

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SOYLU KÖYÜ (HAYRABOLU – TEKİRDAĞ) YÖRESİNDEKİ KÖMÜRLÜ
BİRİMLERİN ORGANİK JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

**Ahmet Çağatay KAYA
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

TEMMUZ 2021

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**SOYLU KÖYÜ (HAYRABOLU – TEKİRDAĞ) YÖRESİNDEKİ KÖMÜRLÜ
BİRİMLERİN ORGANİK JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

Ahmet Çağatay KAYA
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2021

ANTALYA

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

**SOYLU KÖYÜ (HAYRABOLU – TEKİRDAĞ) YÖRESİNDEKİ KÖMÜRLÜ
BİRİMLERİN ORGANİK JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

**Ahmet Çağatay KAYA
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından FYL-2020-5211 nolu proje ile desteklenmiştir.**

TEMMUZ 2021

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOYLU KÖYÜ (HAYRABOLU – TEKİRDAĞ) YÖRESİNDEKİ KÖMÜRLÜ
BİRİMLERİN ORGANİK JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

Ahmet Çağatay KAYA
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 08/07/2021 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY (Danışman)

Prof. Dr. Erdal KOŞUN

Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÜNAL

ÖZET

Soylu Köyü (Hayrabolu – Tekirdağ) Yöresindeki Kömürlü Birimlerin Organik Jeokimyasal Özellikleri

Ahmet Çağatay KAYA

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

Temmuz 2021; 52 sayfa

Çalışma alanı, Trakya Havzası içerisinde yer alan Tekirdağ ili sınırları içerisinde olup, Tekirdağ İl merkezinin 45 km batısında Malkara ve Hayrabolu ilçe sınırlarının kesiştiği alanda yer almaktadır. Bölgenin temelini Paleozoyik - Üst Kretase yaşlı kayalar oluştururken inceleme sahasında Eosen'den başlayarak Kuvaterner'e kadar çökelim gerçekleşmiştir. Trakya Havzası kömür ve hidrokarbon potansiyeli nedeniyle önemlidir.

Kömür ve kömürlü birimlerin organik jeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi için toplam organik karbon, Rock-Eval pirolizi, organik petrografik çalışmalar ve GC ve GC-MS analizleri yapılmıştır. Bunların sonucunda organik maddenin tipi, miktarı ve olgunlaşma düzeyleri ile çökelim havzasının özellikleri ortaya konmuştur.

İncelenen kömürlü birimler, Oligosen yaşlı Danişmen Formasyonuna ait olup, bu birimler kuvars, kalsit, kil mineralleri, dolomit, aragonit, feldispat grubu minerallerde içermektedir. İncelenen birimler içerisinde pirit oluşumları bolca gözlenir. Yüksek oranlarda gözlenen kil mineralleri ise bolluk sırasına göre smektit, illit, kaolinit ve klorit şeklindedir.

TOC ve Rock-Eval pirolizi sonuçlarına göre organik madde miktarı %0,22 ile %49,83 arasında değişmekte olup genel olarak yüksektir. Genellikle karasal kökenli olan organik maddelerden (Tip III kerojen) oluşum söz konusudur. Tmax sonuçlarına göre ortalama 425,4 °C değeri elde edilmiş olup yeterince olgunlaşmamış bir organik maddeyi göstermektedir. Bu durum vitrinit/hüminit yansıması sonuçları ile de desteklenmektedir. Bu sonuçlara göre organik maddenin kaynak kayasının gaz köken potansiyeline sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Organik petrografik incelemelere göre; hüminit, liptinit ve inertinit maseral gruplarının varlıkları belirlenmiştir. Bunlar içinde en baskın olanı % 54'ten fazla bulunan hüminit grubudur.

GC analizlerine göre n-alkan dağılımı nC_{15} - nC_{35} aralığında olup bimodal ya da nC_{23} - nC_{35} dizisine doğru çarpık bir n-alkan dağılımı sergilemektedir. Bu da karasal yüksek bitki girdisine işaret etmektedir. OEP (1.80-2,63) ve CPI değerleri (1.74-3.78) OEP-CPI diyagramında olgunlaşmamış organik maddeye işaret etmektedir.

Normal alkan ve izoprenoid verileri, organik maddenin görsel bir çökelme ortamı koşullarında biriktiğini doğrulamaktadır. Karasal/sucul oranlarının (TAR) daha yüksek olması sucul kaynaklara göre havzaya daha fazla karasal girdi (input) olduğunu göstermektedir. TAR oranı 13.70-23.36 arasında değişmekte olup karasal girdinin olduğunu ifade eder. C29/C30 oranı kömür örneklerinde (9.03-19.17) yüksek değer

göstermekte olup, karbonatlı kaynak kayaya işaret etmektedir. Gammaseran indeksi ise 0.11 ila 0.30 arasında değişmektedir ve tuzsuz veya az tuzlu bir ortamı göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELEER: Hayrabolu, Kömür, Organik Jeokimya, Tekirdağ

JÜRİ: Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

Prof. Dr. Erdal KOŞUN

Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÜNAL



ABSTRACT

Organic Geochemical Properties of Coal Units in Soylu Village (Hayrabolu - Tekirdağ)

Ahmet Çağatay KAYA

MSc Thesis in Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

July 2021; 52 pages

The research area is located at the intersection of Malkara and Hayrabolu district borders, 45 km west of Tekirdağ province city center, located in the Thrace Basin. While the base of the region is formed by the rocks of Paleozoic - Upper Cretaceous era, sedimentation has occurred in the study area starting from the Eocene to the Quaternary. The Thrace Basin is significant due to its coal and hydrocarbon potential.

In order to determine the organic geochemical properties of coal and coal units, Total Organic Carbon, Rock-Eval pyrolysis, organic petrographic examination, and GC and GC-MS analyses were conducted. With the results, the type, quantity and aging levels of the organic matter and the properties of the sedimentary basin have been identified.

The investigated coal units belong to the Oligocene aged Danişmen Formation. These units contain quartz, calcite, clay minerals, dolomite, aragonite, feldspar group minerals. Pyrite formation is abundantly seen within coal. The clay minerals observed at high rates are smectite, illite, kaolinite and chlorite in order of abundance.

In accordance with the TOC and Rock-Eval pyrolysis results, the amount of organic matter varies from 0.22% to 49.83% and is generally high. In general, formation of organic materials (Type III kerogen) of terrestrial origin can be seen. According to the Tmax results, an average of 425.4°C was obtained; indicating an organic matter not aged enough. This finding is also supported by the results of vitrinite/huminite reflection. In reference to these results, it is seen that the source rock of the organic matter has a gas origin potential. With the organic petrographic examination, the presence of huminite, liptinite and inertinite maceral groups is determined. The most dominant among these is the huminite group with a presence over 54%.

In accordance with the GC analyses, n-alkane distribution is between nC₁₅-nC₃₅ and displays bimodal or skewed n-alkane distribution towards the nC₂₃-nC₃₅ sequence. This indicates a high terrestrial plant input. OEP (1.80-2.63) and CPI (1.74-3.78) levels indicate immature organic matter in the OEP-CPI diagram.

Normal alkane and isoprenoid data verify that the organic matter accumulates in lacustrine sediment environment conditions. The higher terrestrial/aquatic ratio (TAR) indicates more terrestrial input to the basin than aquatic sources. The TAR varies between 13.70-23.36 and indicates terrestrial input. C₂₉/C₃₀ ratio shows high value (9.03-19.17) in coal samples, which shows carbonate source rock. The gammacerane index varies between 0.11-0.30 and indicates salt-free or low-salt environment.

KEYWORDS: Coal, Hayrabolu, Organic Geochemistry, Tekirdağ

COMMITTEE: Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

Prof. Dr. Erdal KOŞUN

Asst. Prof. Dr. Neslihan ÜNAL



ÖNSÖZ

Ülkemiz sınırları dahilinde fosil yakıtlardan en çok bulunanı kömürdür. Ülkemizin enerji ihtiyacı giderek arttığından ve Türkiye’de toplam dünya linyit/alt bitümlü kömür rezervinin yaklaşık %3 bulunduğundan, yeni üretim ve araştırma sahalarının aranması, kömürün bu sahalardan çıkarılmasını bir ihtiyaç haline gelmiştir. Ülke olarak enerjide dışa bağımlılığı azaltmak ve buna bağlı olarak toplumca gelişmişlik düzeyimizi artırabilmek için bu enerji kaynakların bulunması, işletilmesi ve kullanım alanlarını artırarak katma değer oluşturulması oldukça önemlidir. İlgili alandaki kömürlerin özelliklerini araştırıp niteliklerini ortaya koymak önemli bir özgün değer taşımaktadır. Bu konuda yapılan araştırmalar sonucunda toplum olarak kömürlü birimlerin yeni üretim alanı olasılıklarının değerlendirmesinde önemli bir yeri olacaktır.

Bu çalışma kapsamında bilgi ve tecrübeleriyle bana destek olan değerli hocam Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY’a, çalışma bölgemde daha önce çalışma yapan ve bu konuda bana yardımcı olan Dr. C. Bertan GÜLLÜDAĞ’a, biyomarker analizlerimde büyük yardımları dokunan Dr. Tolganay JARASSOVA’ya bilgi ve birikimleri ile aynı zamanda teknik destek de veren Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde görev yapan Arş. Gör. Dr. Anıl ÖZDEMİR’e, tarafıma yapılan her türlü destek ve yardımlarından ötürü Vergi Müfettişi Harun KANDEMİR’e teşekkür ederim.

Her zaman olduğu gibi eğitim hayatımda da en büyük destekçilerim olan anneme ve babama ve değerli eşim Gülizar ve küçük yaramazım oğlum Buğra Kağan’a sevgilerimle.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. İnceleme Alanının Yeri ve Jeolojisi Hakkında Genel Bilgiler.....	2
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Kömür Nedir ve Kömürün Oluşum Aşamaları Nelerdir?	3
2.2. Kömürü Oluşturan Bileşenler.....	3
2.2.1. Hüminit grubu	4
2.2.2. Liptinit grubu.....	4
2.2.3. İnertinit grubu.....	5
2.3. Organik Jeokimyasal Yöntemler	5
2.3.1. Toplam organik karbon (TOC) ve piroliz analizleri	5
2.3.1.1. Organik madde miktarı	5
2.3.1.2. Organik maddenin tipi	5
2.3.1.3. Organik madde olgunluğu	6
2.4. Organik Petrografik Yöntemler.....	6
2.4.1. Vitrinit/Hüminit Yansıması (%Ro) Ölçümleri.....	6
2.5. Bölge Hakkındaki Önceki Çalışmalar	6
3. MATERYAL VE METOT.....	9
3.1. Arazi Çalışmaları.....	9
3.2. Laboratuvar Çalışmaları	9
3.2.1. Jeokimyasal yöntemler	9
3.2.1.1. TOC ve piroliz analizleri	9
3.2.2. Petrografik yöntemler.....	11
3.2.2.1. Kerojen tip tayini	11

3.2.2.2. Vitrinit/Hüminit yansıma (% Ro) değeri ölçümü	11
3.2.2.3. Gaz kromatografi analizi (GC)- gaz kromatografi-kütle spektrometresi (GC-MS) analizleri.....	12
3.3. Büro Çalışmaları	12
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	13
4.1. İnceleme Alanı Jeolojisi	13
4.2. İnceleme Alanı Stratigrafisi.....	14
4.3. İnorganik Jeokimyasal ve Petrografik Analizler	18
4.3.1. Kömür ve kömürlü birimlerin mineralojisi (XRD analizleri)	18
4.4. Jeokimyasal ve Petrografik Analizler	19
4.4.1. Rock-Eval (piroliz), TOC analizleri.....	19
4.4.1.1. Organik madde miktarı	20
4.4.1.2. Organik madde türü	20
4.4.1.3. Organik madde olgunluğu	22
4.4.1.4. Kaynak kaya potansiyeli.....	23
4.4.2. Hüminit yansıması ölçümleri	25
4.5. Gaz Kromatografi Analizi	31
4.5.1. Gaz kromatografi-kütle spektrometri sonuçlarının değerlendirilmesi	42
5. SONUÇLAR	46
6. KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Soylu Köyü (Hayrabolu – Tekirdağ) Yöresindeki Kömürlü Birimlerin Organik Jeokimyasal Özellikleri” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

08/07/2021

Ahmet Çağatay KAYA

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
°C	: Derece santigrat
C	: Karbon
CH ₄	: Metan
C ₂ H ₆	: Etan
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
g	: Gram
H	: Hidrojen
HC	: Hidrojenkarbon
HCl	: Hidroklorik asit
HNO ₃	: Nitrik asit
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
km ²	: Kilometrekare
m ²	: Metrekare
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
NO _x	: Azot oksitler
N ₂ O	: Diazot oksit
O	: Oksijen
pH	: Hidrojenin gücü
ppb	: Milyarda bir birim
ppm	: Milyonda bir birim

- R_o : Vitrinit yansıması
- R_{max} : Vitrinit yansımasının en büyük değeri
- S1 : Kaya içerisinde serbest halde bulunan hidrokarbon miktarı
- S2 : Kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan hidrokarbon miktarı
- S3 : Kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan CO₂
- S4 : S2 kaydedildikten sonra geri kalan organik karbon miktarı
- SO_x : Kükürt oksitler
- SO₂ : Kükürt dioksit
- T_{max} : S2 pikinin maksimuma ulaştığı noktadaki sıcaklık

Bu tezde kullanılan ondalık ayırıcı virgül (“,”)’dür.

Kısaltmalar

- ABD : Amerika Birleşik Devletleri
- ASTM: Amerika Malzeme ve Test Birliği
- B : Batı
- CPI : Karbon Tercih İndeksi
- D : Doğu
- G : Güney
- GJ : Gram joule
- HC : Hidrokarbon
- HI : Hidrojen İndeksi
- ISO : Uluslararası Standart Organizasyonu
- K : Kuzey
- Kcal : Kilokalori
- MTA : Maden Tetkik Arama
- OEP : Teklerin Çiftler Üzerine Baskınlığı
- OI : Oksijen İndeksi

PI : Üretim indeksi
Ph : Fitan
Pr : Pristan
PY : Potansiyel Ürün
RC : Rezidüel Karbon
TAR : Karasal/Denizel Oranları
Tm : Trisnorhopan
Ts : Trisnorneohopan
TOC : Toplam Organik Karbon
TPAO : Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
XRD : X-ışını Kırınım Yöntemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İnceleme yeri yer bulduru haritası	2
Şekil 2.1. Maserall grupları (Stach vd. 1982, Sýkorová vd. 2005).....	4
Şekil 4.1. Trakya Havzası'nın jeoloji haritası (Perinçek vd., 2015; Kasar vd., 1983; Türkecan ve Yurtsever, 2002; Siyako, 2006).....	14
Şekil 4.2. Ergene (Trakya) Havzasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Şengüler, 2008).....	15
Şekil 4.3. Danişmen formasyonu tip kesiti	16
Şekil 4.4. S2-TOC diyagramı.....	20
Şekil 4.5. HI-OI diyagramı	21
Şekil 4.6. HI-Tmax diyagramı	22
Şekil 4.7. HI-TOC diyagramı.....	24
Şekil 4.8. Örnekler üzerinde gerçekleştirilen mikroskopi çalışmalarına ait görüntüler	28
Şekil 4.9. Örnekler üzerinde gerçekleştirilen mikroskopi çalışmalarına ait görüntüler.	29
Şekil 4.10. Örnekler üzerinde gerçekleştirilen mikroskopi çalışmalarına ait görüntüler.	30
Şekil 4.11. 4 ve 8 No'lu numune örneklerinin gaz kromatografisi analiz sonucu.....	32
Şekil 4.12. 13 ve 19 No'lu numune örneklerinin gaz kromatografisi analiz sonucu.....	33
Şekil 4.13. 8 Nolu numune örneğinin 191 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu	34
Şekil 4.14. 8 Nolu numune örneğinin 217 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu	35
Şekil 4.15. 13 Nolu numune örneğinin 191 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu	36
Şekil 4.16. 13 Nolu numune örneğinin 217 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu	37
Şekil 4.17. 19 Nolu numune örneğinin 191 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu	38

Şekil 4.18. 19 Nolu numune örneğinin 191 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu	39
Şekil 4.19. OEP-CPI diyagramına göre olgunlaşma düzeyi	40
Şekil 4.20. Pr/nC17-Ph/nC18 diyagramında incelenen örneklerin çökelme ortamı özellikleri ve organik madde tipleri	41
Şekil 4.21. Kaynağa bağlı CPI - Pr/Ph değerleri	42
Şekil 4.22. C29 / C30 hopan parametresinin dağılımı	43
Şekil 4.23. Steran bileşimleri arasındaki ilişkiyi gösteren C27, C28, C29 üçgen diyagramı.....	44
Şekil 4.24. Örneklerin olgunlaşma derecesini gösteren C ₂₉ S/(S+R) ve C ₂₉ ββ/(ββ+αα) diyagramı	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Toplam organik madde miktarına göre ana kaya sınıflaması	11
Çizelge 4.1. Kömürlerin tüm kaya ve kil bileşenleri	18
Çizelge 4.2. Örneklere ait Rock Eval piroliz analizi sonuçları	19
Çizelge 4.3. Tmax değerinin temsil ettiği olgunlaşma değerleri	22
Çizelge 4.4. Olgunlaşmamış kaynak kayanın türetme potansiyeli (miktarı)	25
Çizelge 4.5. Kömür örneklerine ait kuyuların Vitrinit/Hüminit yansıma değeri ortalamaları	26
Çizelge 4.6. Kömür örneklerine ait petrografik dağılım analizi sonuçları	26
Çizelge 4.7. Kömür örneklerinin n-alkan ve izoprenoid değerleri	40
Çizelge 4.8. Kömürlü birimleri için hesaplanan biyomarker parametreleri	43

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde fosil yakıtlardan olan kömürün çok yaygın bir oranda bulunması bu enerji kaynağının önemini artırmaktadır. Dünyada ve Türkiye’de enerji üretiminin önemli bir bölümü fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıt kaynaklı enerji ihtiyacı bakımından zaten dışa bağımlı olan ülkemizi, artan nüfus, sanayi ve teknolojik gelişmeler ve endüstriyel atılımlar doğrudan veya dolaylı olarak daha da dışa bağımlı yapmaktadır. Önemli bir özgün değer taşıması amacıyla, çalışma alanındaki kömürlerin özelliklerini araştırıp niteliklerini ortaya koymak gereklidir. Bu konuda yapılan araştırmalar sonucunda kömürlü birimlerin, yeni üretim alanı olasılıklarının değerlendirilmesinde önemli bir yeri olacaktır.

Ülke çapında enerjide dışa bağımlılığı azaltmak ve buna bağlı olarak toplumca gelişmişlik düzeyimizi artırabilmek için enerji kaynakların bulunması, işletilmesi ve kullanım alanlarını artırarak katma değer oluşturulması oldukça önemlidir. İlgili alandaki kömürlerin özelliklerini araştırıp niteliklerini ortaya koymak önemli bir özgün değer taşımaktadır. Enerji ihtiyacı insanoğlunun ilk yaşamından itibaren temel gereksinimi olmuştur. Ekonomik ihtiyaçların ve nüfusun enerjiye talebinin artmasıyla dünyada ve ülkemizde üretimin ana ihtiyacı olan enerji sarfiyatı da hızla artmaktadır. Türkiye ihtiyaç duyduğu enerji ihtiyacının tümünü kendi kendine karşılayamayacak durumdadır. Bu nedenle, ihtiyaç duyulan enerjinin çok önemli bir kısmını ithal etmek zorundadır.

Artan teknolojik gereksinimlere bağlı olarak enerji sarfiyatları ve harcamaları artmaktadır. Ülkemiz ekonomisi üzerinde baskı unsuru olan enerji ihtiyacı, enerjide dışa bağımlı yapının değiştirilmesi, Türkiye’de enerji alanındaki yerli imkânlarla elde edilen üretimin artırılması ve geliştirilmesi sonucunu doğurmaktadır. Ülkemizde çıkarılan veya çıkarılması planlanan kömürlerle ilgili araştırma geliştirme çalışmaları yapılarak bahsi geçen enerji kaynağından ekonomik fayda ve girdi sağlanmalıdır. Yıllar boyu artan kömür kullanımının neden olduğu çevresel yan etkilerin en az seviyeye indirilebilmesi amacıyla teknolojik araştırma ve geliştirme yatırımlarına da ihtiyaç vardır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kapsamında Tekirdağ İli sınırları içerisinde Soylu Köyü (Hayrabolu) Yöresindeki kömürlerin ve kömürlü birimlerin organik jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Organik jeokimyasal özellikler için organik maddenin tipi, miktarı ve olgunlaşma düzeyleri belirlenmiştir. Bu nitelikleri ortaya çıkarmak için TOC, piroliz, vitrinit yansıması gibi organik jeokimyasal ve petrografik analizler ile, GC ve GC-MS analizleri yapılmıştır.

Kömür ve kömürlü birimlerin mineralojik özellikleri XRD yöntemleri ile ortaya konulmuş, killi birimlerdeki kil minerali türleri yine aynı yöntemlerle saptanmıştır. Yukarıda bahsedilen hem organik ve hem de inorganik yöntemlerle kömürlerin çökelim ortamları hakkında da bilgiler elde edilmiştir. Bu tez çalışması ile incelenen bölgeye bilimsel anlamda yeni bir bakış oluşmuş, bunun yanında ekonomik beklenti yönünden de kömürlerin değerlendirmesinde de rol oynaması sağlanmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Kömür Nedir ve Kömürün Oluşum Aşamaları Nelerdir?

Çoğunlukla selülozik bitki parçalarından oluşan kömürler heterojen, genellikle bataklık ortamlarında oluşan, tabakalaşmalı yapı gösteren, inorganik maddeleri de içerebilen, muhteviyatında çok miktarda karbon (C), az miktarda hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve kükürt (S) elementlerinin bulunduğu, kahverengi ve siyah renklerde bulunan, yanabilen, sedimanter organik kütlelerdir.

