

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**GÖYNÜK (KEMER-ANTALYA) KÖMÜRLERİNİN BİYOMARKER  
JEOKİMYASI**

**Nargis SADIQ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**AĞUSTOS 2024**

**ANTALYA**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



GÖYNÜK (KEMER-ANTALYA) KÖMÜRLERİNİN BİYOMARKER  
JEOKİMYASI

Nargis SADIQ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

AĞUSTOS 2024

ANTALYA

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

**GÖYNÜK (KEMER-ANTALYA) KÖMÜRLERİNİN BİYOMARKER  
JEOKİMYASI**

**Nargis SADIQ  
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
DOKTORA TEZİ**

**Bu doktora tez çalışması Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Projeleri  
Birimi Tarafından FDK-2022-5719 numaralı proje ile desteklenmiştir.**

**AĞUSTOS 2024**

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

**GÖYNÜK (KEMER-ANTALYA) KÖMÜRLERİNİN BİYOMARKER**  
**JEOKİMYASI**

**Nargis SADIQ**  
**JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**DOKTORA TEZİ**

Bu tez 26/08/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY (Danışman)  
Prof. Dr. Erdal KOŞUN  
Prof. Dr. Nazan YALÇIN ERİK  
Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÜNAL KARTAL  
Dr. Öğr. Üyesi Selin KARADİREK

## ÖZET

### GÖYNÜK (KEMER-ANTALYA) KÖMÜRLERİNİN BİYOMARKER JEOKİMYASI

Nargis SADIQ

Doktora Tezi, Jeoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

II. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Cevdet Bertan GÜLLÜDAĞ

Ağustos 2024; 99 sayfa

Bu çalışmada, Antalya'nın güneybatısında yer alan Göynük (Kemer- Antalya) kömürlü birimlerin Biyomarker Jeokimyası ortaya konulmuştur. Bu kömürler Karbonifer-Permien yaşlı Pamucakyayla Formasyonu içinde yer almaktadır.

Pamucakyayla Formasyonu, genellikle gri ve kahverengi tonlarda olup, çoğunlukla kuvars taneli kumtaşlarından oluşurken, bazı bölgelerde grimsi veya sarımsı renklerde ince katmanlı kilitaşı seviyeleri ve kömür bantları içermektedir. Karbonifer-Alt Permien yaşında olduğu ve uyumlu olarak Devoniyen üzerinde yer aldığı tespit edilmiştir. Formasyonun içindeki kireçtaşı bantları, simetrik ripil izleri ve küçük açılı çapraz tabakalanmalar, sığ denizel ortamı işaret eder. İnceleme alanında 380 m kalınlıkta gözlenen bu formasyon, yanal olarak değişim göstermez.

Çalışmada formasyondan alınan kömür ve kömürlü örnekler üzerinde organik jeokimyasal ve petrografik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, kömürlerin organik madde içeriğini, tipini, olgunlaşma seviyesini ve potansiyel kaynak kaya özelliklerini belirlemeyi hedeflemiştir. Örneklerin Toplam Organik Karbon (TOC) içeriği %0,13 ile %30,45 arasında değişmekte olup, ortalama TOC değeri %15,29 olarak bulunmuştur. Bu değerler, formasyonun zengin bir kaynak kaya potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Hidrojen İndeksi (HI) değerleri 34 ile 572 mg HC/g TOC arasında değişirken, ortalama değer 303 mg HC/g TOC olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, örneklerin büyük ölçüde hümitik organik madde içerdiğini ve Tip III ile Tip II kerojen özellikleri gösterdiğini işaret etmektedir. Oksijen İndeksi (OI) değerleri 1-223 mg CO<sub>2</sub>/g TOC arasında değişmektedir.

Tmax değerleri 444 ile 476 °C arasında değişmekte olup, bu değerler örneklerin olgun ve ileri-olgun evrelerde olduğunu ve petrol ile gaz üretme potansiyeline sahip kerojenleri barındırdığını göstermektedir. Vitrinit yansıma değerleri 0,713-0,977 olup kömürlerin taşkömürü sınıfına karşılık gelmektedir. Bitüm/TOC oranı 0,33-0,57 arasında değişmekte olup, olgun ve ileri-olgun organik madde düzeyini yansıtmaktadır. Ayrıca, CPI ve OEP oranları sırasıyla 1,26-1,59 ve 0,75-0,92 aralığında hesaplanmış olup, bu değerler de olgun ve ileri-olgun seviyelere işaret etmektedir. Pr/nC17-Ph/nC18 diyagramı

benzer sonuçlar sunarak, örneklerin olgunlaşma sürecine dair tutarlı veriler sağlamaktadır.

GC-MS analizleri, örneklerdeki n-alkanların kısa, orta ve uzun zincirli bileşenlerini ortaya koymuş ve bu bileşenler ile biyolojik kaynaklar ile kömürleşme süreçleri hakkında bilgiler edinilmiştir. Örneklerin birinde uzun zincirli n-alkanların baskınlığı, kara bitkilerinden türeyen organik maddelerin varlığına ve yüksek olgunlaşma seviyesine işaret etmektedir. Diğer iki örnekte kısa ve orta zincirli n-alkanların hakim olması, biyolojik kaynakların çeşitliliğini ve farklı olgunlaşma aşamalarını yansıtmaktadır.

Pr/Ph oranları 0,88, 6,26 ve 5,44 olarak belirlenmiştir. Yüksek Pr/Ph oranları ( $>3$ ), oksijenli koşullarda çökme ve korunma süreçlerini işaret ederken, düşük Pr/Ph oranı (0,88), anoksik koşullarda çökmeyi ve korunmayı ifade etmektedir. Bu bulgular, kömürlerin farklı çökme ortamlarının etkisi altında oluştuğunu göstermektedir.

Doymuş hidrokarbon fraksiyonlarının m/z 191 kütle kromatogramları üzerinde yapılan analizlerde, trisiklik ve pentasiklik terpanların belirgin olduğu pikler gözlemlenmiştir. Pentasiklik terpanlar, özellikle C<sub>30</sub>, C<sub>27</sub> ve C<sub>29</sub>-hopan bileşikler baskın olarak saptanmış; trisiklik terpanlar ise C<sub>19</sub>, C<sub>20</sub> ve C<sub>21</sub> bileşiklerinde yoğunlaşmıştır. Pentasiklik terpanların yüksek yoğunlukta bulunması, karasal organik madde kökenine ve oksik çökme ortamlarına işaret etmektedir. Trisiklik terpanlar ise örneklerin termal olgunluk seviyeleri hakkında bilgi sunmaktadır.

Üç örnekte benzer steran/hopan oranları gözlemlenmiş olup, bu oranlar genellikle anoksik veya suboksik koşulları işaret eder. Bu tür koşullar, bakteriyel aktivitenin yoğun olduğu kısıtlı deniz havzaları, bataklıklar veya kıyı lagünleri gibi ortamlarda yaygındır. Diasteran/Steran oranının 0.5'in üzerinde olması, yüksek kil içeriği ve oksik ortam koşullarını göstermektedir.

Örneklerdeki C<sub>29</sub>/C<sub>30</sub> hopan oranları, denizel ve karasal organik madde katkısının bir karışımını yansıtmakta olup, NS-2 örneğinde düşük C<sub>35</sub>/C<sub>34</sub> oranı, denizel organik madde birikimini temsil ederken, NS-11 ve NS-17 örneklerinde yüksek oranlar karasal organik madde varlığına işaret etmektedir.

Örneklerdeki Moretan/Hopan oranlarının düşük (0.0432-0.194) olması, kömürlerin oluşumu sırasında karasal bitki materyallerinin baskın bir bileşen olduğunu ve denizel veya gölsel katkının nispeten düşük olduğunu göstermektedir. Örnekler arasındaki bu oranların birbirine yakın olması, örneklerin benzer çevresel ve jeokimyasal koşullarda oluştuğunu düşündürmektedir.

C<sub>35</sub>/C<sub>34</sub> oranı NS-2 örneğinde düşük seviyede iken, NS-11 ve NS-17 örneklerinde daha yüksek seviyelerdedir. Düşük C<sub>35</sub>/C<sub>34</sub> oranı genellikle denizel organik madde birikimini veya anoksik ortam koşullarını temsil ederken, yüksek oranlar karasal organik madde varlığına veya oksijenli ortam koşullarına işaret etmektedir.

NS-2'deki düşük C<sub>25</sub>/C<sub>26</sub> trisiklik terpan oranı, karasal bitki materyallerinin baskın olduğunu ve denizel organik madde katkısının düşük olduğunu göstermektedir.

NS-11'deki orta seviye oran, karasal ve denizel organik maddelerin karışımını işaret ederken, NS-17'deki yüksek oran denizel organik maddelerin baskın olduğu bir ortamı yansıtmaktadır.

Örneklerde gözlemlenen gamaseran indeks değeri örnek NS-2'de, derin ve anoksik bir denizel ortamı, NS-11'de karasal ve denizel kaynakların karıştığı sığ deniz ortamını, NS-17'de ise daha oksijenli, karasal organik madde katkısının yüksek olduğu kıyı veya delta ortamını temsil etmektedir.

Pamucakyayla Formasyonu'ndan alınan örneklerde yapılan XRD analizleri, kuvars, kil, kalsit, pirit ve feldispatın en yaygın mineraller olduğunu göstermiştir. Kil minerali analizlerinde illit ve kaolinit baskın mineraller olarak belirlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Antalya, Kömür, Organik Jeokimya, Pamucakyayla

**JÜRİ:** Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

Prof. Dr. Erdal KOŞUN

Prof. Dr. Nazan YALÇIN ERİK

Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÜNAL KARTAL

Dr. Öğr. Üyesi Selin KARADİREK

## **ABSTRACT**

### **THE BIOMARKER GEOCHEMISTRY OF GÖYNÜK (KEMER-ANTALYA) COALS**

**Nargis SADIQ**

**Ph.D. Thesis in Geological Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY**

**II. Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cevdet Bertan GÜLLÜDAĞ**

**August 2024; 99 pages**

This study focuses on the biomarker geochemistry of the Göynük (Kemer-Antalya) coaly units located in the southwestern part of Antalya. These coals are found within the Carboniferous-Permian-aged Pamucakyayla Formation. The Pamucakyayla Formation is predominantly composed of quartz-rich sandstones in shades of gray and brown, with occasional thin layers of shale in grayish or yellowish tones and coal bands in certain regions. The formation has been identified as dating from the Carboniferous to the Lower Permian and resting conformably on the Devonian. The limestone bands within the formation, along with symmetrical ripple marks and small-angle cross-bedding, indicate a shallow marine environment. The formation, observed to be 380 meters thick in the study area, shows no lateral variation.

Organic geochemical and petrographic analyses were conducted on coal and coal-bearing samples collected from the formation. These analyses aimed to determine the organic matter content, type, maturation level, and potential source rock characteristics of the coals. The Total Organic Carbon (TOC) content of the samples ranges from 0.13% to 30.45%, with an average TOC value of 15.29%. These values indicate a rich source rock potential for the formation.

Hydrogen Index (HI) values range from 34 to 572 mg HC/g TOC, with an average of 303 mg HC/g TOC, suggesting that the samples predominantly contain humic organic matter and exhibit Type III and Type II kerogen characteristics. Oxygen Index (OI) values vary between 1 and 223 mg CO<sub>2</sub>/g TOC. Tmax values range from 444 to 476 °C, indicating that the samples are in mature to late-mature stages and contain kerogens with the potential to generate oil and gas. Vitrinite reflectance values range from 0.713 to 0.977, corresponding to bituminous coal ranks. The bitumen/TOC ratio ranges from 0.33 to 0.57, reflecting a mature to late-mature level of organic matter. Additionally, CPI and OEP ratios were calculated to be between 1.26-1.59 and 0.75-0.92, respectively, which also indicates mature to late-mature stages. The Pr/nC17-Ph/nC18 diagram provides consistent results, offering further insights into the maturation process of the samples.

GC-MS analyses revealed the presence of short, medium, and long-chain n-alkanes in the samples, offering insights into their biological sources and coalification processes. In one sample, the dominance of long-chain n-alkanes indicates the presence of organic matter derived from terrestrial plants and a high maturation level. In contrast,

the dominance of short and medium-chain n-alkanes in the other two samples reflects the diversity of biological sources and varying maturation stages.

Pr/Ph ratios were determined to be 0.88, 6.26, and 5.44, respectively. High Pr/Ph ratios ( $>3$ ) indicate deposition and preservation under oxic conditions, whereas a low Pr/Ph ratio (0.88) suggests deposition and preservation under anoxic conditions. These findings indicate that the coals were formed under varying depositional environments.

In the analysis of the  $m/z$  191 mass chromatograms of saturated hydrocarbon fractions, prominent peaks corresponding to tricyclic and pentacyclic terpanes were observed. Pentacyclic terpanes, particularly  $C_{30}$ ,  $C_{27}$ , and  $C_{29}$ -hopane compounds, were found to be dominant, while tricyclic terpanes were concentrated in the  $C_{19}$ ,  $C_{20}$ , and  $C_{21}$  compounds. The high abundance of pentacyclic terpanes indicates a terrestrial organic matter origin and suggests deposition under oxic conditions. Tricyclic terpanes, on the other hand, provide insights into the thermal maturity levels of the samples.

Similar sterane/hopane ratios were observed across all three samples, typically indicating anoxic or suboxic conditions. Such environments are commonly found in restricted marine basins, swamps, or coastal lagoons, where bacterial activity is high. A diasterane/sterane ratio above 0.5 reflects a high clay content and deposition in oxic environments.

The  $C_{29}/C_{30}$  hopane ratios in the samples reflect a mixture of marine and terrestrial organic matter, with the low  $C_{35}/C_{34}$  ratio in sample NS-2 representing marine organic matter accumulation. In contrast, the higher ratios in NS-11 and NS-17 indicate the presence of terrestrial organic matter.

The gamaseran index values suggest that the organic matter has undergone moderate maturation and was deposited in an anoxic environment. Consequently, NS-2 represents a deep marine setting, NS-11 reflects a shallow marine or coastal environment with mixed terrestrial and marine inputs, and NS-17 represents a coastal-deltaic environment with higher terrestrial organic matter input.

The low moretane/hopane ratios (0.0432-0.194) across the samples indicate that terrestrial plant material was the predominant component during coal formation, with minimal marine or lacustrine contributions. The similarity in these ratios between the samples suggests that they were formed under similar environmental and geochemical conditions.

The  $C_{35}/C_{34}$  ratio was low in NS-2 but higher in NS-11 and NS-17. A low  $C_{35}/C_{34}$  ratio typically indicates marine organic matter accumulation or anoxic depositional conditions, while higher ratios point to terrestrial organic matter or oxic environments.

The low  $C_{25}/C_{26}$  tricyclic terpane ratio in NS-2 suggests a predominance of terrestrial plant material with little marine organic input, whereas the moderate ratio in NS-11 reflects a mixture of terrestrial and marine sources. In NS-17, the high ratio indicates a marine environment with dominant marine organic matter.

The observed gammacerane index values in the samples represent different depositional environments, in sample NS-2, it indicates a deep, anoxic marine environment; in NS-11, it reflects a shallow marine environment where terrestrial and marine sources mix; and in NS-17, it represents a more oxygenated coastal or deltaic environment with a higher contribution of terrestrial organic matter.

XRD analyses of samples from the Pamucakyayla Formation revealed that quartz, clay, calcite, pyrite, and feldspar are the most common minerals. In the clay mineral analyses, illite and kaolinite were identified as the dominant minerals.

**KEYWORDS:** Antalya, Coal, Organic Geochemistry, Pamucakyayla

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Mehmer ALTUNSOY

Prof. Dr. Erdal KOŞUN

Prof. Dr. Nazan YALÇIN ERİK

Asst. Prof. Dr. Neslihan ÜNAL KARTAL

Asst. Prof. Dr. Selin KARADİREK

## ÖNSÖZ

Dünya genelinde kömür, elektrik enerjisi üretimi başta olmak üzere enerji ihtiyacını karşılamak için önemli bir kaynaktır. Sanayi devriminden bu yana kömür, endüstriyel ve ekonomik gelişmelerde kilit bir rol oynamıştır. Ancak, çevresel etkileri nedeniyle, dünya çapında sürdürülebilir enerji politikaları ve enerji dönüşümü çabaları, kömür kullanımının azaltılması yönünde artmaktadır.

Türkiye, enerji ihtiyacının önemli bir kısmını karşılamak amacıyla kömürü kullanmaktadır. Kömür, elektrik üretiminde ve endüstriyel süreçlerde temel bir enerji kaynağı olarak kullanılır. Türkiye'deki linyit yatakları, özellikle enerji sektörü için yerel bir kaynak sağlamaktadır. Ancak, çevresel etkiler ve sürdürülebilirlik endişeleri nedeniyle, Türkiye de diğer enerji kaynaklarına yönelme ve temiz enerji çözümlerini benimseme konusunda adımlar atmaktadır.

Bu çalışmada, Göynük'te yer alan Pamucakyayla Formasyonu'ndaki kömürlerin jeokimyasal özellikleri ortaya konulmuştur. Litrarür, arazi ve laboratuvar çalışmalar sayesinde kömürler ekonomik açıdan irdelenmiştir.

Bu doktora tez çalışmam sürecinde beni her anlamda destekleyen ve güvenen değerli danışmanım Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY'a, İkinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Cevdet Bertan Güllüdağ, farklı aşamalarda beni destekleyen kıymetli hocam Prof. Dr. Erdal KOŞUN'a, biyomarker analiz sonuçlarında yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Selin KARADİREK ve Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÜNAL KARTAL'a içtenlikle teşekkür etmek isterim. Arazi çalışmaları sırasında örnek alınma sürecini sağlayan Balyak Madencilik'i'ne içten teşekkürlerimi sunarım.

Tüm yaşamım boyunca hiçbir zaman desteğini esirgemeyen kıymetli aileme de minnettarlığımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|                                                                     |      |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET.....                                                           | i    |
| ABSTRACT .....                                                      | iv   |
| ÖNSÖZ.....                                                          | vii  |
| AKADEMİK BEYAN .....                                                | x    |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                                        | xi   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                | xiv  |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                             | xvii |
| 1. GİRİŞ.....                                                       | 1    |
| 1.1. Çalışmanın Amacı .....                                         | 1    |
| 1.2. Çalışma Alanının Konumu ve Morfolojisi.....                    | 2    |
| 2. KURUMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMASI .....                       | 5    |
| 2.1. Kömür Kavramı ve Oluşumu .....                                 | 5    |
| 2.2. TOC ve Piroliz Verileri.....                                   | 6    |
| 2.2.1. Organik madde miktarı.....                                   | 6    |
| 2.2.2. Organik Madde Tipi .....                                     | 7    |
| 2.2.3. Organik Olgunlaşma.....                                      | 9    |
| 2.2.4. Kaynak Kaya Potansiyeli.....                                 | 10   |
| 2.2.5. Organik Fasiyes.....                                         | 11   |
| 2.3. Biyomarker Jeokimyası.....                                     | 14   |
| 2.3.1. n-alkan ve Izoprenoidler .....                               | 15   |
| 2.3.2. Terpanlar ve Steranlar .....                                 | 17   |
| 2.4. Kömürlerde Mineral Madde.....                                  | 27   |
| 2.5. Önceki Çalışmalar.....                                         | 28   |
| 3. MATERYAL VE METOT .....                                          | 32   |
| 3.1. Arazi Çalışmaları .....                                        | 32   |
| 3.2. Laboratuvar Çalışmaları.....                                   | 35   |
| 3.2.1. Jeokimyasal Yöntemler .....                                  | 36   |
| 3.2.1.1. TOC ve Rock-Eval Piroliz analizleri .....                  | 36   |
| 3.2.1.2. Hızlandırılmış Çözücü Özütleme (ASE) Analizi.....          | 36   |
| 3.2.1.3. Gaz kromatografi (GC) analizi .....                        | 37   |
| 3.2.1.4. Gaz kromatografi-kütle spektrometresi (GC-MS) analizi..... | 37   |
| 3.2.2. Petrografik yöntemler.....                                   | 38   |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.2.1. Vitrinit yansıma (%Ro) ölçümü .....                | 38 |
| 3.2.3. XRD Tüm Kaya ve Kil Analizi.....                     | 39 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....                                | 40 |
| 4.1. Bölgesel Jeoloji .....                                 | 40 |
| 4.2. Stratigrafi.....                                       | 41 |
| 4.2.1. Sarıyardere Formasyonu (Ordovisiyen) .....           | 42 |
| 4.2.2. Sapandere Formasyonu (Siluriyen) .....               | 43 |
| 4.2.3. Hocaınsuyu Formasyonu (Devoniyen) .....              | 43 |
| 4.2.4. Pamucakyayla Formasyonu (Karbonifer-Permiyen).....   | 44 |
| 4.2.5. Dinek Formasyonu (Orta Üst Permiyen) .....           | 58 |
| 4.2.6. Kesmeköprü Formasyonu (Alt Trias).....               | 59 |
| 4.2.7. Tersiyer Birimleri.....                              | 59 |
| 4.3. Organik Jeokimyasal-Petrografik Özellikleri.....       | 60 |
| 4.3.1. Rock-Eval Pirofiz Analizi.....                       | 60 |
| 4.3.1.1. Organik madde miktarı .....                        | 60 |
| 4.3.1.2. Organik madde türü .....                           | 61 |
| 4.3.1.3. Organik maddenin olgunlaşma düzeyi.....            | 64 |
| 4.3.1.4. Kaynak kaya potansiyeli .....                      | 65 |
| 4.3.1.5. Organik fasiyes incelemeleri .....                 | 66 |
| 4.3.2. Vitrinit yansıması ölçümleri ve değeriendirmei ..... | 66 |
| 4.3.3. Biyomarker Jeokimyası .....                          | 73 |
| 4.3.3.1. n-alkanlar ve isoprenoidler .....                  | 75 |
| 4.3.3.2. Terpanlar ve steranlar.....                        | 79 |
| 5. SONUÇLAR.....                                            | 89 |
| 6. KAYNAKLAR .....                                          | 92 |
| ÖZGEÇMİŞ                                                    |    |

## AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Göynük (Kemer-Antalya) Kömürlerinin Biyomarker Jeokimyası” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim

26/08/2024

Nargis SADIQ

İmzası

X

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|                         |                   |
|-------------------------|-------------------|
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | :Alüminyum Oksit  |
| C                       | :Karbon           |
| CaO                     | :Kalsiyum Oksit   |
| $\text{CH}_4$           | :Metan            |
| $\text{CO}_2$           | :Karbondioksit    |
| $\text{CrC}_3$          | :Krom Oksit       |
| $\text{CS}_2$           | :Karbonsülfür     |
| $\text{FeO}_3$          | :Demir Oksit      |
| gr                      | :Gram             |
| H                       | :Hidrojen         |
| $\text{H}_2\text{O}$    | :Su               |
| HCl                     | :Hidroklorik Asit |
| HF                      | :Hidroflorik Asit |
| $\text{K}_2\text{O}$    | :Potasyum Oksit   |
| kg                      | :Kilogram         |
| KOH                     | :Potasyum Oksit   |
| m                       | :Metre            |
| mg                      | :Miligram         |
| MgO                     | :Magnezyum Oksit  |
| mj                      | :Milijul          |
| ml                      | :Mililitre        |
| mm                      | :Milimetre        |
| MnO                     | :Mangan Oksit     |

|                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| Na <sub>2</sub> O             | :Sodyum Oksit       |
| nm                            | :Nanometre          |
| NO                            | :Azotoksit          |
| OH                            | :Hidroksil grup     |
| P <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | :Difosfor Pentoksit |
| ppb                           | :Milyarda bir       |
| pm                            | :Milyonda bir       |
| Ro                            | :Vitrinit yansıması |
| SiO <sub>2</sub>              | :Silisyum Dioksit   |
| TiO <sub>2</sub>              | :Titanyum Dioksit   |
| ZnBr <sub>2</sub>             | :Çinkobromür        |
| ZnCl <sub>2</sub>             | :Çinkoklorür        |
| %                             | :Yüzde              |
| <                             | :Küçüktür           |
| >                             | :Büyüktür           |
| °C                            | :Santigrat derece   |

### **Kısaltmalar**

|       |                                            |
|-------|--------------------------------------------|
| ABD   | :Amerika Birleşik Devletleri               |
| AID   | :Alt Isıl Değer                            |
| ASA   | :Hızlandırılmış Çözücü Özütleme Analizi    |
| ASTM  | :Amerika Malzeme Test Birliği              |
| CPI   | :Karbon Tercih İndeksi                     |
| GC–MC | :Gaz Kromatografisi – Kütle Spektrometresi |
| HI    | :Hidrojen İndeksi                          |
| HK    | :Hidrokarbon                               |

|       |                                                            |
|-------|------------------------------------------------------------|
| MTA   | :Maden Tetkik Arama Enstitüsü                              |
| OEP   | :Tek-Çift Karbon Baskınlığı (Odd-Even Predominance)        |
| OI    | :Oksijen İndeksi                                           |
| PI    | :Potansiyel İndeksi                                        |
| PY    | :Üretim İndeksi                                            |
| S2    | :Kerojenin parçalanması sonucu ortaya çıkan hidrokarbonlar |
| S3    | :400 °C alındaki CO <sub>2</sub>                           |
| SCI   | :Spor Renk İndeksi                                         |
| SI    | :Kaya İçerisindeki Serbest Hidrokarbonlar                  |
| Tmax  | :S2 Pikinin maksimum sıcaklığı                             |
| TOC   | :Toplam Organik Karbon                                     |
| TOC/C | :Toplam Karbon Miktarı (Organik + İnorganik Karbon)        |
| TOT/S | :Toplam Sülfür Miktarı                                     |
| TPOA  | :Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı                       |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 1.1.</b> İnceleme alanının basitleştirilmiş jeoloji ve yer bulduru haritası (Poisson vd. 1983, Altunsoy vd. 2011’den değiştirilerek alınmıştır).....                 | 3  |
| <b>Şekil 1.2.</b> İnceleme alanının uydu fotoğrafı üzerindeki görünümü (Google Earth) .....                                                                                   | 4  |
| <b>Şekil 2.1.</b> Organik fasiyeslerin şematik gösterimi (Altunsoy ve Özçelik 1993) .....                                                                                     | 14 |
| <b>Şekil 3.1.</b> Göynük havzasından alınan örneklerin google earth üzerindeki konumları.....                                                                                 | 32 |
| <b>Şekil 3.2.</b> Pamucakyayla Formasyonu’nun ince, orta ve kalın katmanlı kömür (Belen Dere) .....                                                                           | 33 |
| <b>Şekil 3.3.</b> Galeri içinde görülen Pamucakyayla Formasyonu’na ait kalın katmanlı kömür tabakaları. ....                                                                  | 34 |
| <b>Şekil 3.4.</b> Pamucakyayla Formasyonu’ndan alınan örneklerin laboratuvarında analizlere hazırlık aşaması.....                                                             | 35 |
| <b>Şekil 4.1.</b> İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Şenel vd. 1981’den değiştirilerek alınmıştır) .....                                                    | 40 |
| <b>Şekil 4.2.</b> İnceleme alanındaki Paleozoyik ve Mesozoyik birimlerinin genelleştirilmiş kolon kesiti (Şenel vd 1981, Altunsoy vd 2012’den değiştirilerek alınmıştır)..... | 42 |
| <b>Şekil 4.3.</b> Pamucakyayla Formasyonu kömür damarlarının galeri içi görünimleri .....                                                                                     | 44 |
| <b>Şekil 4.4.</b> Pamucakyayla Formasyonu kömür damarlarının galeri içi görünimleri .....                                                                                     | 44 |
| <b>Şekil 4.5.</b> Pamucakyayla Formasyonu litolojik birimlerinin yüzey görüntüleri (Belendere) .....                                                                          | 45 |
| <b>Şekil 4.6.</b> Pamucakyayla Formasyonu litolojik birimlerinin yüzey görüntüleri (Belendere) .....                                                                          | 46 |
| <b>Şekil 4.7.</b> Pamucakyayla doğusunda yüzeylenen formasyonlar ve ilişkileri (Şenel vd. 1981).....                                                                          | 46 |
| <b>Şekil 4.8.</b> Pamucakyayla Formasyonun tip kesiti (MTA, 1982’den değiştirilerek alınmıştır).....                                                                          | 47 |

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.9.</b> Pamucakyayla Formasyonu orta-ire taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-3 örneği) .....                       | 49 |
| <b>Şekil 4.10.</b> Pamucakyayla Formasyonu ince-orta taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-4 örneği) .....                     | 49 |
| <b>Şekil 4.11.</b> Pamucakyayla Formasyonu orta taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-5 örneği) .....                          | 50 |
| <b>Şekil 4.12.</b> Pamucakyayla Formasyonu orta-iri taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-6 örneği) .....                      | 50 |
| <b>Şekil 4.13.</b> Pamucakyayla Formasyonu kumtaşlarında kömür dolgularının ince kesit görünümü (NS-7 örneği) .....                   | 51 |
| <b>Şekil 4.14.</b> Pamucakyayla Formasyonu kumtaşlarında kömür dolgularının ince kesit görünümü (NS-8 örneği) .....                   | 51 |
| <b>Şekil 4.15.</b> Pamucakyayla Formasyonu orta-iri taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-9 örneği) .....                      | 52 |
| <b>Şekil 4.16.</b> Pamucakyayla Formasyonu ince-orta taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-10 örneği) .....                    | 53 |
| <b>Şekil 4.17.</b> Pamucakyayla Formasyonu ince-orta taneli kumtaşlarındaki kumür dolguların ince kesit görünümü (NS-11 örneği) ..... | 53 |
| <b>Şekil 4.18.</b> Pamucakyayla Formasyonu ince-orta taneli kumtaşlarındaki kumür dolguların ince kesit görünümü (NS-12 örneği) ..... | 54 |
| <b>Şekil 4.19.</b> Pamucakyayla Formasyonu ince-orta taneli kumtaşlarındaki ince kesit görünümü (NS-13 örneği) .....                  | 54 |
| <b>Şekil 4.20.</b> Pamucakyayla Formasyonu orta-iri taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-14 örneği) .....                     | 55 |
| <b>Şekil 4.21.</b> Pamucakyayla Formasyonu ince taneli kumtaşlarındaki kumür dolguların ince kesit görünümü (NS-15 örneği) .....      | 55 |
| <b>Şekil 4.22.</b> Pamucakyayla Formasyonun üst bölümlerinde yer alan kireçtaşlarının ince kesit görünümü (NS-16 örneği) .....        | 56 |

|                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.23.</b> Pamucakyayla Formasyonun üst bölümlerinde yer alan siltaşları ve kömür dolgularının ince kesit görünümü (NS-17 örneği) ..... | 57 |
| <b>Şekil 4.24.</b> İncelenen örneklerin S2-TOC diyagramı ve organik madde türleri.....                                                          | 62 |
| <b>Şekil 4.25.</b> İnceleme alanının HI-OI kerojen tipi sınıflama diyagramı.....                                                                | 63 |
| <b>Şekil 4.26.</b> İncelenen örneklerin HI-Tmax diyagramındaki dağılımı .....                                                                   | 64 |
| <b>Şekil 4.27.</b> İnceleme alanına ait HI-TOC diyagramı .....                                                                                  | 65 |
| <b>Şekil 4.28.</b> Örnek NS-1, NS-2 ve NS-3'a ait parlatma kesit görüntüleri (ölçek 40µm) .....                                                 | 69 |
| <b>Şekil 4.29.</b> Örnek NS-4, NS-5 ve NS-7'ye ait parlatma kesit görüntüleri (ölçek 40µm) .....                                                | 70 |
| <b>Şekil 4.30.</b> Örnek NS-8, NS-9 ve NS-10'a ait parlatma kesit görüntüleri (ölçek 40µm) .....                                                | 71 |
| <b>Şekil 4.31.</b> Örnek NS-11, NS-12 ve NS-13'e ait parlatma kesit görüntüleri (ölçek 40µm) .....                                              | 72 |
| <b>Şekil 4.32.</b> Örnek NS-14, NS-16 ve NS-17'ye ait parlatma kesit görüntüleri (ölçek 40µm).....                                              | 73 |
| <b>Şekil 4.33.</b> Gaz kromatografi analiz sonucu (Örnek NS-2) .....                                                                            | 76 |
| <b>Şekil 4.34.</b> Gaz kromatografi analiz sonucu (Örnek NS-11) .....                                                                           | 77 |
| <b>Şekil 4.35.</b> Gaz kromatografi analiz sonucu (Örnek NS-17) .....                                                                           | 77 |
| <b>Şekil 4.36.</b> Pr/nC17-Ph/nC18 diyagramında incelenen örneklerin çökelme ortamı özellikleri ve organik madde tipleri .....                  | 79 |
| <b>Şekil 4.37.</b> Örnek NS-1, NS-11 ve NS-17'ye ait m/z 191 kromatogramları.....                                                               | 81 |
| <b>Şekil 4.38.</b> Örnek NS-2, NS-11 ve NS-17'ye ait m/z 217 kromatogramları. ....                                                              | 82 |
| <b>Şekil 4.39.</b> Örnek NS-1, NS-11 ve NS-17'ye ait m/z 218 kromatogramları.....                                                               | 84 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 2.1.</b> Kömürleşme sürecinde ortalama H, C ve O oranları (%).....                                                                                                                | 5  |
| <b>Çizelge 2.2.</b> Toplam organik madde miktarına göre kaynak kaya sınıflaması.....                                                                                                         | 7  |
| <b>Çizelge 2.3.</b> Tmax değerinin temsil ettiği olgunlaşma değerleri (Peters ve Moldowan 1993).....                                                                                         | 9  |
| <b>Çizelge 2.4.</b> Tmax ve PI değerlerine göre olgunlaşma dereceleri .....                                                                                                                  | 9  |
| <b>Çizelge 2.5.</b> A) Olgunlaşmamış kaynak kayanın türetme potansiyeli (miktarı), B) kerojen tipi ve ürün kalitesi, C) ısısal olgunlaşma (Peters ve Cassa 1994).....                        | 11 |
| <b>Çizelge 2.6.</b> Organik fasiyeslerin genel mikroskobik ve kimyasal özellikleri (Jones, 1987).....                                                                                        | 12 |
| <b>Çizelge 2.7.</b> Organik fasiyeslerin genelleştirilmiş karakteristikleri (Baskin 1997).....                                                                                               | 13 |
| <b>Çizelge 2.8.</b> Biyolojik girdi ve depolanma ortamı olarak asiklik (halkalı olmayan) biyomarkerler (Bileşenlerin yüksek konsantrasyonlarda olduğu varsayılmıştır) (Peters vd. 2005)..... | 15 |
| <b>Çizelge 2.9.</b> Biyolojik girdi veya depolanma ortamının belirteci olan halkalı biyomarkerlar (Bileşenlerin yüksek konsantrasyonlarda olduğu varsayılmıştır) (Peters vd. 2005).....      | 18 |
| <b>Çizelge 2.10.</b> Biyolojik girdi veya depolama ortamını belirten halkalı biyomarkerlar (Bileşenlerin yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu varsayılmıştır) (Peters vd. 2005).....          | 19 |
| <b>Çizelge 2.11.</b> m/z 217 iyonunun fragmentogramı, steran pik tanımlar.....                                                                                                               | 20 |
| <b>Çizelge 2.12.</b> m/z 191 iyon fragmentogramı triterpan pik tanımlamalar .....                                                                                                            | 21 |
| <b>Çizelge 2.13.</b> Kömürlerde, bolluk sıralamasına göre bulunan belirli mineraller (Orem ve Finkelman 2003, Ünalın 2010'dan uyarlanmıştır) .....                                           | 27 |
| <b>Çizelge 4.1.</b> Göynük kömürlü birimlerinin tavan, taban ve ara kesme örneklerine ait tüm kaya ve kil bileşenleri .....                                                                  | 58 |

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 4.2.</b> Pamucakyayla Formasyon’undan alınan kömür ve kömürlü örneklerinin Toplam Organik Karbon (TOC) ve Rock-Eval piroliz analiz sonuçları ..... | 60 |
| <b>Çizelge 4.3.</b> Vitrit yansıma analiz sonucu elde edilen değerler.....                                                                                    | 67 |
| <b>Çizelge 4.4.</b> Pamucakyayla kömürlerinin olgunlaşma parametreleri ve kömürleşme derecesi.....                                                            | 68 |
| <b>Çizelge 4.5.</b> Pamucakyayla Formasyonundan alınan örneklerinin bitüm özüt ve n-alkan değerleri.....                                                      | 74 |
| <b>Çizelge 4.6.</b> Pamucakyayla kömürlü birimleri için hesaplanan biyomarker parametreleri .....                                                             | 85 |

## 1. GİRİŞ

Enerji, ulusların kalkınma ve refahında önemli bir rol oynar. Sanayileşme ve kalkınma hedeflerine ulaşmak isteyen ülkeler, enerji kaynaklarına erişimde avantajlı olmak için çaba harcamalıdır. Kömür, dünya genelinde elektrik üretiminde en çok tercih edilen yakıt olup, büyük kömür madenleri bölge ekonomileri için önemli gelir kaynakları sağlar.

Dünya çapında 7.800 milyon ton kömür, enerji üretimi, demir-çelik ve çimento gibi sektörlerde kullanılmaktadır (World Coal Association 2023). Dünya genelinde 1,1 trilyon ton kanıtlanmış kömür rezervi bulunmaktadır ve bu rezerv, mevcut üretim oranlarına göre 150 yıl kadar süreyle yeterli olabilir (BP Energy Outlook, 2023). Kömür rezervleri dünya çapında 70 ülkede bulunsada da %70'i sadece dört ülkede toplanmıştır, A.B.D., Rusya, Avustralya ve Çin en fazla rezerve sahip olanlar arasındadır (US EIA 2023). Türkiye'nin kömür rezervleri, Avrupa kıtası göz önüne alındığında yeterli seviyelerdedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2023). Türkiye, dünya genelinde linyit rezervlerinin %4,2'sine sahip olup, linyit üretiminde önemli bir konuma sahiptir (IGU 2023). Türkiye, linyit kömürü üretiminde dünya genelinde 5. sıradadır (UN Comtrade 2023). Toplam kömür üretiminin büyük bir kısmını linyit oluştururken, Türkiye'nin taş kömürü rezervleri sınırlı bir alanda olsa da linyit sahaları geniş bir coğrafyada yaygın olarak bulunmaktadır (Dünya Kömür Birliği 2023).

Göynük (Kemer-Antalya) Pamucakyayla Havzası kömür rezervi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Dolayısıyla bu çalışma genel olarak Pamucakyayla Formasyonu üzerinde odaklanmıştır. Bu doğrultuda Göynük Pamucakyayla Formasyonundan alınan örnekler ilk başta laboratuvarda farklı analizler için hazırlanmıştır. Bölgeyi iyi bir şekilde temsil etme amacıyla kömür damarların tavan, taban ve ara kesmelerinden örnek alınmasına özen gösterilmiştir. Organik jeokimyasal analizler (TOC-Piroliz analizi, Özütleme (ekstraksiyon) analizi, Gaz Kromatografi (GC) ve Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometri (GC-MS), organik petrografik analizler (kerojen tipi tayini, vitrinit yansıması (%Ro) ve XRD tüm kaya analizi Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Grubu Laboratuvarlarında (Ankara) ve Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde (MTA) gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak Pamucakyayla kömürlerinin organik jeokimyasal ve çökelim özellikleri ortaya konulmuştur.

### 1.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışma ile Göynük (Kemer-Antalya) havzasındaki kömür oluşumlarının organik jeokimyasal ve organik petrografik değerlendirilmeleri yapılarak kömürleri oluşum şartları, petrol üretim kapasitesini ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu hedefe ulaşmak için bölgede geçmiş dönemlerde işletmesi yapılan kuyu ve galeriler ile yüzey örnekleri belirli hatlar boyunca alınarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanı olan, Göynük (Kemer-Antalya) Havzası Antalya'nın güney-batısı ve Kemer'in kuzeyinde bulunmaktadır. Bu havza yaklaşık olarak 100 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsar. Daha önceki çalışmalara göre bu sahada kömür oluşumlarının Pamucakyayla,

Belen Dere, Göynük Dere, Sapan Dere, Kesmeboğaz Dere'de olduğu açıklanmış ve bu çalışmada yapılan saha gözlemlerinde de doğrulanmıştır.

Bu araştırma genel olarak Göynük (Kemer-Antalya) Havzası'nda yeralan Pamucakyayla Formasyonu üzerinde yoğunlaşmıştır. Adı geçen formasyon havzanın farklı kısımlarında farklı kalınlıkları içeren kömürlü birimler bulundurulur. Genellikle gri, kahverenkli, orta-kalın katmanlı çoğunlukla kuvars taneli kumtaşlarından oluşan bu formasyon, yer yer grimsi, sarımsı renklerde ince katmanlı kilaşı seviyeleri ile kömür bantları içerir. Bu formasyon diğerlerinden derecelenme, çapraz tabakalanma ve ripple-mark izleri ile ayrılmaktadır. Pamucakyayla Formasyonun altında uyumlu olarak Devoniyen yaşlı Hocaınsuyu Formasyonu blunur ve Permiyen yaşlı Dinek Formasyonu ise Pamucakyayla Formasyonun üzerine yerleşmiştir.

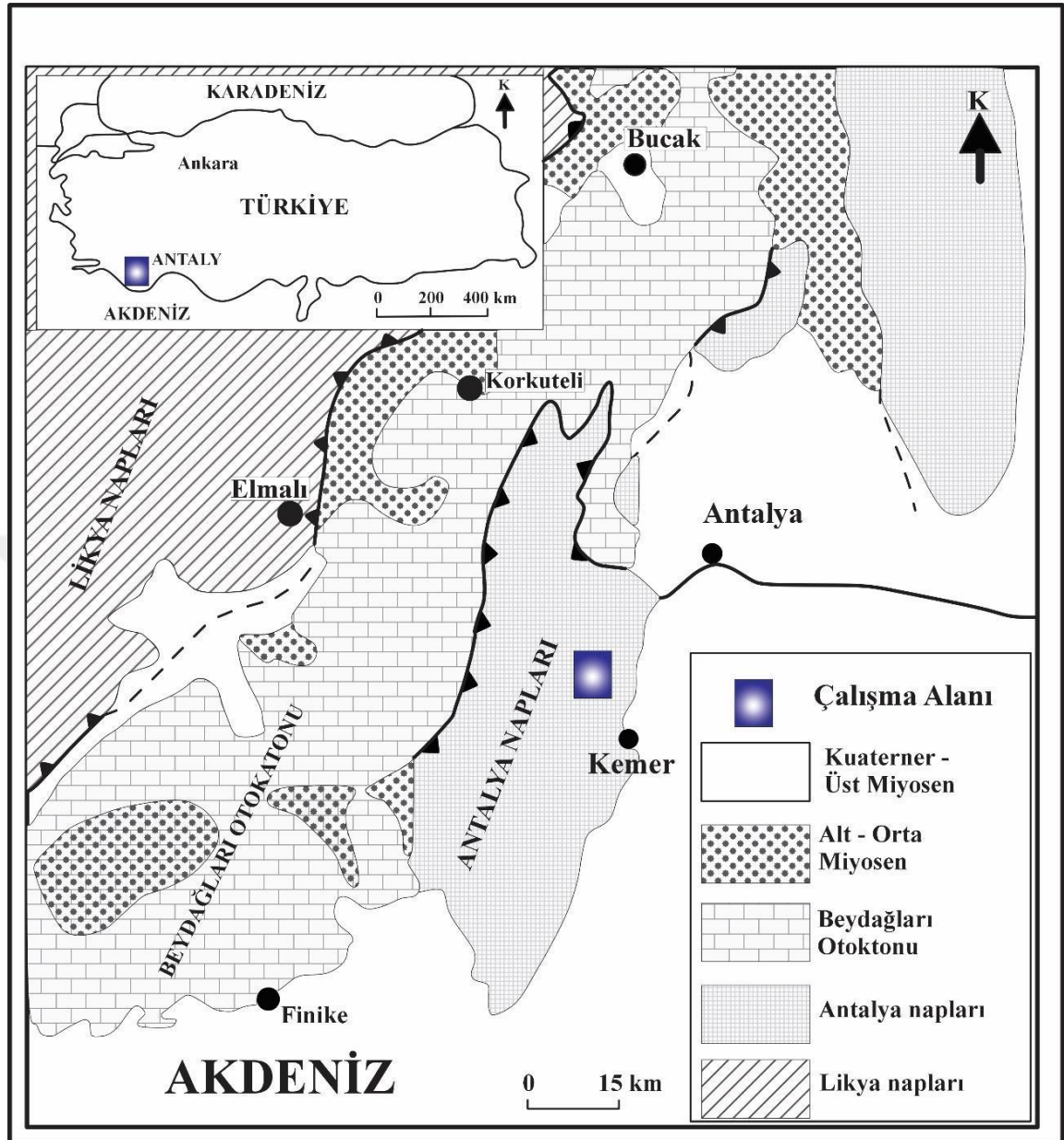
İnceleme alanındaki Jeolojik birimlerden özellikle de kömür ile kömürlü düzeylerden örnekleme yapılarak laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Oldukca engebeli bir topografyaya sahip olan inceleme bölgesinde alınmış yeraltı ve yüzey örnekleri ilk önce litolojik olarak tanımlanmıştır. Araziden alınan örnekler başlıca TOC, Rock-Eval ve Biyomarker analizlerine tabi tutulmuştur. Sonraki aşamada petrografik analizleri gerçekleştirmek üzere sahadan tekrar amaca uygun olarak örnekleme yapılmıştır. Bu analizlerin sonucuna göre kömür ve kömürlü birimlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ortaya koyularak tanımlaması detaylı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tüm bu çalışmaların sonucunda elde edilen veriler bölgede daha önce yapılan çalışmalar ile korele edilerek kömür ve kömürlü birimlerin çökelim ortamları, organik jeokimyasal, petrografik özellikleri, hidrokarbon oluşturma nitelikleri belirlenmiştir.

## 1.2. ÇALIŞMA ALANININ KONUMU VE MORFOLOJİSİ

İncelemesi yapılan alan, Antalya Körfezi'nin batısında, Kemer'in kuzeyinde engebeli bir topografyada bulunmaktadır. Morfolojik yapılar, ekay ve faylarla oluşmuş yüksek tepelikler şeklindedir. Bu bölgedeki yükseltiler, güneyden kuzeye doğru sırasıyla Eğridağ (1157 m), Kavakdağ (1448 m) ve Çürükdağ (1457 m) olarak sıralanır ve kuzey-güney doğrultusunda yükselme ve alçalmalar şeklinde devam eder (Şekil 1.1).

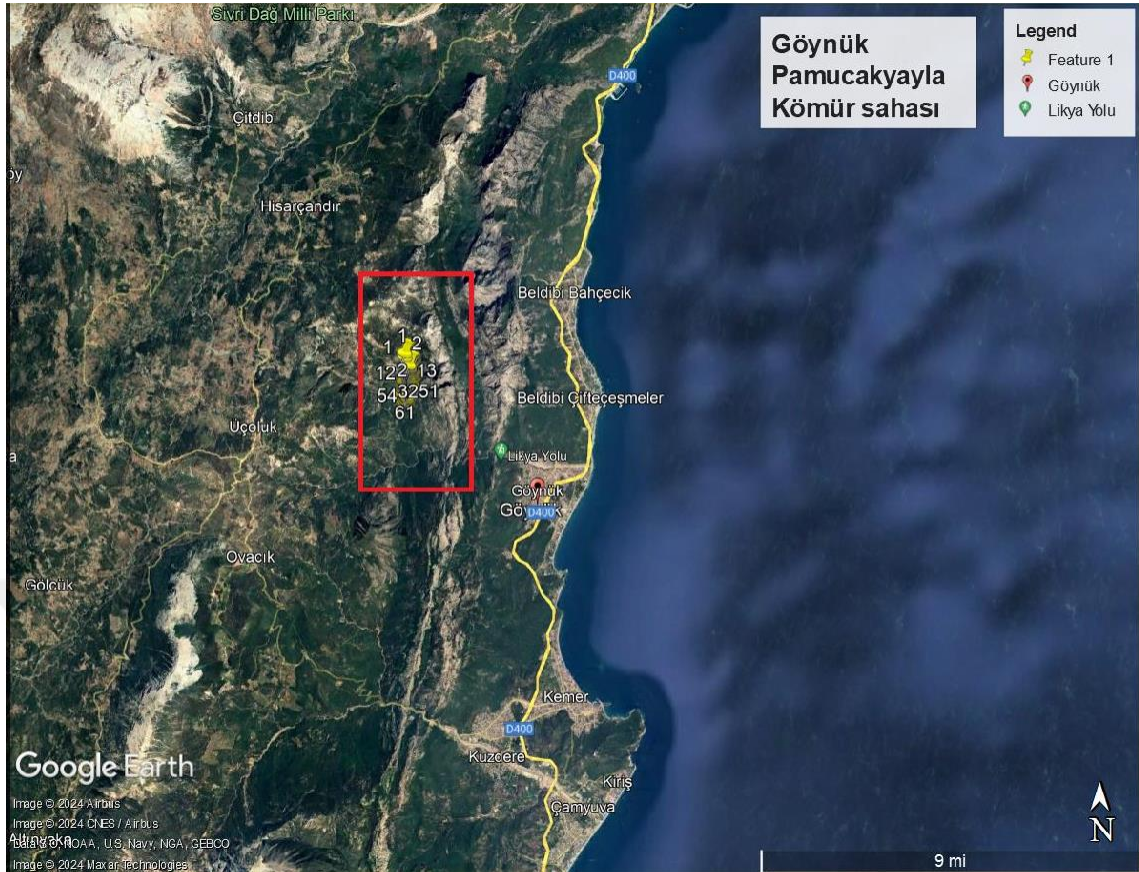
Çalışma alanı dört ana tektonik etmen tarafından kontrol edilmektedir: Anadolu plakasının batıya doğru hareketi ve bunun tetiklediği Ege plakasındaki Burdur fay zone boyunca gözlenen açılma, Anamas otoktonunun Akşehir fayı boyunca kırılarak saat yönünde hareketi, Beydağları otoktonunun Burdur fay zone boyunca kırılarak saat yönünün tersine hareket etmesi ve Helenik yayı boyunca Afrika plakasının Anadolu plakasının altına dalması (Yağmurlu 2005).



