-39	493,50-493,60		Kiltası	5	23,8			64,4	4	0,9	1,9						
AB33-40	538,60-538,70		Silttaşı	9,7	15,1			71,2	1,8	2,2							
AB33-41	545,20-545,30		Kiltası	4,1	92,2		3,7										
AB33-42	562,30-562,40				11,6	20,6			56,9	4,4	6,5						
AB33-43	600,50-600,60	Sekköy	Silttaşı	5,2	71,4			23,4									
AB33-44	604,90-605,00					6,7	3	56,9	0,7	32,7							
AB33-45	608,50-608,60					7				7,7	10,2	66,9	7,1	1,1			
AB33-46	610,60-610,70					14,9				22,8	16,3	24,5	18,1	3,4			
AB33-47	614,20-614,30					1,8				7,6		80,9	5,9	3,8			
AB33-48	619,50-619,60					6	3	60,6		16,9	6,9		1,3	5,3			
AB33-49	622,80-622,90			Kiltası	8,2	9,2	32,2	1,1	38,2	7,4	2,4	1,3					
AB33-50	627,40-627,50					10,6	18,2	7,3	1	50	7,5	3,2	2,2				
AB33-51	634,70-634,80					7	7,7	41,1		30,6	12,5		1,1				
AB33-52	638,00-638,10					7,6	6,1	38,2		37,9	8		0,8		1,4		
AB33-53	642,20-642,30					6,9	6,7	32		48	5,5		0,9				
AB33-54	646,50-646,60				Silttaşı	7,3	4,4	21,7		59,9	5,5		1,2				
AB33-55	661,40-661,50			Kumtaşı	4,2	53,1			31,8		8,7	1,6	0,6				
AB33-56	664,80-664,90					61				9,1	9,4	2	9,8	8,7			
AB33-57	673,90-674,00			Silttaşı	11,5	7,7	12,9		47,9	17,4		2,6					
AB33-58	684,40-684,50					4,4	4,3	68,2		19,1	2		2				
AB33-59	693,40-693,50					13,1	4,4	21,4		47,1	12,6		1,4				
AB33-60	700,10-700,20						96		4								
AB33-61	714,20-714,30			Karbonlu Şeyl	4,5	5,7		1,6	36,5	4,6	46	1,1					
AB33-2S	716,64-716,92					16,6						47,8	30,4	5,2			
AB33-63	718,20-718,30			Silttaşı	2,1				3,1		92,6		2,2				
AB33-5S	719,34-719,62			Karbonlu silttaşı	1,9	41,8	21,6	0,9					1,6	32,2			
AB33-64	722,60-722,70			Silttaşı	4,5						26,4		69,1				
AB33-65	723,60-723,70			Kömürlü silttaşı	1,7	3,6		1,4	12,8	2,8	35,3	1		41,4			
AB33-66	732,70-732,80			Silttaşı	9,2	22,2			51,8	12,7		2,9	1,2				
AB33-67	743,00-743,10					13,2			3,2	53,7	5	24,9					
AB33-68	758,00-758,10		Metamorfikler		Metakumtaşı	4,4	81,9				7,7			6			
AB33-69	771,70-771,80				Şist	55,4				42,2	2,4						

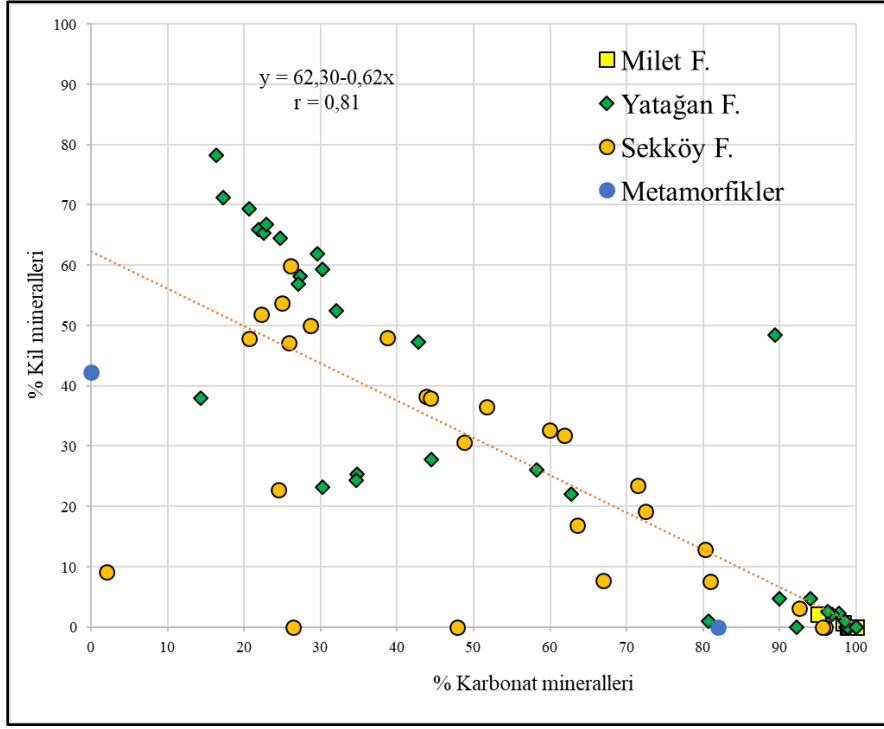


Tez kapsamında AB-33 nolu sondaj karotundan alınan kayaç örneklerinin 62'sinde kuvars, 57'sinde kalsit, 53'ünde kil mineralleri, 39'unda feldispat mineralleri, 36'sında dolomit ve 22'sinde jips, 13'ünde aragonit, 12'sinde anhidrit, 11'inde pirit, 2'sinde ankerit ve serpantin mineralleri ve 1'inde kristobalit tanımlanmıştır (Çizelge 5.7).

Sondaj derinliği boyunca alınan ve sondaj loglarından tanımlanan kayaç örneklerinin (örneğin marn, silttaşı) makroskopik tanımlamaları ile XRD-TK çözümlenmelerinde büyük bir uyum gözlenmemektedir. Çünkü marn olarak tanımlanan bazı örneklerde (örneğin AB33-3 ve 4) ve silttaşı olarak tanımlanan bazı örneklerde (örneğin AB33-6 ve 11) ana mineral bileşimini çoğunlukla kalsit oluşturmaktadır. Buna karşın kilttaşı olarak tanımlananlar da büyük oranda makroskopik litoloji tanımıyla XRD-TK difraktogramlarında tanımlanan mineraller (örneğin kuvars ve kil mineralleri) arasında uyum görülmektedir. Bu nedenle litolojik tanımlamaların XRD-TK çözümlenmelerine göre revize edilmesi ortaya çıkmaktadır.

Tüm örneklere ait mineral tanımlamaları birlikte değerlendirildiğinde bu sondajdan alınan kayaç örneklerinin çoğunda kuvars, karbonat mineralleri ve kil mineralleri tanımlanabilmektedir. İstatistiksel olarak çok zayıfta olsa %99 güven düzeyinde karbonat mineralleri ile kuvars arasında negatif korelasyon ( $r=-0,65$ ) ve karbonat mineralleri ile kil mineralleri arasında yine negatif korelasyon katsayısı ( $r=-0,81$ ) hesaplanmıştır. Bu durumun daha net görülebilmesi için korelasyon katsayısı yüksek olarak bulunmuş karbonat minerallerinin kil mineralleriyle olan karşılaştırılması, örnek olarak Şekil 5.42'de verilmiştir. İlgili şekilde de görüldüğü gibi, analiz sonuçları bir doğru üzerinde toplanmaktan ziyade bir saçılım göstermektedir.

Milet Formasyonu örneklerinde çoğunlukla, beklenildiği gibi, karbonat mineralleri (kalsit ve dolomit) yaygındır (Çizelge 5.7 ve Şekil 5.41). Yatağan Formasyonu'ndan alınan kayaç örneklerinde kuvars, karbonat mineralleri, kil mineralleri, çoğu örnekte feldispat ve bazı örneklerde pirit ve üç örnekte jips ve iki örnekte serpantin mineralleri tanımlanmıştır. İncelenen AB33-36 ve -39 nolu kilttaşı örneklerinde çok az oranda jips tanımlanırken AB33-27 nolu kireçtaşı örneğinde önemli oranda jips tanımlanması son

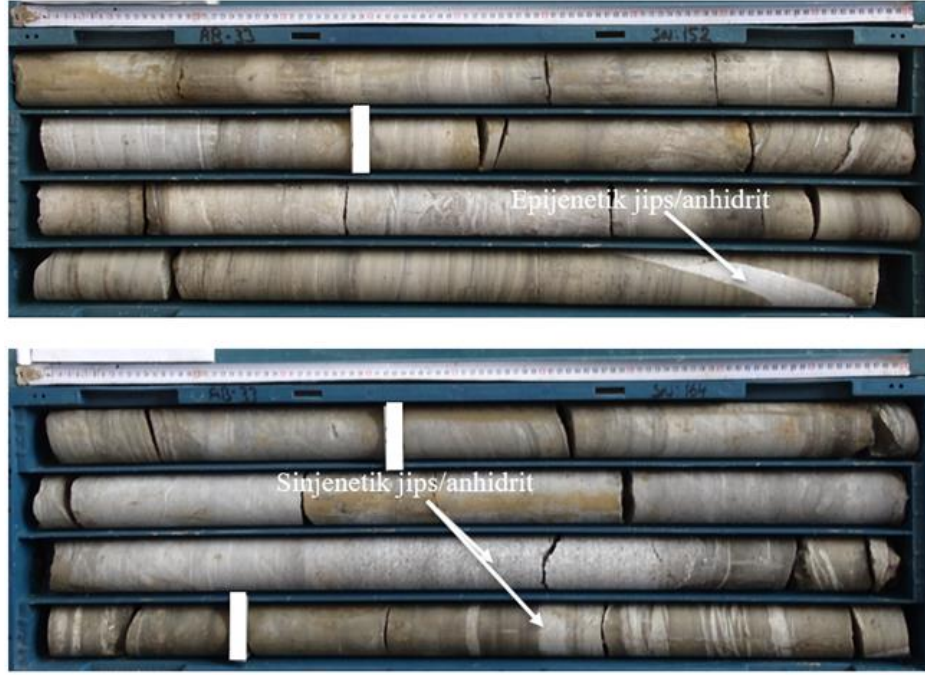


Şekil 5.42. AB-33 nolu sondajdan alınan tüm kayaç örneklerinde %karbonat mineralleri ile kil minerallerinin karşılaştırılması.

derece dikkat çekicidir (Çizelge. 5.7 ve Şekil 5.41). Sekk y Formasyonu'nda Yatağan Formasyonuna benzer şekilde kuvars, karbonat mineralleri, kil mineralleri, çoğu örnekte feldispat, jips/anhidrit, bazı örneklerde pirit ve bir örnekte de kristobalit tanımlanmıştır (Çizelge 5.7 ve Şekil 5.41). Sekk y Formasyonunda, Yatağan Formasyonundan farklı olarak çoğu örnekte aragonit ve jips/anhidrit oluşumları tanımlanabilmektedir. Aragonitlerin örneklerdeki fosil kavkılarıyla ilişkili oldukları düşünülmektedir. Sondaj karotlarında jips/anhidrit oluşumları, çok ince seviyeler şeklinde olup hem sinjenetik hem de epijenetik olarak oluştukları gözlenmiştir (Şekil 5.43). Metamorfiklerden alınan iki örnekte metakumtaşı olarak tanımlananda kalsit ve şist olarak tanımlanan da kuvars ve kil mineralleri yaygındır.

#### **Kayaç örneklerinin XRD-KF incelemeleri:**

Tez çalışması kapsamında, daha önce açıklandığı gibi, AB-33 nolu sondajdan alınan kayaç örneklerinin XRD-TK difraktogramlarında kil mineralleri tanımlananlardan seçilen 12 adet kayaç örneğinin XRD-KF çalışılmış ve minerallerinin yarı-kantitatif yüzde değerleri glikollü çekimlerinin pik yükseklikleri esas alınarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.8 Şekil5.44 ve 5.45).

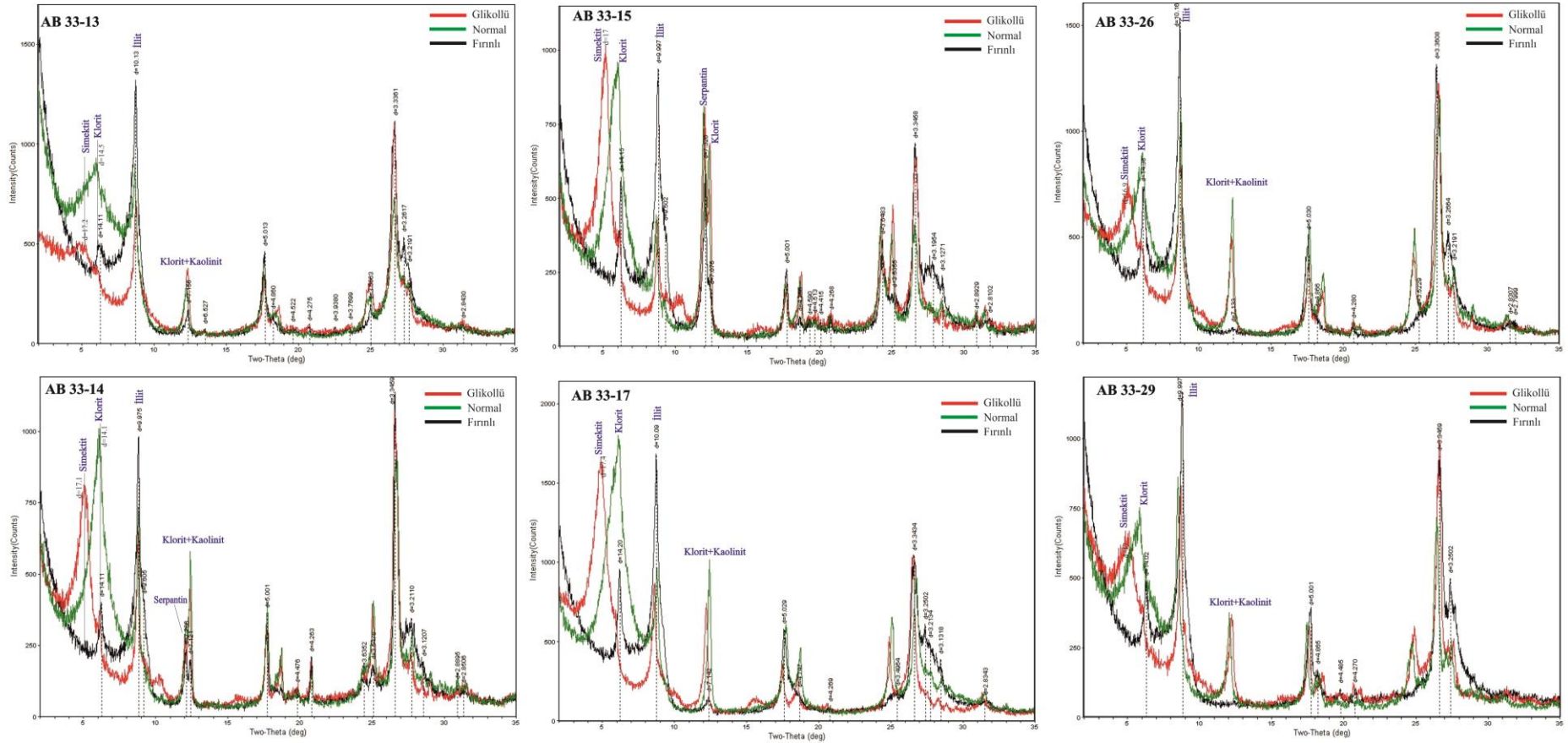


Şekil 5.43. AB-33 nolu sondajda Sekköy Formasyonu içinde ve kömürlü seviyenin üst kısımlarında gözlenen sinjenetik ve epijenetik olduğu düşünülen jips/anhidrit oluşumları.

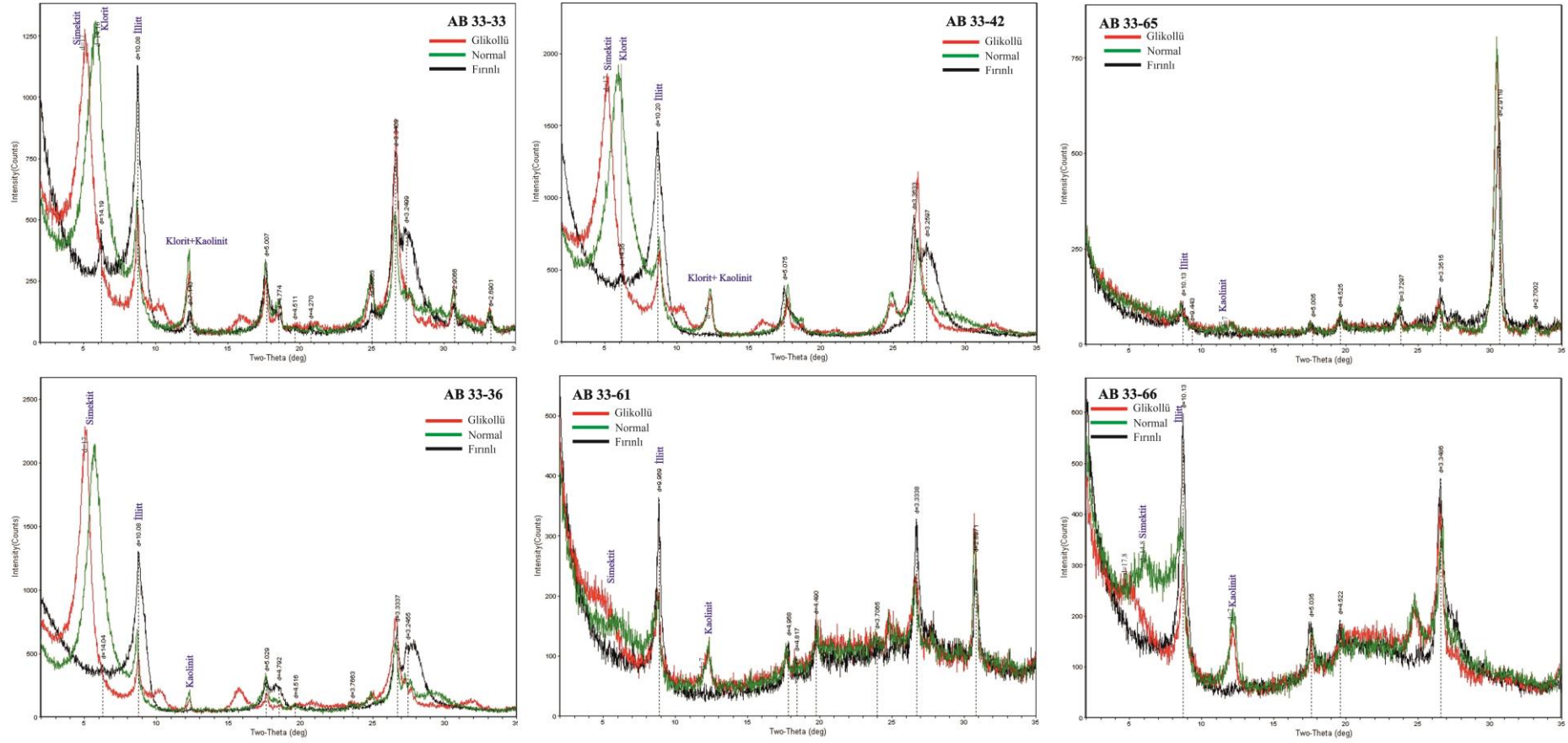
Çizelge 5.8. Tez çalışması kapsamında AB-33 nolu sondajdan seçilen kayaç örneklerinin XRD-KF çekimlerinde tanımlanan minerallerin yarı kantitatif yüzde değerleri.

Formasyon	Örnek No	Derinlik (m)		%Simekitit	%Klorit	%İllit/Mika	%Kaolinit	%Serpantin mineralleri
Yatağan	AB-33/13K	167,10	167,20	16	12	54	18	-
	AB-33/14K	182,40	182,60	32	11	32	12	13
	AB-33/15K	198,00	198,20	38	11	16	-	35
	AB-33/17K	238,20	238,30	46	13	27	14	-
	AB-33/26K	327,80	327,90	23	11	48	18	-
	AB-33/29K	345,60	345,70	25	11	52	12	-
	AB-33/33K	399,70	399,80	58	12	26	4	-
	AB-33/36K	458,20	458,30	80	-	16	4	-
AB-33/42K	562,30	562,40	66	7	21	6	-	
Sekköy	AB-33/61K	714,20	714,30	22	-	50	28	-
	AB-33/65K	723,60	723,70	-	-	71	29	-
	AB-33/66K	732,70	732,80	23	-	47	30	-





Şekil 5.44. Tez kapsamında seçilen örneklerin (AB33-13, 14, 15, 17, 26 ve 29) XRD-KF difraktogramları ve tanımlanan mineraller.

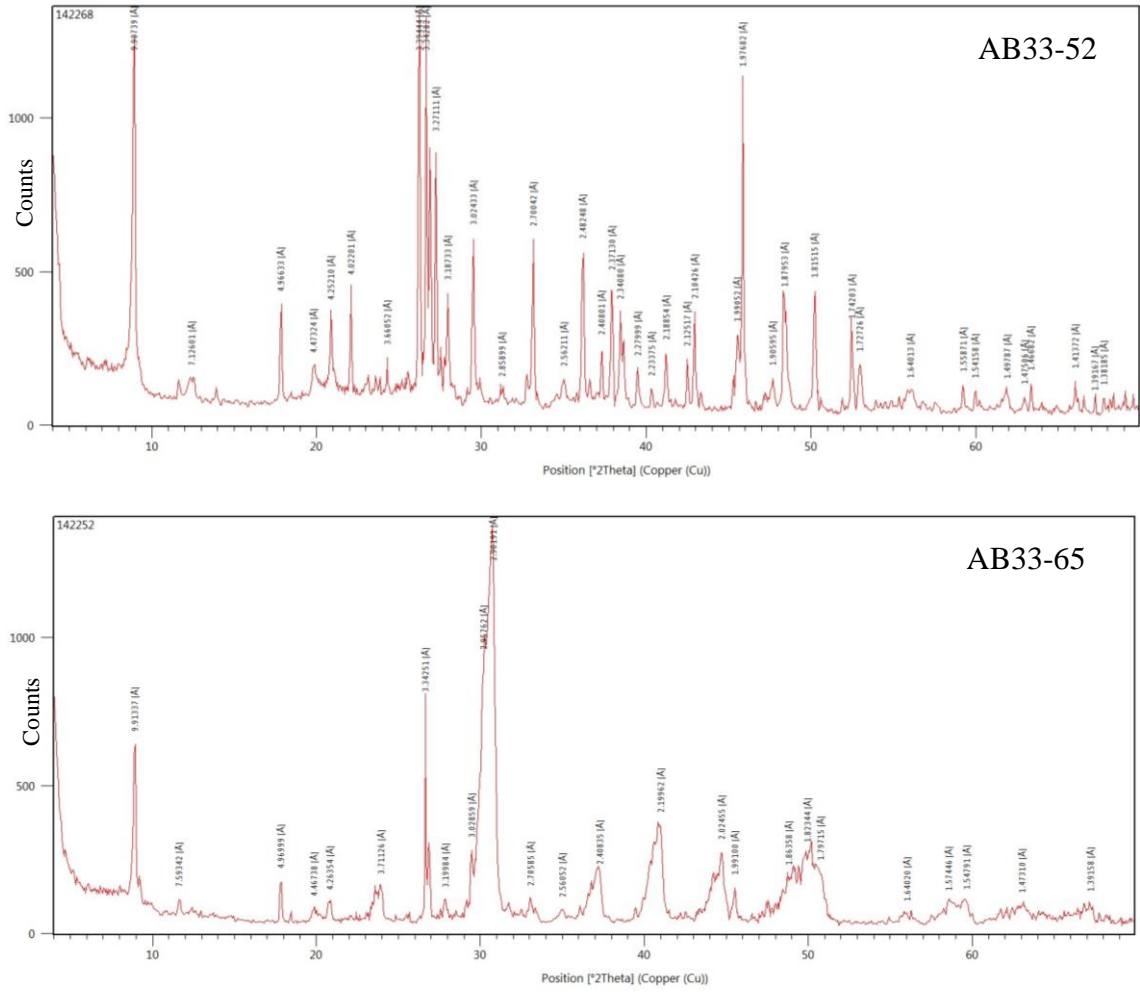


Şekil 5.45. Tez kapsamında seçilen örneklerin (AB33-33, 36, 42, 61, 65 ve 66) XRD-KF difraktogramları ve tanımlanan mineraller.

Kil fraksiyonları incelenen örneklerden 9'u Yatağan ve 3'ü Sekköy Formasyonlarına aittir (Çizelge 5.8). Kil fraksiyonlarında simektit, klorit, illit/mika, kaolinit ve serpantin mineralleri tanımlanmıştır (Çizelge 5.8). Analizi yapılan örneklerde Yatağan Formasyonu'nda kil fraksiyonunda simektit ve klorit daha yaygın iken Sekköy Formasyonu'nda illit/mika ve kaolinit daha yaygındır (Çizelge 5.8). Bu durum gerek Sekköy gerekse Yatağan Formasyonlarının oluşumları sırasında kaynak alanının genelde Menderes Masifi kayaçlarının oluşturduğu göz önüne alınırsa detritik olarak taşınan yaygın illit/mika girişlerinin Sekköy Formasyonu'ndan itibaren dikey yönde yani Yatağan ve Milet Formasyonlarına doğru azaldığını göstermektedir. Bu sonucu doğrular nitelikte olmak üzere gölsel fasiyeste Sekköy Formasyonundan Milet Formasyonu'na doğru detritik malzeme girişinin azalmasına bağlı olarak Yatağan ve özellikle Milet Formasyonlarında kireçtaşı tabakalarının artması ve Milet Formasyonun genelde kireçtaşlarından oluşması çökeltme ortamında kimyasal çökeltmenin arttığını işaret etmektedir.

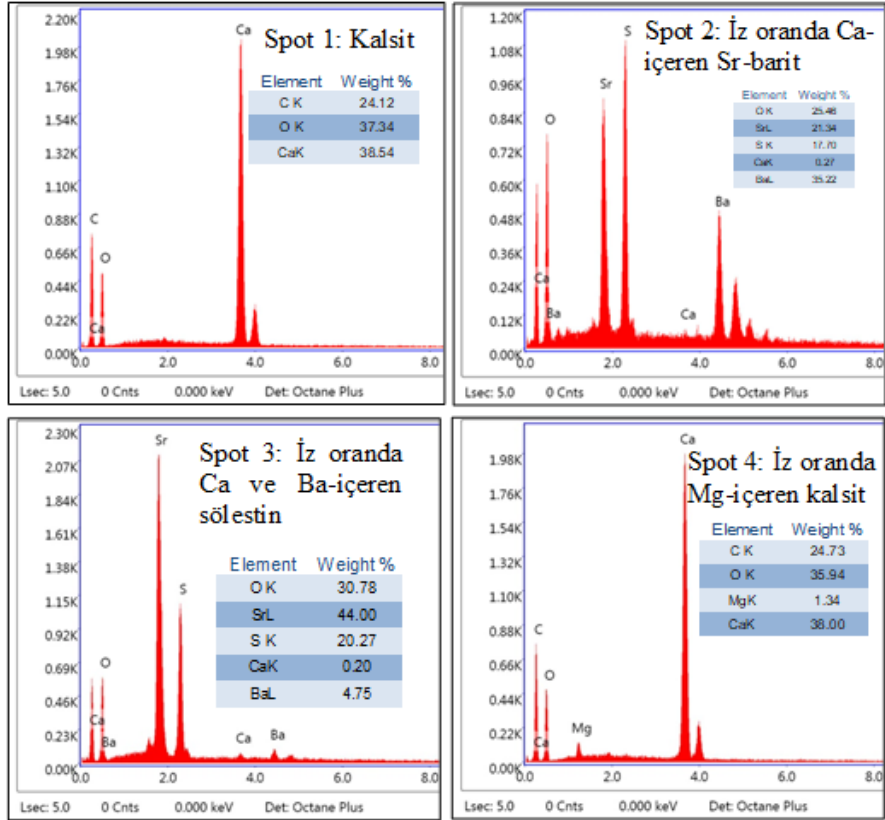
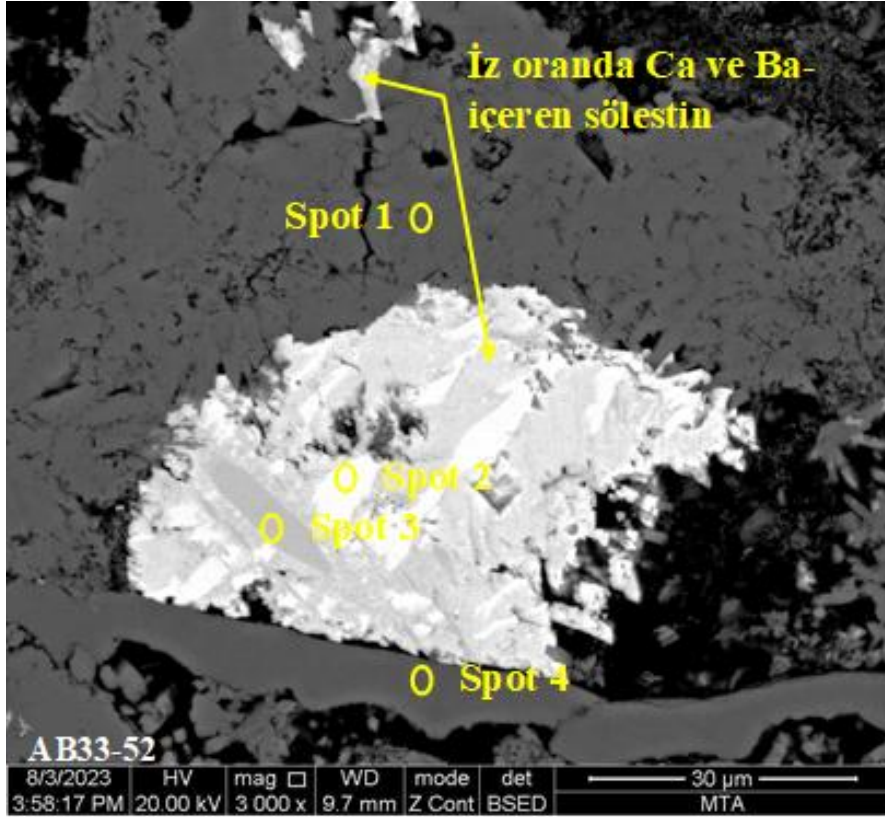
#### **Kayaç örneklerinin SEM-EDS incelemeleri:**

Tez kapsamı içerisinde XRD-TK difraktogramlarının incelenmesi sırasında iki örnek (AB33-52 ve -65) ilginç görülmüştür. Bu iki örneğin orijinal XRD-TK difraktogramları, Şekil 5.46'da sunulmuştur. Bu şekilde de görüldüğü gibi yüzeyden 638,0-638,10m derinlikten alınan AB33-52 nolu örnek, illit/mika, aragonit, kalsit, kuvars, pirit ve özellikle feldispatlar açısından ilginçtir. Diğeri yüzeyden 723,60-723,70m derinlikten alınan AB33-65 nolu örnek ise illit/mika ve dolomitin yanısıra d değeri 2,96Å olan ve kutnohorit ( $\text{CaMn}(\text{CO}_3)_2$ ) olarak tarafımızca tanımlanmış olan mineralin doğruluğunun kontrol edilmesi amacıyla SEM-EDS çalışması gerçekleştirilmiştir. SEM-EDS çalışmaları, parça örneklerden hazırlanan ve karbonla kaplanmış parlatma bloklarında yapılmıştır. Parlatma blokları üzerinde yapılan SEM-EDS çalışmaları sırasında çekilen bazı görüntüler ve SEM-EDS bileşimleri Şekil 5.47-5.65'de sunulmuştur. Tez kapsamında SEM-EDS incelemesi yapılan AB33-52 nolu örnek, kömürlü seviyenin (716,36-719,98m) üzerinden ve diğeri ise alt seviyesinden alınmıştır. İncelenen AB33-52 nolu örnekte, XRD-TK difraktogramlarında tanımlanan minerallere paralel olarak silika (kuvars), illit/mika (muskovit), iz oranda Ca-içeren Na-feldispat, Na-feldispat, iz oranda Na-içeren K-feldispat, plajiyoklaz, iz oranda Mg ve Sr-içeren  $\text{CaCO}_3$  bileşimli kalsit/aragonit, iz oranda Mg-içeren  $\text{CaCO}_3$  bileşimli kalsit/aragonit, framboidal pirit, ayrıca mikron büyüklüğünde dolomit, klorit, iz oranda Ca-içeren Sr-barit, Ca ve Sr-içeren



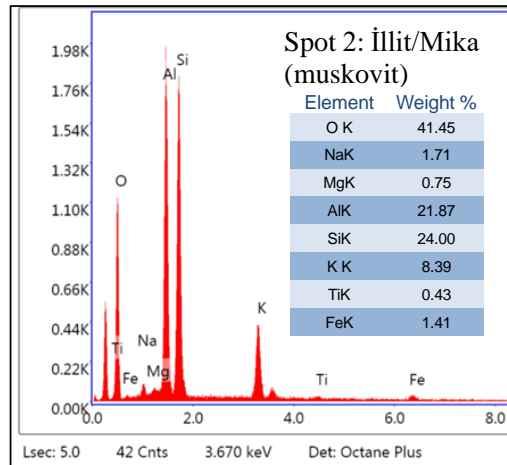
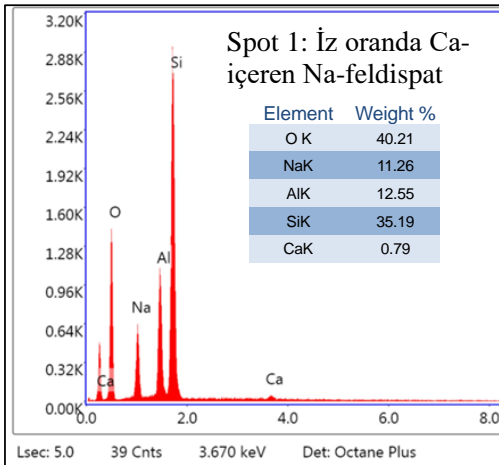
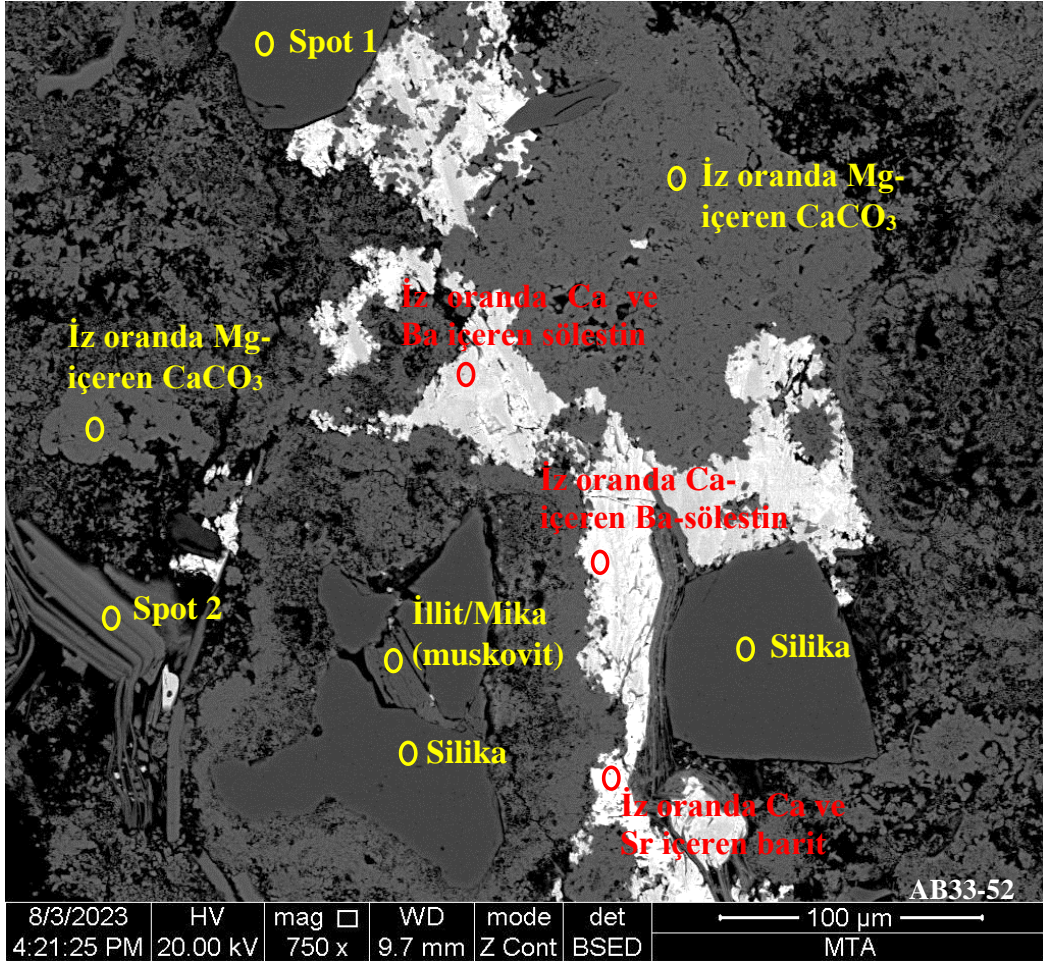
Şekil 5.46. SEM-EDS incelemeleri yapılan iki kayaç örneğinin (AB33-52 (lab no:142268) ve AB33-65 (lab no:142252) orijinal XRD-TK difraktogramları.

barit, iz oranda Ca ve Ba-içeren sölestin, iz oranda Ca içeren Ba-sölestin, Ca ve Ba-içeren sölestin, Ba-sölestin, jips, Nb-V-içeren Ti-oksit, zirkon, iz oranda Hf-içeren zirkon, iz oranda Mn ve Mg içeren CaFeAl-silikat (granat ?), F-içeren Ca-fosfat bileşimli kemik parçası ve diyatom tanımlanmıştır. Bu örnekte tanımlanan barit ve sölestin minerallerinin diğer minerallerle olan ilişkileri dikkate alınarak bunların geç diyajenetik ve/veya epijenetik (ikincil) oluşumlar olduğu düşünülmektedir. Ancak, bu örnekte yapılan SEM-EDS çalışmaları, kömür örneklerinden farklı olarak jips oluşumlarının sinjenetik olarak oluştuğu görülmüştür. Çünkü Şekil.5.50’de de görüldüğü gibi jips, diğer minerallerin bağlayıcısı durumundadır.



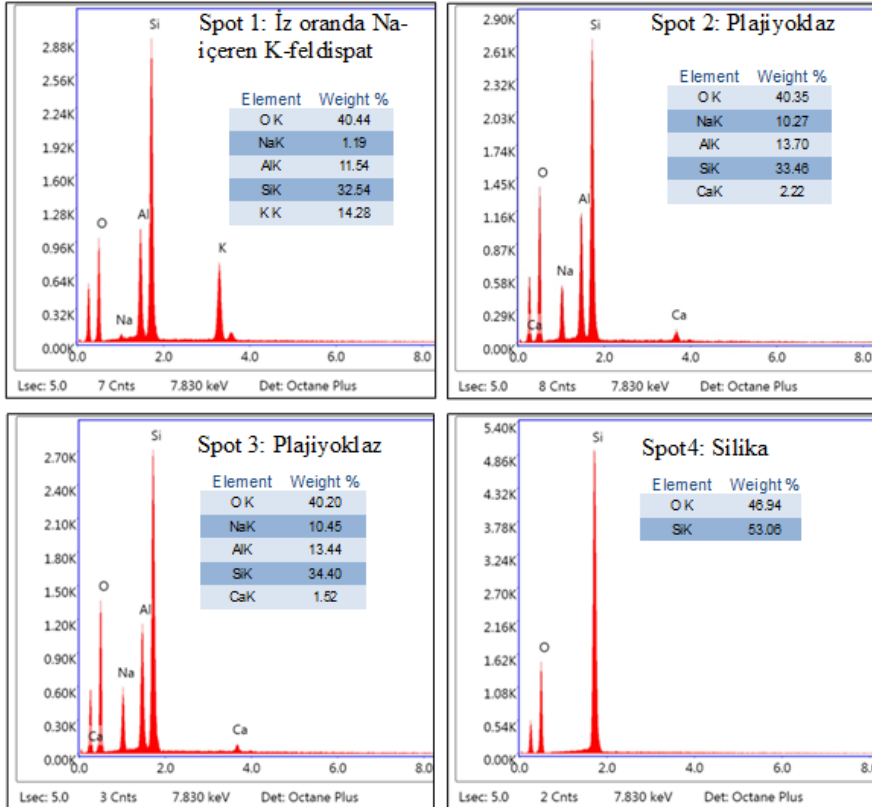
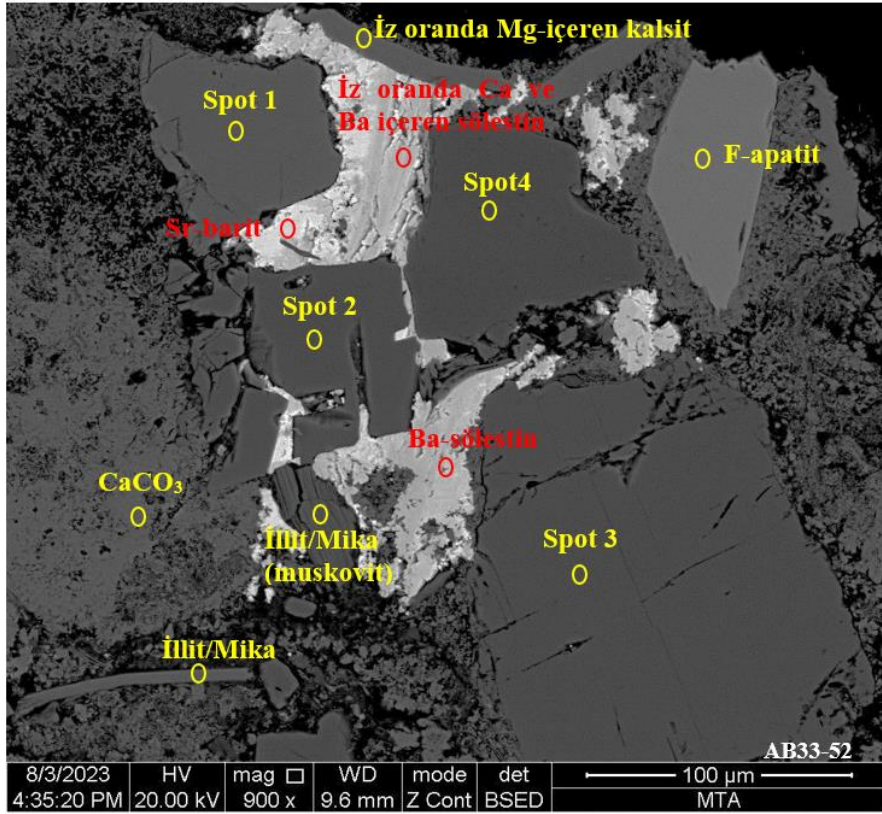
Şekil 5.47. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri.