Damar halinde diğer kaya tabakalarının arasında bulunan kömür, uzun bir süre basınç, ısı ve biyolojik etkilerin sonucunda meydana gelmiştir. Kömür ve kömürlü birimler, bataklık ortamlarının sıcak ve nemli olması, organik maddenin bulunması, bataklık suyu Ph'nın 5 civarında bulunması, çeşitli organik malzeme birikimi ile birlikte çökmesi, zamana bağlı fiziki olarak örtülmesi gibi durumlarda oluşur. Ayrıca yine kömür ve kömürlü birimler bitki parçalarının parçalanıp bozulması ve bazı kimyasal etkileşimler vermesi ile bu organik malzemenin fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğraması sonucu oluşur.

Tabakalar, üzerine çökeltilerin birikmesi sonucu derinliklere gömülmüş, artan basınç ve ısı sonucu organik maddeler bünyelerinde fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğrayarak kömüre dönüşmüşlerdir. Milyonlarca yıl boyunca gerçekleşen bu oluşum sonucu, yerin ısısı arttıkça önceleri "turba" olarak adlandırılan bu organik madde daha sonra organik olgunluklarına göre linyit, alt bitümlü kömür, kömür, bitümlü kömür ve antrasit tiplerine ayrılmışlardır. Bu ilerleyen olgunlaşma sürecine kömürleşme (coalification) denmekte, her seviyeye de "kömürleşme derecesi" (rank) denmektedir.

Kömürler, güvenilir ve düşük maliyetlerle elde edilebilen temiz bir fosil yakıt olmakla birlikte yakıt hammaddesi olarak da, değişik amaçlarda (kok yapımı, kimyasal madde üretimi gibi alanlarda) da kullanılırlar.

2.2. Kömürü Oluşturan Bileşenler

Kömürler farklı özelliklere ve içeriklere sahip maserallerden oluşmaktadırlar. Maseraller mikroskop kullanarak ayrıntılı olarak incelenebilirler. Maserallerin fiziksel özellikleri olan şekil ve röliye rengi, ışığı yansıtma gibi bazı parametreler kullanılarak uygun ortamda yine mikroskop altında görülebilir. Maseraller vitrinit, liptinit ve inertinit olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar. (Şekil 2.1)

Maseral Grubu	Maseral
Hüminit	Tekstinit, Ülminit Atrinit, Densinit Gelinit, Karpohüminit
Liptinit	Sporinit, Kütinit, Resinit, Süberinit, Alginit, Liptodetrinit, Klorofillinit, bitüminit
İnertinit	Füsinit, semifüsinit, funginit, sklerotinit, sekretnit, makrinit, mikrinit, inertodetrinit

Uçucu madde miktarı azalır

Şekil 2.1. Maseral grupları (Stach vd. 1982, Sýkorová vd. 2005)

2.2.1. Hüminit grubu

Hüminit grupları linyit ve kömürlerde ise vitrinit grubu yerine adlandırılmaktadır. Bitkilerin yaprak, kök ve gövde kısımlarından oluşur. Kömürleşme derecelerine bağlı olarak renklerinde değişimler olmaktadır. Hüminit grubunu tekstinit, ülminit, atrinit, densinit, gelinit ve karpohüminit gibi maserallardan oluşmaktadır. Hüminit grubunda yer alan maserallerin yaklaşık %76-97 karbon, %1-16 oksijen, %2-7 hidrojen ve %2-45 arasında ise uçucu madde içerdiği görülmektedir.

2.2.2. Liptinit grubu

Liptinit grubu maseraller, reçine, yağ, mum, alg, bitümlerden oluşmaktadır. Diğer maseral gruplarına göre daha yüksek hidrojen içeriğine sahiptir. Mikroskop altındaki ışıktaki daha koyu görünümle karakterize edilirler. Liptinit grubunu; sporinit, kütinit,

resinit, süberinit, alginit, liptodetrinit, klorofillinit, bitüminit gibi maseral grupları oluşturur.

2.2.3. İnertinit grubu

İnertinit grupları diğer iki maseral grubuna göre daha az uçucu bileşene ve hidrojen içeriğine sahipken, daha yüksek yansıtma değerine sahiptir. Genellikle oluşum ortamı olarak bataklık ortamında oluştukları görülmektedir. Kesitlerde açık renkleri ile karakterize olmaktadır. İnertinit grubunu; füsinit, semifüsinit, funginit, sklerotinit, sekretinit, makrinit, mikrinit, inertodetrinit gibi meseral grupları oluşturmaktadır.

2.3. Organik Jeokimyasal Yöntemler

2.3.1. Toplam organik karbon (TOC) ve piroliz analizleri

Organik jeokimyasal çalışmaların en temel analizlerinden biri TOC (Toplam Organik Karbon) analizi ile piroliz analizleridir. TOC kayaçlarda bulunan karbonun toplam değerini belirleyen bir yöntemdir. Piroliz analizleri ile organik madde içinde bulunan kerojenin tipi ve olgunlaşma düzeyi belirlenir. Bu iki analiz de “Rock Eval ” cihazında gerçekleştirilir.

2.3.1.1. Organik madde miktarı

TOC, kayanın içerdiği organik maddenin göstergesidir. Rock- Eval veya piroliz cihazı ile toplam organik karbon miktarı (TOC) ölçülür. Toplam organik madde kayacın içindeki kerojenden türeyen ancak kayaç dışına atılamamış hidrokarbonlara ait karbonların toplamı olarak tanımlanır. Petrol üreten kaynak kayaların organik madde miktarlarının şeyller için % 0.5’den ve karbonatlar için ise % 0.3’den büyük olması gereklidir. (Peters ve Moldowan, 1993).

Organik madde miktarının tespiti ancak toplam organik karbonun miktarının doğru bir şekilde bulunması ile mümkündür. Bu analiz ile inorganik kökenli ve organik kökenli karbon birbirinden ayrılır. İnorganik karbonat bileşiklerinin asitle uzaklaştırılması sonucu ortamda kalan organik karbonun yakılarak karbondioksit döndürülmesi ve bu kalan karbondioksit miktarının ölçülmesiyle organik madde miktarı tespit edilir.

2.3.1.2. Organik maddenin tipi

Kaynak kayalar içerisinde bulunan ve organik çözücülerde çözilemeyen organik maddelere kerojen denir. Kerojen tipleri, türetebilecekleri hidrokarbon türlerini (petrol, petrol + gaz, gaz) göstermeleri açısından önemlidir. Kerojen tipleri piroliz analizlerinden elde edilen HI - Tmax diyagramı ve ayrıca organik petrografik yöntemler ile belirlenmiştir. Organik madde tipi; Tip I, Tip II ve Tip III olmak üzere 3 ayrı sınıfta incelenmektedir (Tissot ve Welte 1984).

Tip I ve Tip II kerojenlerden oluşan sapropelik kerojenlerden olan Tip I kerojen, deniz ve gölsel ortamlarda oluşan petrol ve gaz üretme potansiyeli oldukça yüksek bir kerojen tipidir. Tip II kerojenler ise daha çok otsu organik maddelerden oluşmakta olan karasal materyaller olmakla birlikte Tip I kerojene göre nispeten daha az petrol ve gaz türüm potansiyeline sahiptir. III. Tip Kerojen ise gaz üretme potansiyeli yüksek, petrol

oluşturma potansiyeli düşüktür. Karasal bitki kökenlidir. (Hunt, 1979).

2.3.1.3. Organik madde olgunluğu

Organik maddenin olgunlaşması, bir çökelim ortamına organizmaların yığılıp birikmesi ile başlar. Ortamdaki birikim ile artan sıcaklık, basınç ve zaman gibi faktörler etkisinde meydana gelen değişimler hidrokarbon oluşumu ile sonuçlanabilir.

Piroliz analizi ile elde edilen T-max değeri (piroliz analizi ile elde edilen S2 pikinin en yüksek olduğu sıcaklık) olgunluk değerlendirmelerinde en yaygın kullanılan parametrelerden olup, bu değer organik maddenin olgunlaşma sürecini yansıtmaktadır. (Tissot ve Welte, 1984; Waples, 1985).

Bu değer 435 °C'den daha az ise olgunlaşmamış, 435-445 °C arasında ise erken – orta olgun aşama, 445-460 °C arasında ise orta-ileri olgun aşama, 460 °C'den daha yüksek ise ileri olgun aşama olarak gruplandırılır.

2.4. Organik Petrografik Yöntemler

Organik petrografik analizler, muhtelif organik çözücülerde çözülmeyen ve kayalar içinde katı halde bulunan kerojen adı verilen organik maddenin optik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi için yapılan analizlerdir. Mikroskobik teknikler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu yöntemle kömürü oluşturan yapıların belirlenmesi, kömürlerin olgunluğunun ve çökel ortamlarının tespiti yapılır.

Petrografik analizler kapsamında; vitrinit/huminit grubu maserallerde yapılan ölçüm, hüminit (vitrinit) yansıması (%Ro) ölçümüdür.

2.4.1. Vitrinit/Huminit Yansıması (%Ro) Ölçümleri

Vitrinit yansıması ölçümleri, organik maddenin olgunluğunu tespit için kullanılan en güvenilir yöntemler arasındadır.

Çökelme işlemi sürecine katılan bitki kökenli malzeme, jeolojik zamanlar boyunca, bu çökellerle birlikte gömülme işlemine maruz kalır. Kayaç içindeki bu bitki kökenli malzeme zaman ve sıcaklık etkisiyle değişim geçirir. Bütünüyle aromatik bileşenlerden oluşan kısım geriye kalır. Kimyasal yapıda meydana gelen bu değişim ve artan aromatikleşme (hidrojen içeriğinin azalması, karbon içeriğinin artması) organik maddenin mikroskopta ışığı yansıtmaya derecesinin de artmasına neden olur.

2.5. Bölge Hakkındaki Önceki Çalışmalar

Geçmişten günümüze Tekirdağ linyitleri ile ilgili jeolojik açıdan birçok araştırma yapılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve madencilikle ilgili de son dönemde yapılan çalışma sayısında artış gözlenmiştir. Bu durum gelişen teknolojinin madencilikte kullanımının arttığına bir göstergesidir. Bölgede yapılan çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir;

Lebküchner 1974; Yaptığı çalışmada paleontolojik çalışmalar yardımıyla Orta Trakya'nın jeolojisi hakkında bulgular ortaya koymuştur. Bölgesel jeoloji yanısıra

çalışma alanını linyit kumtaşı formasyonu olarak tanımlamış ve yaşlarını ayrıntılı olarak ortaya koymuştur.

Kasar vd. 1983; İlk defa Ünal (1967) tarafından Danişmen şeyli olarak tanımlanan birimler formasyonun tamamen homojen olmaması nedeniyle Kasar ve diğerleri tarafından Danişmen Formasyonu olarak tanımlanmıştır.

Alişan 1985; Trakya I bölgesinde yaptığı çalışmada kuyulardan alınan örnekleri değerlendirerek bölgenin stratigrafisini ve birimlerin çökelme ortamlarını incelemiştir. Yenimuhacir grubunu oluşturan formasyonların toplam kalınlığının 3500 metre civarında olduğunu ve yaşının Geç Eosen-Erken Miyosen olduğunu belirlemiştir.

Siyako ve Kasar 1985; Danişmen Formasyonu'nu ayrıntılı olarak incelemişler, bu formasyonun Pınarhisar Üyesi ile dereceli geçişli olduğunu belirtmişlerdir.

Kasar 1987; Taşlısekban üyesini ilk kez tanımlamıştır. Bu üyenin daha yaşlı birimler üzerinde uyumsuz olduğunu ve Pınarhisar üyesine dereceli olarak geçtiğini ifade etmiştir. Yer yer kıltaşı ve lamelli brans yığılımları gözlemlendiğini, Taşlısekban üyesinin kalınlığı en fazla 30 metreye ulaştığını, stratigrafik konumuna göre de yaşının Oligosen olduğunu açıklamıştır.

Perinçek 1991; Danişmen Formasyonu içindeki linyit katmanlarına ulaşmak için ilk bilinmesi gereken unsurun; üsteki Ergene ve Kırçasalılı formasyonlarının kalınlığı olduğu ve formasyonunun kalınlık dağılımını kontrol eden faktörün ise Orta Miyosen sırasında etkin olan Trakya Fay Sistemi olduğunu anlatılmıştır.

Siyako 2006; Trakya Havzasında Geç Eosen – Erken Miyosen yaşlı Yenimuhacir Grubu'nun klastik delta fasiyeslerinden oluştuğunu, toplam kalınlığının yaklaşık 3500 metre civarında olduğu ifade edilmiştir. Yapılan sondajlardan elde edilen bulgulara göre delta ilerisi, delta önü ve delta düzlüğü fasiyeslerinde çökelildiğini ortaya koymuştur. Bu grubu oluşturan formasyonların sırayla alttan üste doğru Mezardere, Osmancık ve Danişmen olduğuna işaret etmiştir.

Sütçü vd. 2009; Uzaktan algılama metodları ve iki değişkenli istatistiksel yaklaşımlar neticesinde potansiyel kömür sahalarının tespit edilmesi mümkündür. Analizlerde formasyon, litoloji, eğim ve faylanma mesafesi gibi faktörler kullanılmıştır.

Demirtaş 2012; Bu çalışma kapsamında Gelibolu Yarımadası (Çanakkale) tersiyer yaşlı birimlerin stratigrafisi, sedimantolojisi ve kömür petrografisi incelenmiştir. Çalışma alanında, Eosen'den Pliyosen'e kadar devam eden denizel ve karasal ortamların ürünü çökeller yer aldığı, bu çökel kayaların içerisinde kömür içeren iki formasyon olduğu, bunlardan birisinin Geç Oligosen yaşlı Osmancık Formasyonu, diğerinin ise Geç Miyosen yaşındaki Gazhanedere Formasyonu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Şengüler 2013; Ergene (Trakya) Havzasının jeolojisi ve bu bölgenin kömür potansiyeli üzerine çalışmalar yapmıştır. Oligosen yaşlı Danişmen Formasyonunda gri-yeşil renkli kıltaşı, kumtaşı, çakıltaşı, tuf ve linyitler bulunduğunu, bu formasyonun kalınlığının 200-600 metre arasında değiştiğini, akarsu, delta bataklığı ve delta ortamlarında çökelildiğini saptamıştır. Danişmen Formasyonunun altında ise uyumlu olarak Oligosen yaşlı Osmancık Formasyonu üstünde ise Miyosen yaşlı Hisarlıdağ volkanitlerinin yer aldığını

açıklamıştır.

Perinçek vd. 2015; Yaptıkları çalışmalarda Danişmen Formasyonu içindeki katmanların linyit potansiyelini kontrol eden jeolojik faktörleri incelemiştir. Danişmen Formasyonunun Trakya fay sisteminin etkisi nedeniyle aşındığını, aşınmanın miktarının değişken olup bazı alanlarda çok fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Güllüdağ 2019; Tekirdağ ili Malkara ilçesi kömürleri ve kömürlü birimlerinin oluşturduğu formasyonları; organik petrografik, organik jeokimyasal, jeostatistiksel analizler ve CBS yazılımlarının yardımıyla incelemiştir.

Akbıyık 2021; Karaiğdemir baraj gölü (Tekirdağ) çevresindeki kömürlü birimlerin ana-eser element zenginleşmeleri ve bunların çevre sağlığı açısından etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda incelenen örneklerdeki eser elementlerin, belirtilen sınır değerler üzerinde kaldığı tespit edilmiş olup, bahsi geçen elementlerin çevre ve canlı sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri dikkate alınarak incelenen bölgedeki kömürlerin çıkarımı, taşınması ve kullanımı sırasında gerekli önlemler azami seviyede alınması gerektiği belirtilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Tekirdağ – Hayrabolu kömürlerinin incelenmesinin konu edildiği bu çalışma; arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki evrede gerçekleştirilmiştir.

3.1. Arazi Çalışmaları

Araştırma bölgesinin jeolojisi hakkında bilgi edinmek amacı ile öncelikle kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bu şekilde yapılmış olan çalışmalar dikkate alınarak bölgenin jeolojisi gözden geçirilmiştir. Mevcut jeoloji haritasının denetlenmesi ve gözlemlerin yapılması sonucunda yüzey, yarma ve yeraltına ait çok sayıda amaca uygun örnek alınmıştır. Bunların kömür ve kömürlü birimleri temsil edecek ve stratigrafik istifin tüm düzeylerini kapsayacak şekilde olmasına dikkat edilmiştir.

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Hayrabolu Tekirdağ kömürleri için yapılan arazi çalışmaları sonucunda Danişmen Formasyonunun kömürlü birimlerinden örnekler alınmıştır. Örnek alımında formasyonu tümüyle temsil edecek şekilde örnek alımı yapılmıştır. Alınan örneklerle farklı kurum ve laboratuvarlarda farklı analizler yapılmış olup, Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeokimya laboratuvarında örnek ve numuneler analize hazırlanmıştır. Her bir numune hassas teraziler vasıtasıyla tartılarak en az 50 gram olacak şekilde numune poşetlerine koyulmuştur.

Detaylı tüm kaya ve kil minerali analizleri ile hüminit/vitrinit yansıması ve diğer petrografik analizler Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Rock Eval Piroliz ve Toplam Organik Karbon (TOC) analizleri için toplam 15 kömür ve kömürlü birim örnekleri üzerinde çalışma yapılmıştır. İlgili analizler Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı laboratuvarlarında yapılmıştır. Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometre (GC-MS) analizi “GC-MSD (Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi) Agilent Technologies 7890A\5975C cihazıyla 3 örnek üzerinden ve Gaz Kromatografi (GC) analizi Agilent 6850 GC cihazıyla 4 örnek üzerinden Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Jeokimyasal yöntemler

3.2.1.1. TOC ve piroliz analizleri

Kerojenden türeyen ancak dışarı atılamamış hidrokarbonların toplamı olan Toplam Organik Karbon (TOC) ayrıca kayaçtaki kerojene ait karbon miktarı ile temsil edilir. (Durand vd.1972; Jonathan vd. 1976). Organik madde miktarının tespiti için toplam organik karbon miktarının bilinmesi gerekir. Bu da TOC analizleri ile gerçekleştirilir.

TOC analizleri ile inorganik kökenli karbon asitle uzaklaştırılır, organik kökenli karbon yakılır. Yakılan bu karbon karbondioksit'e dönüşür ve mevcut karbon miktarı ölçülerek tespit edilmeye çalışılır. Hidroklorik asit (HCl) kullanarak (% 5'lik derişimli) uzaklaştırılan inorganik karbondan sonra kalan organik karbon yakılarak organik karbon miktarı tespit edilir. (Çizelge 3.1).

Kerojenin oksijensiz ortamda ısısal parçalanması olayına “Piroliz” denir. Piroliz analizleri, toplam organik karbonun kaynak kaya sınıflamasında hidrokarbon potansiyelinin tespitinde yeterli olmaması durumunda yapılır. Piroliz analizleri ile organik madde tipi ve olgunlaşma derecesi tespit edilebilmektedir. Piroliz analizi 100 gram öğütülmüş örneğin yaklaşık 3 dakika boyunca ısıtılmasıyla başlar. 600 °C’ye kadar ısıtılan organik maddede bulunan serbest hidrokarbonlar yaklaşık 300 °C’de buharlaşır. 300-600 °C arasında pik verir ve bu pik S1 piki olarak adlandırılır. Bu sıcaklıkta hidrojen ve oksijen içeren bileşikler ile asfalten, reçine gibi bazı ağır bileşikler dışarı atılır.

400 °C’de S2 piki bulunur ve bu pik yanma sonucu ortaya çıkan karbondioksit miktarını temsil eder. S3 pik değeri ise kerojenin ısısal parçalanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit miktarıdır. S2 pikinin maksimum olduğu andaki sıcaklık (Tmax°C) olarak adlandırılır. Kalıntı karbon değeri denilen ve S2 piki kaydedildikten sonra kalan organik karbon 600 °C hava veya oksijen atmosferinde oksidasyonu ölçülerek ortaya çıkan CO2 değeri ise S4 pikidir.

TOC: Toplam Organik Karbon (%), S1: Kaya içerisinde mevcut olan serbest hidrokarbonlar (mg HC/g kaya), S2: Kerojenin ısısal parçalanması sonucu oluşan hidrokarbonlar (mg HC/g kaya), Tmax: S2 pikinin maksimum olduğu noktadaki sıcaklık değeri (°C), PY(S1+S2): Potansiyel verim (mg HC/g kaya), PI (S1/(S1+S2)): Üretim indeksi, HI (S2 x 100/TOC): Hidrojen indeksi (mg HC/g TOC), OI (S3 x 100/TOC): Oksijen indeksi (mg CO2 / g TOC), S2/S3: Hidrokarbon tip indeksi değerleriyle temsil edilip, hesaplanabilmektedir.

Toplam organik karbon, S1, S2, S3, piklerinin değerlerinden hesaplanabilmektedir. Belirlenen TOC değeri, S1, S2, S3 pik değerleri ve Tmax değeri ile organik maddeye ait çeşitli indeks değerleri üzerinden hesaplanabilmektedir.

Potansiyel verim hesabında (S1+S2): (mg HC/g kaya), Üretim indeksi hesabında (PI) (S1/(S1+S2)), Hidrojen indeksi (HI) hesabında (mg HC/g TOC) (S2 x 100/TOC), Oksijen indeksi hesabında (mg CO2 / g TOC)OI (S3 x 100/TOC) ve ayrıca hidrokarbon tip indeksi hesabında S2/S3 şeklinde formülize edilerek kullanılmaktadır. Elde edilen indeks değerlerinden oluşturulan HI-OI(Hidrojen İndeksi- Oksijen İndeksi), S2-TOC ve HI-Tmax diyagramları vasıtasıyla organik madde tipi belirlenmektedir.

Potansiyel ürün (PY) değeri kayadaki hidrokarbon türünü yorumlamada kullanılmaktadır. Tissot ve Welte (1984)’e göre PY değeri 2 mgHC/g kaya’dan az ise doğal gaz için uygun olduğunu, 6 mgHC/g kaya’dan fazla ise iyi derecede kaynak kaya olabileceğinin göstergesidir. S2/S3 oranı ile de kerojen tipi indeksi elde edilir ve kayanın ne kadar hidrokarbon üretebileceği hakkında bir yorum getirir.