**Şekil 1.1.** İnceleme alanının basitleştirilmiş jeoloji ve yer bulduru haritası (Poisson vd. 1983, Altunsoy vd. 2011’den değiştirilerek alınmıştır)

Antalya’nın batı ve güneybatı bölgelerinde fosil yakıt amaçlı birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen, Göynük yöresindeki kömürler üzerine bu kapsamda detaylı bir inceleme bulunmamaktadır.

Bu doğrultuda, Göynük (Kemer – Antalya) yöresindeki kömür oluşumları inceleme konusu olarak seçilmiş ve bu oluşumların organik jeokimyasal ve petrografik özelliklerini biyomarker verilerini de kullanarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, konunun bilimsel ve ekonomik açıdan sahip olduğu özellikleri de ortaya konulmuştur (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. İnceleme alanının uydu fotoğrafı üzerindeki görünümü (Google Earth)

## 2. KURUMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMASI

### 2.1. KÖMÜR KAVRAMI VE OLUŞUMU

Kömür, fosil yakıtlar grubunda yer alan ve enerji üretiminde kullanılan önemli bir kaynaktır. Bu madde, bitkisel kalıntıların milyonlarca yıl boyunca doğal süreçlerle bozulmadan gömülmesi ve kömürleşme süreci sonucunda oluşur. İşte bu sürecin başlıca faktörleri:

**Oksijensiz Ortam:** Kömürleşme, oksijenin bulunmadığı veya sınırlı olduğu ortamlarda gerçekleşir. Bu, bitkisel kalıntıların çürümelerini engeller ve organik maddelerin korunmasına olanak tanır (Smith 2010).

**Basınç:** Zamanla üst üste biriken sedimanter kayaç tabakaları, büyük bir basınç oluşturur. Bu, bitkisel kalıntıların içindeki suyun çıkmasına ve organik maddelerin sıkışarak kömürleşmesine yol açar (Johnson Ve Smith 2015).

**Sıcaklık:** Yer kabuğunun derinliklerinde sıcaklık artar ve bu sıcaklık, kömürün oluşumu için gerekli kimyasal dönüşümleri tetikler. Yüksek sıcaklık, bitkisel maddelerin organik bileşiklerinin dönüşümünü hızlandırır (Brown 2012).

**Zaman:** Kömürleşme süreci, milyonlarca yılı kapsayan uzun bir zaman dilimi gerektirir. Bitkisel kalıntıların gömülmesi ve kömürleşmesi, bu uzun bir jeolojik süreçte gerçekleşir.

Kömürün ana bileşeni karbondur. Kömürleşme ilerledikçe karbon oranı artar, hidrojen ve oksijen miktarı ise azalır (Çizelge 2.1). Kömürleşme süreci genellikle turba, linyit, taşkömürü ve antrasit gibi evreleri kapsar. Bu evreler, kömürün kalitesini ve enerji içeriğini belirler. Örneğin, antrasit kömürü yüksek karbon içeriği ile en kaliteli ve enerjisi yüksek kömür türü olarak kabul edilir (Jones 2013).

Dünya enerji ihtiyaçları göz önüne alındığında, kömür hala önemli bir enerji kaynağıdır. Ancak, fosil yakıtların çevresel etkileri ve sera gazı emisyonları nedeniyle, sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş çabaları artmıştır. Bu nedenle, enerji üretiminde kömürün yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakma çalışmaları sürmektedir (Wilson 2016).

**Çizelge 2.1.** Kömürleşme sürecinde ortalama H, C ve O oranları (%)

| Kömür     | Oksijen | Karbon | Hidrojen |
|-----------|---------|--------|----------|
| Turba     | 33      | 60     | 6        |
| Linyit    | 23      | 70     | 6        |
| Taşkömürü | 2       | 82-92  | 3,7      |

Kömürleşme esnasında, ayrıca bazı gazlar da oluşmaktadır. Bunlar:

- Karbonmonoksit CO
- Karbondioksit CO<sub>2</sub>
- Metan CH<sub>4</sub>
- Azotoksit NO

Kömürleşme süreci sırasında kayaç hareketleri ve diğer faktörler kömürün bileşimini etkileyebilir. Bu etkilerin bazıları aşağıda sıralanmıştır:

**Gazların Çıkışı:** Kömürün gözeneklerinde yer alan gazlar, kömürleşme sürecinin bir aşaması olarak serbest bırakılabilir ve bu gazlar genellikle metan, hidrojen, karbondioksit ve azot içerir. Kayaç hareketleri veya diğer jeolojik süreçler, bu gazların bir kısmının serbest kalmasına veya kömür gözeneklerinde hapsolmasına neden olabilir, bu da kömürün uçucu madde içeriğini etkileyebilir (Smith 2010). Kömürleşme süreci ilerledikçe, kömürün içindeki uçucu maddelerin oranı azalır. Bu uçucu maddeler genellikle su buharı, metan, hidrojen, karbon monoksit ve karbondioksit gibi gazlar ve uçucu organik bileşenleri içerir. Yüksek sıcaklık ve basınç altında, bu uçucu maddeler kömürden uzaklaştırılır ve bu süreç kömürün kalitesini ve enerji yoğunluğunu artırır (Johnson ve Smith 2015).

**Tektonik hareketlerin Etkisi:** Tektonik hareketleri, kömürün jeolojik süreçler sırasında yüksek basınç ve sıcaklığa maruz kalmasına neden olabilir. Bu, kömürün olgunlaşmasına ve uçucu maddelerin kaybına katkıda bulunabilir. Ancak, bu hareketler aynı zamanda kömürün çatlamasına ve gözeneklerin oluşmasına da yol açarak kömür içindeki gazların hapsolmasına veya serbest kalmasına neden olabilir (Brown 2012).

Kömürün kalitesi, uçucu madde içeriği, ısı değeri ve kullanılabilirliği, kömürleşme sürecinin aşamaları ve jeolojik koşullara bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu nedenle, farklı kömür türleri arasında büyük farklılıklar olabilir ve kömür madenciliği ve kullanımı sırasında bu faktörler dikkate alınır.

## 2.2. TOC VE PİROLİZ VERİLERİ

Kaynak kayaların potansiyelini ve ekonomik değerini değerlendirmek için organik madde miktarı, tipi ve olgunluk derecesi önemli faktörlerdir. Bu üç parametre, kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıt kaynaklarının değerini belirlemede kritik rol oynar. Bu parametreleri belirlemek ve değerlendirmek amacıyla jeokimyasal analizler yapılır. Bu analizlerin başlıca yöntemleri arasında TOC ve Rock Eval pirolizi bulunmaktadır (Smith 2010).

### 2.2.1. Organik madde miktarı

TOC, bir tortul kayada bulunan organik madde miktarını ağırlık yüzdesi olarak ifade eden önemli bir ölçüttür ve jeokimya alanında kritik bir parametre olarak kabul edilir. TOC, kayacın fosil yakıt üretme potansiyelini ve ekonomik özelliğinin değerlendirilmesine yardımcı olur. Kömürler genellikle yüksek organik karbon içeriğine sahiptir (Durand vd. 1972; Jonathan vd. 1976), bu da onları değerli bir fosil yakıt kaynağı yapar. Organik madde, bitki kalıntılarından oluşur ve kömürleşme sürecinde yüksek sıcaklık ve basınç altında karbona dönüşür.

Kömürün termal bozunma sırasında önce gaz üretmesi, organik maddenin yapısı ve bileşimi ile ilgilidir. Kömürler, yüksek karbon içeriğine rağmen termal bozunma sırasında öncelikle metan gibi gazlar üretir. Bu, kömürlerin düşük hidrojen içeriği ve kompleks iç yapısından kaynaklanır. Bir kayadaki organik maddenin olgunluk derecesi ve türü, TOC değerini etkiler. Kömürler genellikle III. tip kerojen içerir. Kerojen, organik maddenin olgunluk seviyesini ve fosil yakıt potansiyelini belirler. III. tip kerojen, daha az olgun bir aşamayı temsil eder ve kömürlerin daha fazla hidrokarbon üretmesini engelleyebilir. Bu faktörler, kaynak kayaların potansiyelini ve ekonomik değerini belirlemede önemli olan TOC analizini etkiler. TOC analizi, enerji endüstrisi ve jeolojik araştırmalarda kaynak değerlendirmesi ve fosil yakıt keşfi için önemli bir araçtır (Jarvie 1991). Toplam organik karbon miktarına göre kaynak kaya sınıflaması birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır (Çizelge 2.2).

**Çizelge 2.2.** Toplam organik madde miktarına göre kaynak kaya sınıflaması

| ARAŞTIRICI                    | TOC (%)  | KAYNAK KAYA POTANSİYELİ |
|-------------------------------|----------|-------------------------|
| <b>Thomas (1979)</b>          | <0,5     | Zayıf                   |
|                               | 0,5-1,0  | Orta                    |
|                               | 1,0-2,0  | İyi                     |
|                               | 2,0-4,0  | Çok iyi                 |
|                               | >4,0     | Mükemmel                |
| <b>Kraus ve Parker (1979)</b> | <0,5     | Zayıf                   |
|                               | 0,5-1    | Orta                    |
|                               | >1       | İyi                     |
| <b>Tissot ve Welte (1984)</b> | 0,1-0,5  | Zayıf                   |
|                               | 0,5-1,0  | Orta                    |
|                               | 1,0-2,0  | İyi                     |
|                               | 2,0-10,0 | Zengin                  |
| <b>Peters (1986)</b>          | 0,1-0,5  | Zayıf                   |
|                               | 0,5-1,0  | Orta                    |
|                               | 1,0-2,0  | İyi                     |
|                               | >2,0     | Zengin                  |
| <b>Jarvie (1991)</b>          | <0,5     | Yetersiz                |
|                               | 0,5-1,0  | Orta                    |
|                               | >1,0     | Yeterli                 |

### 2.2.2. Organik Madde Tipi

Organik petrografik ve organik jeokimyasal verilere dayanarak belirlenen kerojen türleri, kaynak materyalin kökeni ve potansiyel enerji içeriği hakkında değerli bilgiler sağlar (Tissot ve Welte 1984). Belirtilen kerojen türlerinin özellikleri aşağıda verilmiştir:

Tip I Kerojen:

- Kökeni: Algal lipidlerden veya mikrobiyal aktivitelerden kaynaklanan organik maddelerden türetilir.

- Hidrojen Zenginliği: Genellikle hidrojen açısından zengindirler, bu durum lignin ve selüloz içermeyen fitoplankton organik maddelerinden kaynaklanır.
- Potansiyel: Yüksek petrol ve gaz üretme potansiyeline sahiptir.
- Oluşum Yeri: Çoğunlukla yüksek sedimentasyon oranlarına sahip göl ve denizel ortamlarda meydana gelir.

#### Tip II Kerojen:

- Kökeni: Lipid bileşenlerinden (yağ ve parafin) ve özellikle polen tanelerinin parafinli dış kabuklarından ve sporlardan oluşur.
- Hidrojen Zenginliği: Atomik H/C oranları Tip I'e göre daha düşüktür.
- Potansiyel: Petrol ve gaz üretme potansiyelleri Tip I'e göre daha düşüktür.
- Oluşum Yeri: Farklı çevresel koşullar altında oluşabilir.

#### Tip III Kerojen:

- Kökeni: Hem selüloz hem de ligninden meydana gelir. Genellikle çökelim ve gömülme arttıkça oluşurlar.
- Hidrojen Zenginliği: Daha az hidrojen içerirler.
- Potansiyel: Yüksek gaz üretme potansiyeline sahipken, petrol üretme potansiyeli daha düşüktür.
- Oluşum Yeri: Genellikle karasal kökenli yüksek bitkilerden kaynaklanır.

#### Tip IV Kerojen:

- Kökeni: Farklı kökenli organik maddelerin oksidasyon koşulları altında yeniden birleşmesiyle oluşur.
- Hidrojen Zenginliği: Çok düşük hidrojen içeriğine sahip organik bir maddedir.
- Potansiyel: Tip IV kerojen, petrol ve gaz aramaları için genellikle düşük değerli bir kaynak olarak kabul edilir.
- Oluşum Yeri: Önceki depolama ortamlarından taşınarak yeniden bir araya gelir.

Kerojen türleri, kaynak kayaçların olgunluk seviyesini, petrolojik özelliklerini ve hidrokarbon potansiyelini belirlemeye yardımcı olur. Bu bilgiler, petrol ve gaz araştırmalarında kaynak değerlendirmesi ve fosil yakıt rezervlerinin yönetimi için kritik öneme sahiptir (Tissot ve Welte 1984).

Sedimanter kayaçlarda bulunan organik maddeler dört ana gruba ayrılır. Bunlar; amorf, otsu, odunsu ve kömürsüdür. Amorf organik madde, deniz kökenli olup, belirgin bir şekli olmayan sarı-turuncu veya gri renkte bulunur ve yüksek petrol üretme potansiyeline sahiptir ve tip I kerojen olarak tanımlanır. Karasal kökenli amorf organik madde ise bakteri etkisiyle oluştuğundan petrol üretme potansiyeli düşüktür. Otsu organik madde, karasal kökenli olup spor, polen ve kütikül içerir ve düşük H/C oranı ve yüksek O/C oranı nedeniyle petrol üretme potansiyeli daha düşüktür ve tip II kerojen olarak tanımlanır. Odunsu organik madde, bitkilerin selüloz ve lignin gibi odunsu kısımlarından oluşur ve genellikle kömür ve gaz üretme potansiyeline sahiptir ve tip III kerojen olarak tanımlanır. Kömürsü organik madde ise biyokimyasal etkilerle bozunmuş veya aşırı ısınma

sonucu oluşmuş organik maddelerdir ve petrol ile gaz üretme potansiyelleri oldukça düşüktür ve tip IV kerojen olarak tamlanır (Tissot ve Welte 1984).

### 2.2.3. Organik Olgunlaşma

Organik maddenin olgunlaşması veya termal evrimi, organik materyalin doğal koşullar altında ısı, basınç, gömülme ve zaman etkisiyle kimyasal ve fiziksel değişikliklere uğradığı süreci tanımlar (Tissot ve Welte 1984). Bu süreç, organik materyalin hidrokarbon bileşiklerine dönüşümünü içerir ve fosil yakıtların (petrol, doğal gaz, kömür) oluşumuyla ilişkilidir. Bu değişimler, organik maddenin kalitesini ve olgunluk seviyesini belirler (Tissot ve Welte 1984).

Tmax değerine göre kaynak kaya olgunlukları sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamaya göre, 435-445 °C arası petrol türümüne giriş olgunluğunu, 445-450 °C arası petrol türümünün maksimum olgunluğunu ve 470 °C'den yüksek değerler petrol penceresinin sonunu işaret etmektedir (Peters ve Moldowan 1993). Bu sınıflama dikkate alındığında, 435-445 °C'den daha düşük bir Tmax değeri olgunlaşmamış, 435-445 °C ile 470 °C arasındaki Tmax değeri olgun ve 470 °C'den büyük bir Tmax değeri ise aşırı olgun bir kaynak kayayı temsil eder. Tmax değerleri ile olgunluk ilişkisi Çizelge 2.3'te verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Tmax değerinin temsil ettiği olgunlaşma değerleri (Peters ve Moldowan 1993)

| Tmax       | Olgunlaşma Derecesi |
|------------|---------------------|
| < 435 °C   | Olgunlaşmamış       |
| 435-445 °C | Erken-Orta Olgun    |
| 445-460 °C | Orta-İleri Olgun    |
| > 460 °C   | Aşırı Olgun         |

PI değerine göre olgunluk sınıflamasında, 0,1'den küçük değerler olgunlaşmamış organik maddeyi, 0,1-0,15 arasında erken olgun, 0,25-0,40 arasında olgun ve > 0,40 ise olgun organik maddeyi göstermektedir (Merill 1991) (Çizelge 2.4).

**Çizelge 2.4.** Tmax ve PI değerlerine göre olgunlaşma dereceleri

| Olgunlaşma Derecesi | Tmax       | PI        |
|---------------------|------------|-----------|
| Olgunlaşmamış       | < 435 °C   | < 0,10    |
| Erken Olgun         | 435-445 °C | 0,10-0,15 |
| Orta Olgun          | 445-450 °C | 0,25-0,40 |
| Olgun               | 450-470 °C | > 0,40    |
| Aşırı Olgun         | > 470 °C   | -         |

#### 2.2.4. Kaynak Kaya Potansiyeli

TOC ile birlikte Rock-Eval piroliz analiziyle elde edilen S1 ve S2 parametreleri, kaynak kayaların organik madde içeriği, olgunluğu ve potansiyeli hakkında detaylı bilgi sağlayan önemli verilerdir. Bu parametreler, organik maddenin hidrokarbon üretim potansiyelini ve olgunluk derecesini değerlendirmede yardımcı olur.

S1 ve S2 parametrelerinin açıklamaları ve potansiyel ürün (PY) hesaplama yöntemi şu şekildedir:

S1, Rock-Eval piroliz analizi sırasında ölçülen ilk termal gaz ve hafif hidrokarbon miktarını gösterir. S1, organik maddenin hemen hidrokarbona dönüşebilecek kısmını ifade eder, yani kayadaki hafif hidrokarbonları belirtir. S1, organik maddenin düşük sıcaklıklarda hızlı termal bozunma sonucu açığa çıkan hidrokarbon miktarını yansıtır.

S2, Rock-Eval piroliz analizi sırasında ölçülen ikinci termal gaz ve hidrokarbon miktarını gösterir. S2, kerojenin yüksek sıcaklıklarda termal parçalanması sonucu oluşan hidrokarbon miktarını ifade eder. Bu, organik maddenin daha yüksek sıcaklıklarda termal bozunma potansiyelini yansıtır ve genellikle petrol ve gaz üretimine daha uygun olduğunu gösterir.

**Potansiyel ürün (PY)**, bir ton kayada bulunan kg cinsinden hidrokarbon miktarını ifade eder ve  $PY = S1 + S2$  formülüyle hesaplanır.

Bu parametreler, kaynak kayaçların organik madde içeriğini, olgunluk derecesini ve potansiyel hidrokarbon üretimini değerlendirmek için önemlidir. Tissot ve Welte'nin sınıflaması, bu parametrelerin kullanımıyla kaynak kayaların potansiyelini belirlemek için bir rehber sunar. Bu sınıflama, kaynak kayaların ne kadar değerli olduğunu ve ne tür hidrokarbonlar üretebileceğini anlamada yardımcı olur ve petrol ve gaz endüstrisinde kaynak değerlendirmesi için kullanılır.

- $(S1 + S2) < 2$  kg/ton: Bu tür kayalar petrol ana kayası olamazlar, nadiren doğal gaz kayası olabilirler.
- $2 \text{ kg/ton} < (S1 + S2) < 6$  kg/ton: Orta derecede petrol ana kayası olabilirler.
- $(S1 + S2) > 6$  kg/ton: İyi derecede petrol ana kayası olabilirler.

Peters ve Cassa (1994) tarafından yapılan sınıflama, organik maddenin kaynak kaya potansiyelini, kerojen tipini ve olgunluk seviyesini belirlemek için kullanılır (Çizelge 2.5). İnceleme alanından elde edilen örnek sonuçlarına göre, bölgenin mükemmel bir kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu, olgunlaşmış Tip II ve III kerojen içerdiği ve bu kerojenlerin çoğunun petrol ve bazılarının ise gaz üretme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 2.5.** A) Olgunlaşmamış kaynak kayanın türetme potansiyeli (miktarı), B) kerojen tipi ve ürün kalitesi, C) ısısal olgunlaşma (Peters ve Cassa 1994)

A:

| Potansiyel (miktar) | TOC (%) | Rock-Eval S1 | (mg/g kaya) S2 | Bitüm (ppm) | Hidrokarbon (ppm) |
|---------------------|---------|--------------|----------------|-------------|-------------------|
| Zayıf               | <0,5    | <0,5         | <2,5           | <500        | <300              |
| Orta                | 0,5-1   | 0,5-1        | 2,5-5          | 500-1000    | 300-600           |
| İyi                 | 1-2     | 1-2          | 5-10           | 1000-2000   | 600-1200          |
| Çok iyi             | 2-4     | 2-4          | 10-20          | 2000-4000   | 1200-2400         |
| Mükemmel            | >4      | >4           | >20            | >4000       | >2400             |

B:

| Kerojen (kalite) | HI (mg HC/g TOC) | S2/S3 | Atomik H/C | Ana Ürün   |
|------------------|------------------|-------|------------|------------|
| I                | >600             | >15   | >1,5       | Petrol     |
| II               | 300-600          | 10-15 | 1,2-1,5    | Petrol     |
| II/III           | 200-300          | 5-10  | 1-1,2      | Petrol/gaz |
| III              | 50-200           | 1-5   | 0,7-1      | Gaz        |
| IV               | <50              | <1    | <0,7       | -          |

C:

| Olgunluk      | Ro (%)    | Tmax (°C) | TAI     | Bitüm/T OC | Bitüm (mg/g kaya) | PI (S1/S1+S2) |
|---------------|-----------|-----------|---------|------------|-------------------|---------------|
| Olgunlaşmamış | 0,20-0,60 | <435      | 1,5-2,6 | < 0,05     | <50               | <0,10         |
| Erken Olgun   | 0,60-0,65 | 435-445   | 2,6-2,7 | 0,05-0,10  | 50-100            | 0,10-0,15     |
| Olgun         | 0,65-0,90 | 445-450   | 2,6-2,7 | 0,15-0,25  | 150-250           | 0,25-0,40     |
| İleri Olgun   | 0,90-1,35 | 445-470   | 2,9-3,3 | -          | -                 | >0,40         |
| Aşırı olgun   | >1,35     | >470      | >3,3    | -          | -                 | -             |

### 2.2.5. Organik Fasiyes

Fosil yakıt araştırmalarında, organik fasiyes incelemeleri, sedimanter havzaların kaynak kaya potansiyelini belirlemek ve havzanın jeolojik-tektonik evrimi hakkında değerlendirmeler yapmak için kritik bir öneme sahiptir. Sedimanların inorganik özellikleri dikkate alınmadan, belirli stratigrafik birimin haritalanabilir ölçekteki alt grupları olarak tanımlanan organik fasiyesler, organik unsurların karakteristiklerine dayanarak diğer alt gruplardan ayrılırlar (Jones ve Demaison 1982).

İnceleme alanında, organik fasiyes dağılımı ve çalışma alanları karşılaştırılırken paleoortam, tektonik yapı, organik jeokimyasal karakteristikler ve hidrokarbon oluşumlarının eşik değerleri göz önünde bulundurulur. Organik fasiyesler, TOC ve Rock

Eval pirolizleriyle elde edilen HI, OI değerleri ile potansiyel korelasyonu, kerojen tipindeki değişimi (HI/OI) ve organik fasiyesin kalitesini değerlendirilir.

Jones ve Demaison (1982), organik fasiyeslerin ayrımını, atomik H/C oranları, Rock Eval piroliz verileri ve vitrinit yansıması değerlerine dayanarak A, B, B-C, C ve D olmak üzere beş organik fasiyes tipi olarak belirlemiştir. Jones (1987), bu ayrımı daha da geliştirerek H/C oranı, hidrojen indeksi (HI) ve oksijen indeksi (OI) içeren Rock-Eval piroliz verileri ve egemen organik madde türlerine göre yedi ayrı organik fasiyes tanımlamıştır. Bu sınıflamalar, A organik fasiyesi, AB organik fasiyesi, B organik fasiyesi, BC organik fasiyesi, C organik fasiyesi, CD organik fasiyesi ve D organik fasiyesi olarak adlandırılmıştır (Çizelge 2.6).

**Çizelge 2.6.** Organik fasiyeslerin genel mikroskobik ve kimyasal özellikleri (Jones, 1987)

| Organik Fasiyes | Ro-%0,5 de<br>H/C | Piroliz Verileri |        | Egemen Organik Madde  |
|-----------------|-------------------|------------------|--------|-----------------------|
|                 |                   | HI               | OI     |                       |
| A               | 1,45              | 850              | 10-30  | Algal, amorf          |
| AB              | 1,35-1,45         | 650-850          | 20-50  | Amorf, çok az karasal |
| B               | 1,15-1,35         | 400-650          | 30-80  | Amorf, yaygın karasal |
| BC              | 0,95-1,15         | 250-400          | 40-80  | Karışık, bazen okside |
| C               | 0,75-1,95         | 125-250          | 50-150 | Karasal, bazen okside |
| CD              | 0,60-0,75         | 50-125           | 40-150 | Okside, reworked      |
| D               | 0,60              | 50               | 20-200 | Yüksek okside         |

Jones (1987) tarafından belirlenen yedi organik fasiyesin açıklamaları aşağıda yer almaktadır.

**A Organik Fasiyesi:** Bu fasiyes, genellikle sarı renkli algal tabakalardan oluşan ve tek tip organik madde içeren ilk grubu temsil eder. İçerdiği kerojen yüksek kalitede korunmuş olup, genellikle büyük göllerin merkezlerinde ve nadiren denizel alanlarda bulunur (Jones 1987).

**AB Organik Fasiyesi:** A ve B fasiyesleri arasında geçiş sağlayan bu fasiyes, karışık kökenli alglerin baskın olduğu kerojen içeriğine sahiptir. TOC değeri genellikle yüksek olup, organik madde amorfudur. Karasal organik madde içeriği düşüktür. Büyük organik parçacıklar genellikle kıyıya yakın bölgelerde çökelirken, spor ve polen gibi küçük organik maddeler daha derin ortamlarda birikir (Jones 1987).

**B Organik Fasiyesi:** Bu fasiyes, yaygın olarak amorf organik madde içerir ve kerojenleri yeşilimsi ve portakal rengindedir. Genellikle denizel şeyl ve karbonatlar ile daha az gölsel sedimanlarda bulunur. TOC %1-3 arasında veya daha düşüktür. B fasiyesinin çökelebilmesi için oksijen miktarının düşük olması, yani 1 litre suda 1 ml'den daha az oksijen bulunması gereklidir (Demaison ve Moore 1980).

**BC Organik Fasiyesi:** B ve C fasiyesleri arasında geçiş sağlayan bu fasiyes, genellikle karışık ve bazen oksidasyona uğramış organik madde içerir. B fasiyesine

kıyasla daha fazla karasal organik madde bulundurur ve genellikle delta önlerinde, prodelta çamurlarında, dış şelflerde ve nadiren lagünlerde rastlanır. Yüksek hidrojen indeksi (HI) ile karakterizedir.

**C Organik Fasiyesi:** Bu fasiyes, çeşitli karasal kerojen tiplerinden oluşur. Vitrit, spor, kütikül, rezinit, füzinit, semifüzinit ve inertinit gibi organik bileşenler içerir. Genellikle taşınmış organik maddelere nadiren rastlanır ve karasal organik madde yaygın olarak görülür. TOC oranı %0,5-2 arasında değişir. En uygun çökelim ortamı bataklıklar olup, bu fasiyes düşük hidrojen indeksi (HI) ile karakterizedir (Demaison ve Moore 1980).

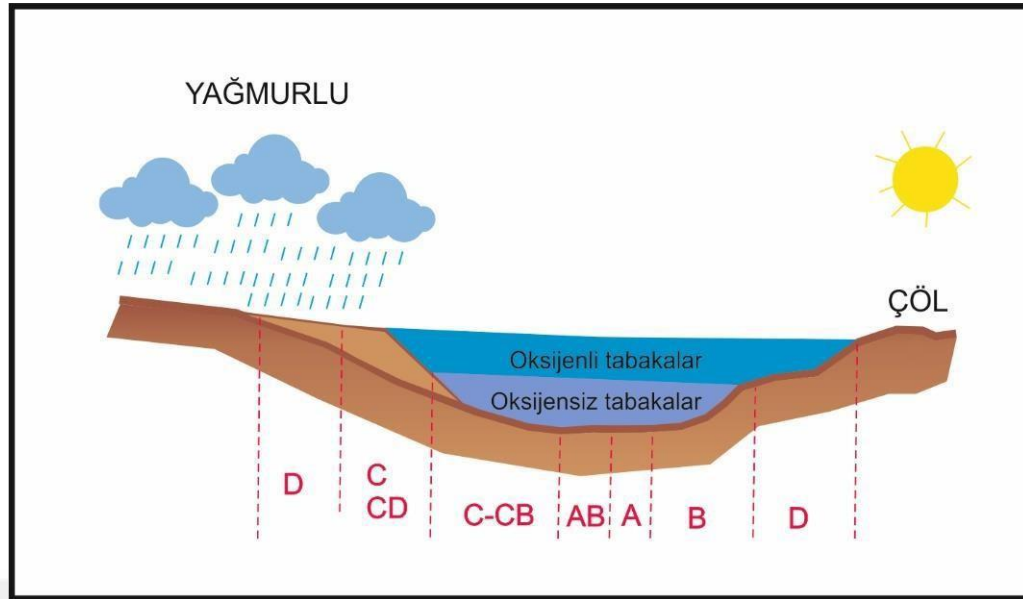
**CD Organik Fasiyesi :** Karasal bitki kalıntıları ile taşınmış ve oksitlenmiş organik maddeler içeren bu fasiyeste, ince taneli organik maddeler baskındır. TOC %0,5'ten daha düşük ve HI değeri düşüktür.

**D Organik Fasiyesi :** Yüksek derecede alterasyona uğramış, siyah renkli ve köşeli organik maddeler içerir. Düşük TOC içeriğine sahiptir. Oksijenli ortamlarda yavaş gömülme nedeniyle sedimanlar oksijenle temasını sürdürür ve bu nedenle karasal çökellerin yanı sıra karbonatlı kayaçlar da bu fasiyeste gelişir. Oksitlenmenin gerçekleştiği her ortamda gözlemlenir (Tissot 1979 ; Hökerek 2012).

Baskin (1997), A, B, B-C, C ve D olarak beş farklı organik fasiyes türü tanımlamıştır (Çizelge 2.7). Altunsoy ve Özçelik (1993) tarafından oluşturulan ve fasiyes ortamlarını gösteren şematik gösterim ise Şekil 2.1'de sunulmuştur.

**Çizelge 2.7.** Organik fasiyeslerin genelleştirilmiş karakteristikleri (Baskin 1997)

| <b>Organik Fasiyes</b> | <b>Ürün</b> | <b>H/C</b> | <b>HI</b> | <b>OI</b> |
|------------------------|-------------|------------|-----------|-----------|
| <b>A (Gölse)</b>       | Petrol      | > 1,40     | 700-1000  | 10-40     |
| <b>B (Denizel)</b>     | Petrol      | 1,20-1,40  | 350-700   | 20-60     |
| <b>B-C (Karışık)</b>   | Petrol-Gaz  | 1,00-1,20  | 200-350   | 40-80     |
| <b>C (Hümik)</b>       | Gaz-Petrol  | 0,70-1,00  | 50-200    | 50-150    |
| <b>D (İnert)</b>       | Bazen Gaz   | < 0,70     | < 50      | 20-200    |



**Şekil 2.1.** Organik fasiyeslerin şematik gösterimi (Altunsoy ve Özçelik 1993)

### 2.3. BİYOMARKER JEOKİMYASI

Biyomarkerlar, organik madde içeren tortul kayaçlarda bulunan ve jeokimyasal analizlerle tespit edilebilen spesifik organik bileşiklerdir. Bu bileşikler, organik madde kaynağını, olgunluğunu ve çevresel koşulları belirlemede kullanılır (Tissot ve Welte 1984; Hunt 1995).

Biyomarkerlar, jeolojik süreçler boyunca kimyasal bozunmaya karşı genellikle dayanıklıdır. Bu, organizmalardan jeolojik kayalara geçişlerinde orijinal kimyasal yapılarını koruyabildikleri anlamına gelir (Mackenzie vd. 1982; Johns 1986; Simoneit vd. 1986; Brassell 1992; Inbus ve Mckirdy 1993; Mitterer 1993; Simoneit 1998).

Biyomarkerlar, içerdiği kimyasal bileşikler sayesinde kaynağın orijinal organizması hakkında bilgi sağlar. Örneğin, belirli biyomarkerlar fitoplankton, zooplankton, bakteriler veya karasal bitkiler gibi belirli organizmaların varlığını gösterir.

Biyomarkerların türleri ve oranları, kaynağın karasal veya denizel kökenini belirlemeye yardımcı olabilir. Bu, jeolojik geçmişi ve çevresel koşulları anlamamıza yardımcı olur. Ayrıca, biyomarkerlar, kayaların depolanma ortamını (oksijen seviyesi, su tuzluluğu vb.) belirlemede kullanılır. Özellikle oksijenin varlığı, organik madde üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Kayanın litolojisi (örneğin, şeyl veya karbonat) biyomarkerların varlığını ve bolluğunu etkileyebilir.

Biyomarkerlar, kayaların jeolojik yaşını ve olgunluk derecesini belirlemede önemli bir rol oynar. Organik madde ne kadar uzun süre jeolojik koşullara maruz kalırsa, biyomarkerlar üzerindeki etkiler o kadar büyük olur. Ayrıca, biyomarkerlar, petrolün biyodegradasyon derecesini belirlemek için kullanılır, bu da petrolün mikroorganizmalar tarafından ne kadar parçalandığını gösterir (Hunt 1995; Peters vd. 2005).

Biyomarkerlar, petrol ve gaz endüstrisinde kaynakların değerlendirilmesi, rezerv tahmini ve çıkarma süreçlerinde önemli bir rol oynar. Aynı zamanda jeolojik ve çevresel çalışmalarda, organik madde kaynağının ve çevresel koşullarının anlaşılması için kullanılırlar. Bu nedenle, biyomarkerlar, jeokimyasal analizlerin önemli bir bileşeni olarak kabul edilir.

### 2.3.1. n-alkan ve İzoprenoidler

Gaz kromatografisinden elde edilen n-alkan dağılımları ve izoprenoidler, çeşitli jeokimyasal ve paleoortamsal bilgileri elde etmek için önemli araçlardır.

n-Alkanlar, organik madde kaynaklarının türünü ve ortamsal koşulları belirlemekte kullanılır. Belirli n-alkanların bolluğu ve dağılımı, organik madde kaynaklarını gösterebilir. Örneğin, bitki kaynaklı organik madde nC<sub>27</sub> ve nC<sub>29</sub> gibi uzun n-alkanları içerirken, denizel organizmalar daha kısa n-alkanlar üretebilir. Ayrıca, n-alkanlar çökme ortamının redoks koşullarını da yansıtabilir; oksijen açısından zengin (oksik) ortamlarda farklı n-alkanlar oluşurken, oksijen eksikliği (anoksik) olan ortamlarda farklı n-alkanlar meydana gelir.

Pristan ve Fitan, izoprenoidler olarak bilinir ve fitolden (klorofil-A) türetilirler. Pristan ve Fitan oranı, çökme ortamının oksijen seviyesini gösterebilir. Anoksik ortamlarda fitolden Fitan oluşurken, oksijenli veya suboksik ortamlarda fitolden Pristan üretilir. İzoprenoidler, ayrıca organik madde kaynağının türünü de belirleyebilir; özellikle fitoplanktonik organizmaların kalıntıları bu bileşikler içerir.

Bu veriler, ortamsal koşullarının, organik madde türünün, olgunluk derecesinin ve jeolojik süreçlerin izlenmesi ve yorumlanması için kullanılır. Bu bilgiler, tortul kayaların jeokimyasal özelliklerini anlamak, kaynak kayaların değerlendirilmesi ve fosil yakıtların oluşumunu anlamak için önemlidir (Çizelge 2.8) (Peters vd. 2005).

**Çizelge 2.8.** Biyolojik girdi ve depolanma ortamı olarak asiklik (halkalı olmayan) biyomarkerler (Bileşenlerin yüksek konsantrasyonlarda olduğu varsayılmıştır) (Peters vd. 2005)

| ORTAM                  | BİLEŞİM                                                       | BİYOLOJİK KÖKEN                       |
|------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Göl, deniz             | nC <sub>15</sub> , nC <sub>17</sub> , nC <sub>19</sub>        | Alg                                   |
| Tropikal deniz         | nC <sub>15</sub> , nC <sub>17</sub> , nC <sub>19</sub>        | ~Ordovisiyen, G.prisca                |
| Karasal                | nC <sub>27</sub> , nC <sub>29</sub> , nC <sub>31</sub>        | Yüksek bitki                          |
| Gölsel                 | nC <sub>23</sub> -nC <sub>31</sub> (tek)                      | Denizel olmayan alg                   |
| Hipersalin             | 2-metildokosan                                                | Bakteri?                              |
| Sıcak kaynaklar, deniz | Orta-zincirli monometil alkanlar                              | Cyanobacteria                         |
| Anoksik, yüksek tuzlu  | Pristan/fitan (düşük)                                         | Phototrop, Archaea                    |
| Hipersalin, anoksik    | PMI (PME), 2,6,10,15,19 pentametileikosan                     | Archaea, metanojenler, methanotroplar |
|                        | Croctane                                                      | Archaea, methanotroplar?              |
| Denizel, gölsel        | C <sub>20</sub> HBI, 2,6,10-trimetil-7-(3-metilbutil)-dodekan | Diatomlar                             |

**Çizelge 2.8.** Devamı

|                             |                                                                               |                          |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Denizel, gölsel             | C <sub>25</sub> HBI, 2,6,10, 14<br>tetrametil-7-(3-metilpentil)<br>pentadekan | Diatomlar                |
| Hipersalin?                 | Squalan                                                                       | Archaea                  |
| Tanımlamamış                | C <sub>31</sub> -C <sub>40</sub> baş -baş<br>isoprenoidler                    | Archaea                  |
| Göl-Acı (hafif tuzlu)-tuzlu | Botryococcan                                                                  | Yeşil alg (Botryococcus) |
| Göl-Acı (hafif tuzlu)-tuzlu | 16-Desmetil-<br>Botryococcan                                                  | Yeşil alg (Botryococcus) |
|                             |                                                                               | Yeşil alg (Botryococcus) |

Karasal bitki kökenli n-alkanların varlığı, nC<sub>23</sub>-nC<sub>31</sub> aralığındaki tek ve yüksek karbon numaralı n-alkanlarla belirlenir. Karasal organik maddenin etkisiyle egemen n-alkanlar genellikle nC<sub>23</sub>-nC<sub>35</sub> dizisine doğru (sağa) eğilimli bir n-alkan dağılımı gösterirken, nC<sub>15</sub>, nC<sub>17</sub>, nC<sub>19</sub> n-alkanlar genellikle denizel veya gölsel algleri temsil eder (Tissot ve Welte 1984). Denizel alglerden türeyen n-alkanlar ise sola eğilimli bir dağılım gösterir ve genellikle C<sub>15</sub> ve C<sub>16</sub> gibi n-alkanlarla ifade edilir. Hem denizel hem de karasal kaynaklı n-alkanların varlığı, her iki dizide de çift merkezli (bimodal) bir dağılımı ifade edebilir (Waples 1985).

Kısa zincirli n-alkanlar (<20 karbon), çoğunlukla algler ve mikroorganizmalarda bulunurken (Cranwell vd 1987), orta zincirli n-alkanlar genellikle damarlı bitkiler, mikroalgler ve siyanobakteriler gibi biyolojik kaynaklardan üretilir (Giger ve Schaffner 1977; Matsumoto vd. 1990). Uzun zincirli n-alkanların baskınlığı ise genellikle yüksek bitkilerin epikütiküler mumsu maddelerinden kaynaklanır (Eglinton ve Hamilton 1967). Kömür damarlarında uzun zincirli ve tek karbon sayılı n-alkanların hakim olması, büyük olasılıkla ağaç, ağaç kabuğu ve köklerin, yapraklara kıyasla turba oluşumuna daha fazla katkı sağlamasından kaynaklanmaktadır.

n-alkanlardan elde edilen verilerle, karbon tercih indeksi (CPI) ve tek karbon sayılı n-alkanların çift karbon sayılı n-alkanlara oranı (OEP) kullanılarak termal olgunluk hakkında çeşitli değerlendirmeler yapılabilir. CPI veya OEP değerlerinin >1 veya <1 olması, sırasıyla olgunlaşma olmadığını veya olgunlaşma göstermediğini belirtir. Olgunluk göstergesi olarak değerin 1 olması arzu edilir, ancak bu, petrol veya bitümün kesin olarak olgun olduğunu garanti etmez. CPI ve OEP değerlerinin <1 olması nadirdir ve genellikle petrol veya bitümün karbonat veya yüksek tuzlu ortamlarda oluştuğunu gösterir (Peters vd. 2005). Waples (1985)'e göre, olgunluğun artmasıyla bu değer 1'e yaklaşır. Karasal organik maddeden türeyen bitümlerde CPI ve OEP değerleri genellikle 1'den büyüktür (Waples 1985).

Pr/Ph oranı, izoprenoid değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Yüksek Pr/Ph oranları oksik ortamları, düşük değerler (Pr/Ph <1) ise anoksik ortamları gösterir ve kaynak kayanın türü hakkında bilgi sağlar (Tissot ve Welte 1984). Düşük termal olgunluğa sahip örneklerde Pr/Ph oranının paleoortam belirlemelerinde kullanılması önerilmez (Volkman ve Maxwell 1986). Kaynak sedimanların Pr/Ph oranlarıyla redoks potansiyeli hesaplanırken, bu oranlar diğer

jeokimyasal ve jeolojik bilgilerle desteklenmelidir. Kükürt içeriği veya C35 homohopan indeksi gibi diğer parametreler de dikkate alınmalıdır. Örneğin; düşük Pr/Ph ( $<1$ ), yüksek sülfür içeriği (%1,6 ağırlıkça) ve yüksek C35 homohopan indeksi, tipik olarak anoksik depolanma koşullarındaki kaynak kayayı gösterir (Hunt 1995).

Pr/Ph oranı olgunluk derecesinden etkilendiği için (Didyk vd. 1978; Tissot ve Welte 1984), kömürler genellikle yüksek Pr/Ph oranlarına sahiptir. Bu yüksek oranlar, kömürlerin karasal ortamlarda oksidasyon ve dekarboksilasyon süreçlerine maruz kalmasından kaynaklanabilir (Didyk vd. 1978). Bununla birlikte, bazı araştırmacılar Pr/Ph oranının yüksek olmasının, kömürlerin depolanma ortamındaki yüksek oksijenli koşulları değil, organik maddede yüksek miktarda damarlı bitki materyali bulunmasını gösterdiğini ileri sürmüşlerdir (Ten Haven vd. 1987).

Pr/n-C17 ve Ph/n-C18 oranları, kaynak kayanın litolojisi ve türü hakkında bilgi verebilir. Bu oranlar, kerojenden daha fazla n-alkan serbest kalmasıyla ve olgunluğun artmasıyla azalır ve biyolojik olarak bozunmamış örneklerde olgunluğun bir göstergesi olarak kullanılabilir. Biyodegradasyon ile n-alkanlar daha hızlı kaybolduğundan, izoprenoid/n-alkan oranı artar. Organik madde girdisi, biyolojik bozunma ve ikincil olaylar bu oranı etkiler (Tissot ve Welte 1984; Hunt 1995).

### 2.3.2. Terpanlar ve Steranlar

Steranlar ve terpanlar, GC-MS analiziyle yaygın olarak tespit edilen biyomarkerlardır. Bu özel biyomarkerlar, organik madde içeren karbon iskeletleri ve canlı organizmaların kalıntılarından kayaya giren iz moleküllerle doğrudan ilişkilidir. Temelde benzer karbon iskeletlerine sahip olmalarına rağmen, karbon atom sayısı ve dizilimlerinde küçük farklılıklar gösteren bir dizi farklı üyeye sahiptirler (Noble vd. 1991), bu biyomarker gruplarının genellikle belirli organizmalarla ilişkilendirilerek organik madde türü ve çökelme ortamı hakkında bilgi sağlamak için kullanıldığını belirtmiştir (Çizelge 2.9 ve 2.10).

**Çizelge 2.9.** Biyolojik girdi veya depolanma ortamının belirteci olan halkalı biyomarkerlar (Bileşenlerin yüksek konsantrasyonlarda olduğu varsayılmıştır) (Peters vd. 2005)

| Ortam                                                        | Bileşim                                                                   | Biolojik Köken                                  |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                              | <b>Doymuşlar</b>                                                          |                                                 |
| Göl-Acı                                                      | C <sub>25</sub> -C <sub>34</sub> makrosiklik alkanlar                     | Yeşil alg, Bortyococcus                         |
| Denizel                                                      | C <sub>15</sub> -C <sub>23</sub> siklohekzil alkanlar (tek)               | ~Ordovisiyen, G. prisca                         |
| Kurak,hipersalin                                             | β -karoten                                                                | Cyanobakteri, alg                               |
| Karasal                                                      | Fillokladanlar                                                            | Kozalaklı ağaç                                  |
| Karasal                                                      | 4β-Eudesman                                                               | Yüksek bitkiler                                 |
| Denizel, yüksek enlem                                        | C <sub>19</sub> -C <sub>20</sub> trisiklik terpanlar                      | Tasmanites?                                     |
| Hipersalin                                                   | C <sub>24</sub> tetrasiklik terpanlar                                     | Bilinmiyor                                      |
| Değişken                                                     | C <sub>27</sub> -C <sub>29</sub> steranlar                                | Alg ve yüksek bitkiler                          |
| Denizel                                                      | 23,24-Dimetil-kolestanlar                                                 | Dinoflegellatlar?, haptophytes                  |
| Denizel                                                      | C <sub>30</sub> 24-n-propil-kolestan (4-desmetil)                         | Chrysophyte alg                                 |
| Göl yada deniz                                               | 4-Metilsteran                                                             | Bazı bakteriler/dinoflegellatlar                |
| Hipersalin                                                   | Pregnan, homopregnan                                                      | Bilinmiyor                                      |
| Kilce zengin kayaçlar                                        | Diasteranlar                                                              | Alg/yüksek bitkiler                             |
| Denizel, Triyas yada daha genç                               | Dinosteranlar                                                             | Dinoflegellatlar                                |
| Anoksik deniz, upwelling?                                    | 25,28,30-trisnorhopan                                                     | Bakteri                                         |
|                                                              | 28,30-bisnorhopan                                                         |                                                 |
| İndirgen-anoksik                                             | C <sub>35</sub> 17α, 21β(H)-hopan                                         | Bakteri                                         |
| Karbonat/evaporit                                            | Norhopan (C <sub>29</sub> hopan)                                          | Değişken                                        |
| Kapalı havza                                                 | 2-Metilhopan                                                              | Cyanobakteri                                    |
| Gölsel?                                                      | 3β-Metilhopan                                                             | Metanotrofik bakteri                            |
| Karasal                                                      | Bikadinan                                                                 | Yüksek bitki                                    |
| Karasal                                                      | 23,28-Bisnorhopan                                                         | Yüksek bitki                                    |
| Tabakalı su, sülfat indirgeyen, hipersalin (düşük steroller) | Gamaseran                                                                 | Bakteriler üzerinde beslenen tetrahymanol       |
| Paralik                                                      | 18α-Oleanan                                                               | Kretase veya daha genç yüksek bitkiler          |
| Anoksik, karbonat-anhidrit                                   | Hekzahidrobenzohopanlar                                                   | Bakteri                                         |
|                                                              | Aromatikler                                                               |                                                 |
| Karbonat/evaporit                                            | Benzotiyofen, alkildibenzotiyofen                                         | Bilinmiyor                                      |
| Anoksik fotik zon                                            | 13C-zengin, 2,3,6-trimetil yerine geçen aril isoprenoidler, isorenieraten | Chlorobiaceae, anaerobik yeşil kükürt bakterisi |
| Anoksik fotik zon                                            | Metil n-pristan ve metil i-butyl maleimides                               | Chlorobiaceae, anaerobik yeşil kükürt bakterisi |
| Anoksik fotik zon                                            | Isorenieratane                                                            | Chlorobiaceae, anaerobik yeşil kükürt bakterisi |
| Tuzlu fotik zon?                                             | Trimetil kroman (2-metil-2-(4,8,12-trimetil-tridesil)                     | Fitoplankton                                    |

**Çizelge 2.10.** Biyolojik girdi veya depolama ortamını belirten halkalı biyomarkerlar (Bileşenlerin yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu varsayılmıştır) (Peters vd. 2005)

| Karasal                | Görsel                 | Denizel                |                                             |
|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------------|
| Düşük                  | Düşük                  | Yüksek (anoksik)       | Sülfür (ağırlıkça %)                        |
| Yüksek                 | Yüksek                 | Düşük                  | C <sub>21</sub> -C <sub>35</sub> n-alkanlar |
| >3                     | ~1-3                   | <2                     | Pristan/fitan                               |
| Yüksek (>0,6)          | -                      | Düşük (<0,5)           | Pristan /nC <sub>17</sub>                   |
| Düşük                  | Yüksek                 | Orta                   | 4-Metilsteran                               |
| Yüksek C <sub>29</sub> | Yüksek C <sub>27</sub> | Yüksek C <sub>28</sub> | C <sub>27</sub> -C <sub>29</sub> steran     |
| Yok yada düşük         | Yok                    | Düşük                  | C <sub>30</sub> 24-n-propilkolestan         |
| Düşük                  | Düşük                  | Yüksek                 | Steran/hopan                                |
| Yüksek                 | Düşük                  | Düşük                  | Bisiklik sesquiterpanlar                    |
| Yüksek                 | Yüksek                 | Düşük                  | Trisiklik diterpanlar                       |
| Yüksek                 | Düşük                  | Düşük                  | Tetrasiklik diterpanlar                     |
| Düşük                  | Düşük                  | Yüksek (anoksik)       | 28,30-Bisnorhopan                           |
| Yüksek                 | Düşük                  | Düşük                  | Lupanlar, bisnorlupanlar                    |
| Yüksek                 | Düşük                  | Düşük yada yok         | Oleananlar                                  |
| Yok                    | Yüksek (kurak)         | Yok                    | β-Karotan                                   |
| Yok                    | Yüksek (hafif tuzlu)   | Yok                    | Botryococcan                                |
| Düşük yada yok         | Düşük ya da yok        | Yüksek (anoksik)       | V/(V+Ni)                                    |

Steranlar, biyolojik belirteç olarak kullanılan steroidlerdir ve genellikle yüksek bitkiler ve ökaryotik organizmalarda bol miktarda bulunurlar, ancak prokaryotik organizmalarda nadiren veya hiç bulunmazlar (Volkman 1988). Bu steranlar, organizmaların biyolojik yapısını yansıtan önemli moleküllerdir. Özellikle siyanobakteriler gibi bazı organizmalar, daha gelişmiş steroid molekülleri üretebilir ve bu moleküller diyajenetik değişikliklerle steran hidrokarbonlarına dönüşebilir (Waples 1985).