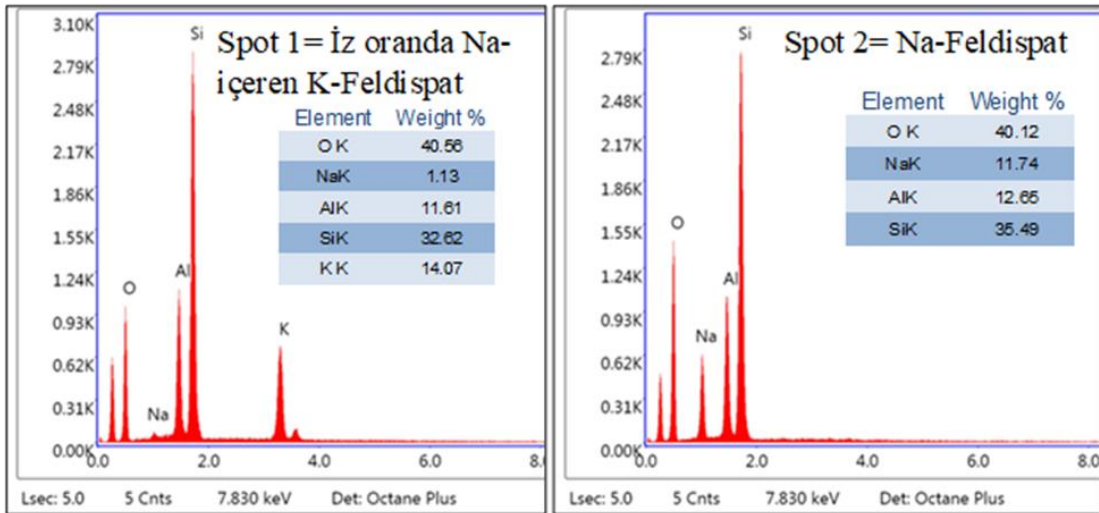
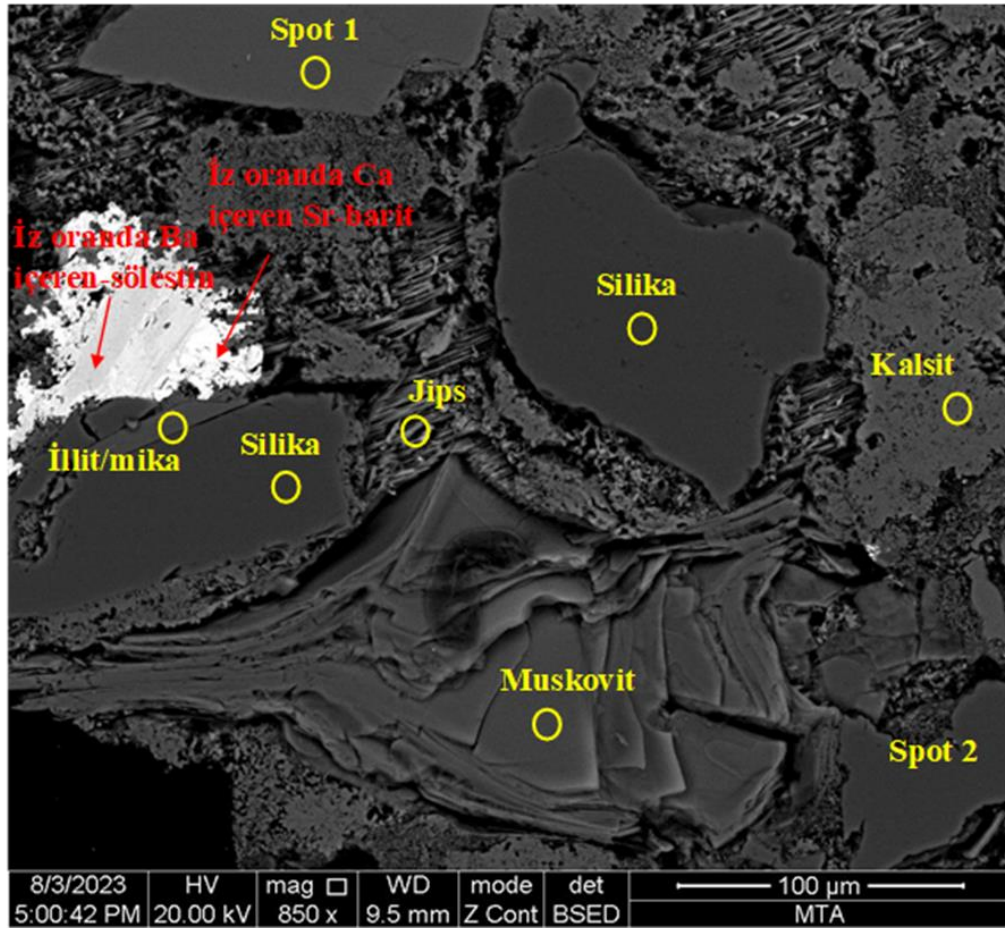


Şekil 5.48. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri.

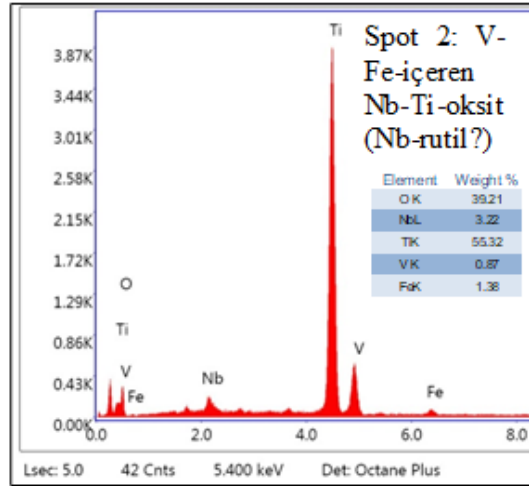
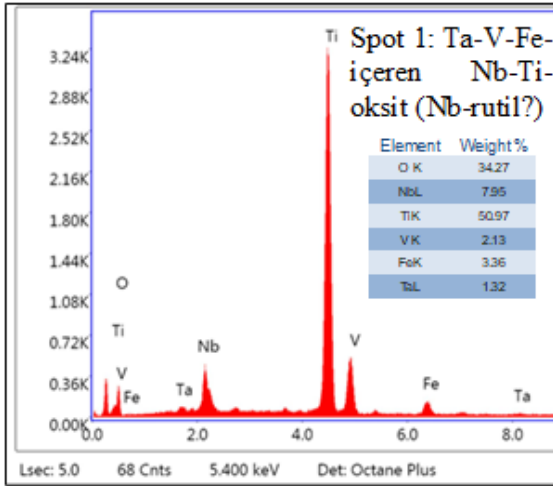




Şekil 5.49. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri.

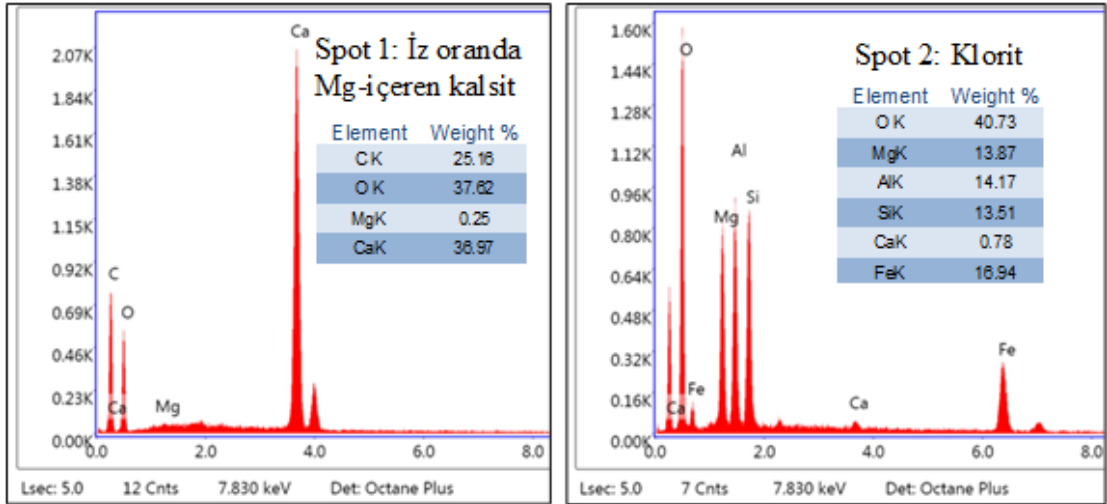
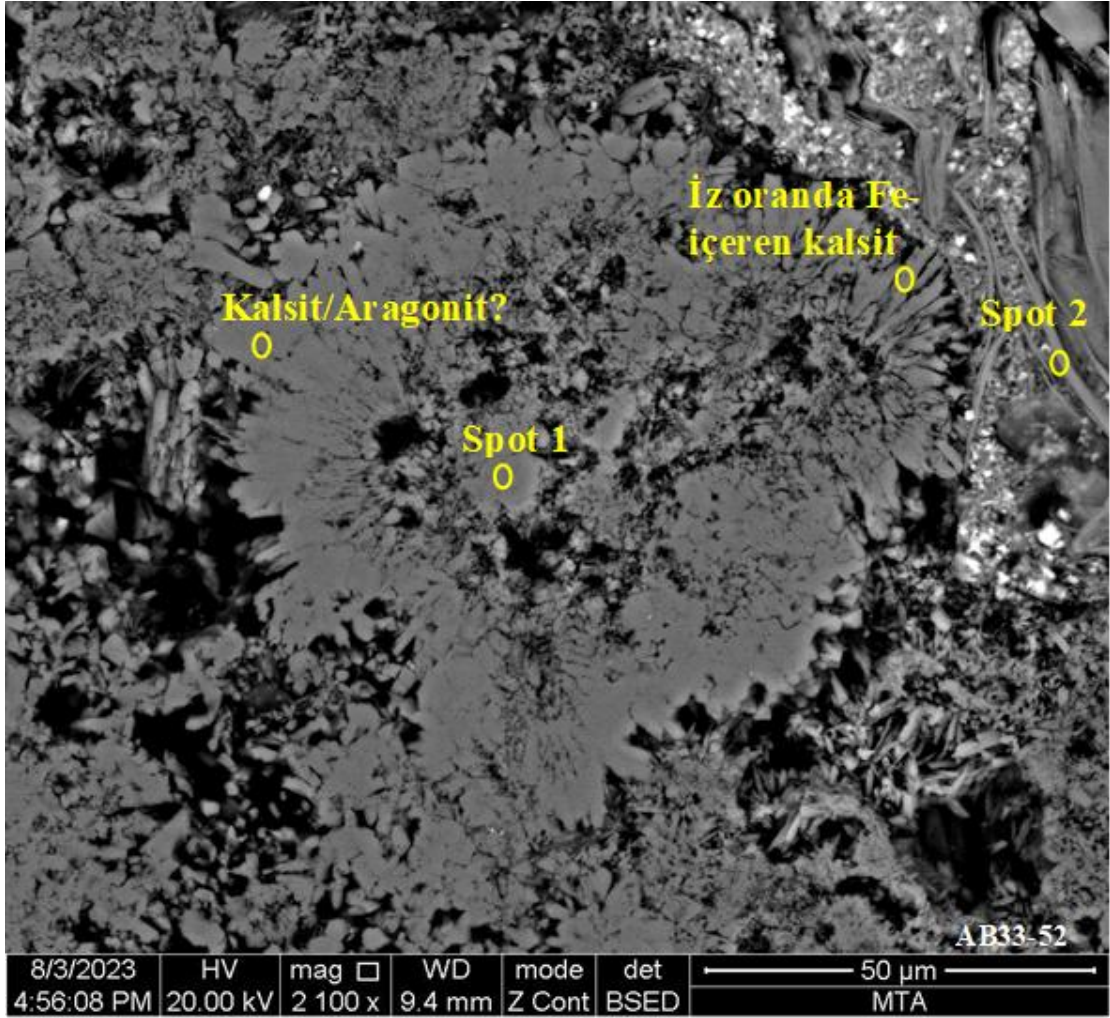


Şekil 5.50. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan feldispat (K ve Na), muskovit, kalsit, silika, iz oranda Ba-içeren söleştin, iz oranda Ca içeren Sr-barit.

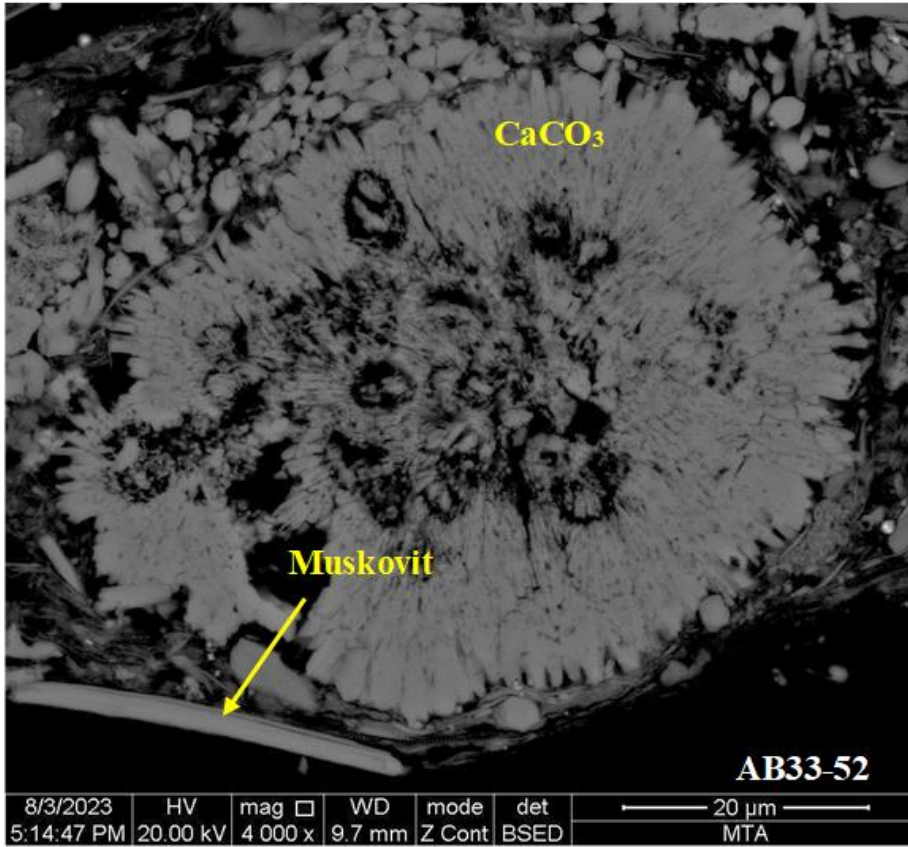
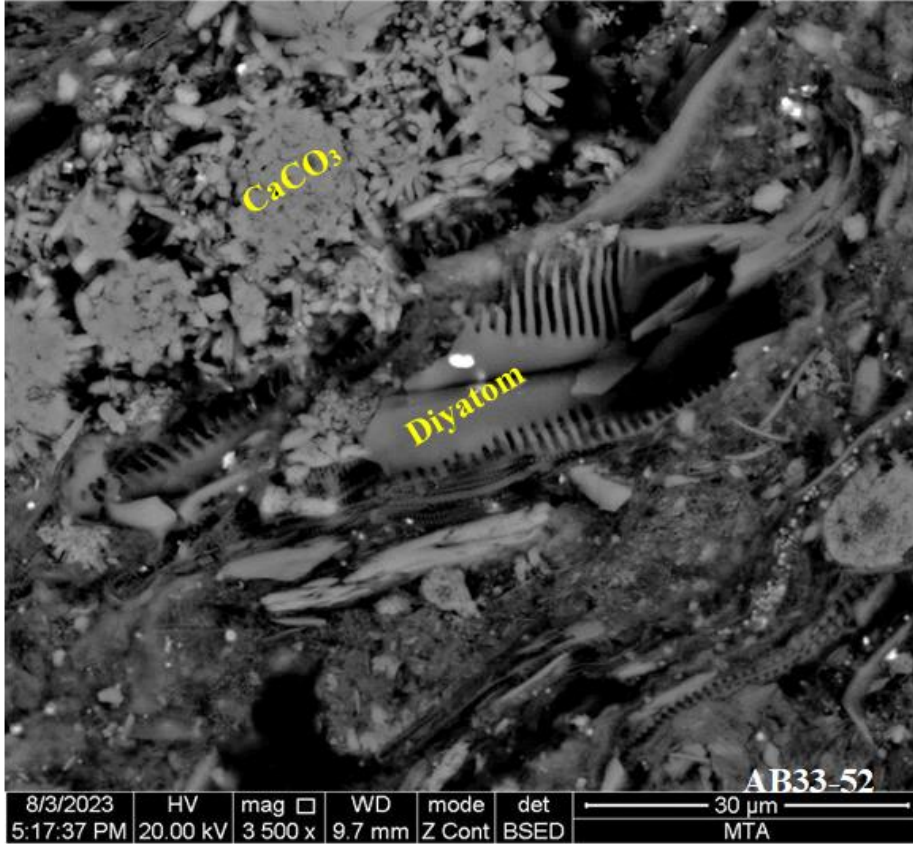


Şekil 5.51. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan Nb-rutil? ve bunların EDS bileşimleri.

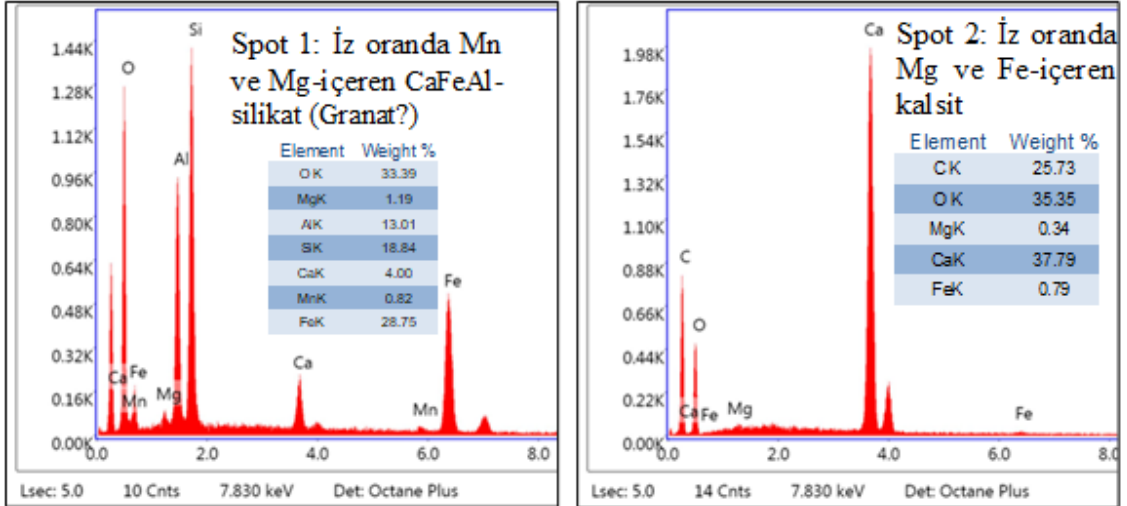
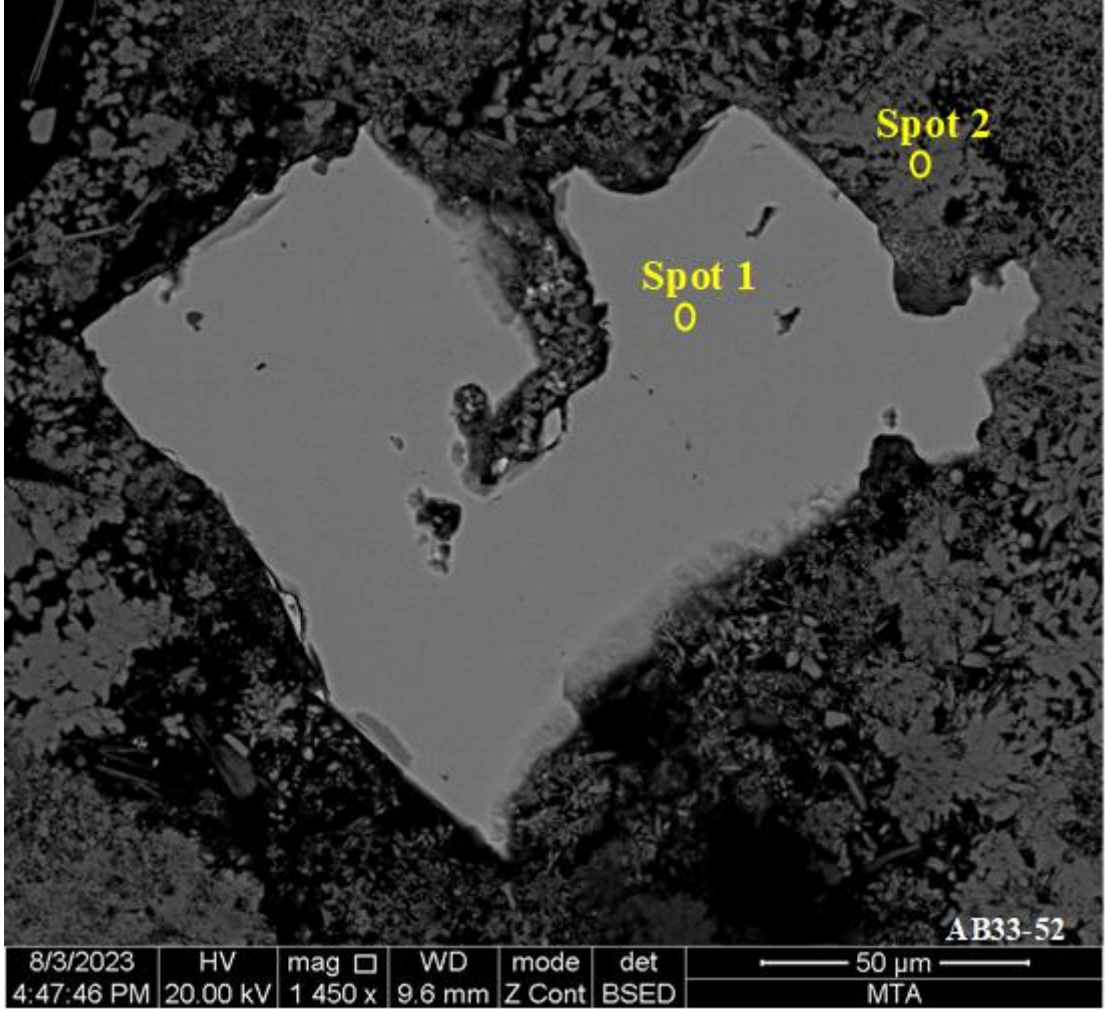




Şekil 5.52. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri.

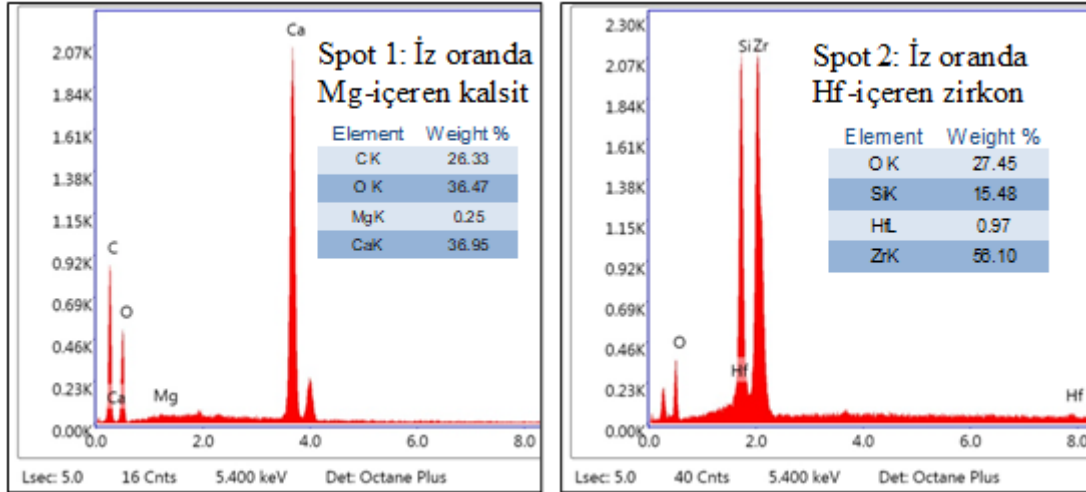
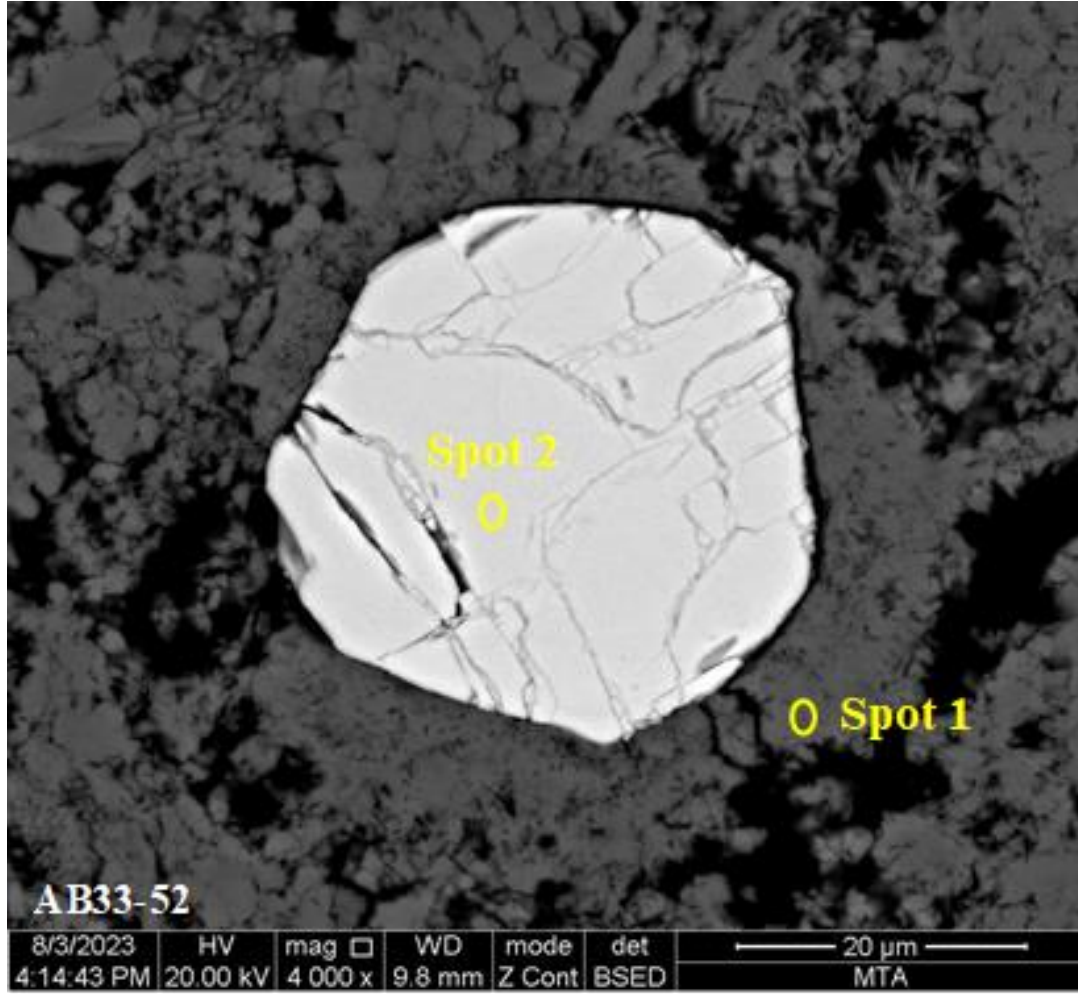


Şekil 5.53. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan CaCO<sub>3</sub>, muskovit ve diyatom kavkıları.

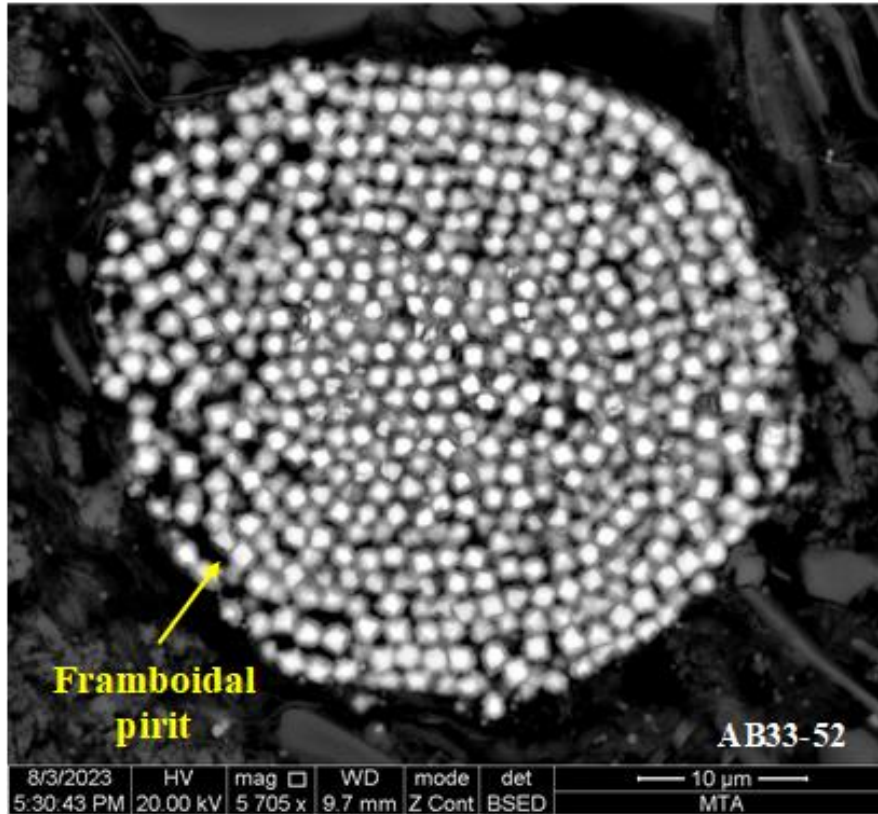
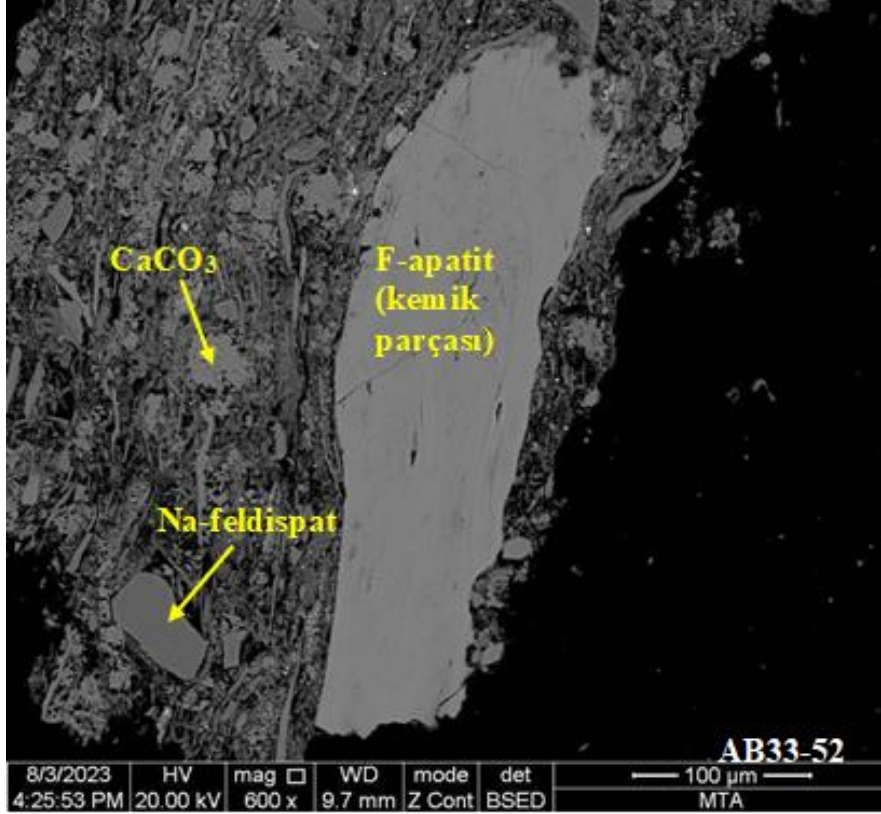


Şekil 5.54. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan Granat? ve iz oranda Mg ve Fe-içeren kalsit oluşumları ve EDS bileşimleri.

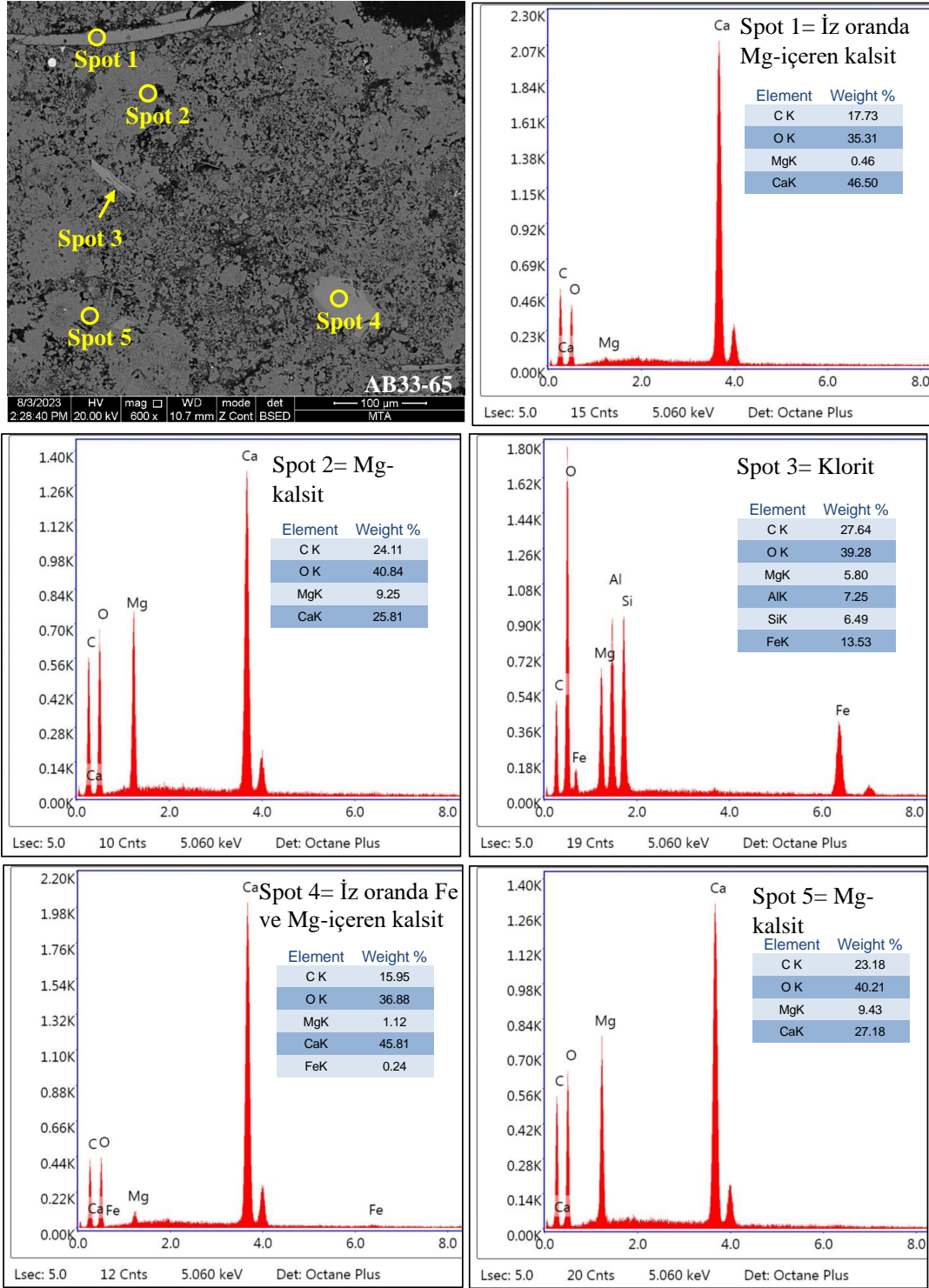




Şekil 5.55. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan Mg-içeren kalsit, iz oranda Hf-içeren zirkon ve bunların EDS bileşimleri.

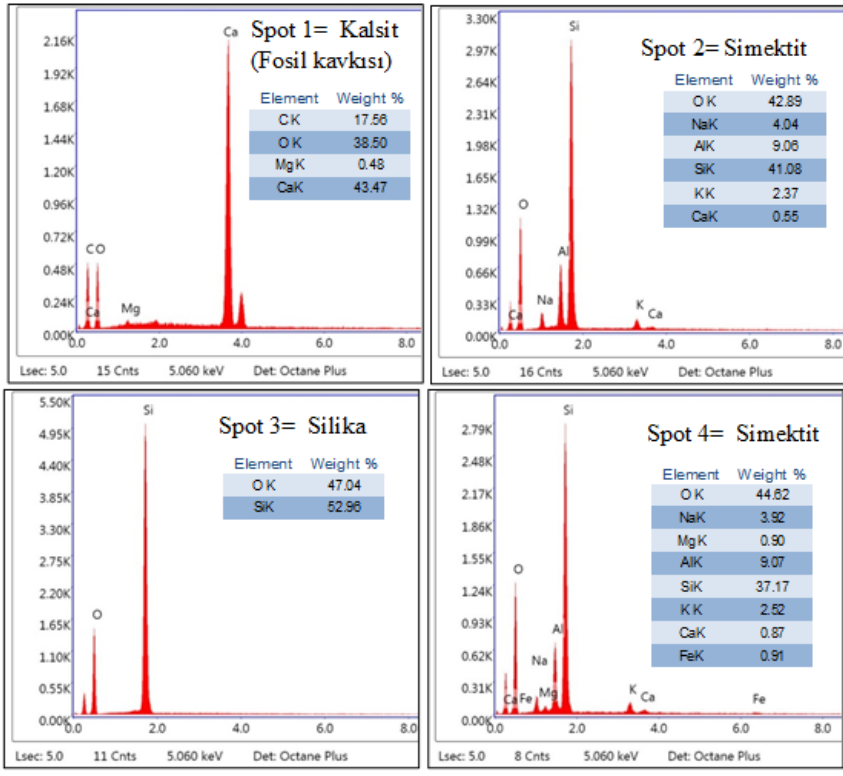
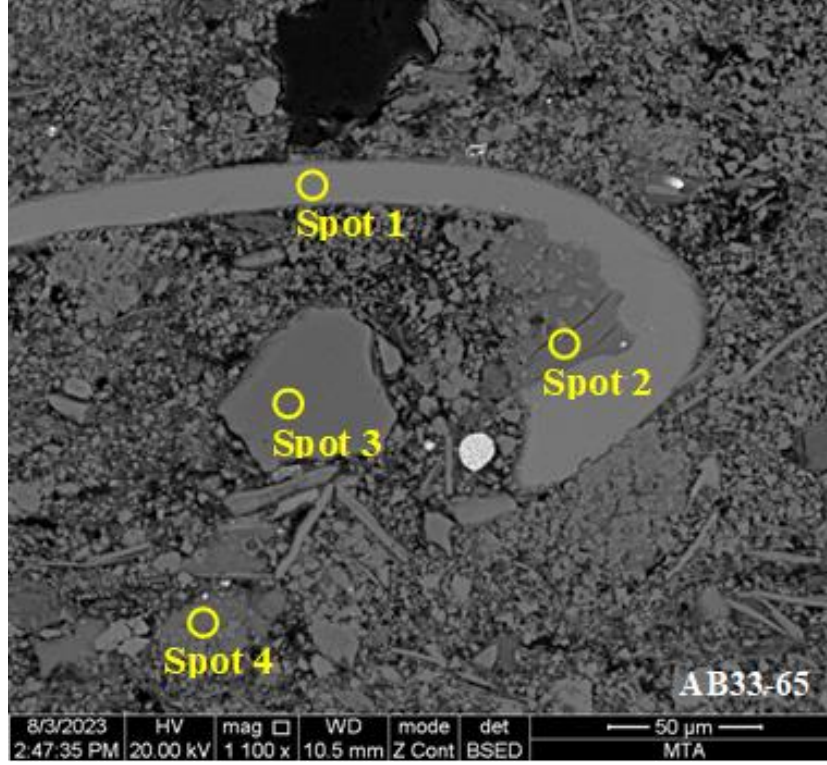


Şekil 5.56. Tez kapsamında AB33-52 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan kemik parçası, Na-feldispat, CaCO<sub>3</sub> ve framboidal pirit oluşumları.

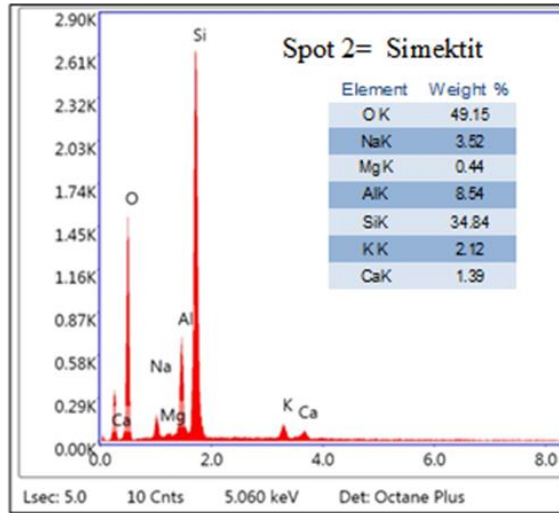
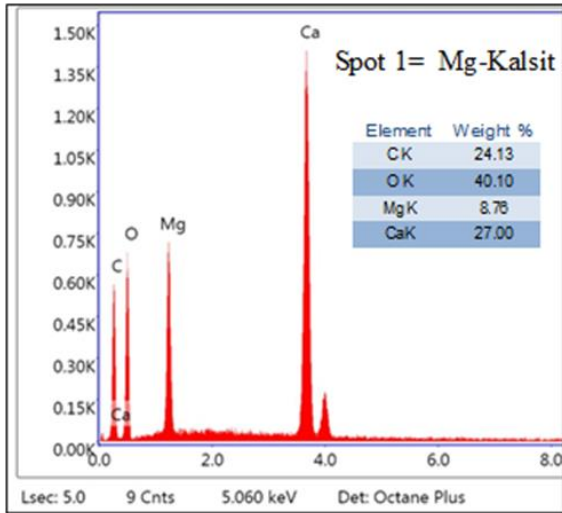
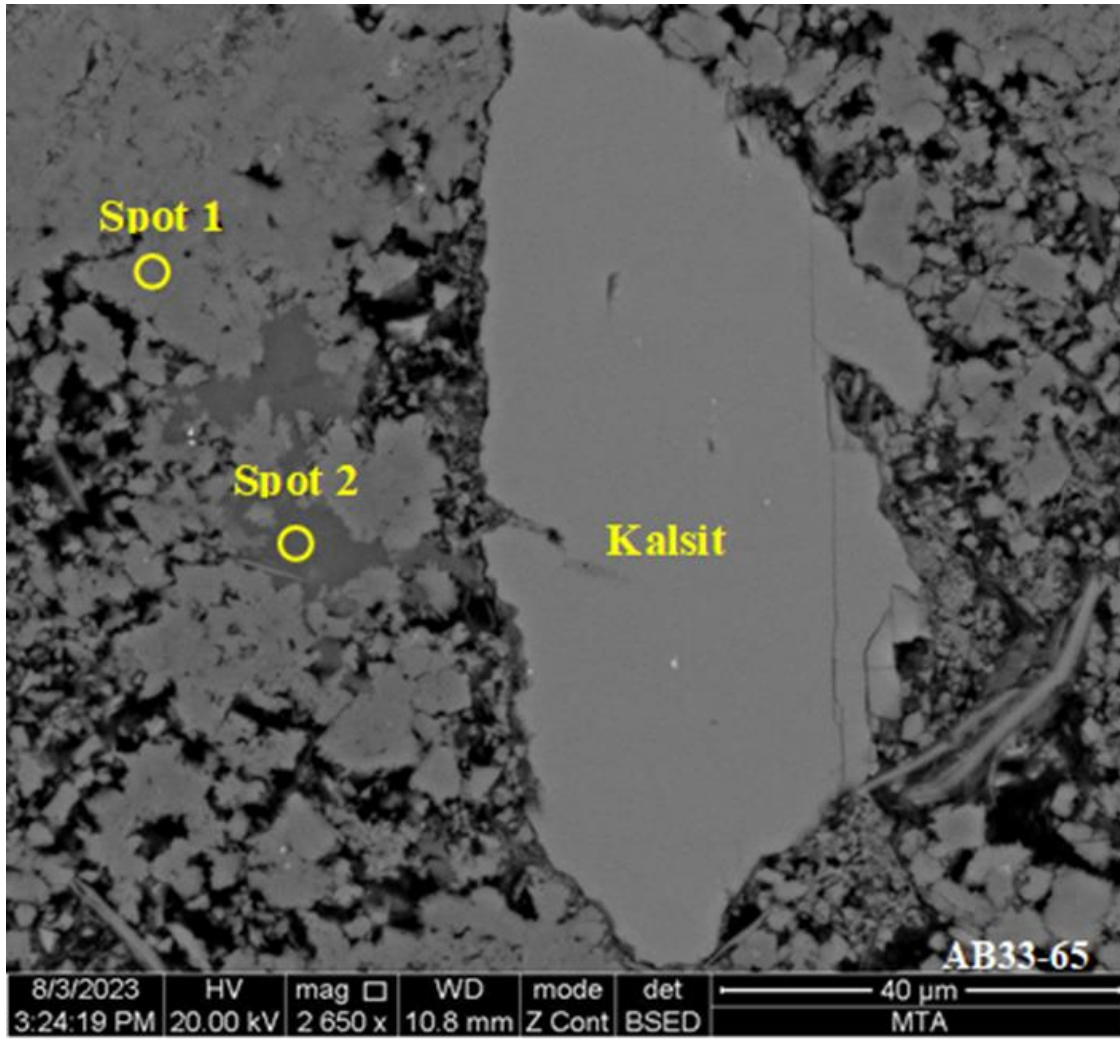


Şekil 5.57. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri.