Çizelge 3.1. Toplam organik madde miktarına göre ana kaya sınıflaması

ARAŞTIRICI	TOC (%)	KAYNAK KAYA POTANSİYELİ
Thomas (1979)	<0.5	Zayıf
	0.5-1.0	Orta
	1.0-2.0	İyi
	2.0-4.0	Çok İyi
	>4.0	Mükemmel
Kraus ve Parker (1979)	<0.5	Zayıf
	0.5-1.0	Orta
	>1.0	İyi
Tissot ve Welte (1984)	0.1-0.5	Zayıf
	0.5-1.0	Orta
	1.0-2.0	İyi
	2.0-10.0	Zengin
Peters (1986)	0.1-0.5	Zayıf
	0.5-1.0	Orta
	1.0-2.0	İyi
	>2.0	Zengin
Jarvie (1991)	<0.5	Yetersiz
	0.5-1.0	Orta
	>1.0	Yeterli

3.2.2. Petrografik yöntemler

Petrografik yöntemler; kerojen tip tayini, vitrinit yansıma değeri analizlerinden oluşmaktadır.

3.2.2.1. Kerojen tip tayini

Kerojen tip tayini, alttan aydınlatmalı mikroskop ile gerçekleştirilir. İncelenen kerojen slaytlarındaki organik madde amorf, otsu, odunsu veya kömürsü olarak ayırt edilebilir. Amorf organik madde genellikle sarı-turuncu veya gri renkli olarak bulunur. Denizel kökenli olmakla birlikte, petrol oluşturma potansiyelleri yüksektir. Karasal kökenli olanlarda petrol oluşturma potansiyeli düşüktür. Karasal kökenli otsu organik maddenin O/C oranı yüksek ve H/C oranı düşüktür. Odunsu organik madde petrol ve gaz oluşturma potansiyeli olup, bitkilerin odunsu kısımlarından oluşur. kömürsü organik madde aşırı ısıya maruz kalan ve bozunmuş olduğu için petrol ve gaz türetme potansiyeli çok azdır.

3.2.2.2. Vitrinit/Hüminit yansıma (% Ro) değeri ölçümü

Vitrinit yansıması ölçümleri, organik maddenin olgunluğunu tespit için kullanılan en güvenilir yöntemler arasındadır.

Çökelme işlemi sürecine katılan bitki kökenli malzeme, jeolojik zamanlar boyunca, bu çökellerle birlikte gömülme işlemine maruz kalır. Kayaç içindeki bu bitki kökenli malzeme zaman ve sıcaklık etkisiyle değişim geçirir. Bütünüyle aromatik bileşenlerden oluşan kısım geriye kalır. Kimyasal yapıda meydana gelen bu değişim ve artan aromatikleşme (hidrojen içeriğinin azalıp, karbon içeriğinin artması) organik maddenin mikroskopta ışığı yansıtma derecesinin artmasına neden olur.

Kerojenin yapısında artan sıcaklık ile meydana gelen kimyasal değişim vitrinit yansımanın derecesinin de artmasına neden olur. Yansıma değeri ölçümleri sonucu elde edilen organik maddenin olgunlaşma göstergesi olarak % Ro değeri kullanılmaktadır (Stach vd. 1982; Ünal, 2018). Kömürleşme derecesinin belirlenmesinde, Vitrinit/Hüminit yansıma değeri kullanılır. Kömürdeki Vitrinit/Hüminit maseral grupları bitki gövdelerinden oluşmaktadır. Maseraller, gömülme derinlik artışına bağlı olarak ışığı yansıtma özelliği de artar. % 0,6'lık Vitrinit yansıma değeri birçok kaynak kaya petrol penceresinin başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Dow 1977; Peters 1986; Güllüdağ 2019).

3.2.2.3. Gaz kromatografi analizi (GC)- gaz kromatografi-kütle spektrometresi (GCMS) analizleri

Gaz kromatografi (GC) analizi petrol ve bitüm örnekleri içerisindeki hidrokarbon bileşiklerinin dağılımlarını tespit edip, değerlendirmek amacıyla yapılmaktadır.

Gaz kromatografi (GC) tekniği ile petrol ve bitüm örnekleri içerisindeki hidrokarbon bileşiklerinin genel olarak dağılımları belirlenir. Gaz kromatogramları çökelme ortamları, organik madde tipi ve kaynak kaya litolojisi hakkında bilgi verirler.

Gaz kromatografi (GC) analizi sonucunda elde edilen Pristan (Pr)/ Fitan (Ph), Pr/n-C17 ve Ph/n-C18, izoprenoid/n-alkan oranlarından, karbon tercih indeksi (CPI) ve n-alkan dağılımlarından yararlanılarak çeşitli yorumlar yapılabilmektedir.

Olgunlaşma düzeyini belirleme çalışmalarına veri üretmek amacıyla Gaz kromatografi-kütle spektrometresi (GC-MS) analizi kullanılmaktadır. Moleküler bazda elde edilen veriler güvenilir sonuçlar vermektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda kömürlerin olgunlaşmaları ve çökelme ortamları hakkında çeşitli yorumlar yapılabilmektedir.

Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometre (GC-MS) analizi “GC-MSD (Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi) Agilent Technologies 7890A\5975C cihazıyla ve Gaz Kromatografi (GC) analizi Agilent 6850 GC cihazıyla Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

3.3. Büro Çalışmaları

Büro çalışmalarında kaynak tarama ve araştırması, araziden elde edilen bilgilerinin değerlendirilmesi, örnekler üzerinde laboratuvar analizlerinin yapılması ile elde edilen bulgu ve verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İnceleme Alanı Jeolojisi

Trakya, Balkanların doğusundaki bölgeye verilen isim olup Türkiye topraklarında kalan kısmı Marmara bölgesinin içindedir. Bu bölgenin güneyinde geniş Ergene Havzası yer alır. Bölgenin temeli Paleozoyik - Üst Kretase yaşlı kayaçlar oluştururken Eosen'den başlayarak Kuvaterner'e kadar çökelim gerçekleşmiştir. Trakya Havzası kömür ve hidrokarbon potansiyeli nedeniyle önemlidir. Çalışma alanı Trakya Havzası içerisinde yer alan Tekirdağ ili sınırları içerisinde olup, Tekirdağ İl merkezinin 45 km batısında Malkara ve Hayrabolu ilçe sınırlarının kesiştiği alanda yer almaktadır.

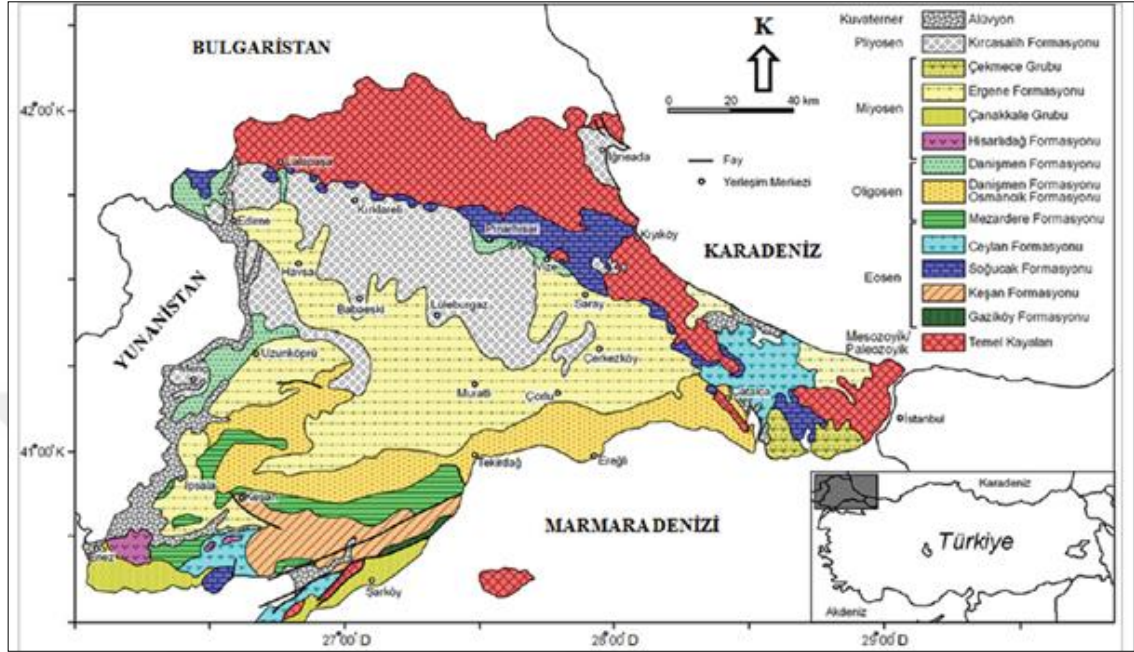
Bölgenin jeolojik özellikleri, literatür ve kaynak bilgileri aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Trakya Havzası'nın güneyinde Menderes masifleri, batısında Rodop, kuzeyinde Istranca yer alır. Eosen-Oligosen istifi, Orta ve Kuzey Trakya'da Miyosen ve sonrası birimler tarafından örtülür. Trakya Havzası'nın litostratigrafik çatısı Bozcaada ve Gökçeada, Güney Trakya ve Gelibolu Yarımadası'nda görülen mostralara ile Trakya'nın kuzeyindeki sismik araştırmalar sonucu elde edilen kesitler ve petrol arama ve araştırma kuyularından elde edilen bilgilerle tanımlanmıştır.

Trakya Havzası, Orta Eosen-Pliyosen birimlerin yer aldığı Tersiyer yaşlı bir havzadır. (Perinçek vd., 2015; Keskin, 1974). Havzada çökelim, Erken Eosen esnasında transgresyon bir istif ile başlamıştır. (Perinçek vd., 2015; Keskin, 1974, Doust ve Arıkan, 1974, Turgut vd., 1983, Saner, 1985). Sedimentasyon, bazı dönemler itibarıyla kesilmeler ve aşınmalar olmakla birlikte, yakın zamana kadar devam etmiştir. Istranca Dağlarının güneyinden başlayarak yeryüzüne çıkan ve neredeyse Trakya'nın tamamını kapsayan (Şekil 2) Tersiyer yaşlı istif yaklaşık 9000 metre kalınlığa ulaşmaktadır. (Perinçek vd., 2015; Kopp vd., 1969; Turgut vd., 1983, 1991; Perinçek, 1987; Görür ve Okay, 1996; Turgut ve Eseller, 2000; Siyako, 2005; 2006a, b). Trakya Havzasının orta bölümlerinde sedimentasyon kısmen devamlı olmakla birlikte bazı kesimlerde ise belli dönemlerde kesilmeler ve aşınmaların olduğu görülür.

Eosen'de meydana gelen transgresyon Erken Oligosen'de en üst düzeye ulaşmıştır. Orta Eosen – Erken Oligosen'de havzanın alt derin kısımları akıntılarla taşınan türbiditik akıntılarla doldurulurken, kuzeydeki şelf ve Kuleli – Babaeski yükseliminde karbonatlar çökelmiştir (Perinçek vd., 2015; Turgut vd., 1983, Keskin 1974). Bu zaman zarfında Trakya Havzasındaki nehrin oluşturduğu deltaik sistem hakimdir. Bu sisteme bağlı olarak denizaltı yelpazeleri oluşmaktadır (Perinçek vd., 2015; Turgut vd 1983).

Havza, anlamlı ekonomik değerli linyit içermesi nedeni ile araştırmaların olduğu bir konum olmuştur. Trakya Havzası'nda bu konuda yapılan başlıca çalışmalar arasında Lebküchner (1974), Kara vd. (1996), Şengüler vd. (2000), Şengüler vd. (2003), Sütçü vd. (2009) Şengüler (2008, 2013), Güllüdağ (2019), Karayiğit vd.(2021) sayılabilir. Trakya Havzası'nın kuzeyindeki linyit sahaları Istranca Masifi eteklerinde olup, Tekirdağ - Saray – Edirköy, İstanbul-Silivri-Sinekli; Tekirdağ - Saray – Safaalan; Tekirdağ-Saray-Küçük Yoncalı;; sahaları olarak bilinir. Havza'nın güneyindeki kömürler Malkara, Keşan, Meriç, Uzunköprü sahaları olarak tanınır. Trakya Havzası'nın güneyinde ve kuzeyinde yüzeylenen linyitler, havza ortalarında nispeten derinleşmekte ve havzanın bu orta bölgelerinde 10.000 metrelere ulaşan çökelti ve 600 metreyi aşan derinliklerde yer

almaktadır. (Şengüler, 2013). Şengüler vd. (2000), makalelerinde ve araştırmalarında Keşan, Malkara ve Uzunköprü yöresindeki kömür işletmelerinden alınan kömürlü örnekler ile çalışmışlar ve işletilmekte olan damarları inceleyerek kömür çökeltme ortamlarına ait değerlendirmelerde bulunmuşlardır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Trakya Havzası'nın jeoloji haritası (Perinçek vd., 2015; Kasar vd., 1983; Türkecan ve Yurtsever, 2002; Siyako, 2006)

Kömür ve kömürlü birimler Oligosen ve daha genç birimler içinde bulunduğu için bu birimlerin jeolojisi üzerinde durulacaktır. Bunlar Osmancık ve Danişmen formasyonlarıdır. Bilgi vermesi açısından Şekil 4.2 de özellikle genç birimlerin yer aldığı Trakya Havzasının genelleştirilmiş bir dikme kesiti verilmiştir.

4.2. İnceleme Alanı Stratigrafisi

İnceleme alanındaki kömür sahası Oligosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı çökellerden oluşmaktadır. Oligosen yaşlı birim kömür içermekle birlikte, tabanında kumtaşı ve fosilli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bunun üzerine uyumlu olarak marn ve daha üstte linyitli seri bulunmaktadır.

Pliyosen yaşlı birimlerin oluşturduğu Kırcasali Formasyonu'dur. Bölge kıltaşı ince kumtaşı, marn ve tüfitli seviye ile temsil edilmektedir. Oligosen serisi üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Yanal geçişli yer yer fazlaca çimentolanmış olarak sarı, gri, yeşilimsi renklerde gözlenir. Ergene Formasyonu kıltaşı, çakıltaşı, kumtaşı birimlerinden oluşmakta olup hem üzerindeki Kırcasali hem de altında bulunan Hisarlıdağ Formasyonları ile uyumsuzdur. Trakya Bölgesinde farklı zamanlarda gözlenen volkanizma etkisi, volkanik kayalar meydana getirmiştir. Miyosen yaşlı Hisarlıdağ volkanitleri Danişmen Formasyonunun hemen üstünde yer almaktadır ve uyumsuzdur.

Çalışma alanı Trakya Tersiyer kömür havzasında bulunan Oligosen yaşlı Danişmen Formasyonunda yer almaktadır. Formasyon 300-1000 metre kalınlığında olup içinde 100 metre kalınlığındaki Armutburnu Üyesi'ni barındırmaktadır. Bu üye silttaşı, kiltası, çakiltası ve kumtaşıdan oluşmaktadır. Danişmen Formasyonu kireçtaşı, kumtaşı, tüfit, silttaşı, kiltasından oluşmaktadır ve kömür ara katkılıdır. Çökeltme ortamı delta düzlüğü olarak belirlenmiştir.

YAŞ	FORMASYON	KALINLIK (m)	L I T O L O J İ	ÇÖKELME ORTAMI
KÜRTENER	ALÜVYON		Kum, kil, silt	Güncel
PLİYOSEN	TRAKYA FORMASYONU	50	Çakiltası, kumtaşı	Akarsu ve alüvyon yelpazesi
MİYOSEN	ERGENE FORMASYONU	10-50	Kumtaşı, kiltası ve silttaşı	Acı sulı gölü ve akarsu
	ÇEKMECE FORMASYONU	10-20	Çamurtaşı, kumtaşı, marn ve kireçtaşı	Akarsu ve göl
	ÇANAKKALE FORMASYONU	40-100	Kiltası, kumtaşı ve silttaşı	Akarsu, göl, lagün, kıyı ve kıyı ötesi
	HİSARLIDAĞ VOLKANİTLERİ	?	Tüf ve aglomera	Kaletepe erüpsiyonu (?)
				Akarsu
OLİGOSEN	DANIŞMEN FORMASYONU	200-600	Gri-yeşil renkli kiltası, kumtaşı, çakiltası, tüf ve linyit	Delta bataklığı
				Delta
	OSMANCIK FORMASYONU	300-600	Kumtaşı, şeyl, yer yer çakiltası, kireçtaşı ve ince linyit banıları	Delta, akarsu ve göl
	MEZARDERE FORMASYONU	500-1200	Yeşil-gri renkli şeyl, marn ve tüf	Delta ve sahil yakını
EOSEN	CEYLAN FORMASYONU	400-1000	Tüf arakatlı gri renkli marn, şeyl, kumtaşı ve kili kireçtaşı	Açık deniz ve türbiditik
	SOĞUCAK FORMASYONU	40-300	Gri-bej renkli mikritik yer yer resifal kireçtaşı	Şelf ve paleoyükselim
	KEŞAN FORMASYONU	500-1500	Marn, şeyl ve kumtaşı	Akarsu-göl, delta ve türbiditik (litoral-neritik)
	GAZİKÖY FORMASYONU	600-1000	Koyu gri-siyah renkli şeyl ve kumtaşı	Türbiditik ve derin deniz

Şekil 4.2. Ergene (Trakya) Havzasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Şengüler, 2008)

Örnek No	Kalınlık (m)	Formasyon	Litoloji Bilgisi	Açıklamalar
		Ergene		
				Kuvaterner yaşlı alüvyon
				Kahverenkli kırmızı organik maddeli kil
				Linyit ve kumtaşı
				Bej renkli kil
				Krem renkli çakıl kil
				Linyit ve kumtaşı
				Açık kahverengi- kırmızımsı kil
1				Yeşil renkli silttaşı- kumtaşı
2				Az linyit ve kumtaşı
3				Gri renkli silttaşı- kumtaşı
4				Linyit ve kumtaşı
5				Yeşil-gri renkli silttaşı- kumtaşı ardalanması
6				Linyit ve kumtaşı
7				Yeşil renkli silttaşı- kumtaşı
8				Az linyit ve kumtaşı
9				Gri renkli silttaşı- kumtaşı
10				Linyit ve kumtaşı
11				Yeşil renkli silttaşı- kumtaşı
12				Linyit ve kumtaşı
13				Yeşil-gri renkli silttaşı- kumtaşı ardalanması
14				Linyit ve kumtaşı
15				Yeşil-gri renkli silttaşı- kumtaşı ardalanması
16				Linyit ve kumtaşı
17				Yeşil renkli silttaşı- kumtaşı
18				Linyit ve kumtaşı
19				Yeşil-gri renkli silttaşı- kumtaşı ardalanması
20				Linyit ve kumtaşı
21				Yeşil renkli silttaşı- kumtaşı
22				Linyit ve kumtaşı
23				Yeşil-gri renkli silttaşı- kumtaşı ardalanması
24				Linyit ve kumtaşı

Şekil 4.3. Danişmen formasyonu tip kesiti (ölçeksiz)

Osmancık Formasyonu; üstündeki Danişmen ve altındaki Mezardere formasyonları ile geçişlidir. Osmancık ve üzerindeki Danişmen formasyonları birçok alanda Kırcasali ve Ergene formasyonları tarafından diskordans ile örtülür. Osmancık Formasyonu, tane boyu yukarı doğru artarak büyüyen, ilerleyen delta önü fasiyesinde çökelmiş regresif bir istifdir. Bu istif kumtaşı, şeyl ve az miktarda çakıltası, kireçtaşı ve tüflü birimlerden oluşmaktadır. Osmancık Formasyonunun tip kesitinde yaklaşık 800 metre kalınlık ölçülmüştür. Trakya Havzası'nda açılan sondajlarda da bu kalınlıkta görülmektedir (Perinçek vd., 2015; Temel ve Çiftçi, 2002).

Danişmen Formasyonu; formasyonun en altında Pınarhisar ve Taşlısekban ve içerisinde de yanal geçişli olarak Armutburnu üyeleri olarak ayrılmışlardır. Danişmen Formasyonu alttaki Osmancık Formasyonu ile geçişlidir. Genç birimler tarafından uyumsuz olarak örtülen Danişmen Formasyonu bazı alanlarda üstten önemli oranda aşındırılmış olarak bulunmaktadır. Birim Istranca eteklerinde, Osmancık ve Mezardere formasyonlarının olmadığı alanlarda daha yaşlı birimler üzerinde uyumsuzdur. Danişmen Formasyonu regresif delta sisteminin en üst birimidir, sistemdeki delta düzlüğü fasiyeslerini temsil etmektedir. Bataklık, göl, akarsu çökelleri, taşkın ovasından oluşur. Birim kilaşları, şeyl, çakıltası, kumtaşı, ve kömür katmanlarından oluşur. Havza kenarlarına doğru kalınlık azalır. Birime; Kasar ve Eren (1986); Batı vd. (2002) Geç Oligosen, Saraç (1987) Erken Oligosen yaşlarını vermişlerdir (Perinçek vd., 2015). Diğer araştırmacıların verdiği yaş ise Geç Oligosen-Erken Miyosen aralığındadır (Perinçek vd., 2015; Alişan, 1985; Gerhard ve Alişan, 1987; Batı vd., 1993). Danişmen Formasyonu içinde bilhassa linyit damarlarında zengin omurgalı canlılar bulunur. Yapılan omurgalı fosil tanımlamalarına göre Oligosen'in orta kesimlerine karşılık gelen yaşlar verilmiştir (Perinçek vd., 2015; Umut vd., 1983, 1984). Formasyonun alt kesimlerinde görülen linyitli seviyelerin tabanı sondaj ve araştırmalarda, Danişmen ile Osmancık formasyonlarının arasındaki sınır olarak tanımlanmaktadır (Siyako, 2005; 2006b).