Fotosentetik organizmalar arasında tanımlanan dört ana farklı sterol fosil molekülü vardır ve bu moleküller, diyajenez sırasında farklı "düzenli" steranları üretir. Bu farklılıklar, belirli bir konuma CH<sub>2</sub> ünitelerinin eklenmesiyle ilgilidir ve bu nedenle "homologlar" veya "homolog serileri" olarak adlandırılır. "Düzenli" terimi, karbon iskelet yapısının biyolojik bir belirteç içinde aynı olduğunu vurgular. Steranlarla yapılan çalışmalar genellikle m/z 217 kütle fragmentogramındaki piklerle gerçekleştirilir. Bu pikler, steranların belirli özelliklerini göstermek için kullanılır ve organizmaların kimyasal bileşimini ve türünü anlamada önemli bir rol oynar. Pik tanımlamaları Çizelge 2.11'de bulunmaktadır.

**Çizelge 2.11.** m/z 217 iyonunun fragmentogramı, steran pik tanımlar

| PIK | BİLEŞEN                                                                                            |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | C <sub>27</sub> 13β(H),17α(H)-Diasteran (20S)                                                      |
| 2   | C <sub>27</sub> 13β(H),17α(H)-Diasteran (20R)                                                      |
| 3   | C <sub>27</sub> 13α(H),17β(H)-Diasteran (20S)                                                      |
| 4   | C <sub>27</sub> 13α(H),17β(H)-Diasteran (20R)                                                      |
| 5   | C <sub>28</sub> 13β(H),17α(H)-Diasteran (20S)                                                      |
| 6   | C <sub>28</sub> 13β(H),17α(H)-Diasteran (20R)                                                      |
| 7   | C <sub>28</sub> 13α(H),17β(H)-Diasteran (20S)                                                      |
| 8   | C <sub>27</sub> 5α(H),14α(H),17α(H)- Steran (20S) + C <sub>28</sub> 13α(H),17β(H)-Diasteran (20S)  |
| 9   | C <sub>27</sub> 5α(H),14 β(H),17β(H)- Steran (20R) + C <sub>29</sub> 13β(H),17α(H)-Diasteran (20S) |
| 10  | C <sub>27</sub> 5α(H),14 β(H),17β(H)- Steran (20S) + C <sub>28</sub> 13α(H),17β(H)-Diasteran (20R) |
| 11  | C <sub>27</sub> 5α(H),14α(H),17α(H)- Steran (20R)                                                  |
| 12  | C <sub>29</sub> 13β(H),17α(H)-Diasteran (20R)                                                      |
| 13  | C <sub>29</sub> 13α(H),17β(H)-Diasteran (20S)                                                      |
| 14  | C <sub>28</sub> 5α(H),14α(H),17α(H)- Steran (20S)                                                  |
| 15  | C <sub>28</sub> 5α(H),14β(H),17β(H)-Steran (20R) + C <sub>29</sub> 13α(H),17β(H)-Diasteran (20R)   |
| 16  | C <sub>28</sub> 5α(H),14 β(H),17β(H)- Steran (20S)                                                 |
| 17  | C <sub>28</sub> 5α(H),14α(H),17α(H)- Steran (20R)                                                  |
| 18  | C <sub>29</sub> 5α(H),14α(H),17α(H)- Steran (20S)                                                  |
| 19  | C <sub>29</sub> 5α(H),14 β(H),17β(H)- Steran (20R)                                                 |
| 20  | C <sub>29</sub> 5α(H),14 β(H),17β(H)- Steran (20S)                                                 |
| 21  | C <sub>29</sub> 5α(H),14α(H),17α(H)- Steran (20R)                                                  |
| 22  | C <sub>30</sub> 5α(H),14α(H),17α(H)- Steran (20S)                                                  |
| 23  | C <sub>30</sub> 5α(H),14 β(H),17β(H)- Steran (20R)                                                 |
| 24  | C <sub>30</sub> 5α(H),14 β(H),17β(H)- Steran (20S)                                                 |
| 25  | C <sub>30</sub> 5α(H),14α(H),17α(H)- Steran (20R)                                                  |

Steranların aksine, birçok triterpan biyomarkeri, bakterilerden kaynaklanır. Bu triterpanlar, -OH grupları ve çift bağlarla karakterize edilir ve bakterilerin hücre zarının önemli bileşenleridir (Waples ve Machihara 1991). Triterpenoidlerden terpanlara

dönüşüm, steroidlerin steranlara dönüşümüne benzese de günümüzdeki araştırmalar bu dönüşümlerin oldukça karmaşık olduğunu ortaya koymaktadır (Freeman vd. 1990).

Triterpanlar, çökelme ortamı yorumlamaları ve korelasyon analizlerinde kullanılır. Steranlarda olduğu gibi, terpanların genel molekül yapısı da diyajenezden genellikle az etkilenir. Terpanlar, halka sayısına göre farklı alt gruplara ayrılır. Bisiklikler, mikrobiyal kökenli olarak kabul edilir ve sedimanlarda ve ham petrolde yaygın olarak bulunurlar (Peters vd. 2005).

Trisiklik terpanlar genellikle prokaryotlardan kaynaklanır ve petrol ve kayaç özütlerinin korelasyonunda sıkça kullanılır. C28 ve C29 trisiklikler, bu tür analizlerde özellikle dikkate alınır. Bazı trisiklik terpanlar, karasal ortam veya organik madde kaynağını belirlemeye yardımcı olabilir (Peters vd. 2005).

Tetrasiklik terpanlar, hopanlara göre daha dirençlidir ve bozunmaya karşı daha az etkilenir. Pentasiklik terpanlar, "hopanoid" ve "nonhopanoid" olarak iki gruba ayrılır. Hopanoidler, genellikle naftenik bir yapıya sahip olan hopanları içerir. Bu pentasiklik terpanlar, korelasyon çalışmalarında sıkça kullanılır.

Terpanlarla yapılan analizler genellikle m/z 191 kütle fragmentogramı üzerindeki piklerle gerçekleştirilir ve bu piklerin tanımlamaları çeşitli analizlerle elde edilir. Pik tanımlamaları Çizelge 2.12'da sunulmuştur.

**Çizelge 2.12.** m/z 191 iyon fragmentogramı triterpan pik tanımlamalar

| PİK | BİLEŞEN                                              |
|-----|------------------------------------------------------|
| 1   | C <sub>19</sub> Trisiklik Terpan                     |
| 2   | C <sub>20</sub> Trisiklik Terpan                     |
| 3   | C <sub>21</sub> Trisiklik Terpan                     |
| 4   | C <sub>22</sub> Trisiklik Terpan                     |
| 5   | C <sub>23</sub> Trisiklik Terpan                     |
| 6   | C <sub>24</sub> Trisiklik Terpan                     |
| 7   | C <sub>25</sub> (22S+22R) Trisiklik Terpan           |
| 8   | C <sub>24</sub> Tetrasiklik Hopan (Seco)             |
| 9   | C <sub>26</sub> 22(S) Trisiklik Terpan               |
| 10  | C <sub>26</sub> 22(R) Trisiklik Terpan               |
| 11R | C <sub>28</sub> Trisiklik Terpan (R)                 |
| 11S | C <sub>28</sub> Trisiklik Terpan (S)                 |
| 12R | C <sub>29</sub> Trisiklik Terpan (R)                 |
| 12S | C <sub>29</sub> Trisiklik Terpan (S)                 |
| 13  | C <sub>27</sub> 18α(H)-22,29,30-Trisnorneohopan (Ts) |
| 14  | C <sub>27</sub> 17α(H)-22,29,30-Trisnorhopan (Tm)    |
| 15  | 17α(H)-29,30-Bisnorhopan                             |
| 16  | C <sub>30</sub> Trisiklik Terpan                     |
| 17  | C <sub>28</sub> 17α(H),21β(H)- 28,30-Bisnorhopan     |
| 18  | C <sub>29</sub> 17α(H),21β(H)-30-Norhopan            |
| 19  | C <sub>29</sub> Ts (18α(H)-30-Norneohopan)           |
| 20  | C <sub>30</sub> * (17α(H)-Diahopan)                  |

**Çizelge 2.12.** Devamı

|    |                                                                                       |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 21 | C <sub>29</sub> 17 $\beta$ (H),21 $\alpha$ (H)-30-Normoretan                          |
| 22 | Oleanan                                                                               |
| 23 | C <sub>30</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)- Hopan                                 |
| 24 | C <sub>30</sub> 17 $\beta$ (H),21 $\alpha$ (H)-Moretan                                |
| 25 | C <sub>31</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30-Homohopan (22S)                     |
| 26 | C <sub>31</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30-Homohopan (22R)                     |
| 27 | Gamaseran                                                                             |
| 28 | Homomoretan                                                                           |
| 29 | C <sub>32</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31-Bishomohopan (22S)               |
| 30 | C <sub>32</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31-Bishomohopan (22R)               |
| 31 | C <sub>33</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32-Trishomohopan (22S)           |
| 32 | C <sub>33</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32-Trishomohopan (22R)           |
| 33 | C <sub>34</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32,33-Tetrakishomohopan (22S)    |
| 34 | C <sub>34</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32,33-Tetrakishomohopan (22R)    |
| 35 | C <sub>35</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32,33,34-Pentakishomohopan (22S) |
| 36 | C <sub>35</sub> 17 $\alpha$ (H),21 $\beta$ (H)-30,31,32,33,34-Pentakishomohopan (22R) |

Organik fasiyesi ve çökeltme ortamını belirlemek için çeşitli biyomarker parametreleri kullanılmaktadır.

C27-C28-C29-C30 Steranlar: Organik madde türüne bağlı olarak değişiklik gösteren ve en yaygın bulunan steranlar C27 (kolestan), C28 (ergostan) ve C29 (stigmastan) olarak tanımlanır. Bu üç steranın birbirine göre oranları paleoortam hakkında bilgi sağlar (Peters vd. 2005). C29 steranların baskın olması, yoğun karasal beslenimi gösterirken, C27 steranlarının baskın olması denizel fitoplanktonların varlığına işaret eder. C29 sterollerinin kahverengi ve yeşil alglerde bulunması, bu steranların pelajik ortamlarda da mevcut olduğunu gösterir (Huang ve Meinschein 1979). Bu üç steran arasında en nadir bulunanı C28'dir ve bu steranın görece bolluğu görsel alglerin varlığını işaret eder (Waples ve Machihara 1991; Peters vd. 2005). C30 steran ise denizel katkıyı işaret eder, ancak varlığı bunu kesin olarak kanıtlamaz (Volkman 1988).

Diasteran/Steran Oranı: Genellikle karbonat ve kırıntılı kaynak kayaları ayırt etmek için kullanılır. Düşük oranlar anoksik, kil açısından fakir karbonat kayayı işaret ederken, yüksek oranlar bol kil içeren kırıntılı kaynak kayayı gösterir (Peters vd. 2005). Olgunlaşma arttıkça düzenli steranlar diasteranlara dönüşürken, biyolojik bozunmada ise steranlar diasteranlara göre daha fazla bozunur. Diasteran/steran oranı, benzer termal olgunluk gösteren kaynak kaya örneklerinin çökeltme şartlarıyla ilişkilendirilmesi için kullanılır (Peters vd. 2005).

Steran/Hopan Oranı: Alg ve yüksek bitkilerin bakteriyel girdiye oranını gösterir. Steran/hopan oranı >1 olduğunda planktonik/bentik alglerden oluşan denizel organik maddeyi, <1 olduğunda ise karasal veya bakteriyel olarak işlenmiş organik maddeyi işaret eder (Tissot ve Welte 1984).

C29 (norhopan)/C30 Hopan Oranı: Bu oran yaygın bir ortamsal belirleyici olarak kullanılmamaktadır. Brooks (1986), yüksek C29 hopan bileşiminin oleanan ve bisnorhopan bileşimli örneklerde meydana gelebileceğini ve her ikisinin de karasal özellikleri işaret ettiğini belirtmiştir. C29/C30 hopan oranı  $>1$  olduğunda anoksik koşullarda marn ve karbonatları,  $<1$  olduğunda ise kırıntılı kaynak kayayı işaret eder (Riva vd. 1989; Waples ve Machihara 1991; Peters vd. 2005).

Homohopan Dağılımları: Paleoortam yorumlamalarında sıkça kullanılan homohopan dağılımları, örnekten örneğe önemli farklılıklar gösterir. C35 homohopanların yüksek seviyeleri, karbonat ve evaporitlerle ilişkilendirilmiştir (Connan vd. 1986). C31'den C35'e kadar olan pik yüksekliklerindeki düzenli bir azalma genellikle kırıntılı fasiyesleri işaret eder. C35/C34 oranı, karbonatlılık derecesini ölçmekte kullanılır; yüksek değerler, çökelim süresince yüksek indirgeyici koşullarla ilişkilidir (Peters ve Moldowan 1991). Homohopan indeksi (C35/C31-C35), homohopan dağılımlarının yorumlanmasında kullanılır. Yüksek bir oran, bazı denizel evaporitler ve karbonatların çökelme ortamını yansıtır (Peters ve Moldowan 1991). C31 ve C32'nin baskın olduğu durumlarda düşük homohopan indeksi suboksik bir ortamı işaret eder (Hunt 1995).

*17 $\alpha$ -Diahopan / 18 $\alpha$ -30-Norneohopan (C30/C29 Ts) Oranı:* \* Biyodegradasyona karşı direnci nedeniyle biyolojik bozunmanın olduğu durumları belirlemek için kullanılabilir. Yüksek bir oran, kil içeren oksik-suboksik bir depolama ortamını ve bakteriyel katkıyı gösterir (Peters vd. 2005). C30\*, karasal kaynaklı petrol ve kömürde bulunur.

Oleanan İndeksi: Kretase veya daha genç yaşlı ortamlarda, özellikle angiospermlerden türediği düşünülen reçinelerden bol miktarda bulunur (Ekweozor ve Udo 1988; Riva vd. 1988). Oleanan, ham petrol ve kayaç özütlerinde hem kaynak girdisi hem de yaş belirteci olarak kullanılır. Ancak genellikle yaş belirlenmesinden ziyade karasal organik madde girdisi olarak yorumlanır. Oleanan indeksi, oleanan/C30 hopan oranını ifade eder. Yüksek bir değer (%30'dan fazla), güçlü bir karasal organik madde girdisini, düşük bir değer (%10'dan az), önemsiz bir karasal girdiyi gösterir (Hunt 1995).

Gamaseran İndeksi: Yüksek tuzluluk içeren göl ve deniz sedimanları için karakteristik olan bu indeks, depolama ortamı parametresi olarak kullanılır (Hunt 1995; Waples ve Machihara 1991; Peters ve Moldowan 1993). Yüksek değer, ortamın yüksek indirgeyici ve hipersalin özelliklerini çökelti boyunca yansıtır, ancak düşük değer bu özelliklerin olmadığını göstermez. Farklı kaynak kaya veya bitümlerin korelasyonunda kullanılan gamaseran indeksi;  $10 \times \text{gamaseran} / (\text{gamaseran} + \text{hopan})$ , gamaseran/C31 22R hopan ve en yaygın olarak kullanılan gamaseran/17 $\alpha$ -hopan olarak hesaplanır (Peters vd. 2005).

Tm (C27 17 $\alpha$ (H)-22,29,30-Trisnorhopan) / Ts (C27 18 $\alpha$ (H)-22,29,30 Trisnorhopan) Oranı: Bu oran, yalnızca olgunlaşma değil, aynı zamanda diyajenetik koşulların da etkisi altındadır. Tm/Ts oranlarının litoloji ile kesin bir ilişki kurulamaması ve oksijen içeren sedimanlarda, anoksik olanlara kıyasla daha yüksek olma eğiliminde olması gibi belirsizlikler, Tm/Ts oranlarıyla yapılan paleoortam yorumlarını zorlaştırmaktadır (Moldowan vd. 1986).

22S/(22S+22R) Homohopan İzomerizasyonu: Olgunlaşmamış-erken olgun oluşumlar için kullanılan bir parametredir. Bu izomerizasyon, C31-C35 17 $\alpha$ -Hopanların C-22 pozisyonunda meydana gelir ve R steranlarda C-20 izomerizasyonu gibi birçok biyomarker reaksiyonlarından önce gerçekleşir (Ensminger vd. 1977). Hopanlar termal stres altında 22R ve 22S diastereomerlerin karışımına dönüşerek 22R konfigürasyonuna sahip olurlar (Waples ve Machihara 1991; Hunt 1995; Peters vd. 2005).

Genellikle C31 veya C32 homohopan sonuçları kullanılarak hesaplanan 22S/(22S+22R) oranı, olgunlaşma arttıkça 0'dan yaklaşık 0,6'ya kadar yükselir ve 0,57 ile 0,62 aralığında bir dengeye ulaşır (Seifert ve Moldowan 1980). Örneklerde 0,50 ile 0,54 arasındaki 22S/(22S+22R) oranı nadiren petrol oluşumuna işaret ederken, 0,57 ile 0,62 arasındaki değerler petrol oluşumunun esas fazına ulaşıldığını gösterir. Bazı petroler ise çok az termal strese maruz kaldıkları için 0,50'nin altında bir değer verebilir. Litoloji gibi temel etmenler, 17 $\alpha$ -homohopan izomerizasyonunun oranını etkileyebilir (Moldowan vd. 1992).

Hipersalin koşullar altında oluşan olgunlaşmamış kayaçlardaki bitümler, genellikle olgunlaşmamış hopan emaresi gösterir. Bu bitümler, olgunlaşmamış (%50) ve olgunlaşmış (%60 22S) örneklerin C-22 diziliminde tamamen izomerize olmuş genişletilmiş 17 $\alpha$  21 $\beta$  (H) homohopanları ve 17 $\alpha$  21 $\beta$  (H) hopanları gösterir. Hipersalin ortamlarda hopanların farklı diyajenetik işaretleri bu çelişkiyi açıklayabilir. Erken petrol oluşum basamağında dengeye ulaştıktan sonra, 22S/(22S+22R) oranı sabit kalır ve başka bir olgunlaşma bilgisine ihtiyaç duyulmaz. Ancak 22S/(22S+22R) oranına karşı Ro veya diğer olgunlaşma/oluşum parametrelerinin grafiğindeki sapma noktası, havzadaki belirli kaynak kayada petrol oluşum başlangıcını bu parametrelerle kalibre edebilir.

Moretan/Hopan oranı, genellikle olgunlaşmamış-erken olgun petrol oluşumu için tipik bir parametredir. Bu oranın belirlenmesinde C29 veya C30 homologları kullanılır. 17 $\beta$ , 21 $\alpha$  (H)-moretanlar, 17 $\alpha$ , 21 $\beta$  (H)-hopanlara göre daha az stabil olduğu için, C29 ve C30 moretanların ilgili hopanlara oranı termal olgunlaşma ile azalır.  $\beta\beta$ -hopanlar,  $\beta\alpha$ -moretanlara ve  $\alpha\beta$ -hopanlara dönüşür (Seifert ve Moldowan 1980).

$\beta\alpha$ -moretanın  $\alpha\beta$ -hopana oranı termal olgunlaşmaya bağlı olarak, olgunlaşmamış bitümlerde yaklaşık 0,8'den, olgunlaşmış kaynak kaya ve petrolde <0,15'e (minimum 0,05) kadar düşer (Mackenzie vd. 1980; Seifert ve Moldowan 1980). C30 bileşeni Moretan/Hopan oranı için daha çok kullanılır ancak bu oran C29 bileşeni kullanılarak da belirlenebilir (Seifert ve Moldowan 1980). Bazı araştırmacılar bu oranı belirlemek için hem C29 hem de C30'u kullanmışlardır (Mackenzie vd. 1980). Moretan/Hopan oranı kısmen kaynak girdiye veya çökelim ortamına bağlı olarak değişebilir.

Ts/(Ts+Tm) oranı, C27 hopanların göreceli stabilitesine ve termal olgunlaşma parametrelerine dayanan bir değerdir. Bu oran, C27 17 $\alpha$ -trisnorhopan (Tm veya 17 $\alpha$ -22,29,30-trisnorhopan) ile C27 18 $\alpha$ -trisnorhopan (Ts veya 18 $\alpha$ -22,29,30-trisnorhopan) arasındaki göreceli stabiliteyi yansıtarak olgunlaşma seviyesini belirler. Ts, Tm'ye göre daha az stabil olduğu için, Ts/(Ts+Tm) oranı termal olgunlaşmaya karşı bir gösterge olarak kullanılır (Seifert ve Moldowan 1978).

Tm'nin Ts'ye dönüşüp dönüşmediği bilinmemekle birlikte, Ts/(Ts+Tm) oranının kaynağa ve olgunlaşmaya bağlı olarak değişebileceği bilinmektedir (Moldowan vd.

1986). Ayrıca,  $Ts/(Ts+Tm)$  oranı kil katalizli reaksiyonlara karşı hassasiyet gösterebilir. Birçok hipersalin kaynak kayasındaki bitümler genellikle yüksek  $Ts/(Ts+Tm)$  oranı sergiler (Fan Pu vd. 1987; Rullkötter ve Marzi 1988).

**C29 Ts/ (C29 Hopan + C29 Ts) Oranı:** Bu oran, belirli bir olgunlaşma aralığını tanımlamak için kullanılmakla birlikte, bu aralığın kesin sınırlarının belirlenmediği bilinmektedir. C29 17 $\alpha$ -hopanın hemen ardından gelen 18 $\alpha$ -30-norneohopan (C29 Ts), uzun süre boyunca C29 terpan ve C29X bileşeni olarak adlandırılmıştır ve birçok araştırma, bu bileşiğin miktarının termal olgunlaşma ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Hughes vd. 1985; Cornford vd. 1988; Riediger vd. 1990). C29 Ts/ (C29 Hopan + C29 Ts) oranı,  $Ts/(Ts + Tm)$  oranı ile karşılaştırılabilir, ancak aralarında çok az fark bulunmaktadır.

**20S/ (20S + 20R) İzomerizasyonu:** Bu izomerizasyon, olgunlaşmamış-olgun aralığı için son derece hassas bir parametredir. C29 steranlar, m/z 217 kullanılarak veya tercihe göre GC-MS/MS analiziyle ölçülerek hesaplanır ve genellikle %20S ve 20S/20R olarak adlandırılır. Bu parametre, biyomarker dönüşümünü gömülme sıcaklığı ve bu sıcaklığa maruz kalma süresi tarafından kontrol edilir ve dolayısıyla olgunlaşma hakkında bilgi sağlar. Canlı organizmalardaki steroidlerde yalnızca R konfigürasyonu meydana gelir. 20S/(20S + 20R) oranı, C-20 pozisyonundaki C29 5 $\alpha$ ,14 $\alpha$ ,17 $\alpha$ (H)-steran izomerizasyonu ile termal olgunlaşmaya bağlı olarak 0'dan yaklaşık 0,5'e kadar bir artış gösterir ve 0,52-0,55 aralığında dengeye ulaşır. Bu, olgunluğun artmasıyla 20R'in 20S'ye dönüştüğünü ve nihayetinde %55 20S ve %45 20R'ye ulaşıldığını gösterir (Mackenzie vd. 1980; Spiro 1984; Seifert ve Moldowan 1981, 1986; Waples ve Machihara 1991; Peters ve Moldowan 1993). Günümüzde petrol oluşumunun başlangıcı, en iyi şekilde hopan epimer oranları veya porfirin olgunlaşma parametreleri kullanılarak hesaplanır. Organik fasiyesteki farklılıklar, aşınma ve bozunma gibi diğer faktörler steran izomerizasyon oranını etkileyebilir.

**$\beta\beta/ (\beta\beta + \alpha\alpha)$  İzomerizasyonu:** Olgunlaşmamış-olgun aralığı için belirgin özellikler gösteren ve genellikle % $\beta\beta$  olarak adlandırılan bir parametredir. C29 20S ve 20R düzenli steranlarda C-14 ve C-17 pozisyonundaki izomerizasyon,  $\beta\beta/ (\beta\beta + \alpha\alpha)$  oranında artan olgunlaşmaya bağlı olarak yaklaşık 0'dan 0,7'ye kadar bir artış gösterir ve 0,67-0,71 aralığında dengeye ulaşır (Seifert ve Moldowan 1986). Bu oran, organik madde girdisinden bağımsız olarak gözlemlenebilir ve kısmen 20S/ (20S + 20R) oranından daha yavaş bir dengeye ulaşır. Bu nedenle, yüksek olgunlaşma düzeylerinde etkilidir.  $\beta\beta/ (\beta\beta + \alpha\alpha)$  ile 20S/ (20S + 20R) diyagramı, petrol veya kaynak kayanın termal olgunlaşmasını tanımlamak için kullanılan etkili bir veridir (Seifert ve Moldowan 1986). Diyagram aynı zamanda bir olgunlaşma parametresini diğerine karşı kontrol etmek için de kullanılabilir. Ayrıca, yeraltında farklı sıcaklık değerlerinde (Mackenzie ve McKenzie 1983) veya farklı kil kataliz düzeylerinde (Huang vd. 1990) olan örnekleri gösterebilir.

Steranların erken diyajenezde olduğu hipersalin ortamlarda belirtilmiştir (Ten Haven vd. 1986). Bu sedimanlarda bol miktarda bulunan  $\beta\beta$  steranların, sülfürle reaksiyona girerek olduğu öne sürülmektedir.  $\alpha\alpha\alpha$  kolestan, C-20 pozisyonunda çok az izomerizasyon gösterir, ancak  $\alpha\beta\beta$  20R ve 20S steranları önemli miktarda oluşur. Bu nedenle, bu ortamlardaki  $\beta\beta$  steranlar katajenez aşamasında oluşmayabilir (Schmid 1986). Kaynak kaya mineral matriksi, her iki C29 olgunlaşma parametresini de etkiler (McKirdy vd. 1983).

Diasteran/steran oranı, erken olgunlaşmadan aşırı olgunlaşma başlangıcına kadar spesifik bir parametredir ve kısmen çökelme ortamına bağlıdır. Termal olgunlaşma, litoloji ve kaynak kaya çökelme ortamının redoks koşulları, diasteran/steran oranını etkiler. Sonuç olarak, bu oran, benzer kaynak kaya organik fasiyesinden oluşan bitüm veya petrol karşılaştırıldığında kullanılabilir. Asidik killerle kataliz, sedimanlardaki steranları açıklayan bir mekanizma olarak önerilmiştir (Rubinstein vd. 1975). Asidik killerle kataliz, diasteranların öncüsü olan steranları diasteranlara dönüştürmek için gereklidir (Kirk ve Shaw 1975). Karbonatlarda düşük diasteranlar, depolama sürecinde düşük Eh (anoksik) sunan organik maddece zengin karbonat kayalarını içerir (McKirdy vd. 1983; Rullkötter vd. 1985). Alternatif olarak, aşırı olgunlaşma aşamasındaki ısınma, biyomarkerların bozunmasına neden olur ve bu nedenle diasteran/steran oranı artar. Bu da yüksek sıcaklık koşullarında diasteranların daha dayanıklı olduğunu gösterir. Diasteran/steran oranı uygulanırken dikkatli olunmalıdır, çünkü laboratuvarlardaki analiz teknikleri ve kullanılan GC-MS metoduna göre farklılıklar gösterebilir. 13 $\beta$ , 17 $\alpha$ (H) 20S+20R izomerleri, petrol ve kayalarda başlıca steranlardır (Ensminger vd. 1978).

Ayrıca Karbon Tercih İndeksi (CPI) ve Tek-Çift Baskınlığı (OEP) kömürlerde ve diğer sedimanter organik maddelerde, n-alkanların (düz zincirli alkanlar) termal olgunluk ve biyolojik kaynaklarını belirlemede kullanılan bir göstergedir. CPI, tek karbon sayılı n-alkanların çift karbon sayılı n-alkanlara oranını ifade eder. Kömürlerde CPI değeri genellikle Termal Olgunluk, Biyolojik Kaynak ve Biyodegradasyonu belirler (Bray ve Evans 1961; Scalan ve Smith 1970; Peters vd. 2005).

#### **Termal Olgunluk:**

- CPI ve OEP değeri 1'den büyükse, bu genellikle düşük termal olgunluğa işaret eder. Bu durum, kömürün henüz yeterince ısısal olgunluğa erişmediği anlamına gelir.
- CPI ve OEP değeri 1'e yaklaştığında, bu genellikle kömürün olgunlaştığını gösterir. Ancak, bu her zaman kesin bir olgunlaşma göstergesi değildir ve diğer analizlerle desteklenmelidir.
- CPI ve OEP değerinin 1'den küçük olması çok nadir görülür ve bu durum genellikle karbonat veya çok tuzlu ortamlarla ilişkilidir (Peters vd. 2005; Tissot ve Welte 1984).

#### **Biyolojik Kaynak:**

- Yüksek CPI veya OEP değerleri (>1), karasal bitki girdisinin yüksek olduğunu ve bu bitkilerin kömürü oluşturduğunu gösterebilir. Bu tür organik madde genellikle olgunlaşmamış olarak kabul edilir.
- Düşük CPI ve OEP değerleri (<1), denizel veya mikrobiyal kökenli organik maddeyi işaret edebilir ve bu durum genellikle daha olgun kömürlerle ilişkilendirilir (Peters and Moldowan 1993; Philip 1985; Powell ve Boreham 1994; Yalçın Erik ve Sancar 2010).

**Biyodegradasyon:**

- CPI ve OEP değerleri, kömürün biyolojik bozunma süreçlerinden nasıl etkilendiği hakkında da bilgi verir. Tek karbon sayılı n-alkanların çift karbon sayılı n-alkanlara oranının yüksek olması, biyodegradasyonun etkisini gösterebilir (Peters and Moldowan 1993; Philip 1985; Powell ve Boreham 1994; Yalçın Erik ve Sancar 2010).

**2.4. KÖMÜRLERDE MİNERAL MADDE**

Kömür, organik ve inorganik bileşenlerin çeşitli oranlardaki karışımından oluşan ve az miktarda su ve gaz içeren bir sedimanter kayadır. Bir fosil yakıtın kömür olarak nitelendirilebilmesi için, içerdiği mineral maddelerin miktarının ağırlıkça %50'nin altında olması gerekmektedir. Mineral madde, kömürdeki inorganik minerallerin ve elementlerin toplamını ifade eder (Ward 2002).

Kömürde bulunan inorganik bileşenlerin miktarı ve türü, kömürün kalitesi, jeolojik özellikleri ve kimyasal özellikleri açısından büyük öneme sahiptir. Kömür içerisinde tespit edilen 120 farklı mineral çeşidi bulunmaktadır. Bu mineraller arasında sülfidler, sülfatlar, karbonatlar, klorürler, silikatlar, oksitler, hidroksitler ve fosfatlar gibi çeşitli mineral grupları yer almaktadır. Bu minerallerin bolluk dereceleri, Çizelge 2.13'de ayrıntılı olarak sunulmuştur (Harvey ve Demir1991).

**Çizelge 2.13.** Kömürlerde, bolluk sıralamasına göre bulunan belirli mineraller (Orem ve Finkelman 2003, Ünal 2010'dan uyarlanmıştır)

|  | Bol Bulunanlar                                                                                                                | Az Bulunanlar | Çok Az Bulunanlar                                                                                                                      |
|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                                                                                               |               |                                                                                                                                        |
|  | <b>Kuvars (SiO<sub>2</sub>)</b>                                                                                               |               | <b>Dolomit CaMg (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></b>                                                                                       |
|  | Kaolinit (Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> )                                                  |               | Feldispatlar KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> – NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> – CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> |
|  | İllit (K, Al, silikat)                                                                                                        |               | Galen (PbS)                                                                                                                            |
|  | Montmorillonit (Na,Ca) <sub>3</sub> (Al,Mg) <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> .nH <sub>2</sub> O |               | Markasit (FeS <sub>2</sub> ) (rombik)                                                                                                  |
|  | Klorit (Mg,Fe) <sub>5</sub> Al(Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>                                           |               | Monazitler (REE, Th) PO <sub>4</sub>                                                                                                   |
|  | Pirit (FeS <sub>2</sub> )(kübik)                                                                                              |               | Rutil / Anataz (TiO <sub>2</sub> )                                                                                                     |
|  | Kalsit(CaCO <sub>3</sub> )                                                                                                    |               | Sfalerit (Zn, Fe)S                                                                                                                     |
|  | Siderit (Fe, Mn)CO <sub>3</sub>                                                                                               |               | Zenotim (Y, Yb) PO <sub>4</sub>                                                                                                        |
|  | Analsim NaAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> .(H <sub>2</sub> O)                                                                |               | Zirkon (ZrSiO <sub>4</sub> )                                                                                                           |
|  | Apatit Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)                                                              |               | Kromit (Fe <sub>2</sub> +Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )                                                                              |
|  | Barit (BaSO <sub>4</sub> )                                                                                                    |               | Jipsit Al(OH) <sub>3</sub>                                                                                                             |
|  | Kalkopirit (CuFeS <sub>2</sub> )                                                                                              |               | Altın (Au)                                                                                                                             |
|  | Klostalit (PbSe)                                                                                                              |               | Jips (CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O)                                                                                            |
|  | Krandalitler (Ca, Ba, Sr)Al <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> .H <sub>2</sub> O                  |               | Halit (NaCl)                                                                                                                           |
|  | -Krandalit CaAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> .(H <sub>2</sub> O)                            |               | Manyetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )                                                                                             |
|  | -Gorseksit BaAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> )(PO <sub>3</sub> OH)(OH) <sub>6</sub>                                          |               | Muskovit KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH,F) <sub>2</sub>                                                      |
|  | -Goyazit SrAl <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> .(H <sub>2</sub> O)                              |               |                                                                                                                                        |

Kömürde belirlenen mineral bileşenler, genellikle çökelme ortamına su veya rüzgar aracılığıyla dışarıdan taşınan detritik minerallerden (kuvars, feldispat, kil vb.) ve

organik madde ile birlikte depolanan detritik minerallerden oluşur. Turba ortamında gelişen bu minerallere ek olarak, volkanik aktivite sırasında ortama karışan ve çözelti halindeki mineral maddelerin su içinde kristalleşerek çökmesi sonucu oluşan otijenik mineraller de kömürlerde bulunabilir. Bu mineral türleri genellikle sinjenetik ve epijenetik olarak sınıflandırılır (Tissot ve Welte 1984).

Kömürleşme sürecinde meydana gelen diyajenetik süreçler sonucu genellikle sinjenetik olarak oluşan mineraller arasında pirit framboidleri, siderit yumruları ve kristalin veya kristalin olmayan biyolojik materyalin (fitofil, sünger spikülleri vb.) hücrelerinde ve hücre aralarında bulunan kaolinit, kuvars, fosfat ve pirit yer alır (Andrejko ve Cohen 1984; Raymond vd. 1990). Kömürleşme sonrasında, kırıklar ve çatlaklarda gelişen mineraller arasında ise kalsit, dolomit, ankerit, siderit, pirit, markazit, apatit, dowsonit, illit ve klorit gibi epijenetik mineraller bulunabilir (Tissot ve Welte 1984).

Ferromagnezyen mineraller (piroksenler, amfiboller ve olivinler) kömür içinde oldukça nadir bulunur ve feldispatlar da yaygın değildir. Bu mineraller, genellikle düşük pH'lı turba ve bataklık ortamlarında dayanıklı değildir ve kömürleşmenin erken aşamalarında bozunurlar. Bununla birlikte, daha iyi korunan aksesuar mineraller (rutil, zirkon vb.) kömür içinde göreceli olarak daha yaygındır (Tissot ve Welte 1984).

Ferromagnezyen minerallerin asidik bataklık sularında çözünmesi, Ni, Cu, Co, Cr, Pb gibi metallerin ayrışmasına neden olur. Bataklık ortamındaki anoksik koşullar ve bitki materyalinin bozunması, bol miktarda kükürtün serbest kalmasına ve sülfid minerallerinin oluşmasına olanak tanır. Kömür içinde en yaygın sülfid minerali pirit'tir. Sinjenetik pirit genellikle framboidal bir yapıya sahiptir ve az miktarda kalkofil element (As, Hg, Pb, Se, Cd, Tl) içerir. Piritin sonradan oluşumu ise genellikle yüksek konsantrasyonlu minör elementleri içerir. Bu durum özellikle epijenetik piritin geç aşamalarında geçerlidir. Diğer sülfid mineralleri arasında kömürde diyajenetik bir ürün olan kalkopirit, sfalerit, galen, kurşun selenit ve klostalit yer alır. Aksesuar sülfid mineralleri küçük olabilir ancak önemsiz değildir; genellikle çevresel olarak zararlı elementler içerirler (As, Hg, Pb, Se, Cd, Ta). Bu elementlerin oksidasyon, liçleme veya ısı ile serbest bırakılması bazen olumsuz çevresel etkilere neden olabilir (Tissot ve Welte 1984).

Killer, hacimsel olarak kömürde en yaygın bulunan mineral grubunu oluşturur. Bu killer, otijenik veya detritik kökenli olabilir. Kömürde en yaygın otijenik mineral olan kaolinit, bu killer arasında en fazla bulunanıdır. İllit ve karışık katmanlı killer genellikle detritik kökenlidir. Klorit, smektit ve diğer kil mineralleri ise yerel olarak değişen bolluklarda bulunabilir. Birçok kömürde en sık rastlanan minerallerden biri de kuvarstır. Kuvars, detritik, otijenik veya epijenetik kökenli olabilir. Karbonat mineralleri genellikle sinjenetik nodüller (kalsit, siderit) veya epijenetik çatlak ve kama dolguları olarak ortaya çıkar. Karbonat mineralleri, sülfid minerallerinin oksidasyon sürecinde sülfürik asit üretimini nötralize ederek faydalı bir etki yaratır (Tissot ve Welte 1984).

## 2.5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

**Özgül (1976):** Batı Toroslar'daki jeolojik araştırmalarda, Kambriyen-Tersiyer arasında çökelmiş kaya birimlerini örten bir kuşağın bulunduğu ve bu kuşakta farklı havza koşullarını yansıtan "birliklerin" bulunduğu ifade edilmektedir. Yazar, bu birlikleri

Bolkardağı Birliği, Aladağ Birliği, Geyikdağ Birliği, Alanya Birliği, Bozkır Birliği ve Antalya Birliği olarak adlandırmış ve bu birliklerin stratigrafi ve metamorfizma özellikleri, litolojik özellikleri ve yapısal konumlarıyla birbirlerinden ayrıldığını belirtmiştir. Çalışmada bu birliklerin kuşak boyunca yüzlerce kilometre boyunca anormal dokanıklık gösterdiği, çoğunlukla birbirleri üzerinde alokton örtüler oluşturdukları, Bolkardağı, Aladağ, Geyikdağ ve Alanya birliklerinin şelf türü karbonat ve kırıntılı kayaları içerdiği, Bozkır ve Antalya birliklerinin ise daha çok derin deniz çökellerini, ofiyolitleri ve bazik denizaltı volkanitlerini kapsadığı açıklanmıştır.

**Şenel (1985):** Kumluca (Antalya Güneybatısı) bölgesinin kuzeyinde, Jura-Kretase yaşlı tabakalı çörtlere, Halobia ve Daonella fosilleri bulunarak yaşının Orta Üst Triyas olduğu belirlenmiştir. Yılmaz'ın (1981) Kumluca kompleksinde yaptığı araştırmalarda, Halobia'lı kireçtaşı ile tabakalı çört arasında resif bloklu marnların bulunmadığı, aksine Halobia'lı kireçtaşının resif bloklu marnlar olmaksızın tabakalı çörtlere geçtiği tespit edilmiştir. Bu birim, Orta-Üst Triyas (Ladiniyen-Noriyen) yaşlı Alakırçay grubunun yanal uzanımı olarak kabul edilirken, tabakalı çörtlerin yaşının da Orta-Üst Triyas (Ladiniyen-Noriyen) olduğu belirtilmektedir.

**Altunsoy (1990):** Isparta'nın güneyinde bulunan Yazır Formasyonu, genellikle karbonatlardan oluşan ve Alt Miyosen yaşında olan bir formasyon olarak tanımlanmıştır. Formasyon içindeki organik madde yoğunluğu yüksek bölgelerde hidrokarbon sızıntıları gözlemlenmiştir. Denizel organik madde içeren birimlerdeki vitrinit yansıma değerinin 0.12 ila 0.44 arasında değiştiği ve diyajenez aşamasında olduğu belirlenmiştir. Yapılan organik petrografik ve organik jeokimyasal analizlerde, formasyonun bazı kesimlerinde petrol oluşma potansiyeli olduğu vurgulanmıştır.

**Demirel vd. (2001):** Batı Toroslar'da bulunan Mesozoyik karbonatların petrol kaynak kaya potansiyeli üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Beydağ ve Kuyubaşı Formasyonları'na ait Jura-Kretase yaşındaki kayalardan alınan kuyu örnekleri üzerinden yapılan organik jeokimyasal değerlendirmeler, Beydağı Formasyonu'nun petrol oluşturma kapasitesine sahip olduğunu, Kuyubaşı Formasyonu'nun ise düşük köken zenginliğine sahip olduğunu ortaya koymuştur.

**Demirel vd. (2002):** Elmalı Napları ve Beydağları Karbonat Platformu'na ait birimlerde hidrokarbon kaynak kaya değerlendirmeleri yapılmıştır. İncelemeler, Elmalı Naplarına ait olan Alt-Orta Eosen yaşındaki Yavuz Grubu ve Akitanıyen-Burdigaliyen yaşındaki Sinekçi Formasyonu'nda gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, bu birimlerin termal olgunlaşmasının Orta Miyosen döneminde gelişen tektonik gömülme sonucunda olduğu, egemen organik maddenin III. Tip kerojenlerden oluştuğu ve düşük hidrokarbon türüm potansiyeline sahip olduklarını belirlemiştir.

**Şenel (2004):** Güneybatı Türkiye'de, Likya Napları ile Beydağları Otoktonu arasında devam eden uzun mesafeli bir yapıda, karakteristik bir ara zon olarak Yeşilbarak Napı'nın bulunduğu ifade edilmiştir. Genellikle türbiditik karakterde olan Yeşilbarak Napı, Üst Lütisyen-Alt Miyosen yaşları arasındaki kırıntılı sedimanlardan oluşur ve Gömbe ile Yavuz birimlerini içerir. Yeşilbarak Napı'nın bu yapısal birimler içinde Gömbe birimi genellikle altta, Yavuz birimi ise genellikle üstte yer alır ve birçok bölgede devrik bir konumda bulunur. Gömbe biriminin tabanında, Üst Kretase yaşlı neritik karbonatları içeren Gebeler Formasyonu'nun izlendiği gözlemlenmiştir. Bu birim sırasıyla Üst

Lütisyen-Al Miyosen yaşlı kireçtaşı ara seviyeli kumtaşları, silttaşları ve kilttaşları içeren Elmalı Formasyonu ile Üst Burdigaliyen-Alt yaşlı Langiyen yaşlı kireçtaşı bantları ve mercekli kumtaşları ile konglomeraları içeren Uçarsu Formasyonu'nu kapsar.

**Hoşgörmez (2007):** Olimpos Dağı'nın, Antalya İli'nin güneybatısında, özellikle Çıralı bölgesinde bulunduğu ve yaklaşık 2500 yıl önce ofiyolitlerden gaz sızıntılarının başladığı, bu durumun iyi bilinen bir gerçek olduğu ifade edilmiştir. Bu bölgede, geniş allokon levhaları içeren ve Tekirova Ofiyolitleri olarak adlandırılan oluşumların bulunduğu belirtilmiştir. Çıralı gazının, ofiyolitlerdeki fay zonları boyunca hareket ettiği ve bu hareketin, ofiyolit levhalarının karbonat platformları tarafından yapısal olarak sınırlandırıldığı tespit edilmiştir.

**Bozkaya ve Yalçın (2009):** Toros Kuşağı'nın güneybatı bölümlerinde bulunan Antalya Birliği içindeki Alakırçay Napı'nın Triyas yaşlı Karadere Formasyonu'nun genellikle spilitik bazalt, kısmen aglomera ve tüflerden meydana geldiği belirlenmiştir. Sil veya mercekler biçiminde yerleşen yastık yapılı volkanik kayaların, açılmalı basenlerdeki riftleşme ile ilişkili deniz altı volkanizmasıyla oluştuğu ifade edilmiştir. Volkanik kayaların matriks ve boşluklarında fillosilikat, zeolit, Fe mineralleri, spinel, kuvars, feldspat ve kalsit geliştiği belirlenmiştir. Bu minerallerin kökeninin başlıca volkanik cam ve deniz suyu arasındaki etkileşim, oluşumunun neoformasyon veya transformasyon, evriminin ise diyajenez/çok düşük dereceli metamorfizma ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Dokusal özellikler, mineral birliktelikleri ve Na içeren minerallerin bolluğu, sıcak volkanojenik malzeme-soğuk deniz suyu arasındaki etkileşim, denizaltı volkanizmasının petrografik-mineralojik kayıtları olarak değerlendirilmiştir.

**Bozkaya ve Yalçın (2010):** Tahtalıdağ Napı, Paleozoyik-Alt Mesozoyik birimlerini içererek Kambriyen Çaltepe (baritli kristalize dolomit), Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen Seydişehir (metasiltası, sleyt), Ordovisiyen Saryardere (metaşeyl, sleyt), Silüryen Sapandere (kumtaşı, dolomit, şeyl), Devoniyen Hocaninsuyu (kumtaşı, siltası, şeyl), Permien Pamucakyayla (kumtaşı, şeyl, kömür), ve Dinek (kireçtaşı, şeyl), ile Triyas Kesmeköprü (marn, kireçtaşı, kiltası) formasyonlarını temsil etmektedir. Alakırçay Napının ise Triyas yaşlı Tesbihli (radyolarit, çört, şeyl, ender kireçtaşı), Gökdere (kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, marn), Çandır (Kumtaşı, şeyl), ve Karadere (bazalt, spilit, ender çört ve şeyl) formasyonlarından oluştuğu ifade edilmiştir.