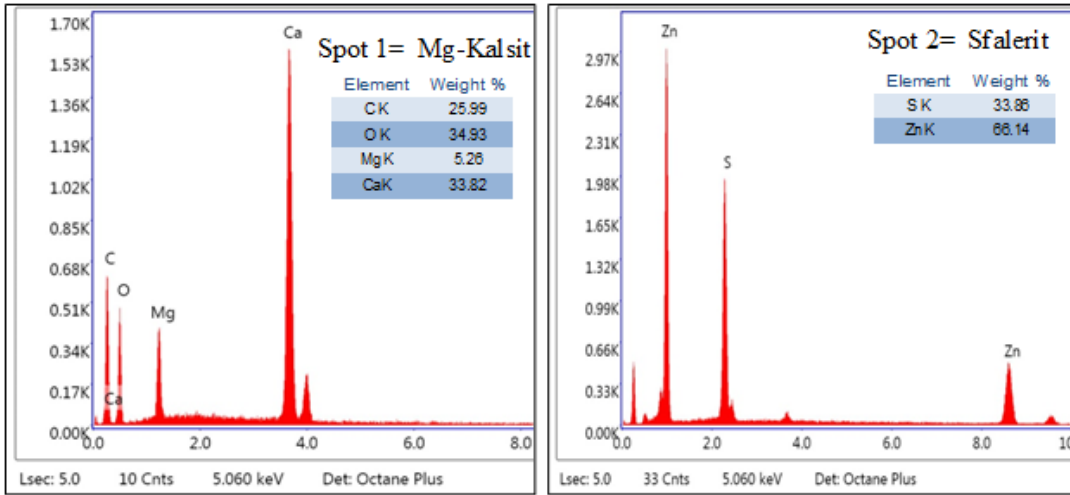
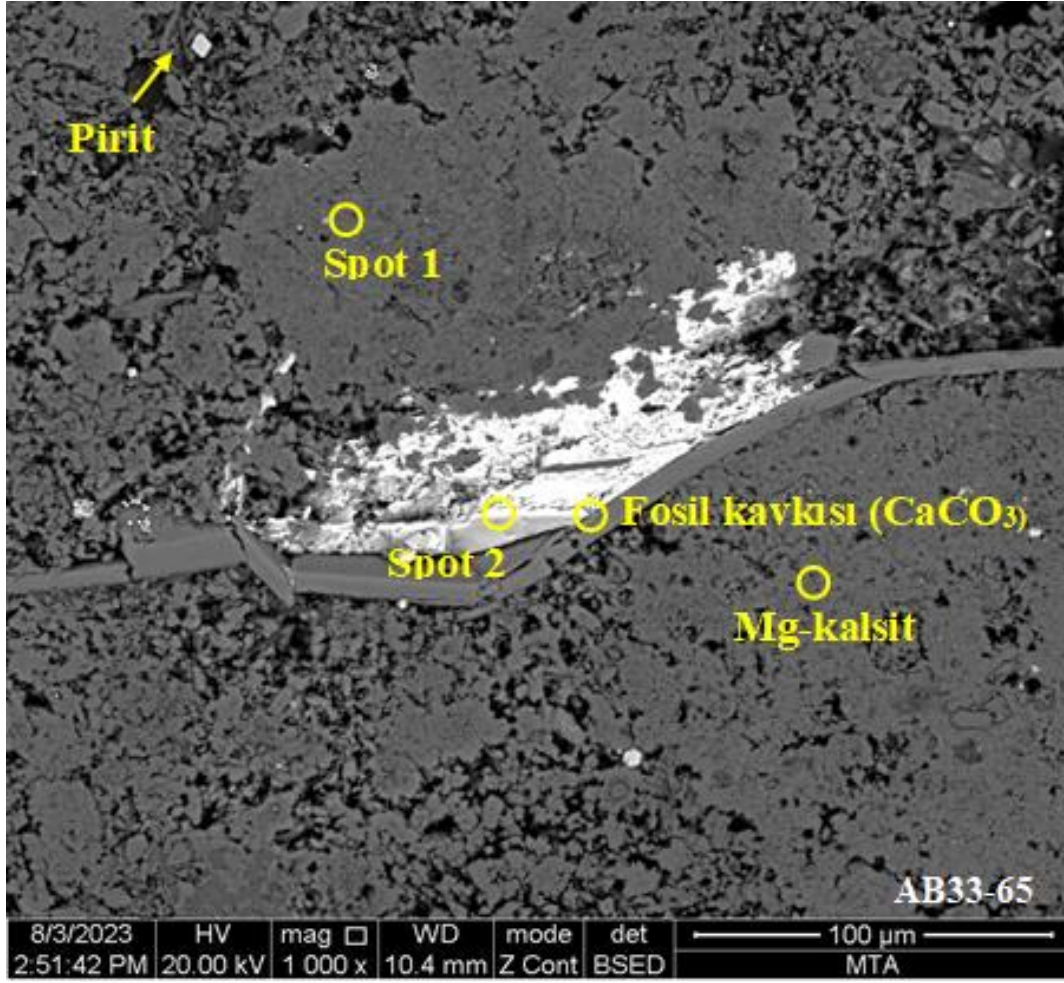




Şekil 5.58. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan fosil kavkası, simektit ve silika mineralleri ve bunların EDS bileşimleri.

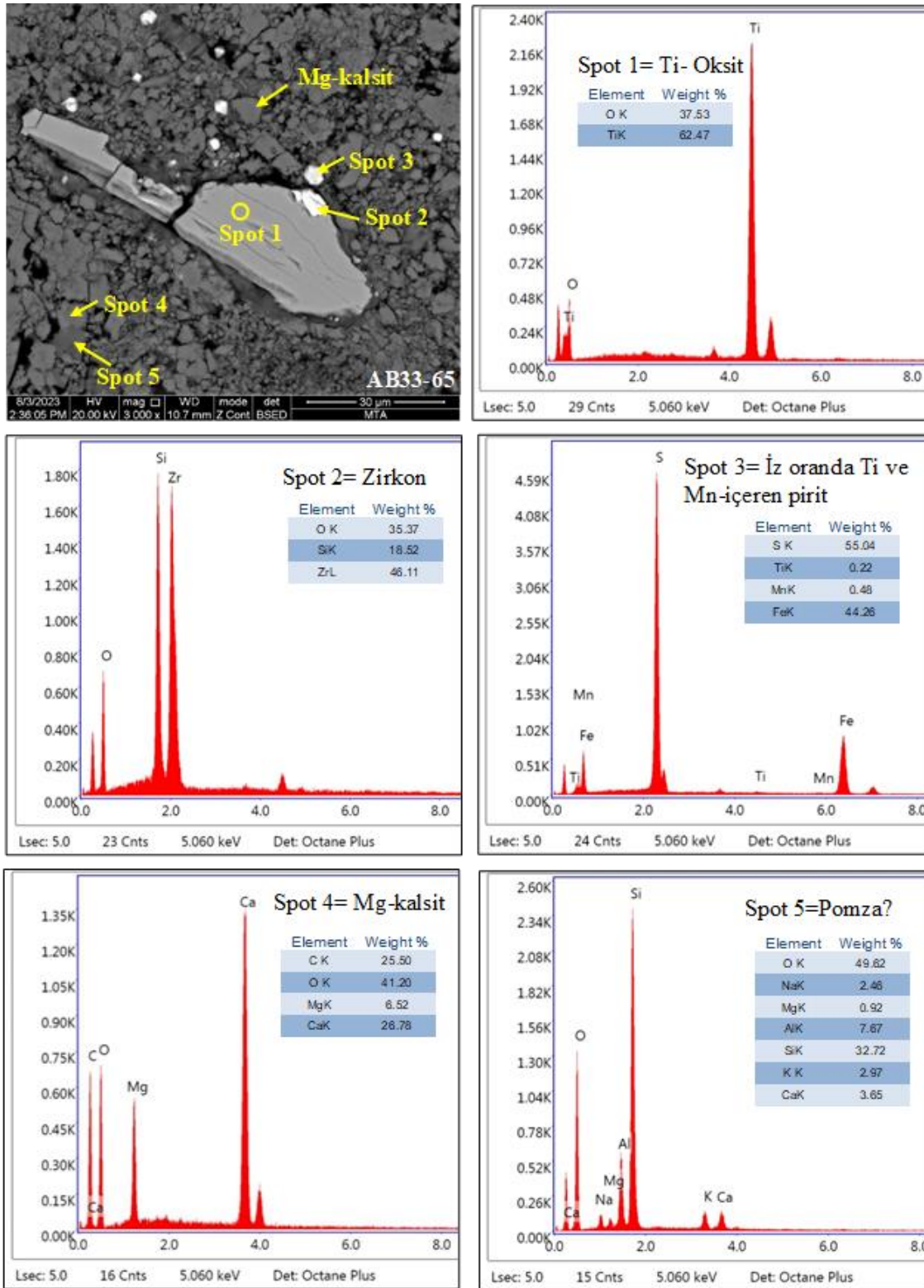


Şekil 5.59. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan kalsit, Mg-kalsit ve simektit oluşumları ve EDS bileşimleri.

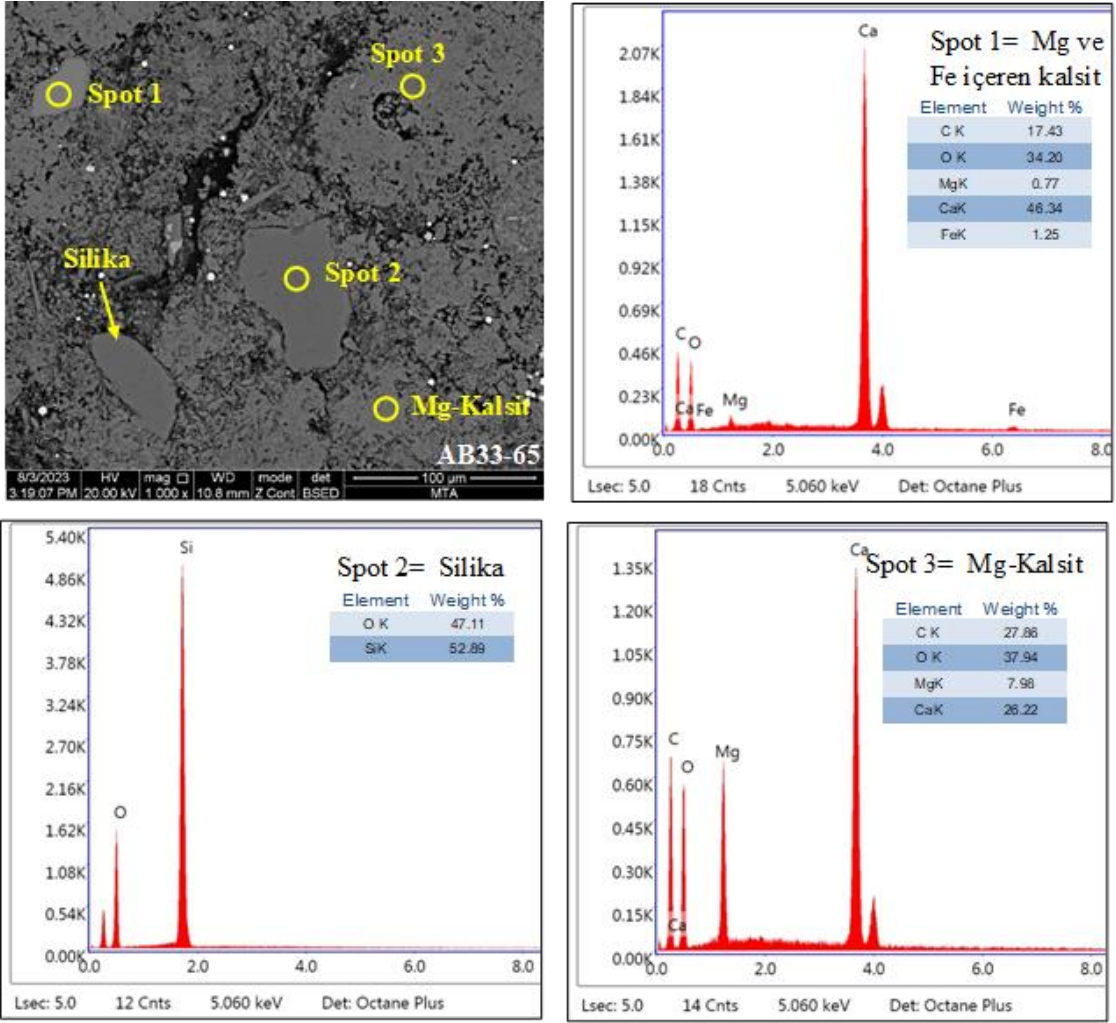


Şekil 5.60. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan fosil kavkısı, Mg-kalsit ve sfalerit.

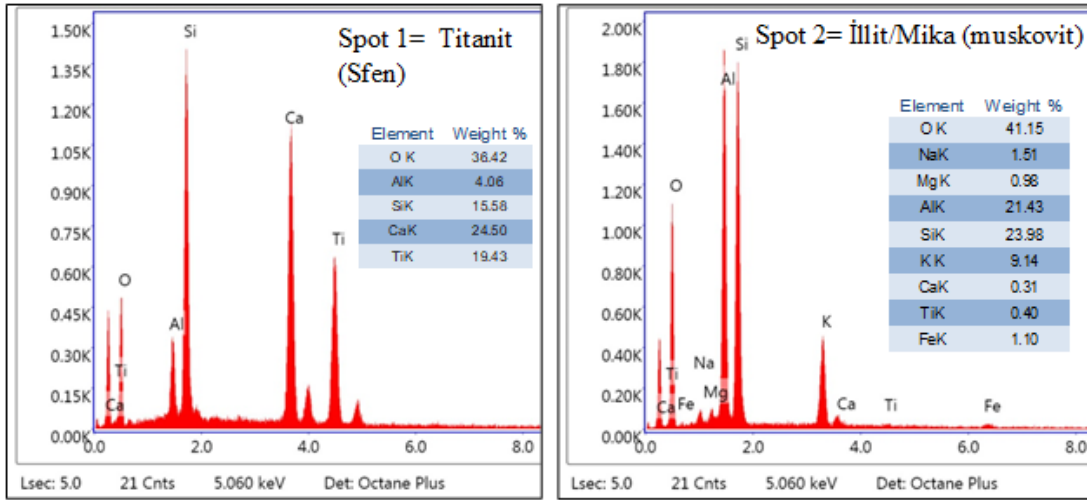
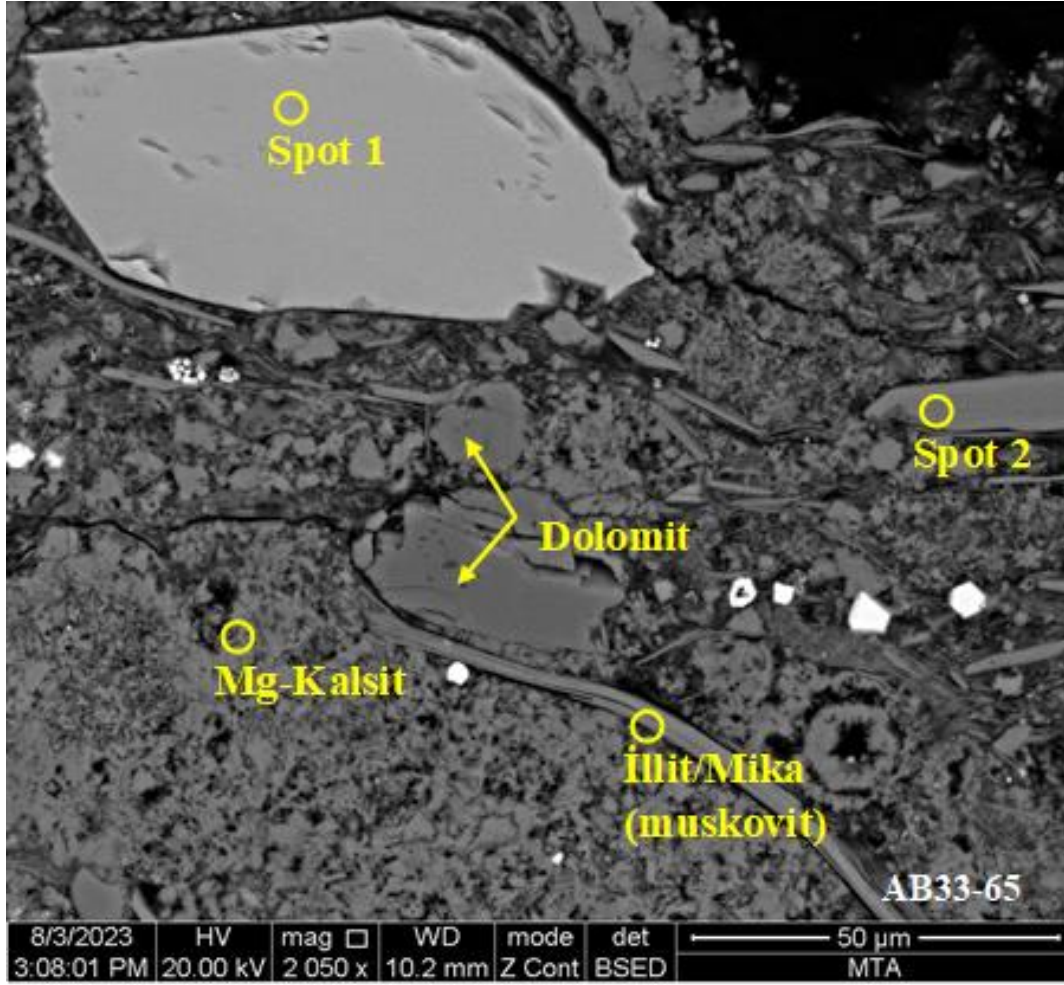




Şekil 5.61. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan zirkon, Ti- oksit, iz oranda Ti ve Mn- içeren pirit, Mg-kalsit ve pomza oluşumları ve EDS bileşimleri.

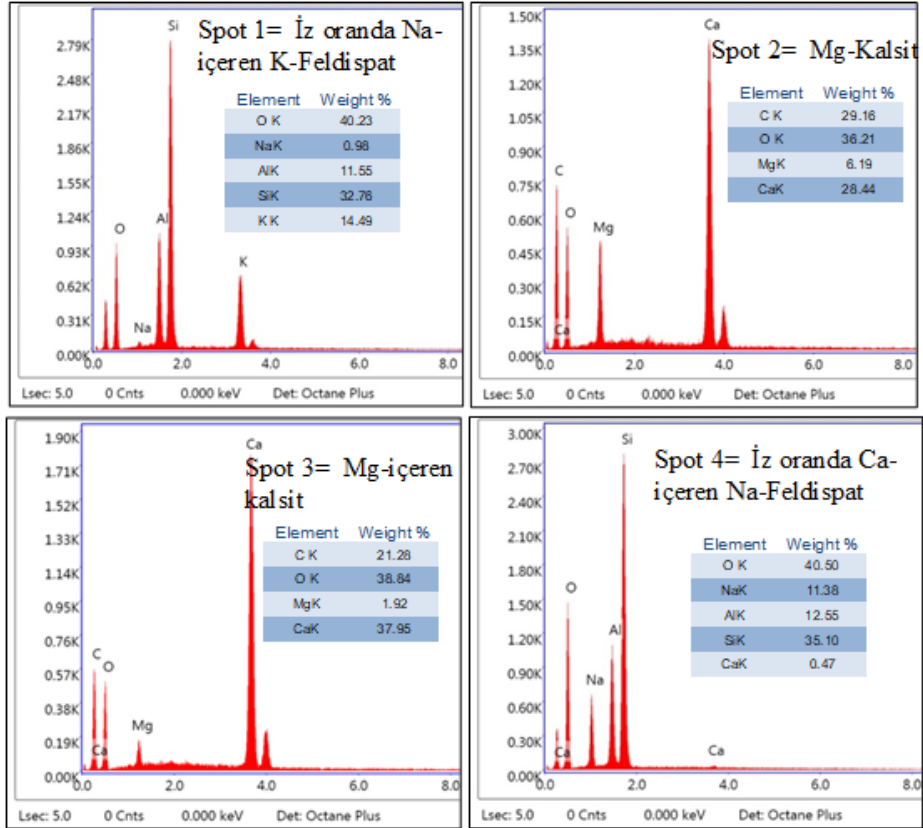
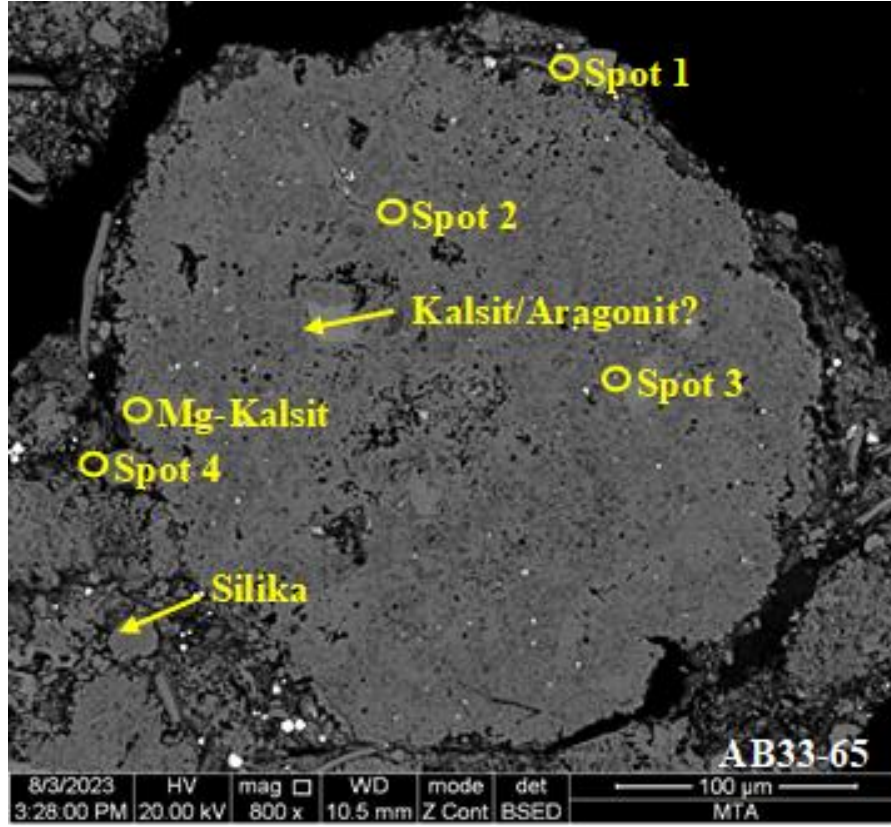


Şekil 5.62. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan silika, Mg-kalsit, Mg ve Fe-içeren kalsit oluşumları ve EDS bileşimleri.

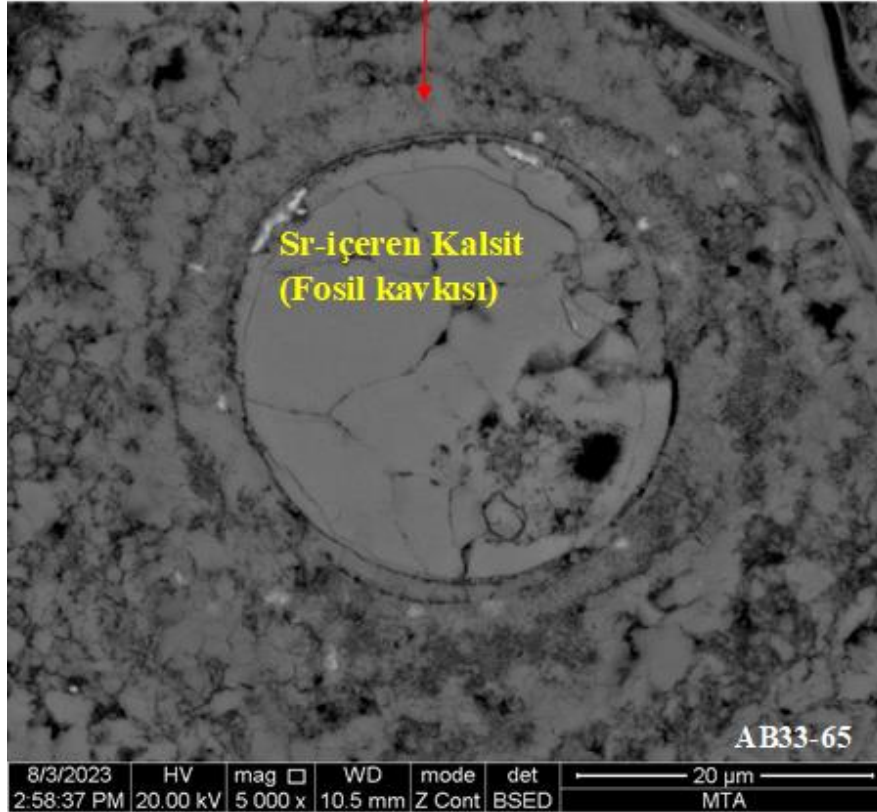
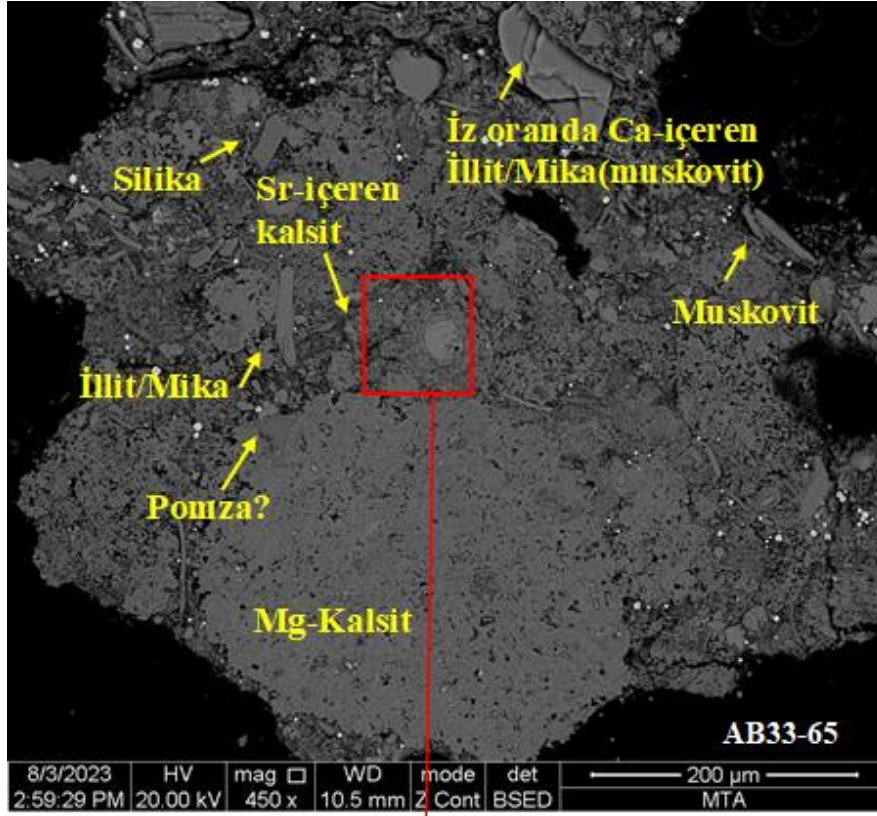


Şekil 5.63. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan çeşitli mineraller ve EDS bileşimleri.





Şekil 5.64. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve bunların EDS bileşimleri.



Şekil 5.65. Tez kapsamında AB33-65 nolu örneğin parlak kesiti üzerinde SEM-EDS yardımıyla tanımlanan mineraller ve fosil kavkısı.



İncelenen AB33-52 nolu örnekte çok ilginç ve ülkemiz kömüre komşu kayalarda bugüne kadar not edilmeyen Ta-V-Fe-içeren Nb-Ti-oksit (Nb-rutil?), V-Fe-içeren Nb-Ti-oksit (Nb-rutil?) (Şekil 5.51) saptanmıştır. Bu tanenin merkezi kısmında, dış kısmından farklı olarak Ta saptanmıştır. Tez kapsamında Ta-V-Fe içermeyen ve neredeyse saf Ti-oksit (rutil veya anataz) de tanımlanmıştır. Tanımlanan Nb-rutil, iz oranda Mn ve Mg içeren CaFeAl-silikat (granat?) (Şekil 5.54), zirkon, iz oranda Hf-içeren zirkon (Şekil 5.55), minerallerinin detritik olduğu ve muhtemelen Menderes Masifine ait kayalardan taşındığı düşünülmektedir.

İncelenen AB33-65 nolu örnekte, XRD-TK difraktogramlarında tanımlanan kutnohorit SEM-EDS çalışmalarıyla tanımlanmamıştır. Bu nedenle XRD-TK difraktogramlarında bu mineral gösterilmemiştir. Bu örnekte SEM-EDS çalışmalarıyla silika, iz oranda Fe-içeren veya saf dolomit, iz oranda Ca-içeren illit/mika, iz oranda Na, Ca, Ti, Mg, Fe-içeren illit/mika, iz oranda Sr-içeren CaCO<sub>3</sub> bileşimli kalsit/aragonit, saf CaCO<sub>3</sub> bileşimli kalsit/aragonit, iz oranda Fe ve Mg-içeren CaCO<sub>3</sub> bileşimli kalsit/aragonit, Mg-kalsit (muhtemelen XRD-TK diyagramlarında kutnohorit olarak tanımlanan minerallerin aslında Mg-kalsit olduğu ortaya çıkmaktadır), iz oranda Mg-içeren veya saf CaCO<sub>3</sub> bileşimli fosil kavkısı, iz oranda Na-içeren K-feldispat, iz oranda Ca-içeren Na-feldispat, pirit, klorit, simektit, Ti-oksit, zirkon, sfalerit, sfen, pomza parçası (?) tanımlanmıştır.

#### 5.4. Kömürlerin Jeokimyasal Analizleri

Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan toplam ondört örneğin (kömür, kömürlü silttaşı ve karbonlu şeyl) jeokimyasal (majör oksit ve iz element) analiz sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir. Örneklerin 815 °C'de külleştirilmiş küllerinde XRF yardımıyla saptanan %majör oksit analiz sonuçları Çizelge 5.9'de sunulmuştur. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, bir örnek (AB32-6) hariç olmak üzere oksit bileşimleri %100 tamamlanmaktadır. Mineraloji kısmında da açıklandığı gibi, AB32-6 nolu örneği XRD-TK diyagramında yaygın oranda kalsit saptanmıştır (Bkz. Şekil 5.7). Bu örnekte majör oksit bileşiminin %100 bağlanmamasının nedeni örnekte tam olarak bozunmamış kalsit minerallerinden ve/veya analiz edilmemiş SrO ve BaO gibi oksitlerden kaynaklanmış olabilir. Diğer taraftan analiz sonuçlarında MnO, çoğunlukla kullanılan cihazın dedeksiyon limitinin altında veya dedeksiyon limiti civarında bir konsantrasyona sahiptir (Çizelge 5.9). Bu nedenle majör oksit bileşimlerinde MnO değerleri değerlendirme dışı tutulmuştur. İncelenen on dört örnekte, SO<sub>3</sub> dışında, en önemli majör oksitleri SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oluşturmaktadır (Çizelge 5.9).

İncelenen AB-32 nolu sondajdan alınan yedi adet kömür örneğinde XRF cihazı yardımıyla tespit edilen kül bazında majör oksitlerin (SO<sub>3</sub> dışında) sınır değerleri ve sondaja göre ağırlıklı ortalamaları sırasıyla %7,8-45,7 (ort. %23,6) SiO<sub>2</sub>, %3,0-19,8 (ort. %10,5) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,2-0,8 (ort. %0,5) Na<sub>2</sub>O, %0,3-2,1 (ort. %1,1) K<sub>2</sub>O, %1,9-4,9 (ort. %2,6) MgO, %8,3-60,4 (ort. 33,9) CaO, %0,1-0,4 (ort. %0,2) TiO<sub>2</sub>, %1,8-10,1 (ort. %5,4) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,1-0,8 (ort. %0,3) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> olarak bulunmuştur (Çizelge 5.8). Bu değerler AB-33 nolu sondajdan alınan beş adet kömür örneğinde ise %4,9-43,6 (ort. %23,4) SiO<sub>2</sub>, %1,9-20,9 (ort. %10,8) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %0,5-3,9 (ort. %2,1) Na<sub>2</sub>O, %0,2-2,1 (ort. %1,1) K<sub>2</sub>O, %1,3-13,6 (ort. %3,5) MgO, %9,5-60,4 (ort. %32,0) CaO, %0,1-0,4 (ort. %0,2) TiO<sub>2</sub>, %0,9-6,9 (ort. %3,9) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %0,1-0,2 (ort. %0,1) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, olarak bulunmuştur (Çizelge 5.9). Her iki sondajda kömür örneklerine ait ortalama değerler ise %23,5 SiO<sub>2</sub>, %10,6 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %1,3 Na<sub>2</sub>O, %1,1 K<sub>2</sub>O, %3,1 MgO, %32,9) CaO, %0,2 TiO<sub>2</sub>, %4,7 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %0,2 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.9. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin kül bazında XRF yardımıyla yapılan majör oksit analiz sonuçları (Not: <i>işareti</i> konsantrasyonun dedeksiyon limitinden daha düşük olduğunu göstermektedir).

Örnek No	Derinlik (m)		Litoloji	XRF-Majör Oksit Sonuçları (%)											Toplam
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	
AB32-1	300,63	301,08	ZT	49,3	21,1	0,9	2,6	1,8	6,7	0,5	<0,1	7,6	0,1	9,0	99,6
AB32-2	379,67	380,00	CO	26,3	11,2	0,8	1,2	4,9	20,3	0,3	<0,1	6,2	0,3	28,0	99,5
AB32-3	396,50	397,05	CO	45,7	19,8	0,7	2,1	3,0	8,3	0,4	<0,1	10,1	0,1	9,4	99,6
AB32-4	398,50	398,97	CO	35,7	16,7	0,7	1,7	2,8	14,9	0,3	<0,1	7,2	0,2	19,3	99,5
AB32-5	399,49	399,86	CO	16,3	6,8	0,2	0,6	2,1	41,0	0,2	<0,1	4,8	0,3	27,1	99,4
AB32-6	400,16	400,67	CO	7,8	3,0	0,2	0,3	1,9	60,4	0,1	0,1	1,8	0,2	13,6	89,4
AB32-7	404,36	404,63	CO	10,6	5,4	0,2	0,5	1,9	52,7	0,2	0,1	3,6	0,3	24,1	99,6
AB32-8	406,51	406,90	CO	11,8	5,8	0,3	0,7	1,9	49,8	0,2	0,1	2,8	0,8	25,3	99,5
AB33-1	716,36	716,64	CO	23,4	9,5	1,5	1,1	1,3	24,7	0,2	<0,1	3,3	0,1	34,8	99,9
AB33-2	716,64	716,92	XH	79,5	2,1	0,8	0,5	1,9	6,3	0,0	<0,1	1,5	0,1	7,2	99,9
AB33-3	717,26	717,74	CO	43,6	20,9	2,7	2,1	2,2	9,5	0,4	<0,1	6,4	0,1	11,8	99,7
AB33-4	718,62	719,34	CO	13,3	5,8	1,6	0,4	1,8	44,8	0,1	<0,1	2,1	0,1	29,5	99,5
AB33-5	719,34	719,62	CO	4,9	1,9	0,5	0,2	13,6	66,4	0,1	<0,1	0,9	0,1	11,0	99,6
AB33-6	719,62	719,98	CO	31,1	15,4	3,9	1,6	2,6	15,4	0,4	<0,1	6,9	0,2	22,2	99,7

Tez kapsamında incelenen AB32-1 nolu kömürlü silttaşı (ZT) ve AB33-2 nolu karbonlu şeyl (XH) örneklerinde kömür örneklerinin küllerine göre belirgin oranda yüksek-çok yüksek oranda SiO<sub>2</sub>, daha düşük oranda CaO ve SO<sub>3</sub> değerleri saptanmıştır (Çizelge 5.9). Bu durum, XRD-TK sonuçlarına paralel olarak incelenen kömürlü silttaşı örneğinin kuvars ve Al-içeren silikat minerallerince ve karbonlu şeyl örneğinin ise kuvarsa zengin olduğunu işaret etmektedir.

Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan ve 550 °C'da külleştirilen örneklerin iz element konsantrasyonları ICP-OES yardımıyla belirlenmiş ve her bir örneğe ait analiz sonuçları Çizelge 5.10'da sunulmuştur. Analiz sonuçlarında da görüldüğü gibi kömür, kömürlü silttaşı ve karbonlu şeyl örneklerinde Cd ve Sb konsantrasyonları dedeksiyon limitinin altında olduğundan değerlendirme dışında tutulmuştur (Çizelge 5.10). Diğer taraftan bazı kömür örneklerinde (örneğin AB32-6 ve AB33-5) ve karbonlu şeyl örneğinde (AB33-2) analiz edilen elementlerin çoğu dedeksiyon limitinin altında değerlere sahiptir (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin kül bazında ICP-OES yardımıyla yapılan iz element analiz sonuçları (Not: <i>işareti konsantrasyonun dedeksiyon limitinden daha düşük olduğunu göstermektedir).

Örnek No	Derinlik (M)		Litoloji	ICP-OES İz Element Analiz Sonuçları (ppm)																				
				As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ga	Li	Mo	Ni	Pb	Rb	Sb	Se	Sr	Th	U	V	Y	Zn
AB32-1	300,63	301,08	ZT	157	154	123	<5	27	107	13	12	36	25	149	41	28	<10	7	350	23	38	85	16	98
AB32-2	379,67	380,00	CO	87	3185	61	<5	15	138	33	16	19	136	96	25	<10	<10	5	2529	26	346	552	17	90
AB32-3	396,50	397,05	CO	60	1105	104	<5	20	98	49	16	56	76	178	43	39	<10	<5	1005	40	181	180	36	120
AB32-4	398,50	398,97	CO	52	1077	141	<5	15	66	26	13	39	36	87	25	14	<10	<5	1147	22	62	100	19	75
AB32-5	399,49	399,86	CO	31	498	129	<5	9	43	23	7	15	32	50	19	<10	<10	7	1683	11	42	95	9	39
AB32-6	400,16	400,67	CO	15	193	118	<5	<5	17	6	<5	<10	7	20	<10	<10	<10	6	1311	<10	<10	24	<5	20
AB32-7	404,36	404,63	CO	20	258	90	<5	8	37	16	6	12	37	43	<10	<10	<10	<5	1967	<10	36	102	9	53
AB32-8	406,51	406,90	CO	14	386	611	<5	6	48	38	5	13	20	48	<10	<10	<10	6	1348	<10	25	100	9	52
AB33-1	716,36	716,64	CO	37	697	128	<5	13	42	25	6	32	60	113	14	15	<10	5	837	18	137	77	13	79
AB33-2	716,64	716,92	XH	17	114	30	<5	<5	15	7	<5	<10	7	19	<10	<10	<10	<5	194	<10	<10	<10	<5	51
AB33-3	717,26	717,74	CO	37	997	111	<5	16	65	32	16	60	14	80	50	42	<10	6	772	37	119	127	39	102
AB33-4	718,62	719,34	CO	25	1120	119	<5	<5	24	17	<5	18	13	26	18	<10	<10	5	722	<10	23	38	8	28
AB33-5	719,34	719,62	CO	<10	156	193	<5	<5	13	<5	<5	11	8	15	<10	<10	<10	7	1263	<10	14	13	<5	<10
AB33-6	719,62	719,98	CO	43	2321	182	<5	18	74	51	15	60	20	89	34	49	<10	<5	914	26	55	104	23	83

Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan oniki adet kömür örneğinin çoğunda tespit edilen iz elementleri As, B, Ba, Co, Cr, Cu, Ga, Li, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Th, U, V, Y ve Zn oluşturmaktadır.

İncelenen AB-32 nolu sondajdan alınan yedi adet kömür örneğinde ICP-OES cihazı yardımıyla tespit edilen kül bazında iz elementlerin sınır değerleri ve sondaja göre ağırlıklı ortalamaları sırasıyla 14-87 ppm (ort. 40ppm) As, 193-3185 ppm (ort.923ppm) B, 61-611ppm (ort. 178 ppm) Ba, <5-20 ppm (ort.11 ppm) Co, 17-138 ppm (ort.64 ppm) Cr, 6-49 ppm (ort. 28 pmm) Cu, <5-16ppm (ort. 9 ppm), <10-56 ppm (ort.24 ppm) Li, 7-136 ppm (ort.47 ppm) Mo, 20-178 ppm (ort. 79 ppm) Ni, <10-43 ppm (ort. 18 ppm) Pb, <10-39 ppm (ort.9,7) Rb, <5-5 (ort. 3 ppm) Se, 1005-2529 ppm (ort. 1479 ppm) Sr, <10-40 ppm (ort. 16 ppm) Th, <10-346 ppm (ort.96 ppm), 24-522 ppm (ort. 153 ppm) V, <5-36 ppm (ort. 15 ppm) Y ve 20-120 ppm (ort. 66 ppm) Zn bulunulmuştur.

Çalışma kapsamında AB-33 nolu sondajdan incelenen beş adet kömür örneğinde ICP-OES cihazı yardımıyla tespit edilen kül bazında iz elementlerin sınır değerleri ve sondaja

göre ağırlıklı ortalamaları ise sırasıyla <10-43 ppm (ort. 29 ppm) As, 156-2321 ppm (ort. 1113 ppm) B, 111-193 ppm (ort. 139) Ba, <5-18 ppm (ort. 8 ppm) Co, 13-74 ppm (ort. 43 ppm) Cr, <5-51 ppm (ort. 25 ppm) Cu, <5-16 ppm (ort. 7 ppm) Ga, <10-60 ppm (ort. 36 ppm) Li, 7-60 ppm (ort.20 ppm) Mo, 15-113 ppm (59 ppm) Ni, <10-50 ppm (ort. 25 ppm), <10-49 ppm (ort. 20 ppm) Rb, <5-7 ppm (ort. 5 ppm) Se, 722-1263 ppm (ort. 853 ppm) Sr, <10-37 ppm (ort. 15 ppm) Th, 14-137 ppm (ort. 64 ppm) U, 13-127 ppm (ort. 71 ppm) V, <5-39 ppm (ort. 17ppm) Y ve <10-102 ppm (ort. 57 ppm) Zn bulunulmuştur.

Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlarda kömür örneklerine ait çoğunlukla B, Mo, Ni, Sr, U ve V konsantrasyonlarının ağırlıklı ortalama değerleri, aşağıda daha ayrıntılı olarak açıklandığı gibi, Ketris ve Yudovich (2009)'da verilen ortalama değerleri aşmaktadır. Bunlar içinde özellikle kömür külü örneklerinde B ve Sr'un yüksek konsantrasyonları oldukça dikkat çekici gözükmektedir.

Bir elementin cevherleşmeden etkilenmemiş yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonuna "Klark (Clarke)" değeri veya "normal değer" olarak isimlendirilmektedir. Kömürlerde gözlenen elementlerin zenginleşme derecelerinin tespit edilebilmesi amacıyla element konsantrasyonları ile yerkabuğundaki Klark değerleri ilk olarak Swaine (1990) tarafından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sırasında gözlenen çeşitli sorunlar nedeniyle Dünya kömür ortalamaları kullanılarak kömür ve organik madde açısından zengin kayaçlarda Klark değerleri, Ketris ve Yudovich (2009) tarafından daha sonra revize edilmiştir. Dai ve ark. (2015) ise analizle bulunan element konsantrasyonu normal (Klark) değerlerine bölünerek konsantrasyon katsayısı (CC) kavramı geliştirilmiştir. Konsantrasyon katsayısı 100'den büyük, 100-10, 10-5, 5-2, 2-0,5 ve 0,5'den küçük olanlar sırasıyla olağan dışı zenginleşme, önemli zenginleşme, nispi zenginleşme, Dünya kömür ortalamasına yakın ve seyrelmiş olarak tanımlanmıştır (Dai ve ark., 2015).

Tez kapsamında incelenen kömür, kömürlü silttaşı ve karbonlu şeyl örneklerine ait iz element konsantrasyonlarının ağırlıklı ortalamaları ve bu değerlerin Dünya kömürleriyle karşılaştırılmaları Çizelge 5.11'de sunulmuştur.



Çizelge 5.11. Tez kapsamında incelenen kömür, kömürlü silttaşı ve karbonlu şeyl örneklerine ait iz element konsantrasyonlarının ağırlıklı ortalamaları ve bu değerlerin Dünya kömürleriyle karşılaştırılması. Not: Karbonlu şeyl ve kömürlü silttaşına ait zenginleştirmelerin hesaplanmasında sedimanter kayalara ait Klark değerleri dikkate alınmıştır.