Taşlısekban Üyesi; Birim ilk defa Kasar (1987) tarafından isimlendirilmiştir. Daha yaşlı birimler üzerinde uyumsuzdur. Üstte Pınarhisar Üyesi'ne dereceli olarak geçer. Taşlısekban Üyesi çakıltası, kumtaşı ve marndan oluşmuştur. Yer yer kilaş ve lamelli branşlar görülür. Çatalca'daki mostralara Soğucak Formasyonu'ndan geçişli kaba malzemeli yamaç molozu ile başlamaktadır (Çağlayan ve Yurtsever, 1998).

Pınarhisar Üyesi; Üstte Danişmen Formasyonu'nun kilaş ve şeyl ve altta Taşlısekban Üyesi ile dereceli geçişlidir. Pınarhisar Üyesi, sığ denizel, lagüner, kumtaşı ve çakıltası katkılı, oolitli, , gastropod ve ostrakodlu, üst seviyelerinde manganlı ve kısmi killi olan kireçtaşı ile temsil olunur (Siyako ve Kasar 1985). Tip kesitinde kalınlığı yaklaşık 70-80 metre civarı ölçülmüştür. Ortalama kalınlığı 5-20 metre arasında değişir.

Armutburnu Üyesi; Tip kesitinde, hem alttaki Osmancık Formasyonu hem de Danişmen Formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir Üye üzerine gelen daha genç birimler tarafından aşıl uyumsuzlukla örtülür. Delta düzlüğünde çökelmiş kırmızı renkli, kalın tabakalı-masif, genellikle akarsu kanal dolgusu çakıltası ve kumtaşı ile temsil edilir.

4.3. İnorganik Jeokimyasal ve Petrografik Analizler

4.3.1. Kömür ve kömürlü birimlerin mineralojisi (XRD analizleri)

Tekirdağ-Malkara kömür sahasından alınan örnekler X-Işınları Difraktometesi (XRD) çekimleri yapılmıştır. İnceleme alanından alınan bu örnekler, tüm kaya ve kil fraksiyonunu belirlemek amacıyla çekim işlemleri gerçekleştirilmiştir. Analizler MTA Genel Müdürlüğünde yapılmıştır. (Çizelge 4.1).

Analizi yapılan örneklerde en bol kuvars minerali bulunmaktadır. Kuvarsın her örneklerde bu denli fazla bulunması çökelme sırasında sahaya detritik malzeme girişini işaret etmektedir. Kuvars ve kalsit kadar olmasa da nerdeyse her seviyede rastlanan bir diğer mineral de pirittir. Piritin diyajenez evresinde gömülme ve kömürleşme esnasında çoğunlukla sinjenetik olarak oluştuğu yorumu yapılabilir. Feldispat ise hemen hemen her örnekte bulunmaktadır. Plajiyoklazın ise az miktarda bulunduğu tespit edilmiştir. Ortamda bu iki mineralin az miktarda bulunması kömür oluşumu sırasında volkanik malzeme girişinin ya az olduğunu ya da olmadığını göstermektedir.

Bunun yanı sıra kil minerallerinin de oldukça bol miktarda bulunduğu gözlenmiştir. Karbonat grubu minerallerinden kalsitin dolomite göre daha çok bulunması kalsitin kömürün ana karbonat minerali olduğunu kanıtlar niteliktedir.

İncelenen örneklerde yüksek oranda bulunan kil minerallerinin smektit ve illit olduğu, smektitin diğer kil minerallerinden ise daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kloritin nerdeyse her örnekte olması piroksen alterasyonunun bir göstergesidir. Smektitin miktarca çok fazla olması illite dönüşmediğini gösterir. Bu da inceleme alanındaki kömürün olgunlaşmamış-erken olgun olduğunu gösterir. Smektitin kaolinit ve klorit ile birlikte bulunması sıcak ve yarı kuru iklimlerdeki feldispat alterasyonunu işaret etmektedir.

Çizelge 4.1. Kömürlerin tüm kaya ve kil bileşenleri

Örnek No	Kil Grubu Mineralleri				TKM	Q	KAL	FELDS	Pİ	DOL
	Kln	İ	Sim	Kl						
2		++	+		*	**	***			
3		+++	+	++	**	****		***	*	
4		+	+++	++	*	***		**		
6	+	+++	++++	++	***	*****	**	*****	*	
8	+	+++	++++	++	**	****		***	*	
10	Kil Grubu Mineral Analizi Yapılmamıştır				***	*****	***	**	*	
11					**	****		***		*
12	+	+++	++++	++	*	****	***	**		
13		++	+		*	**				
14	++	+++	++++	+	**	****			*	
16	++	++++	+++	+	**	****		***	*	
19		+++	++	+	*	***		**		

Çizelge 4.1.'in devamı

Örnek No	Kil Grubu Mineralleri				TKM	Q	KAL	FELDS	Pİ	DOL
	Kln	İ	Sim	Kl						
21	Kil Grubu Mineral Analizi Yapılmamıştır				**	*****	*****	***		*
22					*	*****	***	****		**
24					*	**	*****	***		
Kln (Kaolinit), İ (İllit), Sim (Smektit), Kl (Klorit), TKM (Toplam Kil Miktarı), Q (Kuars), Pi (Pirit), Kal (Kalsit),Dol (Dolomit), Felds (Feldispat), “+”, “*” Minerallerin nispi bollukları										

4.4. Jeokimyasal ve Petrografik Analizler

Kömür ve kömürlü birimlerde TOC, Rock-Eval (piroliz) ve vitrinit/hüminite yansıması analiz ve ölçümleri yapılarak organik maddenin olgunluğu, türü, miktarı, kaynak kaya potansiyeli değerlendirilmiştir.

4.4.1. Rock-Eval (piroliz), TOC analizleri

İnceleme bölgesinden alınarak seçilen 15 adet örnek üzerinde TOC ve Rock Eval piroliz analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen S1, S2, S3, TOC, Tmax, HI, OI, PI, PY ve S2/S3 değerleri ile organik madde miktarı, tipi ve olgunluk derecesi belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Örneklere ait Rock Eval piroliz analizi sonuçları

Örnek Adı	TOC(%)	S1(mg/g)	S2(mg/g)	S3(mg/g)	Tmax(°C)	HI	OI	PI	RC(%)	PC(%)	MINC(%)
2	22,18	0,52	19,69	17,32	424	89	78	0,03	19,57	2,61	1,06
3	45,63	0,76	14,67	39,99	408	32	88	0,05	41,86	3,77	1,83
4	16,37	1,54	22,43	11,43	432	137	70	0,06	13,76	2,61	0,78
6	49,83	0,62	41,41	30,69	426	83	62	0,01	44,69	5,14	1,73
8	43,72	0,82	38,93	30,09	429	89	69	0,02	38,82	4,9	1,45
10	18,1	0,5	9,04	13,99	434	50	77	0,05	16,64	1,46	0,78
11	21,4	0,82	17,83	17,46	429	83	82	0,04	18,98	2,42	0,83
12	46,57	0,78	22,34	32,81	425	48	70	0,03	42,78	3,79	2,46
13	46	1,61	25,93	30,84	430	56	67	0,06	41,99	4,01	1,46
14	14,43	1,16	9,28	10,05	409	64	70	0,11	12,98	1,45	0,57
16	47,27	0,64	33,77	32,12	423	71	68	0,02	42,57	4,7	4,46
19	34,18	1,13	46,09	16,9	423	135	49	0,02	29,2	4,98	1
21	0,27	0,01	0,18	0,63	433	67	233	0,06	0,23	0,04	9,83
22	5,73	0,05	4,75	3,46	430	83	60	0,01	5,14	0,59	1,54
24	0,22	0,01	0,16	0,32	426	73	145	0,09	0,19	0,03	2,93

TOC: Toplam Organik Karbon (ağırlıkça %), S1: mgHC/g kaya, S2: mgHC/g kaya, S3: mg CO₂/g kaya, Tmax: C, HI: Hidrojen İndeksi (mgHC/g TOC), OI: Oksijen İndeksi (mg CO₂/g TOC), PI: Üretim İndeksi, PY: Potansiyel Ürün (mg HC/g kaya), S2/S3: Hidrokarbon tip indeksi, RC: Rezidüel karbon, PC: Pyrolyzed Carbon, MINC: Mineral Karbon

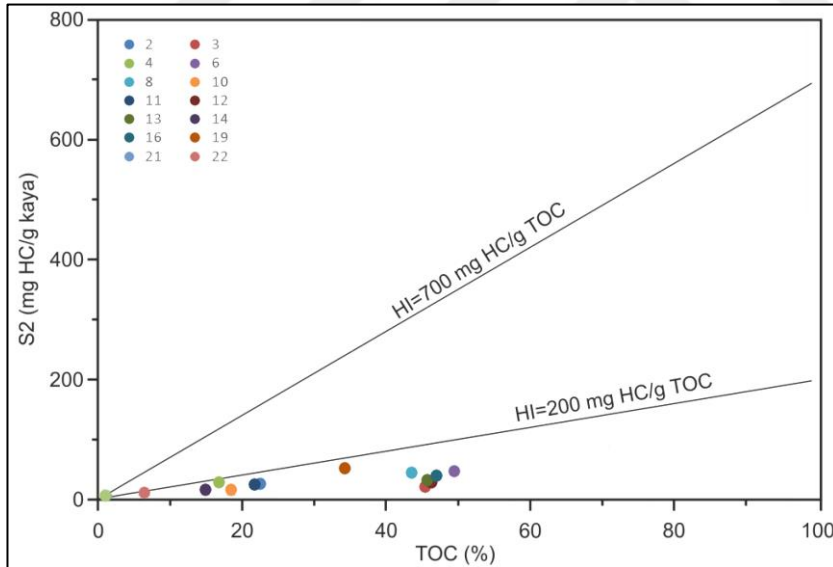
4.4.1.1. Organik madde miktarı

Rock Eval VI cihazında hesaplanması suretiyle inceleme bölgesinden alınan örneklerin analizi neticesinde değerlerin % 0,22-49,83 arasında değiştiği, ortalama değer de % 27,46 olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). Bu analizlere göre 21 ve 24 no'lu örneklerde <0.5% TOC miktarı ile zayıf veya yetersiz petrol kaynak kayası özelliğini gösterirken, geriye kalan tüm örnekler %4'ten büyük TOC miktarına sahip mükemmel veya mükemele yakın derecede petrol kaynak kaya kalitesini göstermektedir (Peters ve Cassa 1994; Tissot ve Welte 1984; Jarvie 1991).

4.4.1.2. Organik madde türü

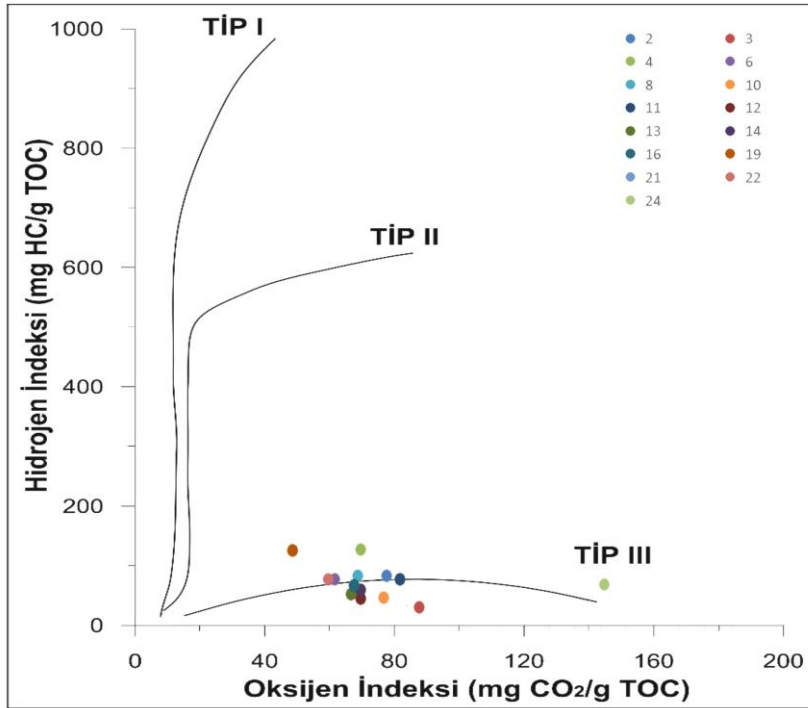
İnceleme bölgesinin organik madde tipini belirlemek için HI-Tmax , S2-TOC, HI-OI diyagramları kullanılmıştır. Langford ve Blanc-Valleron (1990) tarafından geliştirilen S2-TOC diyagramında eğimi 7 olan doğrunun üzerinde kalan alan Tip I, eğimi 2 ile 7 arasında kalan alan Tip II ve eğimi 2 olan doğrunun altında kalan alan Tip III kerojen olarak tanımlanır.(Şekil 4.3).

Örneklere yapılan analizler neticesinde S2 değerleri 0,16 ile 46,09 mg HC / g kaya arasında değiştiği görülmekle birlikte; örneklere ait S2-TOC diyagramında nerdeyse tüm değerler eğimi 2 olan bu doğrunun altında kalmıştır. Buradan da organik madde türünün Tip III kerojen olduğu ortaya çıkmaktadır. (Şekil 4.4).



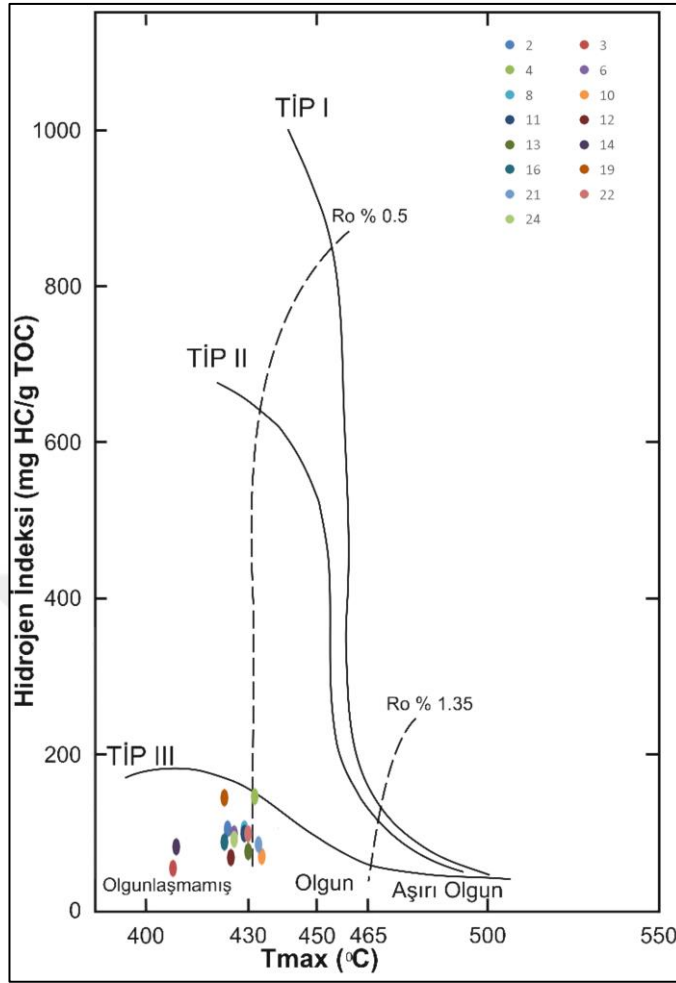
Şekil 4.4. S2-TOC diyagramı

Organik madde miktarından bağımsız olan ve organik madde türünün belirlenmesinde kullanılan bir diğer diyagram da Espitalié vd. (1977) tarafından geliştirilen HI-OI diyagramı olup, çalışma alanı örneklerindeki HI değerleri 32-137 mg HC /g TOC arasında, OI değerleri ise 49-233 mg HC /g TOC arasında değişim göstermektedir. Değerler HI-OI diyagramına yerleştirildiğinde kerojenin Tip III olduğu tespit edilmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. HI-OI diyagramı

Tmax değeri, S2 pikinin maksimum olduğu andaki sıcaklık olarak ifade edilir. Mukhopadhyay vd. (1995) tarafından geliştirilen HI-Tmax diyagramı ile HI ile Tmax değerlerinin birlikte kullanıldığında bu diyagram yardımıyla organik madde tipi tespit edilmektedir. Çalışma alanındaki örneklerle ait Tmax değerleri 408-434 °C arasında değiştiği görülmektedir. Örnek değerlerin tamamının Tip III kerojen alanında yer aldığı diyagramdan tespit edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. HI-Tmax diyagramı

4.4.1.3. Organik madde olgunluğu

Organik maddenin olgunluğu PI (Üretim indeksi) değerleri, Tmax, HI-Tmax, Tmax-PI diyagramları kullanılarak belirlenmektedir. Organik madde olgunluğu, bir çökeltme havzasındaki artan gömülme derinliği, basınç, sıcaklık gibi faktörler ile ortaya çıkan kimyasal ve fiziksel değişimleri ifade eder (Tissot ve Welte 1984). Tmax değerleri ile olgunluk ilişkisi Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Tmax değerinin temsil ettiği olgunlaşma değerleri (Tissot ve Welte 1984)

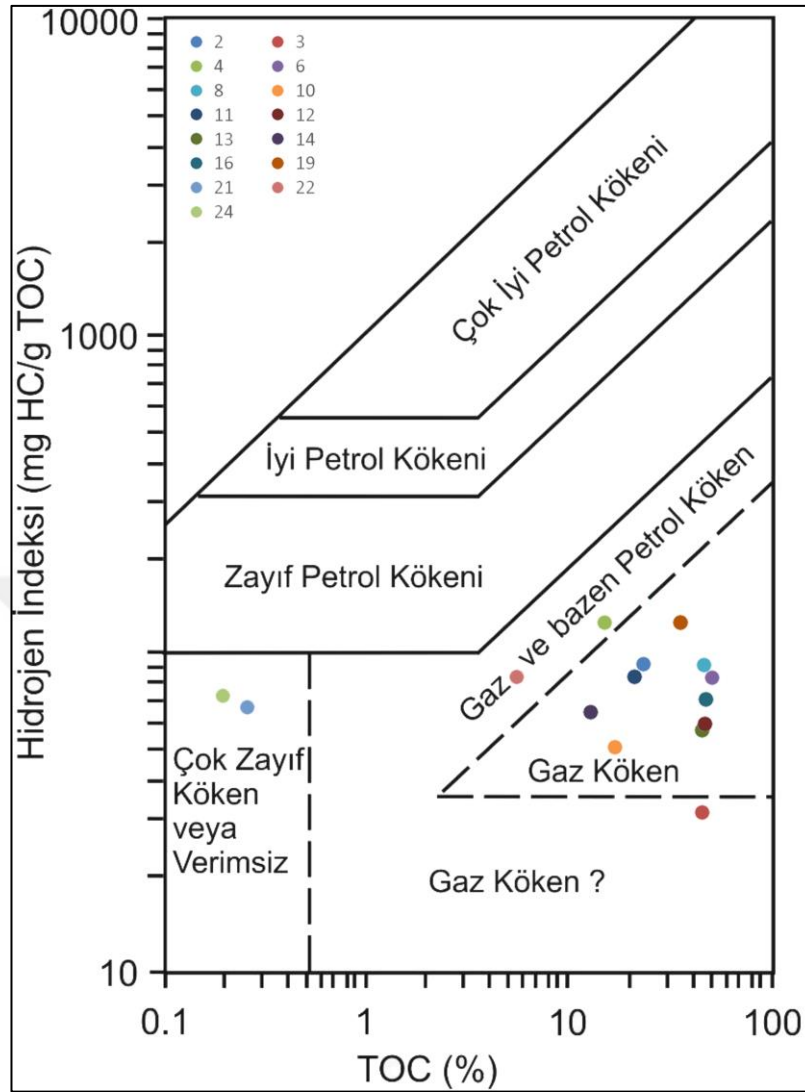
OLGUNLUK	Tmax°C	PI
Olgunlaşmamış	< 435	< 0,10
Erken Olgun	435-445	0,10-0,15
Orta Olgun	445-450	0,25-0,40
Olgun	450-470	> 0,40
Aşırı Olgun	> 470	-

Çalışma alanı Tmax değerleri 408-434 °C arasında değişmekte olup ortalaması 425,4 °C'dir. Üretim indeksi (PI) değerleri ise 0,01-0,11 arasında değiştiği görülmekte ve ortalama değer 0,04 olarak hesaplanmaktadır. Sözü edilen bu iki veri birlikte ve aynı anda değerlendirildiğinde organik maddenin olgunlaşmamış olduğunu göstermektedir. Analizi yapılan tüm örneklerin ayrı ayrı olarak değerlendirildiği ve analiz edildiği HI- Tmax diyagramında görüldüğü üzere; örneklerin büyük bir kısmı olgunlaşmamış kısımda yer almakta, çok az bir kısmının ise olgun kısımda olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.6).

4.4.1.4. Kaynak kaya potansiyeli

S1 ve S2 değerlerinin elde edildiği Rock Eval piroliz analizi sonucunda kaynak kaya hakkında bilgi sahibi olunabilir. Potansiyel ürün (PY) S1 ve S2 değerlerinin toplamını ifade eder. Tisset ve Welte (1984)'ye göre PY değeri 2 kg/ton'dan daha az ise kayalar petrol ana kayası olamazlar, nadiren gaz türetme potansiyeli olan ana kaya olabilirler. Değer 2 ile 6 kg/ton arasında ise orta derecede petrol ana kayası olabilirken, değer 6 kg/ton'dan daha büyükse bu tür kayalar iyi derecede petrol ana kayası olabilirler.