**Özçelik vd. (2009):** İnceleme alanının kuzeyindeki Korkuteli (Antalya) ve Bucak (Burdur) yöresinde yer alan Alt Miyosen yaşlı birimler üzerinde gerçekleştirilen organofasiyes çalışmalarında, Karabayır Formasyonu'nun bazı seviyelerinin organik içerik bakımından zengin olduğu belirlenmiştir. Genel olarak formasyonun organik olgunluğa ulaşmadığı, ancak bazı düzeylerinde yeterli ısısal olgunluğa sahip olduğu, bu nedenle petrol üretebilecek potansiyele sahip olduğu vurgulanmıştır.

**Varol vd. (2011):** Çürükdağ'daki araştırmalarda, bölgede bulunan Permien-Triyas birimlerindeki fasiyes değişimlerini inceleyen araştırmacılar, bu birimler içinde yer alan piritleşmiş çamurtaşlarının nodüler platform kireçtaşları içinde mercekler şeklinde yer aldığını belirtmişlerdir. Ayrıca, toplam kaya hacminin %50-60 kadarını kil mineralleri ile illit-vermikülit'in oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

**Kershaw vd. (2011):** Çükürdağ yöresinde yapılan araştırmada, Alt Triyas mikrobiolitleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu mikrobiolitlerin, oolit, pellet ve biyoklastların bir araya gelerek tanetaşları oluşturduğu belirlenmiş, ayrıca bu oluşumların Alt Triyas yaşlı şeyller tarafından örtüldüğü ifade edilmiştir.

**Güllüdağ (2012):** Yüksek Lisans Tez çalışmasında, Pamucakyayla yöresindeki karbonifer çökellerinin organik fasiyes özellikleri detaylı bir şekilde araştırılarak, kömürlerin element bileşimleri ve organik jeokimyasal özellikleri incelenmiştir.

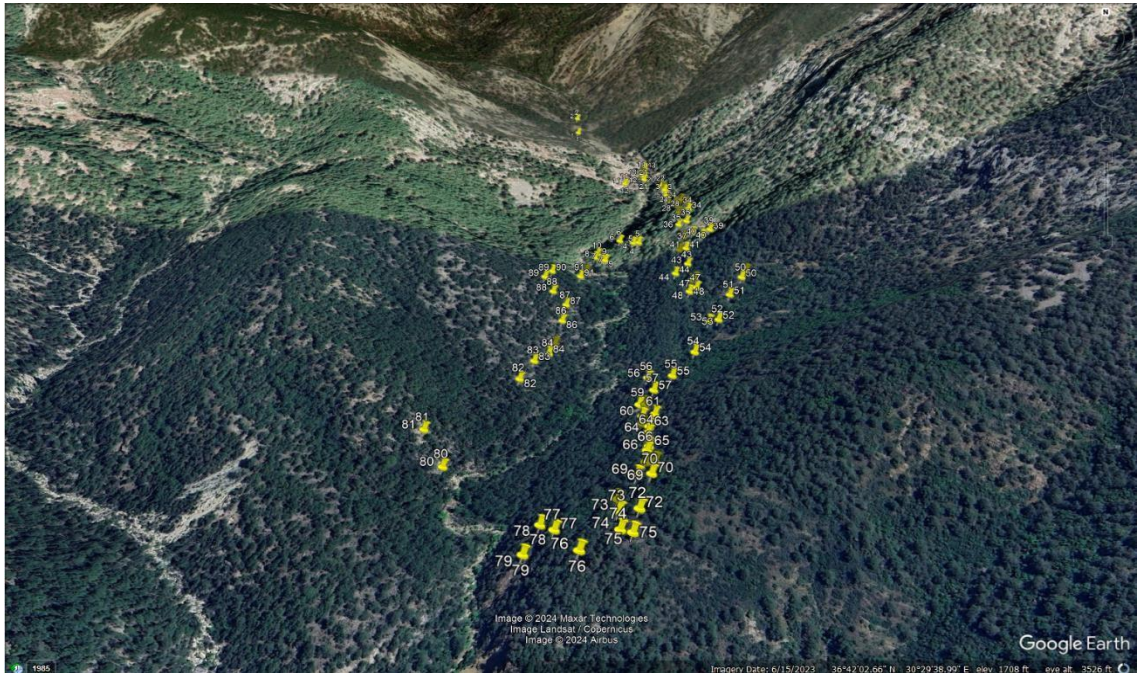


### 3. MATERYAL VE METOT

Göynük Saha'sında (Pamucakyayla Formasyonu) yürütülen bu doktora tez çalışmasında kömür/kömürlü birimlerde yapılan incelemeler, arazi ve laboratuvar çalışmaları olarak iki bölümde gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları ile bölgenin jeolojisini aydınlatmak amacıyla, daha önce yapılan araştırmalardan yararlanılmıştır. Bu doğrultuda bölgenin jeolojisiyle ilgili yapılan tez ve akademik araştırmalar derlenmiş ve jeolojik haritaları da revize edilmiştir. Çalışma sahasında halen araştırma ve üretim yapan şirket ile irtibata geçilerek çalışmada kullanılan örnekler alınmıştır. Kömür damarlarının yayılımı ve uzanımları doğrultusunda yüzey ve yeraltında (galeri) amaca uygun olarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Açılan galerilerden ve yüzeyden toplam olarak 92 adet örnek alınmıştır (Şekil 3.1). Alınan örnekler numune poşetlerine yerleştirilerek üzerine numune konum ve derinliği yazılarak numaralandırılmış ve laboratuvara götürülmüştür. Örnekleme bölgeyi iyi bir şekilde ifade etmek için farklı derinlik ve farklı miktarlarda, kömürlü katmanlarının tavan, taban ve ara kesimlerinden yapılmıştır. Alınan örneklerin laboratuvarında kırma ve öğütme işlemlerinden sonra TPAO ve MTA laboratuvarlarına organik jeokimyasal ve organik petrografik analizlerin yapılması için gönderilmiştir. Örneklerin analizlere hazırlanması ve ön çalışmalar Akdeniz Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Jeokimya Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.2 ve 3.3 de arazi ve yeraltından (galeri) alınan kömür ve kömürlü katmanlar görülmektedir.



Şekil 3.1. Göynük havzasından alınan örneklerin google earth üzerindeki konumları



**Şekil 3.2.** Pamucakyayla Formasyonu'nun ince, orta ve kalın katmanlı kömür (Belen Dere)



**Şekil 3.3.** Galeri içinde görülen Pamucakyayla Formasyonu'na ait kalın katmanlı kömür tabakaları.

### 3.2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Pamucakyayla Formasyonundan alınan örnekler ilk olarak laboratuvarda farklı analizler için hazır hale getirilmiştir. Bölgeyi iyi bir şekilde temsil etme amacıyla kömür damarlarının tavan, taban ve ara kesimlerinden örnek alınmasına özen gösterilmiştir. Genel olarak açılan galerilerden ve araziden toplam olarak yaklaşık 92 adet örnek alınmıştır. Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeokimya Laboratuvarında örneklerin hazırlanması için kullanılmıştır. Organik jeokimyasal analizler, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Grubu Laboratuvarları'nda (Ankara) gerçekleştirilmiş olup, bu kapsamda TOC-Piroliz analizi, özütleme (ekstraksiyon) analizi, gaz kromatografisi (GC) ve gaz kromatografi-kütle spektrometri (GC-MS) analizleri yapılmıştır (Şekil 3.4). Ayrıca, organik petrografik analizler de bu çalışma içinde yer almakta olup, kerojen tipi tayini, vitrinit yansıması (%Ro) ve XRD parametreleri Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğünde (MTA) gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.4.** Pamucakyayla Formasyonu'ndan alınan örneklerin laboratuvarda analizlere hazırlık aşaması

### 3.2.1. Jeokimyasal Yöntemler

#### 3.2.1.1. TOC ve Rock-Eval Piroliz analizleri

Kömürlü örneklerin organik madde türleri, miktarları ve olgunlaşma seviyeleri belirlenmiştir. Kaynak kaya potansiyelini hesaplamak için Rock Eval-6 (RE 6) cihazı kullanılmıştır. Analiz, 100 mg öğütülmüş örneğin helyum atmosferinde 3 dakika ısıtılmasıyla başlar ve ardından 25°C/dakika hızında 600°C'ye kadar ısıtılır. 300°C'de serbest hidrokarbonlar buharlaşır ve bu termo-buharlaşma süreci her 3 dakikada bir tekrar edilir. Bu aşamada S1 olarak adlandırılan bir pik elde edilir. 300-600°C arasında, hidrojen ve oksijen içeren bileşikler kayaktan çıkarılarak ağır ekstrakt edilebilir bileşikler (reçine, asfaltanlar vb.) haline gelir ve bu aşamada S2 pikleri oluşur. 300-390°C arasında oksijen bileşenleri ayrışır ve bu noktada elde edilen S3 değeri, kerojenin ısısal parçalanması sonucu açığa çıkan CO<sub>2</sub>'i temsil eder. S2 pikinin en yüksek olduğu nokta Tmax (°C) olarak adlandırılır. S2 pikinin ölçümünden sonra kalan organik karbon, 600°C hava (veya oksijen) atmosferinde oksitlenir ve bu CO<sub>2</sub>, S4 pikini oluşturur. Kalan karbon miktarı, kalıntı karbon olarak adlandırılır ve TOC miktarı S1, S2 ve S4 değerlerinden otomatik olarak hesaplanır (Tissot ve Welte 1984).

S1, S2 ve S3 pik değerleri ile Tmax ve TOC değerleri kullanılarak kaya içindeki organik maddenin çeşitli özelliklerine yönelik indeks değerleri hesaplanmıştır. Bu indeksler arasında S2/TOC oranı hidrojen indeksi (HI), S3/TOC oranı ise oksijen indeksi (OI) olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, S1+S2 değeri potansiyel ürün (PY) ve S1/(S1+S2) değeri üretim indeksi (PI) olarak belirlenmiştir. Piroliz analizi sonuçlarına dayanarak, HI-Tmax ve HI-OI diyagramları kullanılarak organik madde tipi sınıflandırılmıştır. Kerojenin elementer analiz sonuçları, atomik H/C ve O/C oranları ile HI ve OI değerleri arasında doğrudan bir ilişki kurulmasına olanak sağlamıştır. Bu değerler, Van Krevelen diyagramında kullanılarak HI-OI diyagramları oluşturulmuş ve böylece kerojen tipleri, dolayısıyla organik madde türü belirlenmiştir. S2-TOC diyagramı ise farklı kerojen tiplerini tanımlamak amacıyla kullanılmıştır; bu diyagramda eğimi 2 olan doğrunun altındaki alan tip III kerojen, eğimi 2 ile 6 arasında kalan alan tip II kerojen, eğimi 6 olan doğrunun üstündeki alan ise tip I kerojen olarak sınıflandırılmıştır.

TOC, S1 ve S2 parametreleri kullanılarak organik madde miktarı ve kaynak kaya potansiyeli belirlendi. S2/S3 oranı kullanılarak kerojen tipi indeksi elde edildi ve bu indeks, kayanın hidrokarbon üretme kapasitesi hakkında bilgi sağlamıştır. Bu analizden elde edilen verileri diğer analizlerle karşılaştırılmıştır.

#### 3.2.1.2. Hızlandırılmış Çözücü Özütleme (ASE) Analizi

Bu analizde, kayaç içindeki serbest hidrokarbonlar (bitüm), öğütülmüş örneklerin özel krozeler içine yerleştirilip ekstraksiyon Soxhlet yöntemi kullanılarak Diklorometan (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) ile özütlenmesiyle elde edilir. Yaklaşık 40 saat süren bu işlem, ASE 300 cihazında gerçekleştirilir ve Diklorometan kullanılarak örneklerin ekstraksiyonu sağlanır. Ekstraksiyon düzeneğinde ısıtılarak CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>'nin buharlaşması sağlanır ve serbest hidrokarbonlar bu buhar içinde çözünür. Çözücü, azot gazı yardımıyla serbest hidrokarbonlar ayrıştırılana kadar ekstraksiyon işlemi devam eder (Tissot ve Welte 1984).

Bu analiz yardımıyla kayaç içindeki serbest hidrokarbonların (bitüm) miktarı, kömürleşme süreçlerini ve organik madde dönüşümünü hakkında önemli bilgiler elde edildi. Bu analiz, serbest hidrokarbonların ekstraksiyonu, organik maddenin türü ve olgunlaşma seviyeleri hakkında bilgi sağlamış ve bu bilgiler, kayaçların kaynak kaya potansiyelini belirlemede kullanılmıştır.

### 3.2.1.3. Gaz kromatografi (GC) analizi

Petrol ve bitüm örneklerinde hidrokarbon bileşiklerinin, özellikle n-alkanların dağılımını analiz etmek için Gaz Kromatografisi (GC) tekniği kullanılmıştır. Bu analiz, Agilent 6850 GC cihazında gerçekleştirilmiştir. Analiz sırasında örnekler karbonsülfür ( $CS_2$ ) ile seyreltilmiş ve GC yöntemiyle incelenmiştir. GC cihazı, enjektör, kolon ve dedektör olmak üzere üç ana bileşenden oluşur; örnekler cihaza enjektör aracılığıyla verilmiştir. Kolon, örneklerdeki bileşenleri ayırıştırırken taşıyıcı gaz olarak helyum, dedektör için ise hidrojen ve kuru hava kullanılır. Sıcaklık programı, moleküllerin farklı kaynama noktalarına göre ayrılmasını sağlar ve ayrılan moleküller dedektör tarafından ölçülüp bilgisayara sinyal olarak aktarılır. Bu analiz sonucunda, kromatogramlarda piklerin dağılımı ve yükseklikleri incelenerek organik madde türleri, çökelme ortamı ve olgunlaşma süreçleri hakkında önemli bilgiler elde edilir (Peters vd. 2005; Volkman 1988; Mackenzie vd. 1980).

Gaz Kromatografisi (GC) tekniği, petrol ve bitüm örneklerinin bileşimini belirlemede yaygın olarak kullanılır. GC analizleri, örneklerin bileşenlerini ayırarak her bir bileşenin miktarını ve dağılımını ortaya çıkarır. Bu yöntem, özellikle n-alkanların dağılımını belirlemede oldukça etkilidir. n-Alkanlar, organik maddenin biyolojik kaynaklarını ve çevresel koşullarını belirlemek için kullanılan önemli biyomarkerlerdir. GC cihazında kullanılan sıcaklık programı, farklı kaynama noktalarına sahip molekülleri ayırıştırarak dedektör tarafından ölçümlerini sağlar. Elde edilen kromatogramlar, organik madde türleri, çökelme ortamı ve olgunlaşma süreçleri hakkında detaylı bilgi sağlar (Tissot ve Welte 1984; Hunt 1995; Volkman 1988).

GC cihazının enjektör, kolon ve dedektör bileşenleri, analiz sürecinin doğru ve güvenilir sonuçlar vermesinde kritik öneme sahiptir. Enjektör, örnekleri cihaza doğru miktarlarda vererek analiz sürecinin başlangıcını oluşturur. Kolon, örneklerdeki bileşenleri ayırıştırarak her bir bileşenin taşıyıcı gaz ile dedektöre taşınmasını sağlar. Dedektör ise, ayırıştırılan bileşenlerin miktarlarını ölçerek bilgisayara sinyal olarak iletir. Bu sinyaller, bilgisayar yazılımı aracılığıyla kromatogramlara dönüştürülür ve piklerin dağılımı ve yükseklikleri analiz edilerek sonuçlar elde edilir (Peters vd. 2005; Volkman 1988; Mackenzie vd. 1980).

### 3.2.1.4. Gaz kromatografi-kütle spektrometresi (GC-MS) analizi

Bu yöntem, petrol-petrol ve petrol-kaynak kaya korelasyon çalışmalarında biyomarkerlerin tanımlanması amacıyla kullanılmıştır. GC-MS (Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometresi) analiziyle elde edilen veriler, kaynak kayanın depolanma ortamı, litolojisi, jeolojik yaşı, olgunluk durumu ve biyolojik bozunma derecesi gibi faktörlerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır (Peters vd. 2005; Volkman 1988; Mackenzie vd. 1980).

Analiz, doymun hidrokarbon bileşenleri üzerinde gerçekleştirilir. GC-MS analizi için Agilent 5975C dört uçlu (quadrupole) kütle spektrometresi cihazı kullanılır ve bu cihaz, 7890A gaz kromatografisi ve 7683B otomatik sıvı numune alıcısıyla birlikte çalışır (Tissot ve Welte 1984; Hunt 1995).

GC-MS cihazı, gaz kromatografi ve kütle spektrometresini bir arayüz aracılığıyla birleştiren bir tasarıma sahiptir. Gaz kromatografisi, örneklerin enjekte edilmesi, ısınması ve GC kolonunda ayrıştırılmasını sağlayan üç ana bölümden oluşur. Kütle spektrometre ise iyon kaynağı, filtre ve dedektör olmak üzere üç bölümden oluşur. Hazırlanan örnekler bir enjektörle GC kolonuna enjekte edilir ve burada kapiler kolon aracılığıyla bileşenler ayrıştırılır. Ayrılan bileşenler, helyum gazı yardımıyla kütle spektrometresinin iyon üretim bölümüne taşınır. Bu bölümde, bir filament üzerine uygulanan elektrik akımıyla elektron demeti oluşturulur ve bu elektron demeti moleküllere çarparak iyonlar üretir. Oluşan iyonlar, analizör bölümünde kütlelerine göre ayrıştırılır ve "electron multiplier" tarafından sayılarak bilgisayara sinyal olarak iletilir. Bu sinyaller işlenerek toplam iyon kromatogramları elde edilir. Ayrıca, her bir molekülü temsil eden belirli iyon kromatogramları da elde edilebilir (Peters vd. 2005; Volkman 1988; Mackenzie vd. 1980).

Bu çalışma kapsamında, kömür örneklerinden elde edilen bitümler, terpanlar (m/z 191), steranlar (m/z 217), mono-aromatikler (m/z 253) ve tri-aromatikler (m/z 231) açısından analiz edilmiştir. Özellikle steranlar ve terpanlar üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır (Peters vd. 2005; Volkman 1988; Mackenzie vd. 1980).

### 3.2.2. Petrografik yöntemler

#### 3.2.2.1. Vitrit yansıma (%Ro) ölçümü

Vitrit yansıma değeri, organik madde açısından zengin sedimanter kayaların olgunluk seviyelerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Elde edilen vitrit yansıma değerleri, genellikle ısısal olgunluk evreleri (diyajenez, katajenez veya petrol aralığı, geç diyajenez veya ana gaz zonu, metajenez) ile ilişkilendirilerek değerlendirilir (Tissot ve Welte 1984). Ölçüm için örnekler kurutulup öğütüldükten sonra 1 mm'lik elekten geçirilir ve polyesterle birlikte silindirik kalıplara dökülerek parlatma briketleri hazırlanır. Vitrit yansıma analizi, bu parlatma briketleri üzerinde ASTM (American Society for Testing and Materials 1994) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilir.

Örnekler hazırlandıktan sonra, üstten aydınlatmalı mikroskop altında yansıması 0,551 olan safir standartı kullanılarak kalibrasyon yapılır ve kırılma indisi 1,516 olan yağ immersiyonu ile ölçüm gerçekleştirilir. Vitrit yansıma değeri, parlatılmış yüzeye düşen normal ışığın ısı ve derinlik artışına bağlı olarak değişen yansıma oranlarının yüzde cinsinden ifade edilmesiyle belirlenir. Her örnekten 50 farklı rastgele noktada vitrit yansıma değerleri ölçülerek ortalamaları alınır ve kömürleşme dereceleri belirlenir (Hunt 1995; Peters vd. 2005).

### 3.2.3. XRD Tüm Kaya ve Kil Analizi

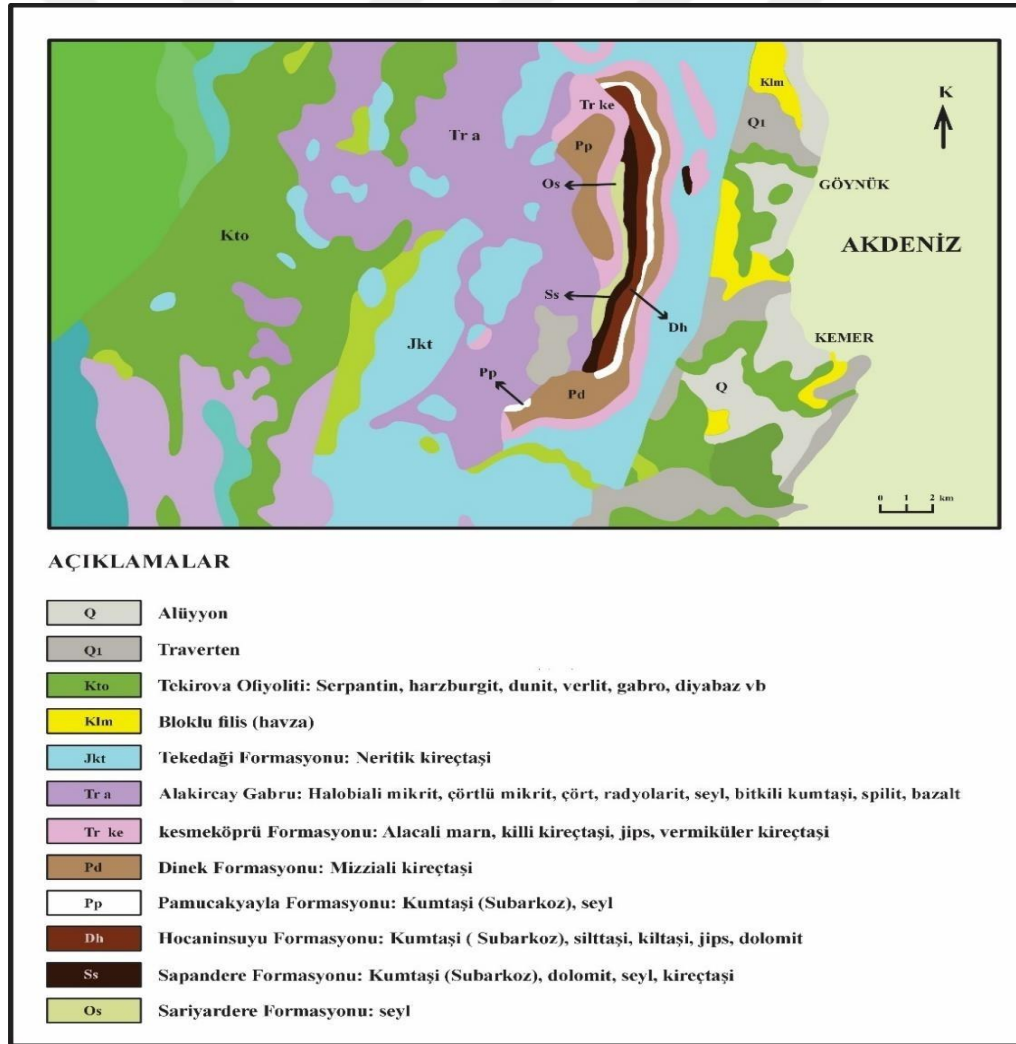
Mineralojik bileşimlerin belirlenmesi amacıyla, örnekten XRD tüm kaya ve kil fraksiyon çekimleri yapılır. İlk olarak, örnek ğtlp ASTM numarası 230 olan (0,062 mm mesh) elekten geçirilerek tüm kaya plaketi hazırlanır. XRD analizleri, Cu X-ışın tüplü Rigaku D/Max-2200 XRD cihazında 2-60° 2θ aralığında gerçekleştirilir, detay kil analizi ise 2-40° arasında yapılır. XRD kil fraksiyonu çekimleri normal, glikollü ve fırınlanmış olarak gerçekleştirilir. Elde edilen difraktogramlar üzerinde mineral tanımlamaları yapılır.



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

##### 4.1. BÖLGESEL JEOLJİ

Güney Batı Türkiye’de kaya birimleri genel olarak üç farklı kaya topluluklarından oluşmaktadır. Bunlar Likya Napları, Beydağları Otoktonu ve Antalya Napları olarak tanımlanır (Şekil 1.1). Çalışma alanı olarak seçilen bölge Kemer (Antalya)’ın kuzeyinde ve Antalya’nın güney ve güney batısında yer alan Pamucakyayla çevresinde ve Antalya Napları içerisinde yer almaktadır. Bölgede şimdiye kadar yapılan çalışmalardan yararlanılarak elde edilen bilgilere göre inceleme alanı ve çevresindeki birimler; Saryardere Formasyonu (Alt Ordovisiyen), Sapandere Formasyonu (Silüriyen), Hocaninsuyu Formasyonu (Devoniyen), Pamucakyayla Formasyonu (Karbonifer-Permiyen), Dinek Formasyonu (Karbonifer-Permiyen), Kesmeköprü Formasyonu (Triyas), Tekedağ Formasyonu, Alakırçay Grubu, Tekirova Ofiyoliti ve Tersiyer birimleri şeklinde yüzelemektedir (Şekil 4.1) (Şenel 1997a, 1997b ve 1997c).



**Şekil 4.1.** İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Şenel vd. 1981’den değiştirilerek alınmıştır)

Bölgede yüzlek veren bu kayaların mineral içeriği açısından değerlendirmelerinde bölgede daha önce yapılan çalışmalarda kaya birimlerinin çeşitli mineraller içerdiği, bu minerallerin genel olarak Paleozoyik-Alt Mesozoyik yaşlı karbonatlı-kırıntılı kayalarda kuvars, götit, kalsit, dolomit, fillosilikat ve feldispat mineralleri ile nadiren de olsa jips, barit, siderit, hematit, götit, jarosit mineralleri bulunmaktadır (Bozkaya ve Yalçın 2009). Ayrıca, volkanik kayalar sedimanlar içinde sokulum ve mercer şeklinde gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu kayaların veya matrisin içinde karbonat, silikat, hematit ve götit mineralleri tespit edilmiştir. Ordovisiyen yaşlı birimlerde kuvars ve feldispat, Kambriyen ve Permien-Alt Triyas'ta ise dolomit miktarının arttığı, Çaltepe, Sarıyadere ve Pamucakyayla Formasyonlarında barit, siderit ve jarosit minerallerinin varlığı tespit edilmiştir. Permien yaşlı sedimanlarda kaolinit miktarı artarken, Devonien-Triyas yaşlı birimlerde smektit miktarı artış göstermektedir (Bozkaya ve Yalçın 2009).

Bölge genel olarak, değişik zamanlarda gerçekleşen tektonik olayların etkisiyle şekillenmiş, farklı kaya topluluklarının bulunduğu karışık bir yapı sunmaktadır. Genel olarak Hersiniyen orojenezi dönemini gösteren bilgiler bulunamamıştır. Bölgenin Alp Orojenezi döneminde sürüklenip kıvrım ve kırıldığı belirtilmektedir (Şenel vd. 1981).

İnceleme bölgesi ve yakın çevresinde genel olarak sürekli bir depolanmanın olduğu Ordovisiyen'den başlayıp Permien sonuna kadar devam eden çökmenin varlığı ve genellikle uyumsuzlukların çok az olduğu belirtilmektedir (Şenel vd. 1981). Bu uyumsuzluklar genellikle açısız ya da küçük açıdır, bu da bölgenin Ordovisiyen'den Alt Triyas sonuna kadar düşey hareketlerin etkisinde olduğunu ve orojenik hareketlerin etkisinin daha az olduğunu göstermektedir. Bölge genel olarak Alt Triyas sonuna kadar sığ denizel fasiyestedir. Triyas esnasında bölgenin kırılarak grabenleştiği ve bu süreçle uyumlu olarak volkanik aktivitenin arttığı düşünülmektedir. Mesozoik dönemde, bölge Alp Orojenezi etkisiyle kıvrılmış, kırılmış ve sürüklenmiştir. Oligosen ve Miyosen'den sonra da bölge düşey hareketlerin etkisiyle günümüzdeki yapıyı almıştır (Ayrancı 2009).

#### 4.2. STRATİGRAFİ

Kömür ve kömürlü birimlerin bulunduğu inceleme alanı çevresinde Paleozoyik (Siluriyen, Devonien, Karbonifer, Permien), Mesozoyik (Triyas), Neojen ve Kuvaterner birimleri yüzylemektedir. Asıl incelemenin yapıldığı ve kömür içeren seviyelerin yer aldığı dikme kesit Şekil 4.2'de verilmiştir. Formasyon adlandırmaları genellikle önceki araştırmacılar tarafından kullanılmış ve bu adlar korunmuştur. Kömür tabakaları Pamucakyayla Formasyonu içinde bulunduğu için bu formasyonun jeolojik özellikleri arazi ve laboratuvar incelemeleriyle aşağıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Diğerlerinin özellikleri ise hem arazide yapılan incelemeler ve hem de literatürden yararlanılarak anlatılmıştır. Bu jeolojik birimler yaş sırasına göre şu şekildedir: Sarıyadere Formasyonu (Alt Ordovisiyen), Sapandere Formasyonu (Silüriyen), Hocaınsuyu Formasyonu (Devonien), Pamucakyayla Formasyonu (Karbonifer-Permien), Dinek Formasyonu (Karbonifer-Permien), Kesmeköprü Formasyonu (Triyas) ile Neojen ve Kuvaterner birimleridir (Şenel 1997a, 1997b ve 1997c).

|            |              | Yaş | For         | Litoloji | Açıklama                                       |
|------------|--------------|-----|-------------|----------|------------------------------------------------|
| PALEOZOYİK | Üst Permiyen |     | Dinek       |          | Kireçtaşı                                      |
|            | Karbonifer   |     | Pamucakayla |          | Marn, Kumtaşı, Komür                           |
|            | Devoniyen    |     | Hocamsuyu   |          | Silttaşı, Şeyl<br>Kumtaşı<br>Kireçtaşı<br>Jips |
|            | Siluriyen    |     | Sapandere   |          | Kireçtaşı<br>Dolomit, Kireçtaşı                |
|            | Ordovisiyen  |     | Sariyar     |          | Şeyl<br><br>Ölçeksiz                           |

**Şekil 4.2.** İnceleme alanındaki Paleozoyik ve Mesozoyik birimlerinin genelleştirilmiş kolon kesiti (Şenel vd 1981, Altunsoy vd 2012’den değiştirilerek alınmıştır)

#### 4.2.1. Sarıyardere Formasyonu (Ordovisiyen)

Bu formasyonun varlığı ilk kez Marcoux (1971) tarafından belirlenmiş, ancak adlandırma yapılmamıştır. Daha sonra, MTA (1974) tarafından yürütülen çalışmalarda, formasyonun güneyinde Sarıyardere’de tipik bir kesit gösterdiği için bu ad kullanılmıştır. Çalışma alanı içinde Göynükdere, Sapandere ve Boyundere’de yüzeylenir. Genellikle koyu gri, koyu kahve, yeşilimsi gri renklerde olan bu formasyon, şeyllerden oluşur ve bol mika içerir, ince yapraklanma gösterir. Ayrıca, az miktarda kumtaşı içerir ve yer yer siderit konkresyonları ile cone in cone yapıları gözlenmiştir. Marcoux (1971) bu formasyon içinde Ordovisiyen’e ait Trilobit olduğunu belirtmiştir. Çökelme ortamı olarak bu formasyon içinde simetrik ripple-mark izlerinin sıkça görülmesi, ortamın sığ deniz fasiyesinde olduğunu gösterir.

#### 4.2.2. Sapandere Formasyonu (Siluriyen)

Bu formasyon ilk kez Marcoux (1971) tarafından tanımlanmış ve MTA (1974) tarafından yapılan çalışmada Sapandere Formasyonu olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanı içinde Göynükdere, Sapandere ve Boyundere'de yüzeyleyir ve alttaki Ordovisiyen birimi ile uyumluluk gösterir. Genellikle orta-kalın katmanlı, kahverengi ve açık gri renkte, bol kuvars taneli, oldukça sert kumtaşı ile başlar ve kilaşı ile siltaşı ara katmanlı devam eder. Yer yer bitümlü seviyeler ve kumlu kireçtaşları görülür. Bu seviyelerde pirit dolgulu Orthoceras ve brachiopod bolca bulunmuştur (Şenel, 1986) Çökelim ortamı olarak simetrik ripple-mark izlerinin varlığı, çapraz tabakaların küçük açılı olması ve yer yer kireçtaşı bantlarına rastlanması, sığ denizel ortamı gösterir (Şenel 1986).

#### 4.2.3. Hocasinsuyu Formasyonu (Devoniyen)

Bu formasyon, ilk olarak Marcoux (1971) tarafından adlandırılmış olup inceleme alanı içerisinde Göynükdere, Sapandere ve Belendere'de yüzeyleyir. Altta bulunan Sapandere Formasyonu ile uyumsuzluk göstermektedir. Genellikle gri, açık gri ve kahverengi renkte, orta kalınlıkta katmanlı kumtaşı, kilaşı ve siltaşı ardalanmalıdır. Bu seviye üzerine gri renkli orta katmanlı dolomit gelir, daha üstte ise bitki izleri, kök izleri içeren büyük açılı çapraz tabakalanmalı kumtaşı bulunur. Üstteki diabaz sokulumları ve küçük açılı çapraz tabakaları gösteren kumtaşlarına geçer. Marcoux (1978), bu birimde bulunan Botrophthius, Botriolepsis, canadensis, Holomene gibi balık türlerine dayanarak Devoniyen yaşında olduğunu belirtmiştir.

Formasyonun tip kesiti Kemer ilçesinin kuzey bölümlerinde yer alan Kesmeköprü'nün kuzeyindeki Hocasinsuyu mevkinde görülür (Şenel vd. 1981). Çapraz tabakaların büyük açılı olması, bol bitki ve ağaç kırıntıları içermesi, asimetrik ripple-mark izlerinin bulunması, bu birimin karasal nitelikte olduğunu belirtmekle beraber, üstteki küçük açılı çapraz tabakaların, simetrik ripple-mark izlerinin varlığı, üstte doğru denizel fasiyese geçtiğinin belirtisidir.

Hocasinsuyu Formasyonu, tabanda Sapandere Formasyonu ile açılı uyumsuz, üstte de Pamucakyayla Formasyonu ile uyumsuz olarak yerleşmiştir. Bu formasyon, detritik kayaçlar ile evaporitik kayaçlardan oluşur. Ripple-markların bakışsız yanıl görünüşü, çapraz katmanlardaki açılının büyüklüğü, bol miktardaki bitki kökleri izi ve ağaç kalıntı izlerinin varlığı karasal ortama işaret eder (Şenel 1981). Devoniyen'in üst düzeylerdeki dalga izleri daha çok denizel ortamı gösterir.

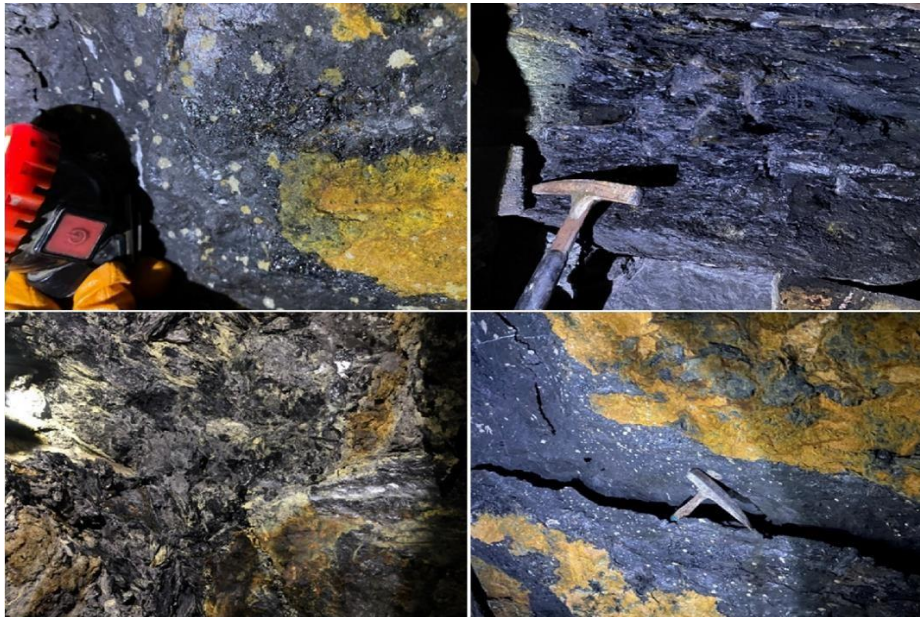
Çökelim ortamı olarak çapraz tabakaların geniş açılı olması, zengin bitki örtüsü, ağaç kalıntıları içermesi ve asimetrik ripple-mark izlerinin varlığı, bu formasyonun karasal özellikte olduğunu gösterir. Ancak üst kısımlarda görülen dar açılı çapraz tabakaların ve simetrik ripple-mark izlerinin varlığı, yukarı doğru denizel fasiyese geçişin işaretidir (Bat vd. 1982).

#### 4.2.4. Pamucakyayla Formasyonu (Karbonifer-Permiyen)

MTA (1974) tarafından adlandırılan Pamucakyayla Formasyonu, inceleme alanında Pamucakyayla, Belendere, Göynüksere, Sapandere, Kesmeboğazdere çevresinde yüzlek vermektedir (Şekil 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6).



Şekil 4.3. Pamucakyayla Formasyonu kömür damarlarının galeri içi görünümü



Şekil 4.4. Pamucakyayla Formasyonu kömür damarlarının galeri içi görünümü

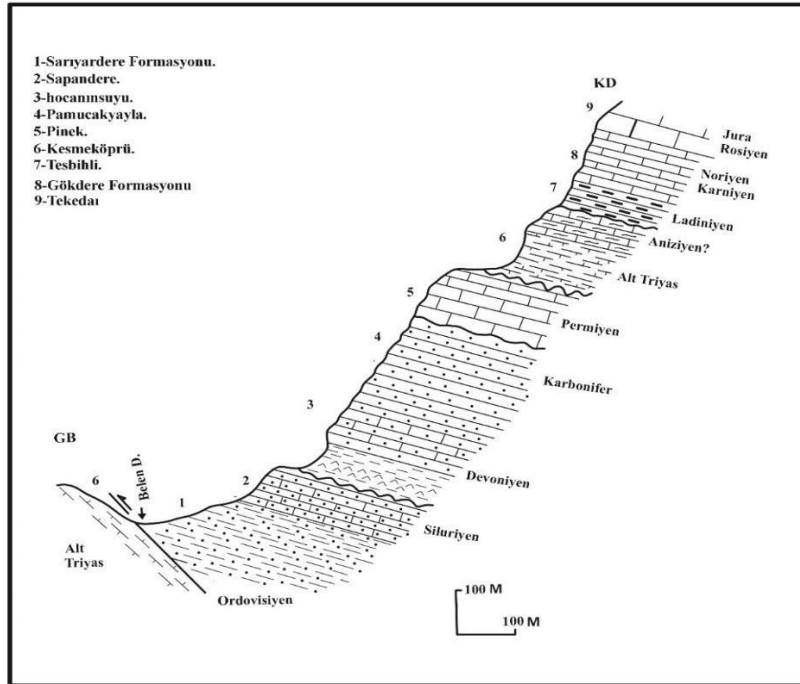


**şekil 4.5.** Pamucakyayla Formasyonu litolojik birimlerinin yüzey görüntüleri (Belendere)

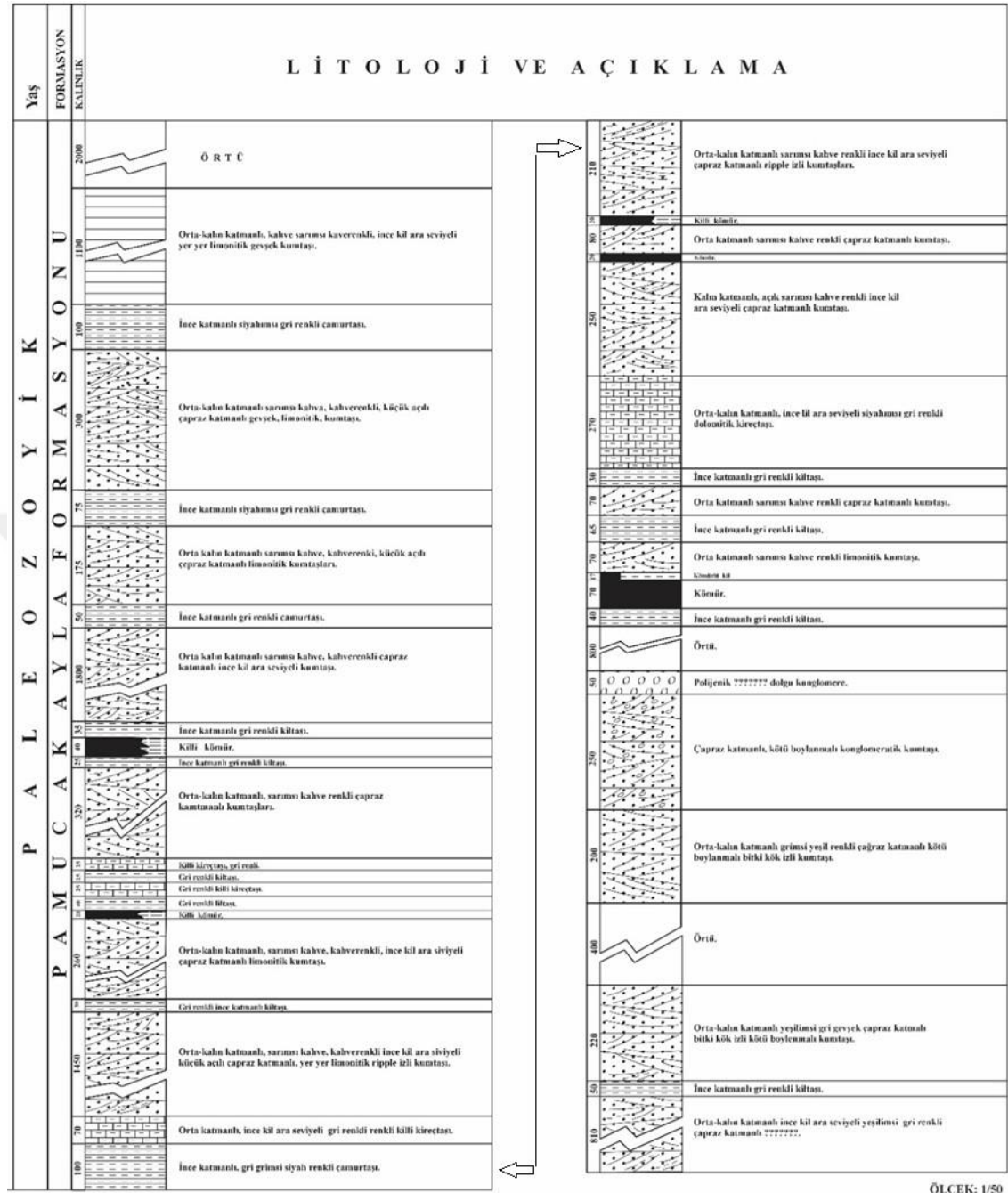


**Şekil 4.6.** Pamucakyayla Formasyonu litolojik birimlerinin yüzey görüntüleri (Belendere)

En iyi tip kesiti Belen Dere'de gözlemlenmiş (Şekil 4.7) olup MTA (1974) tarafından alınan ve bu çalışma kapsamında da düzenlemeler yapılan tip kesit Şekil 4.8'de görülmektedir. Kesit boyunca kaya birimlerinin özellikleri aşağıdaki gibidir;



**Şekil 4.7.** Pamucakyayla doğusunda yüzeylenen formasyonlar ve ilişkileri (Şenel vd. 1981)



**Şekil 4.8.** Pamucakyayla Formasyonun tip kesiti (MTA, 1982'den değiştirilerek alınmıştır)

Pamucakyayla Formasyonu Hocaninsuyu Formasyonunun üzerine uyumlu olarak gelmiştir. Formasyonun tabanında yeşilimsi gri renkli, orta ve kalın katmalı kumtaşları bulunmaktadır. Çapraz katmanların bulunduğu bu kumtaşları yer yer kilaşı ara tabakaları içermektedir (Şekil 4.7). Bu seviyenin üzerinde ince-orta katmanlı kilaşı düzeyleri yer almaktadır. Daha sonra orta-kalın katmanlı ve kötü boyplanmalı, yeşilimsi ve gri renklerde olan ve gevşek dokulu kumtaşları izlenmektedir. Bu seviyelerde bolca

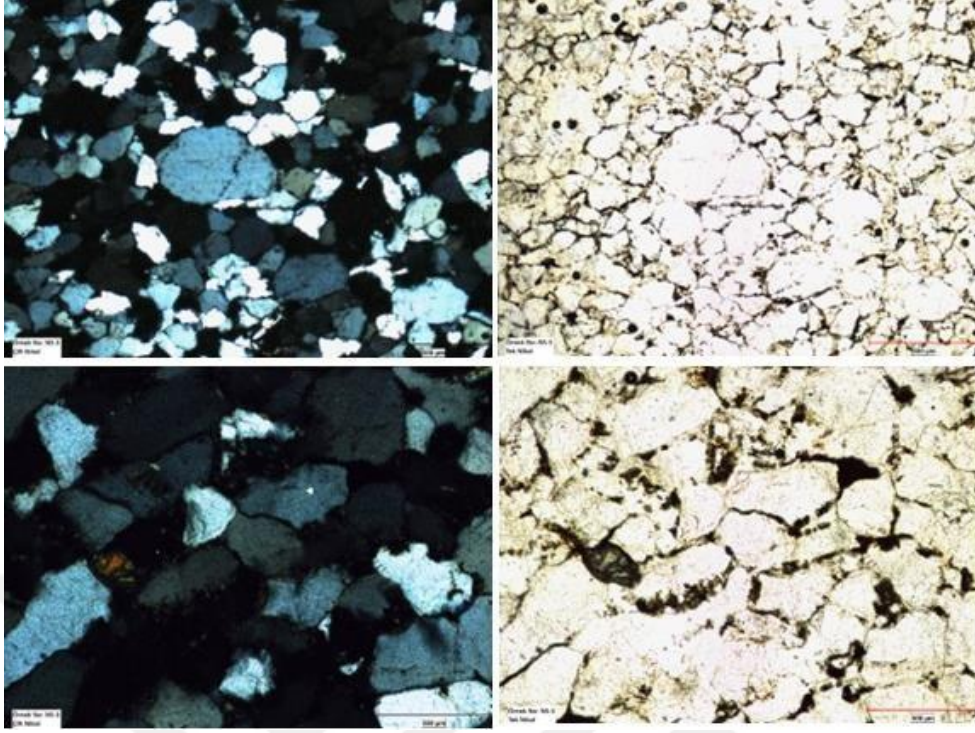
bitki kök izleri görülmektedir. Daha üstlere doğru kırıntılıların tane boyu daha da irileşmekte ve konglomeratik kumtaşlarına geçmektedir. Kırıntıları oluşturan parçalar polijenik bileşenlerden oluşmuştur (Şekil 4.5-4.6 arası). Bu seviyenin üzerinde kalınlığı az olan polijenik çakıllı konglomera düzeyleri bulunmaktadır. Tüm bunların üzerinde de alt kömür tabakasının hemen altında bulunan killi seviler görülür. Alt kömür tabakasının kalınlığı 50-120 cm arasında değişkenlik göstermektedir.

Alt kömür tabakasının üzerinde orta kalın katmanlı, sarımsı ve açık kahverenkli ve limonitik kumtaşları izlenmektedir. Bunların hemen üzerinde ince katmanlı ve gri renkli killi ve siltli seviyeler görülmektedir. Devamında ise orta-kalın katmanlı sarımsı ve açık kahverenkli kumtaşları takip etmektedir. İnce-orta tabakalı killi bölülerden sonra karbonatlı kayalar bulunmaktadır. Diğer seviyelere göre daha kalın olan ve dolomitik kireçtaşları şeklinde görülen bu kayaçlar orta-kalın katmanlı olup kil ara katkıları içermektedir. Bu seviyenin üzerinde yine açık sarımsıdan kahverengiye kadar değişen renklerde, kil ara seviyeleri bulunan ve yer yer de çapraz tabakalar içeren kumtaşları bulunmaktadır. Bunların üzerinde ince kömür tabakalarıyla ardalanmalı, orta tabakalı ve sarı-kahverenkli kumtaşları görülür. Üstlere doğru orta katmanlı killi kireçtaşları ve kireçtaşlarının varlığı izlenmektedir.