Element (ppm)	Düşük Ranklı Kömür Külü (Ketris ve Yudovich, 2009)	Sedimanter Kayaç (Ketris ve Yudovich, 2009)	AB-32		AB-33		AB-32 Konsantrasyon Katsayısı (CC)		AB-33 Konsantrasyon Katsayısı (CC)	
			Kömürlü Silttaşı	Kömür	Karbonlu Şeyl	Kömür	Kömürlü Silttaşı	Kömür	Karbonlu Şeyl	Kömür
As	48	7,6	157	40	17	29	20,7	0,8	2,2	0,6
B	410	72	154	923	114	1113	2,1	2,3	1,6	2,7
Ba	900	410	123	178	30	139	0,3	0,2	0,1	0,2
Cd	1,1	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Co	26	14	27	11	-	8	1,9	0,4	-	0,3
Cr	82	58	107	64	15	43	1,8	0,8	0,3	0,5
Cu	74	31	13	28	7	25	0,4	0,4	0,2	0,3
Ga	29	12	12	9	-	7	1,0	0,3	-	0,2
Li	49	33	36	24	-	36	1,1	0,5	-	0,7
Mo	15	1,5	25	47	7	20	16,7	3,2	4,7	1,3
Ni	52	37	149	79	19	59	4,0	1,5	0,5	1,1
Pb	38	12	41	18	-	25	3,4	0,5	-	0,7
Rb	48	94	28	10	-	20	0,3	0,2	-	0,4
Sb	5	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Se	7,6	0,27	7	3	-	5	25,9	0,4	-	0,6
Sr	740	270	350	1479	194	853	1,3	2,0	0,7	1,2
Th	19	7,7	23	16	-	15	3,0	0,8	-	0,8
U	16	3,4	38	96	-	64	11,2	6,0	-	4,0
V	140	91	85	153	-	71	0,9	1,1	-	0,5
Y	44	29	16	15	-	17	0,6	0,3	-	0,4
Zn	110	43	98	66	51	57	2,3	0,6	1,2	0,5

Bozdoğan Graben alanı içerisinde yapılmış AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örnekleri birlikte değerlendirildiğinde kömür örneklerinin küllerinde U'da zenginleşme, B ve Mo'de nispi zenginleşme, As, Cr, Ni, Pb, Sr, Th, V ve Zn'de Dünya kömür ortalamasına yakın ve geri kalanlarda seyrelme görülmektedir (Çizelge 5.11). Diğer taraftan kömürlü silttaşında As, Mo, Se ve U'da önemli bir zenginleşme, B, Ni, Pb, Th ve Zn'da nispi zenginleşme, Co, Cr, Ga, Li, Sr, V ve Y'da Dünya sedimanter kayaç ortalaması yakın ve diğerlerinde seyrelme belirlenmiştir. Kömürlü silttaşından daha farklı olarak karbonlu şeyl örneğinde B ve U'da nispi zenginleşme, As, Cr, Li, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Th, V ve Zn'da Dünya sedimanter kayaç ortalaması yakın değerlere sahiptir.

Tez çalışması kapsamında daha önce mineraloji bölümünde de ayrıntılı açıklandığı gibi SEM-EDS çalışmaları sırasında bazı elementlerin (örneğin Sr, Ba, Cr, vb.) kömür örneklerindeki oluşum modları ortaya konmuştur. Ancak, Çizelge 5.9'da görüldüğü gibi tez çalışması kapsamında en yüksek B, Mo, Sr ve U değerleri AB32-2 nolu kömür örneğinin külünde tespit edilmesine karşın SEM-EDS çalışmaları sırasında Sr hariç olmak üzere B, Mo ve U-içeren mineraller tanımlanmamıştır. Bu durum, SEM'le analiz edilemeyen B hariç olmak üzere Mo ve U'un ya organik madde içerisinde bulunmasından ve/veya nanomikron boyutunda olması nedeniyle SEM-EDS çalışmaları sırasında tespit edilememesiyle ilgili olabilir. Benzer şekilde Bulut (2023) tarafından da açıklandığı gibi Ülkemizdeki bazı Neojen yaşlı kömür sahaları (örn. Beypazarı/Ankara, Kangal/Sivas ve Milas-Yatağan/Muğla), İspanya'daki Mequinenza sahası ve Yunanistan'daki Megalopolis sahasında nötr ve alkalin ilksel turbalık koşullarında bağlı olarak Mo, U ve V zenginleşmelerinin geliştiği belirtilmiştir (Karayığit ve ark., 2019b, 2022; Querol ve ark., 1996, 1999; Siavalas ve ark., 2009). İncelenen örneklerde benzer şekilde sinjenetik karbonat mineralleri ve karbonat bileşimli fosil kavkılarının görülmesi, örneklerdeki Mo ve U zenginleşmelerini açıklayabilmektedir (Bulut, 2023'den). Diğer taraftan kayaçların SEM-EDS analizlerinde de görüldüğü gibi, vanadyum daha detritik olarak taşınan Ti-oksit minerallerinde görülmektedir. Ayrıca, Sr'la ilgili bilgiler mineraloji kısmında ayrıntılı açıklandığından konunun ayrıntısına burada değinilmemiştir.

## **5.5. Kömür Petrografi Çalışmaları**

Tez çalışmasının bu alt bölümünde oniki adet kömür, bir adet karbonu şeyl ve bir adet kömürlü silttaşı örneklerinden hazırlanan parlak kesitlerde üstten aydınlatmalı mikroskop yardımıyla normal ışık ve floresans ışık ile turuncu filtre kullanılarak gerçekleştirilen maseral-mineral madde analizlerine ait sonuçlar, bu sonuçlara dayalı fasiyes değerlendirmeleri ve hüminit yansıtması ölçümü sonuçları verilmiştir.

### **5.5.1. Maseral-Mineral Madde Analizleri**

Tez çalışması kapsamında maseral ve mineral madde analizinden elde edilen sonuçlar yardımıyla maseral gruplarının ve mineral maddenin hacimce yüzde değerleri bulunulmuştur (Çizelge 5.12). Ayrıca mineral-maddesiz bazda maseral gruplarının hacimce yüzde değerleri hesaplanmış ve hesaplanan değerler Çizelge 5.13’de sunulmuştur. Kömür parlak kesitleri üzerinde üstten aydınlatmalı mikroskopta normal ışık, mavi ışık ve turuncu filtre kullanılarak çekilen görüntülerden bazıları Şekil 5.66-5.69’da sunulmuştur.

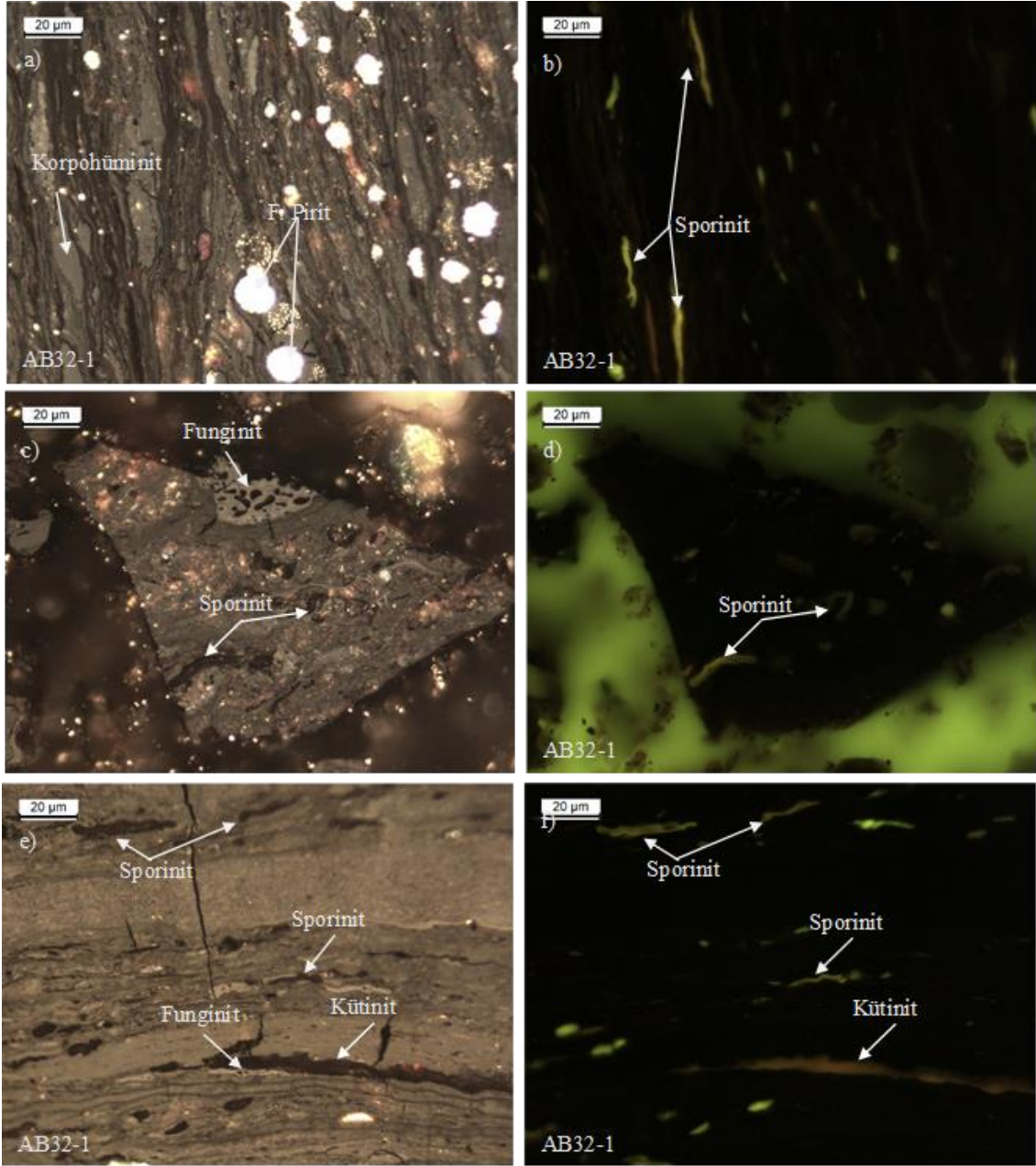
Tez kapsamında gerçekleştirilen maseral-mineral madde analizleri sırasında, hüminit maseral grubuna ait maserallerden tekstinit, ülminit, atrinit, densinit, levigelinit ve porigelinit; inertinit maseral grubundan füsinit, semifüsinit, funginit ve inertodetrinit; liptinit maseral grubundan sporinit, kütinit, alginit, resinit ve liptodetrinit tanımlanmıştır (Çizelge 5.12). Üstten aydınlatmalı kömür mikroskobunda örneklerde sinjenetik olarak oluşmuş tanımlanabilen mineralleri ise karbonat mineralleri, pirit, fosil kavkısı ve diğer mineraller (kil mineralleri, kuvars, feldispat, vb.) oluşturmaktadır (Çizelge 5.12). İncelenen örneklerde maseral-mineral madde analizi sırasında “diğer mineraller” olarak birleştirilen grupta daha çok kil mineralleri hâkim durumundadır.

Çizelge 5.12. Tez kapsamında AB-32 ve AB33 nolu sondajlardan alınan kömür, kömürlü silttaşı (ZT) ve karbonlu şeyl (XH) örneklerinin maseral-mineral analiz sonuçları.

MASERAL (vol%)	AB32								AB33					
	AB32/1 ZT	AB32/2 CO	AB32/3 CO	AB32/4 CO	AB32/5 CO	AB32/6 CO	AB32/7 CO	AB32/8 CO	AB33/1 CO	AB33/2 XH	AB33/3 CO	AB33/4 CO	AB33/5 CO	AB33/6 CO
Tekstinit	1,3	18,0	4,6	8,0	4,3	0,7	2,3	4,3	9,3	0,1	9,2	4,7	0,6	7,9
Ülminit	14,2	24,7	27,1	24,0	16,8	16,2	21,6	24,7	32,9	8,9	27,6	23,8	10,2	40,8
<b>Telohüminit</b>	15,6	42,7	31,7	32,0	21,1	17,0	23,9	29,0	42,2	9,0	36,8	28,4	10,8	48,7
Atrinit	31,5	0,0	9,2	10,5	17,7	16,8	18,9	19,2	16,4	34,3	9,7	7,5	36,2	7,7
Densinit	0,7	24,3	18,6	14,5	8,4	2,9	4,8	4,3	11,5		10,4	12,8	0,0	10,7
<b>Detrohüminit</b>	32,2	24,3	27,8	25,0	26,0	19,6	23,6	23,5	28,0	34,3	20,0	20,3	36,2	18,4
Levigelinit	4,3	2,4	1,0	2,2	3,8	4,5	3,3	4,6	1,6		2,5	0,6	1,0	4,7
Porigelinit		0,9	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0		0,3	0,3	0,0	1,3
Korpohüminit	2,6	15,6	4,7	7,3	1,8	0,2	1,0	1,8	2,8		5,2	3,8	0,6	3,6
<b>Jeolohüminit</b>	6,9	18,9	5,9	9,8	5,7	4,7	4,3	6,3	4,4	0,0	8,0	4,7	1,7	9,6
<b>HÜMINİT</b>	54,7	85,8	65,4	66,8	52,9	41,3	51,8	58,8	74,6	43,2	64,9	53,4	48,6	76,7
Füsinit	0,1	0,0	0,6	0,7	0,2	0,3	0,0	0,1	1,3	0,0	1,1	0,3	0,0	0,3
İnertodetrinit	1,2	0,0	0,3	1,4	1,4	1,4	0,6	1,1	1,1	1,2	0,6	0,9	0,5	0,8
Funginit	0,1	0,5	0,3	0,4	0,1	0,3	0,3	0,8	0,8	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3
Semifüsinit	0,2	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1	0,1	0,4	0,3	0,0	0,4	1,6	0,1	0,3
<b>İNERTİNİT</b>	1,6	0,5	1,3	2,9	1,8	2,0	1,0	2,4	3,5	1,3	2,2	3,0	0,8	1,7
Sporinit	1,1	3,0	4,9	2,3	3,7	3,7	5,1	4,6	3,2	3,7	4,5	3,8	3,5	3,8
Kütinit		1,2	0,1	1,4	0,2		0,3	0,7	0,3		0,7	0,0	0,0	0,0
Rezinit		1,7	0,4	1,7	0,1		0,1	0,4	0,5		0,3	0,3	0,0	0,5
Alginit		1,9	0,3	0,6	0,8	0,1	0,5	0,7			0,6	0,2	0,1	0,0
Liptodetrinit	0,9	1,2	1,7	1,9	1,6	0,5	2,0	0,7	0,8	1,3	1,0	0,7	1,1	1,6
<b>LİPTİNİT</b>	2,0	9,1	7,4	7,9	6,4	4,2	8,1	7,1	4,7	5,0	7,0	5,0	4,8	5,8
Karbonat min.		1,4		5,0	20,0	42,0	15,0	9,3	0,9	0,1		22,8	12,4	2,8
Pirit	9,6	2,1	5,4	5,0	5,8	1,8	4,9	1,6	5,7	1,3	7,4	3,9	1,7	7,9
Fosil kavkısı	0,1			0,0	8,7	6,6	12,8	6,1	0,3	1,4		5,5	0,8	0,6
Diğer mineraller	32,0	1,0	20,5	12,4	4,3	2,0	6,4	14,7	10,3	47,7	18,5	6,5	30,9	4,4
<b>MADDE</b>	41,7	4,5	26,0	22,4	38,9	52,4	39,1	31,7	17,2	50,5	25,9	38,6	45,8	15,7

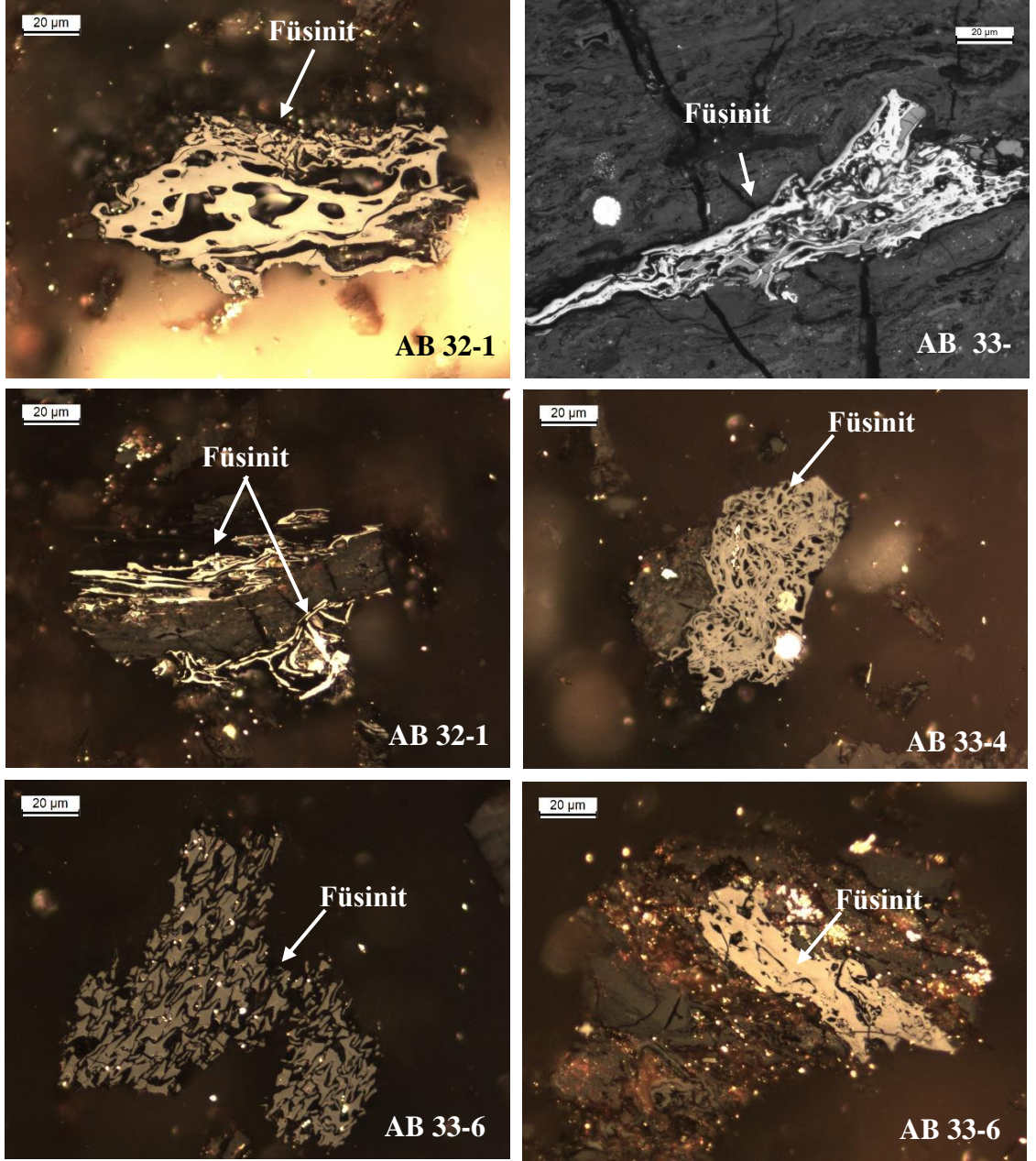
Çizelge 5.13. Tez kapsamında AB-32 ve AB33 nolu sondajlardan alınan kömür, kömürlü silttaşı (ZT) ve karbonlu şeyl (XH) örneklerinin maseral gruplarının mineral maddesiz bazda hesaplanan hacimce yüzde değerleri.

MASERAL (vol%)	AB32								AB33					
	AB32/1 ZT	AB32/2 CO	AB32/3 CO	AB32/4 CO	AB32/5 CO	AB32/6 CO	AB32/7 CO	AB32/8 CO	AB33/1 CO	AB33/2 XH	AB33/3 CO	AB33/4 CO	AB33/5 CO	AB33/6 CO
Tekstinit	2,3	18,9	6,2	10,4	7,0	1,6	3,7	6,3	11,3	0,2	12,5	7,5	1,1	9,3
Ülminit	24,4	25,8	36,6	30,9	27,4	34,1	35,4	36,1	39,7	17,9	37,2	38,1	18,9	48,4
<b>Telohüminit</b>	26,7	44,7	42,8	41,3	34,4	35,7	39,2	42,5	51,0	18,1	49,7	45,5	20,0	57,8
Atrinit	54,1		12,5	13,5	28,7	35,3	31,0	28,1	19,8	69,2	13,0	12,0	66,7	9,2
Densinit	1,1	25,5	25,1	18,7	13,6	6,0	7,8	6,3	13,9		14,0	20,6		12,7
<b>Detrohüminit</b>	55,3	25,5	37,5	32,2	42,3	41,3	38,8	34,4	33,8	69,2	27,0	32,6	66,7	21,9
Levigelinit	7,3	2,6	1,3	2,8	6,2	9,5	5,4	6,7	1,9		3,4	0,9	1,9	5,6
Porigelinit		0,9	0,2	0,4	0,2						0,4	0,5		1,5
Korpohüminit	4,5	16,3	6,4	9,4	2,9	0,4	1,7	2,6	3,4		7,0	6,0	1,1	4,3
<b>Jeolohüminit</b>	11,8	19,8	7,9	12,6	9,3	9,9	7,1	9,3	5,3		10,8	7,5	3,0	11,4
<b>HÜMINİT</b>	93,8	89,9	88,3	86,1	86,0	86,8	85,1	86,1	90,1	87,3	87,5	85,6	89,7	91,0
Füsinit	0,2		0,8	0,9	0,4	0,6		0,2	1,5		1,5	0,5		0,4
İnertodetrinit	2,1		0,4	1,9	2,3	2,9	0,9	1,6	1,3	2,4	0,8	1,5	1,0	0,9
Funginit	0,2	0,5	0,4	0,6	0,2	0,6	0,6	1,2	1,0	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4
Semifüsinit	0,4		0,2	0,4	0,6	0,2	0,2	0,5	0,4		0,6	2,6	0,2	0,4
<b>İNERTİNİT</b>	2,8	0,5	1,7	3,7	3,5	4,3	1,7	3,5	4,2	2,6	3,0	4,7	1,5	2,1
Sporinit	1,9	3,1	6,6	3,0	6,0	7,8	8,4	6,7	3,8	7,5	6,0	6,0	6,5	4,5
Kütinit		1,3	0,2	1,9	0,4		0,6	1,1	0,4		0,9	1,6		
Rezinit		1,8	0,6	2,2	0,2		0,2	0,5	0,6		0,4	0,5		0,6
Alginit		2,0	0,4	0,7	1,4	0,2	0,7	1,1			0,8	0,4	0,2	
Liptodetrinit	1,5	1,3	2,3	2,4	2,5	1,0	3,4	1,1	1,0	2,6	1,3	1,1	2,1	1,9
<b>LİPTİNİT</b>	3,4	9,5	10,0	10,2	10,5	8,9	13,2	10,4	5,7	10,1	9,5	9,7	8,8	6,9

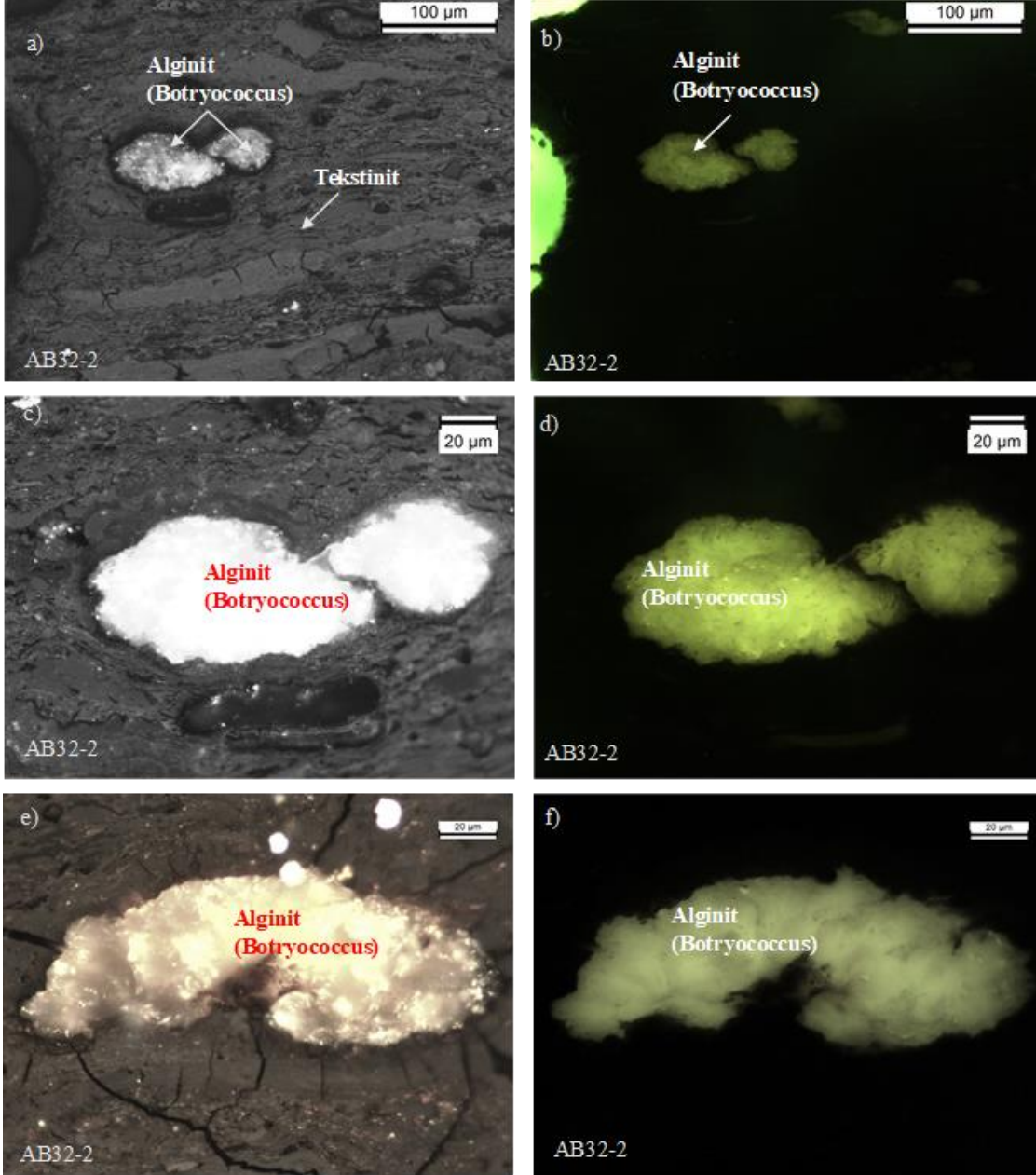


Şekil 5.66. Tez kapsamında incelenen AB32-1 (kömürlü silttaşı) nolu örnekte tanımlanan maserallerin üstten aydınlatmalı normal ışıkta (a, c, e) ve mavi ışık, turuncu filtrede görünümler (b, d, f).





Şekil 5.67. Tez kapsamında incelenen kömür örneklerinde tanımlanan füsinit maseralleri.



Şekil 5.68. Tez kapsamında incelenen kömür örneğinde tanımlanan alginit maserali.

Maseral-mineral madde analizi sonuçlarından hesaplanan hacimce yüzde değere göre kömür örneklerinde genelde en yaygın (baskın) maseral grubunu hüminit oluşturmaktadır. Örneklerde, inertinit ve liptinit grubuna ait maserallerin hacimce yüzde değerlerinin ise oldukça düşüktür ve hacimce yüzde değere göre liptinit grubu inertinit grubuna göre daha fazladır (Çizelge 5.12).

İncelenen AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin maseral-mineral madde analizinde telohüminit alt grubunun ağırlıklı ortalamaları sırasıyla %28 ve %33,3 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu ağırlıklı ortalamalar değerlendirildiğinde hücre yapılı ve jelleşmiş telohüminit alt grubu maserallerinin AB-33 nolu sondajda nispeten daha fazla olduğunu yansıtmaktadır. Detrohüminit alt grubunda hacimce yüzde ağırlıklı ortalamalar sırasıyla %24,3 ve %23,0 olarak bulunulmuştur. Jelohüminit alt grubunda ise hacimce yüzde ağırlıklı ortalamalar sırasıyla %7,7 ve %5,8 olarak bulunulmuştur. Benzer şekilde AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin mineral maddesiz bazda (mmf) telohüminit alt grubunun ağırlıklı ortalamaları sırasıyla %40,1 ve %45,9 olarak hesaplanmıştır. Detrohüminit alt grubunda mineral maddesiz bazda hesaplanan hacimce yüzde ağırlıklı ortalamalar sırasıyla %36,3 ve %34,2 olarak bulunulmuştur. Jelohüminit alt grubunda ise mineral maddesiz bazda hesaplanan hacimce yüzde ağırlıklı ortalamaları sırasıyla %10,7 ve %8,0 olarak bulunulmuştur. Kömür örneklerine ait hacimce yüzde ağırlıklı ortalama değerler birlikte değerlendirildiğinde AB-32 nolu sondaja göre AB-33 nolu sondajda nispeten daha yüksek telohüminit, nispeten daha düşük detrohüminit ve jelohüminit tespit edilmiştir. Bu durum öncelikle bataklık ortamındaki turbayı oluşturan bitki topluluklarıyla ilgili görünmektedir. Diğer taraftan mineral-maddeli bazda hüminit grubu hacimce yüzde ağırlıklı ortalama değerleri AB-32 nolu sondaj için %59,9 ve AB-33 için %62,1 olarak hesaplanmıştır. Her iki sondajın ortalaması ise %61 hüminit olarak bulunulmuştur. Mineral-maddesiz bazda ortalama hüminit içeriği ise AB-32 ve AB-33 nolu sondajlarda %87,0 ve %88,1 ve her iki sondajın ortalaması %87,5 olarak hesaplanmıştır. Mineral-maddesiz bazdaki bu veri, her iki sondajda hacimce yüzde ortalama değerlerin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

İnertinit grubu maserallerden funginit, tüm örneklerde gözlenirken, füsinit, semifüsinit ve inertodetrinit örneklerin birçoğunda sayılmıştır. Mineral maddeli bazda hacimce yüzde ağırlıklı ortalama inertinit yüzde değerleri A-32 nolu sondajda %1,8 ve AB-33'de %2,4 olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin mineral maddesiz bazda (mmf) inertinit grubu hacimce yüzde ağırlıklı ortalama değerleri sırasıyla %2,8 ve %3,4 olarak hesaplanmıştır. Her iki sondajın ortalaması ise mineral maddeli bazda %2,1 ve mineral maddesiz bazda %3,1 inertinit olarak bulunulmuştur.

Liptinit maseral grubundan sporinit ve liptodetrinit maserali her iki sondajdan alınan tüm örneklerde sayılmıştır. Diğer taraftan alginit, resinit ve kütinit kömür örneklerinin birçoğunda sayılmıştır. İncelenen AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin maseral-mineral madde analizinde liptinit grubunun hacimce yüzde ağırlıklı ortalamaları sırasıyla %7,0 ve %5,5 olarak bulunulmuştur. Diğer taraftan AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin mineral maddesiz bazda (mmf) liptinit grubu hacimce yüzde ağırlıklı ortalama değerleri ise %10,2 ve %8,5 olarak hesaplanmıştır.

Tez kapsamında maseral-mineral madde analizleri sırasında kömür örneklerinin parlak kesitlerinde pirit, fosil kavkısı, karbonat mineralleri tanımlanmış ve diğer tanımlanamayan mineraller (kuvars, kil mineralleri ve diğer mineraller) aydınlatmalı ve yağ objektifinde ayıramadığı için birleştirilerek sayımı yapılmıştır. Mikroskop altında incelendiğinde çoğunlukla framboidal olarak gözlenen pirit minerali AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan tüm kömür örneklerinde sayılmıştır. AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin hacimce yüzde pirit ağırlıklı ortalamaları sırasıyla %3,8 ve %5,3 olarak bulunulmuştur. Her iki sondajdan alınan kömür örnekleri birlikte değerlendirildiğinde piritin hacimce yüzde ortalama değeri %4,6 olarak hesaplanmıştır. Analiz sırasında fosil kavkuları kömür örneklerin birçoğunda sayılmıştır. AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin hacimce yüzde fosil kavkısı ağırlıklı ortalamaları sırasıyla %4,3 ve %2,1'dir. Kömür örneklerine ait hacimce yüzde ağırlıklı ortalama değerler birlikte değerlendirildiğinde ortalama %3,2 fosil kavkısı hesaplanmıştır. Karbonat mineralleri AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinde birer örnek hariç (AB32-3 ve AB33-4) tümünde sayılmıştır. AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin hacimce yüzde karbonat minerali ağırlıklı ortalamaları sırasıyla %13,6 ve %10,0 olarak bulunulmuştur. Bu değerler her iki sondajdan alınan kömür örnekleri birlikte değerlendirildiğinde ortalama %11,8 karbonat minerali olarak hesaplanmıştır. Diğer mineraller başlığı altında toplanarak sayılan mineraller (örneğin; kuvars, kil mineralleri vb.) her iki sondajdan alınan tüm kömür örneklerinde sayılmıştır. AB-32 ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin hacimce yüzde diğer mineraller ağırlıklı ortalamaları sırasıyla %9,5 ve %12,6 olarak bulunulmuştur. Bu değerler her iki sondajdan alınan kömür örnekleri birlikte değerlendirildiğinde ortalama %11,1 diğer mineraller olarak hesaplanmıştır.

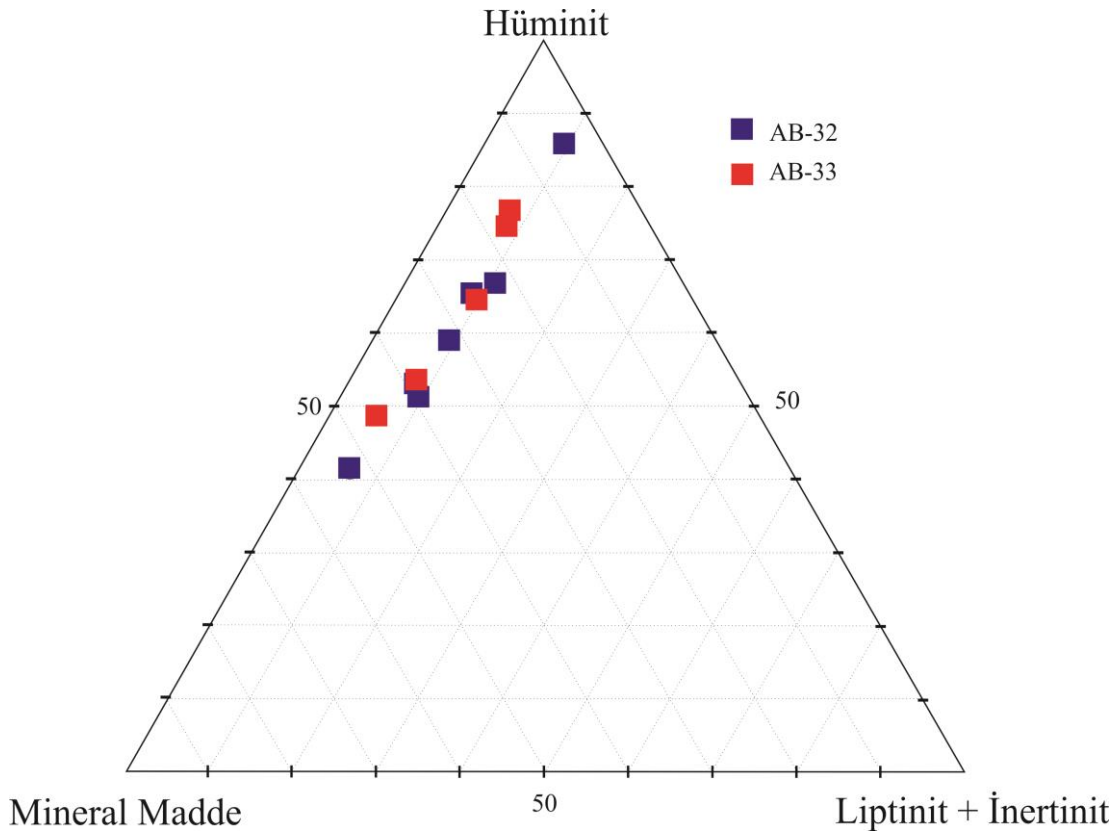
Tez çalışması kapsamında AB-32 nolu sondajdan alınan kömürlü silttaşı (AB32-1) örneğinin maseral-mineral madde analizinde sırasıyla hacimce %15,6 telohüminit, %32,2 detrohüminit ve %6,9 gelohüminit maserali tespit edilmiştir. Diğer taraftan mineral-maddesiz bazda bu değerler sırasıyla %26,7, %55,3 ve %11,8'dir. Analiz sonuçları bir arada değerlendirildiğinde mineral maddeli bazda hacimce yüzde hüminit içeriği %54,7 ve mineral maddesiz bazda %93,8'dir. AB32-1 nolu kömürlü silttaşı örneğinde inertinit grubu maserallerin tamamı analiz sırasında sayılmıştır. Buna karşın liptinit grubu maserallerden yalnızca sporinit ve liptodetrinit maseralleri sayılmıştır. İntertinit grubu mineral maddeli bazda hacimce %1,6 ve mineral maddesiz bazda %2,8 olarak bulunulmuştur. Diğer taraftan liptinit grubu kömürlü silttaşı örneğinde mineral maddeli bazda hacimce %2 ve mineral maddesiz bazda hacimce %3,4 olarak tespit edilmiştir. Analizler sırasında kömürlü silttaşı örneğinin parlak kesitinde pirit, fosil kavkısı, diğer tanımlanamayan minerallerin (kuvars, kil mineralleri ve diğer mineraller) sayımı yapılmıştır (Çizelge 5.12).

Çalışma kapsamında AB33-2 (karbonlu şeyl) örneğinde maseral-mineral madde analizleri sonucu sırasıyla hacimce %9 telohüminit ve %34,3 detrohüminit maseral alt grubu tespit edilirken jelohüminit alt grubuna sayım sırasında rastlanılmamıştır. Bu değerler mineral maddesiz bazda %18,1 telohüminit, %69,2 detrohüminit olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçları bir arada değerlendirildiğinde mineral maddeli bazda hacimce yüzde hüminit içeriği %43,2 ve mineral maddesiz bazda %87,3 olarak bulunulmuştur. AB33-2 nolu karbonlu şeyl örneğinde inertinit grubu maserallerinden funginit ve liptodetrinit maserali sayılmıştır. Benzer şekilde liptinit grubu maserallerden de sporinit ve liptodetrinit maserali sayılmıştır. İntertinit grubu mineral maddeli bazda hacimce %1,3 ve mineral maddesiz bazda %2,6 olarak bulunulmuştur. Diğer taraftan liptinit grubu karbonlu şeyl örneğinde mineral maddeli bazda hacimce %5,0 ve mineral maddesiz bazda hacimce %10,1 olarak tespit edilmiştir. Analizler sırasında karbonlu şeyl örneğinin parlak kesitinde pirit, fosil kavkısı, diğer tanımlanamayan minerallerin (kuvars, kil mineralleri ve diğer mineraller) sayımı yapılmıştır (Çizelge 5.12).

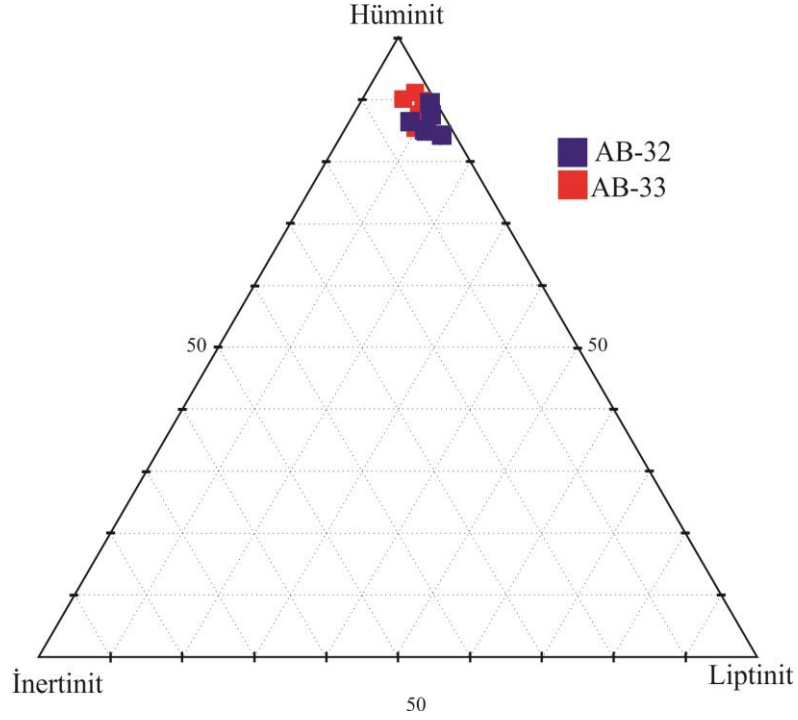
Her iki sondaja ait kömür örneklerinin ağırlıklı ortalamaları %60,9 hüminit, %2 inertinit, %6,4 liptinit ve %30,7 mineral madde tespit edilmiştir. Ağırlıklı ortalamalar



değerlendirildiğinde her iki sondajda da hüminit grubunun baskın olduğu net bir şekilde gözlenmektedir. Diğer iki maseral grubu ise hüminit maseral grubu ile karşılaştırıldığında çok daha az oranda tespit edilmiştir. Mineral madde miktarı hüminit grubu ile karşılaştırıldığında daha az ancak diğer iki maseral grubu ile karşılaştırıldığında daha yaygın bollukta gözlenmiştir. Bu sonuçlar mineral maddeli bazda çizilen üçgen diyagram üzerinde de gözükmemektedir (Şekil 5.69). Kömür örneklerinin mineral maddesiz bazda maseral grupları ise Şekil 5.70’de yer alan üçgen diyagram üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 5.69. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin mineral maddeli bazda maseral gruplarının yüzde değerlerinin üçgen diyagram üzerinde gösterimi.



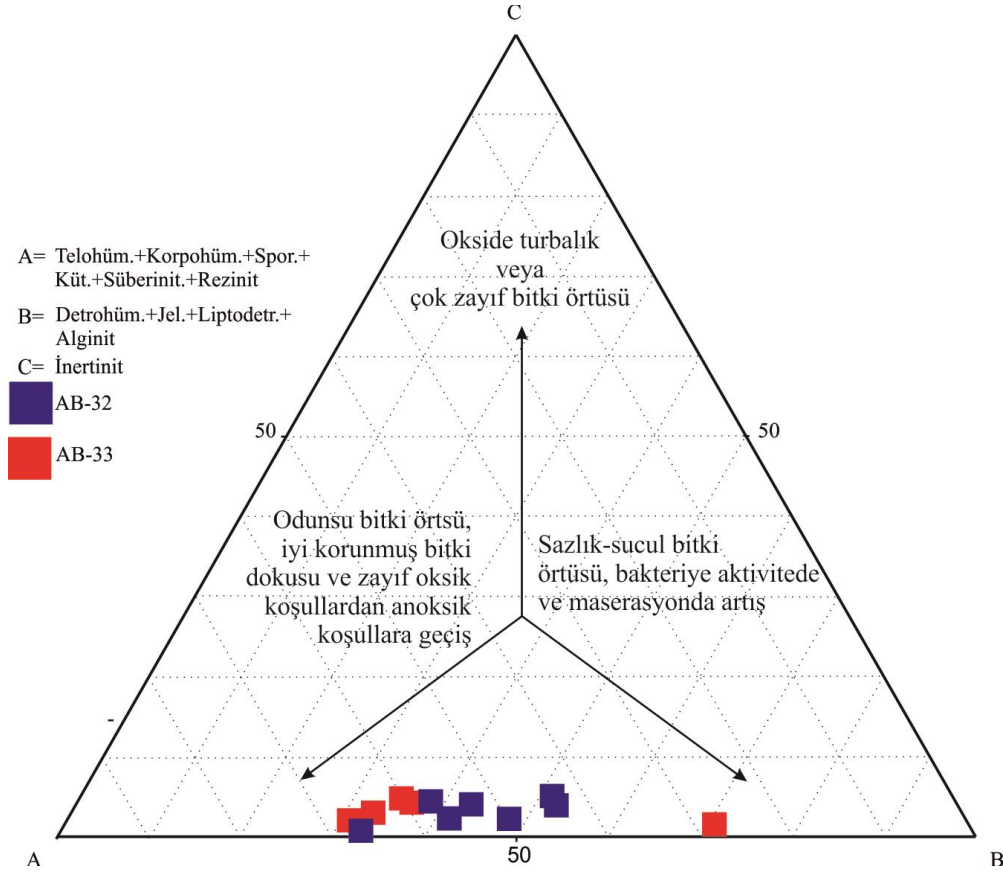
Şekil 5.70. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin mineral maddesiz bazda maseral gruplarının yüzde değerlerinin üçgen diyagram üzerinde gösterimi.

### 5.5.2. Kömür Fasiyes Analizleri

Kömürlerin oluşum zamanlarının başlangıç aşamasını temsil eden turbalaşma süreci genel olarak turbalaşma sırasındaki çökelim ortamının topografyası, fiziko-kimyasal özellikleri ve biriken organik madde tipi ile ilgili bilgiler yardımıyla modellenebilmektedir (Calder ve ark., 1991; Diessel, 1986-1992; Kalkreuth ve ark., 1991; Kalaitzidis ve ark., 2004; Stach ve ark., 1982; Taylor ve ark., 1998; Teichmüller ve ark., 1989).