PY değerlerinin hesaplanması amacıyla örneklere yapılan analizler sonucunda. PY değerlerinin 0,17 ile 47,22 mg HC/g kaya arasında değişmekte olduğu görülmüş, ortalama değer 21,16 mg HC/g kaya olarak hesaplanmıştır. Bu değer kayanın iyi derecede petrol ana kayası olabileceğini göstermektedir. İnceleme alanındaki örneklerin kaynak kaya potansiyelini belirlemek için Jackson vd. 1985'ten değiştirilerek alınan HI-TOC diyagramından faydalanılmıştır. Bu diyagrama göre örneklerin çok büyük bir kısmının gaz köken alanında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. HI-TOC diyagramı

Yukarıda anlatılan analizlerle organik maddenin kaynak kaya potansiyeli, kerojen tipi ve olgunluğu belirlenebilmektedir. (Peters ve Cassa (1994)) Buna göre inceleme alanından alınan tüm sonuçlar incelendiğinde mükemmel kaynak kaya potansiyeline sahip, olgunlaşmamış ve Tip III kerojen olduğu, ayrıca gaz üretim potansiyelinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. a) Olgunlaşmamış kaynak kayanın türetme potansiyeli (miktarı), b) kerojen tipi ve ürün kalitesi, c) ısısal olgunlaşma (Peters ve Cassa 1994)

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 İyi	2-4	2-4	10-20	2000-4000	1200-2400	
Mükemmel	>4	>4	>20	>4000	>2000	
		a)				
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	<7	-		
		b)				
Olgunluk	Ro (%)	Tmax (°C)	TAI	Bitüm/TOC	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			
		c)				

4.4.2. Hüminit yansımaları ölçümleri

İnceleme alanından alınan örneklerde Çizelge 4.5’de görülen analizler sonucu elde edilen en yüksek değer (Rmax), en düşük değer (Rmin) ve ortalama değer (Ro) verilmiştir. Bu değerlere göre; en büyük hüminit yansımaları değerleri (Rmax) % 0,4041-0,5415 arasında, en küçük hüminit yansımaları değerlerinin (Rmin) ise % 0,3702-0,4873 arasında değişmiştir. Ortalama yansımaları değeri (Ro) ise % 0,3906-0,5081 aralığında değeri vermektedir. Hüminit yansımaları değeri olgunlaşmamış organik maddeyi göstermekte olup, bu sonuç Rock- Eval piroliz analiz sonuçları ile de örtüşmektedir.

Çizelge 4.5. Kömür örneklerine ait kuyuların Hüminit yansımaya değeri ortalamaları

Örnek No	Maksimum Yansımaya Değeri (R _{max}) (%)	Minimum Yansımaya Değeri (R _{min}) (%)	Ortalama Yansımaya Değeri (R _o) (%)
2	0,4041	0,3702	0,3906
3	0,4681	0,4211	0,4446
4	0,4938	0,435	0,4657
6	0,4837	0,4306	0,4538
8	0,4571	0,4156	0,4372
12	0,5053	0,4617	0,4906
13	0,5003	0,4671	0,4846
14	0,4849	0,4271	0,4516
16	0,5415	0,4873	0,5081
19	0,5059	0,4821	0,4955

Örneklerin parlak kesit kalıpları hazırlandıktan sonra üstten aydınlatmalı mikroskopta petrografik dağılımları olan maseral bileşenleri belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

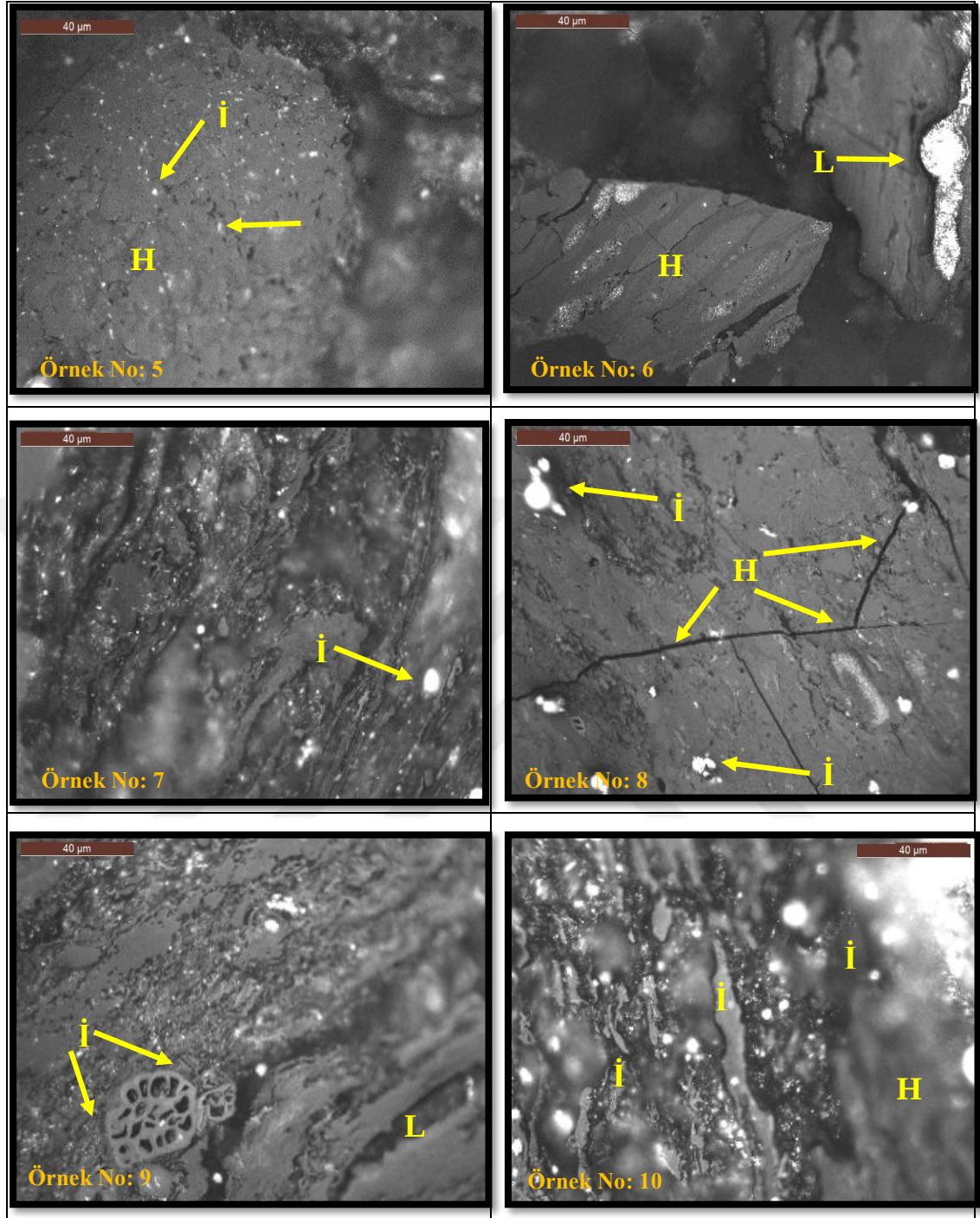
Çizelge 4.6. Kömür örneklerine ait petrografik dağılım analizi sonuçları

Maseral Bileşenleri						
ÖRNEK NO	HÜMİNİT %	LİPTİNİT %	İNERTİNİT%	PİRİT %	KİL vs. SİLİKAT MİN. %	KALSİT%
2	55	2	3	3	37	-
	Gelinit (%39)	Sporinit (%1)	Makrinit (%2)			
	Korpohüminit (%4)	Kütinit (%1)	İnertodetrinit (%1)			
	Attrinit (%3)					
	Densinit (%9)					
3	60	1	22	5	12	-
	Gelinit (%40)	Sporinit (%1)	Funginit (%20)			
	Korpohüminit (%20)		İnertodetrinit (%2)			
4	54	1	6	3	36	-
	Ülminit(%6)	Sporinit (%1)	Makrinit (%1)			
	Gelinit (%39)		Funginit (%3)			
	Korpohüminit (%4)		İnertodetrinit (%2)			
	Attrinit (%3)					
	Densinit (%9)					
6	60	1	11	4	36	-
	Ülminit(%6)	Sporinit (%1)	Makrinit (%5)			
	Gelinit (%20)		Funginit (%2)			
	Korpohüminit (%8)		İnertodetrinit (%4)			
	Attrinit (%7)					
	Densinit (%19)					

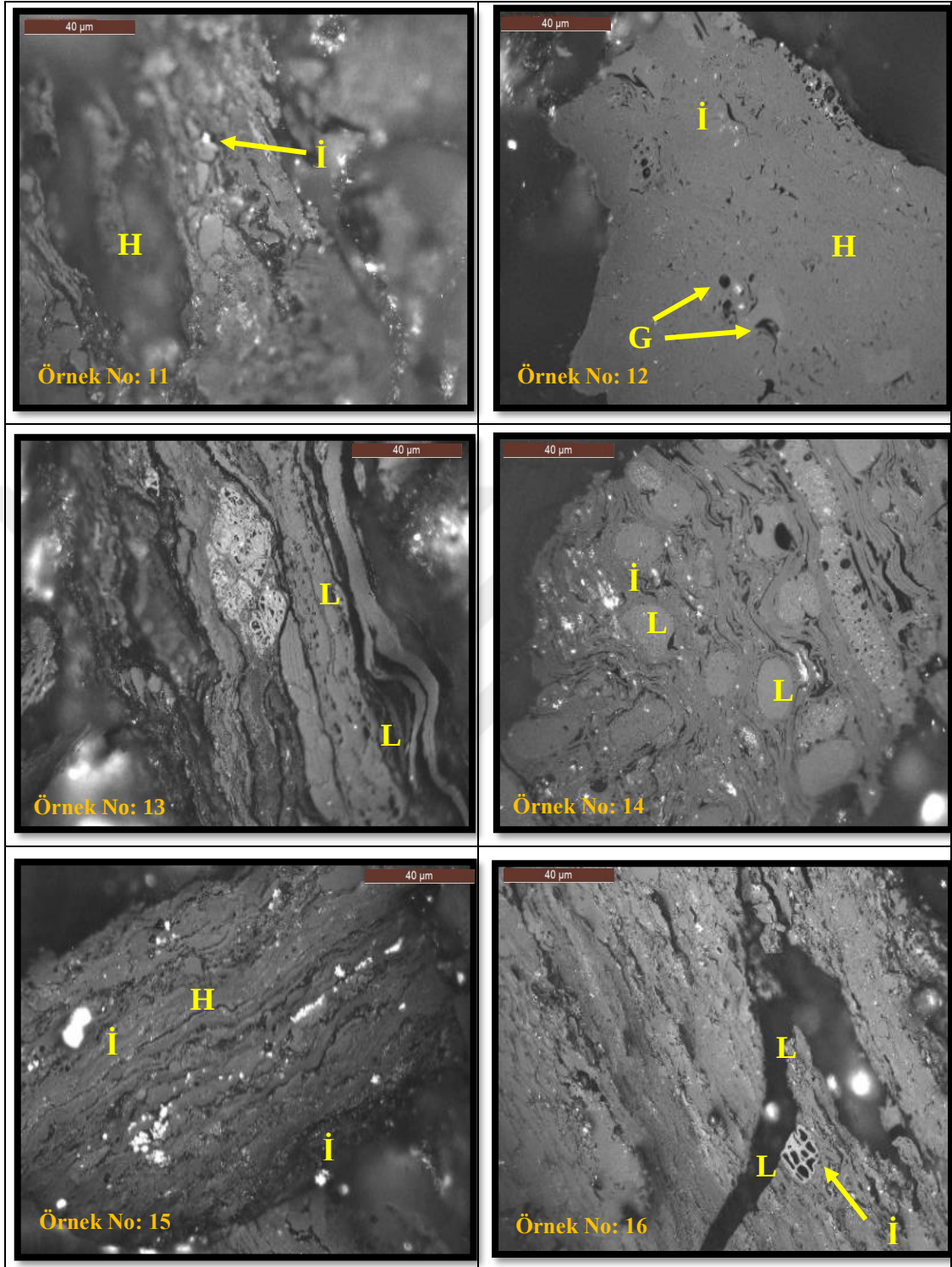
Çizelge 4.6.'nın devamı

Maseral Bileşenleri						
ÖRNEK NO	HÜMİNİT %	LİPTİNİT %	İNERTİNİT%	PİRİT %	KİL vs. SİLİKAT MİN. %	KALSİT%
8	61	1	5	3	27	3
	Ülminit(%3)	Sporinit (%1)	Makrinit (%5)			
	Gelinit (%20)		Funginit (%2)			
	Korpohüminit (%6)		İnertodetrinit (%4)			
	Attrinit (%6)					
	Densinit (%26)					
12	62	1	10	3	18	6
	Ülminit(%14)	Sporinit (%1)	Makrinit (%4)			
	Gelinit (%38)		Funginit (%4)			
	Korpohüminit (%4)		İnertodetrinit (%2)			
	Densinit (%6)					
14	64	1	13	3	19	-
	Ülminit(%9)	Sporinit (%1)	Makrinit (%7)			
	Gelinit (%22)		Funginit (%3)			
	Korpohüminit (%10)		İnertodetrinit (%3)			
	Attrinit (%5)					
	Densinit (%18)					
16	60	4	12	4	20	-
	Ülminit(%5)	Sporinit (%1)	Makrinit (%7)			
	Gelinit (%16)	Kütinit (%3)	Funginit (%3)			
	Korpohüminit (%3)		İnertodetrinit (%3)			
	Attrinit (%7)					
	Densinit (%29)					
19	67	5	15	3	12	-
	Ülminit(%4)	Sporinit (%2)	Makrinit (%5)			
	Gelinit (%43)	Kütinit (%3)	Funginit (%5)			
	Korpohüminit (%5)		İnertodetrinit (%4)			
	Attrinit (%3)		Fuzinit (%1)			
	Densinit (%12)					

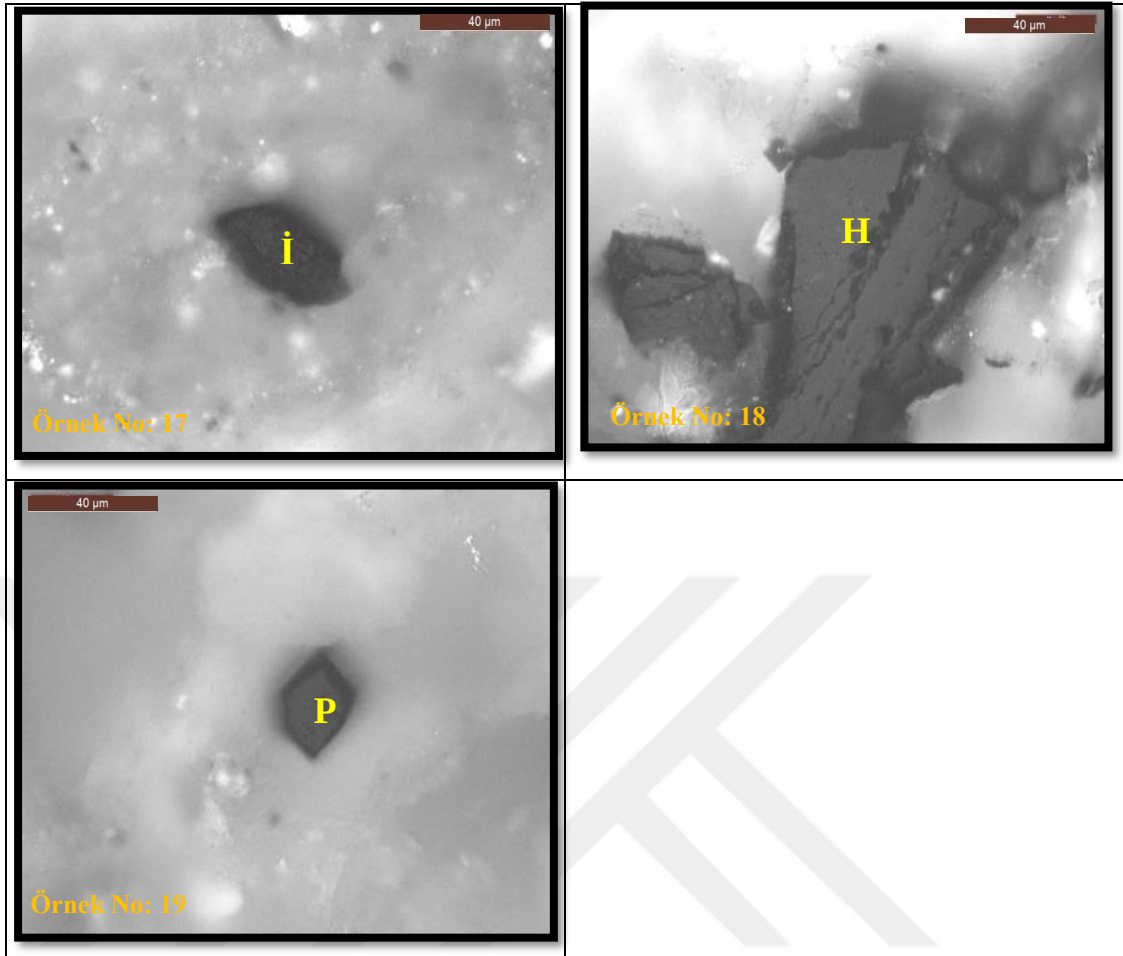
Kömür örneklerine ait petrografik dağılım analizi sonuçlarını içeren Çizelge 4.6'da ve Şekil 4.8'de görüleceği üzere; incelemelerde tespit edilen kömürlü birimlerin hüminit, liptinit ve inertinit grubu maseral varlıklarını içerdiği ve ilgili örneklerin baskın olarak yüzde (%) 54'ten fazla olarak hüminit grubu maserallerden ve daha az oranda ise liptinit ve inertinit grubu maserallerden oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Örnekler üzerinde gerçekleştirilen mikroskopi çalışmalarına ait görüntüler. Fotoğraflarda yer alan ölçek 40µm’ dur. Hüminit (H), Liptinit (L), İnertinit (İ) grubu ile gösterilmektedir



Şekil 4.9. Örnekler üzerinde gerçekleştirilen mikroskopi çalışmalarına ait görüntüler. Fotoğraflarda yer alan ölçek 40µm’ dur. Hüminit (H), Liptinit (L), İnertinit (İ) grubu ile gösterilmektedir



Şekil 4.10. Örnekler üzerinde gerçekleştirilen mikroskopi çalışmalarına ait görüntüler. Fotoğraflarda yer alan ölçek 40µm’ dur. Hüminit (H), Liptinit (L), İnertinit (İ) grubu ile gösterilmektedir

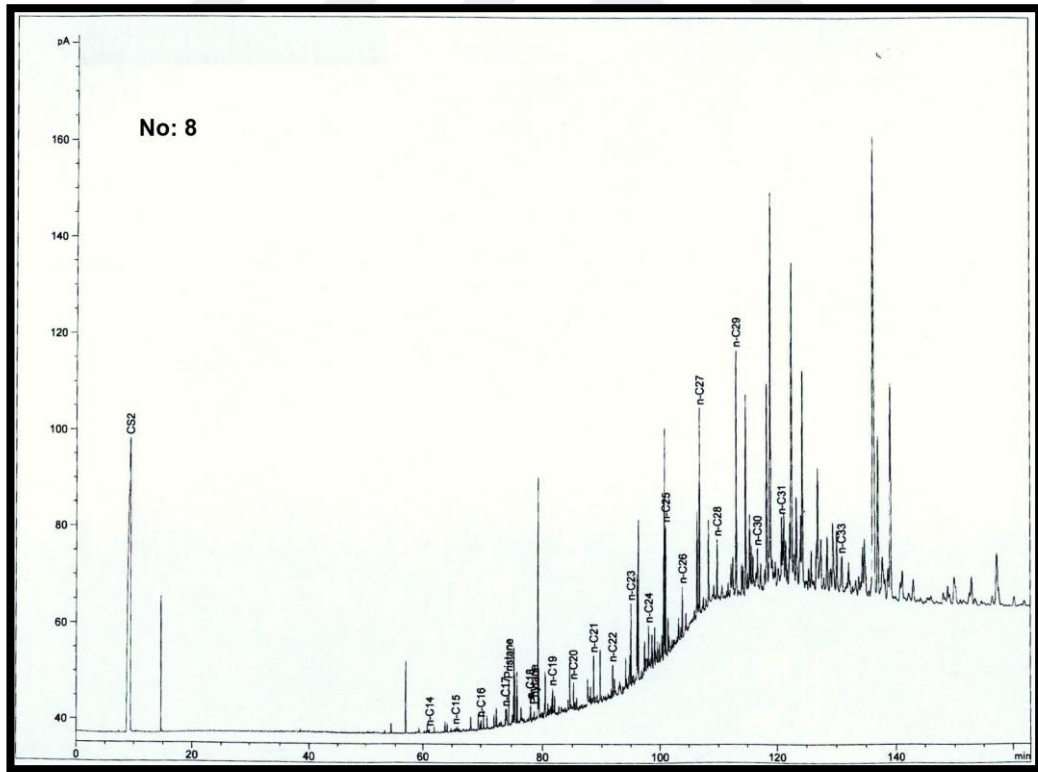
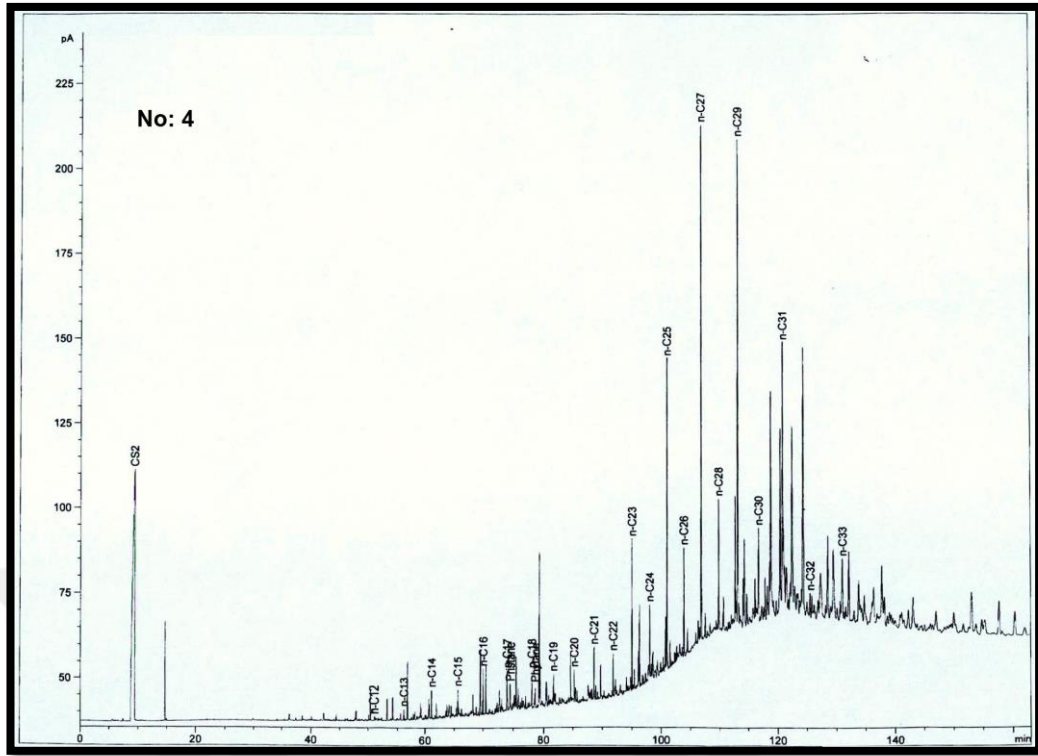
Hüminit grubu maserallar içinde ise en fazla bulunan maseral grubu ise genelde gelinitdir. Kömürlü birimlerde nispeten daha az oranlarda bulunan maseral grupları ise; liptinit ve inertinit olduğu görülmektedir. İnertinit grubu maserallar içinde ise en fazla bulunan maseral ise genelde makrinitdir. Liptinit grubu maserallar içinde ise en fazla bulunan maseral ise genelde sporinit olduğu görülmektedir.