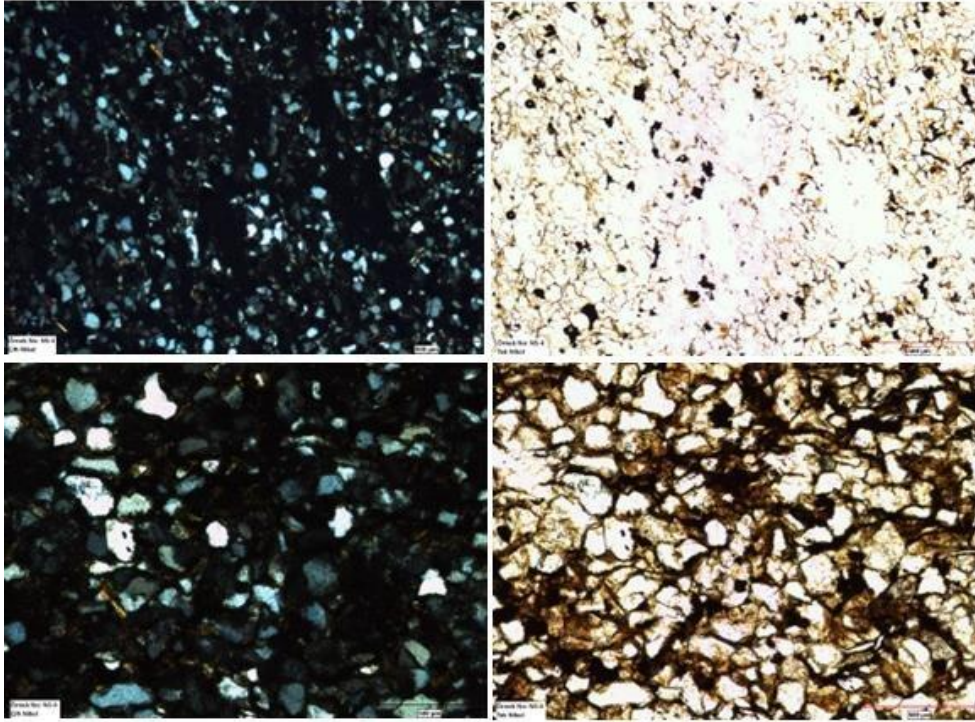
Stratigrafik istifin üst bölümlerinde orta-kalın katmanlı sarımsı ve kahve renkli kireçtaşları alt bölümlerdeki özellikleriyle devam etmektedir. Bunların üzerinde kilaşlarıyla sınırlı üst kömür damarı çökelmiştir. Kömür damarının kalınlığı 50-120 cm arasındadır (Şekil 4.3 ve 4.4). Bunların üzerinde üç kez tekrarlanan ardalanmalarla görülen orta-kalın katmanlı kumtaşları ile killi seviyeler yer almaktadır. Bu seviyedeki killi koyu gri ve siyahımsı renlerde kömürleşmiş parçalar da içermektedir. Stratigrafik istifin en üst bölümünde yine sarımsı ve açık renkli kumtaşları yer almaktadır. Ancak bunlar alt düzeylere göre daha gevşek yapılı bir görünümündedir. Pamucakyayla Formasyonunun üzerinde uyumsuz olarak Dinek Formasyonu bulunmaktadır.

Pamucakyayla Formasyonunun en alt seviyesinden en üst seviyesine kadar değişik derinliklerden alınan örneklerden 15 adet ince kesit yaptırılmış ve bunların mikroskopik incelemelerinde mineral bileşimleri belirlenmiştir. Kumtaşlarının bileşimlerinde kuvars egemen mineraldir ve çok az olarak da feldispat mineralleri görülmüştür. İnce kesitlerde taneler ince - orta kum taneleri şeklinde ve tane destekli olarak görülmektedirler (Şekil 4.22).

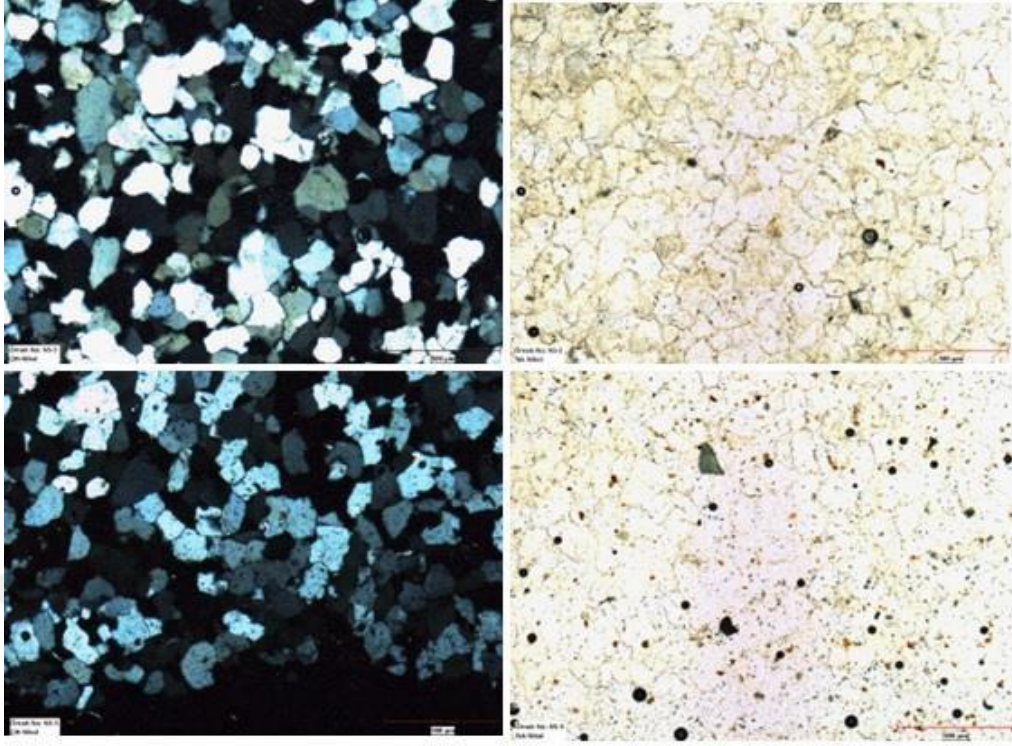
Taneler genellikle yuvarlaklaşmış olmasına rağmen, yüzeyleri pürüzlü ve kırıklıdır. Kuvarslar dalgalı ve düz sönme göstermektedirler. Minerallerin bolluk durumu ve tane bağlayıcı oranları dikkate alındığında kumtaşları kuvars arenit olarak adlandırılabilirler. Şekil 4.9 ve 4.21 arası ince kesitlerde bu kumtaşlarının mikroskopik görüntüleri izlenmektedir. Kireçtaşlarının mikroskopik özelliklerinde ise en bol bileşenlerin intraklastlar olduğu ve daha az oranda da biyoklastların varlığı tespit edilmiştir. Mikritik bir bağlayıcının bulunduğu çok az da olsa foraminifer ve alg parçalarının olduğu görülmektedir. Kömürlü düzeylerden alınan örneklerin ince kesitlerinde kırık çatlak ve diğer boşluklar kömürlü bileşenlerce doldurulmuş olarak gözükmektedir (Şekil 4.22 ve 4.23).



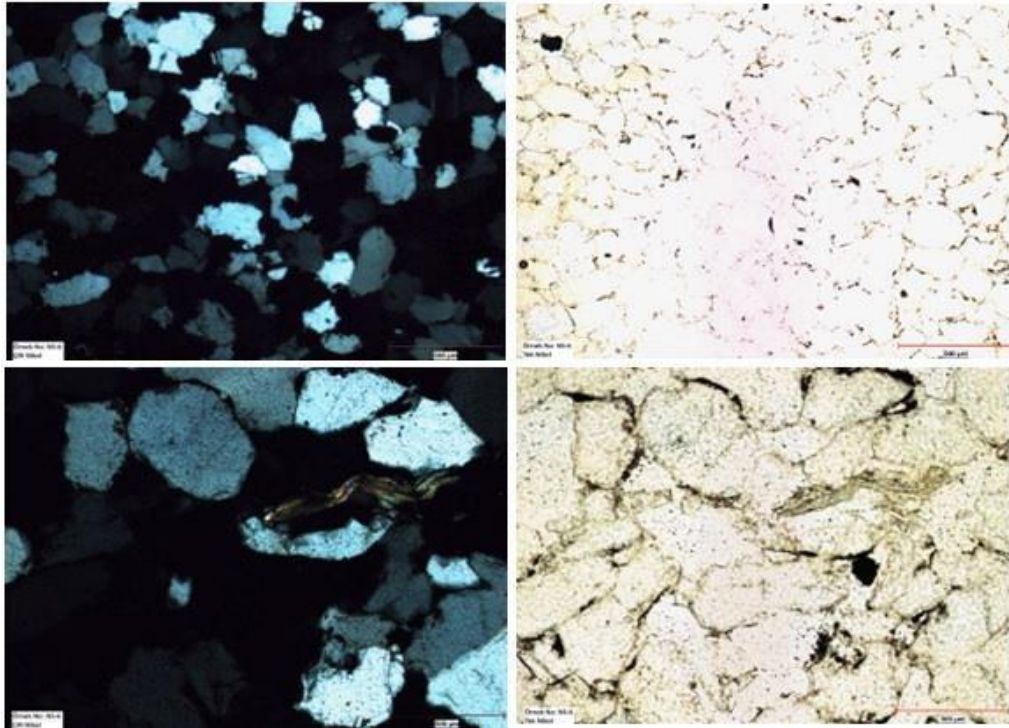
**Şekil 4.9.** Pamucakyayla Formasyonu orta-ire taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-3 örneği)



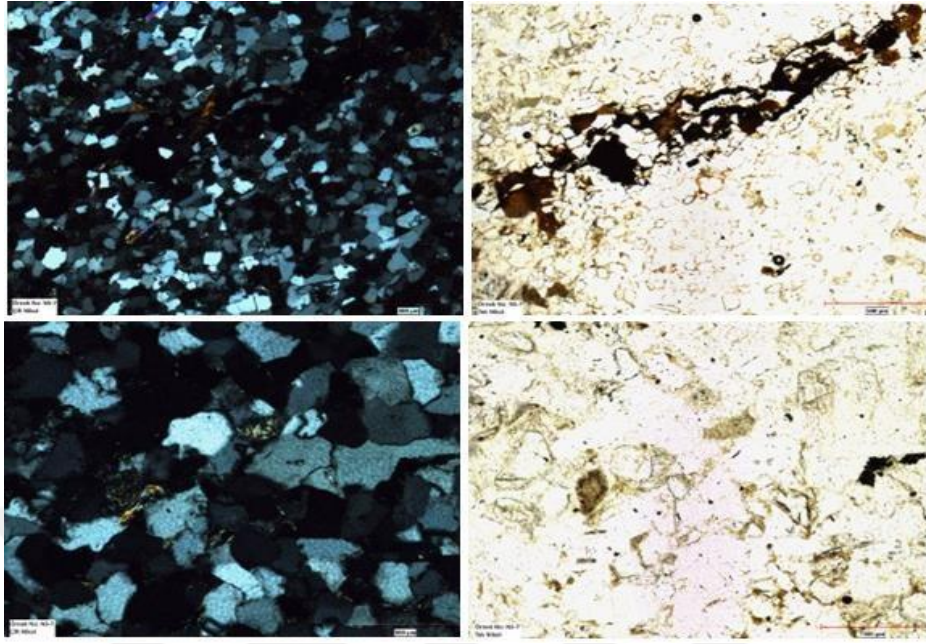
**Şekil 4.10.** Pamucakyayla Formasyonu ince-orta taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-4 örneği)



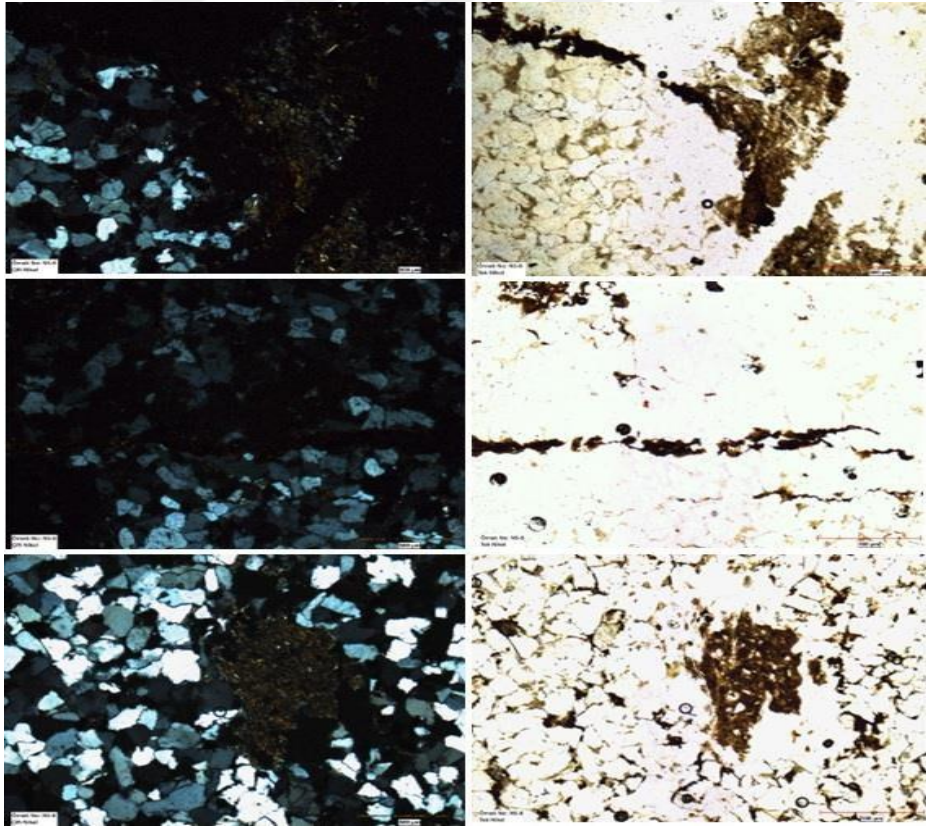
**Şekil 4.11.** Pamucakyayla Formasyonu orta taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-5 örneği)



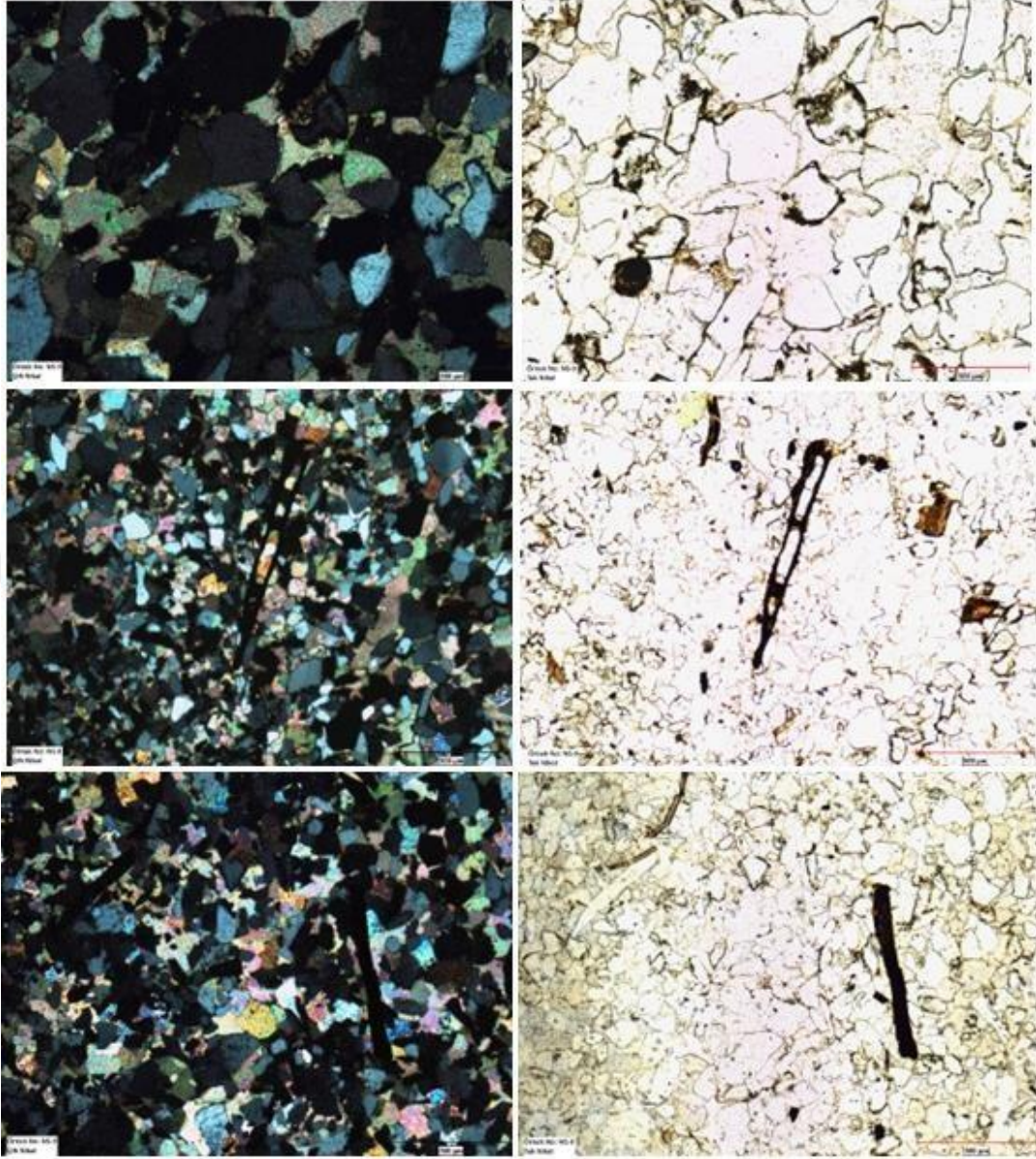
**Şekil 4.12.** Pamucakyayla Formasyonu orta-iri taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-6 örneği)



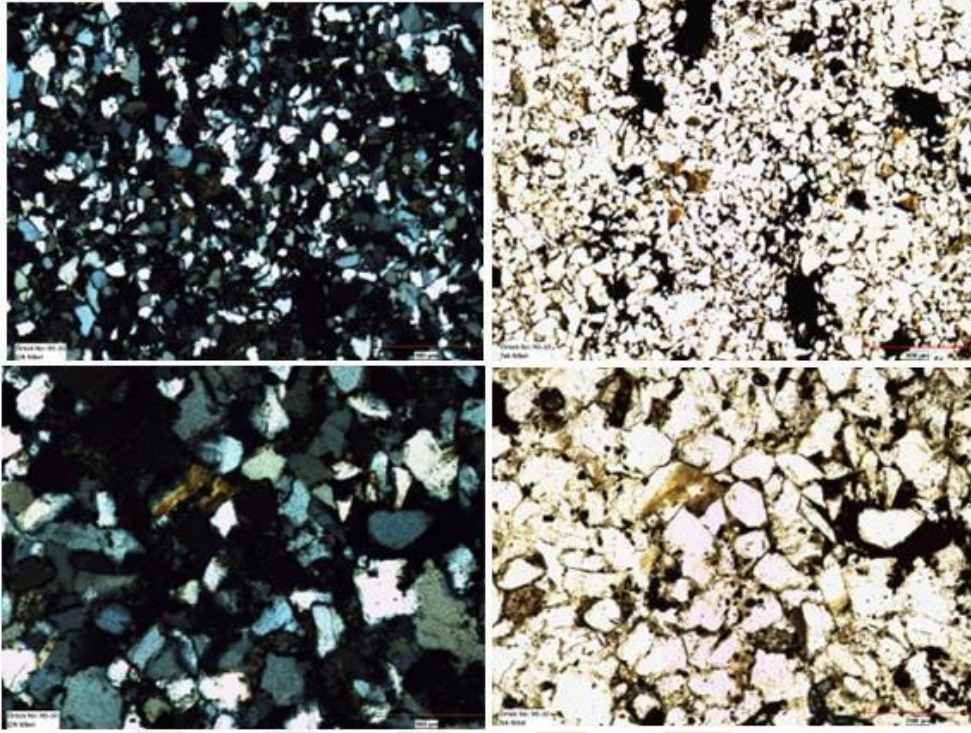
**Şekil 4.13.** Pamucakyayla Formasyonu kumtaşlarında kömür dolgularının ince kesit görünümü (NS-7 örneği)



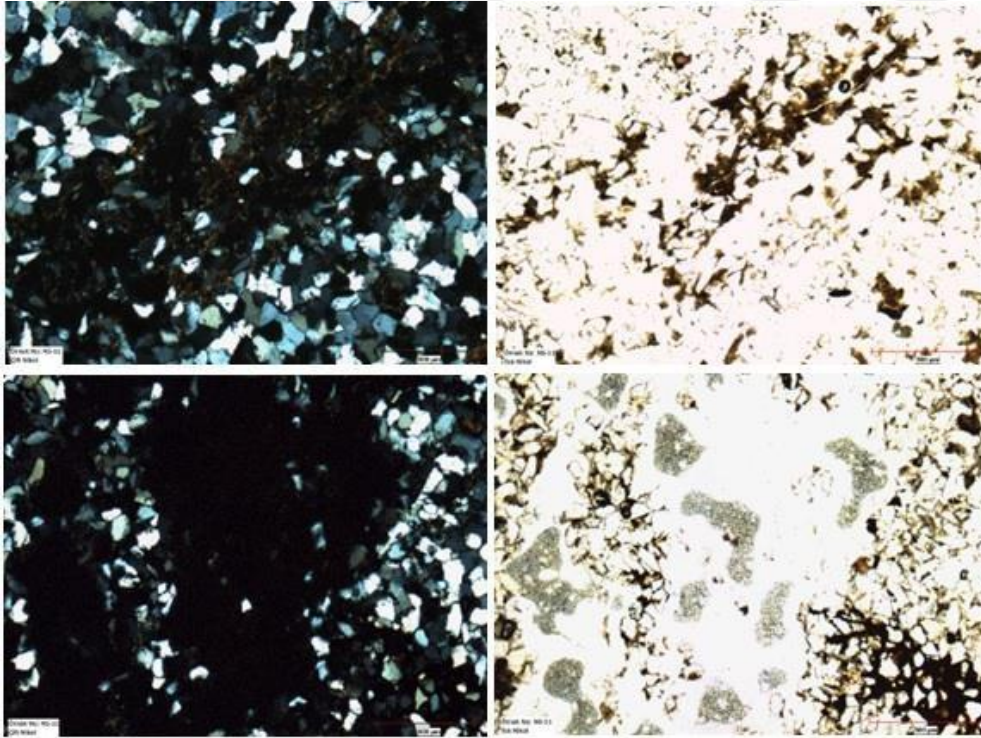
**Şekil 4.14.** Pamucakyayla Formasyonu kumtaşlarında kömür dolgularının ince kesit görünümü (NS-8 örneği)



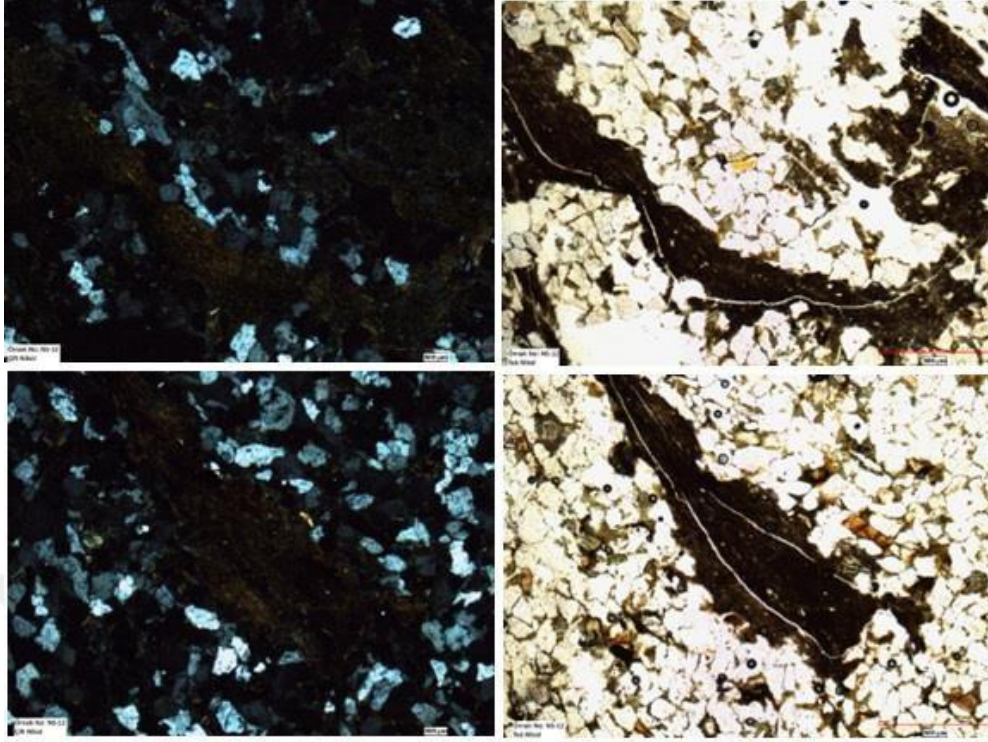
**Şekil 4.15.** Pamucakyayla Formasyonu orta-iri taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-9 örneği)



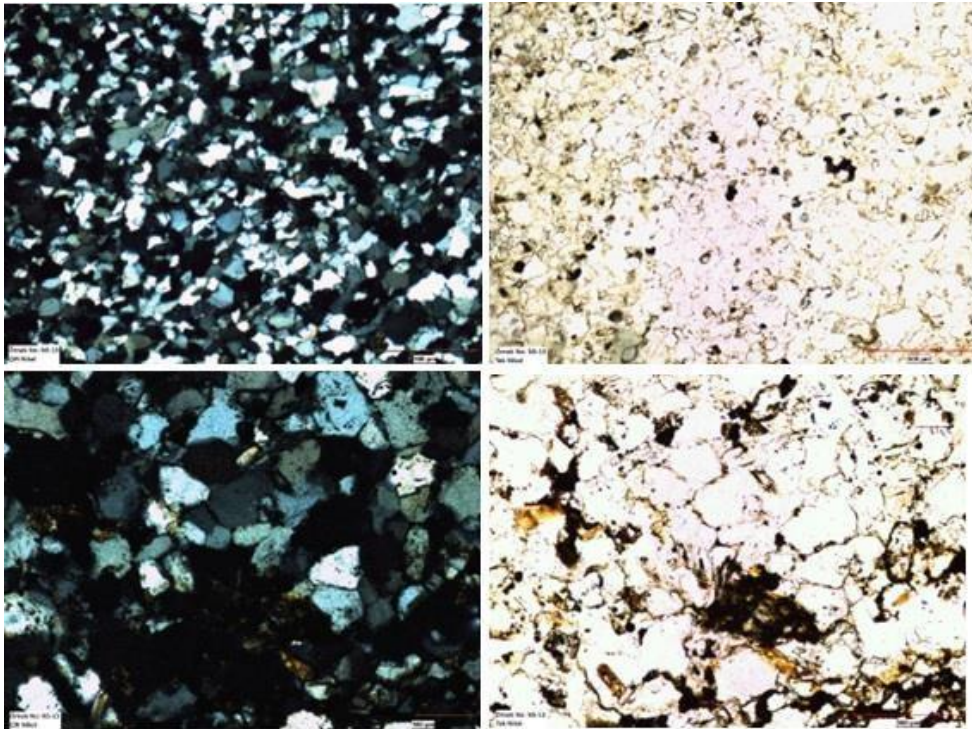
**Şekil 4.16.** Pamucakyayla Formasyonu ince-orta taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-10 örneği)



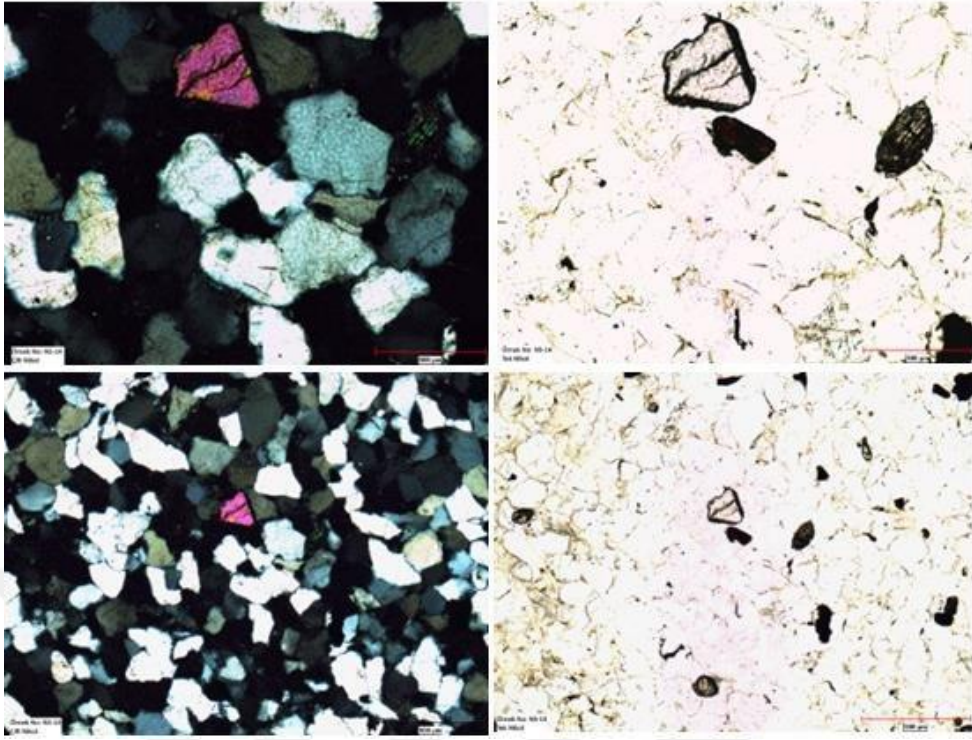
**Şekil 4.17.** Pamucakyayla Formasyonu ince-orta taneli kumtaşlarındaki kömür dolgularının ince kesit görünümü (NS-11 örneği)



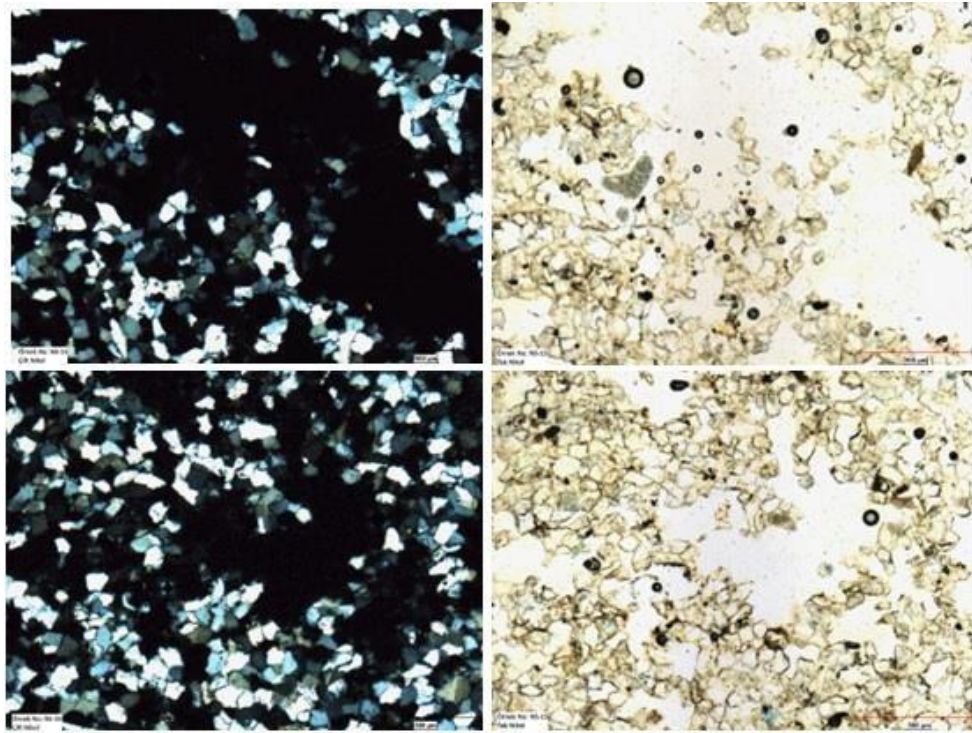
**Şekil 4.18.** Pamucakyayla Formasyonu ince-orta taneli kumtaşlarındaki kükür dolguların ince kesit görünümü (NS-12 örneği)



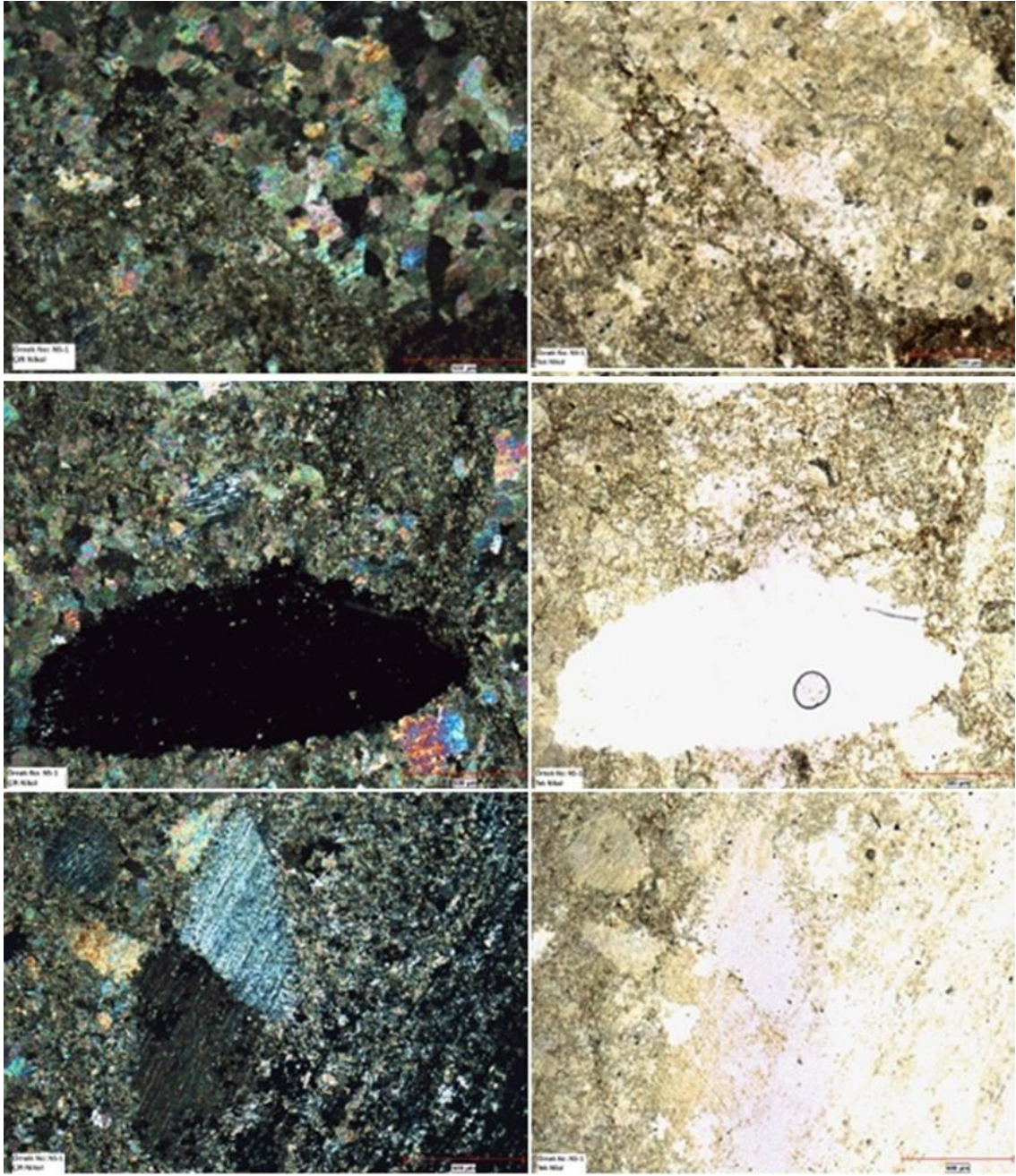
**Şekil 4.19.** Pamucakyayla Formasyonu ince-orta taneli kumtaşlarındaki ince kesit görünümü (NS-13 örneği)



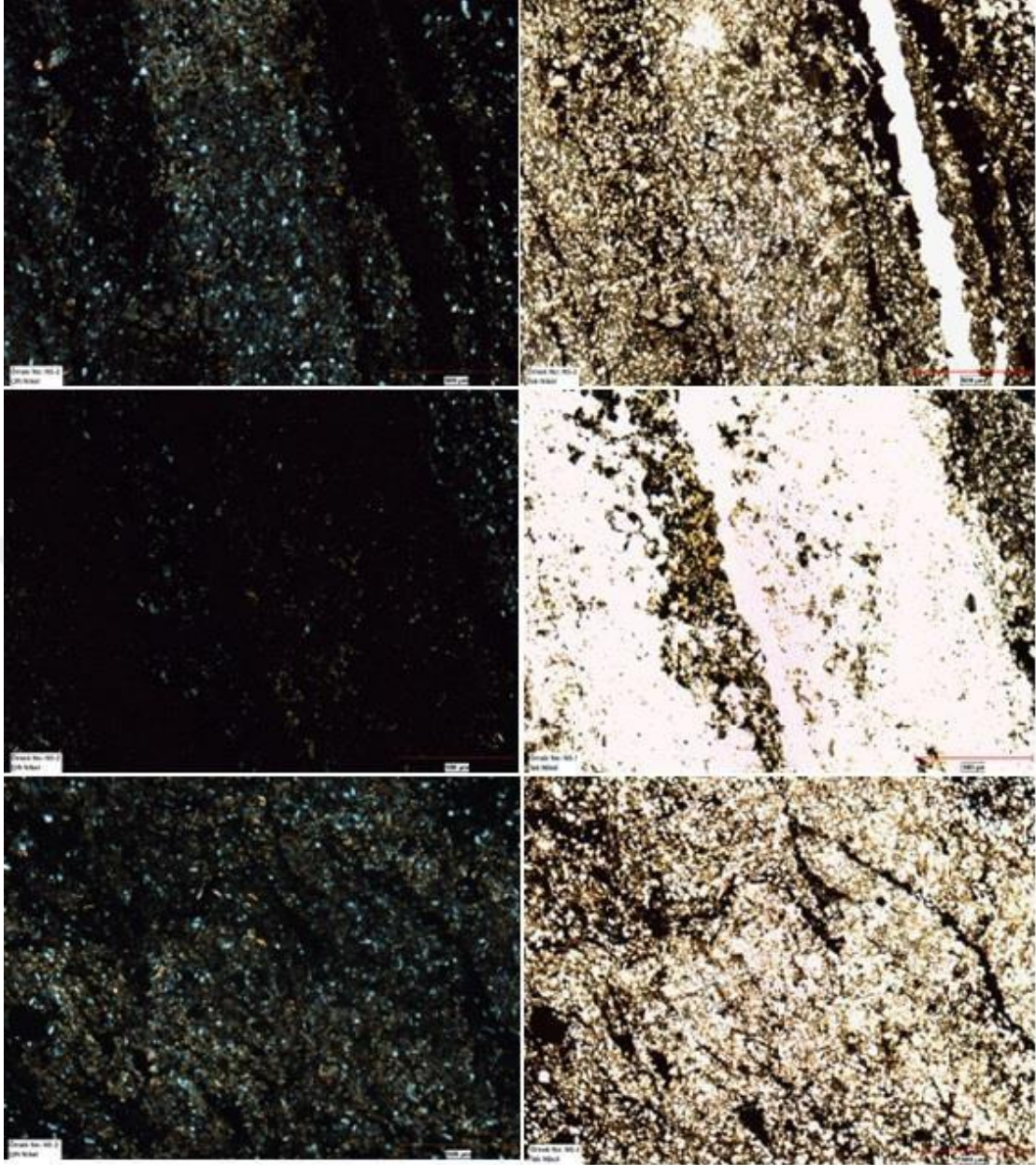
**Şekil 4.20.** Pamucakyaayla Formasyonu orta-iri taneli kumtaşlarının ince kesit görünümü (NS-14 örneği)



**Şekil 4.21.** Pamucakyaayla Formasyonu ince taneli kumtaşlarındaki kümür dolguların ince kesit görünümü (NS-15 örneği)



**Şekil 4.22.** Pamucakyayla Formasyonun üst bölümlerinde yer alan kireçtaşlarının ince kesit görünümü (NS-16 örneği)



**Şekil 4.23.** Pamucakyayla Formasyonunun üst bölümlerinde yer alan siltaşları ve kömür dolgularının ince kesit görünümü (NS-17 örneği)

Formasyondan alınarak seçilen 14 adet örnekte XRD tüm kaya ve kil minerali çözümlmeleri yapılmıştır (Çizelge 4.1). Özellikle kömür damarlarının bulunduğu seviyelerdeki mineral bileşiminin belirlenmesine ağırlık verilmiştir. Örneklerdeki egemen mineraller bolluk sırasına göre Çizelge 4.1’ de sıralanmıştır. Buna göre kuvars, kil, kalsit, pirit ve feldispat en bol bulunan minerallerdir. Daha az olarak da dolomit ve mika mineralleri yer alır. Pirit özellikle kömür damarlarının bulunduğu seviyelerde oldukça yoğunlaşmıştır. XRD kil minerali belirlemelerinde ise egemen kil minerali İllit ve kaolinitir. Yalnızca birkaç örnekte smektit ve klorit saptanmıştır (Çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1.** Göynük kömürlü birimlerinin tavan, taban ve ara kesme örneklerine ait tüm kaya ve kil bileşenleri

| Örnek No | Örnek içeriği   | Kil Grubu Mineraller |     |     |    | TKM | Q   | P   | Kal | Mika | D | Felds |
|----------|-----------------|----------------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|---|-------|
|          |                 | Kln                  | İ   | Sm  | Kl |     |     |     |     |      |   |       |
| NS.1     | Kömürlü kumtaşı | +++                  |     |     |    | *** | **  | **  |     |      |   |       |
| NS.3     | Kömürlü kumtaşı | ++                   | +++ |     |    | *** | *** | *   | **  |      |   |       |
| NS.4     | Kömürlü kumtaşı | ++                   | +++ |     |    | **  | *** | **  |     |      | * | *     |
| NS.8     | Kömürlü kumtaşı | +++                  | ++  |     |    | **  | *** | **  |     |      |   | *     |
| NS.9     | Kömürlü kumtaşı | +++                  |     |     |    | **  | **  | *** |     |      |   | *     |
| NS.10    | Kömürlü kumtaşı | ++                   |     | +++ |    | **  | *** | **  |     |      |   | *     |
| NS.11    | Kömürlü kumtaşı | +++                  |     |     |    | **  | *** | *   | **  |      |   | **    |
| NS.12    | Killi kömür     | +++                  |     |     |    | **  | *** |     |     |      |   | **    |
| NS.13    | Killi kömür     | +++                  |     |     |    | *   | **  |     | *** |      |   | **    |
| NS.14    | Killi kömür     | ++                   | +++ |     |    | **  | *** |     |     |      | * | **    |
| NS.15    | Killi kömür     | ++                   | +++ | +   |    | **  | *** |     |     | *    | * | **    |
| NS.17    | Killi kömür     | ++                   | +++ |     |    | **  | *** |     |     |      |   | **    |
| NS.18    | Killi kömür     | ++                   | +++ |     | +  | **  | *** |     |     | *    |   | **    |
| NS.20    | Kömürlü kumtaşı |                      |     |     |    | **  | *** |     |     |      |   | **    |

Kln (Kaolinit), İ (İllit), Sm (Smektit), Kl (Klorit), TKM (Toplam Kil Miktarı), Q (Kuvars), P (Pirit), Kal (Kalsit), D (Dolomit), Felds (Feldispat), “+”, “\*” Minerallerin nispi bollukları

MTA'nın paleontolojik ve palinolojik değerlendirmeleri Pamucakyayla Formasyonunun Karbonifer-Alt Permiyen yaşında olduğuna işaret eder. Pamucakyayla Formasyonunun İnceleme alanındaki kalınlığı 380 m dir (MTA, 2009).

Sahada, 20 milyon tonluk kaynak rezervi ve 1,5 milyon ton kadar mümkün rezerv bulunmaktadır (MTA, 2009). Kömürde yapılan kimyasal analizlerde ortalama olarak şu sonuçlar elde edilmiştir: Su: % 5,83, Kül: % 22,03, Uçucu Madde: % 23,19, Sabit Karbon: % 48,44, Kükürt: % 4,07, Koklaşma: % 70,97 ve AID: 5288 kcal/kg olarak sonuçları elde edilmiştir (MTA, 2009). Kömür siyah toz halinde ve çok az birleşir nitelikte kok vermektedir.

#### 4.2.5. Dinek Formasyonu (Orta Üst Permiyen)

İlk olarak Kalafatçıoğlu (1973) tarafından adlandırılan Dinek Formasyonu bölgede Kesmeboğazdere, Koldurum Tepe, Kavakdağ, Çürükdağ, Eğridağ ve Göynükdere gibi alanlarda yüzeyleme göstermektedir. Kalafatçıoğlu (1973) çalışmalarında Permiyen yaşlı oluşumun alt seviyelerini Dinek Kalkerleri, üst seviyelerini de Fesliğin dolomitleri olarak isimlendirmiştir. Daha sonraki yapılan çalışmalarda bu birimler birbirlerine çok benzediği için tek bir isim verilmiş ve Dinek Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Şenel 1986). Formasyon genellikle siyah, siyahımsı gri ve gri renklerde,

orta-kalın katmanlı, bol makro kavkılı, mercanlı resifal kireçtaşları ile karakterizedir. Üste doğru gri renkte, kalın katmanlı, yer yer çörtlü, hafif kristalize olmuş kireçtaşlarına geçer. Dolomitleşmelere bazı seviyelerde rastlanır. Kesmeboğazdere'de Kesmeköprü mevkinde tipik bir kesiti temsil eder. Alttaki Pamucakyayla Formasyonu ile uyumsuz olarak gözlenir. Bu formasyondan alınan numunelerde çeşitli mikrofosiller tespit edilmiştir (Kalafatçıoğlu 1973).

Litolojik dizilim olarak Dinek Formasyonu alt bölümde siyah, koyu gri ve gri renklerde, orta kalınlıkta katmanlı, bol makro kavkılı ve mercanlı resifal kireçtaşları ile karakterizedir. Yüksek kesimlerde gri renkte, kalın katmanlı, yer yer çörtlü, hafif kristalleşmiş kireçtaşlarına evrilir ve en üstte siyah, koyu gri renklerde, orta kalınlıkta katmanlı, bol kavkılı resifal kireçtaşları ile sonlanır. Bu formasyonun belirli seviyelerinde dolomitleşme gözlemlenir (Şenel vd. 1981).

Dinek Formasyonu, Musadağ ve Omurgadağ'ın batı yamacında, Sarıyardere Formasyonu üzerinde uyumsuz bir şekilde bulunur. Ancak Kesmeköprü mevkiinde Pamucakyayla Formasyonu ile kademeli bir geçiş sergiler. Aynı zamanda, üstte Musadağ'ın batısında harupluyut mevkiinde, Kesmeköprü Formasyonu ile uyumlu bir şekilde örtülmüştür (Bozkaya ve Yalçın 2010).

Şenel vd. (1981) tarafından Kesmeköprü mevkiinde 283 m'lik bir kalınlık ölçülmüştür. Bu kalınlık bölgede yanal olarak önemli bir değişim göstermez. Dinek Formasyonu, bazı alanlarda mercan ve alg yığılımları içerir. Bu alanlarda ayrıca kalın kavkılı organizma kalıntıları sıkça görülür. Bu özellikleriyle formasyon, tipik resif ortamını yansıtmaktadır (Şenel vd. 1981).

Çökelim ortamı olarak iri kavkılı organizma kalıntıları görülmesi, mercan ve alg yığılımlarının oluşumu, formasyonun resifal bir ortamda çökeldiğini gösterir.