Mukhopadhyay (1989) tarafından Senozoik yaşlı Teksas kömürlerine ait sedimantolojik ve palinolojik verilerin kömür petrografisi verileriyle birleştirilmesi sonucu geliştirilen üçgen diyagram kömür fasiyes diyagramlarının ilk öncülerinden sayılmaktadır. Bu üçgen diyagramın geliştirilme amacı, ilksel turbalıklardaki bitkisel dokunun korunması, hakim turba yapıcı flora ve redoks koşullarını belirlemektir. Tez çalışması kapsamında her iki sondajdan alınan kömür örnekleri ilk olarak bu üçgen diyagramda analiz edilmiştir (Şekil 5.71). Her iki sondajdan alınan örneklerin tamamı üçgenin alt kısmında yer almaktadırlar (Şekil 5.71). Gözlenen bu dağılım şekli ilksel turbalıktaki anoksik koşulların baskın ve

anoksik bakteriyel aktivitenin nispetten yüksek olduğunu ifade etmektedir. Bu görüş SEM-EDS analizleri ve maseral analizleri sırasında gözlenen sinjenetik framboidal pirit oluşumları ile desteklenmektedir. Örneklerin A ve B köşelerinin orta noktasına doğru dağılım sunması ise ilksel turbalıklarda zaman zaman ağaçsıl formların artış gösterdiğini işaret etmektedir (Kalatzidis ve ark., 2004; Karayığit ve ark., 2017; Oikonomopoulos ve ark., 2015; Oskay ve ark., 2019b; Bulut,2023).



Şekil 5.71. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örneklerinin tek bir ABC üçgen diyagramı üzerindeki konumları (Mukhopadhyay 1989'dan düzenlenerek alınmıştır).

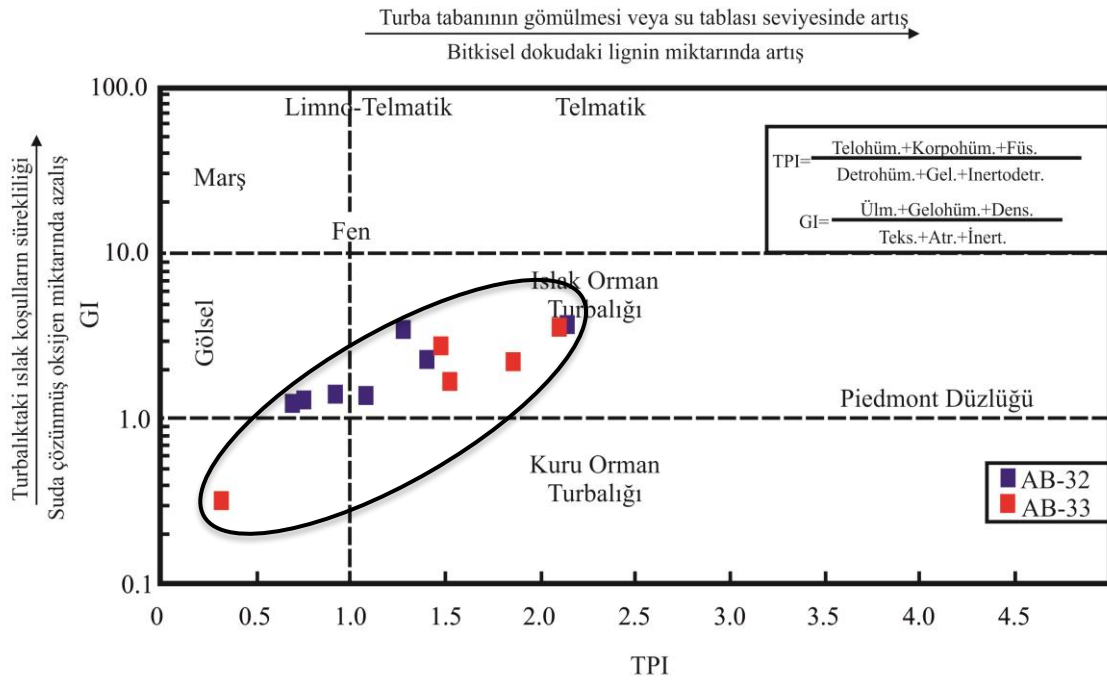
Kömür fasiyesi analizleri sırasında kullanılan diğer diyagramlar Diessel (1992) tarafından geliştirilen “Doku Korunma İndeksi (TPI) - Jelleşme İndeksi (GI)” ile Calder ve ark. (1991) tarafından önerilen “Yerüstü Su İndeksi (GWI) - Vejetasyon İndeksi (VI)” diyagramlardır (Bulut,2023). İlksel turbalığıdaki odunsu ve otsu bitkilerin dağılımını belirlerken vejetasyon indeksi kullanılırken, turbalığıdaki su seviyesini ve detritik

malzeme girişini belirlerken yer üstü su indeksi kullanılmaktadır. Doku koruma indeksi ilksel turbalıktaki yaygın bitki örtüsü ve organik maddenin korunumunu tespit etmek amacıyla geliştirilmiştir. Jelleşme indeksi ise organik maddenin jelleşmesi ve su seviyesinin tahmin edilebilmesi için geliştirilmiştir. Tez kapsamında Kalaitzidis ve ark. (2004) tarafından yeniden düzenlenen hesaplamalara ve grafiklere dayanan TPI-GI ve GWI-VI diyagramları kullanılmıştır. Bunun nedeni diyagramların ilk olarak Kanada ve Avustralya'daki Permo-Karbonifer kömürleri için geliştirilmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Tez çalışması kapsamında hesaplanan jelleşme indeksi (GI), dokuma koruma indeksi (TPI), vejetasyon indeksi (VI) ve yer altı suyu indeksi (GWI) Çizelge 5.14'de; Kalaitzidis ve ark. (2004) tarafından yeniden düzenlenen hesaplamalara ve grafiklere dayanan TPI-GI ve GWI-VI diyagramları ise Şekil 5.72 ve 5.73'de sunulmuştur.

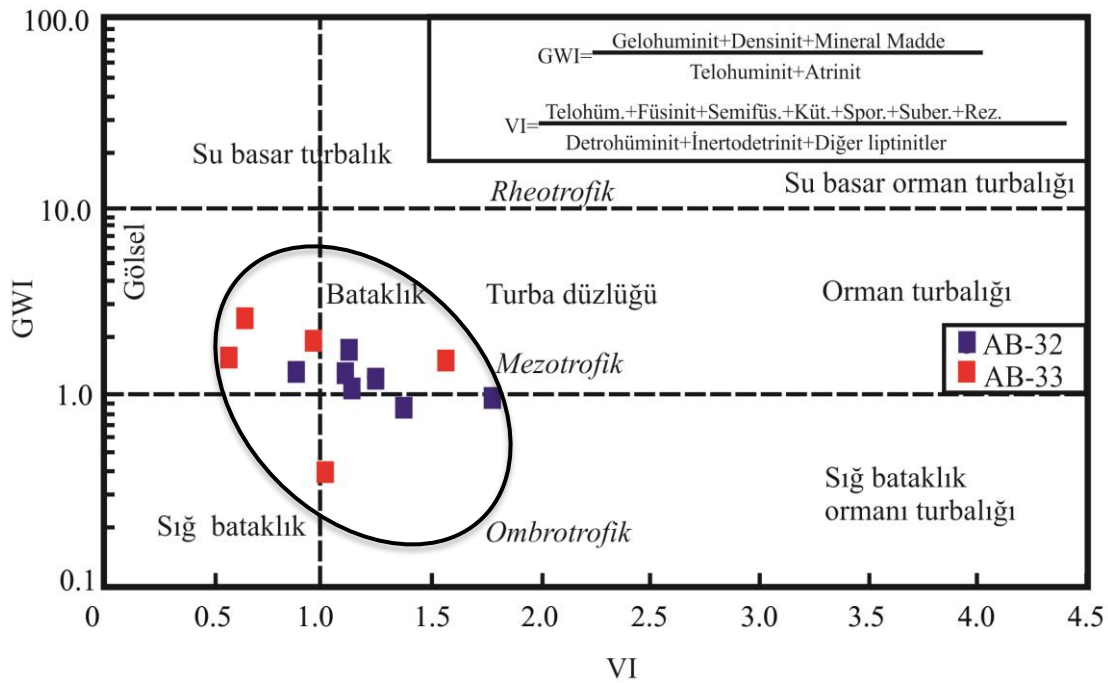
Çizelge 5.14. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin hesaplanan GI, TPI, VI ve GWI değerleri.

Sondaj No	Örnek	GI	TPI	VI	GWI
AB-32	AB-32/1 (ZT)	0,6	0,5	1,0	0,5
	AB-32/2 (CO)	3,7	2,1	1,1	1,8
	AB-32/3 (CO)	3,4	1,3	1,2	1,3
	AB-32/4 (CO)	2,3	1,4	1,1	1,3
	AB-32/5 (CO)	1,3	0,7	1,4	0,9
	AB-32/6 (CO)	1,2	0,7	1,8	1,0
	AB-32/7 (CO)	1,4	0,9	1,1	1,1
	AB-32/8 (CO)	1,4	1,1	0,9	1,4
AB-33	AB-33/1 (CO)	1,7	1,5	0,6	1,6
	AB-33/2 (XH)	0,2	0,3	1,2	0,3
	AB-33/3 (CO)	2,2	1,8	1,0	2,0
	AB-33/4 (CO)	2,7	1,5	1,6	1,6
	AB-33/5 (CO)	0,3	0,3	1,0	0,4
	AB-33/6 (CO)	3,5	2,1	0,6	2,6

Tez kapsamında AB-32 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin jelleşme indeksi (GI) değerleri 1,2-3,7 (ort.2,1) arasında, doku koruma indeksleri (TPI) 0,7-2,1 (ort.1,2) arasında değişmektedir (Çizelge 5.14). Vejetasyon indeksi ve yer altı suyu indeksinin (GWI) sınır değerleri 0,9-1,8 (ort.1,2) değerleri arasındadır. AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinde ise bu indekslerin sınır değerleri jelleşme indeksinde (GI) 0,3-3,5 (ort.2,1), dokuma koruma indeksinde (TPI) 0,3-2,1 (ort. 1,4), vejetasyon indeksinde (VI) 0,6-1,6, (ort. 0,9) yer altı suyu indeksinde (GWI) 0,4-2,6 (ort.1,6) ve değerleri arasındadır (Çizelge 5.14.).



Şekil 5.72. Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örneklerinin TPI-GI diyagramları üzerindeki dağılımları (Kalaitzidis ve ark. 2004'den düzenlenerek alınmıştır).



Şekil 5.73. Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan kömür örneklerinin VI-GWI diyagramları üzerindeki dağılımları (Kalaitzidis ve ark. 2004'den düzenlenerek alınmıştır).



### 5.5.3. Hüminit Yansıtmasının Ölçümü

Tez çalışması kapsamında seçilen üç adet kömür örneğinde (AB32-2, AB33-3, AB33-6) kömürleşme derecesinin tespit edilebilmesi amacıyla hüminit yansıtması (ülminit) ölçümleri (%Rr) gerçekleştirilmiştir. Hüminit yansıtması ölçümleri inceleme yöntemleri bölümünde de açıklandığı üzere Leica DM 4000M üstten aydınlatmalı mikroskop, J&M marka cihaz ve MSP 200 yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında spinel (0,403 %Rr) standardı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında seçilen örneklerde en az 50 adet noktadan yansıtma ölçümü alınmış olup, yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması dikkate alınmıştır. Alınan bu ortalama değerlere ait standart sapmalar da belirlenmiştir. Yansıtma ölçümü için seçilen örneklerde rastgele yüzde ülminit yansıtmasının ortalama değerleri ve standart sapmaları  $0,33 \pm 0,01$  olarak ölçülmüştür.

Tez kapsamında, daha önceki bölümlerde açıklandığı üzere, her iki sondajdan incelenen kömür örneklerinin tamamı nemli, mineral-maddesiz bazda (Mmmf) üst ısıl değeri dikkate alınarak yapılan ASTM D388 (2019) sınıflamasında “linyit A” aşamasında kömürleşme derecesine sahiptir. Stach ve ark. (1982) ‘de verilen bilgiler ışığında rastgele yüzde ülminit yansıtmasına ( $0,33 \pm 0,01$ ) göre yapılan sınıflandırmada da ASTM sınıflandırmasına benzer şekilde incelenen kömür örneklerinin tamamı ‘linyit’ aşamasında kömürleşme derecesine sahiptir.

ASTM		Kalorifik değer (dmmf,Btu/lb)	Uçucu Madde (dmmf) (%)	Sabit Karbon (dmmf) (%)	Vitrinit Yansıtması Yağda (%Ro)	Nem İçeriği (%)	ISO		
Yüksek rank	Antrasit	Meta-antrasit	2	98	-8,0		A	Yüksek rank	Antrasit
		Antrasit	8	92	-6,0		B		
		Semi-antrasit	14	86	-4,0		C		
Orta rank	Bitümlü	Düşük Uçuculu	22	78	3,0		A	Orta rank	Bitümlü
		Orta Uçuculu	31	69	2,5		B		
		Yüksek Uçuculu A	14000		2,0		C		
		Yüksek Uçuculu B	13000		1,9		D		
		Yüksek Uçuculu C	11500		1,5				
			10500		1,4				
			9500		1,1				
Düşük rank	Alt-bitümlü	A	10500		1,0		A	Düşük rank	Alt-bitümlü
		B	9500		0,8		B		
		C	8300		0,6		C		
		Linyit	6300		-0,66		D		
		5000	>60	25	-0,25	75			Turba

Şekil 5.74.ASTM ve ISO standartlarına göre kömürlerin sınıflandırılması (Encyclopedia of Geochemistry, 2017)

## 5.6. Rock-Eval Analiz Sonuçları

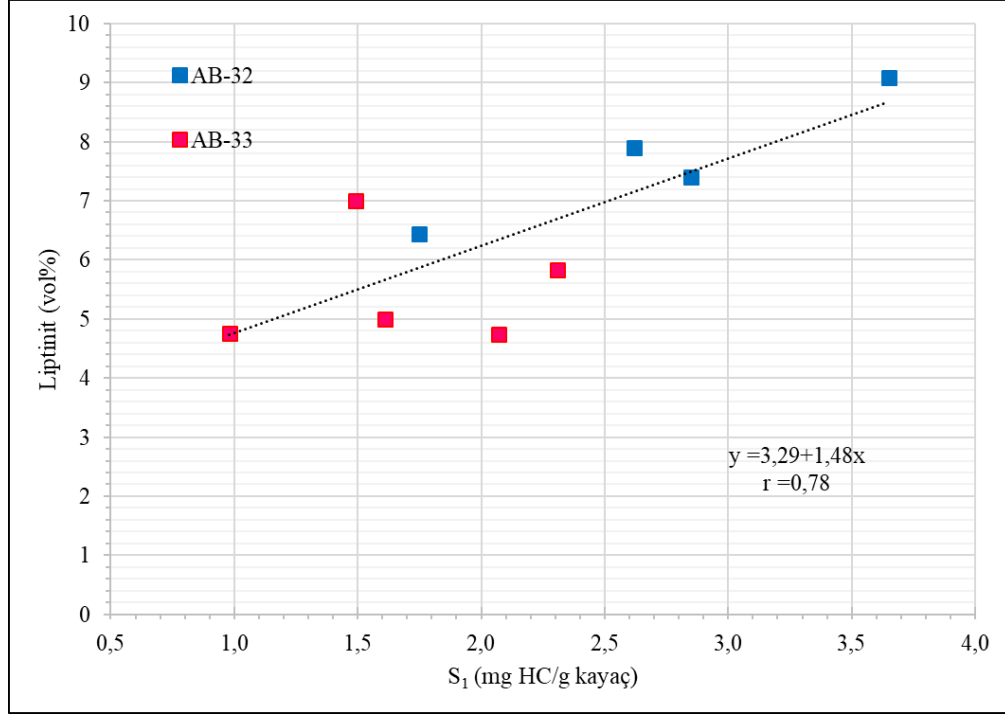
Tez kapsamında kömür örneklerinde gerçekleştirilen Rock-Eval analiz sonuçları, Çizelge 5.15’de sunulmuştur.

Çizelge 5.15. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan seçilen kömür örneklerinin TOC ve Rock-Eval analiz sonuçları.

ÖRNEK NO	YÜZEYDEN DERİNLİK(m)	% Kül (kb)	TOC (wt%)	S <sub>1</sub> (mg HC/g kayaç)	S <sub>2</sub> (mg HC/g kayaç)	S <sub>3</sub> (mg CO <sub>2</sub> /g kayaç)	Tmax (°C)	HI (100*S <sub>2</sub> /TOC)	OI (100*S <sub>3</sub> /TOC)	PI (S <sub>1</sub> /(S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> ))	RC (wt%)	PC (wt%)	MINC (wt%)
AB32-2	379,67-380,0	12,10	50,08	3,65	109,72	19,51	418	219	39	0,03	39,50	10,58	2,98
AB32-3	396,50-397,05	34,12	37,66	2,85	85,98	13,87	420	228	37	0,03	29,43	8,23	1,33
AB32-4	398,50-398,97	29,62	40,52	2,62	100,75	15,11	423	249	37	0,03	31,05	9,47	1,77
AB32-5	399,49-399,86	38,64	31,11	1,75	81,62	11,83	430	262	38	0,02	23,44	7,67	3,74
AB33-1	716,36-716,64	39,55	35,44	2,07	74,58	10,80	414	210	30	0,03	28,39	7,05	1,25
AB33-3	717,26-717,74	42,88	34,18	1,49	71,91	11,48	412	210	34	0,02	27,24	6,94	1,30
AB33-4	718,62-719,34	35,51	35,44	1,61	81,17	11,87	418	229	33	0,02	27,85	7,59	2,68
AB33-5	719,34-719,62	49,44	11,32	0,98	43,13	4,47	429	381	39	0,02	7,41	3,91	9,19
AB33-6	719,62-719,98	25,95	44,47	2,31	96,59	14,29	406	217	32	0,02	35,31	9,16	1,42

Tez kapsamında incelenen AB-32 nolu sondajdan alınan ve nispeten düşük küllü kömür örneklerinin sırasıyla S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> ve S<sub>3</sub> pik değerleri 1,75-3,65 mg HC/g kayaç (ort. 2,72 mg HC/g kayaç), 81,62-109,72 mg HC/g kayaç (ort. 94,52 mg HC/g kayaç) ve 11,83-19,51 mg CO<sub>2</sub>/g kayaç (ort. 15,08 mg CO<sub>2</sub>/g kayaç) olarak ölçülmüştür (Çizelge 5.15). AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinde ise bu değerler sırasıyla 0,98-2,31 mg HC/g kayaç (ort. 1,69 mg HC/g kayaç), 43,13-96,59 mg HC/g kayaç (ort.73,48 mg HC/g kayaç) ve 4,47-14,29 mg CO<sub>2</sub>/g kayaç (ort.10,58 mg CO<sub>2</sub>/g kayaç) olarak tespit edilmiştir (Çizelge 5.14). Bu veriler ışığında AB-32 sondajından analiz edilen örneklerin daha yüksek S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> ve S<sub>3</sub> değerleri sunduğu görülmektedir. Diğer taraftan Bozdoğan sahası için iki sondajdan S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> ve S<sub>3</sub> değerlerinin genel aritmetik ortalaması 2,15 mg HC/g kayaç, 82,83 mg HC/g kayaç ve 12,58 mg CO<sub>2</sub>/g kayaç hesaplanmıştır.

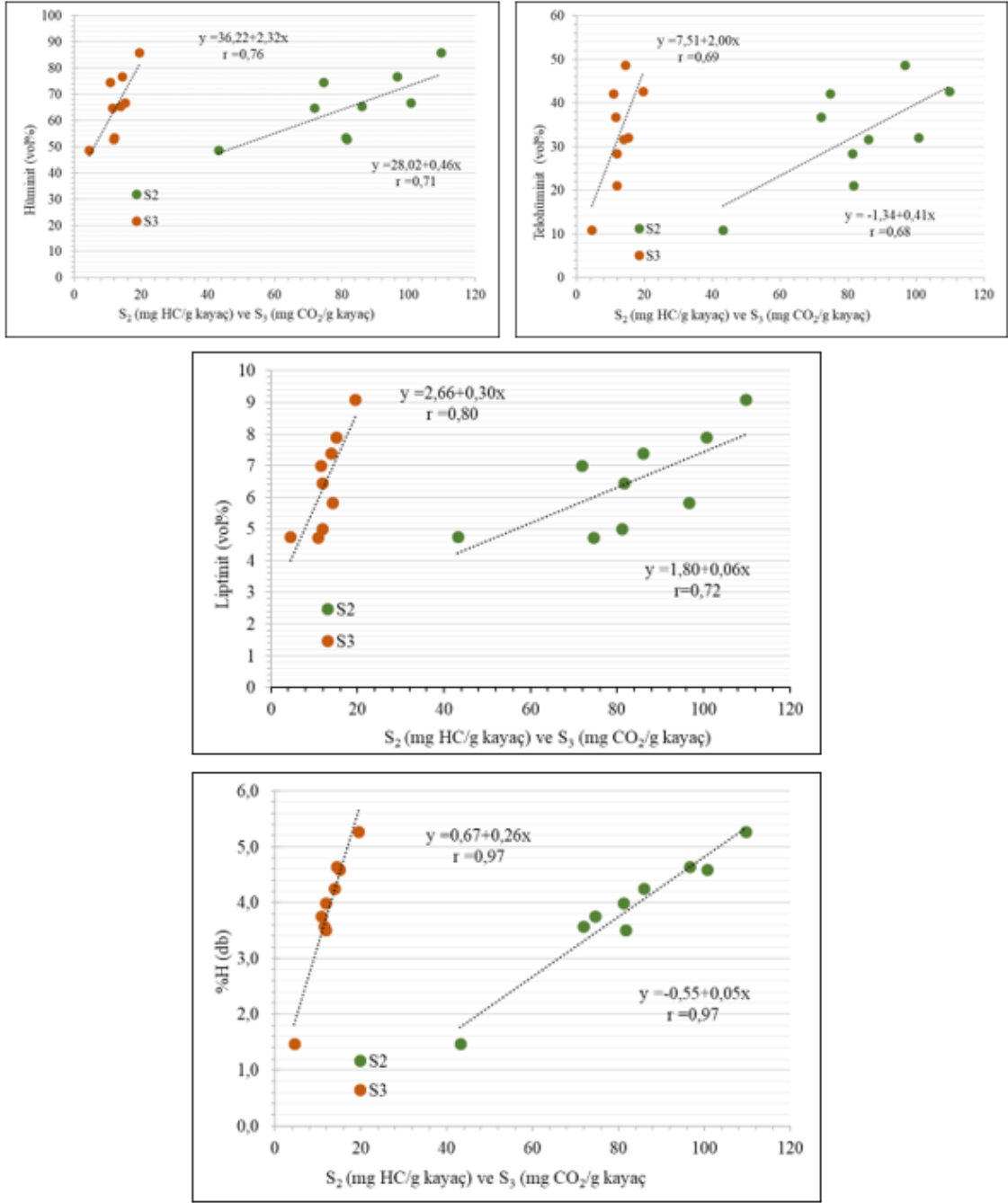
Rock-Eval piroliz analizi yapılan örneklerin maseral ve mineralojik içerikleri dikkate alındığında S<sub>1</sub> değerleri nispetten yüksek çıkan örneklerin liptinit içeriklerinin de yüksek olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.75). Bu durum örneklerde tanımlanan alginite maserallerinin varlığı ve palinoloji kısmında da görüleceği üzere *Botryococcus* sp. ve diğer tatlı su alglerinin varlığı ile ilişkili olabilir (Çelik ve ark., 2021; Petersen, 2006).



Şekil 5.75. İncelenen sondajlara göre kömür örneklerinde Rock-Eval analizi S<sub>1</sub> (mg HC/g kayaç) piki ile hacimce yüzde liptinit içeriği arasındaki ilişki.

Buna karşın örneklerde sporinit ve liptodetrinit maserallerin genellikle densinitin hümitik matriksinde yer aldıkları dikkate alındığında S<sub>1</sub> değerlerinin diğer karasal liptinit maserallerinin varlığı ile kontrol edildiğini gösterebilir (Davis ve ark., 2007). Bu durumu destekler şekilde toplam liptinit içerikleri S<sub>1</sub> pik değerleriyle %95 güven düzeyinde anlamlı bir korelasyon katsayısına (r=0,78) ve pozitif doğrusal bir ilişkiye sahiptir (Şekil 5.75). Diğer taraftan örneklerin S<sub>1</sub> piki değerleri ile toplam hüminit içerikleri arasında %99 güven düzeyinde istatistiksel açıdan anlamlı pozitif korelasyon (r=0,80) belirlenmiştir. Bu durum analiz edilen örneklerdeki hüminit maseral grubuna ait maserallerin hidrojen zengin bileşikler sunmasıyla alakalı olabilir. Nitekim kuru bazda %H içerikleri ile hacimce yüzde telohüminit ve toplam hüminit içerikleriyle arasında %95 güven düzeyinde anlamlı korelasyon katsayıları (r=0,79 ve r=0,76) ve pozitif doğrusal ilişkilere sahiptir. Bu durum, hüminit grubu maseralleri içerisinde özellikle telohüminit maseral alt grubunun varyetelerinde mavi ışıkta zayıf flüoresans özelliğinin görülmesi bunların nispeten hidrojen zengin bileşenler içeriklerini göstermektedir. Benzer durum, Bechtel ve ark. (2014; 2016) ve Karayiğit ve ark. (2021) tarafından da not edilmiştir. Bundan dolayı Rock-Eval analizi S<sub>1</sub> piki ve kuru bazda %H değerleri ile telohüminit ve özellikle toplam hüminit içeriğiyle ilişkili görünmektedir.

Rock-Eval analizi sonucunda S<sub>2</sub> ve S<sub>3</sub> piklerin değerleri ile hacimce yüzde hüminit, telohüminit, liptinit değerleri arasında bir örnekte (S<sub>3</sub>-%liptinit) %99 ve diğerlerinde %95 güven düzeyinde anlamlı korelasyon katsayıları ve pozitif doğrusal ilişkiler bulunmuştur (şekil 5.76). Dięer taraftan S<sub>2</sub> ve S<sub>3</sub> piklerin değerleri ile kuru bazda %H iğerikleri ile %99 güven düzeyinde anlamlı pozitif korelasyon katsayıları (her ikisi için r=0,97) ve pozitif doğrusal ilişkiler tespit edilmiştir (şekil 5. 76). Geleneksel olarak S<sub>2</sub> piki genellikle karasal tip-II (karasal liptinit) iğerikleri ile ilişkili olduğu kabul edilmektedir ve bunu destekler şekilde analiz edilen örneğin S<sub>2</sub> değeri ile liptinit iğerikleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı pozitif korelasyon katsayıları gözlenmektedir. Ancak son yıllarda hümik kömürlerden yapılan ęalıřmalara göre S<sub>2</sub> ve S<sub>3</sub> piklerin değerlerinin hidrojen zengin hüminit/vitrinit maserallerinin varlığından etkilenebileceği rapor edilmektedir (Carvajal-Ortiz ve Gentzis, 2018; Peterseen, 2002, 2006; Petersen ve ark., 2008, 2013; Skyes, 2004). Benzer şekilde ölkemizdeki ve güneydoğu Avrupa'daki Senozoyik yaşlı kömürlerden yapılan Rock-Eval piroliz ęalıřmalarında telohüminit A varyetesi genellikle hidrojen zengin bileşenler iğermesinden dolayı S<sub>2</sub> piki değerlerinin beklenilenden düşük ve S<sub>3</sub> piki değerlerinin ise daha yüksek ölçülebileceği rapor edilmektedir (ęelik ve ark, 2017, 2021; Karayığıt ve ark., 2017b, 2021; Oskay ve ark., 2019; Papanicolaou ve ark., 2000; Zdrakov ve ark., 2011; Źivotić ve ark., 2014). Bu duruma telohüminit altgrubu maserallerin iğerdiği hidrojen ve oksijen zengin bileşiklerin (örn. karboksil ve hidroksil grupları) piroliz sırasında kırılması sonucunda ortaya ęıkan CO<sub>x</sub> gazlarının S<sub>2</sub> ve S<sub>3</sub> piki ölçümlerini etkilemesi sonucunda geliştiği ortaya konulmuştur. Bu durumu destekler şekilde Kale-Tavas sahasında Erken Miyosen yaşlı Yenidere ve Orta Miyosen yaşlı Sekköy Formasyonları iğerisinden işletilen kömür damarlarında da benzer durumlar rapor edilmiştir. Yukarıda ağıklandığı gibi AB-32 ve AB-33 sondajlarından analiz edilen örneğin S<sub>3</sub> (mg CO<sub>2</sub>/g kayağ) piki değerleri ile hacimce yüzde telohüminit ve hüminit iğerikleri ile RC ile PC değerleri arasında istatistiksel açıdan %99 güven düzeyinde anlamlı sırasıyla 0,94 ve 0,98 pozitif korelasyon katsayıları ve pozitif doğrusal ilişkiler belirlenmiştir. Rock-Eval analizleri sırasında S<sub>2</sub> ve S<sub>3</sub> piki ölçümlerini etkileyebilecek diğer bir parametre ise karbonat minerallerin varlığıdır. ęünkü karbonat minerallerinin piroliz sırasında yıkılmasıyla piroliz ortamına CO<sub>x</sub> gazların emisyonu geręekleřmesine bağlı olarak S<sub>3</sub> piki değerleri yükselmektedir. Benzer bir durum Kale-Tavas sahasındaki Erken Miyosen yaşlı Yenidere Formasyonu iğindeki kömür damarları için de rapor edilmiştir. Ancak incelenen kömür örneklerinde Rock-Eval S<sub>3</sub> piki değerleri ile MINC değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir

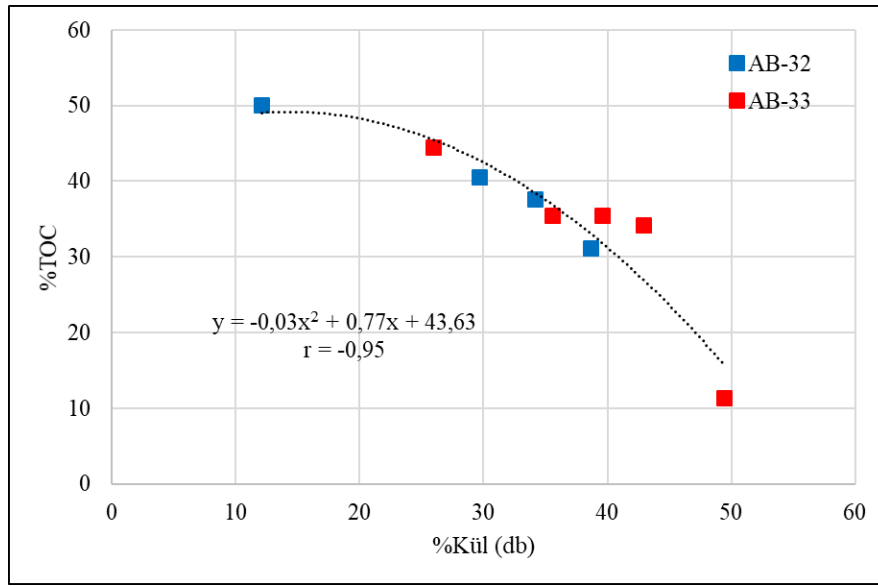


Şekil 5.76. Rock-Eval S2 ve S3 pik değerlerinin hacimce yüzde hüminit, telohüminit ve liptinit ile kuru bazda hidrojen içerikleriyle karşılaştırılması.

korelasyon katsayısı ( $r=0,66$ ) tespit edilememiştir. Bu nedenle örneklerdeki karbonat minerallerinin S<sub>3</sub> piki değerleri üzerindeki etkisinin az ve/veya hiç olmadığını göstermektedir.



Rock-Eval piroliz analizleri yapılan kömür örneklerinin Rock-Eval %TOC değerleri, %11,32-50,08 gibi geniş bir aralıkta ölçülmüştür (Çizelge 5.15). İncelenen örneklerde kuru bazda kül içeriği ile Rock-Eval %TOC değerleri arasında negatif doğrusal bir ilişki saptanmış ve bu ilişki %99 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olan  $r=-0,88$  değeri belirlenmiştir. Ancak, doğrusal ilişkiden farklı olarak kül-TOC değerleri arasında polinomial bir ilişki araştırıldığında korelasyon katsayısı  $-0,95$  değerini almaktadır ve daha iyi bir ilişkiyi göstermektedir (Şekil 5.77).



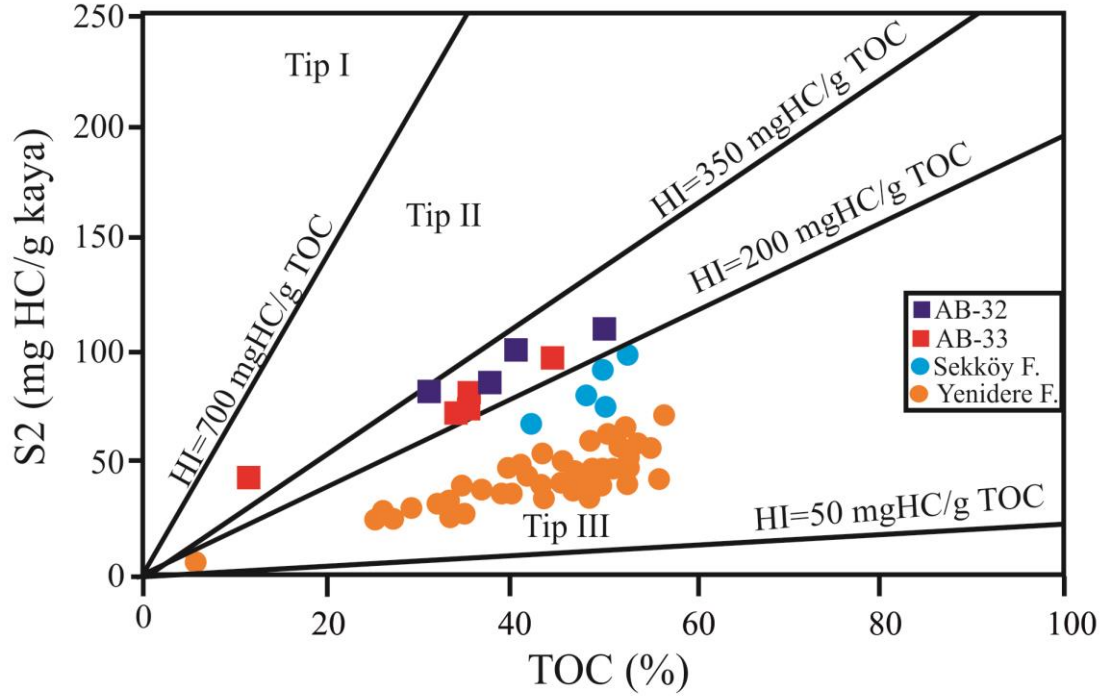
Şekil 5.77. Sondajlara göre kuru bazda kül içeriği ile %TOC değerlerinin karşılaştırılması.

Piroliz sırasında kerojenlerden hidrokarbon türemesi için gerekli sıcaklığı ifade eden ve  $S_2$  pikinin ulaştığı maksimum sıcaklık olan  $T_{max}$  değerleri ise AB-32 nolu sondaja ait kömür örneklerinde 418-430 °C (ort. 423 °C) ve AB-33 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinde 406-429 °C (ort. 416°C) olarak ölçülmüştür. Her iki sondajdan alınan örnekler bir arada değerlendirildiğinde  $T_{max}$  değeri ortalama 419 °C olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, Espitalié (1982)'ye göre örneklerin olgunlaşma derecesinin olgunlaşmamış (<430-435 °C) seviyede olduğunu göstermektedir. Son yıllarda hümik kömürlerin Rock-Eval pirolizi üzerine yapılan çalışmalarda hüminit/vitrinit maserallerin hidrojen zengin bileşenler içermesine bağlı olarak  $T_{max}$  değerlerinin beklenilenden düşük çıkmasına neden olduğu belirtilmektedir. Nitekim Kale-Tavas sahasında Erken yaşlı Yenidere Formasyonu içerisinde bulunan kömür damarlarının ortalama  $T_{max}$  değerleri (417 °C)

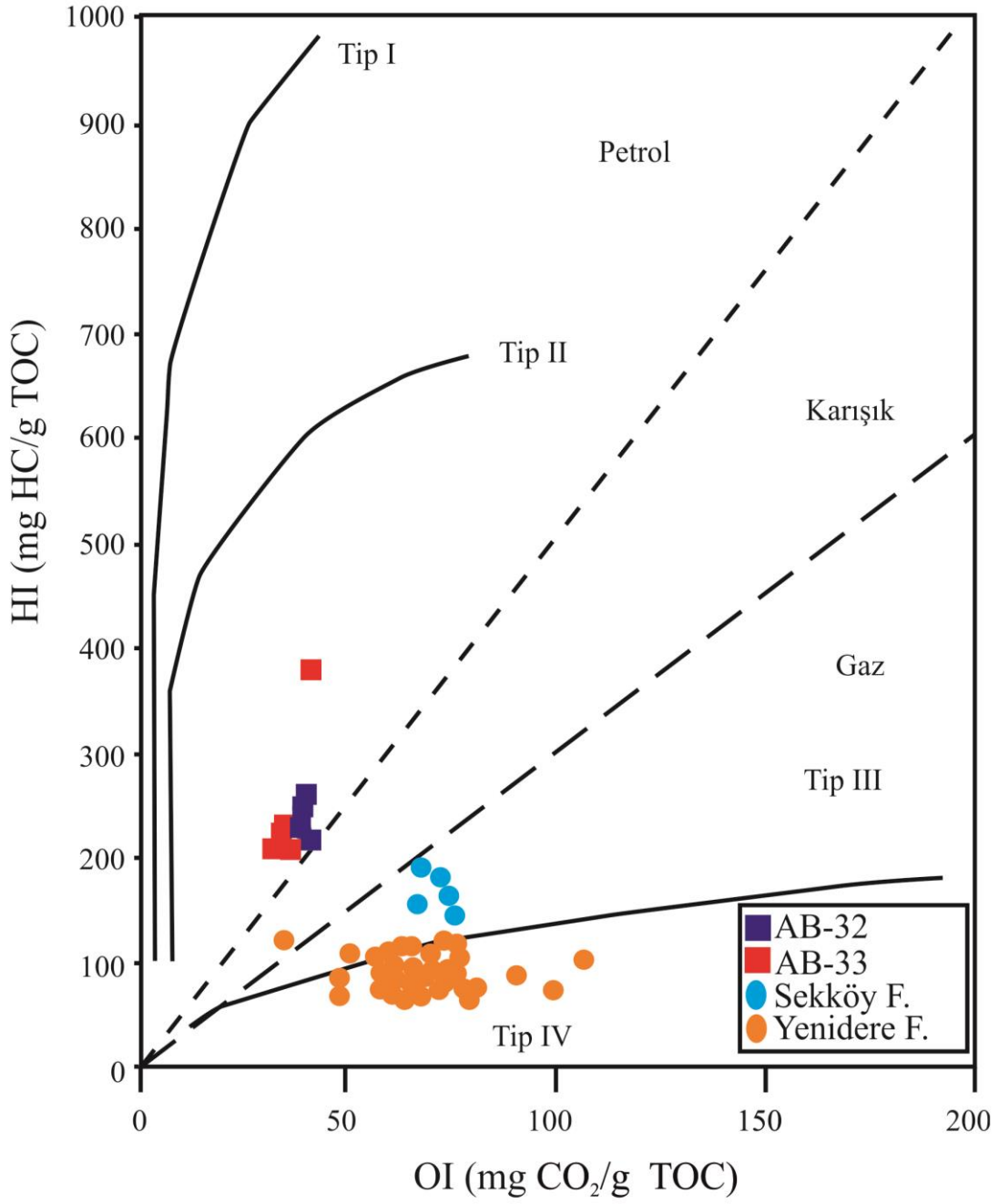
AB-32 ve AB-33 sondajlarından incelenen örneklere benzer çıkmaktadır (Karayığit ve Kayseri-Özer, 2020). Muğla havzasında Ekizköy sahasında Sekköy Formasyonu içerisinde işletilen kömür damarında ortalama  $T_{max}$  ( $421^{\circ}C$ ) değeri, tez çalışmasında incelenen AB-32 ve AB-33 sondajlarına ait değerlere çok yakın iken Kale-Tavas sahasında Orta Miyosen yaşlı Sekköy Formasyonu içerisinde işletilen Narlı damarının ortalama  $T_{max}$  değeri ise nispeten daha yüksek ( $433^{\circ}C$ ) bir değer sunmaktadır (Hoş-Çebi, 2016; Karayığit ve Kayseri-Özer, 2020). Kale-Tavas sahasında Erken Miyosen yaşlı kömür damarlarının düşük  $T_{max}$  değerleri sunmaları bu damarların ilksel turbalıklarındaki odunsu turba yapıcı bitkilerin hidrojen zengin bileşenler içermesinden kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir (Karayığit ve Kayseri-Özer, 2020). Benzer şekilde Ekizköy sahasından yapılan organik jeokimya analizleri sonucunda da odunsu turba yapıcı bitkilerin varlığını işaret edecek organik bileşenler tespit edilmiştir (Hoş-Çebi, 2016). Nitekim palinoloji ve kömür petrografisi kısmında belirtildiği üzere analizi yapılan kömür örneklerinin ilksel turbalıklarda odunsu turba yapıcı bitkilerin yaygın olmasına bağlı olarak artan %H ve telohüminit içeriğine bağlı olarak  $T_{max}$  değerleri Kale-Tavas sahasındaki eş yaşlı Narlı damarına göre nispeten düşük çıkmaktadır.

Rock-Eval piroliz analizleri yapılan kömür örneklerinin HI değerleri ise AB-32 ve AB-33 nolu sondajda sırasıyla 219-262 mg HC/g TOC (ort. 239 mg HC/g TOC) ve 210-381 mg HC/g TOC (ort. 249 mg HC/g TOC) olarak hesaplanmıştır. AB-32 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin OI değerleri 37-39 mg  $CO_2/g$  TOC /g (ort. 38 mg  $CO_2/g$  TOC) olarak hesaplanmıştır. Bu değer AB-33 nolu sondajdan alınan örneklerde 30-39 mg  $CO_2/g$  TOC (ort. 34 mg  $CO_2/g$  TOC) olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.15).