Hüminit maseral grubu içinde büyük oranda bulunan gelinit; bitkilerin kök, selüloz, lignin, gövde ve yaprakları gibi içeriklerden oluşmaktadır. Liptinit grubu maseraller içinde büyük oranda bulunan sporinitin kökeninin çoğunlukla bitkilerin üreme organlarından olduğu görülmektedir. İnertinit maseral grubunu oluşturan makrinit ise; kısmen okside olmuş bitkisel kökenli madde içeriğinden (bitki hücre duvarları vb.) oluşmaktadır.

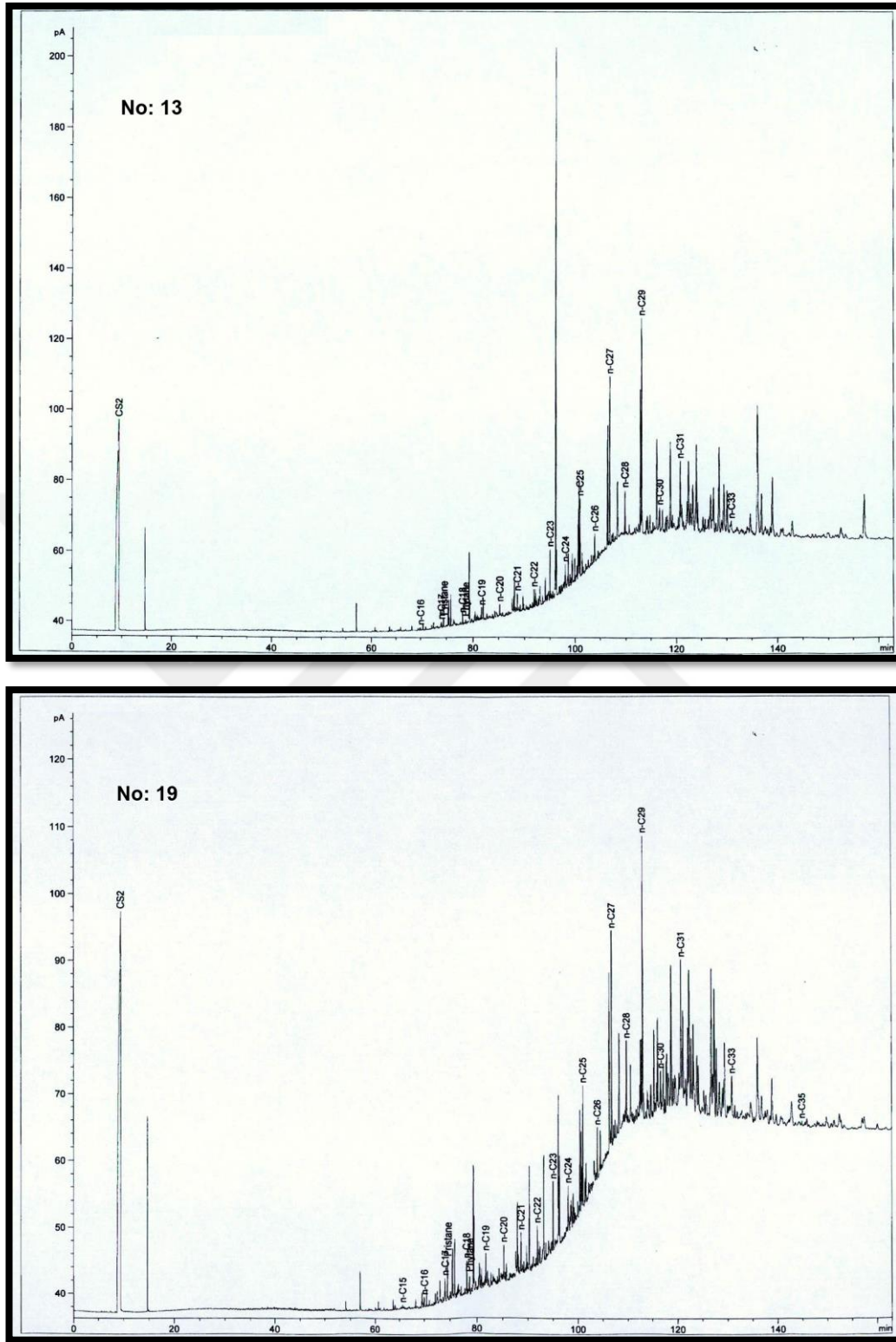
Kömür örneklerine ait petrografik dağılım analizi sonuçlarında; örneklerde inorganik madde olarak bulunma yoğunluğuna göre sıraladığımızda en çok kil ve silikat mineralleri, pirit ve kalsit bulunduğu görülmüştür.

4.5. Gaz Kromatografi Analizi

Kömürlü örneklerde biyomarker çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 4 örnekte Gaz Kromatografi (GC) analizi ve 3 örnekte ise Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometresi (GC-MS) analizi yapılmıştır. Bu analizler TPAO Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bilgilerle n-alkan (GC), isoprenoid (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) dağılımları değerlendirilmiştir. Bunların sonucunda inceleme alanının paleoortam nitelikleri, hidrokarbon oluşum potansiyeli, OM tipi, olgunlaşma düzeyi ve biyolojik parçalanmadan ne derece etkilendiği ortaya konulmuştur. 4 adet numuneye ait (3, 5, 9,13 no'lu) ASE analizi yapılmış ve daha sonra ASE analizinden elde edilen ekstrakt numuneleri karbon disülfür ile çözülmüş ve numunelere aşağıdaki Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de görülen gaz kromatografisi analizleri yapılmıştır.

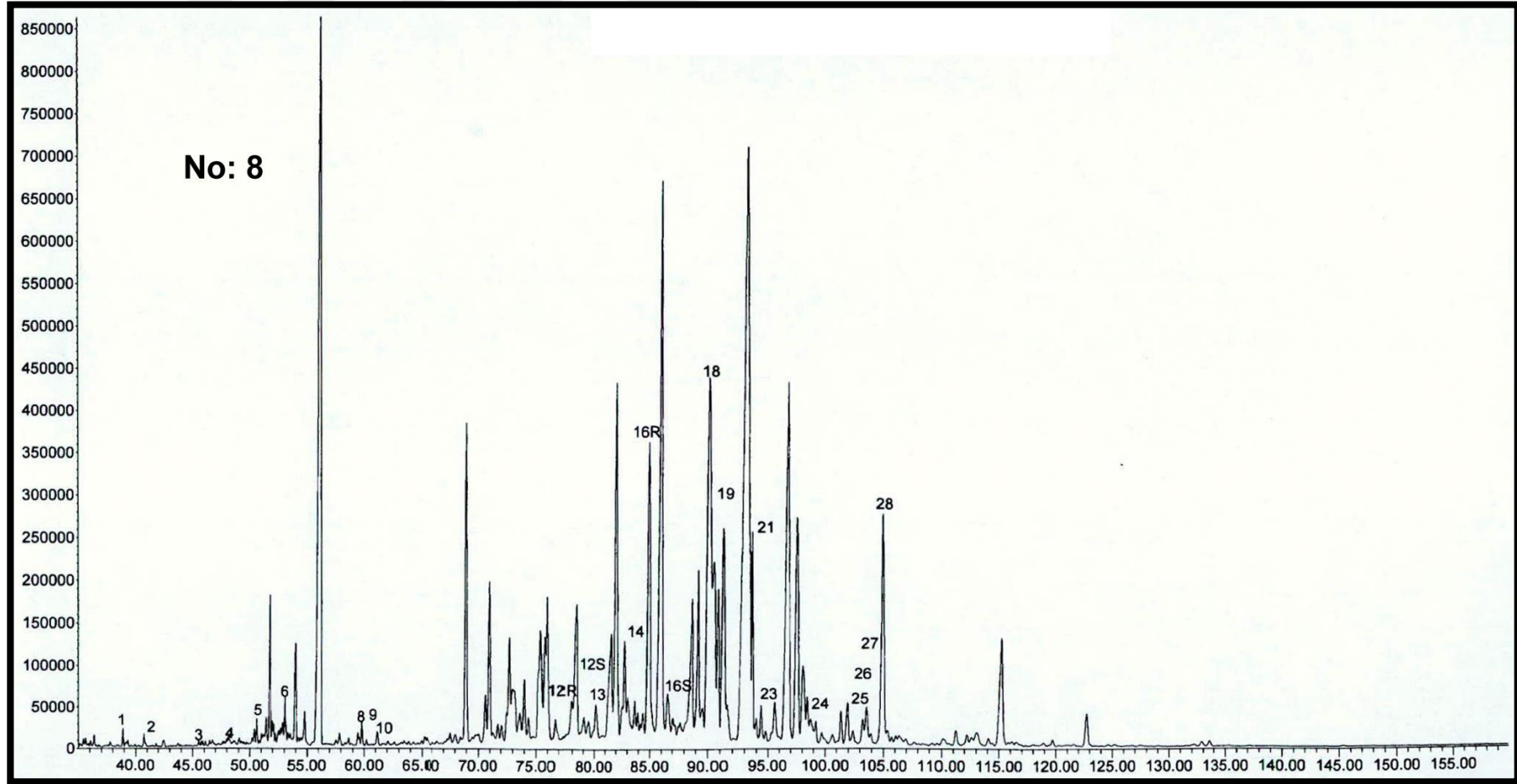


Şekil 4.11. 4 ve 8 No’lu numune örneklerinin gaz kromatografisi analiz sonucu

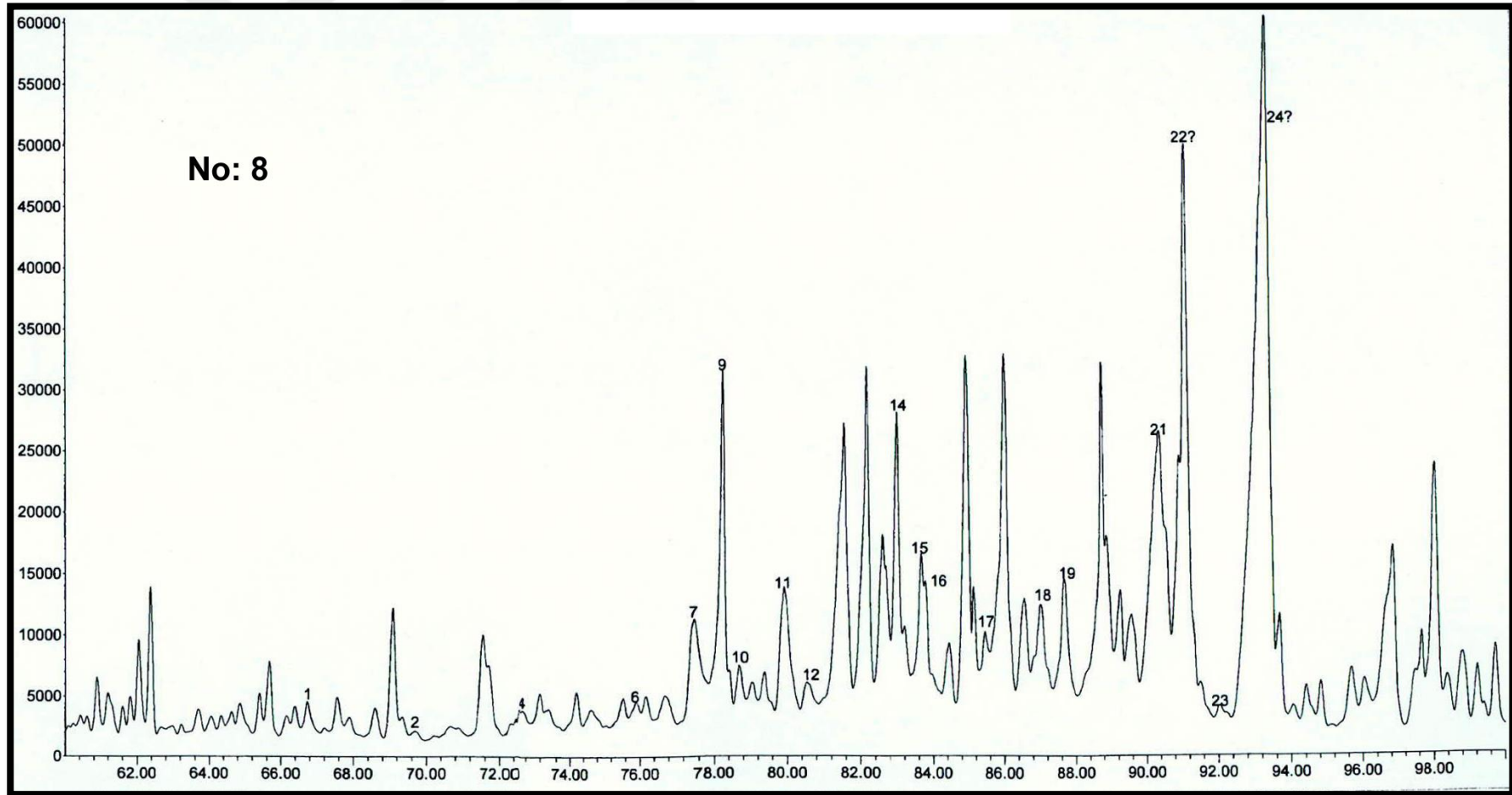


Şekil 4.12. 13 ve 19 No’lu numune örneklerinin gaz kromatografisi analiz sonucu

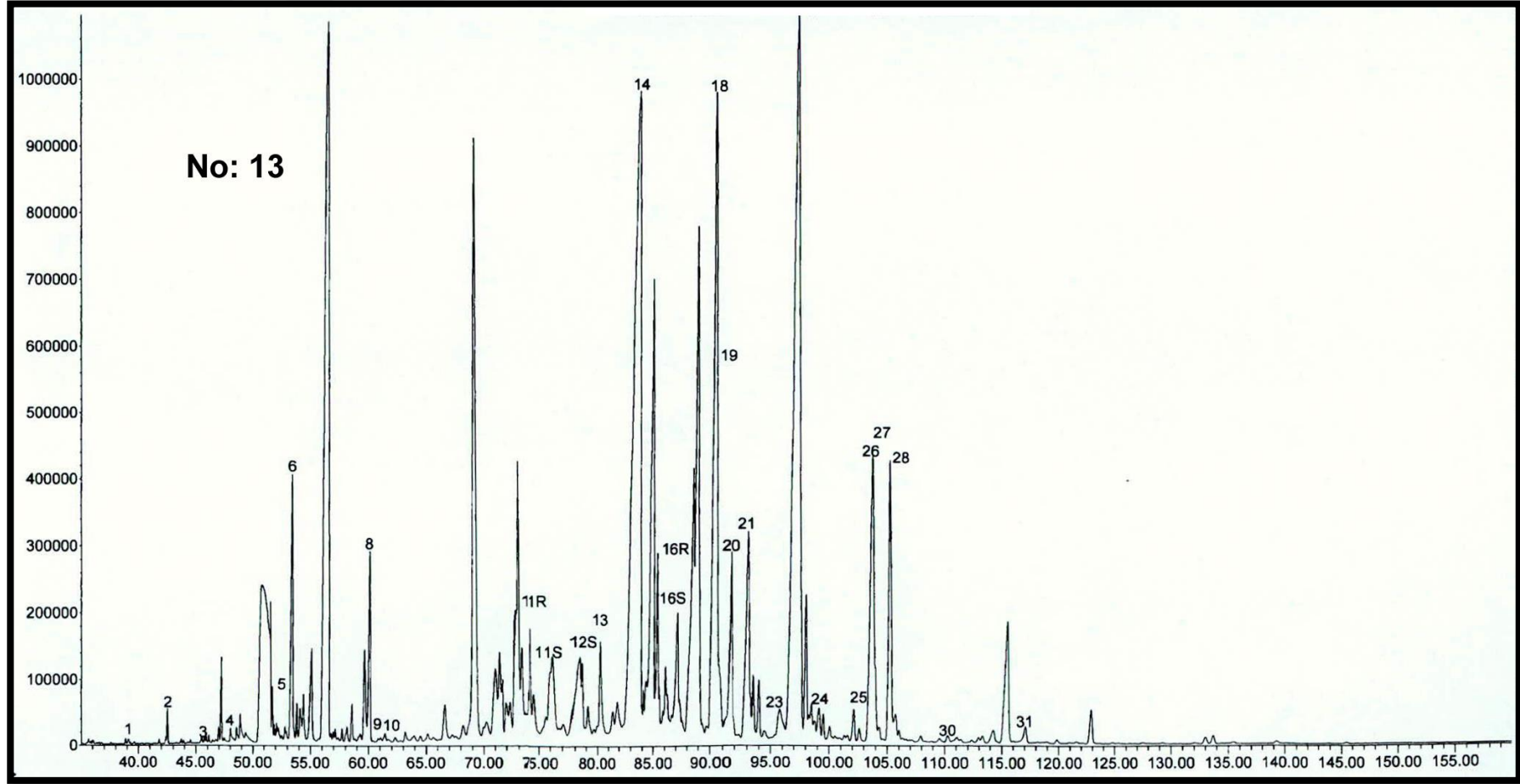
Bileşen analizi Agilent 7890A\5975C GC-MS cihazıyla yapılan numune örneklerinin (8, 13,19 no’lu), 191 ve 217m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan Gc- Ms Analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.