#### **4.2.6. Kesmeköprü Formasyonu (Alt Trias)**

İlk olarak Kalafatçıoğlu (1973) tarafından Çandır Formasyonu olarak adlandırılmış ve daha sonra Marcoux (1978) Kesme Köprü Formasyonu olarak değiştirmiştir. Daha sonraki adlandırma olduğu için de Kesmeköprü Formasyonu adlaması benimsenmiştir. İnceleme bölgesinde Göynükdere, Pamucakyayla ve Sapandere'de bu formasyon yüzlek vermektedir. Formasyon tabanda polijenik çakıltı ile başlar ve içinde iyi yuvarlanmış, Permiyen yaşlı çakılları içerir. İnce şeyl düzeyleriyle devam eder ve genellikle sarımsı, grimsi, yeşilimsi renklerde ince-orta katmanlı marnlardan oluşur. Zaman zaman mercek biçiminde kireçtaşları bantları içerir. Bu formasyonda lamelli, Gastropod kavkılarına rastlanmıştır (Şenel vd. 1981).

#### **4.2.7. Tersiyer Birimleri**

Tersiyer birimleri olarak inceleme alanı ve çevresinde Kuvaterner oluşumları yer almaktadır. Bunlar kalın yığıntılar şeklinde yamaç molozları ve alüvyonlar olarak çökelmişlerdir. Sapandere, Pamucakyayla ve Göynükdere içerisinde gözlenmektedirler.

### 4.3. ORGANİK JEOKİMYASAL-PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

#### 4.3.1. Rock-Eval Piroliz Analizi

Çalışılan birimlerin kaynak kaya potansiyelini değerlendirmek için organik jeokimyasal analizler yapılmıştır. Toplam Organik Karbon (TOC) ve Rock-Eval Piroliz analizleri, organik madde miktarı, türü ve olgunlaşma derecesi hakkında önemli bilgiler sağlamıştır. Kaynak kaya potansiyeli en yüksek olduğu için Pamucakyayla Formasyonu çalışılmıştır. Farklı aralıklardan alınan 23 örnek üzerinde gerçekleştirilen analizler, TOC, S1, S2, S3, Tmax, HI, OI, PI, RC, PC, MIN ve S2/S3 değerlerini ortaya koymuştur. Rock-Eval piroliz sonuçları Çizelge 4.2'da sunulmuştur.

**Çizelge 4.2.** Pamucakyayla Formasyon'undan alınan kömür ve kömürlü örneklerinin Toplam Organik Karbon (TOC) ve Rock-Eval piroliz analiz sonuçları

| No | Örnek No | TOC   | S1    | S2     | S3    | Tmax | HI  | OI  | PI   | RC (%) | PC (%) | MINC (%) |
|----|----------|-------|-------|--------|-------|------|-----|-----|------|--------|--------|----------|
| 1  | NS1      | 28,81 | 11,73 | 112,5  | 0,27  | 450  | 472 | 1   | 0,09 | 13,41  | 10,4   | 23,92    |
| 2  | NS2      | 20,34 | 11,5  | 116,28 | 0,24  | 455  | 572 | 1   | 9,09 | 9,67   | 10,67  | 21,82    |
| 3  | NS3      | 3,02  | 1,15  | 5,03   | 0,17  | 461  | 167 | 6   | 0,19 | 2,49   | 0,53   | 8,46     |
| 4  | NS4      | 5,79  | 2,41  | 9,07   | 0,2   | 460  | 157 | 3   | 0,21 | 4,8    | 0,99   | 6,29     |
| 5  | NS5      | 21,51 | 11,81 | 120,13 | 0,22  | 452  | 558 | 1   | 0,09 | 10,49  | 11,02  | 23       |
| 6  | NS6      | 1,06  | 0,11  | 0,87   | 0,14  | 448  | 82  | 13  | 0,11 | 0,97   | 0,09   | 0,17     |
| 7  | NS7      | 6,32  | 1,92  | 11,25  | 0,16  | 456  | 178 | 3   | 0,15 | 5,21   | 1,11   | 3,96     |
| 8  | NS8      | 30,45 | 13,08 | 125,13 | 0,26  | 444  | 411 | 1   | 0,09 | 18,88  | 11,57  | 24,25    |
| 9  | NS9      | 14,91 | 4,24  | 27,76  | 0,48  | 467  | 186 | 3   | 0,13 | 12,21  | 2,7    | 28,26    |
| 10 | NS10     | 0,13  | 0,03  | 0,11   | 0,29  | 464  | 85  | 223 | 0,19 | 0,11   | 0,02   | 0,03     |
| 11 | NS11     | 25,44 | 10,64 | 120,44 | 0,3   | 449  | 473 | 1   | 0,08 | 14,49  | 10,95  | 26,58    |
| 12 | NS12     | 2,24  | 0,78  | 3,12   | 0,2   | 460  | 139 | 9   | 0,2  | 1,9    | 0,34   | 8,18     |
| 13 | NS13     | 0,76  | 0,03  | 0,26   | 0,42  | 446  | 34  | 55  | 0,1  | 0,71   | 0,05   | 0,22     |
| 14 | NS14     | 1,28  | 0,03  | 0,98   | 0,63  | 449  | 77  | 49  | 0,03 | 1,17   | 0,11   | 8,53     |
| 15 | NS15     | 1,32  | 0,57  | 2,06   | 0,18  | 457  | 156 | 14  | 0,22 | 1,09   | 0,23   | 10,18    |
| 16 | NS16     | 21,42 | 2,72  | 75,06  | 0,42  | 448  | 350 | 2   | 0,03 | 14,87  | 6,55   | 19,68    |
| 17 | NS17     | 22,24 | 7,34  | 106,03 | 0,24  | 454  | 477 | 1   | 0,06 | 12,74  | 9,5    | 23,25    |
| 18 | NS18     | 0,65  | 0,05  | 0,35   | 0,18  | 476  | 54  | 28  | 0,12 | 0,16   | 0,04   | 0,12     |
| 19 | NS19     | 3,63  | 0,04  | 1,56   | 2,06  | 462  | 43  | 57  | 0,02 | 3,41   | 0,22   | 8,44     |
| 20 | NS20     | 24,39 | 1,33  | 50,96  | 14,06 | 451  | 209 | 58  | 0,03 | 19,3   | 5,09   | 26,22    |
| 21 | NS21     | 1,52  | 0,04  | 1,17   | 0,22  | 449  | 77  | 14  | 0,03 | 1,4    | 0,12   | 0,08     |
| 22 | NS22     | 0,34  | 0,01  | 0,27   | 0,18  | 445  | 79  | 53  | 0,05 | 0,31   | 0,03   | 0,09     |
| 23 | NS23     | 0,39  | 0,02  | 0,3    | 0,2   | 452  | 77  | 51  | 0,06 | 0,35   | 0,04   | 0,06     |

TOC; Toplam Organik Karbon (ağırlıkça %), S1; mgHC/g kaya, S2; mgHC/g kaya, S3; mg CO<sub>2</sub>/g kaya, Tmax; oC, HI; Hidrojen İndeksi (mgHC/g TOC), OI; Oksijen İndeksi (mg CO<sub>2</sub>/g TOC), PI; Üretim İndeksi, PY; Potansiyel Ürün (mg HC/g kaya), S2/S3; Hidrokarbon tip indeks, RC; Rezidüel karbon, PC, MINC

#### 4.3.1.1. Organik madde miktarı

Toplam organik madde miktarı, kaya içindeki serbest hidrokarbonlar ile kerojene ait organik karbonun toplamını ifade eder (Tissot ve Welte 1984; Jarvie 1991). Ekonomik miktarda hidrokarbon üretebilmesi için kaynak kayaların belirli bir organik madde içeriğine sahip olması gereklidir. Bu miktar, biyolojik üretkenlik, fizikokimyasal koşullar, tane boyutu, sedimantasyon hızı ve kaya türüne bağlı olarak değişir. Pamucakyayla Formasyonu'ndan alınan kömür/kömürlü örneklerdeki Toplam Organik Karbon (TOC) miktarları %0,13 ile %30,45 arasında değişmekte olup (Çizelge 4.2),

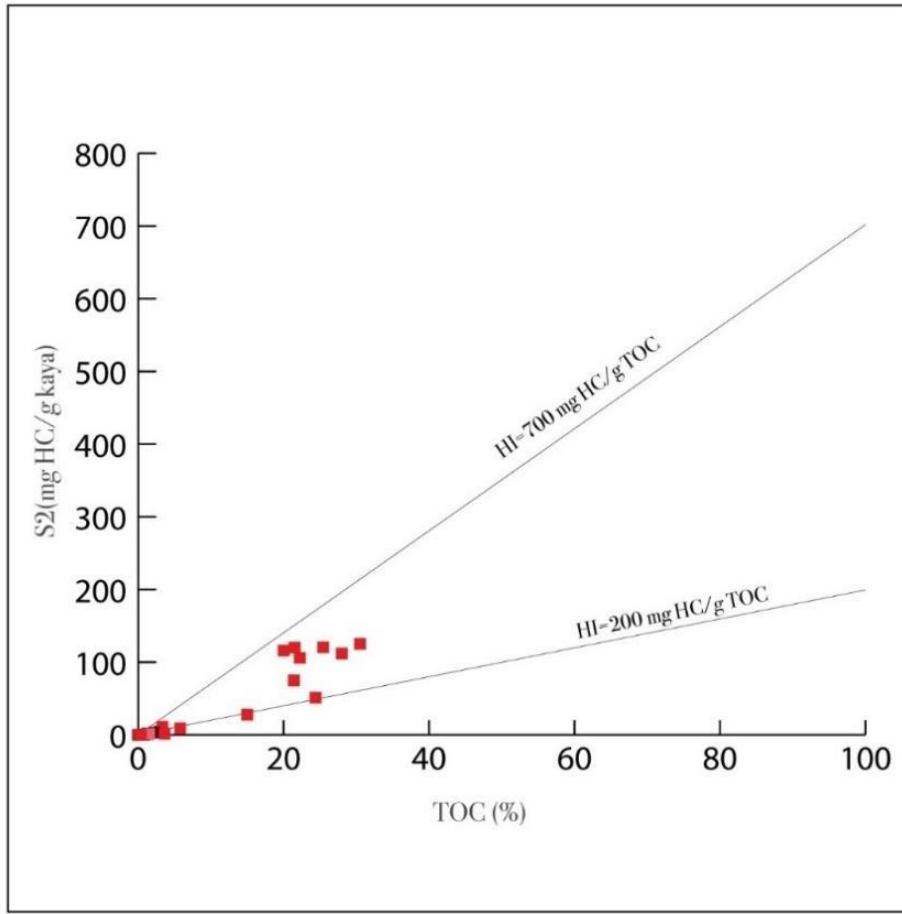
ortalama TOC değeri %15,29 olarak hesaplanmıştır. Tissot ve Welte (1984)'nin Toplam organik karbon miktarına göre ana kaya sınıflaması ile kıyaslandığında ana kaya potansiyelinin “Zengin” olduğu izlenmektedir. Alınan örneklerin tek tek incelendiğinde 13 tanesi (NS1, NS2, NS3, NS4, NS5, NS7, NS8, NS9, NS11, NS16, NS17, NS19, NS20) yüksek karbon miktarına sahiptir.

#### 4.3.1.2. Organik madde türü

Rock-Eval piroliz analizi, kayaçlardaki organik maddenin türünü ve kerojen tiplerini belirlemek için kullanılır. Bu çalışmada Langford ve Blanc-Valleron (1990), tarafından geliştirilen diyagramlar kullanılarak organik madde tipleri belirlenmiştir.

S2-TOC ve Hidrojen İndeksi (HI) arasındaki ilişkiye dayalı olarak üç tip kerojen tanımlanmıştır (Şekil 4.24). Diyagramdaki örnekler ait regresyon çizgisinin eğimi, kaya içerisindeki piroliz edilebilir hidrokarbon yüzdesini göstermektedir (Langford ve Blanc-Valleron 1990). Piroliz sırasındaki sıcaklık değişikliklerinden kaynaklanabilecek S2 okuma hataları nedeniyle, özellikle kil mineralleri içeren örneklerde, organik madde türleri belirlenmeden önce adsorbsiyonla tutulan miktarın tespit edilip düzeltilmesi gerekebilir. Çoğunlukla gölsel kökenli olan Tip I kerojenler piroliz sonucunda %80 oranında hidrokarbon üretebilirken, denizel kökenli Tip II kerojenler %50-60 ve karasal kökenli odunsu Tip III kerojenler ise en fazla %15-30 oranında hidrokarbon üretebilmektedir. Yüksek TOC değerine sahip örnekler genellikle büyük S2 değerleri gösterirler; ancak bazı durumlarda, çok yüksek TOC değerine sahip bir örnek, küçük bir S2 piki oluşturabilir (Peters ve Cassa 1994).

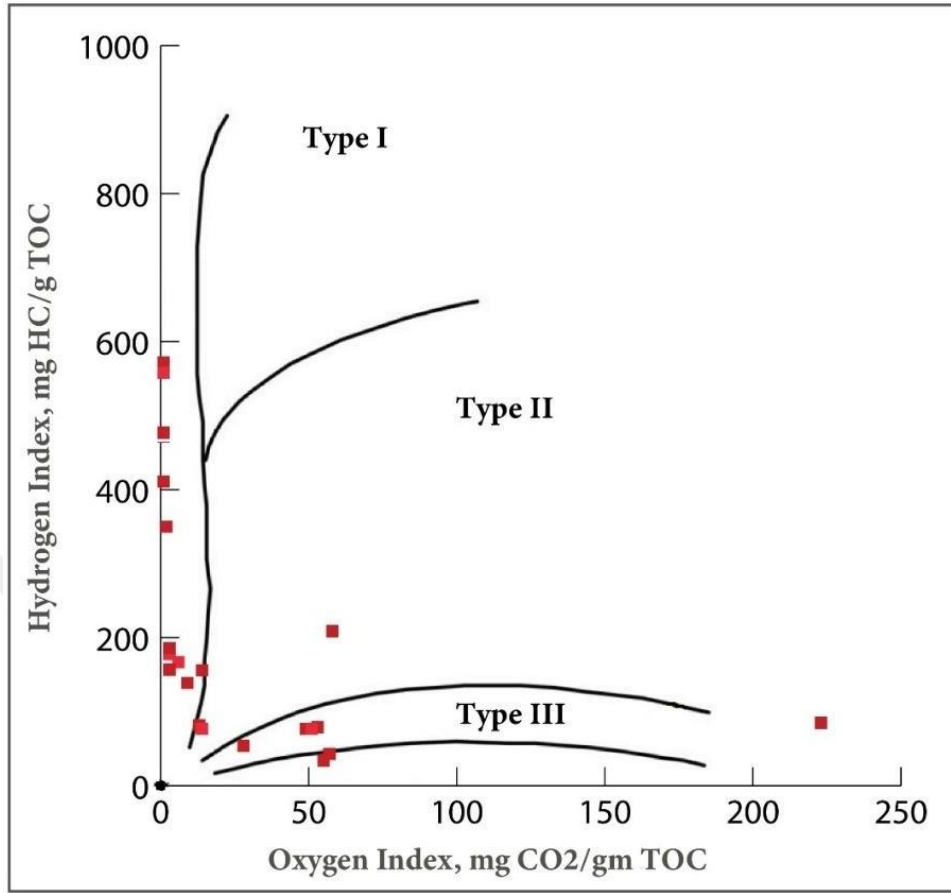
İncelenen örneklerin HI değerleri 34-572 mg HC/g TOC arasında değişmekte olup, ortalama 303 mg HC/g TOC olarak hesaplanmıştır. S2-TOC diyagramında, örneklerin yarısı eğimi 2 olan doğrunun altında ve tam üstünde yer alarak Tip III kerojeni, diğer yarısı ise eğimi 7 olan doğrunun altında yer alarak Tip II kerojeni göstermektedir.



**Şekil 4.24.** İncelenen örneklerin S2-TOC diyagramı ve organik madde türleri

Kerojen tipi HI ve OI parametreleriyle de tanımlanabilir. Bu parametreler, organik maddenin elementel bileşimi ile doğrudan ilişkilidir. HI, atomik H/C oranı ile, OI ise atomik O/C oranı ile ilişkilidir. Bu nedenle, HI ve OI değerleri Van Krevelen diyagramında kullanılarak kerojen tipleri belirlenebilir (Tissot ve Welte 1984 ; Hunt 1995).

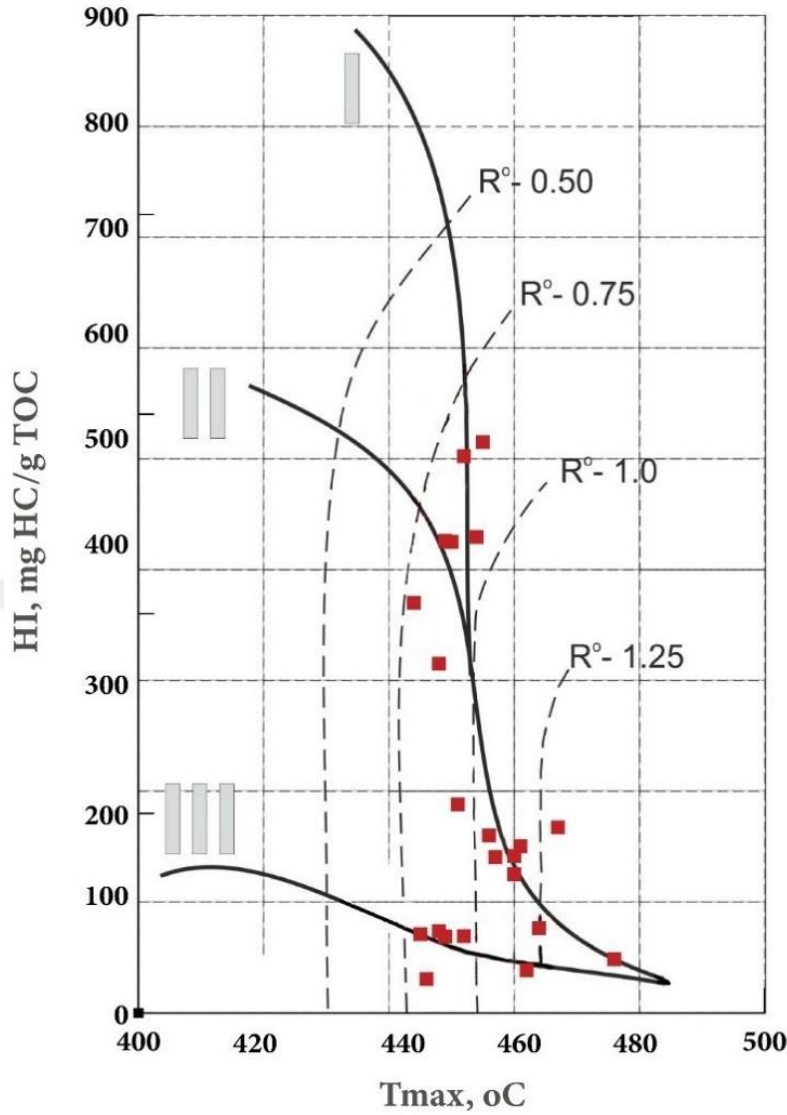
İncelenen kömür/kömürlü örneklerin Oksijen İndeksi (OI) değerleri 1-223 mg CO<sub>2</sub>/g TOC, Hidrojen İndeksi (HI) değerleri ise 34-572 mg HC/g TOC arasında değişmektedir. Bazı örnekler yüksek HI değerleri nedeniyle Tip II-III olarak sınıflandırılmıştır. Bu yüksek HI değerlerinin liptinit ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 2.25).



Şekil 4.25. İnceleme alanının HI-OI kerojen tipi sınıflama diyagramı.

Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen HI ve Tmax değerleri, kerojen tipini belirlemek için kullanılan önemli parametrelerdir. HI-Tmax diyagramı organik maddenin tipini ve olgunlaşma düzeyini verir. Hunt (1995) ve (Peters) 1986, olgunlaşmamış örneklerin Tmax değerinin organik madde tipine göre değiştiğini, aşırı olgun örneklerde bu farklılığın belirsizleştiğini ifade etmişlerdir.

Pamucakyayla Formasyonu'ndan analiz edilen örneklerin Tmax değerleri 444-476 °C arasında değişmektedir (Çizelge 5.2). HI-Tmax diyagramında, örneklerin çoğunun Tip III kerojen alanında, birkaçının ise Tip II kerojen alanında yer aldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. İncelenen örneklerin HI-Tmax diyagramındaki dağılımı

#### 4.3.1.3. Organik maddenin olgunlaşma düzeyi

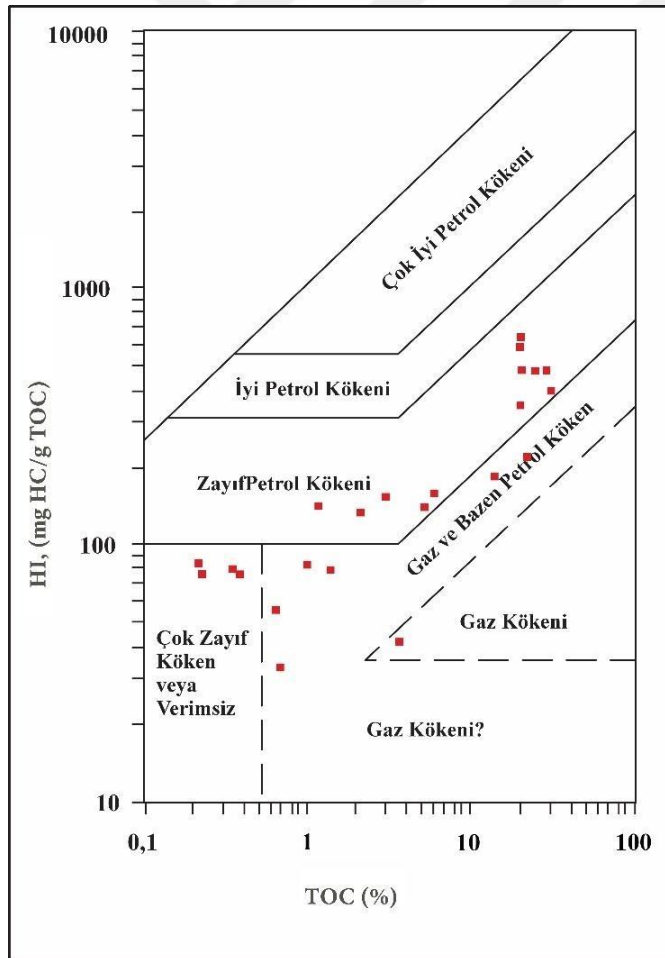
Bu bölümde, kerojenin kimyasal analizinden elde edilen verilerle (Tmax, Üretim İndeksi (PI), HI-Tmax diyagramı) organik maddenin olgunluğu değerlendirilmiştir. Tmax ve PI değerleri, organik maddenin ısısal gelişimi ile yakından ilişkilidir. PI değerinin olgunlukla birlikte sürekli olarak arttığı ve olgunluğu belirlemede kullanılabilecek yararlı bir parametre olduğu belirtilmektedir (Tissot ve Welte 1984, Waples 1985). Tmax ve PI arasında oldukça güvenilir bir korelasyon bulunmaktadır (Tissot ve Welte 1984).

İncelenen örneklerin Tmax değerleri 444-476 °C arasında değişmekte olup, ortalama 460 °C olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Bu, örneklerin çoğunun olgun ve birkaç örneği ise ileri olgun düzeyde olduğunu gösterir. Pamucakyayla Formasyonu'ndan

alınan kömür/kömürlü örneklerin PI değerleri 0,02-0,22 arasında değişmekte olup, ortalama 0,12 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.2). Bu değerler, PI sınıflamasına göre olgun organik maddeyi göstermektedir. HI-Tmax diyagramı ise organik madde tipini belirlemenin yanı sıra organik maddenin olgunluğu hakkında da bilgi sağlar. HI-Tmax diyagramına göre değerlerimiz olgunlaşmış kerojen alanını göstermektedir (Şekil 4.26).

#### 4.3.1.4. Kaynak kaya potansiyeli

Toplam Organik Karbon (TOC) değeri ve piroliz parametreleri S1 ve S2, organik madde miktarını ve kaynak kaya potansiyelini değerlendirmede kullanılır. S1, serbest hidrokarbon miktarını, S2 ise kerojenin ısısal parçalanmasıyla oluşan hidrokarbonları gösterir. PY (S1+S2) değeri, bir ton kayadaki hidrokarbon miktarını kilogram cinsinden ifade eder. Rock-Eval piroliz verilerine göre PY değeri 0,14 ile 138,21 arasında değişmekte olup, ortalama 69,17'dir. Bu sonuçlar, bölgenin iyi bir kaynak kaya potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, HI/TOC diyagramına göre değerlendirilen örnekler çoğu petrol ve bazılarının ise gaz kökenini işaret etmektedir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. İnceleme alanına ait HI-TOC diyagramı

TOC ve Rock-Eval analiz sonuçları, kömür örneklerin potansiyelini, organik madde miktarı, organik madde türü ve olgunluk düzeyini ortaya koymuştur. Bu sonuçlara dayanarak, kömürlerin iyi potansiyele sahip, olgun düzeyde ve tip II ve III kerojen içerdikleri saptanmıştır.

#### 4.3.1.5. Organik fasiyes incelemeleri

Organik fasiyesleri Jones ve Demaison (1982), atomik H/C oranları, Rock Eval piroliz verileri ve vitrinit yansıması değerlerinden faydalanarak A, B, B-C, C ve D olmak üzere 5 tipte belirlemiştir. Jones (1987), H/C oranı, Hidrojen indeksi (HI) ile oksijen indeksini (OI) içeren Rock-Eval piroliz verileri ve egemen organik madde türlerine göre 7 ayrı organik fasiyes geliştirmiştir. Bu sınıflamalar A organik fasiyesi, AB organik fasiyesi, B organik fasiyesi, BC organik fasiyesi, C organik fasiyesi, CD organik fasiyesi ve D organik fasiyesidir. Bu çalışmada, inceleme alanındaki örneklerin organik fasiyes özellikleri değerlendirilirken Jones (1987) sınıflaması temel alınmıştır.

Jones (1987) sınıflamasını dikkate alarak, HI ve OI değerlerine göre yapılan değerlendirme, örneklerin B (denizel, amorf, yaygın karasal), BC (karışık, bazen okside), C (karışık, bazen okside), ve CD (okside, yeniden işlenmiş) fasiyes gruplarında yer aldığını göstermektedir.

#### 4.3.2. Vitrinit yansıması ölçümleri ve değerlendirmesi

Araziden alınan örnekler üzerinde, organik madde açısından zengin sedimanter kayaçların olgunluk seviyelerini belirlemek amacıyla vitrinit yansıma ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Vitrinit, kömürün ana bileşenlerinden biri olup, bitkilerin hücre duvarı materyalinden ya da odunsu dokusundan türetilmektedir. Bu çalışmada, kömür numunelerinin yansıma oranları ölçülerek termal olgunluk seviyeleri tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, kömürün enerji potansiyelini ve olgunlaşma derecesini değerlendirme açısından önemli bulgular sağlamaktadır.

Kömürlerde yapılan vitrinit yansıması ölçümleri, kömürün hangi termal evrede olduğunu belirlemek için kullanılır. Diyajenez, katajenez ve metajenez evrelerine karşılık gelen yansıma değerleri, kömürün petrol ve gaz üretme potansiyelini de ortaya koyar. Kömür numunelerinde gerçekleştirilen bu ölçümler, organik maddenin kimyasal analizleriyle birlikte değerlendirildi ve kömürün enerji potansiyeli ve kaynak kaya özellikleri hakkında detaylı bilgiler elde edilmiştir. Bu yöntemler sayesinde, kömürleşme süreçleri ve kömürün oluştuğu çevresel koşullar hakkında da önemli veriler ortaya konuldu.

Bu çalışmada Pamucakyayla Formasyonundan alınan 17 kömür/kömürlü örnekte kömürleşme dereceleri ASTM standartları kullanılarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

**Çizelge 4.3.** Vitrinit yansıma analiz sonucu elde edilen değerler.

| Örnek No | Maksimum Yansıma Değeri (Rmax) (%) | Minimum Yansıma Değeri (Rmin) (%) | Ortalama Yansıma Değeri (Ro) (%) |
|----------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| NS-1     | 0,937                              | 0,697                             | 0,836                            |
| NS-2     | 0,940                              | 0,664                             | 0,810                            |
| NS-3     | 0,945                              | 0,609                             | 0,757                            |
| NS-4     | 0,936                              | 0,565                             | 0,823                            |
| NS-5     | 0,818                              | 0,641                             | 0,713                            |
| NS-7     | 1,220                              | 0,744                             | 0,977                            |
| NS-8     | 0,989                              | 0,616                             | 0,779                            |
| NS-9     | 0,996                              | 0,638                             | 0,869                            |
| NS-10    | 0,972                              | 0,717                             | 0,843                            |
| NS-11    | 0,985                              | 0,677                             | 0,869                            |
| NS-12    | 0,845                              | 0,606                             | 0,729                            |
| NS-13    | 1,002                              | 0,684                             | 0,819                            |
| NS-14    | 0,996                              | 0,747                             | 0,871                            |
| NS-16    | 1,012                              | 0,624                             | 0,857                            |
| NS-17    | 0,901                              | 0,603                             | 0,719                            |

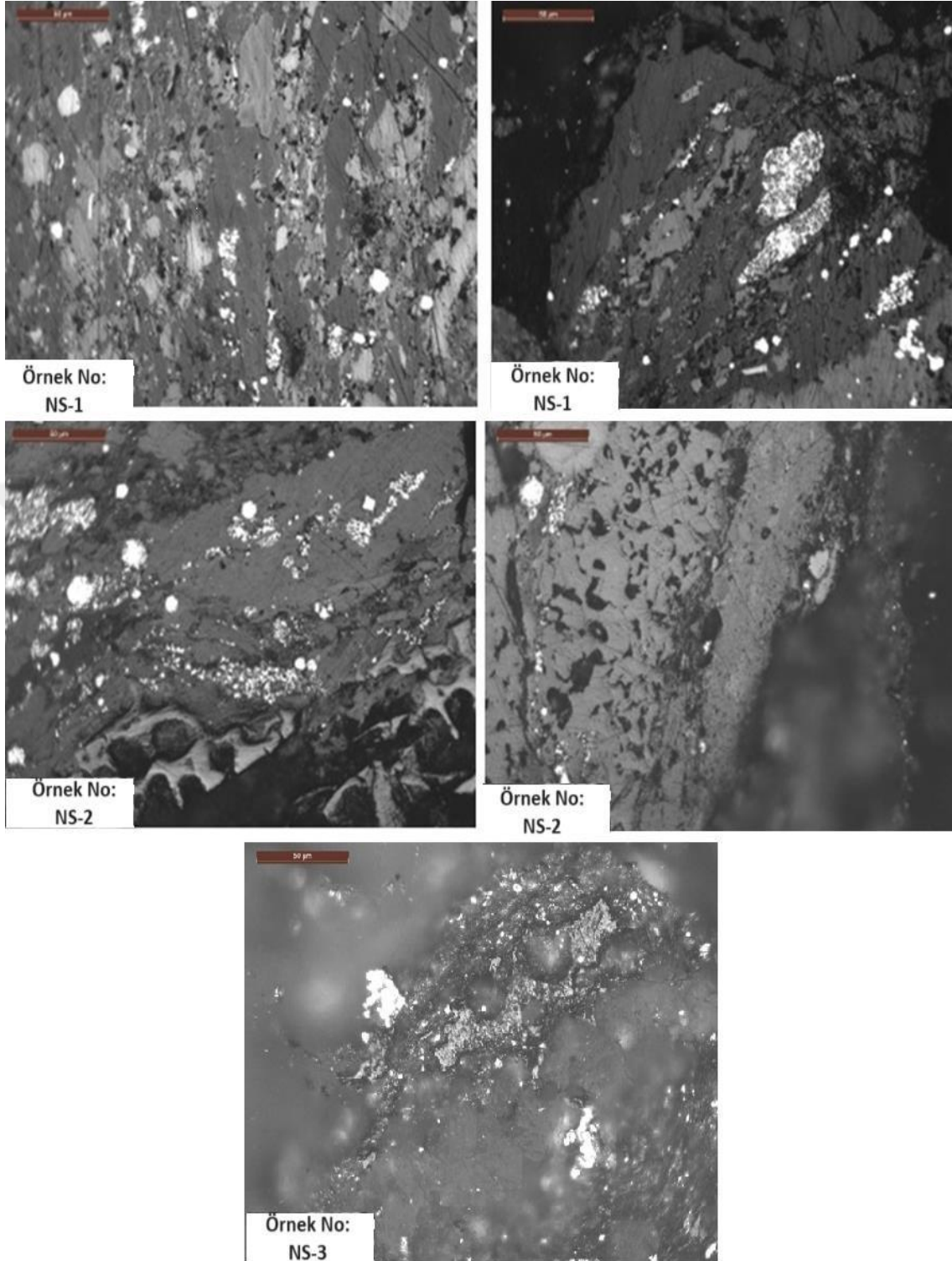
Elde edilen vitrinit yansıma değerlerine (0,713-0,977) göre kömürler yüksek uçuculu A-B olarak belirlenmiştir. Olgunlaşma düzeyleri ise olgun-ileri olgun evresini göstermektedir (Çizelge 4.4).

İnceleme alanından alınan örneklerde yapılan analizler sonucunda Çizelge 4.4'de yer alan en yüksek (Rmax), en düşük (Rmin) ve ortalama (Ro) vitrinit yansıma değerleri belirlenmiştir. Bu verilere göre, en yüksek yansıma değerleri (Rmax) %0,818 ile %1,220 arasında, en düşük yansıma değerleri (Rmin) ise % 0,565 ile %0,747 arasında değişim göstermiştir. Ortalama yansıma değeri (Ro) ise %0,713 ile %0,977 arasında tespit edilmiştir. Yansıma değerleri, organik maddenin olgunlaşma düzeyinde olduğunu ortaya koymakta ve bu sonuçlar, Rock-Eval piroliz analiz sonuçları ile uyumlu bir şekilde doğrulanmaktadır. Örneklerin parlak kesit görünümleri aşağıda verilmiştir (Şekil 4.28-4.30)

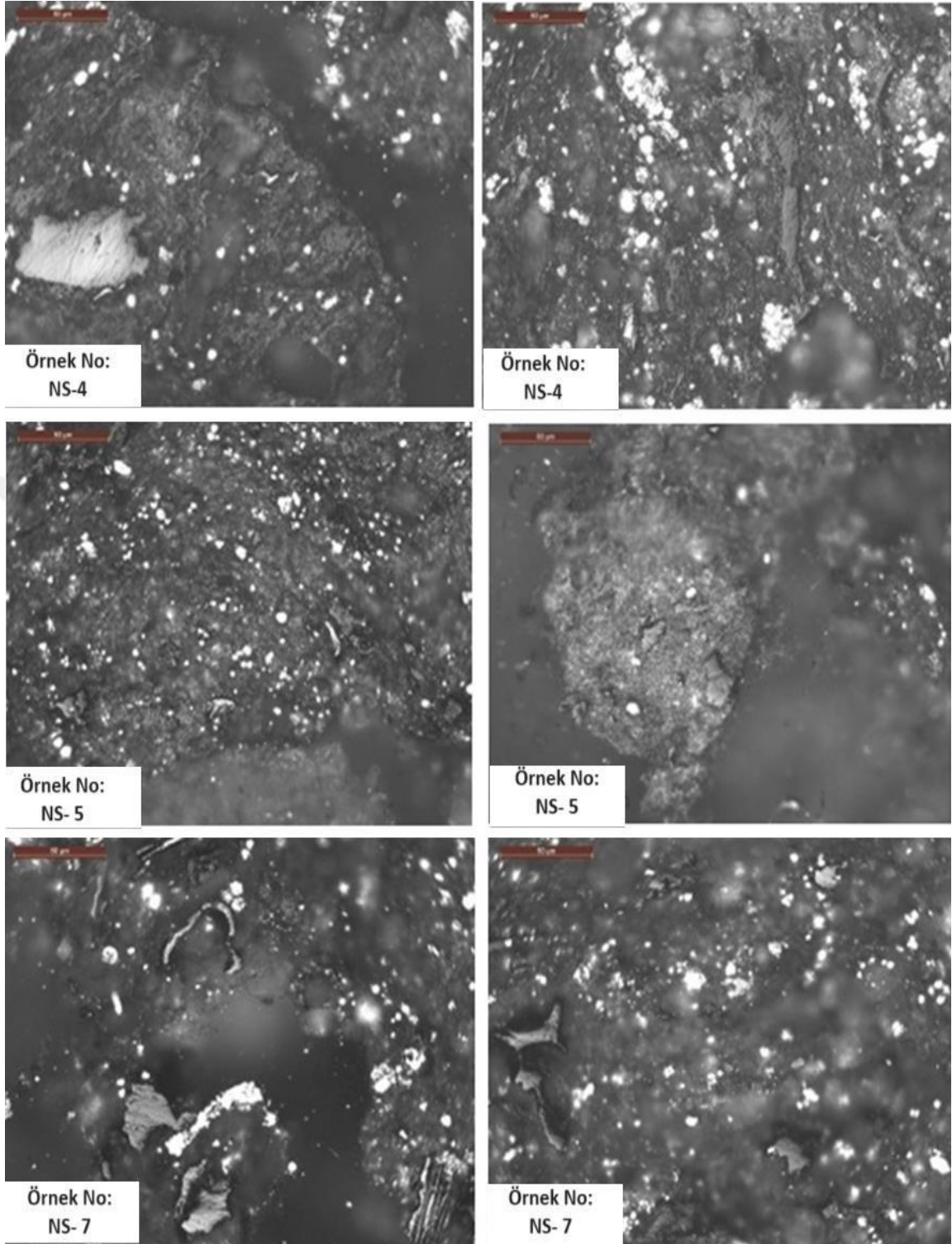
**Çizelge 4.4.** Pamucakyayla kömürlerinin olgunlaşma parametreleri ve kömürleşme derecesi

| Kömürleşme Derecesi |                       | Ro (%) | Uçucu Madde | Karbon | Orjinal nem | Kalori (kcal/g) | SCI | Olgunlaşma Derecesi |
|---------------------|-----------------------|--------|-------------|--------|-------------|-----------------|-----|---------------------|
| ALMAN DIN           | AMERİKAN ASTM         |        |             |        |             |                 |     |                     |
| Turba               | Turba                 | 0,2    | 68          |        |             |                 | 1   | OLGUNLAŞMAMIŞ       |
|                     |                       |        | 64          |        |             |                 | 2   |                     |
| Yumuşak             |                       | 0,3    | 60          | ~60    | ~75         |                 | 3   |                     |
|                     | Linyit                |        | 56          |        | ~35         | 4000            |     |                     |
| Mat                 | Alt C Bitümlü         | 0,4    | 52          |        | ~25         | 5500            | 4   |                     |
|                     | B                     |        | 48          | ~70    |             |                 | 5   |                     |
| Parlak              | A                     | 0,5    | 44          |        |             |                 | 6   |                     |
|                     | C                     | 0,6    | 40          | ~77    | ~8-10       | 7000            | 7   |                     |
| Alevli              | B                     | 0,7    | 36          |        |             |                 | 8   |                     |
| Gazlı Alevli        | A                     | 0,8    | 32          |        |             |                 | 8,5 |                     |
|                     | Yüksek uçuculu        | 0,9    | 28          |        |             |                 |     | ERKEN OLGUN         |
|                     |                       | 1,0    | 24          |        |             |                 |     |                     |
| Gazlı               |                       | 1,2    | 20          | ~87    |             | 8650            |     | İLERİ OLGUN         |
|                     | Orta Uçuculu Bitümlü  | 1,4    | 16          |        |             |                 |     |                     |
| Yağlı Taşkömürü     |                       | 1,6    | 12          |        |             |                 |     | AŞIRI OLGUN         |
|                     | Düşük Uçuculu Bitümlü | 1,8    | 8           | ~81    |             | 8650            | 9   |                     |
| Az yağlı            |                       | 2,0    | 4           |        |             |                 |     |                     |
| Yağsız              | Yarı Antrasit         |        |             |        |             |                 |     |                     |
| Antrasit            | Antrasit              |        |             |        |             |                 |     |                     |
| Meta Antrasit       | Meta Antrasit         | 3,0    |             |        |             |                 | 10  |                     |
|                     |                       | 4,0    |             |        |             |                 |     |                     |

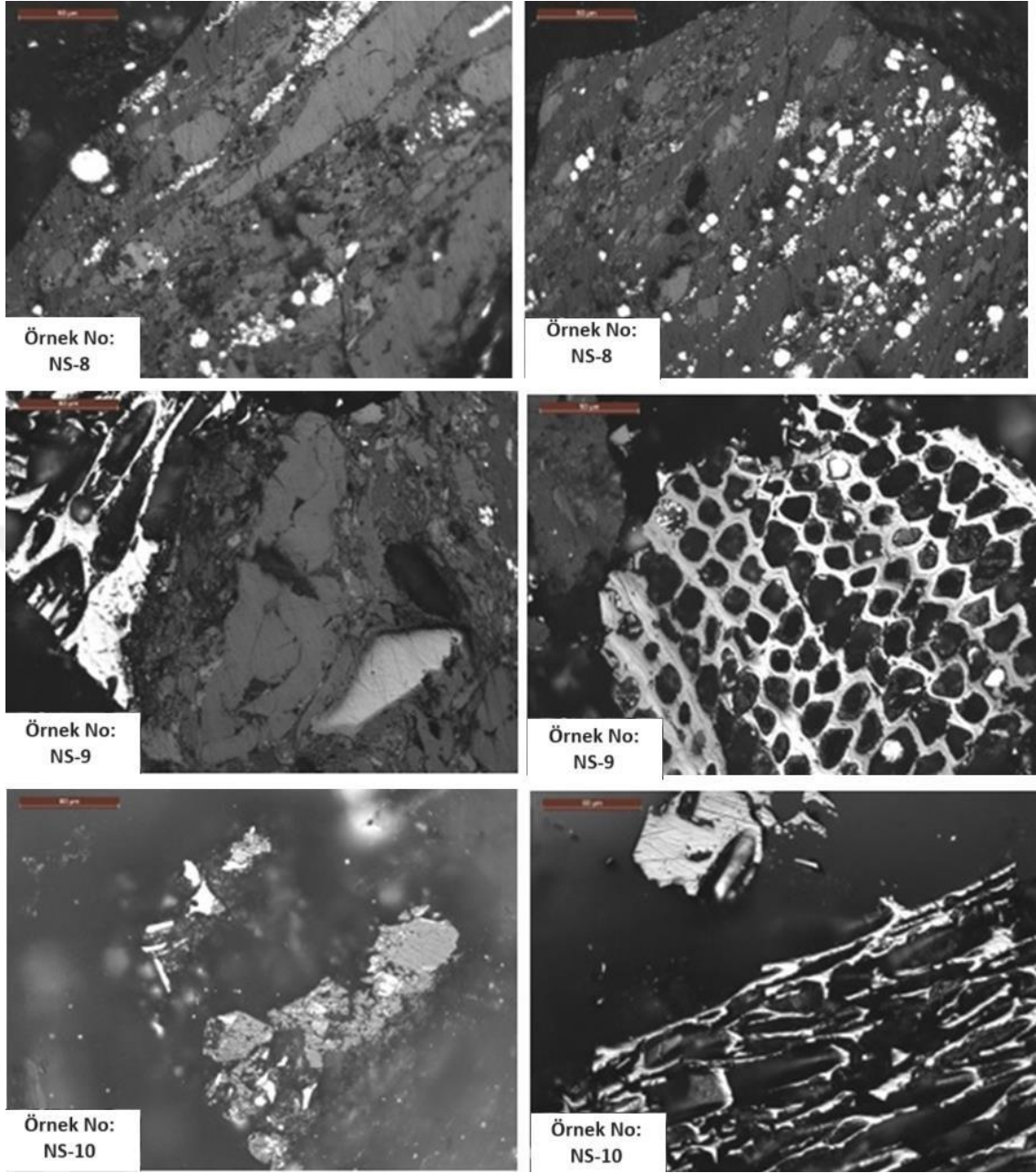
Stach vd. (1982)'den değiştirilerek alınmıştır (Uçucu madde, karbon, orjinal nem ve kalori değerleri Yaşar (2011)'den değiştirilerek alınmıştır).



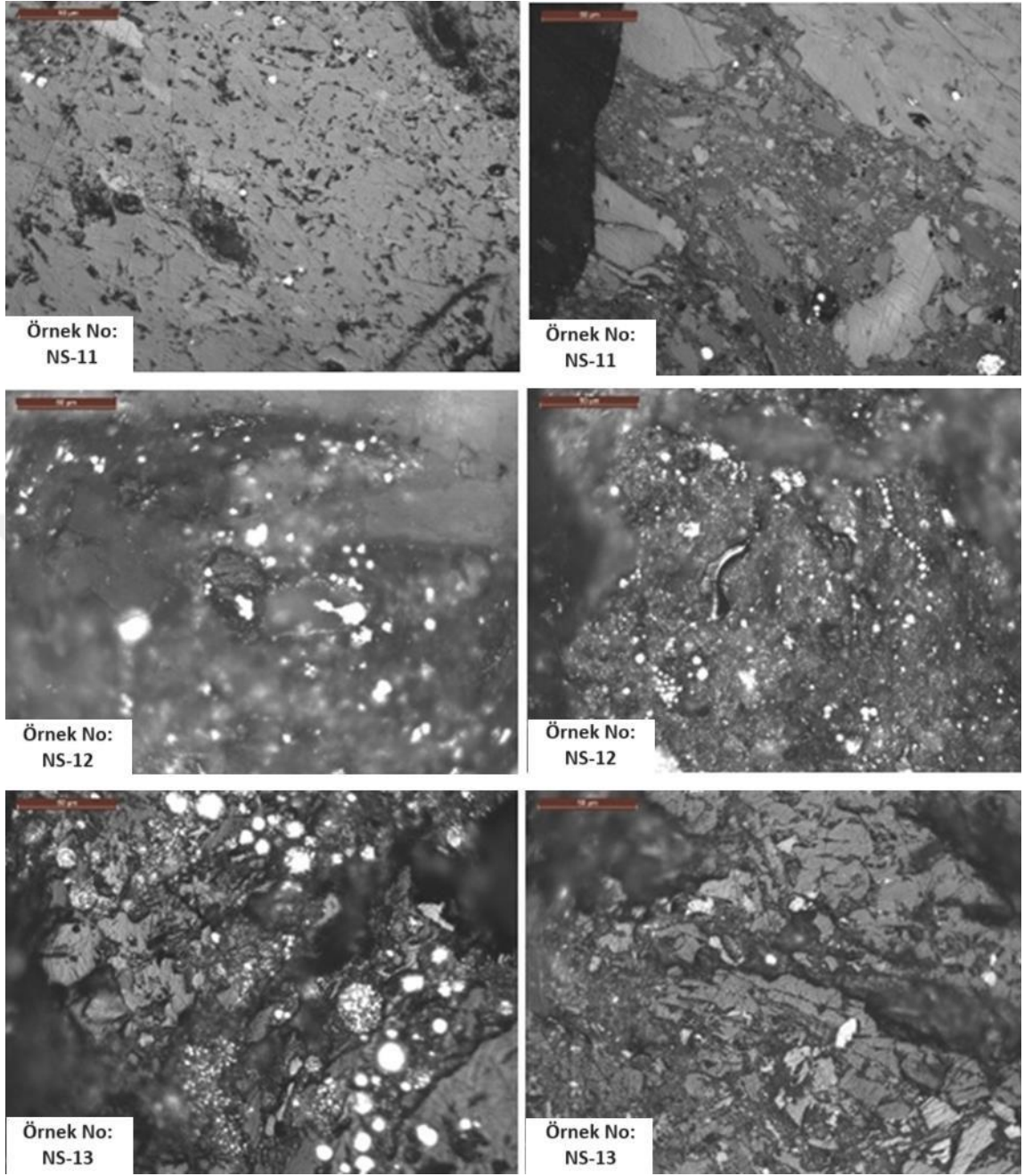
Şekil 4.28. Örnek NS-1, NS-2 ve NS-3'a ait parlatma kesit görünümleri (ölçek 40μm)



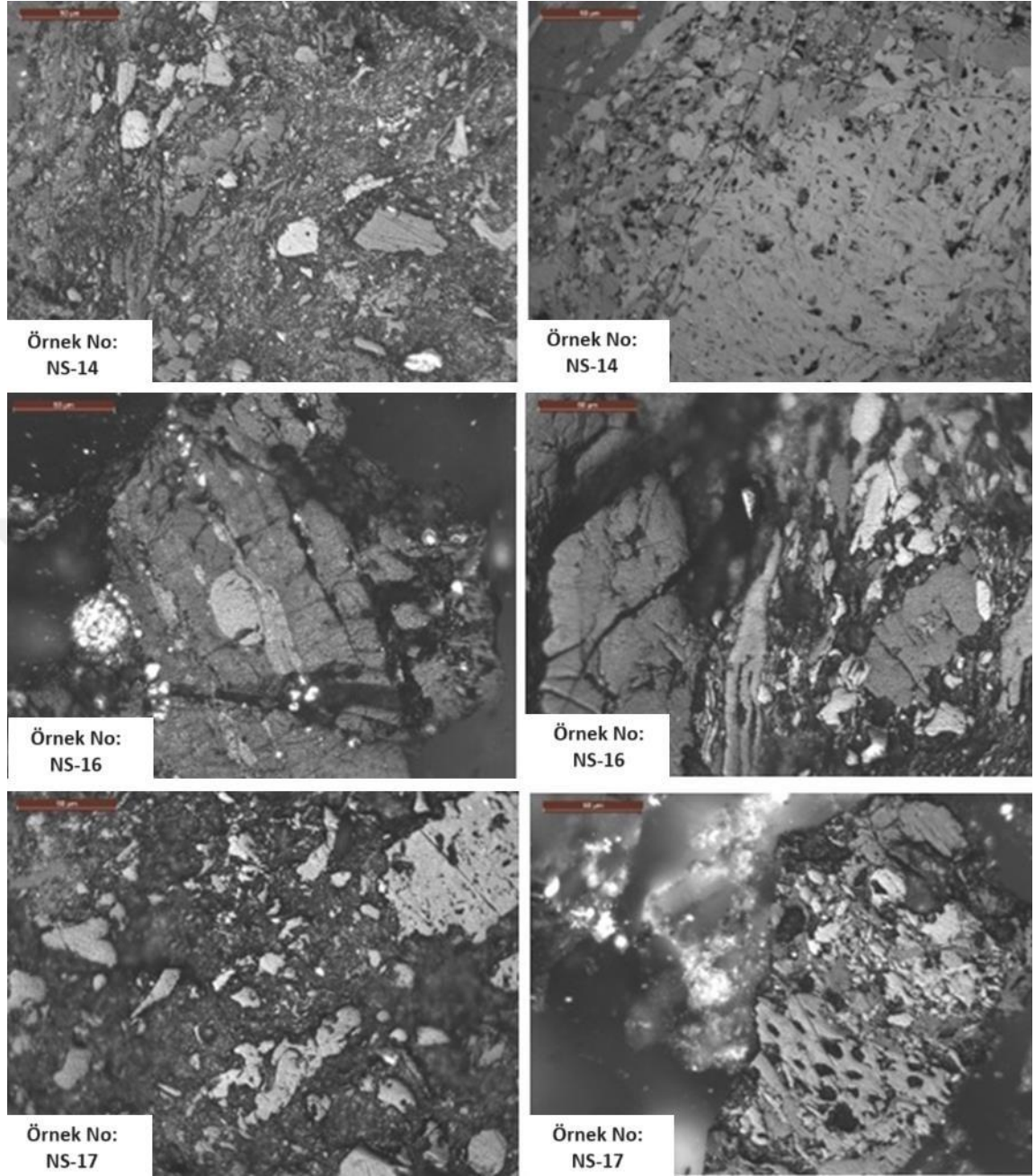
Şekil 4.29. Örnek NS-4, NS-5 ve NS-7'ye ait parlatma kesit görüntüleri (ölçek 40µm)



şekil 4.30. Örnek NS-8, NS-9 ve NS-10'a ait parlatma kesit görünümleri (ölçek 40µm)



**Şekil 4.31.** Örnek NS-11, NS-12 ve NS-13'e ait parlatma kesit görüntüleri (ölçek 40µm)



**Şekil 4.32.** Örnek NS-14, NS-16 ve NS-17'ye ait parlatma kesit görünümleri (ölçek 40µm)

#### 4.3.3. Biyomarker Jeokimyası

Çalışma sahasında özellikle kömür ve kömürlü birimleri içeren örnekler üzerinde biyomarker analizleri yapılmıştır. Bu analizler, GC ve GC-MS teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerle n-alkan (GC), izoprenoid (GC); trisiklik terpan (m/z 191), tetrasiklik terpan (m/z 191), pentasiklik terpan (m/z 191); steran (m/z 217) ve diasteran (m/z 217) bileşiklerinin dağılımları analiz edilmiştir. Bu analizlerle inceleme

alanının paleoortam özellikleri, hidrokarbon oluşum potansiyeli, organik madde tipi, organik maddenin olgunlaşma düzeyi ve biyodegradasyondan etkilenip etkilenmediği belirlenmiştir.