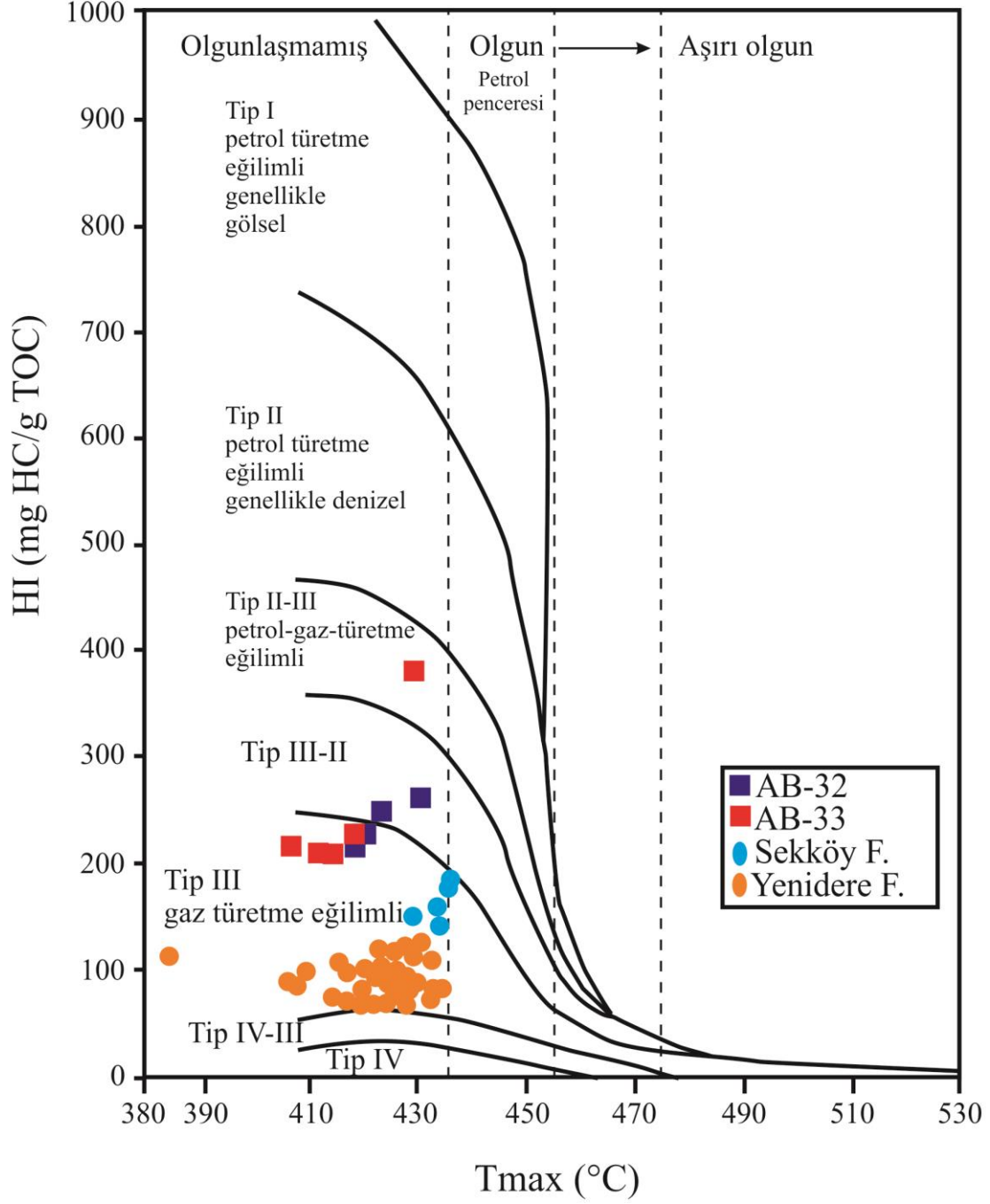
Tez kapsamında Rock-Eval analiz sonuçlarının ikili karşılaştırmaları (HI- $T_{max}$ , TOC- $S_2$ , ve HI-OI) karşılaştırmaları yapılmıştır (Şekil 5.78-5.83). İlgili diyagramlar üzerinde ayrıntılı incelemelerin yürütüldüğü Kale-Tavas sahasına ait Yenidere ve Sekköy Formasyonlarındaki kömürlere ait sonuçlar da gösterilmiştir. Bu karşılaştırma verilerine göre HI ve OI değerlerinin pseudo-van Krevelen diyagramı üzerindeki dağılımları incelendiğinde örneklerdeki hakim kerojen tipinin karışık tip III-II olduğu gözlenmektedir (Şekil 5.79). Tip II kerojenin genellikle denizel kökenli olabileceğine dair genel bir kabul mevcut olmakla beraber limnik kömür damarlarında karasal kökenli olan sporinit, resinit, kütinit ve liptodetrinit gibi liptinit maserallerin içeriğine bağlı olarak HI



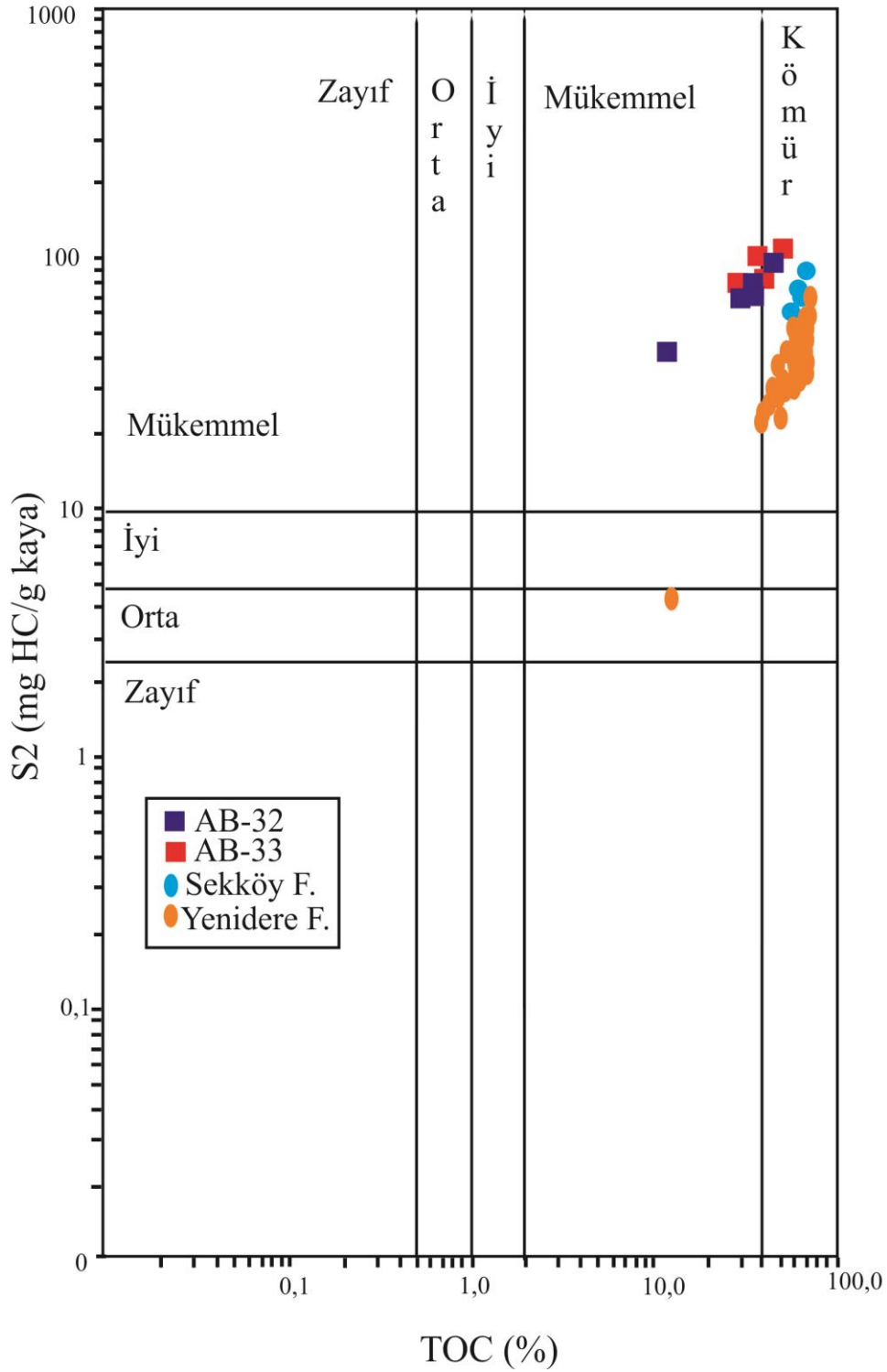
Şekil 5.78. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan incelenen kömür örnekleriyle, Kale-Tavas sahasında yer alan Sekk y ve Yenidere Formasyonlarında yer alan kömür örneklerinin TOC-S<sub>2</sub> değerlerinin karşılaştıırılması (İlgili şekil, Langford ve Blanc-Valleron, 1990'dan değiştirilerek alınmıştır. Yenidere ve Sekk y Formasyonlarına ait veriler Karayığit ve Kayseri- zer, 2020'den alınmıştır).



Şekil 5.79. Tez kapsamında incelenen kömür örnekleri ve Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait kömür örneklerinin pseudo-van Krevelen diyagramı üzerindeki dağılımları (Peters, 1986'dan Türkçeleştirilerek alınmıştır. Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait veriler Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020'den alınmıştır).

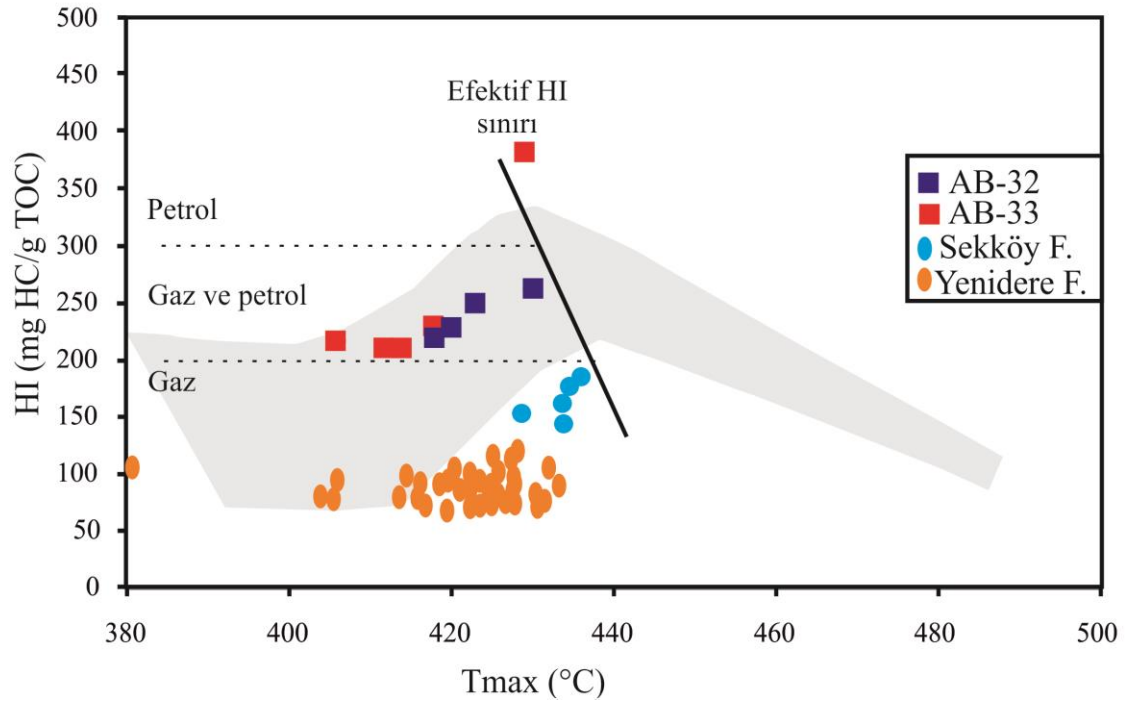


Şekil 5.80. Tez kapsamında incelenen kömür örnekleriyle Yenidere ve Sekküy Formasyonlarında yer alan kömür örneklerinin  $T_{max}$  değerlerinin HI değerleriyle karşılaştırılması (Peters, 1986'dan Türkçeleştirilerek alınmıştır. Yenidere ve Sekküy Formasyonlarına ait veriler Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020'den alınmıştır.).

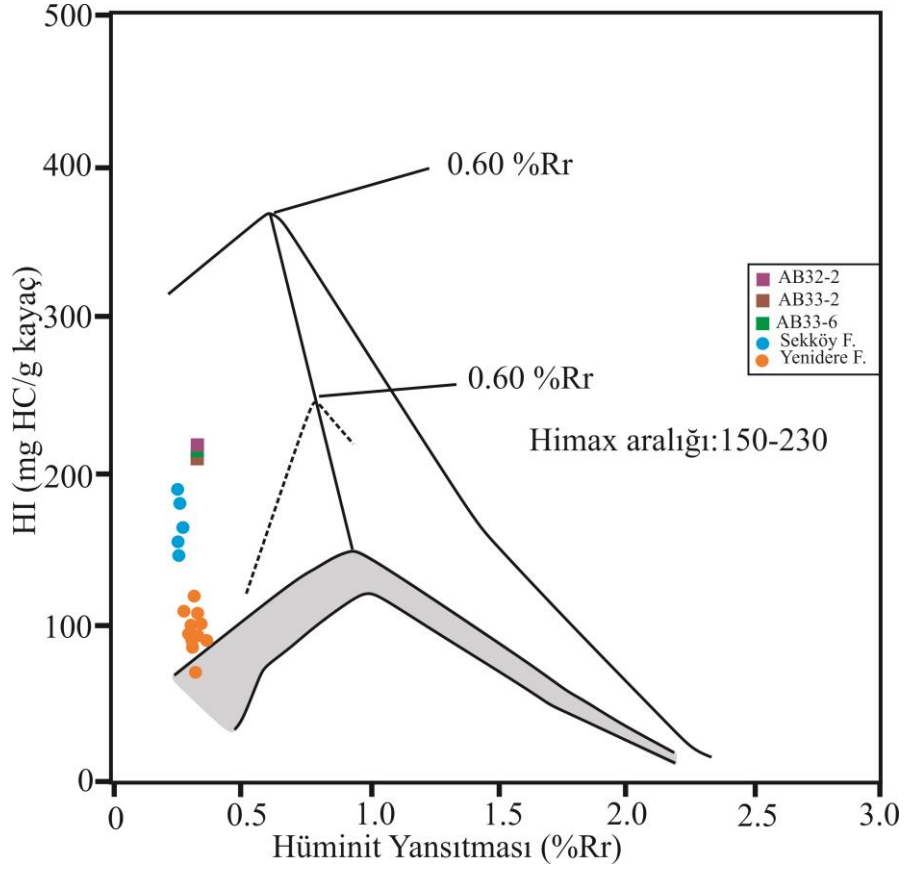


Şekil 5.81 Tez kapsamında incelenen kömür örnekleri ile Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait kömür örneklerinin TOC-S<sub>2</sub> değerlerinin karşılaştırılması (Dembicki, 2009'dan Türkçeleştirilmiştir. Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait veriler Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020'den alınmıştır).





Şekil 5.82. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan incelenen kömür örnekleriyle, Yenidere ve Sekk y Formasyonlarına ait kömür örneklerinin  $T_{max}$  değerlerinin HI değerleriyle karşılaştırılması (Sykes ve Snowdon, 2002'den Türkçeleştirilerek alınmıştır. Yenidere ve Sekk y Formasyonlarına ait veriler Karayiğit ve Kayseri- zer, 2020'den alınmıştır.).



Şekil 5.83. Tez kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan rastgele hüminit yansıtması ölçülen kömür örnekleri ve Kale -Tavas sahasındaki kömür örneklerinin HI-%Rr diyagramı üzerindeki dağılımları ve HI<sub>max</sub> sınır değerleri (Petersen, 2006'dan Türkçeleştirilerek alınmıştır. Yenidere ve Sekköy Formasyonlarına ait veriler Karayiğit ve Kayseri-Özer, 2020'den alınmıştır).

değerlerinde artış gerçekleşebilmektedir (Davis ve ark., 2007). Örneklerin maseral içerikleri ve palinolojik analizlerin sonuçları dikkate alındığında örneklerdeki karışık tip II-III kerojen içeriği beklenebilir sonuçtur. Benzer şekilde örneklerin TOC-S<sub>2</sub>-ve T<sub>max</sub>-HI diyagramları (Şekil 5.78 ve 5.80) üzerindeki dağılımları da örneklerin maseral ve palinolojik içeriklerine genelde uyumlu olarak karışık III-II kerojenlerin varlığını işaret etmektedir. Bununla beraber örneklerde palinolojik çalışmalarla tanımlanan *Botryococcus* sp. ve diğer tatlı su algler örneklerin daha yüksek HI değerleri sunması beklenebilir. Ancak örneklerdeki hâkim maseral grubunun hüminit olması ve örneklerdeki ortalamalarına göre en yaygın liptinit maserallerinin sporinit ve liptodetrinit olduğu dikkate alındığında HI değerlerinin nispetten düşük çıkması beklenebilir

durumdur. Bu varsayımı destekler şekilde HI değerleri telohüminit içeriğiyle istatistiksel açıdan %99 güven düzeyinde önemli negatif korelasyon katsayısı (-0,85) sunmaktadır. Buna ek olarak örneklerin OI değerleri kısmen yüksek çıkmaktadır. Bu yüksek OI değerleri ilk başta örneklerin oksidasyonu ile ilişkili olabileceği düşünülebilir (Copard ve ark., 2002; Patrick vd., 1984; Landais ve Gerard, 1996). Buna karşın kömür petrografisi çalışmaları sırasında örneklerde oksidasyonu işaret edecek şekilde doğal oksidasyona uğramış maserallere rastlanılmamıştır. Kömürlerdeki yüksek OI değerlerinin diğer bir nedeni ise yüksek inertinit içerikleridir (Kalaitizdis ve ark., 2010; Karayiğit ve ark., 2017b). Analiz edilen örneklerin inertinit içerikleri OI değerleriyle istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişkili sunmamaktadır. Buna karşın Senozoyik yaşlı hümik kömürlerin kısmen yüksek OI değerleri sunmaları genellikle örneklerdeki hidrojen zengin hümunit maserallerin varlığı ile açıklanmaktadır (Hunt, 1991; Oskay ve ark., 2019; Petersen, 2002, 2006; Petersen ve ark., 2009). Bu durum hümik kömürlerdeki hidrojen zengin bileşenlerin piroliz sırasında kırılmasıyla S<sub>3</sub> piki değerlerinin yükselmesiyle ilişkili olabilir. Analiz yapılan örneklerin S<sub>3</sub> pik değerleri ve toplam hümunit içeriğiyle %95 güven düzeyinde önemli olan korelasyon katsayısı (0,76) ilişkisi dikkate alındığında yüksek OI değerlerinin anlamı anlaşılmaktadır. İncelenen AB-32 ve AB-33 nolu sondajlarından incelenen örneklerin OI değerlerinin Kale-Tavas sahasındaki Erken Miyosen ve Orta Miyosen yaşlı kömür damarlarından kısmen düşük olması ise incelenen örneklerde sinjenetik otijenik karbonat minerallerinin yaygın olmamasıyla ilgili görünmektedir.

AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan örneklerin RC (kalıntı karbon), PC (piroliz karbon) ve MINC (mineral karbon) değerleri ise çok geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. AB-32 nolu sondajdan alınan örneklerin sırasıyla RC, PC ve MINC değerleri sırasıyla, %23,44-39,50 (ort. %30,86), %7,67-10,58 (ort. %8,99) ve %1,33-3,74 (ort. %2,46)'dir. Bu değerler AB-33 nolu sondajdan alınan örneklerde sırasıyla % 7,41-35,31 (ort. %25,24), %3,91-9,16 (ort. %6,93) ve 1,25-9,19 (ort. %3,17) olarak hesaplanmıştır. Her iki sondaja ait RC, PC ve MINC değerinin aritmetik ortalama değerleri ise %27,74, %7,84 ve %2,85 olarak hesaplanmıştır.

Son yıllarda hümik kömürlerin hidrokarbon türetme potansiyelleri, özellikle Kuzey Deniz'inde yapılan keşifler sonucunda birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak incelenmeye başlanmıştır (örn. Petersen, 2002, 2006, Sykes ve Snowdon, 2002; Wilkins

ve George, 2002; Petersen vd., 2011; Uguna vd., 2017; Biswas vd., 2020; Takahashi vd., 2020). Bu çalışmalarına sonucunda bir kömür damarının teorik olarak gaz ve/veya sıvı hidrokarbon türetebilmesi için ilgili damarın kalınlığının en az 0,50 m üstünde ve toplam hüminit/vitrinit ile liptinit içeriklerinin mineral maddesiz bazda %10-15 üstünde olması gereklidir (Hunt, 1991; Bojesen-Koefoed vd., 1996; Wilkins ve George, 2002; Petersen, 2002, 2009). Rock-Eval piroliz analizleri yapılan örneklerin kalınlıkları ile toplam hüminit ve liptinit içerikleri dikkate alındığında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlarda kesilen kömür damarlarının hidrokarbon türetme potansiyellerine sahip olduğu düşünülebilir. Organikçe zengin sedimanter kayaçların TOC değerlerinin yüksek olması genellikle hidrokarbon türetme potansiyelini ifade etmektedir (Espitalié ve ark., 1977). Buna karşın kömürsü organikçe zengin kayaçlarda bu durum genellikle yanlış yorumlamalara sebep olduğundan, Şekil 5.81 de görüldüğü gibi, TOC değerlerinin S<sub>2</sub> pikleriyle karşılaştırılmasında fayda olduğu belirtilmektedir (Dembicki, 2009). Örneklerin TOC-S<sub>2</sub> diyagramındaki dağılımları incelendiğinde (Şekil 5.81) mükemmel kaynak kaya ve kömür bölgesinde dağılım sundukları gözlenebilir. Buna karşın mükemmel kaynak kaya bölgesine düşen örneklerin çoğunlukla mineralce zengin litotipe sahip oldukları düşünüldüğünde sıvı türetme potansiyelinden ziyade daha çok gaz türetme potansiyelleri olabileceği düşünülebilir.

Geleneksel olarak hidrokarbon türetme potansiyellerinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan diyagramları olan pseudo-van Krevelen ve HI-T<sub>max</sub> diyagramlarında örneklerin dağılımlarına göre karışık hidrokarbon türetme potansiyelleri mevcuttur. Ancak incelenen örneklerde T<sub>max</sub> değerlerinin sıvı hidrokarbon türetebilmesi için gerekli olan 435°C altında kalması, örneklerin daha çok gaz türetme potansiyellerine sahip olabileceği düşünülebilir.

Bir hümik kömür damarının hidrokarbon türetebilmesi için HI değerinin çoğunlukla 150-200 mg HC/g TOC üstünde olması gerektiği düşünülmektedir (Hunt, 1991, 1996; Pepper ve Corvi, 1995; Petersen, 2002, 2006). Her iki sondajdan analiz edilen örneklerin HI değerleri (210-381 mg HC/g TOC) bu sınırı geçmesi, örneklerin sıvı ve/veya karışık hidrokarbon türetme potansiyeline sahip olabileceğini işaret etmektedir. Buna karşın HI değerleri hümik kömürlerdeki hüminit/vitrinit maserallerin içerdiği hidrojen ve oksijen zengin bileşenlerin S<sub>2</sub> piki ölçümünü etkileyebilmesinden dolayı HI değerlerinin tekrardan hesaplanması gerektiği ortaya konulmuştur (Petersen, 2002, 2006;

Sykes ve Snowdon, 2002). Bu parametrelerden birisi olan efektif HI değeri Sykes ve Snowdon (2002) tarafından modifiye edilmiş HI-T<sub>max</sub> diyagramı kullanılarak hesaplanmaktadır. İlgili diyagramlardaki dağılımlara bakıldığında bir örneğin (AB-33/5) efektif HI sınırı geçtiği diğer örneklerin ise genellikle karışık hidrokarbon alanına düştüğü gözlenmektedir. Bu alandaki örneklerin efektif HI değerleri yaklaşık 275 ile 295 mg HC/g TOC arasında değişmektedir (Şekil 5.82). Petersen (2009) tarafından Dünya'daki çeşitli yaşlardaki kömürlerden yapılan gözlemler sonucunda rastgele vitrinit/hüminit yansıtması (%Rr) ile HI değerlerinin karşılaştırıldığı diyagram kullanılarak HI<sub>max</sub> değerleri hesaplanmaktadır (Şekil 5.83). Bu diyagramın alt kısmındaki gri alanda kalan hüminit kömürler genellikle gaz türetme potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir. Her iki sondajdan AB33-5 nolu örnek hariç incelenen örneklerin %Rr değerlerinin benzer (0,33 %Rr) olduğu kabul edilerek hesaplanan HI<sub>max</sub> değerlerinin yaklaşık 260-310 mg HC/g TOC arasında değişmektedir. Bu veriler ışığında incelenen örneklerin sıvı hidrokarbon veya en azından karışık gaz+sıvı türetme potansiyeline sahip olabileceği düşünülebilir. Bu durumda örneklerde sıvı hidrokarbon türetmesinin işareti olabilen ikincil liptinit maserali olan eksudatinitin gözlenmesi beklenebilir. Buna karşın örneklerde eksudatinit tespit edilmemiştir. Bu durumu destekler şekilde örneklerin Orta Miyosen yaşlı olduğu dikkate alındığında Petersen (2006)'ya göre sıvı hidrokarbon türetebilmek için %Rr değerlerinin %0,60'yi ve T<sub>max</sub> değerlerinin 430°C geçmesi gereklidir. Bu veriler ışığında örneklerin sıvı ve/veya karışık hidrokarbon türetme potansiyelinden ziyade gaz türetme potansiyellerinin daha yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Örneklerin kısmen yüksek HI değerlerine sahip olması ise örneklerin hidrojen zengin telohüminit ve sporinit, liptodetrinit ve alginit gibi liptinit maserallerinin varlığından kaynaklanabilir.

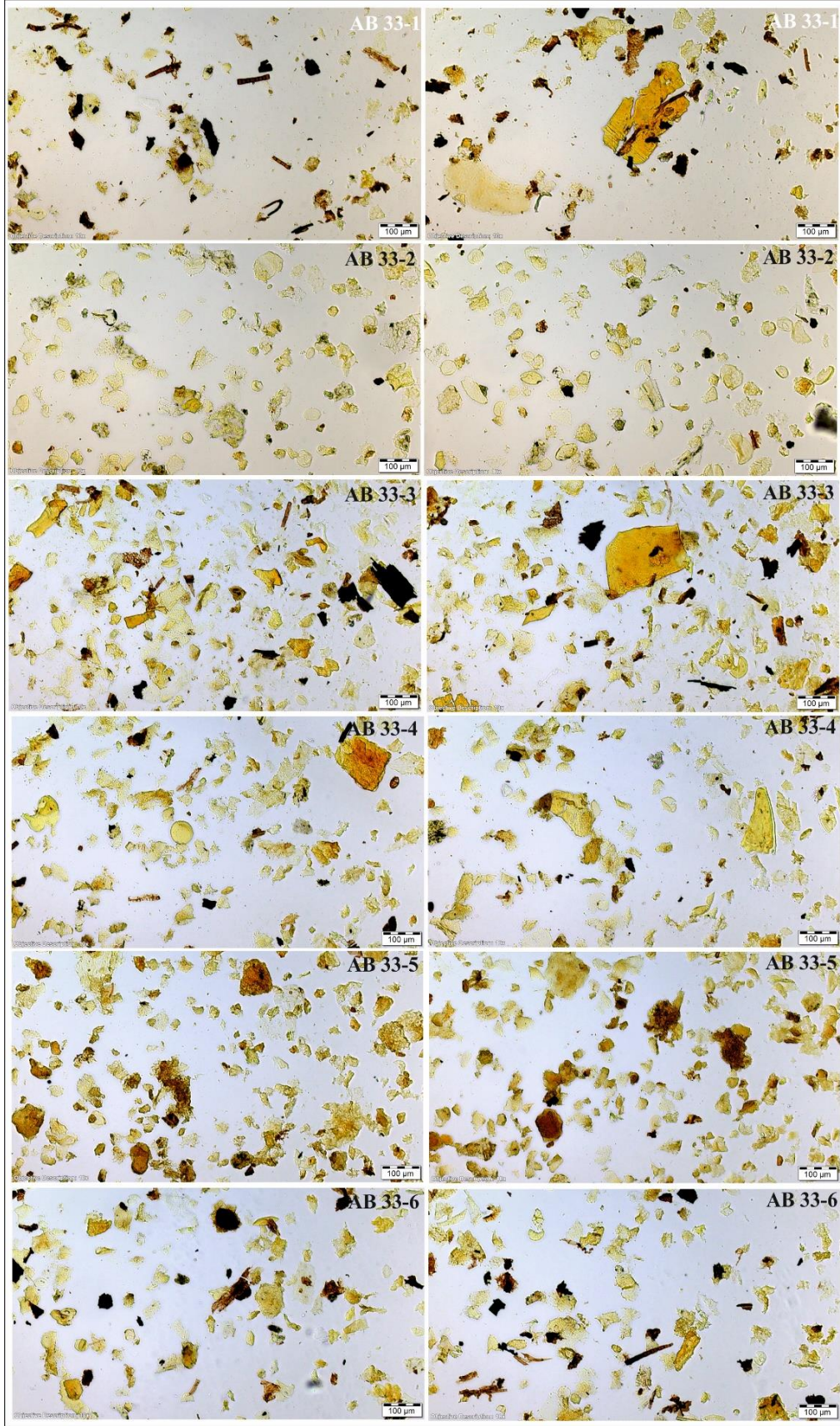
## 5.7. Palinoloji Çalışmaları

Tez çalışması kapsamında daha önceki bölümlerde de açıklandığı üzere AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan oniki adet kömür, bir adet kömürlü siltaşı ve bir adet karbonlu şeyl örneği olmak üzere toplamda ondört adet örnek palinolojik çalışmalar için derlenmiştir. Derlenen örneklerle ait palinolojik çalışmalar Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü'nde Doç.Dr. Mine Sezgül Kayseri-Özer tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu bölüm kapsamında derlenen örneklerin mikroflorası, jeolojik yaş değerlendirmesi ve paleortamları değerlendirilmiştir.

### 5.7.1. AB-33 Nolu Sondajdan Alınan Örneklerin Mikroflorası, Jeolojik Yaş Değerlendirmesi ve Paleortamı

Tez kapsamında AB-33 nolu sondajdan bir tanesi karbonlu şeyl (AB33-2) ve beş tanesi kömür olmak üzere toplamda altı adet örnek derlenmiş ve palinolojik olarak çalışılmıştır (Şekil 5.84 ve 5.85). Örneklere ait palinomorf topluluğu içerisinde 1 cins ve 1 tür sporlara, 3 cins ve 5 tür gymnospermlere ve 14 cins ve 19 tür angiospermlere ait olduğu belirlenmiştir (Levha I-V). Tüm örnekler içerisinde sporlar sadece *Laevigatosporites haardti* (Polypodiaceae) ile temsil edilmektedir ve AB33-3 nolu örnekte maksimum yüzde bolluk değerine (% 40) ulaşmıştır. Genel olarak gymnosperm polenler orta bollukta kayıt edilmiştir (%25-5). Bu polenler içerisinde Cupressaceae ve Pinaceae-*Pinus* spp. en yüksek yüzde bolluğa sahiptir. Otsul angiosperm polenler sucul ve kurakçıl olmak üzere iki farklı grup ile temsil edilmektedir. Bataklık ortamında gelişen sucul otsul polenler Sparganiaceae ve Cyperaceae ile temsil edilmektedir. Bu bitkiler sondajın tabanına ait örneklerde daha yüksek yüzde bolluğa sahip olduğu izlenmiştir. Örnekler içerisinde, kurakçıl olan otsul bitkiler Asteraceae-Asteroideae- Tubuliflorea tip ve Chenopodiaceae-Amaranthaceae ile karakterize edilmektedir ve düşük yüzdeli olarak kayıt edilmiştir. Bozdoğan bölgesine ait AB-33 nolu sondajda Poaceae ailesine ait polenlerin çeşitliliği gözlenmiştir. Örneklerde >40 mikronun üzerinde boyuta sahip monoporat polenlerin (Poaceae) varlığı dikkat çekicidir. Ayrıca bu polenlere 40 mikrondan daha küçük Poaceae ve Onagraceae ailelerine ait bitkiler eşlik etmektedir. Örneklerin genelinde akarsu kenarında yaşamayı tercih eden bitkilerin (Ulmaceae-*Ulmus* ve -*Zelkova*, Betulaceae-*Alnus*, Juglandaceae-*Carya* ve Myricaceae-*Myrica*) yüksek yüzdeli varlıkları belirlenmiştir. Paleoekolojik tercihi orta-yüksek paleotopoğrafya ve serin iklim koşulları olan *Abies* ve *Cedrus* düşük yüzdeli olarak tanımlanmıştır. Ayrıca bu gymnosperm polenlere *Carpinus*, *Corylus*, Betulaceae, *Juglans* ve *Tilia* az bol olarak eşlik etmektedir. Fagaceae-*Quercus* (her dem yeşil ve yaprak döken tipleri) düşük yüzdeli olarak palinoflora içerisinde yer almaktadır. Bununla birlikte, tüm örneklerde bataklık ortamının varlığını destekleyen non polen palinomorflar içerisinde yer alan fungal sporlar, *Ovoidites*, *Tetraporina* ve *Botroyococcus* zengin olarak tanımlanmıştır.





Şekil 5.84. AB-33 nolu sondajdan derlenen örneklere ait organik madde içeriğini gösteren resimler.



Çalışma kapsamında AB-33 nolu sondajdan derlenen örneklerin çökme zamanı, otsul polenlerin (örn. Poaceae, Asteraceae-Asteroideae-Tubuliflorea tip ve Chenopodiaceae-Amaranthaceae) göreceli olarak bol olarak palinoflorada yer alması, termofil polenlerin (sıcak iklim koşullarını seven) (*Engelhardia*, Sapotaceae, çeşitli spor formları (Schizaceae)) yokluğu, Erken Miyosen yaşlı palinofloralar içerisinde yüksek yüzdeli olarak kayıt edilen ve Orta Miyosen'e doğru yüzdesinin belirgin bir şekilde azaldığı gözlenen Geç Miyosen'de nadiren ve/veya yok olan palinostratigrafik öneme sahip bazı polenlerin (örneğin *Momipites punctatus*, *M. quietus*, *Plicapollis plicatus*, *Plicatopollis pseudoexcelsus* ve *Subtriporopollenites anulatus*) yoklukları, serin ılıman iklim koşullarını tercih eden bitki topluluğunun varlığı ve çeşitliliği göz önünde bulundurulduğunda geç Orta Miyosen (Serravaliyen)'de çökelmiş olduğu söylenebilir (Akgün ve Akyol, 1999; Akgün ve Sözbilir, 2001; Ivanov vd., 2002; Akgün vd., 2007; Jiménez-Moreno ve Suc, 2007; Kayseri ve Akgün, 2008; Kayseri-Özer vd., 2014a, 2014b, 2017, 2019; Kayseri-Özer ve Emre, 2022) (Şekil 5.85 ve Levha I-V).

Derlenen örneklerin akarsu bataklığı alanında çökeldiği süreçte ılıman (temperate) iklim koşullarının hakim olduğu düşünülmektedir. Zaman zaman mevsimselliğe bağlı olarak yağış miktarının arttığı akarsu bitki topluluğu varlığı ile desteklenmektedir. Ayrıca, yağışlı süreçlerde bataklık alanının su seviyesinin yüksek olduğu Sparganiaceae ve non polen palinomorfaların varlığı ile belirlenmiştir (Şekil 5.85 ve Levha I-V).

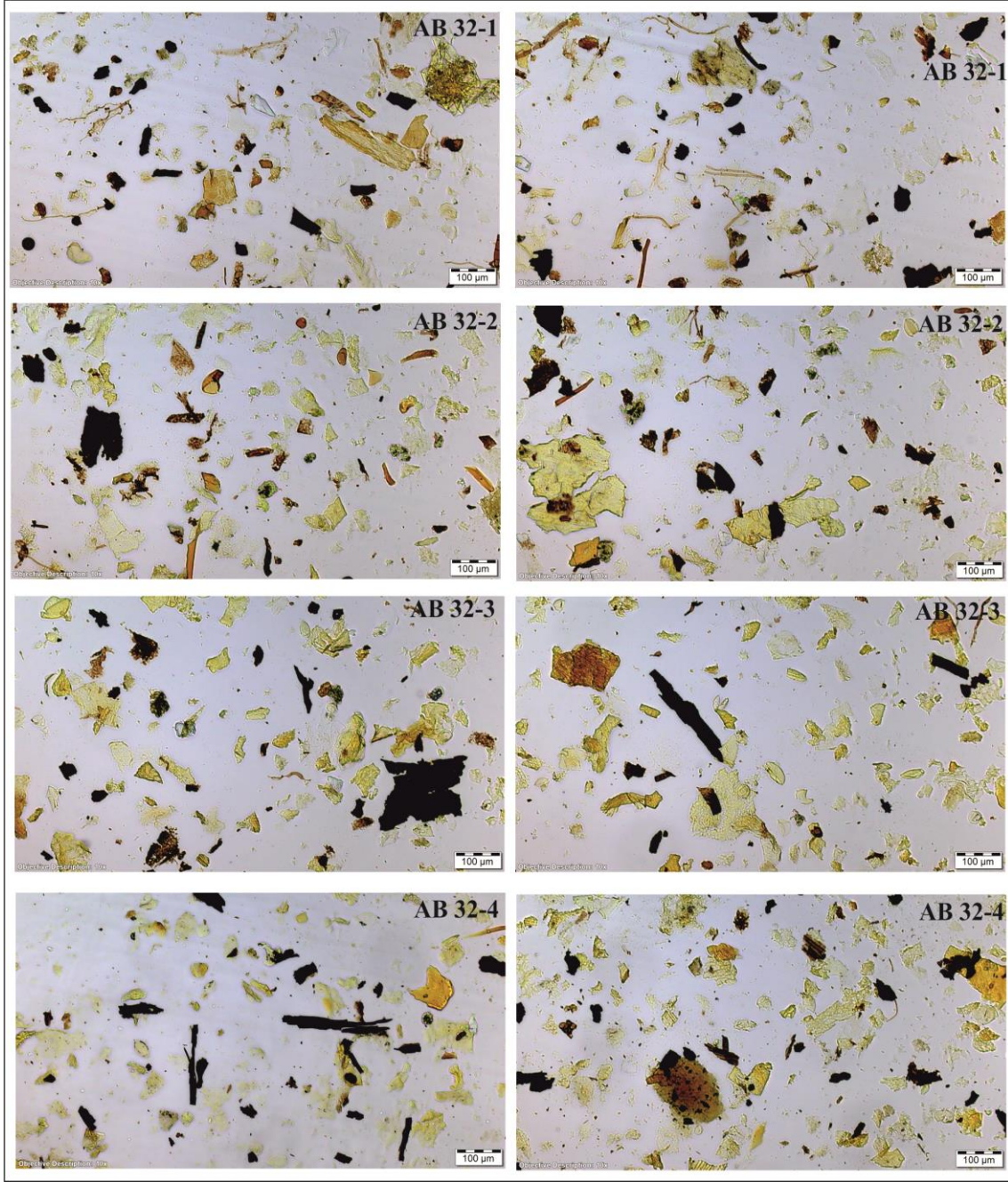
Gymnosperm polenlerin orta bollukta tanımlanması ve özellikle düşük yüzde bollukta olsa da *Abies* ve *Cedrus* bitkilerinin varlığı depolanma alanı yakın ve/veya uzak çevresinde yüksek paleotopoğrafyalı alanların varlığına işaret etmektedir (Şekil 5.85 ve Levha I-V).

### **5.7.2. AB-32 Nolu Sondajdan Alınan Örneklerin Mikroflorası, Jeolojik Yaş Değerlendirmesi ve Paleortamı**

Tez kapsamında AB-32 nolu sondajdan 1 tanesi kömürlü silttaşı (AB32-1) ve yedi tanesi olmak üzere alınan toplam sekiz adet örnek palinolojik olarak incelenmiştir (Şekil 5.86 ve 5.87). Örneklerde 1 cins ve 1 tür sporlara, 3 cins ve 3 tür gymnospermlere ve 6 cins ve 6 tür angiospermlere aittir. Bu sondaja ait örneklerin polen çeşitliliği AB-33 nolu sondajda tanımlanan polen çeşitliliğine göre daha azdır ve bataklık ortamının varlığını gösteren spor ve polen çeşitliliği kayıt edilmiştir. Örneklerde, akarsu kenarı bitki topluluğu Betulaceae-*Alnus* ve Juglandaceae-*Carya* ile temsil edilmektedir (Şekil 5.85). Bu sondaja ait örnekler içerinde 40 mikrondan büyük ve küçük boyutlu Poaceae'ye ait polenlerin bolluğu dikkat çekicidir ve bu palinofloral özelliği ile AB-33 nolu sondaja ait palinoflora ile benzerlik göstermektedir.

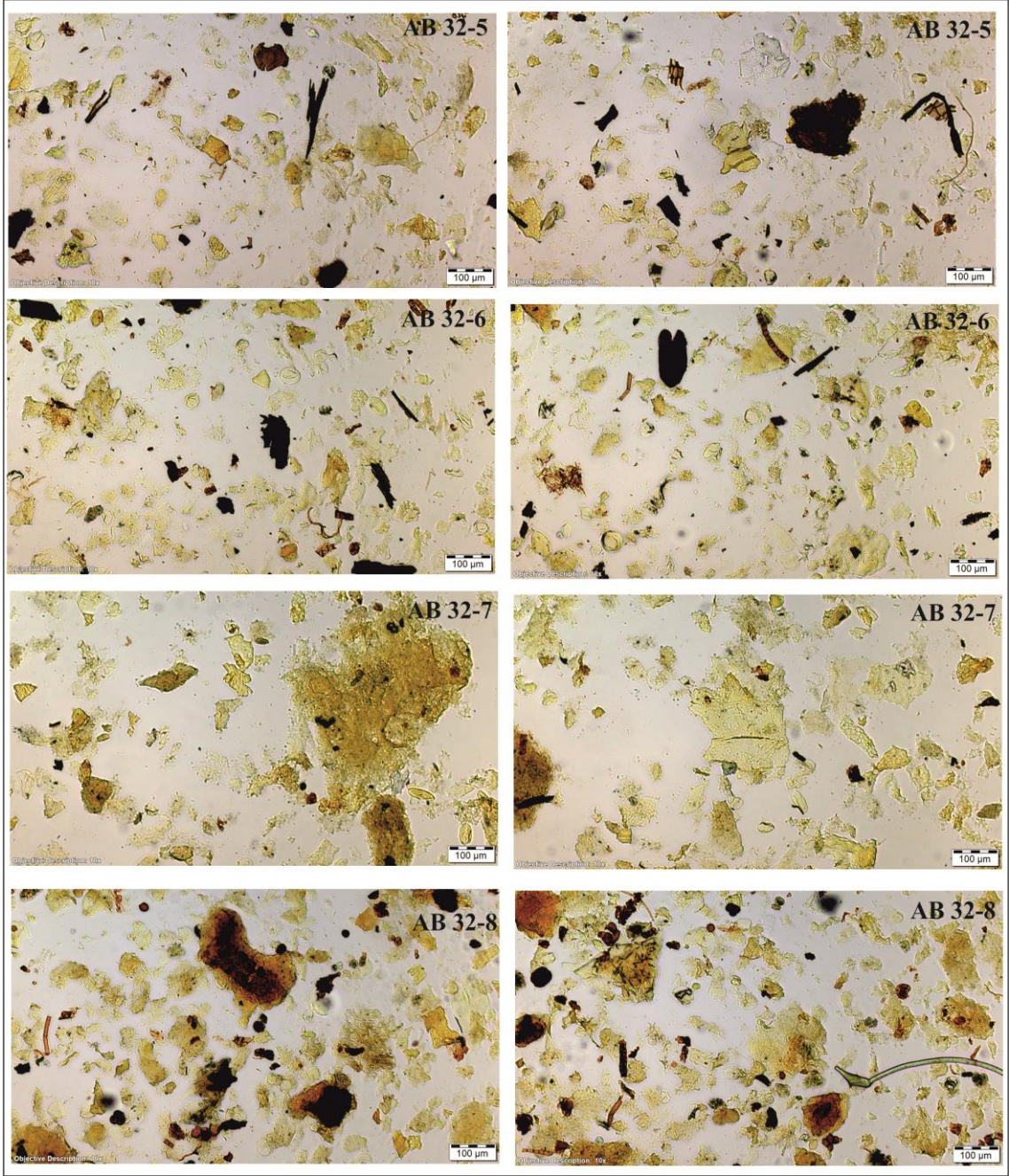
Sonuç olarak, AB-32 nolu sondajdan derlenmiş örneklerin çökelme zamanı AB-33 nolu sondajdan derlenmiş örneklerin depolanma zamanı ile aynı olduğu söylenebilmektedir (geç Orta Miyosen; Serravaliyen).





Şekil 5.86. AB 32 sondajında derlenen 1-4 örneklerine ait organik madde içeriğini gösteren resimler.





Şekil 5.87. AB 32 sondajında derlenen 5-8 örneklerine ait organik madde içeriğini gösteren resimler.



## Levhalar

### LEVHA I

- 1,2. *Abies* sp.
- 3, 4. Pinaceae-*Pinus* spp.
5. *Cedrus* sp.
- 6-9. Cupressaceae
- 10,11. Cycadaceae
12. Cyperaceae

### LEVHA II

- 1-10. Sparganiaceae
- 11-18. Poaceae (<40 mikron)
- 19-25. Poaceae (>40 mikron)
- 26-29. Tiliaceae-*Tilia* sp.