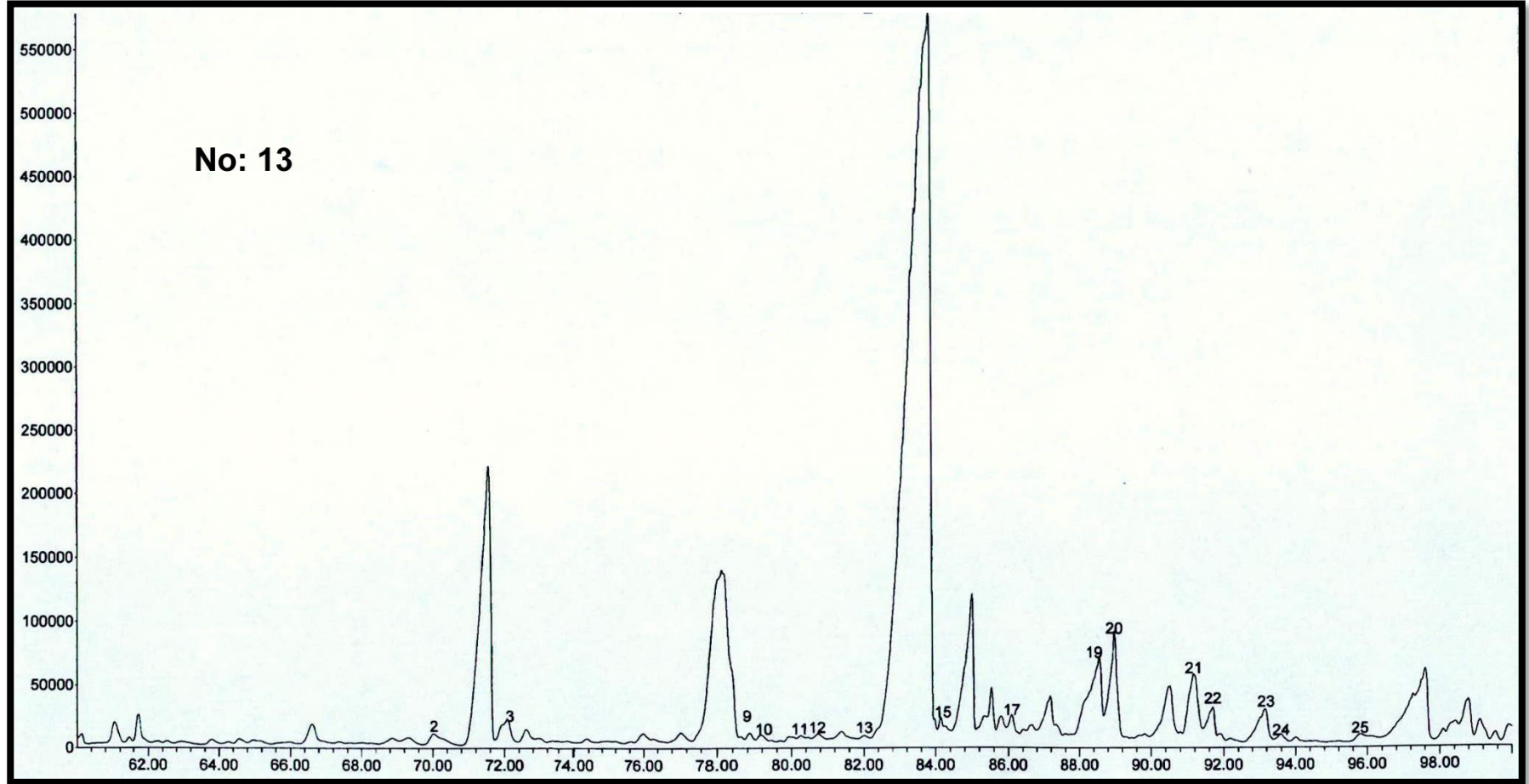
Şekil 4.13. 8 Nolu numune örneğinin 191 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu



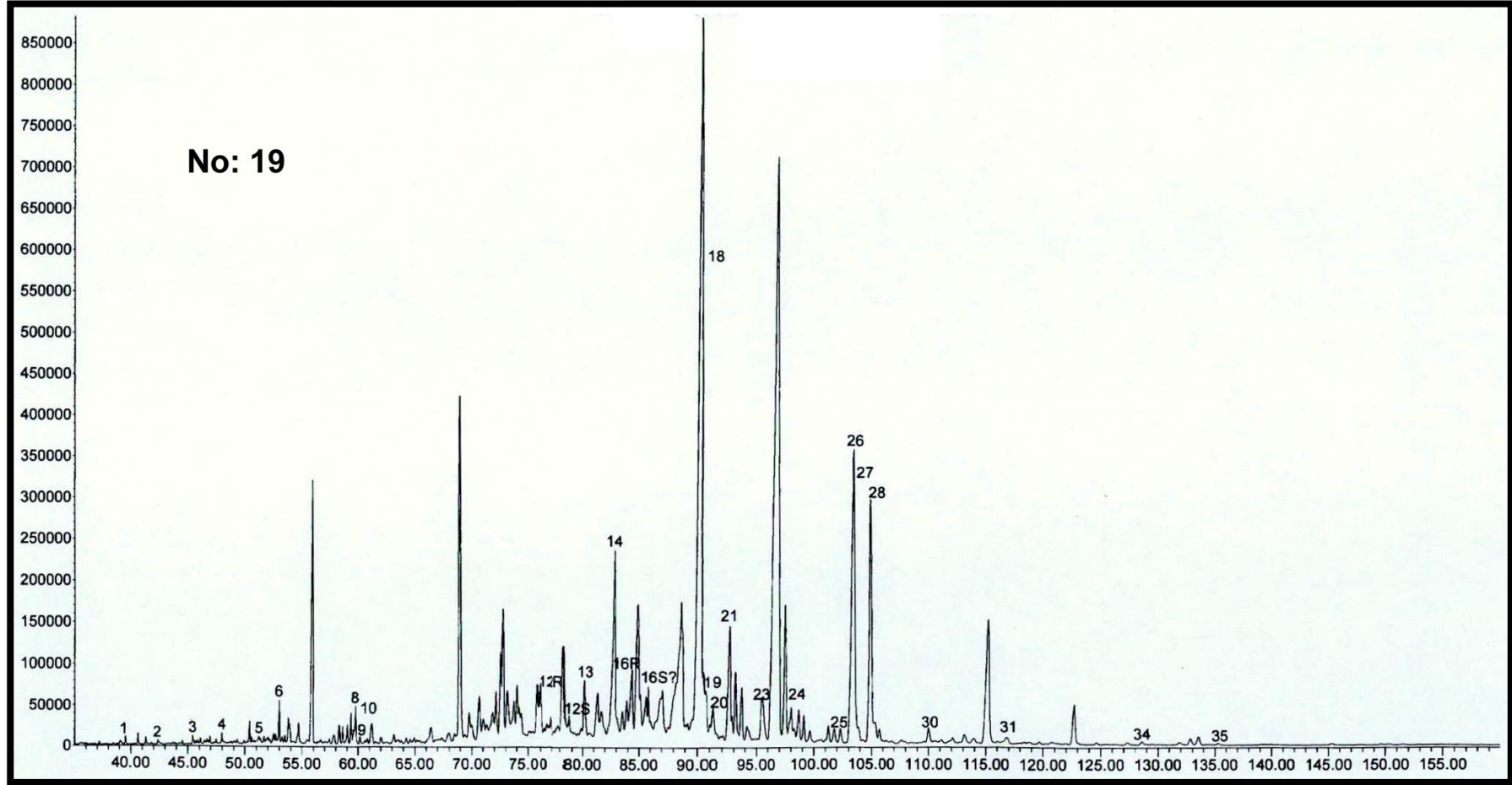
Şekil 4.14. 8 Nolu numune örneğinin 217 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu



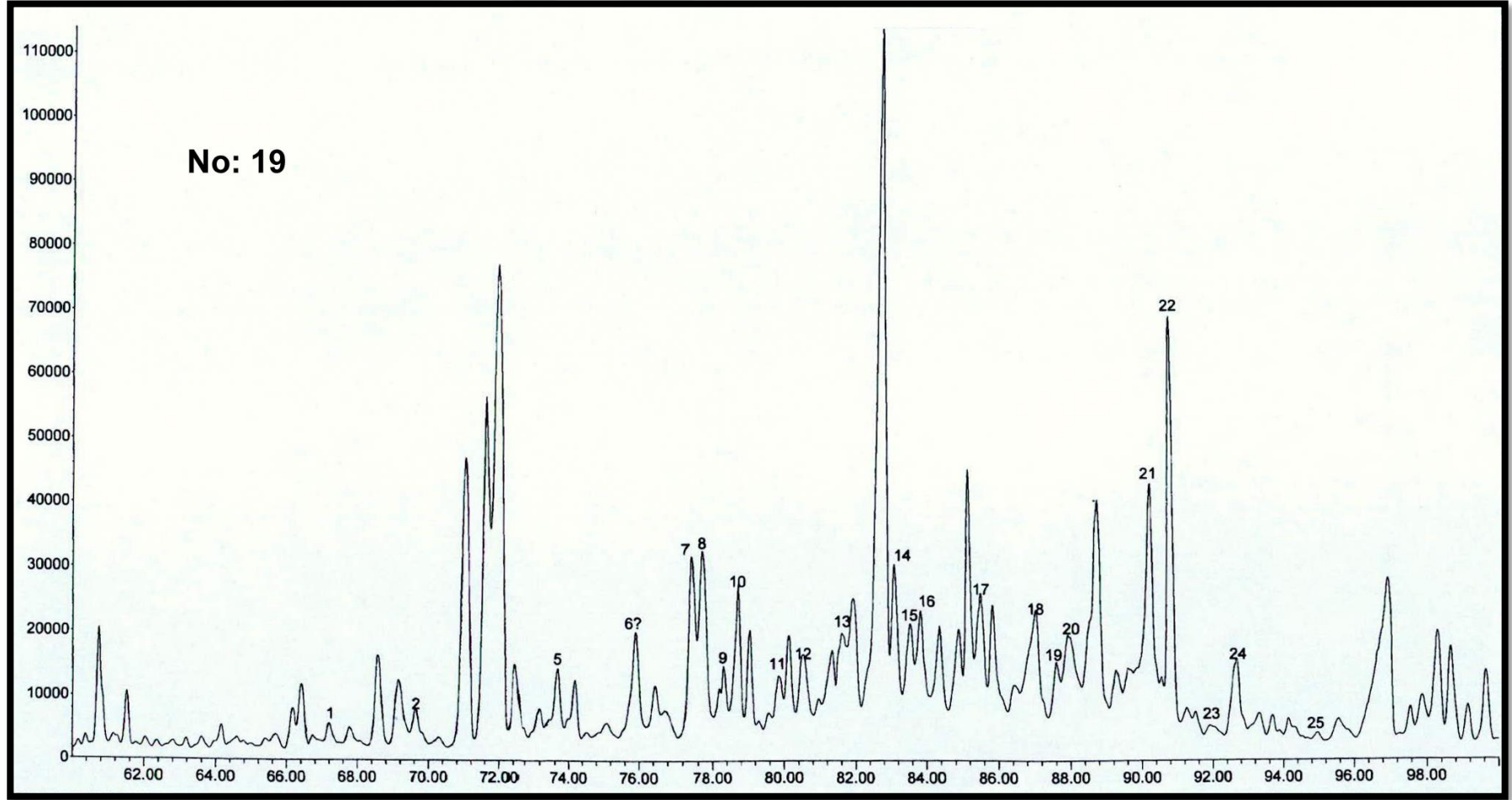
Şekil 4.15. 13 Nolu numune örneğinin 191 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu



Şekil 4.16. 13 Nolu numune örneğinin 217 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu



Şekil 4.17. 19 Nolu numune örneğinin 191 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu



Şekil 4.18. 19 Nolu numune örneğinin 191 m/z oranları kullanılarak SIM Scan modunda yapılan GC- MS analiz sonucu

Çizelge 4.7. Kömür örneklerinin n-alkan ve izoprenoid değerleri

Örnek No	Parametreler					
	Pr/C ₁₇	Ph/C ₁₈	Pr/Ph	CPI	OEP	TAR
4	0.55	0.55	1.01	1.94	2.63	16.95
8	1.87	0.67	2.44	1.74	2.26	13.70
13	1.16	0.55	1.29	3.78	2.40	23.36
19	1.55	0.62	1.72	2.93	1.80	14.66

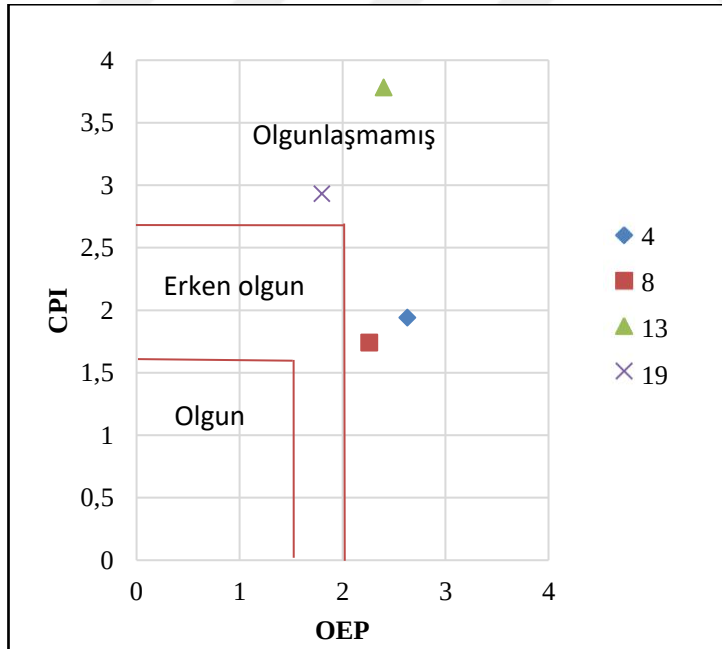
$$CPI = 2(C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29}) / [C_{22} + 2(C_{24} + C_{26} + C_{28}) + C_{30}]$$

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

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

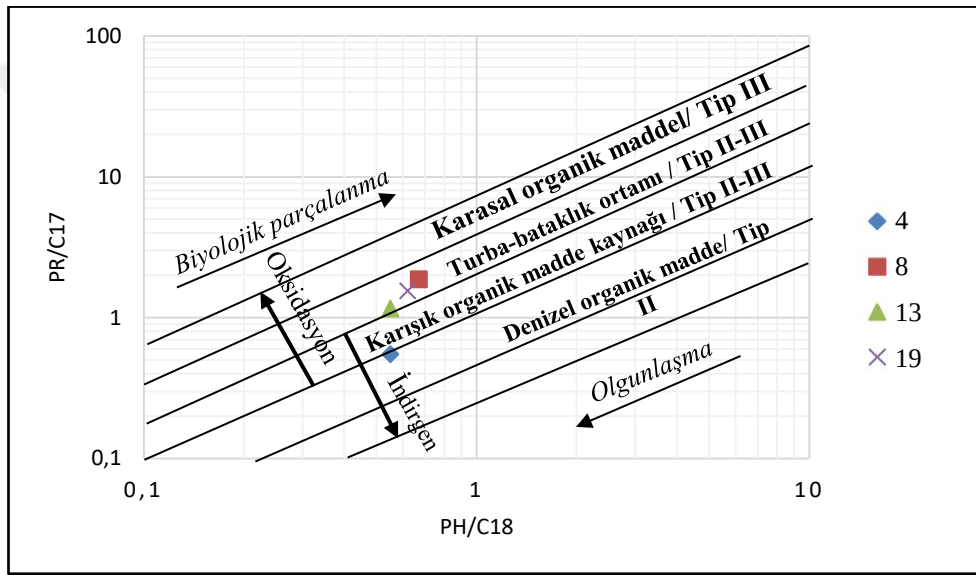
N-alkan dağılımı nC₁₅-nC₃₅ aralığında olup gaz kromatogramlarında bimodal yada nC₂₃-nC₃₅ dizisine doğru çarpık bir n-alkan dağılımı sergilemektedir. Bu da karasal yüksek bitki girdisine işaret etmektedir. (Tissot ve Welte 1984).

Tek karbon sayılı n-alkanların çift karbon sayılı n-alkanlara oranı termal olgunlaşmanın belirlenmesinde kullanılabilir. OEP değerleri de (1.80-2,63) ve CPI değerleri (1.74-3.78) Adedosu 2009'dan değiştirilerek alınan OEP-CPI diyagramında olgunlaşmamış organik maddeye işaret eder (Şekil 4.19.). Elde edilen kromatogramlarda ayrıca örneklerin düşük olgunlukta olması nedeniyle yüksek kambur oluşumları görülmektedir (Şekil 4.19). Bu kömür örneklerinde, özellikle de olgunlaşması düşük kömürler için tipik bir özelliktir (Yalçın Erik ve Sancar 2010, Yalçın Erik 2011, Hökerek 2015).

**Şekil 4.19.** OEP-CPI diyagramına göre olgunlaşma düzeyi

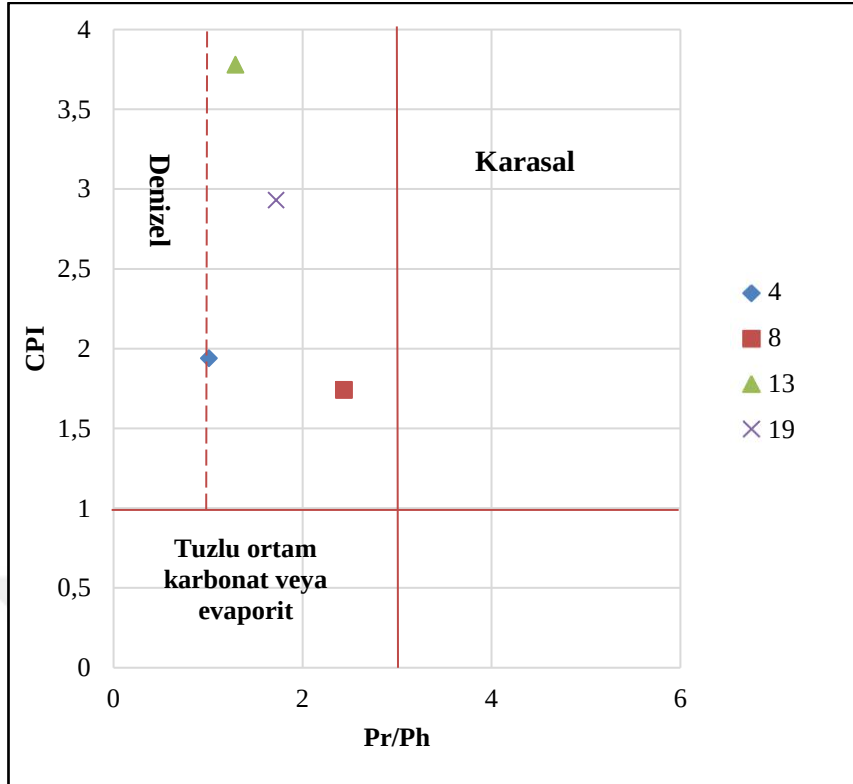
Normal yapıdaki alkanlar izoprenoidlerden daha fazladır. Pristan (Pr) (2,6,10,14-tetrametil pentadekan) ve Fitan (Ph) (2,6,10,14-tetrametil heksadekan) en yaygın

izoprenoid bileşikleridir. Pr/Ph oranı sedimantasyon koşullarının bir göstergesi olarak kullanılır ve en sık kullanılan parametrelerden biridir. İnceleme sahasına ait örneklerin Pr/Ph oranları 1.01 ve 2.44 arasında değişmektedir. Eğer pristan ve fitanın aynı veya benzer kaynaklardan türetildiği varsayılırsa, Pr/Ph oranı kaynak çökellerin indirgenmesinin bir göstergesidir. 1-3 arasında olan Pr/Ph değerleri inceleme bölgesinin gölsel oksik-suboksik şartlarda olduğunu göstermektedir. (Çizelge 4.7). Peters ve Moldowan (1993)'a göre, $Pr/nC_{17} > 0.6$ ise karasal kaynak, $Pr/nC_{17} < 0.5$ ise denizel kaynak kayadır. İnceleme alanından alınan örneklerde Pr/nC_{17} oranları (Çizelge 4.7) karasal organik maddeyi göstermektedir. Yüksek Ph/nC_{18} oranları karasal kökenli organik madde girdisini göstermektedir (Hunt 1996). Pr/nC_{17} ve Ph/nC_{18} değerlerinin Cannon-Cossou diyagramında (Şekil 4.20) oksik- suboksik koşullarda, karışık ve zaman zaman göllerin olduğu bir turba bataklığında çöktüğü görülmektedir ve organik maddenin Tip II-III olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.20. Pr/nC17-Ph/nC18 diyagramında incelenen örneklerin çökme ortamı özellikleri ve organik madde tipleri

İzoprenoid ve normal alkanlar, organik maddenin gölsel bir çökme ortamı koşullarında biriktiğini doğrulamaktadır (Şekil 4.21) (Peters vd. 2005; Hakimi ve Abdullah 2013).



Şekil 4.21. Kaynağa bağlı CPI - Pr/Ph değerleri

Sucul/karasal oranlarının (TAR) yüksek olması sucul kaynaklara göre havzaya daha fazla karasal girdi(input) olduğunu göstermektedir (Bourbonniere ve Meyers 1996). İncelenen örneklerde TAR oranı 13.70-23.36 arasında değişmekte olup karasal girdi olduğunu göstermektedir.

4.5.1. Gaz kromatografi-kütle spektrometri sonuçlarının değerlendirilmesi

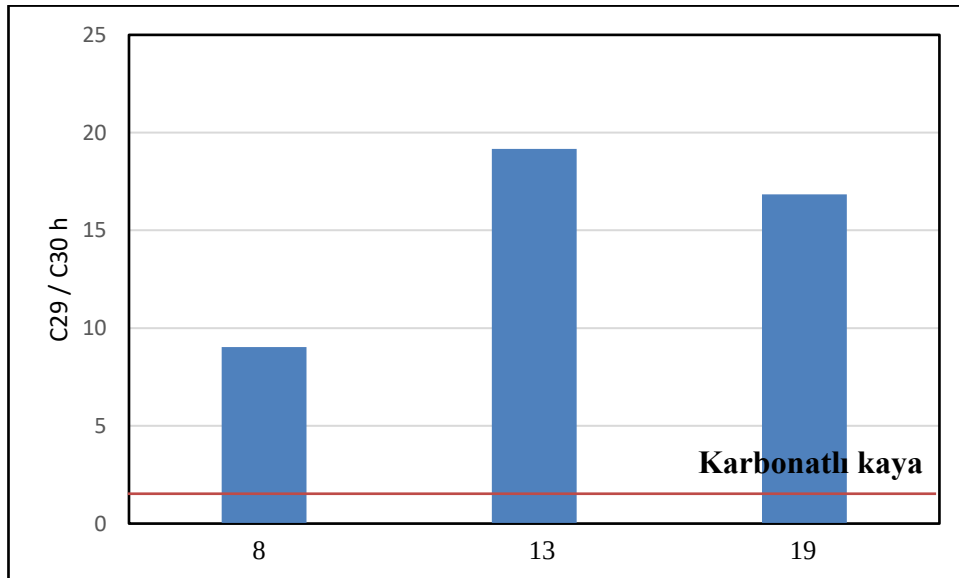
Olgunluk göstergesi olarak T_s/T_m oranı en güvenilir yöntemdir. İncelen kömür örneklerinde T_s/T_m oranı 0.15-0.34 arasında olup örneklerin olgunlaşmamış-erken olgun seviyesinde olduğunu göstermektedir. $T_s/(T_s+T_m)$ oranı olgunlaşmayla 0'dan 1'e yükselir. Düşük $T_s/(T_s+T_m)$ oranı (0,13-0,25) kömürlerin olgunlaşmadığını karakterize etmektedir. $C_{29}T_s/(C_{29}h+C_{29}T_s)$ oranı olgunlaşma ile artan bir eğilim sergiler. Kömür örneklerinde $C_{29}T_s/(C_{29}h+C_{29}T_s)$ oranı 0.03-0.33 aralığında olup olgunlaşmamıştır. Yüksek moretan/hopan oranı (0.79-1.17) kömürlerin olgunlaşmadığını karakterize etmektedir (Çizelge 4.8).