Elde edilen veriler, çalışma sahasının jeolojik ve organik bileşim özelliklerini ayrıntılı bir şekilde ortaya koymuştur.

Özütleme yöntemiyle elde edilen serbest hidrokarbonlar (bitüm), kayadan dışarı atılamayan yerli organik bileşikler temsil eder (Noble vd. 1991). Bu bileşenlerden GC ve GC-MS teknikleri ile analiz edilmeye en uygun olanlar doymuş hidrokarbonlar ve aromatiklerdir. Bu çalışmada, tüm özüt üzerinden GC analizi ve doymuş hidrokarbonlardan GC-MS analizi gerçekleştirilmiştir.

Özütleme analizi, kömür numunelerindeki organik bileşenlerin miktarını belirlemek için yapılır. Özüt miktarı, kömürün çözünür organik maddeler açısından zenginliğini gösterir. Yüksek özüt miktarı, kömürün organik bileşenler açısından zengin olduğunu ve potansiyel olarak daha fazla enerji içerdiğini gösterebilir.

Örneklerde özüt miktarı 4967-12525 ppm arasında olup (Çizelge 4.5), bu sonuçlar kömür numunelerinin organik madde içeriği açısından değerlendirilmesi için önemlidir. Özellikle yüksek özüt miktarına sahip olan örnek No: NS-17, diğer örneklerle kıyasla daha zengin bir organik bileşen içeriğine sahip olduğunu göstermektedir.

Her üç örneğin Bitüm/TOC oranları (Çizelge 4.5) verilmiştir. NS-2, yüksek bir Bitüm/TOC oranına sahiptir ve bu, kömürün ileri düzeyde olgunlaştığını gösterir. Organik madde büyük ölçüde bitüme dönüşmüş olabilir ve kömürün hidrokarbon üretim potansiyeli oldukça yüksek olabilir. Bu oran, kömürün termal olgunluk sürecinin ileri aşamalarında olduğunu ve enerji açısından değerli olabileceğini işaret eder. NS-11 ve NS-17, orta düzeyde bir Bitüm/TOC oranına işaret eder. Kömür, organik maddeyi bitüme dönüştürme sürecindedir ve olgunlaşma seviyesi orta düzeydedir. Hidrokarbon üretimi potansiyeli mevcut, ancak NS2 kadar yüksek değil.

**Çizelge 4.5.** Pamucakyayla Formasyonundan alınan örneklerinin bitüm özüt ve n-alkan değerleri

| Örnek No / Parametreler    | NS-2  | NS-11 | NS-17 |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| TOC (%)                    | 20,34 | 25,44 | 22,24 |
| Σ Özüt (ppm)               | 4967  | 4134  | 12525 |
| Bitüm/TOC                  | 0.57  | 0.42  | 0.33  |
| Pr/Ph                      | 0.88  | 6.26  | 5.44  |
| Pr/n-C <sub>17</sub>       | 1.43  | 1.30  | 1.40  |
| Ph/n-C <sub>18</sub>       | 0,20  | 0.30  | 0.34  |
| CPI (Bray ve Evans 1961)   | 1.53  | 1.59  | 1.26  |
| OEP (Scalan ve Smith 1970) | 0.75  | 0.96  | 0.92  |

Çizelge 4.5. Devamı

|                                                         |       |       |       |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| <b>Kısa zincirli n-alkan (&lt;n-C<sub>20</sub>) (%)</b> | 36.90 | 35.56 | 33.74 |
| <b>Orta zincirli n-alkan (n-C<sub>21-25</sub>) (%)</b>  | 43.55 | 33.18 | 28.77 |
| <b>Uzun zincirli n-alkan (n-C<sub>25-35</sub>) (%)</b>  | 28.32 | 31.25 | 22.74 |
| <b>Σ1/Σ2 (Fabianska vd. 2013)</b>                       | 1.425 | 1.812 | 2.125 |
| <b>TAR (Bourbonniere ve Meyers, 1996)</b>               | 0.45  | 0.21  | 0.37  |

$$CPI = \frac{1}{2} [(C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})/(C_{24}+C_{26}+C_{28}+C_{30}+C_{32}) + (C_{25}+C_{27}+C_{29}+C_{31}+C_{33})/(C_{26}+C_{28}+C_{30}+C_{32}+C_{34})]$$

$$OEP = (C_{21}+6C_{23}+C_{25})/(4C_{22}+4C_{24})$$

$$\Sigma 1/\Sigma 2 = [\Sigma (n-C_{13} - n-C_{22})] / [\Sigma (n-C_{23} - n-C_{35})]$$

$$TAR = (C_{27}+C_{29}+C_{31})/(C_{15}+C_{17}+C_{19})$$

#### 4.3.3.1. n-alkanlar ve isoprenoidler

Bir gaz kromatogramındaki n-alkanların dağılımı, çökelme ortamı, organik madde tipi (kaynak girdisi), biyodegradasyon ve termal olgunluk hakkında bilgi sağlar. n-alkan dağılımı n-C14-n-C35 aralığında olup, gaz kromatogramlarında unimodal bir dağılım gösterir. Baskın kısa ve orta n-alkanlar gözükmekle birlikte kısa, orta ve uzun n-alkan dağılım değerleri birbirine yakın değerler vermiştir. Buda karışık bir kökene işaret etmektedir (Tissot ve Welte 1984).

n-alkanlar, düz zincirli alkanlar olarak bilinir ve kömür organik maddelerinin biyolojik kökenini ve termal olgunlaşma derecesini belirlemede kullanılır. Kömürdeki n-alkanlar genellikle bitki mumları ve diğer biyolojik kaynaklardan türetilir. n-alkanların dağılımı, kömürün olduğu ortamın bitkisel biyomasın çeşitliliğini ve yaşını yansıtabilir. Örneğin, yüksek moleküler ağırlıklı n-alkanlar (C25-C35), karasal bitkilerden türetilirken, düşük moleküler ağırlıklı n-alkanlar (C15-C20) sucul bitkilerden kaynaklanır (Peters vd. 2005).

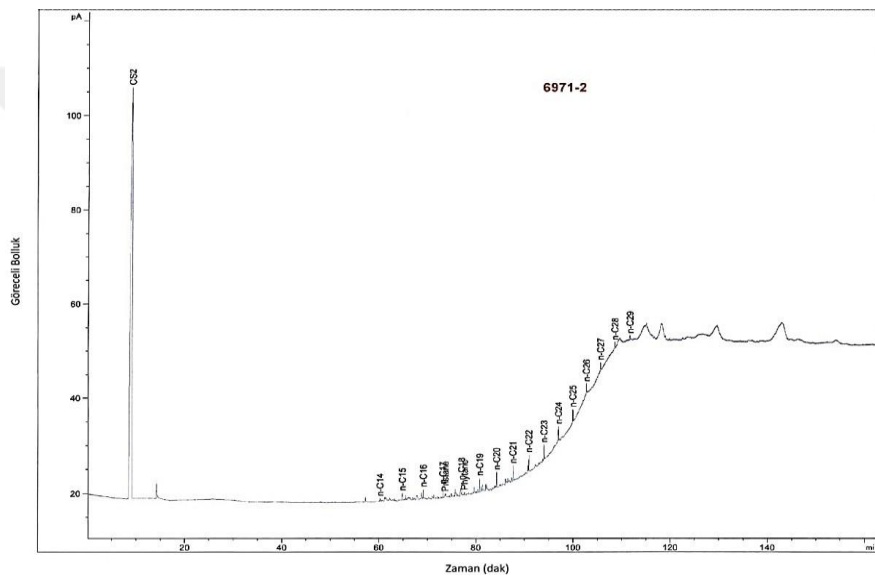
İzoprenoidler, biyolojik kökenli ve dallanmış zincirli hidrokarbonlardır. Kömürde sıkça bulunan izoprenoidler arasında pristan ve fitan yer alır. Bu bileşikler, klorofille ilişkili bileşiklerden ve lipidlerden türetilir. İzoprenoidlerin n-alkanlara oranı (örneğin, pristan/n-C17 ve fitan/n-C18) kömürleşme sürecini değerlendirmek için kullanılır. Yüksek pristan/fitan oranları, anaerobik korumayı; düşük oranlar ise oksidatif koşulları ve biyolojik ayrışmayı işaret eder (Eglinton ve Hamilton 1967).

Numune NS2'de alkanlar n-C14 – n-C29 arasında tespit edilmiştir. n-C21'nin yüksekliği, algal veya bakteriyel kaynaklı organik maddeyi işaret eder.

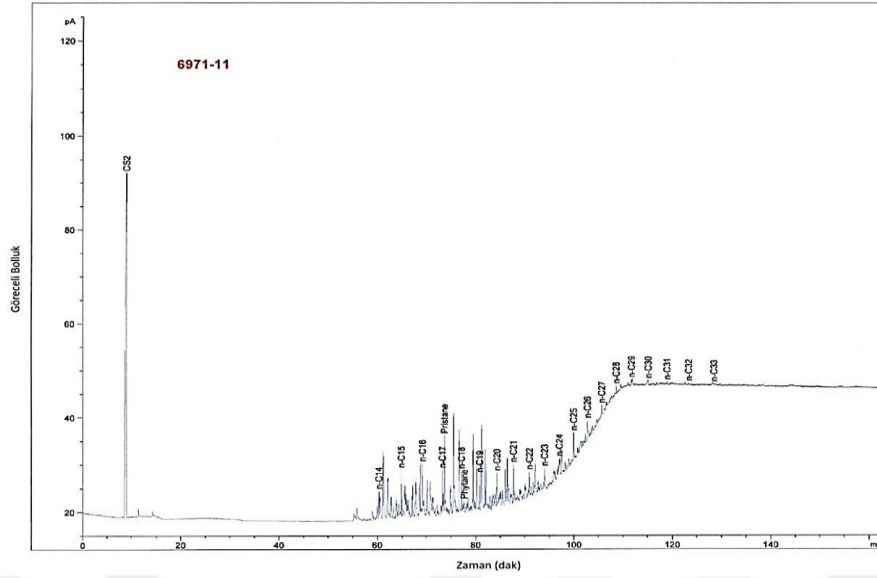
Örnek NS11'de alkanların n-C14'ten n-C33'e kadar geniş bir aralıkta tespit edilmiştir.

Örnek NS17'de n-alkanların dağılımı benzer şekilde n-C14'ten n-C29'a kadar tespit edilmiştir ve n-C21'nin yüksekliği, algal veya bakteriyel kaynaklı organik maddeyi işaret etmektedir.

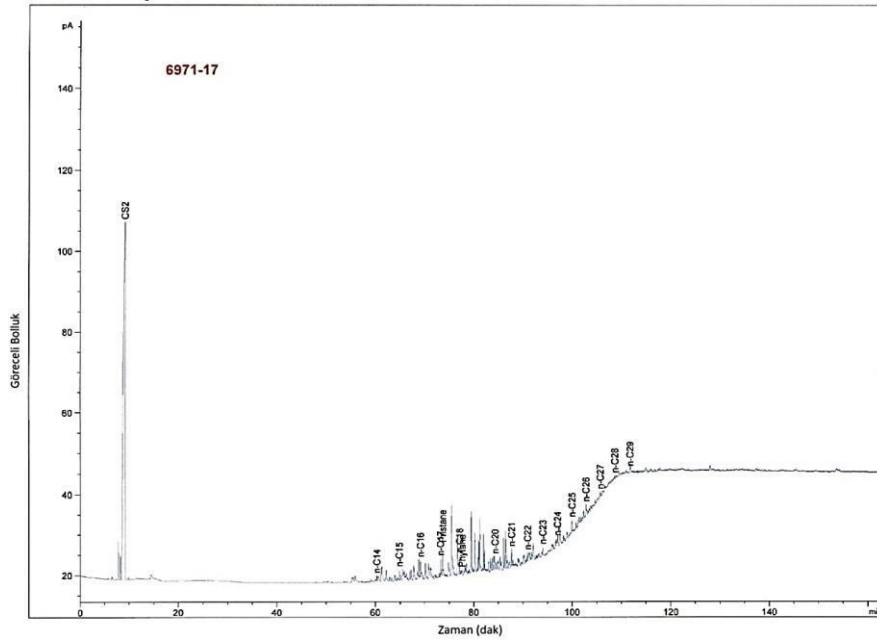
Her üç örnekte de kısa, orta ve uzun zincirli n-alkanlar bulunmakla birlikte, örneklerin biyolojik kaynakları ve kömürleşme süreçleri hakkında bilgiler sağlar. Örnek NS2'de, orta zincirli n-alkanların baskınlığı ile damarlı bitkiler, mikroalgler ve siyanobakteriler den meydana gelen organik madde birikimini işaret etmektedir. Örnek NS11 ve Örnek NS17'de daha çok kısa ve orta zincirli n-alkanların baskın olduğu ve biyolojik kaynaklarının çeşitliliği ile ilgili bilgiler sunar. Bu bulgular, kömür örneklerinin farklı biyolojik kaynaklardan ve olgunluk derecelerinden geçtiğini göstermektedir.



Şekil 4.33. Gaz kromatografisi analiz sonucu (Örnek NS-2)



Şekil 4.34. Gaz kromatografi analiz sonucu (Örnek NS-11)



Şekil 4.35. Gaz kromatografi analiz sonucu (Örnek NS-17)

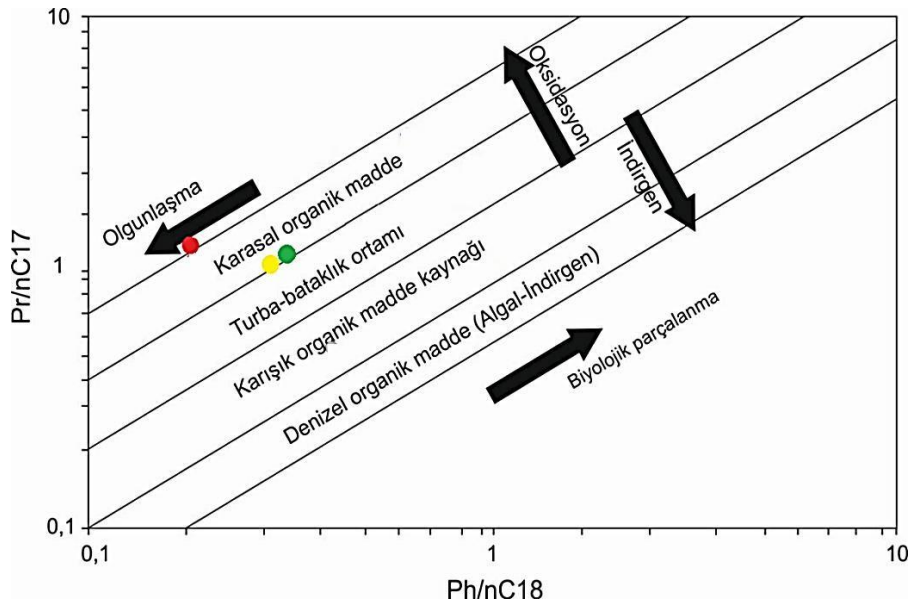
Örneklerin CPI değerleri sıra ile 1,53, 1,59 ve 1,261 ve OEP değerleri ise 0,75, 0,96 ve 0,92 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4. 6). OEP-CPI diyagramında (Adedosu 2009) olgun ve erken-olgun aralığını işaret eder. Bu sonuçlar vitrinit yansıma değerleri (0,713-0,977) ile uyumludur.

Pr/Ph oranı, jeokimyasal analizlerde sıklıkla kullanılan bir parametre olup, çökme ortamının redoks koşullarını, organik madde türünü ve ortamın tuzluluk

derecesini belirlemek için kullanılır (Chandra vd. 1994; Didyk vd. 1978; Large ve Gize 1996; Powell ve McKirdy 1973; Tissot ve Welte 1984; Peters vd. 2005). Genellikle, karasal bitkilerden kaynaklanan organik madde yüksek Pr/Ph oranlarına ( $>3$ ) sahip olup, oksik koşulları da yansıtır. Düşük Pr/Ph oranları ( $<0,6$ ) anoksik koşulları, 1-3 arasındaki Pr/Ph oranları ise oksik-suboksik koşulları işaret eder (Peters ve Moldowan 1993). Pr/Ph oranının 1'den düşük olması durumunda karbonat kayayı, 1'den yüksek olması durumunda ise kırıntılı kaynak kayayı işaret ettiğini belirtmiştir. Kömürlü örneklerde Pr/Ph oranı genellikle yüksek ( $>3$ ) çıkmaktadır (Hughes vd. 1995). Peters ve Moldowan (1993) ise Pr/Ph oranının 2'den düşük olması durumunda denizel, 3'ten yüksek olması durumunda karasal, 1-3 arasında olması durumunda ise gölsel kaynak kayayı belirttiğini ifade etmişlerdir. Hipersalin koşullar altında çökelmiş kaynak kayalar ise çok düşük Pr/Ph değerleri ( $<0,5$ ) gösterir (Ten Haven vd. 1987, 1988).

Pr/Ph değerleri NS-2'de 0,88, NS-11'de 6,26 ve NS-17'de ise 5,44 olarak tespit edilmiştir. İki örneğin yüksek değere ( $>3$ ) sahip olduğu için alanının oksik (oksijenli) koşullarda çökme ve korunma süreçlerini gösterir. Bu yüksek oran, kömürün oluştuğu ortamın bol miktarda oksijen içerdiğini ve organik maddenin büyük ölçüde karasal bitkilerden geldiğini işaret eder. Bu tür koşullar, karasal bitki materyallerinin parçalanması ve oksijenli ortamlarda korunması sırasında ortaya çıktığı göstermektedir (Şekil 4.36).

Örnek NS-2'de Pr/Ph 0,88 değere sahiptir. Kömürlerde genellikle anoksik (oksijensiz) koşullar altında çökme ve korunma süreçlerini gösterir. Bu düşük oran, kömürün oluştuğu ortamda oksijenin çok az olduğunu veya hiç bulunmadığını, bunun yerine indirgen koşulların hakim olduğunu işaret eder. Anoksik koşullar, organik maddenin oksidatif bozulmaya karşı korunmasını sağlar ve böylece kömürün oluşum sürecinde önemli rol oynar (Şekil 4.36).



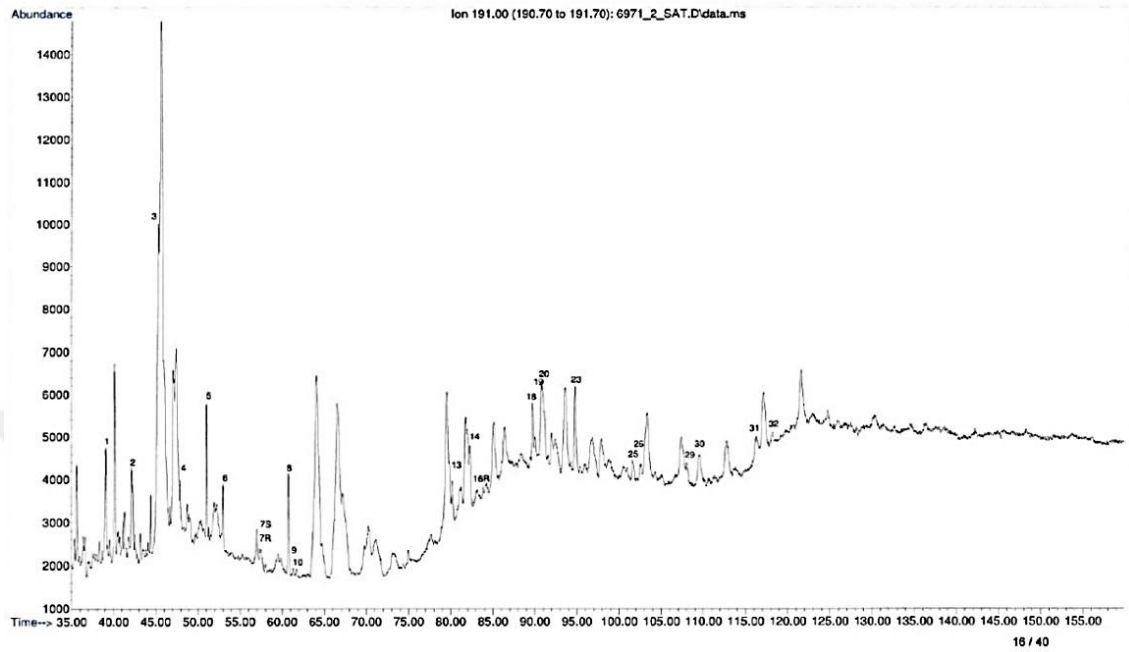
**Şekil 4.36.** Pr/nC<sub>17</sub>-Ph/nC<sub>18</sub> diyagramında incelenen örneklerin çökelme ortamı özellikleri ve organik madde tipleri

#### 4.3.3.2. Terpanlar ve steranlar

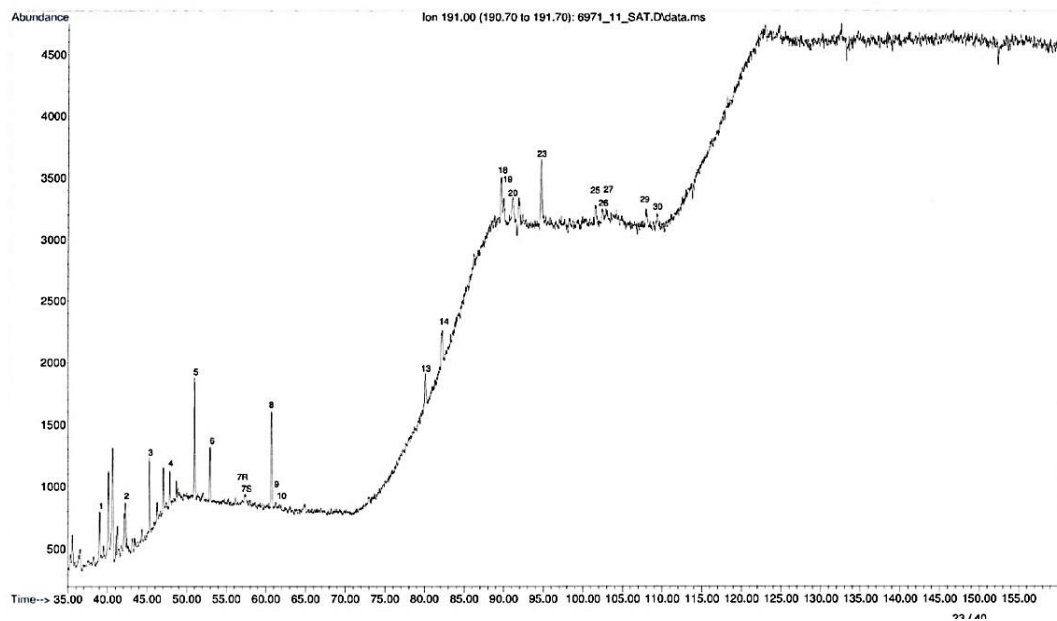
Analiz edilen örneklerde doymuş hidrokarbonların dağılımı, GC-MS analitik yöntemi kullanılarak m/z 191, m/z 217 kütle kromatogramları üzerinden Trisiklik ve Pentasiklik Terpanlar, Steranlar ve Diasteranlar incelenerek elde edilmiştir. Bu analizler, kaynak kayaların çökelim ortamı, litolojisi, olgunluk durumu ve jeokimyasal korelasyonlar hakkında değerli bilgiler sunmaktadır (Seifert ve Moldowan 1981). Biyodegradasyon etkisine karşı dirençli olan bu bileşikler genellikle bakteriyal kökenlidir.

Doymuş hidrokarbon fraksiyonlarının m/z 191 kütle kromatogramlarında önemli pikler, terpan dağılımını, özellikle trisiklik ve pentasiklik terpanları gösterir. Örneklerde de pentasiklik terpanlar baskın olarak görülmektedir. Özellikle C<sub>30</sub>-hopan, C<sub>27</sub>-hopan ve C<sub>29</sub>-hopan piklerde belirgin bir yoğunluk göstermektedir. Trisiklik terpanlar ise özellikle C<sub>19</sub> trisiklik terpan, C<sub>20</sub> trisiklik terpan ve C<sub>21</sub> trisiklik terpan piklerde yoğunluk göstermektedir. Pentasiklik terpanların daha belirgin ve yüksek yoğunlukta olması, bu terpanların örneklerde daha baskın olduğunu göstermektedir. Trisiklik terpanlar da önemli bir varlık göstermekte, ancak pentasiklik terpanlar kadar baskın değildir. Pentasiklik terpanların baskınlığı, örneklerin genel olarak daha karasal organik madde kökenine işaret eder. Bu bileşikler genellikle bitkisel materyalden türetilir ve yüksek miktarda bulunmaları, karasal bitki girdisinin yoğun olduğunu gösterir. Ayrıca, bu terpanlar, kaynak kaya ortamının oksik (oksijenli) koşullar altında biriktiğini de gösterebilir. Pentasiklik terpanların dağılımı, örneklerin denizel veya gölsel ortamlar yerine karasal ve bataklık gibi daha oksik koşullarda biriktiğini düşündürülebilir. Bu da örneklerin çökelme ortamlarının jeokimyasal koşulları hakkında bilgi verir. Trisiklik terpanların dağılımı ve bolluğu, örneklerin termal olgunluk seviyeleri hakkında bazı ipuçları sunabilir.

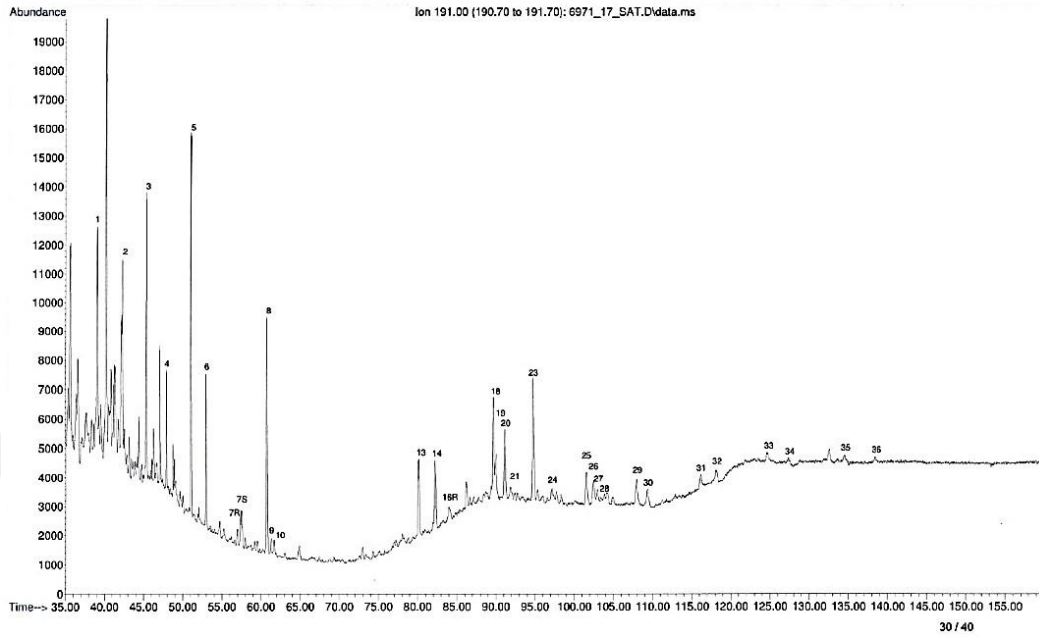
File :C:\msdchem\1\data\6971\6971\_2\_SAT.D  
 Operator :  
 Acquired : 25 Aug 2022 10:13 using AcqMethod SAT.M  
 Instrument : 5975MSD  
 Sample Name: 6971\_2\_SAT  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1



File :C:\msdchem\1\data\6971\6971\_11\_SAT.D  
 Operator :  
 Acquired : 25 Aug 2022 13:28 using AcqMethod SAT.M  
 Instrument : 5975MSD  
 Sample Name: 6971\_11\_SAT  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1

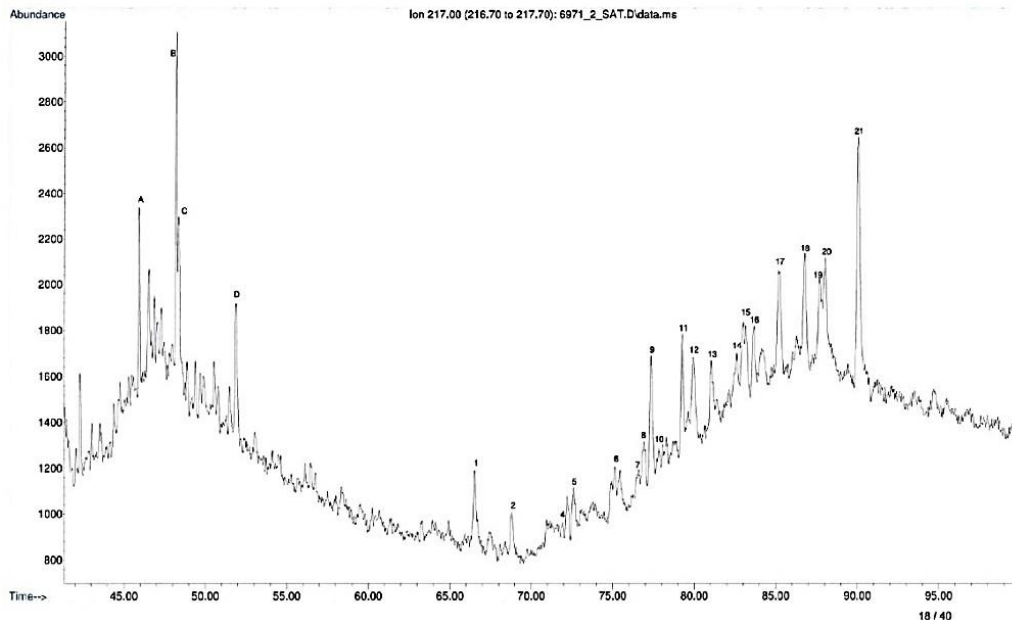


File :C:\msdchem\1\data\6971\6971\_17\_SAT.D  
 Operator :  
 Acquired : 25 Aug 2022 17:11 using AcqMethod SAT.M  
 Instrument : 5975MSD  
 Sample Name: 6971\_17\_SAT  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1

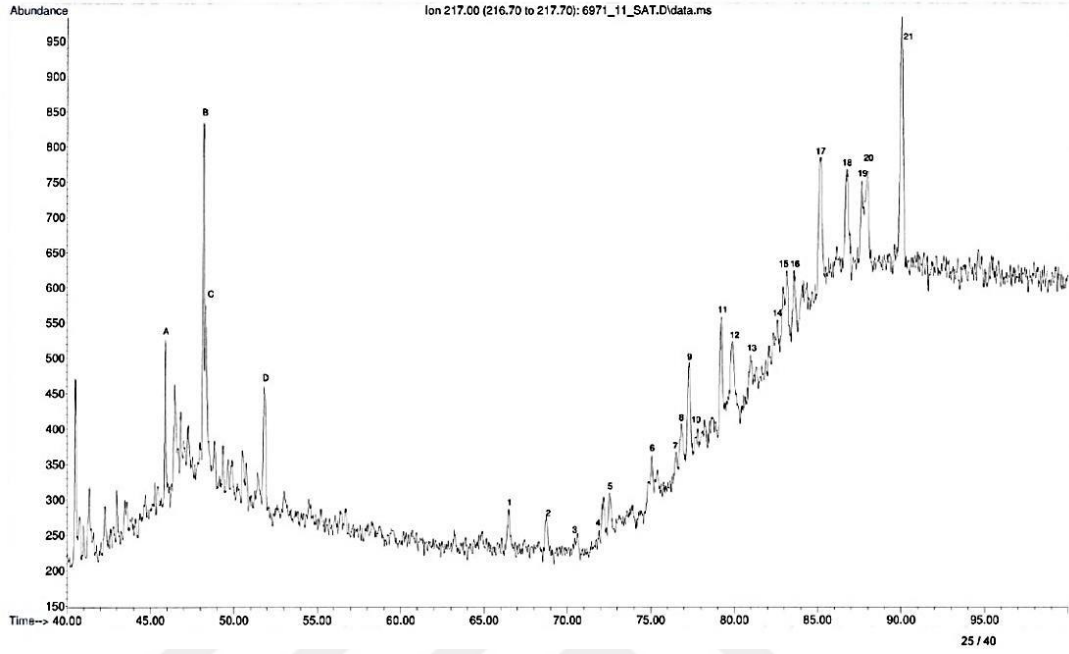


Şekil 4.37. Örnek NS-1, NS-11 ve NS-17'ye ait m/z 191 kromatogramları

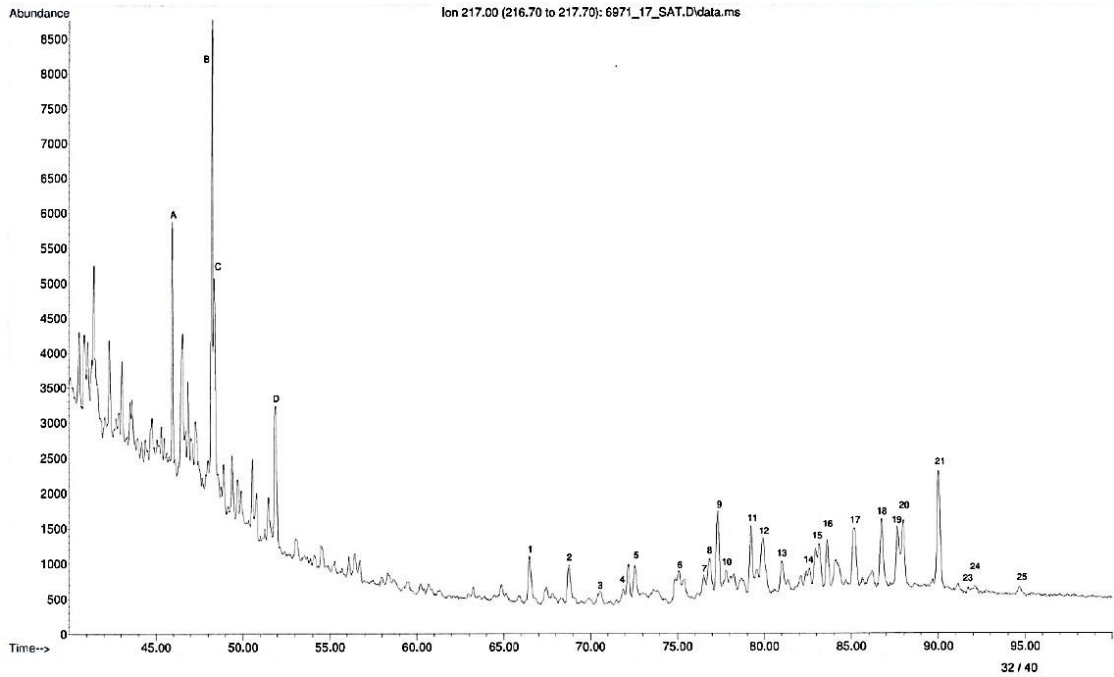
File :C:\msdchem\1\data\6971\6971\_2\_SAT.D  
 Operator :  
 Acquired : 25 Aug 2022 10:13 using AcqMethod SAT.M  
 Instrument : 5975MSD  
 Sample Name: 6971\_2\_SAT  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1



File :C:\msdchem\1\data\6971\6971\_11\_SAT.D  
 Operator :  
 Acquired : 25 Aug 2022 13:28 using AcqMethod SAT.M  
 Instrument : 5975MSD  
 Sample Name: 6971\_11\_SAT  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1

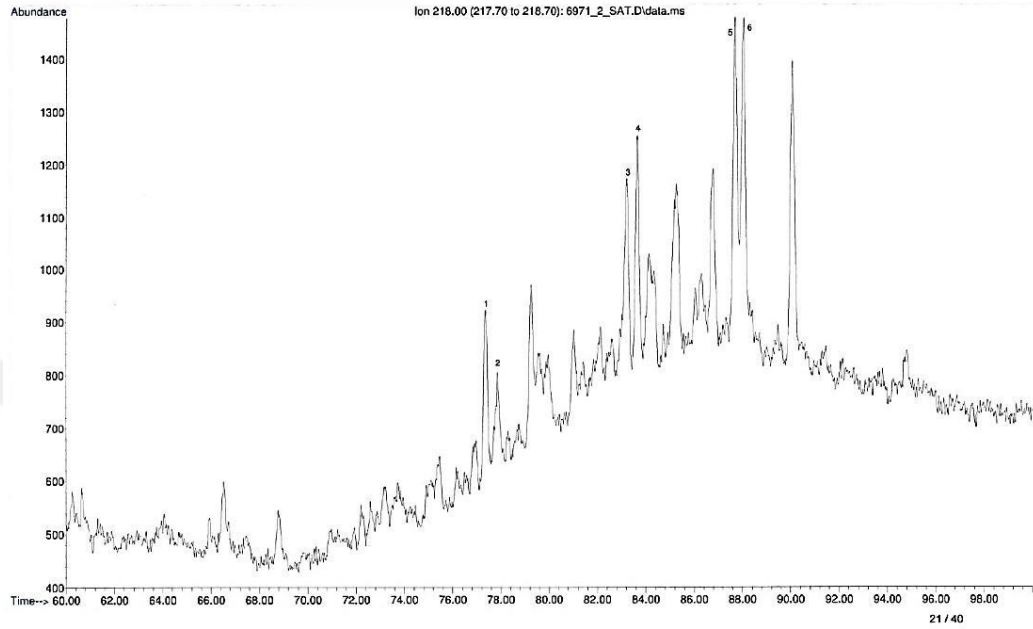


File :C:\msdchem\1\data\6971\6971\_17\_SAT.D  
 Operator :  
 Acquired : 25 Aug 2022 17:11 using AcqMethod SAT.M  
 Instrument : 5975MSD  
 Sample Name: 6971\_17\_SAT  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1

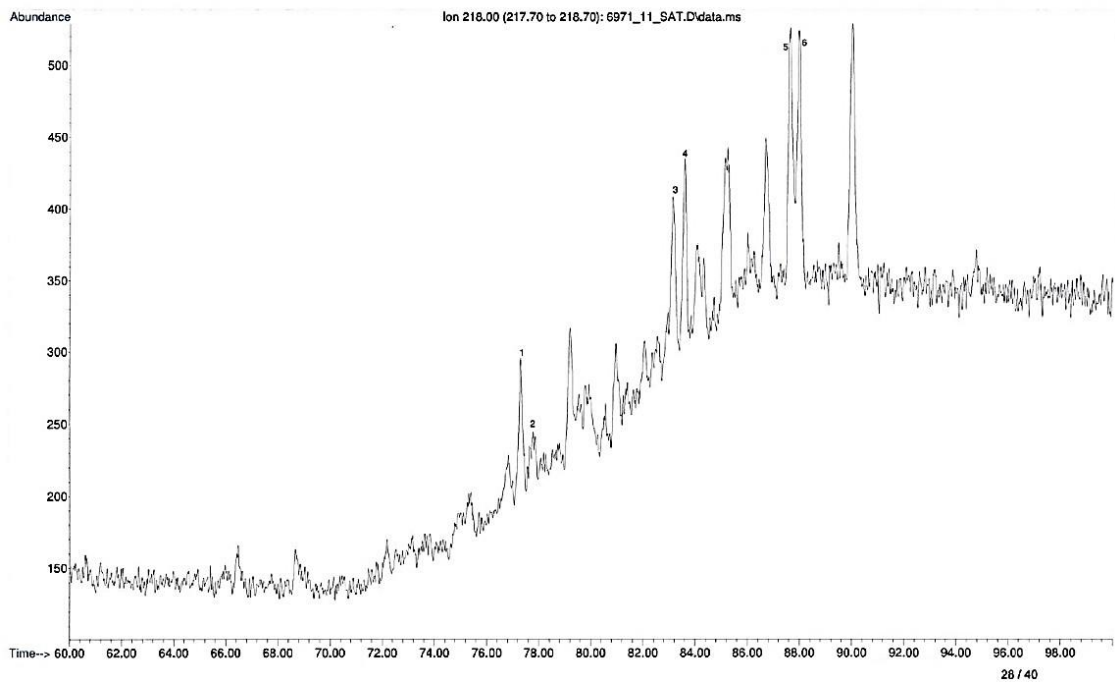


Şekil 4.38. Örnek NS-2, NS-11 ve NS-17'ye ait m/z 217 kromatogramları.

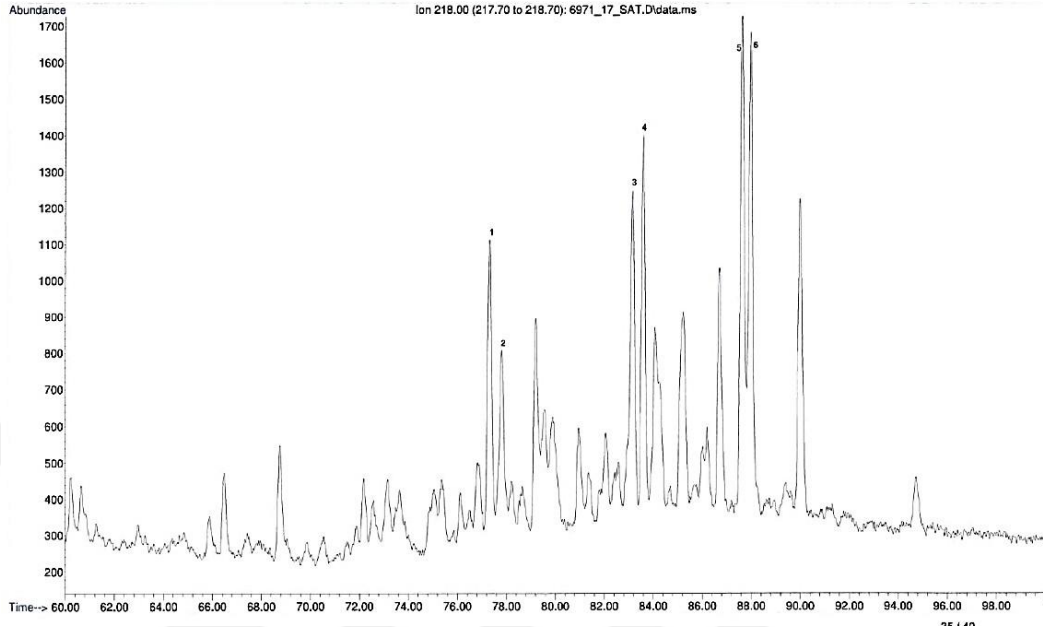
File :C:\msdchem\1\data\6971\6971\_2\_SAT.D  
Operator :  
Acquired : 25 Aug 2022 10:13 using AcqMethod SAT.M  
Instrument : 5975MSD  
Sample Name: 6971\_2\_SAT  
Misc Info :  
Vial Number: 1



File :C:\msdchem\1\data\6971\6971\_11\_SAT.D  
Operator :  
Acquired : 25 Aug 2022 13:28 using AcqMethod SAT.M  
Instrument : 5975MSD  
Sample Name: 6971\_11\_SAT  
Misc Info :  
Vial Number: 1



File :C:\msdchem\1\data\6971\6971\_17\_SAT.D  
 Operator :  
 Acquired : 25 Aug 2022 17:11 using AcqMethod SAT.M  
 Instrument : 5975MSD  
 Sample Name: 6971\_17\_SAT  
 Misc Info :  
 Vial Number: 1



**Şekil 4.39.** Örnek NS-1, NS-11 ve NS-17'ye ait m/z 218 kromatogramları

Analizlerde özellikle steran ve diasteran bileşiklerinin dağılımı gözlemlenmektedir.  $17\alpha(H)$ ,  $21\beta(H)$ -30-norhopan (Tm) ve  $17\alpha(H)$ ,  $21\beta(H)$ -hopan (C30 hopan) gibi bileşenler baskındır. Örneklerdeki steran ve diasteran dağılımları, organik maddenin denizel veya karasal kökenli olduğunu gösterebilir. Termal olgunluk seviyeleri, elde edilen piklerin yüksekliği ve dağılımına bağlı olarak değerlendirilebilir. Bu örneklerdeki belirgin hopan bileşenleri, orta ila yüksek olgunluk seviyesini işaret etmektedir.

Üç örnekte de yaygın olarak steran ve diasteran bileşenleri gözlemlenmiş olup,  $C_{29}$  steran ve  $C_{27}$  diasteran piklerinin baskın olduğu tespit edilmiştir. Bu bileşenler, kömür numunelerinin biyolojik kaynaklarını, çökelim ortam özelliklerini ve termal olgunluk derecelerini belirlemede kullanılır. Piklerin yükseklikleri ve yaygınlığı, kömürlerin orta ila yüksek olgunluk seviyelerinde olduğunu ve benzer biyolojik kaynaklardan türediğini işaret etmektedir (Çizelge 4.6).