### LEVHA III

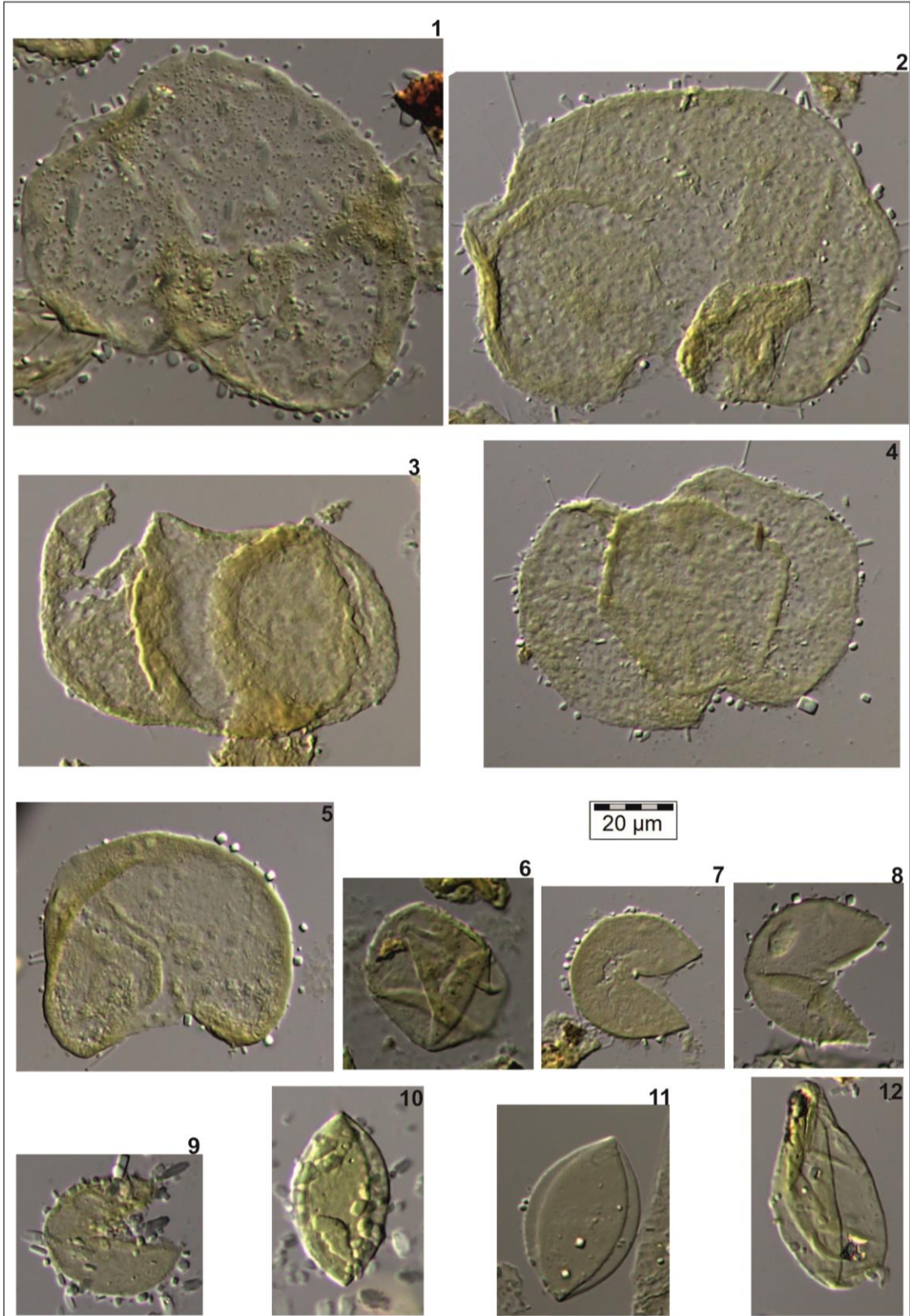
- 1-10. Pterocarya
- 2-6. Ulmaceae-*Ulmus* sp.
- 7-11. Betulaceae-*Alnus* sp.
- 12-19. Juglandaceae-*Carya* sp.
- 20, 21. Betulaceae-*Betula* sp.
- 22, 23. Onagraceae

### LEVHA IV

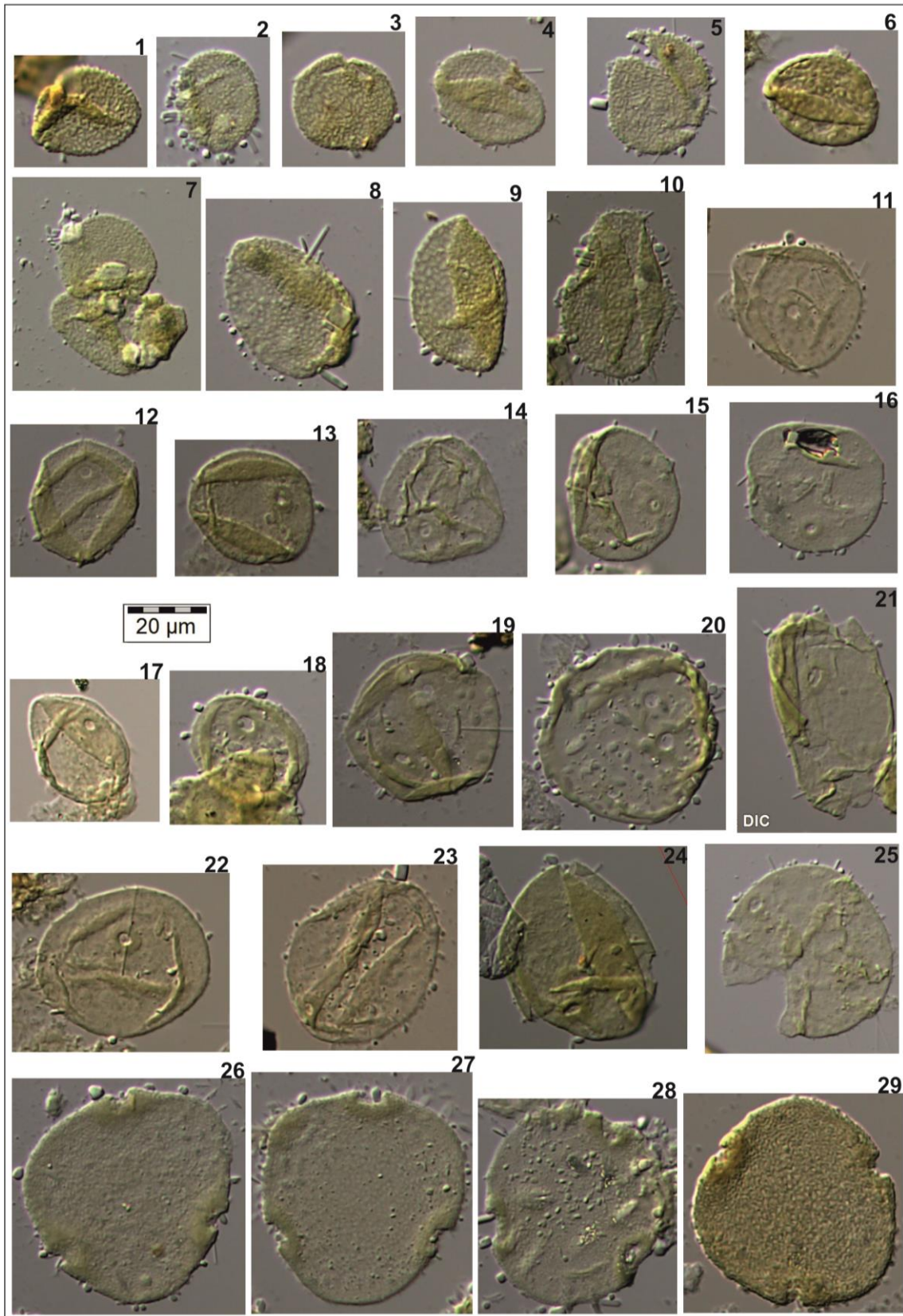
- 1-4. Onagraceae
5. Fagaceae-*Quercus* (yaprak dökken tip)
- 6,7. Fagaceae-*Quercus* (her dem yeşil tip)
- 8,9,11-15. Chenopodiaceae-Amaranthaceae
10. Asteraceae
- 16-19. *Tetraporina*
- 20-23. Fungal sporlar

### LEVHA V

- 1,2. Odun parçası
- 3-5. *Botryococcus*

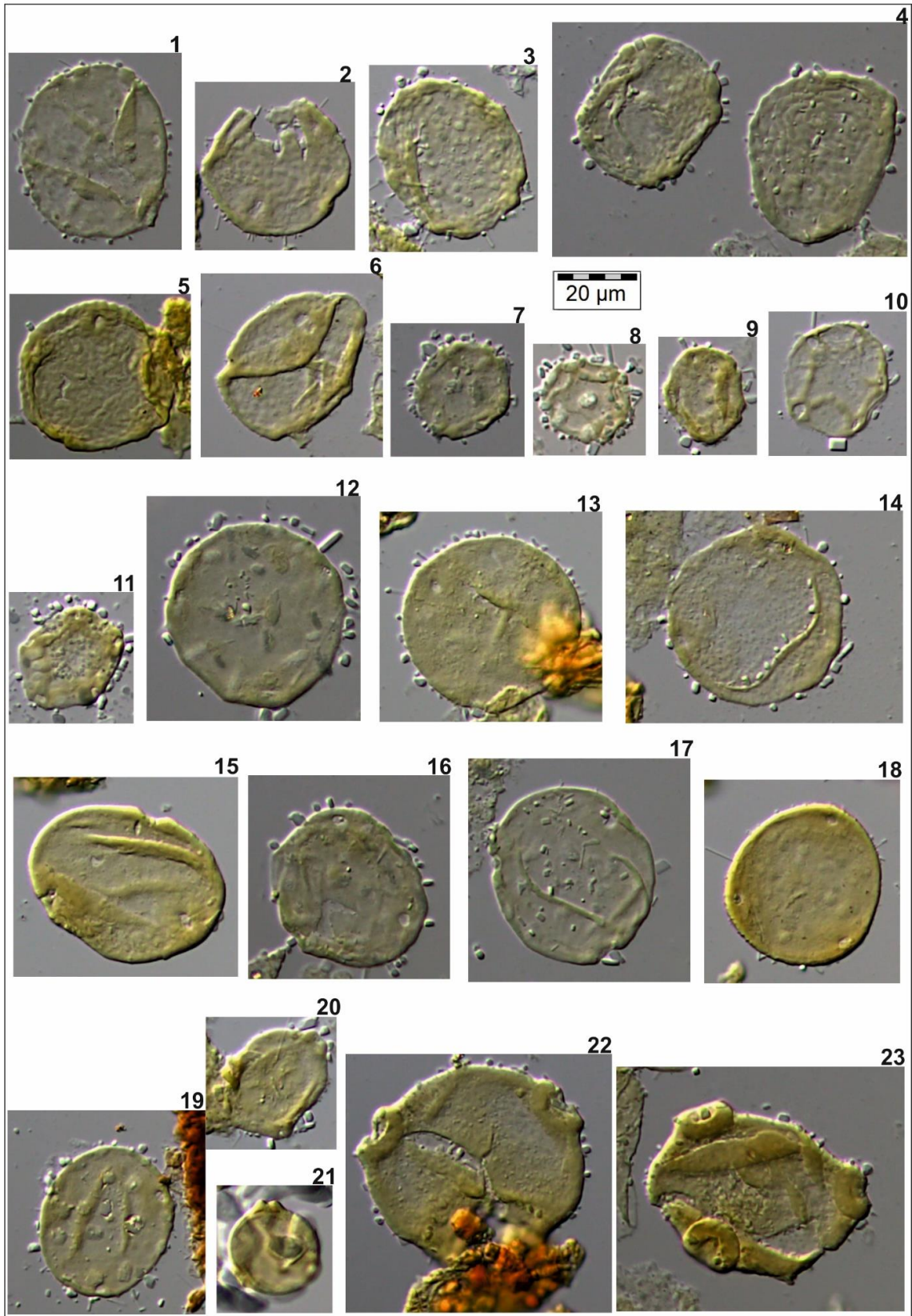


Şekil 5.88. Levha I

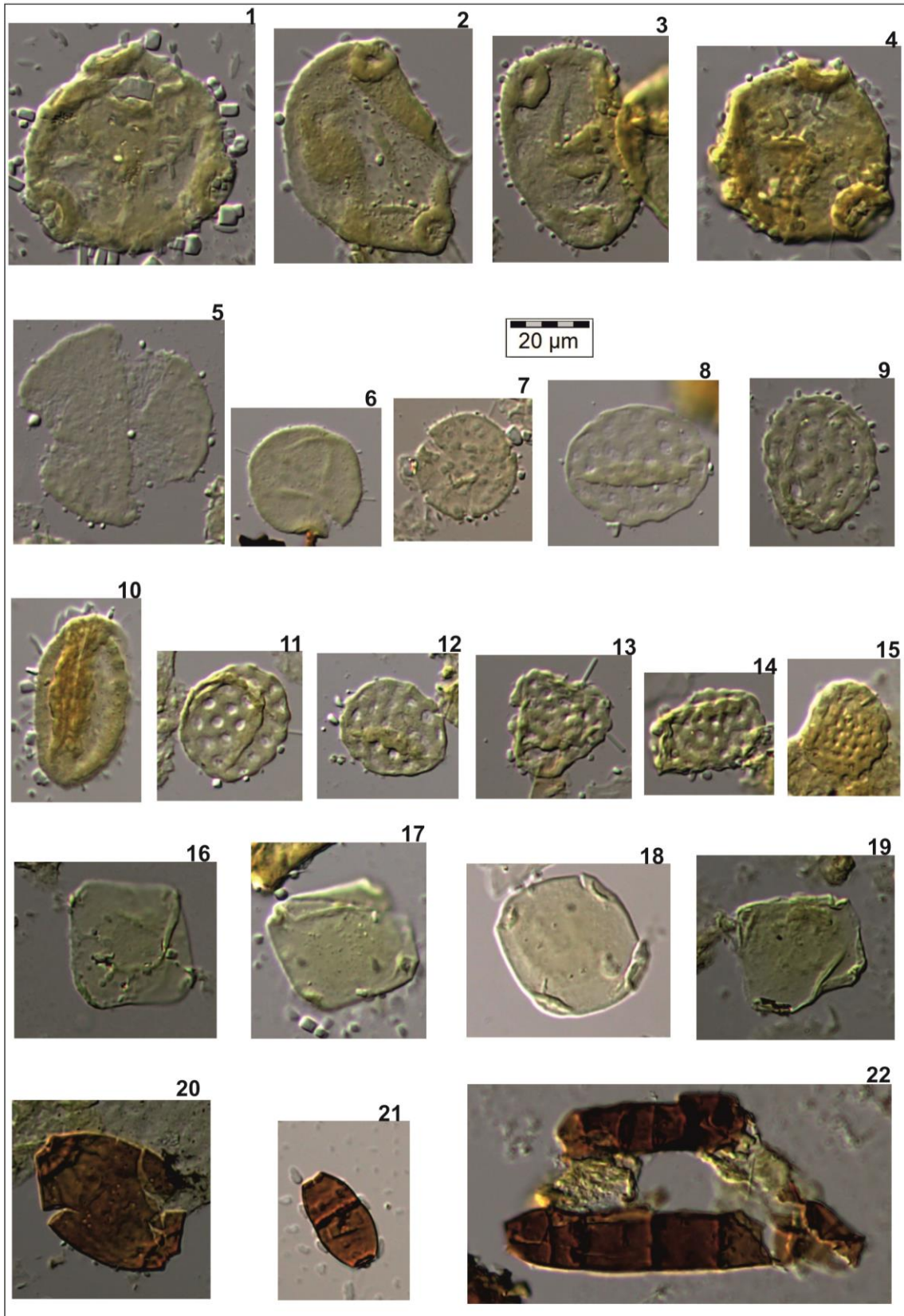


Şekil 5.89. Levha II



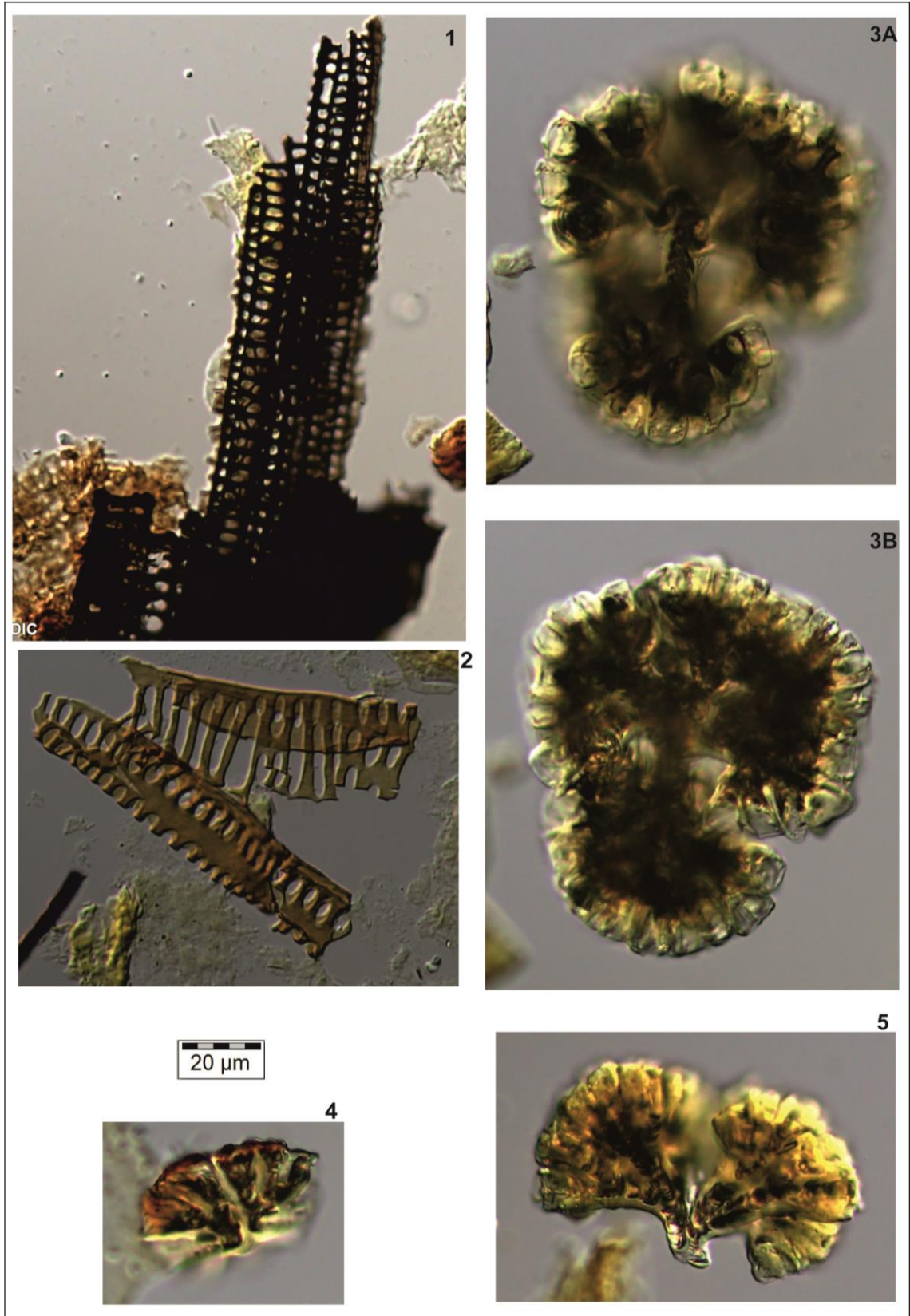


Şekil 5.90. Levha III



Şekil 5.91. Levha IV





Şekil 5.92. Levha V



## 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 6.1. Genel Sonuçlar

1.Bozdoğan (Aydın) Graben alanında tez kapsamında incelenen kömür oluşumları, sondajlı aramalar sırasında oldukça derin seviyelerde ilk kez saptanmıştır. Örnek olarak tez çalışması kapsamında örneklenen AB-32 ve AB-33 nolu sondajlarda kömür tabakaları yüzeyden sırasıyla 300,63-406,90 m ve 716,36-719,98 m’de yer almaktadır.

2. Çalışma kapsamında AB-32 nolu sondajdan alınan 7 adet kömür ve 1 adet kömürlü silttaşı ile AB-33 nolu sondajdan 5 adet kömür ve 1 adet karbonlu şeyl örneği çalışma amacı doğrultusunda incelenmiştir. Ayrıca mineralojik bileşimin derinliğe bağlı olarak değişimin tespit edilebilmesi amacıyla AB-33 nolu sondajdan alınan 70 adet kayaç örneği de mineralojik açıdan incelenmiştir. Bu çalışmalara ek olarak palinolojik, jeokimyasal (majör ve iz elementler) ve Rock-Eval analizleri de gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında sondajlardan alınan örnekler değerlendirilirken makroskobik görünümleri ve kuru bazda kül içerikleri dikkate alınarak %kül içeriği <50 olan örnekler kömür (CO), 50-75 olan örnekler kömürlü silttaşı ve >75 olan örnekler karbonlu şeyl (XH) olarak tanımlanmıştır.

3. Bozdoğan Grabeni, yaklaşık 15 km genişliğe ve 30 km uzunluğa sahip olup temelini Menderes Masifine ait Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar oluşturmaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde metamorfikler üzerine Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Akçay Grubuna ait sedimanter birimler (Karadere, Mortuma, Yenidere ve Künar/Kale Formasyonları) uyumsuz olarak gelir. Akçay grubu, uyumsuz olarak Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı Muğla Grubuna ait sedimanter birimler (Sekköy, Yatağan, Milet Formasyonları) tarafından üzerlenmektedir. Kuvaterner yaşlı birimler çalışma alanında yer alan diğer tüm yaşlı birimleri örtmektedir. Her iki sondajdan alınan kömür örneklerinde tez kapsamında gerçekleştirilen palinolojik çalışmalarla kömür oluşumlarının, Orta Miyosen (Serravaliyen) yaşlı Sekköy Formasyonu içerisinde yer aldığı ilk kez saptanmıştır.

4. Tez kapsamında incelenen kömür örnekleri makroskobik olarak siyah, parlak ve kırılıgandır. Bazı örnek seviyelerinde ikincil (epijenetik) jips/anhidrit oluşumları gözlenmektedir. Her iki sondajdan alınan örneklerde yaygın olarak mineralce zengin litotip ve daha az olarak matriks litotip tespit edilmiştir. Sondajlardan alınan oniki kömür örneğinin laboratuvara geldiği durumda (orijinal baz) toplam nem değerleri ortalama %21,6, havada kuru bazda ortalama %44,0 uçucu madde, %35,2 kül ve 3581 kcal /kg üst ısı değeri tespit edilmiştir. Kömür örneklerinin nemli mineral maddesiz bazda (Mmmf) hesaplanan ortalama üst ısı değeri (7356 Btu/lb, kömürlerin kömürleşme derecesinin ASTM sınıflamasına göre “Linyit A” aşamasında olduğunu göstermektedir. Her iki sondajdan alınan kömür örnekleri birlikte değerlendirildiğinde hava kuru bazda ortalama %1,00 N, %39,07 C, %3,94 H ve %15,29 O hesaplanmıştır. Yüksek %toplam kükürt içeriğine sahip kömür örnekleri üzerinde piritik ve sülfat kükürdü analizleri gerçekleştirilmiştir. Seçilen toplam 8 adet kömür örneğinin 7 tanesi havada kuru veya kuru bazda organik S içerikleri dikkate alındığında süper yüksek organik kükürlü (SHOS) kömür olarak tanımlanmıştır.

5. Her iki sondajdan alınan kömür, kömürlü silttaşı ve karbonlu şeyl örnekleri birlikte değerlendirildiğinde XRD-TK difraktogramlarında amorf madde (kömür) dışında kristal fazında değişik oranlarda olmak üzere kil mineralleri (kaolinit (Kln), illit/mika (Ilt/Mc)), kuvars (Qz), feldispat mineralleri (Fsp), kalsit (Cal), dolomit (Dol), aragonit (Arg), pirit (Py), jips (Gp) ve anhidrit (Anh) mineralleri tanımlanmıştır. Tez kapsamında AB-33 nolu sondaj karotundan alınan 70 adet kayaç örneklerinin 62’sinde kuvars, 57’sinde kalsit, 53’ünde kil mineralleri, 39’unda feldispat mineralleri, 36’sında dolomit ve 22’sinde jips, 13’ünde aragonit, 12’sinde anhidrit, 11’inde pirit, 2’sinde ankerit ve serpantin mineralleri ve 1’inde kristobalit tanımlanmıştır.

6. Tez kapsamında seçilen kömür örneklerinin parlak kesitleri üzerinde yapılan SEM-EDS çalışmalarıyla ülkemiz kömürlerinde rutin olarak tanımlanan mineraller (örneğin silika, karbonat mineralleri, kil mineralleri, pirit vb.) dışında ilginç olarak örneklerde sinjenetik oluşmuş pomza parçaları, diatom kavkuları ile epijenetik oluşmuş jips/anhidrit, barit ve sölestin oluşumları tanımlanmıştır. Kayaç örneklerinin parlak kesitleri üzerinde yapılan SEM-EDS çalışmalarıyla ise ülkemizde kömüre komşu

kayaçlarda bugüne kadar not edilmeyen Ta-V-Fe-içeren Nb-Ti-oksit (Nb-rutil?), V-Fe-içeren Nb-Ti-oksit (Nb-rutil?) saptanmıştır.

7. Her iki sondajda kömür örneklerine ait ortalama majör oksit değerleri %23,5 SiO<sub>2</sub>, %10,6 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %1,3 Na<sub>2</sub>O, %1,1 K<sub>2</sub>O, %3,1 MgO, %32,9) CaO, %0,2 TiO<sub>2</sub>, %4,7 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %0,2 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> olarak tespit edilmiştir. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan alınan oniki adet kömür örneğinin çoğunda tespit edilen iz elementleri As, B, Ba, Co, Cr, Cu, Ga, Li, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Th, U, V, Y ve Zn oluşturmaktadır. Kömür örneklerine iz element analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde kömür örneklerinin küllerinde U'da zenginleşme, B ve Mo'de nispi zenginleşme, As, Cr, Ni, Pb, Sr, Th, V ve Zn'de Dünya kömür ortalamasına yakın ve geri kalanlarda seyrelme görülmüştür.

8. Maseral-mineral madde analizi sonuçlarından hesaplanan hacimce yüzde değerlere göre kömür örneklerinde en yaygın (baskın) maseral grubunu hüminit oluşturmaktadır. Örneklerde, inertinit ve liptinit grubuna ait maserallerin hacimce yüzde değerleri ise oldukça düşüktür ve hacimce yüzde değere göre liptinit grubu inertinit grubuna göre daha fazladır. Seçilen örneklerde gerçekleştirilen rastgele yüzde ülminit yansıtımalarına (0,33±0,01) göre örnekler "linyit" aşamasındadır.

9. AB-32 ve AB-33 nolu sondajlardan seçilen toplam dokuz kömür örneğinde gerçekleştirilen Rock-Eval analizleriyle S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> ve S<sub>3</sub> değerlerinin genel aritmetik ortalaması sırasıyla 2,15 mg HC/g kayaç, 82,83 mg HC/g kayaç ve 12,58 mg CO<sub>2</sub>/g kayaç olarak hesaplanmıştır. Kömür örneklerinin TOC değerleri, %11,32-50,08 gibi geniş bir aralıkta ölçülmüştür. Her iki sondajdan alınan örnekler bir arada değerlendirildiğinde T<sub>max</sub> değeri ortalama 419 °C olarak hesaplanmıştır. Rock-Eval piroliz analizleri yapılan kömür örneklerinin HI değerlerinin ortalamaları ise AB-32 ve AB-33 nolu sondajda sırasıyla 239 mg HC/g TOC ve 249 mg HC/g TOC olarak hesaplanmıştır. AB-32 nolu sondajdan alınan kömür örneklerinin OI değerlerinin ortalamaları ise 38 mg CO<sub>2</sub>/g TOC olarak hesaplanmıştır. Bu değer AB-33 nolu sondajdan alınan örneklerde 34 mg CO<sub>2</sub>/g TOC olarak belirlenmiştir.

## 6.2. Öneriler

Bozdoğan Graben alanında kömür arama çalışmalarına önceki yıllarda başlanılmış olup etüt ve sondajlı aramalar sonucu kömür oluşumları ilk kez tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında AB-32 ve AB-33 nolu sondajlarda kesilen kömürler kimyasal, mineralojik ve petrografik açıdan detaylı olarak çalışılmıştır. Sondaj loglarında kömürlü seviye (zonu), litolojik gözlemlere göre önceki çalışmalarda Erken Miyosen yaşlı Yenidere Formasyonu içerisinde gösterilmiştir. Diğer taraftan bu tez çalışması kapsamında her iki sondajdan alınan tüm kömür örneklerinde gerçekleştirilen palinolojik çalışmalarla kömür oluşumlarının, Orta Miyosen (Serravaliyen) yaşlı Sekköy Formasyonu içerisinde yer aldığı ilk kez saptanmıştır. Bu nedenle bundan sonraki çalışmalarda bu durumun dikkate alınması önerilmektedir.

Tez kapsamında her iki sondajdan seçilen kömür örnekleri üzerinde gerçekleştirilen Rock Eval analiz sonuçları değerlendirildiğinde kömür örneklerinin damarın kalınlığının en az 0,50 m üstünde ve toplam hüminit ile liptinit içeriklerinin mineral maddesiz bazda sırasıyla %87,5 ve %9,4 olması AB-32 ve AB-33 nolu sondajlarda kesilen kömür damarlarının hidrokarbon türetme potansiyellerine sahip olduğunu düşündürmektedir. Ancak incelenen örneklerde  $T_{max}$  değerlerinin sıvı hidrokarbon türeyebilmesi için gerekli olan  $435^{\circ}C$  altında kalması ayrıca ikincil liptinit maserali olan eksudatinitin maseral analizleri sırasında gözlenmemesi, örneklerin daha çok gaz türetme potansiyellerine sahip olduğunu göstermektedir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizlere ek olarak yerinde gazlaştırma potansiyelinin araştırılmasının gelecekte yapılması önerilmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

- Açıklalın, S., Karacasu Çapraz Grabeni 'nin (Aydın-Batı Anadolu) Sedimanter Evrimi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, **2005**.
- Akdeniz, N., 1:100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Denizli-N 22 paftası, (Yayın No: 164). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, **2011**.
- Akgün, F., Akyol, E., Palynostratigraphy of the coal-bearing Neogene deposits Graben in Büyük Menderes Western Anatolia, *Geobios*, 32 (**1999**) 367–383.
- Akgün, F., Kayseri, M.S., Akkiraz, M.S., Palaeoclimatic evolution and vegetational changes during the Late Oligocene-Miocene period in Western and Central Anatolia (Turkey), *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 253 (**2007**) 56–90.
- Akgün, F., Sözbilir, H., A palynostratigraphic approach to the SW Anatolian molasse basin: Kale-Tavas molasse and Denizli molasse, *Geodinamica Acta*, 14 (**2001**) 71-93.
- Alçıçek, H., Jiménez-Moreno, G., Late Miocene to Plio-Pleistocene Fluvio-Lacustrine System in The Karacasu Basin (Sw Anatolia, Turkey): Depositional, Paleogeographic and Paleoclimatic Implications, *Sedimentary Geology*, 291 (**2013**) 62–83.
- Alçıçek, H., Stratigraphic correlation of the Neogene basins in Southwestern Anatolia: Regional Palaeogeographical, Palaeoclimatic and Tectonic Implications, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 291 (**2010**) 297–318.
- Altunel, E., Akyüz, S., Meghraoui, M., Kıyak N. G., Karabacak, V., Yalçmer, Ç.C., Büyük Menderes Fay Zonunun Arkeosismolojisi ve Paleosismolojisi, TUBITAK 105Y348 Nolu Proje, **2009**.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D121, Standard terminology of coal and coke. Annual Book of ASTM Standards 2015. Gaseous Fuels: Coal and Coke. ASTM, Philadelphia, PA, USA, 14p., **2015**.



- American Society for Testing and Materials (ASTM) D2013 Standard practice for preparing coal samples for analysis. Annual Book of ASTM Standards 2007. Gaseous Fuels: Coal and Coke, ASTM, Philadelphia, PA, 11p., **2007**.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D2797/ D2797M Standard practice for preparing coal samples for microscopical analysis by reflected light. Annual Book of ASTM Standards 2011. Gaseous Fuels: Coal and Coke, ASTM, Philadelphia, PA, 5p., **2011**.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D3175 Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke, **2017**.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D3177 Standard test method for total sulfur in the analysis sample of coal and coke, Annual Book of ASTM Standards 2002, Gaseous Fuels: Coal and Coke, ASTM, Philadelphia, PA, 4p., **2002**.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D3180, Standard practice for calculating coal and coke analyses from as-determined to different bases. Annual Book of ASTM Standards 2015, Gaseous Fuels: Coal and Coke. ASTM, Philadelphia, PA, USA, 1-3, **2015**.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D3302/D3302M, Standard test method for total moisture in coal. Annual Book of ASTM Standards 2012. Gaseous Fuels: Coal and Coke. ASTM, Philadelphia, PA, USA, 8p., **2012**.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D388, Standard classification of coals by rank. Annual Book of ASTM Standards 2019, Gaseous Fuels: Coal and Coke, ASTM, Philadelphia, PA, USA, 7p., **2019**.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D5373, Standard test methods for determination of carbon, hydrogen, and nitrogen in analysis samples of coal and carbon in analysis samples of coal and coke. Annual Book of ASTM Standards 2014. Gaseous Fuels: Coal and Coke. ASTM, Philadelphia, PA, USA, 11p., **2014**.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) D5865, Standard test method for gross calorific value of coal and coke. Annual Book of ASTM Standards 2013. Gaseous Fuels: Coal and Coke, ASTM, Philadelphia, PA, USA, 19p., **2013**.

- American Society for Testing and Materials (ASTM) D7582 Standard test methods for proximate analysis of coal and coke by macro thermogravimetric analysis. Annual Book of ASTM Standards 2012. Gaseous Fuels: Coal and Coke, ASTM, Philadelphia, PA, USA, 9p., **2012**.
- ASTM, Annual Book of ASTM Standarts, Gaseous Fuels; Coal and Coke, 1916 Race Street, Philadelphia, PA19103, 5.5, 520p, **1991**.
- ASTM, Annual Book of ASTM Standarts, Gaseous Fuels; Coal and Coke, American Society for Testing Materials, West Conchohacken, PA, vol 05.06. **2005**.
- ASTM, İnorganic İndex to the Powder Diffraction File, Joint Committee on Powder Diffraction Standarts, Pennsylvania,1432 p, **1972**.
- Atalay, M., Kale-Kurbalık (Denizli-Türkiye) Kömürlerinin Mineralojisi ve Petrografisi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2007**.
- Atalay, Z., Muğla-Yatağan ve yakın dolay karasal Neojenin stratigrafi araştırması: Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 23 (**1980**) 93-99.
- Aydın'da Madencilik: Potansiyeli ve Değerlendirilmesi, Editörler Prof. Dr. Taki Güler, Doç. Dr. Avni Güney Arş. Gör. Ercan Polat, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Aydın, **2019**.
- Baskin, D. K. Atomic H/C ratio of kerogen as an estimate of thermal maturity and organic matter conversion, American Association of Petroleum Geologists, 81-9 (**1997**) 1437-1450.
- Bechtel, A., Karayiğit, A.I., Bulut, Y., Mastalerz, M., Sachsenhofer, R.F., Coal characteristics and biomarker investigations of Dombayova coals of Late Miocene-Pliocene age (Afyonkarahisar- Turkey), Organic Geochemistry, 94 (**2016**) 52-67.
- Bechtel, A., Karayiğit, A.I., Sachsenhofer, R.F., Inaner, H., Christanis, K., Gratzner, R., Spatial and temporal variability in vegetation and coal facies as reflected by organic petrological and geochemical data in the Middle Miocene Çayırhan coal field (Turkey), International Journal of Coal Geology, 134-135 (**2014**) 46-60.

- Becker-Platen, J.D., Lithostratigraphische Untersuchungen im Känozoikum SüdwestAnatoliens (Türkei), Beihefte zum geologischen Jahrbuch, 97 (1970) 1–244.
- Becker-Platen, J. D, Benda, L., Steffens, P., Litho- und biostratigraphische deutung radiometrischtr altersbestimmungen aus dem Jungtertiâr der Türkei (Kanozoikum und Braunkohlen der Türkei, 18): Geol.Jahr., B25 (1977) 139 - 167.
- Becker-Platen, J. D., Stratigraphic division of The Neogene and Oldest Pleistocene in Soutwest Anatolia, Newsletters on Stratigraphy, 1-3 (1971) 19-22.
- Behar, F., Beaumont, V., De, H.L., Penteado, B., Rock-Eval 6 technology: performances and developments, Oil & Gas Science and Technology, 56 (2001) 111-13.
- Binns G.J., Harrow G., On the occurrence of certain minerals at Netherseal colliery, Leicestershire, Trans Inst Min Eng 13 (1897) 252–255
- Biswas, S., Varma, A.K., Kumar, M., Mani, D., Saxena, V.K., Mishra, V., Influence of geochemical, organo-petrographical and palynofacies assemblages on hydrocarbon generation: A study from upper Oligocene coal and shale of the Makum Coal Basin, Assam, India, Marine and Petroleum Geology, 114 (2020) 104206.
- Bojesen-Koefoed, J.A., Christiansen, F.G., Petersen, H.I., Piasecki, S., Stemmerik, L., Nytoft, H.P., Resinite-rich coals of Northeast Greenland- a hitherto unrecognized, highly oil-prone Jurassic source rock, Bulletin of Canadian petroleum geology, 44 (1996) 458–473.
- Bozkurt, E., Mittwede, S. K., Introduction: Evolution of continental extensional tectonics of western Turkey, Geodinamica Acta, 18/3-4 (2005) 153-165.
- Bozkurt, E., Neotectonics of Turkey-a synthesis, Geodinamica Acta, 14 (2001) 3-30.
- Bozkurt, E., Oberhänsli, R., Menderes Massif (western Turkey): Structural, metamorphic and magmatic evolution, International Journal of Earth Sciences, Special Issue, 89 (2001) 679-882.
- Bozkurt, E., Origin of NE-trending basins in Western Turkey, Geodinamica Acta, 16 (2003) 61-81.

- Bozkurt, E., Park, R. G., Menderes Massif: A Cordilleran type metamorphic core complex in western Turkey, EUG VII, Strasbourg, Terra Abstracts, p.255, **1993**.
- Bozkurt, E., Sözbilir, H., Tectonic Evolution of The Gediz Graben: Field Evidence for An Episodic, Two-Stage Extension in Western Turkey, Geological Magazine, 141/1 (**2004**) 63-79.
- Bozkurt, E., Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, its tectonic implications, Bozkurt, E., Winchester, J. A. And Piper J. D. A. (eds), Tectonics and Magmatism in Turkey and the surrounding area, Geological Society, London, Special publications, 173, (**2000**) 385-403.
- Bozkurt, E., Winchester, J.A., Park, R.G., Geochemistry and Tectonic Significance of Augen Gneisses from the Southern Menderes Massif (west Turkey), Geological Magazine, 132 (**1995**) 287-301.
- Bulut, Y., Dombayova (Dinar, Afyonkarahisar) Linyitlerinin Jeolojik Konumu, Kimyasal, Mineralojik ve Petrografik Özellikleri, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2023**.
- Calder, J.H., Gibling, M.R., Mukhopadhyay, K., Peat formation in a Westphalian B piedmont setting, Cumberland basin, Nova Scotia: implications for the maceral-based interpretation of rheotrophic and raised paleomires, Bulletin de la Societe Geologique de France, 162 (**1991**) 283-298.
- Carpenter A. M., Coal Classification, London: IEA Coal Research (IEACR 12), **1988**.
- Carvajal-Ortiz, H., Gentzis, T., Geochemical screening of source rocks and reservoirs: the importance of using the proper analytical program, International Journal of Coal Geology, 190 (**2017**) 56–69.
- Chou, C.-L., Sulfur in coals: A review of geochemistry and origins, International Journal of Coal Geology, 100 (**2012**) 1–13.
- Chou, C.-L., Geologic factors affecting the abundance, distribution, and speciation of sulfur in coals. In: Yang, Q. (Ed.), Geology of Fossil Fuels, Proceedings of the 30th International Geological Congress: Part B, VSP, Utrecht, The Netherlands, vol. 18, (**1997**) pp. 47–57.

- Clementz, D. M., Effect of Oil and Bitumen Saturation on Source-Rock Pyrolysis: Geologic Notes, American Association of Petroleum Geologists, 63-12 (1979) 2227-2232.
- Coal Exploration, Mine Planning and Development 1st Edition by Roy Merritt (Author), 1987
- Copard, Y., Disnar, J.R., Becq-Giraudon, J.F., Erroneous maturity assessment given by  $T_{max}$  and HI Rock-Eval parameters on highly mature weathered coals, International Journal of Coal Geology, 49 (2002) 57–65.
- Çağlayan, M.A., Öztürk, E.M., Öztürk, Z., Sav, H., Akat, U., Menderes Masifi Güneyine Ait Bulgular ve Yapısal Yorum, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 10 (1980) 9-19
- Çelik, Y., Karayigit, A.I., Oskay, R.G., Kayseri-Ozer, M.S., Christanis, K., Hower, J.C., Querol, X., A multidisciplinary study and palaeoenvironmental interpretation of middle Miocene Keles lignite (Harmancık Basin, NW Turkey), with emphasis on syngenetic zeolite formation. International Journal of Coal Geology. 237 (2021) 103691.
- Çelik, Y., Karayigit, A.I., Querol, X., Oskay, R.G., Mastalerz, Kayseri-Ozer, M.S., Coal characteristics, palynology, and palaeoenvironmental interpretation of the Yenikoy " coal of late Oligocene age in the Thrace Basin (NW Turkey), International Journal of Coal Geology, 181 (2017)103–123.
- Çemen, İ., Extensional tectonics in the Basin and Range the Aegean, and Western Anatolia: Introduction, Tectonophysics 488 (2010) 1–6.
- Dai S., Finkelman R.B., French, D., Hower, J.C., Graham, I.T., Zhao, F., Modes of occurrence of elements in coal: A critical evaluation, Earth-Science Reviews, 222 (2021) 103815.
- Dai, S., Hower, J. C., Ward, C. R., Guo, W., Song, H., Amp, Apos, Keefe, J. M. K., Xie, P., Hood, M. M., Yan, X., Elements and phosphorus minerals in the middle Jurassic inertinite-rich coals of the Muli Coalfield on the Tibetan Plateau, International Journal of Coal Geology, 144-145 (2015) 23-47.



- Dai, S., Hower, J.C., Finkelman, R.B., Graham, I.T., French, D., Ward, C.R., Eskenazy, G., Wei, Q., Zhao, L., Organic associations of non-mineral elements in coal: A review, *International Journal of Coal Geology*, Volume 218 (2020) 103347.
- Dai, S., Ren, D., Chou, C.-L., Li, S., Jiang, Y., Mineralogy and geochemistry of the No. 6 coal (Pennsylvanian) in the Junger Coalfield, Ordos Basin, China, *International Journal of Coal Geology*, 66 (2006a) 253–270.
- Dai, S., Ren, D., Tang, Y., Shao, L., Li, S., Distribution, isotopic variation and origin of sulfur in coals in the Wuda coalfield, Inner Mongolia, China, *International Journal of Coal Geology*, 51 (2002) 237 – 250.
- Dai, S., Ren, D., Zhou, Y., Chou, L-C., Wang, X., Zhao, L., Zhu, X., Mineralogy and geochemistry of a superhigh-organic-sulfur coal, Yanshan coalfield, Yunnan, China: Evidence for a volcanic ash component and influence by submarine exhalation, *Chemical Geology*, 255 (2008) 182–194.
- Dai, S., Seredin, V.V., Ward, C.R., Hower, J.C., Xing, Y., Zhang, W., Song, W., Wang, P., Enrichment of U–Se–Mo–Re–V in coals preserved within marine carbonate successions: geochemical and mineralogical data from the Late Permian Guiding Coalfield, Guizhou, China, *Miner Deposita* 50 (2015)159–186.
- Dai, S., Ward, C.R., Graham, I.T., French, D., Hower, J.C., Zhao, L., Wang, X., Altered volcanic ashes in coal and coal-bearing sequences: a review of their nature and significance, *Earth-Science Reviews*, 175 (2017) 44–74.
- Dai, S., Xie, P, Ward, C., Yan, X., Guo, W., French, D., Graham, I.T., Anomalies of rare metals in Lopingian super-high-organic-sulfur coals from the Yishan coalfield, Guangxi, China, *Ore Geology Reviews* 88 (2017) 235–250.
- Dai, S., Xie, P., French, D., Ward, C.R., Graham, I.T., Yan, X., Guo, W., The occurrence of buddingtonite in super-high-organic-sulphur coals from the Yishan coalfield, Guangxi, Southern China, *International Journal of Coal Geology*, 195 (2018) 347-361.
- Dai, S., Zhang, W., Seredin, V.V., Ward, C.R., Hower, J.C., Song, W., Wang, X., Li, X., Zhao, L., Kang, H., Zheng, L., Wang, Zhou, P., Factors controlling geochemical and mineralogical compositions of coals preserved within marine carbonate

- successions: a case study from the Heshan Coalfield, southern China, *International Journal of Coal Geology*, 109-110 (**2013**), 77-100
- Dai, S., Bechtel, A., Eble, C.F., Flores, R.M., French, D., Graham, I.T., Hood, M.M., Hower, J.C., Korasidis, V.A., Moore, T.A., Püttmann, W., Wei, Q., Zhao, L., O'Keefe, J.M.K., Recognition of peat depositional environments in coal: a review, *International Journal of Coal Geology*, 219 (**2020a**) 103383.
- Dai, S., Finkelman, R.B., Coal as a promising source of critical elements: Progress and future prospects, *International Journal of Coal Geology*, 186 (**2018**) 155-164.
- Dai, S., Hower J.C., Finkelman R.B., Graham, I.T., French, D., Ward, C.R., Eskenazy, G., Wei, Q., Zhao, L., Organic associations of non-mineral elements in coal: a review, *International Journal of Coal Geology*, 218 (**2020b**) 103347.
- Dai, S., Ren, D., Chou, C.-L., Finkelman, R.B., Seredin, V.V., Zhou, Y., Geochemistry of trace elements in Chinese coals: a review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization, *International Journal of Coal Geology*, 94 (**2012**) 3-21.
- Dai, S., Ren, D., Chou, C.-L., Li, S., Jiang, Y., Mineralogy and geochemistry of the No. 6 coal (Pennsylvanian) in the Junger Coalfield, Ordos Basin, China, *International Journal of Coal Geology*, 66 (**2006**) 253-270.
- Dai, S., Seredin, V.V., Ward, C.R., Xing, Y., Zhang, W., Song, W., Wang, P., Enrichment of U-Se-Mo-Re-V in coals preserved within marine carbonate successions: geochemical and mineralogical data from the Late Permian Guiding Coalfield, Guizhou, China, *Mineralium Deposita*, 50 (**2015**) 159-186.
- Davis, B., Esterle, J. S., Keilar, D. Determining the geological controls on the spatial distribution of phosphorus within coal seams mined at South Walker Creek Mine, Bowen Basin, Central Queensland, Australia. *Advances in the Study of the Sydney Basin*, 27-29 November 2006, Woollongong, Australia. 28-35, **2006**.
- Davis, R.C., Noon, S.W., Harrington, J., The petroleum potential of Tertiary coals from Western Indonesia: Relationship to mire type and sequence stratigraphic setting, *International Journal of Coal Geology*, 70 (**2007**) 35-52.

- Dembicki, H., Three common source Rock-Evaluation errors made by geologists during prospect or play appraisals, *AAPG Bulletin*, 93 (2009) 341-356.
- Dembicki, H. *Practical Petroleum Geochemistry for Exploration and Production* Elsevier, Amsterdam, 2-4, **2016**.
- Demir İ., Kömür Hazırlama Teknikleri Kullanılarak Türkiye'deki Kömürlerin İz Element İçerikleri Açısından Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2009**.
- Dewey J.F., Extensional collapse of orogens, *Tectonics*, 6 (1988) 1123-1139.
- Dewey, J.F., Şengör, A.M.C., Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone, *Geological Society America Bulletin*, 90 (1979) 84-92.
- Diessel, C.F K., The correlation between coal facies and depositional environments. *Advances in the Study of the Sydney Basin, Proceedings of 20th Symposium, The University of Newcastle*, pp: 19–22, (1986).
- Diessel, C.F.K., *Coal-Bearing Depositional Systems*, Springer Verlag, Berlin, **1992**.
- Dora, Ö., Candan, O., Dürr, S., Oberhansli, R., New Evidence on the Geotectonic Evolution of the Menderes Massif, *I.E.S.C.A. Proceedings*, 1,53-72, **1995**.
- DPT, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Taşkömürü Çalışma Grubu Raporu, Ankara, **2006**.
- Dünya ve Türkiye'de Kömür, *Enerji Günlüğü*, 10. Yıl özel yayın-1, **2022**.
- Dürr, St., Allherr, R., Keller, J., Okrusch, M., Seidel, E., The median Aegean crystalline belt: Stratigraphy, structure, metamorphism, magmatism, H. Poeder, D.H. and Schmidt, K. (eds.), *Alps, Apennines, Helienides*, 455-477, Schweizerbart, Stuttgart, **1978**.
- Ercan, T., Akat, U., Günay, E., Savaşçın, Y., Söke-Selçuk-Kuşadası dolaylarının jeolojisi ve volkanik kayaların petrokimyasal özellikleri, *MTA Dergisi*, 105/106 (1986) 15-38.
- Ercan, T., Satır, M., Kreuzer, H., Türkecan, A., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M., ve Can, B., Batı Anadolu Senozoyik volkanitlerine ait yeni kimyasal, izotopik ve

radıyometrik verilerin yorumu: Türkiye Jeoloji. Kurumu Bülteni, 28 (1985)121-136.

Ercan, T., Satır, M., Sevin, D., Türkecan, A., Batı Anadolu'daki Tersiyer ve Kuvaterner Yaşlı Volkanik Kayaçlarda Yeni Yapılan Radyometrik Yaş Ölçümlerinin Yorumu, MTA Dergisi 119 (1996) 103-112

Ercan, T., Türkecan, A., Günay E., Bodrum yarımadasının jeolojisi, MTA Derg., 97/98 (1981) 21-32.

Ershov, Rare earth elements in the Kiselovsk basin coals, Geochimia, 3 (1961) 274

Espitalié J.J., Laporte L., Madec M., Marquis F., Leplat P., Paulet J., Boutefeu A. Méthode rapide de caractérisation des roche mères, de leur potential pétrolier et de leur degré d'évolution, Revue Institut Français du Pétrole 32 (1977) 23–45.

Finkelman R.B, Trace Elements In Coal Environmental and Health Significance, U.S. Geological Survey, 1998.

Finkelman R.B., Belkin, H.E., Zheng, B., Health impacts of domestic coal use in China, Proceedings of the National Academy of Sciences, 96 (1999) 3427-3431.

Finkelman R.B., Dai, S., French, D., The importance of minerals in coal as the hosts of chemical elements: a review, International Journal of Coal Geology, 212 (2019) 103251.

Finkelman R.B., Orem, W.H., Coal Formation and Geochemistry, US Geological Survey, 2003.

Finkelman R.B., Palmer, A., Krasnow M.R., Aruscavage P.J., Sellers G.A., Dulong F.T., Combustion and leaching behavior of elements in the argonne premium coal samples, Energy and Fuels, 4 (1990) 755-766.

Finkelman R.B., Palmer, C.A., Wang, P., Quantification of the modes of occurrence of 42 elements in coal, International Journal of Coal Geology, 185 (2018) 138-160.

Finkelman, R. B., Gross, P.M.K., The types of data needed for assessing the environmental and human health impacts of coal, International Journal of Coal Geology, 40 (1999) 91-101.

- Finkelman, R.B., Modes of occurrence of potentially hazardous elements in coal: Level of confidence, *Fuel Proc. Technol*, 39 (1994) 21-34.
- Finkelman, R.B., Modes of occurrence of trace elements in coal: USGS Open-File Report No. OFR-81-99, 301 p., 1981.
- Finkelman, R.B; Modes of Occurrence of Environmentally-Sensitive Trace Elements in Coal, *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal* (pp.24-50), 1995.
- Fossen, H., *Structural Geology*, Cambridge University Press, 463p., 2010.
- Given, P.H., Miller, R.N., Cahill, R.A., Dreher, G.B., Kuhn, J.K., The association of major, minor and trace elements with lignites. III. Trace elements in four lignites and general discussion of all data from this study, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51(7) (1987) 1843-1853.
- Gluskoter H.J., Ruch R.R., *Trace Elements In Coal Occurrence and Distribution*, Illinois State Geological Survey, 1977.
- Goldschmidt, V.M., *Geochemistry*, Clarendon Press, Oxford, 1954.
- Gündoğdu, M. N., Yılmaz, O., *Kil Mineralojisi yöntemleri: I. Ulusal Kil Sempozyumu bildirileri, Çukurova Üniversitesi Yayınları* (1984) 319-330.
- Gündoğdu, M.N., *Neojen yaşlı Bigadiç Sedimanter Baseninin Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara*, 1982.
- Gürdal, G., Abundances and modes of occurrence of trace elements in the Çan coals (Miocene), Çanakkale-Turkey, *International Journal of Coal Geology* 87 (2011) 157-173.
- Gürdal, G., Bozcu, M., *Petrographic characteristics and depositional environment of Miocene Çan coals, Çanakkale-Turkey*, *International Journal of Coal Geology* 85 (2011) 143-160.
- Gürer Ö. F., Sarica-Filoreau N., Özbüran M., Sanğu E., Dogan B., *Progressive development of the Büyük Menderes Graben based on new data, western Turkey*, *Geological Magazine*, 146 (2009) no.5.
- Gürer, Ö. F., *Batı Anadolu'nun K-G Uzanımlı Genç Havzalarının Kökenine Yeni Bir Bakış*, *MTA Dergisi*, 1066943, 2022.

Gürer, Ö.F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Yılmaz, Y., Neogene basin development around Söke-Kuşadası (Western Anatolia) and its bearing on tectonic development of the Aegean region, *Geodinamica Acta*, 14 (2001) 57-69.

Gürer, Ö.F., Sarıca- Fılureau, N., Özburan, M., Sangu, E., Doğan, B., Progressive Development of the Büyük Menderes Graben Based on New Data, Western Turkey, *Geological Magazine*, 146 (5) (2009) pp.652-673.

Hakyemez, H.Y., Kale-Kurbalık (GB Denizli) bölgesindeki Senozoyik yaşlı çökel kayaların jeolojisi ve stratigrafisi, *MTA Dergisi*, Sayı 109 (1989) 9-21.

Hakyemez, H.Y., Kale-Kurbalık (Güneybatı Denizli) Bölgesindeki Senozoyik Yaşlı Çökel Kayaların Jeolojisi ve Stratigrafisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1987.

Hakyemez, H.Y., Örçen, S., Muğla-Denizli arasındaki (GB Anadolu) Senozoyik yaşlı çökel kayaların sedimantolojik ve biyostratigrafik incelemesi, MTA Rapor No: 7311, 1982.

Harvey, R.D., Ruch, R.R., Mineral matter in illinois and other U.S. coals , mineral matter and ash in coal, *American Chemical Society*, 10-40, 1986.

Hetzl, R., Romer, R.L., Candan, O., Passchier, C.W., Geology of the Bozdağ Area Central Menderes Massif SW Turkey Pan- African Basement and Alpine Deformation, *Geologische Rundschau*, 87 (1998) 394-406.

Honar, J. S., A model for the origin of large carbonateand evaporite-hosted celestine (SrSO<sub>4</sub>) deposits, *Sedimentary Research* 74 (2004) 168-175.

Hoş-Çebi, F., Ekizköy (Muğla-Milas) Erken-Orta miyosen kömürlerinin organik jeokimyası ve paleoiklim şartları, *Jeoloji Muhendisligi Dergisi*, 40 (2016) 209-226.

<http://www.uky.edu/KGS/coal/> (Erişim Tarihi: 17 Ocak 2023)

<https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabiiikaynaklar-komur> (Erişim Tarihi: 11 Kasım 2022)

<https://ticaret.gov.tr/blog/sector-haberleri/kuresel-komur-talebi-2022de-tum-zamanlarin-en-yuksek-seviyesine-ulasti> (Erişim Tarihi: 22 Ocak 2023)

<https://www.mta.gov.tr> › maden-haritalari › aydin (Erişim Tarihi: 10 Aralık 2023)



<https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/komur-arama-arastirmalari> (Erişim Tarihi: **2 Aralık 2023**)

<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/komur.pdf> (Erişim Tarihi: Erişim Tarihi:**14 Ocak 2023**)

<https://www.uky.edu/KGS/coal/coal-analyses-sulfur-forms.php> (Erişim Tarihi: **3 Aralık 2023**)

<https://www.uky.edu/KGS/coal/coal-major-minor-trace-elements.php> (Erişim Tarihi: **16 Aralık 2022**)

Hunt, J.M., Generation of gas and oil from coal and other terrestrial organic matter, *Organic Geochemistry*, 17 (**1991**) 673-680.

Hunt, J.M., *Petroleum Geochemistry and Geology*, Second Edition, W. H. Freeman and Company, New York, **1996**.

I.C.C.P., *Internationales Lexikon Für Kohlenpetrologie*, Centre National de la Recherche Scientifique 15, Quai-Anatole-France, Paris, **1971**.

I.C.C.P., *Internationales Lexikon Für Kohlenpetrologie*, Centre National de la Recherche Scientifique 15, Quai-Anatole-France, Paris, **1963**.

I.C.C.P., *The New Inertinite Classification (ICCP System 1994)*, *The Science and Technology of Fuel and Energy*, 80 (**2001**) 459-471.

I.C.C.P., *Vitrinite Classification*, International Committee for Coal and Organic Petrology, Aachen, 24 p, **1995**.

International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), *International Handbook of Coal Petrography*, 3rd suppl. to 2nd ed. Paris, France: Centre National de la Recherche Scientifique, **1993**.

International Committee for Coal Petrology (ICCP), *The new inertinite classification (ICCP System 1994)*, *Fuel*, 80 (**2001**) 459-471.

International Organization for Standardization (ISO) 7404-3, *Methods for the petrographic analysis of coal-Part 3: Methods of determining maceral group composition*. Geneva, Switzerland, **2009**.

International Organization for Standardization (ISO) 7404-5, Methods for the petrographic analysis of coals-Part 5: Method of determining microscopically the reflectance of vitrinite, Geneva, Switzerland, 14p., **2009**.

ISO 157:1996 - Coal -- Determination of forms of sulfur

Ivanov, D., Ashraf, A.R., Mosbrugger, V., Palamarev, E., Palynological evidence for Miocene climate change in the Forecarpathian Basin (central Paratethys, NW Bulgaria). *Palaeogeography Palaeoclimatol Palaeoecol.* 178 (**2002**) 19–37.

İslamoğlu, Y., Harzhauser, M., Gross, M., Jiménez-Moreno, G., Coric, S., Kroh, A., Rögl, F., van der Made, J., From Tethys to Eastern Paratethys: Oligocene depositional environments, paleoecology and paleobiogeography of the Thrace Basin (NW Turkey), *International Journal of Earth Sciences*, 99 (**2010**) 183-200.

İslamoğlu, Y., Molluscan biostratigraphy and paleoenvironmental reconstruction of Oligocene deposits in the Denizli and Kale-Tavas subbasins (SW Turkey), *Geodiversitas*, 30 (**2008**) 261-285.

Jackson, J.A., McKenzie, D.P., Rates of active deformation in the Aegean Sea and the surrounding regions, *Basin Research*, 1 (**1988**) 121-128.

Jarvie, D. M., Tobey, M.H. TOC, Rock-Eval and SR Analyzer Interpretive Guidelines Application Note 99-4. Humble Instruments and Services, Inc. Geochemical Services Division, Texas, 11, **1999**.

Jiménez-Moreno, G., Suc., J.P., Middle Miocene latitudinal climatic gradient in Western Europe: Evidence from pollen records. *Palaeogeography Palaeoclimatol Palaeoecology*, 253 (**2007**) 208–225.

Kalafat, D., Güneş, Y., Kekovalı, K., 2005, Mavi Ağ Projesi ve Muğla Bölgesi'nin Depremselliğinin Eş-Zamanlı Takibi. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli, **2005**., 158-160.

Kalaitzidis, S., Bouzinos, A., Papazisimou, S., Christanis, K., A short-term establishment of forest fen habitat during Pliocene lignite formation in the Ptolemais Basin, NW Macedonia, Greece, *International Journal of Coal Geology*., 57 (**2004**) 243–263.

- Kalkreuth, T., Kotis, T., Papanicolaou, C., Kokkinakis, P., The geology and coal petrology of a Miocene lignite profile at Meliadi Mine, Katerini, Greece. *International Journal of Coal Geology*, 17 (1) (1991) 51–67.
- Kalkreuth, W.D., Marchioni, D.L., Calder, J.H., Lamberson, M.N., Naylor, R.D., Paul, J., The relationship between coal petrography and depositional environments from selected coal basins in Canada, *International Journal of Coal Geology*, 19 (1991) 21-76.
- Karayığit A.I., Littke, R., Querol, X., Jones, T., Oskay, R.G., Christanis, K., The Miocene coal seams in the Soma Basin (W. Turkey): Insights from coal petrography, mineralogy and geochemistry, *International Journal of Coal Geology*, 173 (2017a) 110-128.
- Karayığit, A.I., Kayseri-Özer, M.S., Kale-Kurbalık (Denizli) Paralik Kömür Havzasında Kömür Oluşumunun ve Paleoiklim Koşullarının Disiplinlerarası Çalışmalarla İncelenmesi, Program Kodu: 1001, Proje No: 117Y377, Ankara, 2020, Yayınlanmamış
- Karayığit, A.I., Mastalerz, M., Oskay, R.G., Buzkan, İ., Bituminous coal seams from underground mines in the Zonguldak Basin (NW Turkey): Insights from mineralogy, coal petrography, Rock-Eval pyrolysis, and meso-and microporosity, *International Journal of Coal Geology*, 199 (2018) 91–112.
- Karayığit, A.I., Oskay, R.G., Çelik, Y., Mineralogy, petrography, and Rock-Eval pyrolysis of late Oligocene coal seams in the Malkara coal field from the Thrace Basin (NW Turkey), *International Journal of Coal Geology*, 244 (2021) 103814.
- Karayığit, A.I., Atalay, M., Oskay, R.G., Córdoba, P., Querol, X., Bulut, Y., Variations in elemental and mineralogical compositions of Late Oligocene, Early and Middle Miocene coal seams in the Kale-Tavas Molasse sub-basin, SW Turkey, *International Journal of Coal Geology*, 218 (2020a) 103366.
- Karayığit, A.İ, Bircan, C., Mastalerz, M., Oskay, R.G., Querol, X., Lieberman, N., Türkmen, İ., Coal characteristics, elemental composition and modes of occurrence of some elements in the İsaalan coal (Balıkesir, NW Turkey), *International Journal of Coal Geology*, 172 (2017b) 43-59.

- Karayiğit, A.İ., Bircan, C., Oskay, R.G., Türkmen, İ., Querol, X., The geology, mineralogy, petrography, and geochemistry of the Miocene Dursunbey coal within fluvio-lacustrine deposits, Balıkesir (Western Turkey), *International Journal of Coal Geology*, 228 (2020b.) Article Number: 103548.
- Kastelli, M., Denizli-Sarayköy-Çubukdağ-Karacasu alanının jeolojik incelemesi, MTA Raporu, Derleme No: 2532, 32 S., 1971.
- Kayseri, M.S., Akgün, F., Palynostratigraphic, palaeovegetational and palaeoclimatic investigations on the Miocene deposits in Central Anatolia (Çorum Region and Sivas Basin), *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17 (2008) 361–403.
- Kayseri-Özer, M.S., Akgün, F., Mayda, S., Kaya, T., Palynofloras and vertebrates from Mugla-Oren region (SW Turkey) and palaeoclimate of the Middle Burdigalian-Langhian period in Turkey, *Bulletin of Geosciences*, 89 (2014a) 137–162.
- Kayseri-Özer, M.S., Atalar, M., Kováčová, M., Palaeovegetational evolution of the Çankırı-Çorum Basin during the Mio-Pliocene (Central Anatolia) based on the IPR analysis method, *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 99 (2019) 571–590.
- Kayseri-Özer, M.S., Emre, T., Palaeovegetation and paleoclimate in the SW Turkey – a study based on the early-middle Miocene coal-bearing sediments from the Büyük Menderes Graben, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 297 (2022) 104560.
- Kayseri-Özer, M.S., Karadenizli, L., Akgün, F., Oyal, N., Saraç, G., Şen, Ş., Tunoğlu, C., Tuncer, A., Palaeoclimatic and Palaeoenvironmental Interpretations of the Late Oligocene, Late Miocene-Early Pliocene in the Çankırı-Çorum Basin, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 467 (2017) 16–36.
- Kayseri-Özer, M.S., Sözbilir, H., Akgün, F., Miocene palynoflora of the Kocaçay and Cumaovası Basins: a contribution to the synthesis of Miocene palynology, palaeoclimate, and palaeovegetation in Western Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23 (2014b) 233–259.
- Killops, S., Killops, V., *Introduction to Organic Geochemistry* Second edition, Blackwell Publishing, Oxford, UK, 382 p., 2005.

- Kirhan, S., Inaner, H. Nakoman, E., Karayigit, A.İ., Properties and Reserves of Lignite in the Aydin-Sahinali Field, Turkey, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 2:1 (2007) 85-91.
- Koçyiğit, A., The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey, Geodinamica Acta, 18/3-4 (2005) 167-208.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., Bozkurt, E., Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey, Journal of the Geological Society, London, 156 (1999) 605-616.
- Konak N, Göktaş F. 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları serisi, Denizli M21 paftası. Ankara, Turkey: MTA (in Turkish), (2004).
- Köksoy M., Yakıtlar Jeolojisi Kitabı, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, 159-163, 1985.
- Kömür Özellikleri ve Çevre İlişkileri, Editör Orhan Kural, Bölüm 4: Kömür oluşumu ve Sınıflandırılması, Yazarlar: Ali ihsan Karayigit, Mümin Köksoy, Sayfa:59-71, 1998.
- Kömür ve Enerji Çalıştayını Bildiriler Kitabı, Editör: Veyis Sır, Tmmob Maden Mühendisleri Odası, 2021.
- Kömür Yataklarının Durumu, İşletmeciliği ve Geleceği <https://www.imib.org.tr/links/29maden/KOMUR.pdf>
- Kömür, Kömür Petrografisi ve Kök Üretiminde Kullanımı, Selami Toprak, Eğitim Serisi:54, MTA, Ankara, 2021.
- Lafargue, E., Marquis, F. and Pillot, D., Rock-Eval 6 Applications in Hydrocarbon, Production and in Soil Contamination Studies. Institut Français du Pétrole, France, 1-23. 1998.
- Landais, P., Gerard, L., Coalification stages from confined pyrolysis of an immature humic coal, International Journal of Coal Geology, 30 (1996) 285–301.

- Larkin, B.J., Green, D.R. Coal Log Manual, Borehole Data Standard for the Australian Coal Industry, Vol.3, 162, **2020**.
- Le Pichon, X., Angelier, J., The Aegean Sea”, Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series B, A300 (**1981**) 357-372.
- Le Pichon, X., Angelier, J., The Hellenic arc and trench system: A key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area, Tectonophysics, 60 (**1979**) 1-42.
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, C., Lallemand, S., Noomen, R., Veis, G., Geodetic determination of the kinematics of Central Greece with respect to Europe: implications for Eastern Mediterranean tectonics, Journal of Geophysical Research, 100 (**1995**) 12675-12690.
- Li, W., Tang, Y., Zhao, Q., Wei, Q., Sulfur and nitrogen in the high-sulfur coals of the Late Paleozoic from China. Fuel, 155, (**2015**).
- Li, WW, Tang, YG, Sulfur isotopic composition of superhigh-organic-sulfur coals from the Chenxi coalfield, Southern China, International Journal of Coal Geology, 127 (**2014**) 3–13.
- Liu, G., Zhang, H., Gao, L., Zheng, L., Peng, z., Petrological and Mineralogical Characterizations and Chemical Composition of Coal Ashes from Power Plants in Yanzhou Mining District, China, Fuel Processing Technology, 85 (**2003**)1635-1646.
- Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Yayın No: DPT:2605, ÖİK:616
- McCabe, P.J., Depositional environments of coal and coal-bearing strata. In R.A. Rahmani and R.M. Flores (Eds), Sedimentology of Coal and Coal-bearing Sequences, Blackwell Scientific Publication, USA, 412 p., **1984**.
- McKenzie, D., Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 55 (**1978**) 217-252.
- McKenzie, D.P., Plate Tectonics of The Mediterranean Region, Nature, 226 (**1970**) 239-243.



- Medunić, G., Grigore, M., Dai S., Berti, D., Hochella, M.F., Mastalerz, M., Valentim, B., Guedes, A., Hower, J.C., Characterization of superhigh-organic-sulfur Raša coal, Istria, Croatia, and its environmental implication, *International Journal of Coal Geology*, 217 (2020) 103344.
- Meulenkamp, J.E., Van Der Zwaan, G.J., Van Wamel, W.A., On Late Miocene to recent vertical motions in the Cretan segment of the Hellenic arc, *Tectonophysics*, 234 (1994) 53-72.
- Meulenkamp, J.E., Wortel, W.J.R., Van Wamel, W.A., Spakman, W., Hoogerduyn, E., Strating, On the Hellenic subduction zone and geodynamic evolution of Crete in the late Middle Miocene, *Tectonophysics*, 146 (1988) 203-215.
- Meyers, R.A., *Coal Structure*, Academic Press, Inc. New York, 1982.
- Mukhopadhyay, P., *Organic petrography and organic geochemistry of tertiary coals from Texas in relation to depositional environment and hydrocarbon generation*, Report of Investigations, Bureau of Economic Geology, Texas, 118 pp, 1989.
- Nakoman, E., *Kömür*, Eğitim Serisi, No:8, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, Ankara, 1971.
- Nebert, K., *Bozdoğan ve Karacasu'daki Genç Neojen Körfezleri*, MTA Raporu, Derleme No. 2511, 14 S., 1955.
- Newman, J., Price, L.C., Johnston, J.H., *Hydrocarbon source potential and maturation in eocene New Zealand vitrinite-rich coals: Insights from traditional coal analyses, and Rock-Eval and biomarker studies*, *Journal of Petroleum Geology*, 20 (1997) 37-163.
- Ocakoğlu, F., Açıkalın, S., Özsayın, E., Dirik, R.K., Demirtaş, R., *Karacasu ve Bozdoğan Çapraz Grabenlerinin (Batı Anadolu) Stratigrafik, Sedimentolojik ve Tektonik Evrimi*, Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu, Final Raporu, 15 Temmuz 2004-15 Mart, 2007.
- Ocakoğlu, F., Açıkalın, S., Özsayın, E., Dirik, R.K., *Tectonosedimentary evolution of the Karacasu and Bozdoğan basins in the Central Menderes Massif, W Anatolia*, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 23 (4) (2014) 371-385.

- Oskay, R.G., Bechtel, A., Karayigit, A. I., Mineralogy, petrography and organic geochemistry of Miocene coal seams in the Kınık coalfield (Soma Basin-Western Turkey): Insights into depositional environment and palaeovegetation. *International Journal of Coal Geology*, 210 (2019) 103205.
- Oskay, R.G., Christanis, K., Inaner, H., Salman, M., Taka, M., Palaeoenvironmental reconstruction of the eastern part of the Karapınar-Ayrancı coal deposit (Central Turkey), *International Journal of Coal Geology*, 163 (2016) 100-111.
- Oskay, R.G., Karayığit, A.İ., Coal quality, mineralogy, petrography, and geochemistry of the high-strontium Bozburun lignite (Malatya, eastern Türkiye), *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, (2023).
- Özer S, Sözbilir H, Özkar İ, Toker V, Sarı B., Stratigraphy of Upper Cretaceous-Palaeogene sequences in the southern and eastern Menderes Massif (western Turkey), *International Journal of Earth Sciences* 89 (2001) 852-866.
- Özsayın, E., Dirik, K., Ocakoğlu, F., Cartigny Açıklan, S., Selçuk, A.S., Tectonic Geomorphology of Bozdoğan and Karacasu Grabens Western Anatolia, *Geologica Acta*, 21 (2023) 1-14.
- Özyurt Z., Termik Santral Atıklarındaki İz Elementlerin Çevresel Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 2006.
- Pamir, H.N., “1:500000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası”, MTA Yayını, 83s., 1974.
- Papanicolaou, C., Dehmer, J., Fowler, M., Petrological and organic geochemical characteristics of coal samples from Florina, lava, Moschopotamos and Kalavryta coal fields, Greece, *International Journal of Coal Geology*, 44 (2000) 267–292.
- Patrick, L., Monthieux, M., Meunier, J.-D., Importance of the oxidation/ maturation pair in the evolution of humic coals. *Org. Geochem.* 7 (1984) 249–260.
- Pepper, A., Corvi, P.J., Simple kinetic models of petroleum formation. Part I: Oil and gas generation from kerogen, *Marine and Petroleum Geology*, 12 (1995) 291-319.

- Permana, A. K., Ward, C. R., Li, Z., Gurba, L. W., Distribution and origin of minerals in high-rank coals of the South Walker Creek area, Bowen Basin, Australia, *International Journal of Coal Geology*, 116–117 (2013) 185-207.
- Peters, K. E., Cassa, M. R. Applied source rock geochemistry, in L.B. Magoon and W.G. Dow, eds., *The petroleum system from source to trap: AAPG Memoir 60* (1994) 93-120.
- Peters, K. E., Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V.70, No: 3 (1986) 318-329.
- Peters, K. E., Moldowan, J. M., *The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*, Englewood Cliffs, N.J.: PrenticeHall, 1993.
- Petersen, H.I., “The petroleum generation potential and effective oil window of humic coals related to coal composition and age”, *International Journal of Coal Geology*, 67 (2006) 221-248.
- Petersen, H.I., A re-consideration of the "oil window" for humic coal and kerogen type III source rock”, *Journal of Petroleum Geology*, 25 (2002) 407-432.
- Petersen, H.I., Holme, A.C., Thomsen, E., Whitaker, M.F., Brekke, T., Bojesen-Koefoed, J.A., Hansen, K.H., Larsen, B.T. “Hydrocarbon potential of middle Jurassic coaly and lacustrine and upper Jurassic- lowermost Cretaceous marine source rocks in the Søgne basin, North Sea”, *Journal of Petroleum Geology*, 34 (2011) 277-304.
- Petersen, H.I., Lindström, S., Nytoft, H.P., Rosenberg, P., Composition, peat-forming vegetation and kerogen paraffinicity of Cenozoic coals: Relationship to variations in the petroleum generation potential (Hydrogen Index), *International Journal of Coal Geology*, 78 (2009) 119-134.
- Petersen, H.I., Øverland, J.A., Solbakk, T., Bojesen-Koefoed, J.A., Bjerager, M., Unusual resinite-rich coals found in northeastern Greenland and along the Norwegian coast: Petrographic and geochemical composition, *International Journal of Coal Geology*, 109- 110 (2013) 58–76.

- Petersen, H.I., Rosenberg, P., Nytoft, H.P., Oxygen groups in coals and alginite-rich kerogen revisited, *International Journal of Coal Geology*, 74 (2008) 93–113.
- Petersen, H.I., Rosenberg, P., Reflectance retardation (suppression) and source rock properties related to hydrogen-enriched vitrinite in Middle Jurassic coals, Danish North Sea. *J. Pet. Geol.*, 21 (1998) 247–263.
- Pickel, W., Kus, J., Flores, D., Kalaitzidis, S., Christanis, K., Cardott, B.J., Misz-Kennan, M., Rodrigues, S., Hentschel, A., Hamor-Vido, M., Crosdale, P., Wagner, N. Classification of liptinite- ICCP System 1994, *International Journal of Coal Geology*, 169 (2017) 40-61.
- Rollinson H.R., *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*, Longman Scientific & Technical, 1993.
- Romero-Sarmiento M.-F., Pillot D., Letort G., Lamoureux-Var V., Beaumont V., Huc A.-Y., Garcia B., New Rock-Eval method for characterization of unconventional shale resource systems. *Oil & Gas Science and Technology – Revue IFP Energies nouvelles* 71, 37, 2016.
- Salinen, R., *Geochemical Atlas of Europe. Part 1, Background information, methodology and maps, Finland*, Geological Survey of Finland, 2006.
- Sancetta, C., Effect of Pleistocene glaciation upon oceanographic characteristics of the North Pacific Ocean and Bering Sea Deep-Sea Research I, 30 (1983) 851-869.
- Saneetta, C., Diatoms in sediments as indicators of the shelf-slope break. In: Stanley. D. J. and Moore, G. T. (eds) *The Shelf Breuk: Criticul Inrerjace of Continenrul Margins*, Society of SedimentaryGeologists (SEPM) Special Publication, 33, 373-380, 1983.
- Saraç, G., *Türkiye Omurgalı Fosil Yatakları*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10609, Ankara, 2003
- Sarıca, N., The Plio-Pleistocene age of Büyük Menderes and Gediz grabens and their tectonic significance on N-S extensional tectonics in West Anatolia: Mammalian evidence from the continental deposits, *Geological Journal*, 35(1), (2000) 1–24.

- Satır, M., Friedrichsen, H., The origin and evolution of the Menderes Massif, W-Turkey; A Rubî- 1 dium/Strontium and Oxygen isotope study, *Geologische Rundschau*, 75/3 (1986) 703-714.
- Schopf, J.M., A definition of coal, *Economic Geology*, 51 (1956) 21-527.
- Sevastjanova, I., Hall, R., Alderton, D., A detrital heavy mineral viewpoint on sediment provenance and tropical weathering in SE Asia. *Sedimentary Geology*, 280 (2012)179-194.
- Seyitoglu, G., Scott, B.C., Late Cenozoic Crustal and Basin Formation in West Turkey, *Geological Magazine*, 128 (1991) 155-166.
- Seyitoglu, G., Scott, B.C., The cause of N-S extensional tectonics in western Turkey: Tectonic escape vs back-arc spreading vs orogenic collapse, *Journal of Geodynamics*, 22 (1996)145-153.
- Seyitoğlu, G., Işık, V., Batı Anadolu'da Geç Senozoyik Genişleme Tektoniği: Menderes Çekirdek Kompleksinin Yüzeylemesi ve İlişkili Havza Oluşumu, *MTA Dergisi*,151, (2015) 49-109.
- Shen, M., Dai, S., Graham, I.T., Nechaev, V.P., French, D., Zhao, F., Shao, L., Liu,,S., Zuo, J., Zhao, J., Chen, K., Xie, X., Mineralogical and geochemical characteristics of altered volcanic ashes (tonsteins and K-bentonites) from the latest Permian coal-bearing strata of western Guizhou Province, southwestern China, *International Journal of Coal Geology*, 237 (2021) 103707.
- Siavalas, G., Linou, M., Chatziapostolou, A., Kalaitzidis, S., Papaefthymiou, H., Christanis, K., Palaeoenvironment of Seam I in the Marathousa Lignite Mine, Megalopolis Basin (Southern Greece), *International Journal of Coal Geology*, 78 (2009) 233-248.
- Smith, J.W., Batts B.D., The distribution and isotopic composition of sulfur in coal, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38(1) (1974) 121–133.
- Sözbilir, H., Oligo-Miocene extension in the Lycian orogen: evidence from the Lycian molasse basin, SW Turkey, *Geodinamica Acta*, 18 (2005) pp.255-282.
- Speight, J.G., The Chemistry and Technology of Coal, *Aiche Journal*, Vol:31, (1983).

- Stach, E., Mackowsky, M.-Th., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmüller, R., Stach's textbook of coal petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 535p, **1982**.
- Stopes, M., On the Four Visible Ingredients in Banded Bituminous Coal Studies in the Composition of Coal No. 1, Proceedings of the Royal Society of London, **1919**.
- Stopes, M., On the petrology of banned bituminous Coals, Fuel,14 (**1935**).
- Suárez-Ruiz, I. and Crelling, J.C., Applied Coal Petrology. The Role of Petrology in Coal Utilization. Elsevier, Amsterdam, 388 p. (**2008**).
- Sümer, Ö., İnci, U., Sözbilir, H., Tectonic evolution of the Soke Basin: Extension-dominated transtensional basin formation in western part of the BuyukMenderes Graben, Western Anatolia, Turkey, Journal Of Geodynamics, 65 (**2013**)148-175.
- Swaine D.J., Goodarzi F., Enviromental Aspects Of Trace Elements In Coal,**1995**.
- Swaine D.J., Trace Elements In Coal, Butterworth and Co. (Publishers) Ltd, London, **1990**.
- Swaine, D., Why trace elements are important?, Fuel Process. Technol.,65–66 (**2000**)21–33.
- Swaine, D.J. Trace Elements in Coal in Trace Substances in Environmental Health - XI, Hemphill, D.D., Editor, University of Missowi, Colombia, pages 107-116, (**1977**)
- Swaine, D.J., Geological aspects of trace elements in coal, In Augustithis, pp. 521-532, **1983**.
- Swaine, D.J., The fate of trace elements during combustion. Proc. Aust. Coal Sei. Conf, Gippsland Inst. Advanced Educ, Churchill, Vic, pp. 1-10, **1984**.
- Sy'korová, I., Pickel, W., Christanis, K., Wolf, M., Taylor, G.H., Flores, F., Classification of huminite—ICCP System 1994, International Journal of Coal Geology 62 (**2005**) 85-106.
- Sykes, R., Depositional and rank controls on the petroleum potential of coaly source rocks. In: Hill, K.C., Bernecker, T. (Eds.), Eastern Australasian Basins



Symposium, a Refocused Energy Perspective for the Future. Expl. Soc. Australia Sp. Publ, Petrol, pp. 591–601, **2001**.

Sykes, R., Peat biomass and early diagenetic controls on the paraffinic oil potential of humic coals, Canterbury Basin, New Zealand. *Pet. Geosci.* 10 (**2004**) 283–303.

Sykes, R., Snowdon, L.R., Guidelines for assessing the petroleum potential of coaly source rocks using Rock-Eval pyrolysis, *Org. Geochem.* 33 (**2002**) 1441–1455.

Sýkorová, I., Pickel, W., Christanis, K., Wolf, M., Taylor, G.H., Flores, F., Classification of huminite-ICCP System 1994, *International Journal of Coal Geology*, 62 (**2005**) 85-106.

Şengör, A. M. C., Cross-fault and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey, *Continental extensional tectonics*, M. P Coward, J. F Dewey, P. L Hancock, (Eds.), Geological Society Special Publication, 28, 575-589, **1987**.

Şengör, A. M. C., Satır, M., Akkök, R., Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey: Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey, *Tectonics*, 3 (**1984**) 693-707.

Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study”, In: *Strike-slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation* (Editors: K. Biddle, N. Christie Blick), Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Special Publication, 37, 227-264, **1985**.

Şengüler, İ., Aydın, H., Akçay Vadisi (Aydın, Muğla, Denizli) ve Civarının Jeolojisi, *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 24 (**2017**) 1-6.

Şengüler, İ., Aydın-Muğla Neojen Havzaları Jeoloji Bilgi Notu, Poster, **2019**.

Şimşek, Ş., Yılmaz, S., Nazilli-Kuyucak-Yenice (Karacasu) alanının jeolojisi ve jeotermal olanakları, *MTA Raporu*, Derleme No: 6422, 49 s., **1977**.

T.C. Aydın Büyükşehir Belediyesi, Aydın-2040 İl Nazım İmar Planı Açıklama Raporu, Eylül, **2018**.

- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Kömür (Linyit) Sektör Raporu 2019, Ankara, **2020**.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Kömür Sektör Raporu (Linyit) 2020 Ankara, **2021**.
- T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Aydın İrap İl Afet Risk Azaltma Planı, AFAD, Efeler/Aydın, **2021**.
- Takahashi, K.U., Nakajima, T., Suzuki, Y., Morita, S., Sawaki, T., Hanamura, Y., Hydrocarbon generation potential and thermal maturity of coal and coaly mudstones from the Eocene Urahoro Group in the Kushiro Coalfield, eastern Hokkaido, Japan, International Journal of Coal Geology, 217 (**2020**) Article number 103322.
- Tamzok, N., Dünya’da ve Türkiye’de Kömür, Türkiye’nin Enerji Görünümü, Tmmob Makina Mühendisleri Odası Raporu, Yayın No: MMO/731, Ankara, **2022**.
- Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., Robert, P., Organic Petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin. 704 pp. (**1998**).
- Teichmüller, M., Taylor, G.H., Littke, R., The nature of organic matter macerals and associated minerals, Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., Robert, P. (Eds.), Organic petrology. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 704 p., **1998**
- Teichmüller, M., The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology, International Journal of Coal Geology., 12 (**1989**) 1–87.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., Petroleum Formation and Occurrence. 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin, 699 p, **1984**.
- TMMOB Maden Mühendisleri Odası, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Enerji Çalışma Grubu, Enerji ve Kömür Raporu ,Temmuz **2015**.
- Toprak S., Kömürün Göremediğimiz Zehirleri, Mavi Gezegen, **1999/1**.
- Torres-Ordenez RJ, Calkins WH, Klein M.T., Geochemistry of Sulfur in Fossil Fuels, Symposium Series 429. USA: American Chemical Society, pp.287–295, **1990**.

- Trudinger, P.A., Swaine, D.J., Skyring, G.W., Biogeochemical cycling of elements-general considerations. In: Biogeochemical Cycling of Mineral-forming Elements. Elsevier, Amsterdam, pp. 1-27, **1979**.
- TS 329, Maden kömüründeki kükürt bileşiklerinin tayini, **2000**.
- Tuncalı, E., Aydın ili Bozdoğan ilçesi Körteke-Örencik-Yenice köyleri ve dolayının kömür olanaklarının araştırma raporu, MTA Raporu, Derleme No: 6345, **1976**.
- Türkiye Cumhuriyeti Aydın Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Aydın İli 2019 Yılı Çevre Durum Raporu, Aydın, **2020**.
- Türkiye Linyit Envanteri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Envanter Serisi, Ankara, **2010**.
- Uguna, J.O., Carr, A.D., Marshall, C., Large, D.J., Meredith, W., Jochmann, M., Snape, C.E., Vane, C.H., Jensen, M.A., Olausen, S., Improving spatial predictability of petroleum resources within the Central Tertiary Basin, Spitsbergen: A geochemical and petrographic study of coals from the eastern and western coalfields”, International Journal of Coal Geology, 179 (**2017**) 278- 294.
- Usta, G. S., Morphometric analysis of active tectonic imprints at the junction of Büyük Menderes and Bozdoğan grabens, Western Anatolia, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, **2015**.
- Ünalın G., Kömür Jeolojisi, MTA Eğitim Serisi 41, Ankara, 105-114, **2010**.
- Valkovic, V., Trace Elements In Coal, Volume I, CCRC Press, Florida, 57-177, **1983**.
- Van Krevelen, D.W. Coal: Typology-Chemistry-Physics-Constitution, Elsevier, Amsterdam, **1961**.
- Vassilev, S.V., Vassileva, C.G., Geochemistry Of Coal, Coal Ashes and Combustion Wastes From Coal-Fired Power Stations, Bulgaria, **1996**.
- Wang, X., Feng Q., Distribution and Modes of Occurrence of Uranium in Coals of Eastern Yunnan, International Journal of Coal Science & Technology China, **2021**.
- Ward C., Coal Geology And Coal Technology, Blackwell Scientific Publications, Oxford, **1983**.

- Ward, C. R., Analysis, origin and significance of mineral matter in coal: An updated review, *International Journal of Coal Geology*, 165 (2016) 1-27.
- Ward, C. R., Corcoran, J. F., Saxby, J. D., Read, H. W., Occurrence of phosphorus minerals in Australian coal seams., *International Journal of Coal Geology*, 30 (1996) 185-210.
- Ward, C.R., Analysis and significance of mineral matter in coal seams, *International Journal of Coal Geology* 50 (2002) 135-168.
- Ward., C. R., *Coal Geology and Coal Technology* Blackwell Scientific Publications, Melbourne, Oxford, 1984.
- Whateley, M.K.G., Tuncali, E., Origin and distribution of sulphur in the Neogene Beypazari lignite basin, central Anatolia, Turkey. In: Whateley, M.K.G., Spears, D.A. (Eds.), *European Coal Geology*, Geological Society Special Publication, 1995b.
- Whateley, M.K.G., Tuncali, E., Quality variations in high-sulphur lignite of the Neogene Beypazari Basin, central Anatolia, Turkey, *International Journal of Coal Geology* 27 (1995a) 131–151.
- White, C.M, Douglas, L.J, Anderson, R.R, Schmidt, C. E., Gray, R.J., Organosulfur constituents in rasa coal, *ACS Symposium Series*, Chapter 16, 261–286, 1990.
- Wilkins, R.W.T., George, S.C., Coal as a source rock for oil: a review, *International Journal of Coal Geology* ,50 (2002) 317–361.
- Williamson, K., *Geothermal prospection of the Western Anatolia Report: Union Oil Company of California, Santa Rosa-California-USA*, 1982.
- Yerin, Ü.O., *Orhaneli Kömürlerinin Mineralojisi, Petrografisi ve Element İçeriği Bursa-Türkiye, Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A., When did the western Anatolian grabens begin to develop? Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. Bozkurt, E., Winchester, J.A. and Piper, J.D.A. (eds.), *Geological Society, London, Special Publication*, 173 (2000) pp.353-384.

- Yılmaz, Y., Karacık, Z., Geology of the Northern Side of the Gulf of Edremit and Its Tectonic Significance for the Development of the Aegean Grabens, *Geodinamica Acta*, 14 (2001) 31-43.
- Yılmaz, Y., Denizli Bölgesi'nin Morfotektonik Gelişimi Üzerinde Düşünceler, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 169 (2022) 169.
- Zdravkov, A., Bechtel, A., Sachsenhofer, R.F., Kortenski, J., Gratzer, R., Vegetation differences and diagenetic changes between two Bulgarian lignite deposits — Insights from coal petrology and biomarker composition. *Org. Geochem.* 42 (2011) 237–254.
- Zhao Q., Niu Y., Xie Z., Zhang, K., Zhou, J., Arbuzov, S.I., Geochemical characteristics of elements in coal seams 41 and 42 of Heshan coalfield, South China, *Energy Exploration & Exploitation* 38-1 (2020) 137–157.
- Zhao, Q., Tang, Y., Li, W., Wang, S., Deng, X., Yu, X., Compositional characteristics of sulfur-containing compounds in high sulfur coals, *Energy Exploration & Exploitation* 32-2 (2014) 301–316.
- Zivoti'c, D., Bechtel, A., Sachsenhofer, R., Gratzer, R., Radi'c, D., Obradovi'c, M., Stojanovi'c, K., Petrological and organic geochemical properties of lignite from the Kolubara and Kostolac basins, Serbia: Implication on Grindability index, *International Journal of Coal Geology*, 131 (2014) 344–362.