**Çizelge 4.6.** Pamucakyayla kömürlü birimleri için hesaplanan biyomarker parametreleri

| Örnek No<br>Biomarker Parametreleri                                    | NS2    | NS11   | NS17   |
|------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Steran/Hopan                                                           | 0,315  | 0,544  | 0,378  |
| C <sub>25</sub> /C <sub>26</sub> trisiklik terpan                      | 0,0336 | 0,151  | 1,043  |
| Diasteran/Steran oranı                                                 | 2,89   | 1,37   | 3,33   |
| C <sub>29</sub> /C <sub>30</sub> hopan oranı                           | 0,32   | 1,30   | 0,75   |
| %C <sub>27</sub>                                                       | 40,42  | 50,09  | 39,07  |
| %C <sub>28</sub>                                                       | 35,71  | 21,90  | 37,46  |
| %C <sub>29</sub>                                                       | 23,87  | 28,01  | 23,47  |
| C <sub>29</sub> /C <sub>27</sub> steran oranı                          | 0,202  | 0,175  | 0,581  |
| C <sub>24</sub> /C <sub>23</sub> oranı                                 | 0,43   | 1,36   | 1,15   |
| C <sub>30</sub> */C <sub>29</sub> Ts                                   | 24,21  | 5,35   | 3,65   |
| C <sub>35</sub> /C <sub>34</sub> homohopan oranı                       | 0,324  | 1,020  | 1,002  |
| C <sub>35</sub> /(C <sub>31</sub> -C <sub>35</sub> ) indeksi           | 0,024  | 0,058  | 0,067  |
| C <sub>31</sub> 22R/C <sub>30</sub> hopan oranı                        | 0,29   | 1,39   | 1,27   |
| 22S/(22S+22R) (C <sub>32</sub> ) oranı                                 | 0,206  | 0,565  | 0,427  |
| C <sub>29</sub> Ts/(C <sub>29</sub> hopan+C <sub>29</sub> Ts)          | 0,114  | 0,126  | 0,269  |
| Moretan/Hopan oranı                                                    | 0,0432 | 0,194  | 0,168  |
| Ts/(Ts+Tm) oranı                                                       | 0,537  | 0,533  | 0,449  |
| C <sub>24</sub> /C <sub>26</sub> tri. terpan oranı                     | 6,69   | 9,75   | 11,62  |
| C <sub>23</sub> /(C <sub>23</sub> +C <sub>30</sub> ) tri. terpan oranı | 0,02   | 0,11   | 0,08   |
| 20S/(20S+20R) (C <sub>29</sub> ) steran                                | 0,395  | 0,399  | 0,387  |
| ββ/(ββ+αα) (C <sub>29</sub> ) steran                                   | 0,395  | 0,399  | 0,387  |
| iso-steran (%)                                                         | 10,67  | 23,56  | 9,65   |
| n-steran (%)                                                           | 48,98  | 20,14  | 16,40  |
| dia-steran (%)                                                         | 9,67   | 13,13  | 13,31  |
| Tm/Ts                                                                  | 0,862  | 0,876  | 1,228  |
| Tm/C <sub>30</sub> hopan                                               | 0,224  | 0,867  | 0,306  |
| Gameseran/C <sub>30</sub> Hopan                                        | 0,0059 | 0,0798 | 0,0543 |
| Gameseran index                                                        | 10,29% | 10,88% | 11,50% |
| C <sub>27</sub> /C <sub>29</sub> terpan oranı                          | 2,09   | 1,60   | 1,51   |
| C <sub>28</sub> /C <sub>29</sub> steran oranı                          | 0,77   | -      | -      |
| Doymuş Hidrokabonlar (%)                                               | 27,5   | 26,1   | 24,9   |
| Aromatic Hidrokabonlar (%)                                             | 6      | 5,73   | 5,5    |

Steran/hopan oranı, kaynak kayadaki alglerin ve yüksek bitkilerin, bakteriyel organik maddeye oranını belirtir (Tissot ve Welte 1984; Moldowan vd. 1985). Düşük

steran/hopan oranı ( $<1$ ), karasal ve mikrobiyal organik maddeyi işaret eder. Her üç örnekte de steran/hopan oranı düşük olarak tespit edilmiştir.

Numune NS-2’de steran/hopan, 0,315 olarak hesaplanmıştır. Bu oran, sedimanter ortamda belirgin bir bakteriyel aktiviteyi işaret eder. Anoksik (oksijensiz) veya suboksik bir ortamda yüksek mikrobiyal yeniden işlenmeyi gösterir. Düşük steran/hopan oranı, algal veya karasal organik madde katkısının bakteriyel katkıya kıyasla daha az olduğunu işaret etmektedir.

Numune NS-11’de steran/hopan, 0,544 olarak hesaplanmıştır. Orta düzeydeki steran/hopan oranı, hem algal/karasal organik maddelerden hem de bakteriyel kaynaklardan gelen karışık bir katkıyı gösterir. Bu durum, hem deniz hem de karasal girdilerin olduğu geçişsel bir ortamı, örneğin deniz kenarı gibi ortamlarda oluşan birikimleri göstermektedir.

Numune NS-17’de steran/hopan, 0,378 olarak hesaplanmıştır. Bu örnek, daha fazla bakteriyel katkı gösterirken, yine de algal veya karasal organik madde katkısının bir miktar olduğunu işaret eder. Bu durum, mikrobiyal aktivitenin yoğun olduğu, ancak aynı zamanda karasal veya algal kaynakların da katkı sağladığı bir göl ya da kıyı ortamını açıklamaktadır.

Örnek NS-11’deki daha yüksek oran, denizel veya acı su ortamında daha fazla fitoplankton ya da karasal bitki katkısının olduğunu açıklar.

Örnek NS-2 ve NS-17, daha fazla bakteriyel katkının olduğu, oksijensiz veya kısıtlı ortamları işaret ediyor olabilir. Bu, bataklıklar veya kıyı lagünlerinde biriken organik maddeyi göstermektedir.

Steran/Hopan Oranları örneklerde düşük ve bu genellikle anoksik (oksijensiz) veya suboksik ortamları işaret eder. Bu tür ortamlar, bakteriyel aktivitenin yüksek olduğu, örneğin kısıtlı deniz havzaları, bataklıklar veya kıyı lagünleri gibi yerlerde yaygındır.

Diasteran/Steran oranı 0,5’nin üzerinde yani yüksek orana sahiptir ve bu genellikle yüksek kil içeriği, daha oksik depolanma ortamları ve yoğun diyajenez süreçlerini işaret eder. Yüksek oranlar, organik maddenin önemli ölçüde yeniden düzenlendiğini ve dönüştüğünü gösterebilir.

Moretan/Hopan oranları örneklerde oldukça düşüktür (0,0432-0,194), bu da karasal bitki materyallerinin baskın olduğu kömürlerin varlığını işaret eder. Bu oranlar, kömürün oluşumu sırasında karasal bitki materyallerinin önemli bir bileşen olduğunu ve denizel veya gölsel katkının nispeten düşük olduğunu göstermektedir. Örnekler arasındaki oranlar birbirine oldukça yakındır, bu da örneklerin benzer çevresel ve jeokimyasal koşullarda oluşmuş olabileceğini gösterir.

$C_{29}/C_{30}$  hopan oranı örneklerde 0,32, 1,30 ve 0,75 olarak hesaplanmıştır.  $C_{29}/C_{30}$  hopan oranı 0,5 ve altında genellikle düşük kabul edilir ve denizel organik maddelerin veya mikrobiyal kökenli organik maddelerin varlığına işaret edebilir. Ayrıca, yüksek olgunlaşma seviyeleri de düşük oranlarla ilişkilendirilebilir.  $C_{29}/C_{30}$  hopan oranı 0,5 ile 1,0 Arasında orta seviyede bir oran olarak kabul edilir ve hem kara bitkilerinden hem de

denizel organik maddelerden karışık bir kaynak gösterebilir. Orta seviyede olgunlaşma seviyeleri de bu aralıkta olabilir.  $C_{29}/C_{30}$  hopen oranı 1.0 ve Üzerinde yüksek kabul edilir ve kara bitkilerinden türemiş organik maddeleri işaret edebilir. Ayrıca, daha düşük olgunlaşma seviyeleri ile ilişkilendirilebilir.

Düşük  $C_{35}/C_{34}$  oranı, genellikle 0,5'in altındaki değerler olarak kabul edilir ve bu oranlar çoğunlukla denizel organik madde birikimini ya da anoksik (oksijensiz) ortam koşullarını temsil eder. Buna karşın, yüksek  $C_{35}/C_{34}$  oranı, 1,0'in üzerindeki değerlerle tanımlanır ve genellikle karasal organik madde veya oksijenli ortamları işaret eder (Peters ve Moldowan, 1991). İncelenen örneklerde, bu oran NS-2 örneğinde 0,324 ile düşük bir seviyede iken, NS-11 ve NS-17 örneklerinde sırasıyla 1,02 ve 1,0 değerleriyle yüksek seviyede gözlenmiştir (Çizelge 4.7).

$C_{25}/C_{26}$  trisiklik terpan oranı örnek NS-2'de düşük  $C_{25}/C_{26}$  trisiklik terpan oranı (0,0336), bu örneğin büyük ölçüde karasal bitki materyallerinden oluştuğunu ve denizel organik madde katkısının nispeten düşük olduğunu gösterir. Örnek NS-11'de Orta seviye  $C_{25}/C_{26}$  trisiklik terpan oranı (0,151), bu örneğin hem karasal hem de denizel organik maddelerin karışımından oluştuğunu gösterir. Ve örnek NS-17'ten ise yüksek  $C_{25}/C_{26}$  trisiklik terpan oranı (1,043), bu örneğin denizel organik maddelerin baskın olduğu bir ortamdan geldiğini ve karasal bitki materyallerinin katkısının nispeten düşük olduğunu gösterir.

Örneklerde gözlenen orta düzeyde gamaseran değeri (%10,29, %10,88, %11,50), organik maddenin, denizel kökenli olabilir ve anoksik bir ortamda birikmiş olabileceğini açıklamaktadır. NS-1, bu numune, daha anoksik ve muhtemelen daha derin denizel bir ortamda birikmiş organik maddeyi temsil etmektedir. Organik madde, oksijenin az olduğu ve mikroorganizmaların sınırlı aktivite gösterdiği bir ortamda birikmiş olduğunu açıklamaktadır. NS-11 ise, karasal ve denizel kaynaklı organik maddelerin karıştığı bir ortamı işaret eder. Bu tip ortamlar, genellikle daha sığ denizel veya kıyı bölgelerinde görülür. Hem denizel planktonik organizmalar hem de karasal bitki materyalleri katkı sağlamıştır. NS-17, nispeten daha oksijenli ve karasal organik madde katkısının biraz daha fazla olduğu bir ortamı temsil eder. Bu da karasal materyallerin ve alglerin karıştığı bir kıyı, delta veya sığ deniz ortamını göstermektedir.

Örnek NS-2'de  $\%C_{27}$ ,  $\%C_{28}$  ve  $\%C_{29}$  değerlerini şu şekilde açıklayabiliriz:  $\%C_{27}$  steran oranı yüksek, bu da denizel bir kökenin baskın olduğunu, yani açık deniz veya denizel bir ortamda organik maddenin biriktiğini gösterir.  $\%C_{28}$ 'in de yüksek olması, bu ortamın biraz daha kıyıya yakın, lagün ya da deniz ile tatlı su karışımına işaret edmektedir.  $\%C_{29}$  oranı nispeten düşük olduğu için karasal katkının az olduğunu söylenir.

Örnek NS-11'de  $\%C_{27}$ ,  $\%C_{28}$  ve  $\%C_{29}$  değerleri:  $\%C_{27}$  steran oranı bu örnekte en yüksektir, bu durum açık denizel ortamda birikmiş organik maddeleri işaret eder. Ancak  $\%C_{29}$  oranının da dikkate değer bir seviyede olması karasal bitki katkısının da bulunduğunu gösterir. Bu örnek, denizel ve karasal katkıların karıştığı bir ortamı (örneğin delta ya da sahil kenarı gibi) temsil ediyor olabilir.

Örnek NS-17'de %C<sub>27</sub>, %C<sub>28</sub> ve %C<sub>29</sub> değerleri: %C<sub>27</sub> ve %C<sub>28</sub> oranlarının birbirine yakın olması, organik maddenin hem denizel hem de tatlı su kökenli olabileceğini düşündürür. %C<sub>29</sub> oranının yine düşük kalması, karasal bitki katkısının az olduğunu gösterir. Bu durum, lagün veya deniz ile karışık tatlı su ortamını işaret etmektedir.

Bu örnekler, genel olarak denizel kökenli organik madde ile ilişkili, ancak yer yer tatlı su ve karasal organik madde katkılarının da olabileceği açıklanmıştır. Örnek NS-11'de denizel ve karasal katkıların bir karışımı gözlenirken, diğer iki örnekte daha fazla denizel ve tatlı su kökenli organik madde olduğu anlaşılıyor. Yani, genel olarak denizel ya da kıyıya yakın (deniz-tatlı su geçişli) bir ortamda oluşan organik maddenin söz konusu olduğunu söyleyebiliriz.



## 5. SONUÇLAR

Bu çalışma, Antalya'nın güneybatısında yer alan Pamucakyayla Formasyonu üzerinde gerçekleştirilmiş ve formasyonun organik jeokimyasal özellikleri detaylı bir şekilde ortaya koymuştur. Formasyon, gri ve kahverengi tonlarında kuvarsça zengin kumtaşları ile karakterize olmakta, yer yer ince katmanlı kilaşları ve kömür bantları içermektedir. Pamucakyayla Formasyonu Karbonifer'den Alt Permien'e kadar uzanan bir yaş aralığına sahiptir.

Pamucakyayla Formasyonu'ndan seçilen 14 örnekte, XRD tüm kaya ve kil minerali analizleri gerçekleştirilmiştir. Kuvars, kil, kalsit, pirit ve feldispat en yaygın mineraller olarak belirlenmiştir. Dolomit ve mika mineralleri daha az miktarda bulunmuştur. Pirit, özellikle kömür damarlarının bulunduğu seviyelerde yoğunlaşmıştır. XRD kil minerali analizlerinde ise illit ve kaolinit baskın kil mineralleri olarak tespit edilmiştir. Yalnızca birkaç örnekte smektit ve klorit bulunmuştur.

Formasyondan alınan kömür ve kömürlü örnekler üzerinde yapılan organik jeokimyasal ve petrografik analizler, kömürlerin organik madde miktarını, tipini, olgunlaşma düzeyini ve kaynak kaya potansiyelini belirlemeyi amaçlamıştır. Örneklerin Toplam Organik Karbon (TOC) içeriği %0,13 ile %30,45 arasında değişmekle birlikte, ortalama TOC değeri %15,29 olarak tespit edilmiştir. Bu yüksek TOC içeriği, formasyonun "zengin" bir kaynak kaya potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Kömür örneklerinin petrografik dağılım analizi, hüminit, liptinit ve inertinit grubu maserallerin varlığını ortaya koymuştur. Bu gruplar arasında en yaygın olanı hüminit maseraller olup, bunların içinde ülminit en baskın türdür ve odunsu bitki dokusunun bozulmasıyla oluşur. İnertinit grubunda makrinit en yaygın tür olarak tespit edilmiştir; bu maseral, bitki materyalinin yüksek sıcaklık veya yangın gibi şiddetli oksidatif koşullara maruz kalması sonucu oluşur ve kömürleşme sürecinin ileri safhalarında belirgin hale gelir. Liptinit grubunda ise sporinit öne çıkmaktadır.

Hidrojen İndeksi (HI) değerleri 34 ile 572 mg HC/g TOC arasında değişirken, ortalama değer 303 mg HC/g TOC olarak hesaplanmıştır. S2-TOC diyagramı incelendiğinde, örneklerin yarısının Tip III kerojen özelliklerini gösterdiği, diğer yarısının ise Tip II kerojen özelliklerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Oksijen İndeksi (OI) değerleri 1-223 mg CO<sub>2</sub>/g TOC ve HI değerleri 34-572 mg HC/g TOC arasında değişmektedir. Bazı örnekler, yüksek HI değerleri nedeniyle Tip II olarak sınıflandırılmıştır. HI ve OI değerlerine göre yapılan değerlendirme, örneklerin B (denizel, amorf, yaygın karasal), BC (karışık, bazen okside), C (karışık, bazen okside), ve CD (okside, yeniden işlenmiş) fasiyes gruplarında yer aldığını göstermektedir.

Pamucakyayla Formasyonu kömür/kömürlü birimlerinin olgunlaşma düzeyi piroliz, petrografik, n-alkan ve biyomarker dağılımlarından yararlanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma alınan örneklerin Tmax değerleri 444 ile 476 °C arasında değişmektedir. Örneklerin genel olarak olgun ve ileri-olgun evrelerde olduğunu ve çoğu kerojenlerin petrol ve bazılarının ise gaz üretme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu veriler ışığında, elde edilen vitrinit yansıma değerleri (0,713-0,977) arasında

belirlenmiştir. Pirolizden elde edilen temel olgunlaşma parametreleri Tmax, Üretim İndeksi (PI)'dır. Tmax (444-476 °C) ve PI (0,02-0,22) değerlerini göstermekte olup organik maddenin olgun ve ileri olgun düzeyde olduğunu belirtmektedir. Bitüm/TOC oranı 0,33-0,57 (olgun ve ileri-olgun) aralığını göstermiştir. n-alkan dağılımlarından yararlanılarak hesaplanan CPI ve OEP oranları sırasıyla 1,26-1,59 ve 0,75-0,92 aralığında belirlenmiş olup, olgun ve ileri olgun seviyede yer almıştır. Pr/nC17-Ph/nC18 diyagramı da benzer sonuçlar vermiştir.

GC-MS analiz sonuçları, her üç örnekte de kısa, orta ve uzun zincirli n-alkanların varlığını tespit etmiş ve bu alkanların örneklerin biyolojik kaynakları ve kömürleşme süreçleri hakkında önemli bilgiler sunduğunu ortaya koymuştur. Her üç örnek de bu n-alkan zincirlerinin farklı uzunluklarına sahip olup, biyolojik kaynaklar ve kömürleşme aşamaları hakkında bilgi sağlamaktadır. Örneğin, NS-2 örneğinde, orta zincirli n-alkanların baskın olması, damarlı bitkiler, mikroalgler ve siyanobakteriler gibi organik maddelerin birikimini göstermektedir. NS-11 ve NS-17 örneklerinde ise kısa ve orta zincirli n-alkanların baskın olması, biyolojik kaynakların çeşitliliğini ve farklı kömürleşme aşamalarını işaret etmektedir. Bu bulgular, kömür örneklerinin farklı biyolojik kaynaklardan türediğini ve çeşitli olgunluk derecelerinden geçtiğini göstermektedir.

Pr/Ph oranları, 0,88, 6,26 ve 5,44 olarak belirlenmiştir. İki örnekte (>3) yüksek Pr/Ph oranları tespit edilmiş olup, bu durum bu örneklerin oksijenli koşullarda çökme ve korunma süreçlerine maruz kaldığını göstermektedir. Bu yüksek oranlar, kömürün oluştuğu çevrenin oksijen bakımından zengin olduğunu ve organik maddenin büyük ölçüde karasal bitkisel kaynaklardan geldiğini işaret etmektedir. Karasal bitki materyallerinin parçalanması ve oksijenli ortamlarda korunması sırasında bu tür koşulların ortaya çıktığı düşünülmektedir. Öte yandan, 0,88 değeri ile diğer bir örnek, genellikle anoksik (oksijensiz) koşullar altında çökme ve korunma süreçlerini yansıtmaktadır. Bu düşük oran, kömürün oluştuğu ortamda oksijen seviyesinin oldukça düşük olduğunu veya tamamen yok olduğunu, bunun yerine redükleyici koşulların baskın olduğunu gösterir. Anoksik koşullar, organik maddenin oksidatif bozulmaya karşı korunmasına olanak tanır ve kömür oluşumu sürecinde önemli bir rol oynar. Bu bulgular, farklı çökme ortamlarının kömürleşme süreci üzerindeki etkilerine dair kapsamlı bilgiler sunmaktadır.

Doymuş hidrokarbon fraksiyonlarının m/z 191 kütle kromatogramlarındaki analizlerde, özellikle trisiklik ve pentasiklik terpanların belirgin olduğu pikler gözlemlenmiştir. Örneklerde pentasiklik terpanlar, özellikle C30, C27 ve C29-hopan bileşikleri, baskın olarak saptanmıştır. Trisiklik terpanlar ise C19, C20 ve C21 trisiklik terpan bileşiklerinde yoğunlaşmıştır. Pentasiklik terpanların daha yüksek yoğunlukta bulunması, bu terpanların karasal organik madde kökenli olduğunu ve kaynak kayaların oksik koşullarda biriktiğini göstermektedir. Trisiklik terpanlar ise, örneklerin termal olgunluk seviyeleri hakkında ek bilgiler sunmaktadır.

Üç örnekte de benzer steran/hopan oranlarının görülmekte ve bu genellikle anoksik (oksijensiz) veya suboksik ortamları işaret eder. Bu tür ortamlar, bakteriyel

aktivitenin yüksek olduğu, örneğin kısıtlı deniz havzaları, bataklıklar veya kıyı lagünleri gibi yerlerde yaygındır

Diasteran/Steran oranının 0,5'nin üzerinde olması, yüksek kil içeriği, daha oksik depolanma ortamları ve yoğun diyajenez süreçlerini işaret eder. Yüksek oranlar, organik maddenin önemli ölçüde yeniden düzenlendiğini ve dönüştüğünü gösterebilir.

Moretan/Hopan oranları örneklerde oldukça düşüktür (0,0432-0,194). Bu durum, karasal bitki materyallerinin baskın olduğu kömürlerin varlığına işaret eder. Bu oranlar, kömürün oluşumu sırasında karasal bitki materyallerinin önemli bir bileşen olduğunu ve denizel veya gölsel katkının nispeten düşük olduğunu göstermektedir. Örnekler arasındaki oranlar birbirine oldukça yakındır, bu da örneklerin benzer çevresel ve jeokimyasal koşullarda oluşmuş olabileceğini düşündürmektedir.

Örneklerdeki  $C_{29}/C_{30}$  hopan oranları sırasıyla 0,32, 1,30 ve 0,75 olarak açıklanmıştır.  $C_{29}/C_{30}$  hopan oranının 0,5 ve altında olması genellikle denizel veya mikrobiyal kökenli organik maddelerin varlığını ve yüksek olgunlaşma seviyelerini gösterebilir. 0,5 ile 1,0 arasındaki oranlar, kara ve denizel organik maddelerden karışık bir kaynak gösterebilir ve orta düzeyde olgunlaşma seviyelerine işaret edebilir. 1,0 üzerindeki oranlar ise kara bitkilerinden türemiş organik maddelere ve daha düşük olgunlaşma seviyelerine işaret eder.

$C_{35}/C_{34}$  oranı NS-2 örneğinde düşük (0,324) bir seviyede ve NS-11 ve NS-17 örneklerinde yüksek (1,02 ve 1,0) seviyede oldukları izlenmiştir. Düşük  $C_{35}/C_{34}$  oranı çoğunlukla denizel organik madde birikimini ya da anoksik (oksijensiz) ortam koşullarını temsil eder. Buna karşın, yüksek  $C_{35}/C_{34}$  oranı genellikle karasal organik madde veya oksijenli ortamları işaret etmektedir.

Örnek NS-2'deki düşük  $C_{25}/C_{26}$  trisiklik terpan oranı (0,0336), karasal bitki materyallerinin baskın olduğunu ve denizel organik madde katkısının düşük olduğunu gösterir. NS-11'deki orta seviye oran (0,151), karasal ve denizel organik maddelerin karışımını işaret ederken, NS-17'deki yüksek oran (1,043), denizel organik maddelerin baskın olduğu bir ortamı yansıtır.

Örneklerde gözlemlenen orta seviyedeki gamaseran indeks değerleri (%10,29, %10,88, %11,50), bu değerler, organik maddenin anoksik bir ortamda, denizel kökenli olabileceğini işaret etmektedir. NS-2 numunesi, daha derin ve anoksik bir denizel ortamda birikmiş organik maddeyi yansıtırken, NS-11 karasal ve denizel kaynakların karıştığı sığ deniz veya kıyı ortamını işaret etmektedir. NS-17 ise daha oksijenli, karasal organik madde katkısının yüksek olduğu kıyı veya delta ortamını temsil eder.

Yapılan bu çalışma sonucunda tüm veriler değerlendirildiği zaman Pamucakyayla Formasyonunun ekonomik anlamda çok önemli olduğu, bilinen kömür oluşumlarının yanında daha fazla kömür oluşumları içerebileceği ve hidrokarbon gazları açısından da önemli bir potansiyel kaynak kaya olabileceği sonucuna varılmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

- Adedosu, T. A., 2009. Aspects of organic geochemistry of Nigerian coal as a potential source-rock of petroleum.
- Altunsoy, M. Güllüdağ, C.B. ve Özçelik, O. 2012. Organic Geochemical Characteristics of Carboniferous Coaly Units in the Pamucak in the Pamucakyayla Region (Kemer, Antalya-Turkey). SGEM 2012, V.I, p. 189-196.
- Altunsoy, M. ve Özçelik, O. 1993. Organik fasiyesler. Jeoloji Mühendisliği derg., 43:34-39
- Altunsoy, M., özçelik, O., Hökerek, S., ve Taka, M., 2011. Karapınar (Konya) Güneyindeki Kömürlü Pliyosen Birimlerinin Organik Fasiyes Özellikleri: Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi, Proje No: 2010.01.0102.003, 94s.
- Andrejko, M.J., ve Cohen, A.D. (1984). Sedimentology and Diagenesis of Coal Beds. In: Coal and Coal-bearing Strata.
- Ayrancı, K. 2009. Göynük (Antalya) Güncel Örgülü Deltasının Sedimentolojik İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 130 s.
- Baskin, D.K. 1997. Atomic H/C ratio of kerogen as an estimate of thermal maturity and organic matter conversion. AAPG Bulletin, 81, 9, p. 1453-1450.
- Bat, C. ve Orhan, O. 1982, Kemer (Antalya) kuzeyinin ve Pamucakyayla dolayının jeolojisi ve kömür oluşumları. MTA Rap. No:7248
- Bozkaya, Ö. Yalçın, H. 2009. Antalya Birliği – Alakırçay Napı Triyas yaşlı volkanik kayalarının alterasyon mineralojisi Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas, Türkiye.
- Bozkaya, Ö. Yalçın, H. 2010. Geochemistry of mixed-layer Illite-Smectites from an extensional basin, Antalya Unit
- BP. (2023). Energy Outlook 2023: Exploring key trends and uncertainties surrounding the energy transition. BP p.l.c.
- Brassell, S.C. (1992). Biomarker Compounds in Sedimentary Environments.
- Bray, E. E., ve Evans, E. D. (1961). Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 22(1), 2-15.
- Brooks, J.D. (1986). Geochemical Indicators of Depositional Environments. *Organic Geochemistry*.
- Brown, T. (2012). Geothermal Gradients and Coal Formation. *Journal of Geophysical Research*, 117(B2), 101-115.
- Chandra, D., Singh, R. S., ve Pant, C. C. (1994). Pristane/Phytane Ratio in Coals and Source Rock Evaluation. *Organic Geochemistry*.
- Connan, J., Bouroulec, J., Dessort, D. ve Albrecht, P. 1986. The microbial input in carbonate-anhydrite facies of a Sabkha paleoenvironment from Guatemala: a molecular approach, *Organic Geochemistry*, 10: 29–50.

- Cornford, C., Brooks, P.W., Dyrkacz, G.R., ve Dungworth, G.W. (1988). Application of Organic Geochemistry to Hydrocarbon Exploration. Organic Geochemistry.
- Cranwell, P.A., Eglinton, G. ve Robinson, N. 1987. Lipids of aquatic organisms as potential contributors to lacustrine sediments. Organic Geochemistry, 11: 513-527.
- Demaison, G.J. ve Moore, G.T. (1980) Anoxic Environments and Oil Source Rock Bed Genesis. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 64, 1179-1209.
- Demirel, İH. Günay, Y. Yurtsever, T.S. 2001. Evaluation of petroleum source rocks on the coastal area of the western Taurus Region, Turkey: Energy Source., 23(6): p. 47-58.
- Demirel, İH. Günay, Y. Yurtsever, T.S. 2002. Evaluation of hydrocarbon source rock potential from well data on the Elmalı nappes, western Taurus Region, Turkey. Energy Source., 24: p. 461-470.
- Didyk, B.M., Simoneit, B.R.T., Brassell, S.C., ve Eglinton, G. (1978). Organic Geochemical Indicators of Paleoenvironmental Conditions of Sediment Deposition.
- Durand, B. ve Nicaise, G. (1980) Procedures for Kerogen Isolation. In: Durand, B., Ed., Kerogen Insoluble Organic Matter from Sedimentary Rocks, Editions Technip, Paris, 35-53.
- Durand, B., Espitalie, J. ve Nicaise, G. 1972. Etude de la matière organique des Argiles du toarcien de Bassin de Paris Etude par les procédés optiques analyse élémentaire, Etude microscopique et diffraction électronique. Rev. Ist. Fr., 27: 865-884.
- Dünya Kömür Birliği. (2023). FutureCoal: Sürdürülebilir Kömür için Küresel İttifak.
- Eglinton, G., ve Hamilton, R.J. (1967). Leaf Epicuticular Waxes.
- Ekweozor, C.M., ve Udo, O.T. (1988). The Oleananes: Origin, Maturation and Limits of Occurrence in Southern Hemisphere Cretaceous Sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta.
- Ensminger, A., Albrecht, P., Ourisson, G., ve Tissot, B. 1977. Evolution of polycyclic alkanes under the effect of burial (Early Toarcian shales, Paris Basin). In: Advances in Organic Geochemistry 1975 (R. Campos and J. Goni, eds.), ENADIMSA, Madrid, pp. 45-52.
- Fan Pu, Z., Rullkötter, J., ve Marzi, R. (1987). Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Geochemistry. Springer.
- Freeman, K.H., Hayes, J.M., Trendel, J.M., ve Albrecht, P. (1990). Evidence from Carbon Isotopes for Multiple Origins of Sedimentary Hydrocarbons.
- Giger, W., ve Schaffner, C. (1977). Distribution and Transformation of Hydrocarbons in Aquatic Systems.
- Güllüdağ, C.B. 2012. Pamucakyayla yöresindeki karbonifer çökellerinin organofasiyes özellikleri incelenerek kömürlerin organik jeokimyasal özellikleri ve kapasiteleri, Yüksek Lisans Tezi.
- Harvey, R.D., ve Demir, İ. (1991). Mineral Matter in Coal: Geochemistry and Processing. Organic Geochemistry.

- Hoşgörmez, H. 2007. Origin of the natural gaz seep of C, İrali (Chimera), Turkey: Site of the first Olympic fire: *Journal of Asian Earth Sciences* 30: p. 131-141.
- Hökerek, S. ve Özçelik, O. 2012. Organic Facies of the Beydağları Carbonate Platform (Mesozoic), Western Taurus Antalya, Turkey, *Scientific Research and Essays*, 7(3), p. 327-337.
- Huang, W.Y., ve Meinschein, W.G. (1979). Sterols as Ecological Indicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
- Huang, W.Y., Meinschein, W.G., ve Jackson, K. (1990). Thermal Maturity and Hydrocarbon Generation in Source Rocks. *Organic Geochemistry*.
- Hughes, W. B., Holba, A. G., ve Dzou, L. I. P. (1995). The Ratios of Pristane/Phytane, Dibenzothiophene/Phenanthrene and C35 Homohopane as Indicators of Depositional Environment and Lithology of Petroleum Source Rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
- Hughes, W.B., Holba, A.G., ve Dzou, L.I.P. (1985). The Ratios of C27/C29 Steranes, C27/C29 Triterpanes and C30 4-Methylsteranes as Indicators of Input from Distinct Organic Matter Types. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
- Hunt, J. M. (1995). *Petroleum Geochemistry and Geology*. W.H. Freeman and Company.
- Inbus, H., ve Mckirdy, D.M. (1993). *Biomarkers in Oil Exploration*.
- Jarvie, D. M. (1991). "Total organic carbon (TOC) analysis." In *Treatise of Petroleum Geology, Handbook of Petroleum Geology: Source and Migration Processes and Evaluation Techniques*, edited by A. G. B. (et al.), pp. 113-118. American Association of Petroleum Geologists (AAPG).
- Johns, R.B. (1986). *Biomarkers in Sediments and Petroleum*.
- Johnson, L., ve Smith, R. (2015). Sedimentary Processes and Fossil Fuel Formation. *Earth Sciences Journal*, 12(4), 243-258.
- Jonathan, D., Le Tran, K., Oudin, S.L. Van Der Weide, B.M., 1976. Les methodes d'physica-chimique de la matire organique. *Bull. Centre Rech. Pau. SNPA*, 10 (1), 39-109.
- Jones, M. (2013). Coal Types and Their Characteristics. *Energy Resources Journal*, 15(3), 201-215.
- Jones, R.W. 1987. Organic facies, In: *Advances in petroleum geochemistry*. Brooks, J. and Welte, D. (eds), Academic Press, London 2,1-91.
- Jones, R.W., Demaison, G.J. 1982. In proceedings of the second ASCOPE conference and exhibition, Manila, 51-68.
- Kalafatçioğlu, A. (1973). ANTALYA KÖRFEZİ BATI KISMININ JEOLJİSİ. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 81(81), 82-131.
- Kershaw, S., Crasquin, S., Forel, M.B., Randon, C., Collin, P.Y., Kosun, E., Richoz, S., ve Baud, A. 2011. Earliest Triassic microbialites in Çürük Dağ, southern Turkey: composition, sequences and controls on formation. *Sedimentology*, 58, 3, p. 739-755.
- Kirk, P.L., ve Shaw, D.J. (1975). *Catalysis by Acid Clays in the Transformation of*

Steranes to Diasteranes. Organic Geochemistry.

- Kraus, G.P. ve Parker K.A. 1979. Geochemical Evaluation of Petroleum Source Rock in Bonaparte Gulf-Timor Sea Region, Northwestern Australia. P.2021-2041.
- Langford, F.F. ve Blanc-Valleron, M.-M. (1990) Interpreting Rock-Eval Pyrolysis Data Using Graphs of Pyrolizable Hydrocarbons vs. Total Organic Carbon (1). AAPG Bulletin, 74, 799-804.
- Large, D. J., ve Gize, A. P. (1996). Geochemical Assessment of Depositional Environments Using Pristane/Phytane Ratios. Organic Geochemistry.
- Mackenzie, A. S., Brassell, S. C., Eglinton, G., ve Maxwell, J. R. (1980). "Chemical fossils: The geochemistry of steroids." Science, 207(4437), 1149-1153.
- Mackenzie, A.S., ve Mckenzie, D. (1983). Isomerization of Biological Markers in Thermal Maturation Studies. Organic Geochemistry.
- Mackenzie, A.S. Brassell, S.C. Eklinton, G. ve Maxwell, J.R. 1982. Chemical fossils – the geological fate of steroids. Science 217:491-504.
- Marcoux, J. ve Baud, A. 1986. The Permian–Triassic boundary in the Antalya Nappes (Western Taurides, Turkey). Memorie della Società Geologica Italiana, 34: 243–252.
- Marcoux, J. ve Lys, M., 1978. Les niveaux du Permien supérieur des nappes d’Antalya (Taurides occidentales, Turquie). Comptes Rendus de la Academie des Sciences Serie D 286, 1417–1420.
- Marcoux, J. Monod, O. Poisson, A. 1971. Outline of the Geology of the Western Tauridas. In Geology and History of Turkey, Campbell AS (ed). Petroleum Exploration Society of Libya: Tripoli. 225-252.
- Matsumoto, G.I., Akiyama, M., Watanuki, K. ve Torii, T. 1990. Unusual distribution of long chain n-alkanes and n-alkenes in Antarctic soil. Organic Geochemistry, 15: 403–412.
- Mckirdy, D.M., Aldridge, A.K. ve Ypma, P.J.M. 1983. A geochemical comparison of some crude oils from Pre-Ordovician carbonate rocks. In: Advances in Organic Geochemistry 1981 (M. Bjoroy, C. Albrecht, C. Cornford, et al., eds.), John Wiley&Sons, New York, pp. 99-107.
- Merrill, R. (1991) Source and Migration Processes and Evaluation Techniques. American Association of Petroleum Geologist, Tulsa, USA.
- Mitterer, R.M. (1993). Geochemical and Biological Markers.
- Moldowan, J.M., Seifert, W.K., ve Gallegos, E.J. (1986). Relationship between Petroleum Composition and Depositional Environment of Petroleum Source Rocks. Geochimica et Cosmochimica Acta.
- Moldowan, J.M., Sundararaman, P., Salvatori, T., Alajbeg, A., Gjukic, B., Lee, C.Y., ve Demaison, G.J. (1992). Source Correlation and Maturity Assessment of Select Oils and Rocks from the Central Adriatic Basin (Italy and Yugoslavia). In J.M. Moldowan, P. Albrecht, & R.P. Philp (Eds.), *Biological Markers in Sediments and Petroleum* (pp. 370-401). Prentice Hall.

- MTA, 1974. Türkiye madencilik faaliyetleri ve istatistikleri 1960-1973.
- MTA, 1982. Dünya’da ve Türkiye’de metal ve mineral kaynaklarının potansiyeli, ticareti, beklenen gelişmeleri X (Bor)
- MTA, 2009. Türkiye Yer Altı Kaynakları (İllere Göre). Yerbilimleri Kültür Serisi, Ankara.
- Noble, R.A., Alexander, R., Kagi, R.I., ve Knox, J. (1991). *The Relationship Between Sterane and Terpane Distribution and Source Rock Type and Maturity*. Organic Geochemistry.
- Orem, W.H., ve Finkelman, R.B. (2003). Coal Formation and Geochemistry. In: Treatise on Geochemistry.
- Özçelik, O. Acar, F. Altunsoy, M. Yalçın Erik, N. 2009. Organic geochemical characteristic of the Miocene Lycian Basin, Western Taurides, Turkey, Int. Geol. Rev. 51(1): p. 77-93.
- Özgül, N. 1976. Some geological features of the Taurus, Bull. Geo. Soc. Turkey, 14: p. 75-87. Southwestern Turkey Department of Geological Engineering, Cumhuriyet University, TR-58140 Sivas, Turkey.
- Peters, K.E. (1986) Guidelines for Evaluating Petroleum Source Rock Using Programmed Pyrolysis. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 70, 318-329.
- Peters, K.E., ve Moldowan, J.M. (1991). Effects of Source, Thermal Maturity, and Biodegradation on the Distribution and Isomerization of Homohopanes in Petroleum. Organic Geochemistry.
- Peters, K. E., ve Moldowan, J. M. (1993). The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Prentice Hall.
- Peters, K.E. ve Cassa, M.R. (1994) Applied Source-Rock Geochemistry. In: Magoon, L.B. and Dow, W.G., Eds., The Petroleum System. From Source to Trap, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, 93-120
- Peters, K. E., Walters, C. C., ve Moldowan, J. M. (2005). The Biomarker Guide: Volume 1, Biomarkers and Isotopes in the Environment and Human History. Cambridge University Press.
- Philip, R. P. (1985). Geochemistry and origin of Australian offshore oils. Organic Geochemistry, 10(1-3), 55-78.
- Poisson, A., Akay, E., Cravatte, J., Müher C., ve Uysal, S., 1983. 4 Donnees nouvelles sur la chronologie de mise en place des nappes d’Antalya au centre de l’angle d’Isparta (Taurides occidentales, Turquie): Comptes Rendus des Seances del’Academie des Scinces Paris, v. 296, p. 923-925.
- Powell, T.G., Mckirdy, D.M., (1973). Relationship between ratio of pristane to phytane, crude oil composition and geological environment in Australia. Nature 243, 37 – 39.
- Powell, T. G., ve Boreham, C. J. (1994). Terrestrial source rocks. In The Petroleum System—From Source to Trap, Magoon, L. B., and Dow, W. G., eds. AAPG Memoir 60, 47-69.

- Raymond, R., Reynolds, R. L., & COOK, H. E. (1990). Sedimentology and geochemistry of coal deposits.
- Riediger, C.L., Fowler, M.G., Brooks, P.W., Snowdon, L.R., ve Macqueen, R.W. (1990). Petroleum Geology and Potential of the Canadian Rockies and Adjacent Areas. Bulletin of Canadian Petroleum Geology.
- Riva, A., Caccialanza, P.G. ve Qiagliaroli, F. 1988. Recognition of 18 $\beta$ (H)-oleanane in several crudes and Tertiary-Upper Cretaceous sediments. Definition of a new maturity parameter. Organic Geochemistry, 13, 671-5.
- Riva, A., Riolo, J., Mycke, B., Ocampo, R., Callot, H.J., Albrecht, P. ve Nali, M. 1989. Molecular parameters in Italian carbonate oils: Reconstruction of past depositional environments, 14th International Meeting on Organic Geochemistry, Paris, September 18-22, Abstracts, Number 335.
- Rubinstem, I., Sieskind, O. ve Albrecht, P. 1975. Rearranged sterenes in a shale: occurrence and simulated formation. Journal of Chemical Society, Perkin Transaction I, 1833-6.
- Rullkötter, J., Spiro, B. ve Nissenbaum, A. 1985. Biological marker characteristics of oils and asphalts from carbonate source rocks in a rapidly subsiding graben, Dead Sea, Israel. Geochimica et Cosmochimica Acta, 49, 1357- 70.
- Rullkötter, J. ve Marzi, R. (1988) Natural and Artificial Maturation of Biological Markers in a Toarcian Shale from Northern Germany. Organic Geochemistry, 13, 639-645.
- Scalan, R. S., ve Smith, J. E. (1970). An improved measure of the odd-even predominance in the normal alkanes of sediment extracts and petroleum. Geochimica et Cosmochimica Acta, 34(5), 611-620.
- Schmid, H. (1986). Formation of  $\beta\beta$  Steranes in Sulfur-Rich Sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta.
- Seifert W. K. ve Moldowan J. M. (1978) Applications of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils. Geochim. Cosmochim. Acta 42, 77-95.
- Seifert, W.K., ve Moldowan, J.M. (1980). The Effect of Thermal Stress on Source-Rock Quality as Measured by 22S/(22S+22R) Homohopane Ratios. Geochimica et Cosmochimica Acta.
- Seifert, W.K., ve Moldowan, J.M. (1981). The Effect of Thermal Stress on Source-Rock Quality as Measured by 22S/(22S+22R) Homohopane Ratios. Geochimica et Cosmochimica Acta.
- Seifert, W.K., ve Moldowan, J.M. (1986). Use of Biological Markers in Petroleum Exploration. Geochimica et Cosmochimica Acta.
- Simoneit, B.R.T. Grimalt, J.O. Wang, T.G. Cox, R.E. Hatcher, P.G. ve Nissenbaum, A. 1986. Cyclic terpenoids of contemporary resinous plant detritus and of fossil woods, amber and coal. Organic Geochemistry, 10: 877- 889.
- Simoneit, B.R.T. (1998). Molecular Indicators of Geochemical Processes.
- Smith, J. (2010). Fossil Fuels and Their Impact. Green Energy Press.

- Spiro, B. (1984). The Carbon Isotopic Composition of Steranes as Evidence of Their Origin from Prokaryotic and Eukaryotic Precursors. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
- Stach, E., Mackowsky, M. Th., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., ve Teichmüller, R., 1982. *Stach's Textbook of Coal Petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin
- Şenel, M., 1997. Antalya-L11 bölgesi 1/100.000 ölçekli Jeoloji Haritası. MTA, Ankara.
- Şenel, M., 1997a. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Fethiye-L7 Paftası. No: 1. MTA, Ankara.
- Şenel, M., 1997b. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Fethiye-L8 Paftası. No: 3. MTA, Ankara.
- Şenel, M., 1997c. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Fethiye-L9 Paftası. No: 4. MTA, Ankara.
- Şenel, M., SERDAROĞLU, M., KENGİL, R., ÜNVERDİ, M., GÖZLER, M.Z., 1981. Teke Torosları güneydoğusunun jeolojisi, *MTA Dergisi*, 95/96, 13-43.
- Şenel, M. (1982). Geological Map of Turkey, 1:500,000 Scale. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Ankara.
- Şenel, M. 1985. Alakıçay grubu, Kumluca zonunun litostratigrafi özellikleri ve yaşı: Güneybatı Antalya- Türkiye 103-104, s. 151-153.
- Şenel, M., 1986. Tahtalıdağ (Antalya) ve dolayının jeolojisi. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Şenel, M. 2004. Batı Toroakslardaki Yeşilbarak Napının Stratigrafik ve Yapısal Özellikleri, GD Anadolu'daki ve Kuzey Kıbrıs'taki Benzer Birimlerle Karşılaştırılması Maden Tetkik ve Arama Dergisi.
- Taylor, G. H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C. F. K., Littke, R., ve Robert, P. (1998). *Organic Petrology: A New Handbook Incorporating Some Revised Parts of Stach's Textbook of Coal Petrology*. Gebrüder Borntraeger.
- Ten Haven, H. L., Kroot, M. J., De Leeuw, J. W., ve Schenck, P. A. (1987). Anomalies in Steroid and Hopanoid Biomarker Compositions of a Permian Carbonate. *Nature*.
- Ten Haven, H.L., De Leeuw, J.W., Rullkötter, J., ve Sinninghe Damsté, J.S. (1987). Restricted Utility of the Pristane/Phytane Ratio as a Paleoenviromental Indicator.
- Ten Haven, H.L., De Leeuw, J.W., Peakman, T.M. ve Maxwell, J.R. 1986. Anomalies in steroid and hopanoid maturity indices. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50, 853-5.
- Ten Haven, H. L., Rohmer, M., Rullkötter, J., ve Bissert, P. (1988). Tetrahymanol from the Methylophobic Methanogen *Methylobacterium alcaliphilum*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
- Thomas, B.H. 1979. Geochemical analysis of hydrocarbon occurrences in northern, Perth Basin, Australia. P. 1092-1107.
- Tissot, B.P., Effect on prolific petroleum source rocks and major coal deposits caused by

- sealevel changes. *Nature (London)* 277, 462-165 (1979).
- Tissot, B. P., ve Welte, D. H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag.
- U.S. Energy Information Administration. (2023). *Annual Energy Outlook 2023*. U.S. Department of Energy.
- United Nations. (2023). *United Nations Commodity Trade Statistics Database (UN Comtrade)*. UN Statistics Division. Available at UN Comtrade.
- Ünal, M. (2010). *Geochemical and mineralogical characteristics of Turkish coals*. Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 232 s.
- Varol, B. Kosun, E. Ünal-Pırnan, N. Ayrancı, K. 2011. Pyritized mudstone and associated facies in the Permian-Triassic boundry of the Çürük Dağ section, Southern, Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences* 40/5: p. 1068-1078.
- Volkman, J.K., ve Maxwell, J.R. (1986). *Sources and Fates of Lipid Biomarkers in Marine Sediments*.
- Volkman, J.K. (1988). *Sterols and Other Triterpenoids: Source Specificity and Evolutionary Implications*. Organic Geochemistry.
- Waples, D.W. (1985). *Geochemistry in Petroleum Exploration*.
- Waples, D.W., ve Machihara, T. (1991). *Application of Organic Geochemistry to Hydrocarbon Exploration*.
- Ward, C.R. (2002). *Analysis and Significance of Mineral Matter in Coal Seams*. International Journal of Coal Geology.
- Wilson, K. (2016). *Renewable Energy Transition: Challenges and Opportunities*. Sustainable Energy Review, 22(1), 77-89.
- World Coal Association. (2023). *Rebranded as FutureCoal: The Global Alliance for Sustainable Coal*.
- Yağmurlu, F., Şentürk, M. (2005). Güneybatı Anadolu'nun güncel tektonik yapısı.
- Yalçın Erik, N. (2011). Organic geochemical characteristics of Miocene sediments in the Çanakkale Basin (NW Turkey). *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 78(3), 476-486.
- Yalçın Erik, N., ve Sancar, T. (2010). Geochemical characteristics and hydrocarbon potential of the Oligocene sediments in the Thrace Basin, NW Turkey. *Marine and Petroleum Geology*, 27(2), 434-450.

## ÖZGEÇMİŞ

Nargis SADIQ

### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

|               |                                                                         |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Doktora       | Akdeniz Üniversitesi                                                    |
| 2018-2024     | Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği<br>Anabilim Dalı, Antalya |
| Yüksek Lisans | Akdeniz Üniversitesi                                                    |
| 2015-2017     | Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği<br>Anabilim Dalı, Antalya |
| Lisans        | Jawzjan Üniversitesi                                                    |
| 2009-2013     | Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jawzjan                             |