Yüksek $C_{30}^*/C_{29}T_s$ oranı oksik-suboksik çökelme koşullarını ve düşük değerleri ise anoksik koşulları gösterir (Peters vd. 2005). 13 no'lu örnekte yüksek (11.81) ve 19 no'lu örnekte düşük (0,65) olup ortam suboksik-oksik ve anoksik koşulları göstermektedir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Kömürlü birimleri için hesaplanan biyomarker parametreleri

Parametreler	Örnek No		
	8	13	19
T_s/T_m	0.34	0.15	0.30
$T_s/(T_s + T_m)$	0.25	0.13	0.23
$C_{30}^*/C_{29}T_s$	-	11.81	0.65
$C_{29}T_s/(C_{29}h + C_{29}T_s)$	0.33	0.03	0.06
$C_{29} / C_{30} h$	9.03	19.17	16.84
Moretan/ $C_{30} h$	1.16	1.17	0.79
Gammaseran indeksi	0.25	0.30	0.11
$C_{27}, \%$	24	4	14
$C_{28}, \%$	24	19	31
$C_{29}, \%$	52	77	55
C_{29} / C_{27}	2.13	20	4
$C_{29} S / (S+R)$	0.30	0.28	0.33
$C_{29} \beta\beta / (\alpha\alpha + \beta\beta)$	0.38	0.69	0.30
Diasteran / $C_{27} R$	0.21	3.73	0.33

Kaynak kayalarında karbonat bileşeninin varlığını gösteren parametre yüksek $C_{29}/C_{30} h$ ' dir. (Şekil 4.22). Yüksek $C_{29}/C_{30} (>1)$ oranının anoksik koşullarda marn ve karbonatlardan kaynaklandığı belirtilir (Riva vd. 1989, Waples ve Machihara 1991, Peters vd. 2005). Düşük (<1) değerler ise kırıntılı kaynak kaya belirticidir. C_{29}/C_{30} oranı kömür örneklerinde (9.03-19.17) yüksek değer göstermekte olup, karbonatlı kaynak kayaya işaret etmektedir (Hökerek 2015).

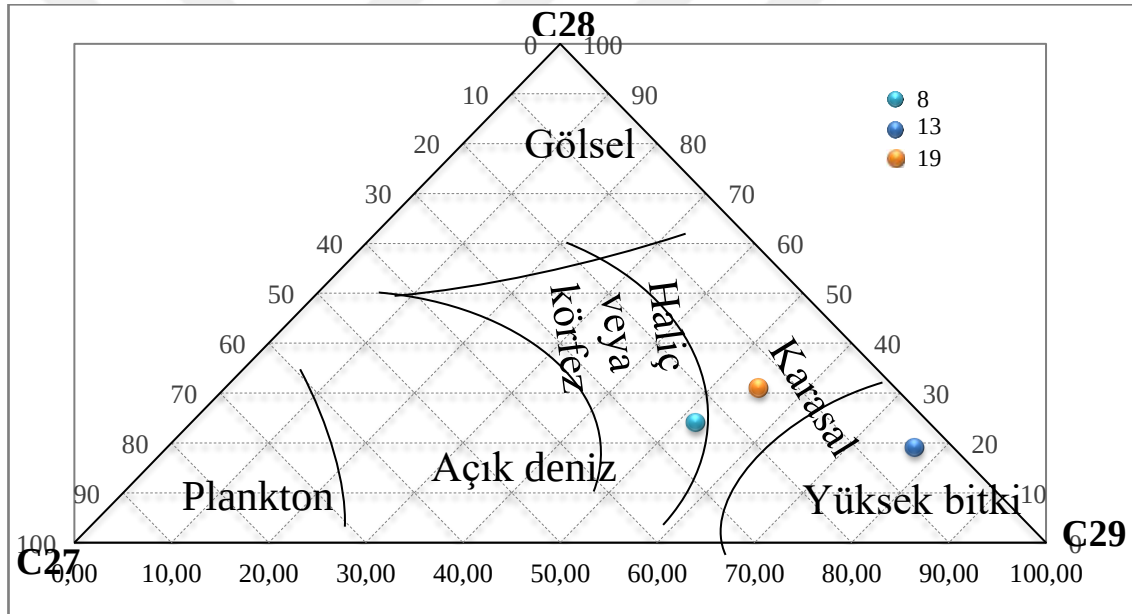
**Şekil 4.22.** C29 / C30 hopan parametresinin dağılımı

İncelenen kömür numunelerinde gammaseran indeksi 0.11 ila 0.30 arasında değişmektedir ve tuzsuz veya az tuzlu ortamı göstermektedir.

İncelenen örneklerde diasteran/steran oranları düşük (0.21-3.73) değerler sunmakta olup, karbonatça zengin kaynak kayayı göstermektedir.

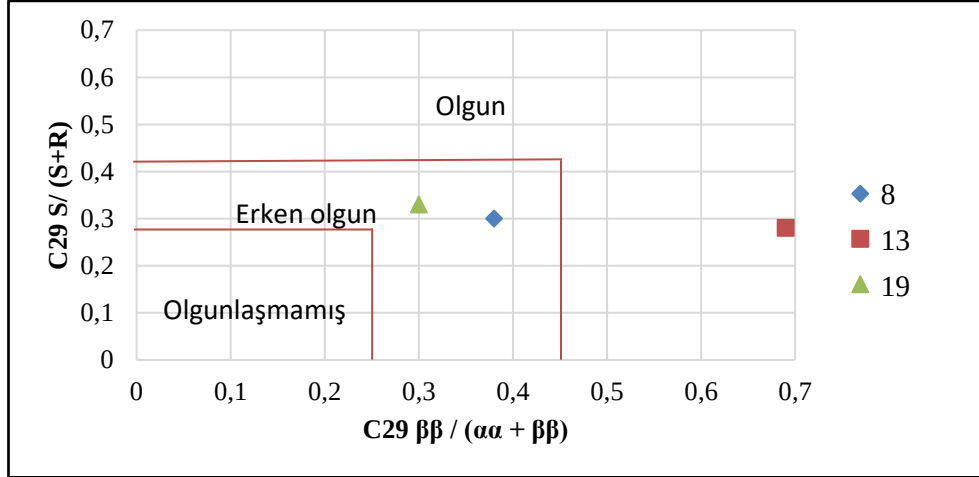
Düzenli steranlar olarak adlandırılan C27-C30, düzenli steranların bolluk oranları organik maddenin tipine bağlı olarak değişim göstermekte olup, paleoortamsal bilgiler verebilmektedir. Elde edilen steran dağılımlarında baskın steran C29 ve genel sıralama C29>C27>C28 olarak belirlenmiştir. Bütün örneklerde C29>C28>C27 sıralaması görülmektedir ve C29 steranın baskın olması karasal organik madde girişini göstermektedir (Huang ve Meinschen 1979, Robinson 1987, Czochanska vd. 1988, Abrams vd. 1999).

C29/C27 steran oranında değerler 2.13-20 arasındadır. Huang ve Meinschen 1979 tarafından geliştirilen C27, C28, C29 üçgen diyagramında örneklerin dağılımı görülmektedir (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Steran bileşimleri arasındaki ilişkiyi gösteren C27, C28, C29 üçgen diyagramı

C₂₉ S/(S+R) ve C₂₉ ββ/(ββ+αα) steran oranı olgunlaşma ile birlikte artar ve sırasıyla 0,55 ve 0,7’de dengeye ulaşır (Mackenzie ve McKenzie 1983, Seifert ve Moldowan 1986, Waples ve Machihara 1991, Marzi ve Rullkötter 1992, Peters ve Moldowan 1993, Hunt 1995). Kömür örneklerinde C₂₉ S/(S+R) steran oranı 0.28-0.33, C₂₉ ββ/(ββ+αα) steran oranı 0.30-0.69 olarak bulunmuştur (Şekil 4.22.). Değerler 9 ve 13 no’lu örnek dışında dengeye ulaşmamış olup erken olgun düzeydedir. Şekil 4.24.’deki diyagramda da erken olgun kısmı göstermektedir.



Şekil 4.24. Örneklerin olgunlaşma derecesini gösteren $C_{29} S / (S+R)$ ve $C_{29} \beta\beta / (\beta\beta + \alpha\alpha)$ diyagramı

5. SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tezi çalışması ile Tekirdağ ili sınırları içerisinde Soylu Köyü (Hayrabolu) Yöresindeki kömürlerin ve kömürlü birimlerin organik jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi yapılmıştır. Organik jeokimyasal özellikler için organik maddenin tipi, miktarı ve olgunlaşma düzeyleri belirlenmiş ve bu nitelikleri ortaya çıkarmak için TOC, Piroliz, vitrinit yansıması gibi organik jeokimyasal ve petrografik analizler yapılmıştır. Bu özellikler GC ve GC-MS analizleriyle de doğrulanmaya çalışılmıştır.

Örnekler üzerinde yapılan jeokimyasal analizler sonucunda; toplam organik karbon (TOC) miktarı % 0,22-49,83 (ortalama % 27,46), hidrojen indeksi (HI) 32-137 mgHC/gTOC (ortalama % 77,33), oksijen indeksi (OI) 49-233 mgHC/gTOC (ortalama % 85,86), Tmax değerleri 408-434 °C (ortalama % 425,4) aralıklarında değişmekte olduğu tespit edilmiştir.

Organik madde tipini belirlemek için S2-TOC, HI-OI, HI-Tmax diyagramlarından yararlanılmıştır ve Tip III kerojen (karasal bitki kökenli) olduğu tespit edilmiştir. Tmax değeri ortalama 425,4 °C olup bu değer olgunlaşmamış organik maddeye karşılık gelmektedir. HI-TOC diyagramına göre organik maddenin kaynak kayasının gaz köken potansiyeline sahip olduğu ortaya çıkmaktadır.

Hüminit yansıması sonuçlarına göre ortalama % (yüzde) değerler elde edilmiştir. Bu değerler organik maddenin olgunlaşmamış olduğunu göstermekte olup, bu sonuç Rock-Eval sonuçları ile de örtüşmektedir.

Dolomit, aragonit, kuvars, kalsit, kil mineralleri, feldispat grubu mineraller, plajiyoklaz grubu mineraller ve pirit olduğu görülen örneklerde aynı zamanda kil minerallerinin de oldukça bol miktarda bulunduğu gözlenmiştir. Karbonat grubu minerallerinden kalsitin dolomit göre daha çok bulunması kalsitin kömürün ana karbonat minerali olduğunu göstermektedir.

İncelenen örneklerde yüksek oranda bulunan kil minerallerinin smektit ve illit olduğu, smektitin diğer kil minerallerinden ise daha fazla olduğu belirlenmiştir. Smektitin miktarda çok fazla olması illite dönüşmediğini gösterir. Bu da inceleme alanındaki kömürün olgunlaşmamış-erken olgun olduğunu gösterir.

Mikroskobik incelemelerde tespit edilen ve genelde kömürlü birimlerin yoğun olarak hüminit, liptinit ve inertinit grubu maseral varlıklarını içerdiği ve ilgili örneklerin yüzde (%) 54'ten fazla oranda hüminit grubu maserallerden oluştuğu görülmektedir. Hüminit grubu maseraller içinde ise en fazla bulunan maseral ise genelde gelinitdir. Kömürlü birimlerde nispeten daha az oranlarda bulunan maseral gruplarının ise; liptinit ve inertinit olduğu görülmektedir. İnertinit grubu maseraller içinde ise en fazla bulunan maseral ise genelde makrinitdir. Liptinit grubu maseraller içinde ise en fazla bulunan maseralın ise genelde sporinit olduğu görülmektedir. Petrografik dağılım analizi sonuçlarında; örneklerde inorganik madde olarak bulunma yoğunluğuna göre sıraladığımızda en çok kil ve silikat mineralleri, pirit ve kalsit bulunduğu tespit edilmiştir.

Gaz Kromatografi Analizleri sonucunda; n-alkan dağılımı nC_{15} - nC_{35} aralığında olup gaz kromatogramlarında bimodal ya da nC_{23} - nC_{35} dizisine doğru çarpık bir n-alkan dağılımı sergilemektedir. Bu da karasal yüksek bitki girdisine işaret etmektedir.

OEP (1.80-2,63) ve CPI değerleri (1.74-3.78) OEP-CPI diyagramında olgunlaşmamış organik maddeye işaret etmektedir. Kromatogramlarda ayrıca örneklerin düşük olgunlukta olması nedeniyle yüksek fragmentogram şekilleri söz konusudur. Bu da incelenen örneklerin olgunlaşmasının düşük olduğunu göstermektedir.

Normal yapıdaki alkanlar izoprenoidlerden daha fazladır. Pristan (Pr) (2,6,10,14-tetrametil pentadekan) ve Fitan (Ph) (2,6,10,14-tetrametil heksadekan) en yaygın izoprenoid bileşikleridir. İnceleme sahasına ait örneklerinin Pr/Ph oranları 1.01 ve 2.44 arasında değişmektedir. Değerlerin 1-3 arasında olması nedeniyle inceleme alanının gölgesel ve oksik-suboksik koşullar altında olduğunu göstermektedir. Örneklerin Pr/nC_{17} oranları karasal organik maddeye işaret etmektedir. Pr/nC_{17} ve Ph/nC_{18} değerlerinin ise oksik- suboksik koşullarda, karışık ve zaman zaman göllerin olduğu bir turba bataklığında çökeldiğini ifade etmektedir ve organik maddenin Tip II-III olduğunu belirtmektedir.

Normal alkan ve izoprenoid verileri gölgesel bir çökeltme ortamı koşullarında biriktiğini doğrulamaktadır. Karasal/sucul oranlarının (TAR) daha yüksek olması sucul kaynaklara göre havzaya daha fazla karasal girdi (input) olduğunu işaret eder. TAR oranı 13.70-23.36 arasında değişmekte olup karasal girdiyi gösterir.

C_{29}/C_{30} oranı (9.03-19.17) yüksek değer göstermekte olup, karbonatlı kaynak kayaya işaret etmektedir. Gammaseran indeksi 0.11 ila 0.30 arasında değişmektedir ve tuzsuz veya az tuzlu ortamı belirtir. Diasteran/steran oranları düşük (0.21-3.73) değerler sunmakta olup, karbonatça zengin kayayı göstermektedir.

Steran dağılımlarında baskın steran C_{29} ve genel sıralama $C_{29}>C_{27}>C_{28}$ olarak belirlenmiştir. Bütün örneklerde $C_{29}>C_{28}>C_{27}$ sıralaması görülmektedir ve C_{29} steranın baskın olması karasal organik madde girişini ifade etmektedir. Kömür örneklerinde $C_{29} S/(S+R)$ steran oranı 0.28-0.33, $C_{29} \beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ steran oranı 0.30-0.69 olarak bulunmuştur. Değerler 13 No lu örnek dışında dengeye ulaşmamış olup erken olgun düzeydedir.

6. KAYNAKLAR

- Adam, D. 2008. World CO₂ Levels at Record High, Scientists warn. *Guardian*, May 12, 2008.
- Akbıyık, A.O., 2021. Karaiğdemir baraj gölü (Tekirdağ) çevresindeki kömürlü birimlerin ana-eser element zenginleşmeleri ve bunların çevre sağlığı açısından etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Akartuna, M. 1968. Armutlu Yarımadasının Jeolojisi. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografiler, 20, 105 s.
- Alişan, C. 1985. Trakya "I" Bölgesi'nde Umurca-1, Kaynarca-1, Delen-1 kuyularında kesilen formasyonların palinostratigrafisi ve çökelme ortamlarının değerlendirilmesi. TPAO Araştırma Grubu Raporu No: 386 (yayınlanmamış), Ankara.
- Altunsoy, M.ve Özçelik, O. 1993. Organik Fasiyesler. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 43: 34-39.
- Baskın, D.K. 1997. Atomic H/C ratio of kerogen as an estimate of thermal maturity and organic matter conversion. *AAPG Bulletin*, 81 (9):1453-1450.
- Batı, Z., Erk, S., Akça, N. 1993. Trakya Havzası Tersiyer Birimleri'nin palinomorf, foraminifer ve nannoplankton biyostratigrafisi. TPAO Araştırma Grubu Rapor No: 1947 (yayınlanmamış), Ankara.
- Batı, Z., Alişan, C., Ediger, V.Ş., Teymur, S., Akça, N., Sancay, H., Ertuğ, K., Kirici, S., Erenler, M., Aköz, Ö. 2002. Kuzey Trakya Havzası'nın palinomorf, foraminifer ve nannoplankton biyostratigrafisi. Türkiye Stratigrafi Komitesi Çalıştay (Trakya Bölgesi'nin Litostratigrafi Adlamaları) Özleri, s. 14.
- Boggs, Jr.S. 2009. Petrology of sedimentary rocks. Cambridge University Press, UK, 2nd edition, 600 p.
- Burke, W. F. and Uğurtaş, G. 1974. Seismic interpretation of Thrace Basin, in H. Okay and E. Dileköz, eds., Proceeding of second petroleum congress of Turkey: Association of Turkish Petroleum Geologists, 227-248.
- Çağlayan, M.A. ve Yurtsever, A. 1998. Burgaz-A3, Edirne-B2 ve B3; Burgaz-A4 ve Kırklareli- B4; Kırklareli-B5 ve B6; Kırklareli-C6 paftaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1:100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları, No: 20, 21, 22, 23, Ankara.
- Doust, H. ve Arıkan, Y. 1974. The geology of the Thrace Basin. Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğleri Kitabı, ss. 119-136.
- Connan, J. and Cossou, A.M. 1980. Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44: 1-23.
- Demirtaş, F., 2012. Gelibolu Yarımadası (Çanakkale) Tersiyer Yaşlı Birimlerin Stratigrafisi, Sedimentolojisi Ve Kömür Petrografisi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Üniversitesi, Çanakkale
- Dow, W.G. 1977. Kerogen studies and geological interpretations. *Journal of Geochemical Exploration*, 7: 79-99.

- DSİ, 2016. Ergene alt havzası hidrojeoloji haritası. DSİ 11. Bölge Müdürlüğü, Edirne.
- Durand, B., Espitalie, J. and Nicasle, G. 1972. Etude dela matiere organique des Argiles du toarcien de Basin de Paris Etude parles procedes optiques analyse elemantarie, Etude microscopre et diffraction electronigues. *Rev. Ist. Fr.*, 27: 865-884.
- Ediger, V.Ş. 1982. Kuleli Babaeski sırtının (KB Trakya) paleo-ortamsal incelemesi ve Kuzey Trakya havzasının hidrokarbon potansiyelinin değerlendirilmesinde yeni yaklaşım. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Rapor No: 1995 (yayınlanmamış), Ankara.
- Ediger, V.Ş. and Alişan, C. 1989. Tertiary fungal and algal palynomorph biostratigraphy of the northern Thrace basin, Turkey. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 58: 139-161.
- Espitalie, J., Madec, M. and Tissot, B. 1977. Source Rock Characterization, 9th Offshore Technology Conference. 439-444.
- Gluskoter, H.J., Ruch, R.R., Miller, W.G., Cahill, R.A., Dreher, G.B. and Kuhn, J.K. 1977. Trace elements in coal: Occurrence and distribution. III. State Geol. Surv. Circ. No. 499, 154 p.
- Görür, N. and Okay, A.I. 1996. Fore-arc origin of the Thrace basin, northwest Turkey. *Geologische Rundschau*, 85: 662-668.
- Güllüdağ, C.B., 2019, Malkara (Tekirdağ) kömürlerinin organik jeokimyasi, ana-eser element içerikleri ve çevresel etkilerinin CBS destekli incelenmesi, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Hakimi, M. H. and Abdullah, W. H. 2013. Organic geochemical characteristics and oil generating potential of the Upper Jurassic Safer shale sediments in the Marib-Shabowah Basin, western Yemen. *Organic Geochemistry*, 54: 115–24.
- Hökerek, S. 2015. Yaylaköy, Kalemköy ve Eynez (Soma) Neojen kömürlerinin biyomarker jeokimyası, ana-iz element özellikleri ile organik fasiyes değişimleri. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 124 s.
- Huang, W.Y. and Meinschein, W.G. 1979. Sterols as ecological indicators. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 43: 739–745.
- Jackson, K.S., Hawkins, P.J. and Bennett, A.J.R. 1985. Regional Facies and Geochemical Evolution of Southern Denison Trough. *APEA Journ.*, 20: 143-458.
- Karayigit, A.İ., Okay, R.G., and Çelik, Y. 2021, Mineralogy, petrography, and Rock-Eval pyrolysis of late Oligocene coal seams in the Malkara coal field from the Thrace Basin (NW Turkey). *International Journal of Coal Geology* (in press).
- Kasar, S., 1987, Edirne-Kırklareli-Saray (Kuzey Trakya) bölgesinin jeolojisi. Türkiye 7. Petrol Kongresi Tebliğleri Kitabı, 281-291.
- Kasar, S., Bürkan, K., Siyako, M., ve Demir, O., 1983, Tekirdağ-Şarköy-Keşan-Enez bölgesinin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları, TPAO Araştırma Grubu Arşivi, (yayınlanmamış) rapor no, 1771, 71s., Ankara

- Kasar, S., ve Eren, A., 1986, Kırklareli-Saray-Kıyıköy bölgesinin jeolojisi. TPAO Araştırma Grubu Arşivi, (yayımlanmamış) rapor no,2208, 45 s., Ankara.
- Keskin, C., 1966, Pınarhisar resif karmaşığı mikrofasiyes incelemesi, Rev. Fac. Scien. Univ. İst., Seri B, 31/3-4, s. 109-146.
- Keskin, C. 1974. Kuzey Trakya Havzası'nın Stratigrafisi, Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliği Kitabı, ss. 137 – 163
- Mukhopadhyay, P.K. 1986. Petrography of selected Wilcox and Jackson Group lignites from the Tertiary of Texas. In: R.B.Finkelman and D.J. Casangrande, (Eds.). Geology of Gulf Coast Lignites, Field Trip Guide Book, Geological Society of America, Boulder, CO, p.140.
- Langford, F.F. and Blanc-Valleron, M.M. 1990. Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vd. total organic carbon. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, 74:799-804.
- Lebküchner, L.B., 1974, Orta Trakya Oligoseni'nin jeolojisi hakkında. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, 83, 1-29.
- Perinçek, D. 1987. Trakya havzası renç fay zonunun sismik özellikleri. Türkiye 7.Petrol Kongresi Bildirileri, ss. 11-20.
- Perinçek, D. 1991. Possible strand of the North Anatolian Fault in the Thrace Basin, Turkey – an interpretation. *AAPG Bulletin* 75: 241 – 257.
- Perinçek, D., Karşlıoğlu, Ö. 2007. Çanakkale Boğazı'nın oluşumu ve Kuvaterner yaşlı birimlerin dağılımında fayların rolü. 60. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özetleri, 16-22 Nisan, Ankara, 478-479.
- Perinçek, D. 2010 a. Trakya Havzası'nın Linyit İmkanları TKİ Rapor, Ocak 2010, 55 s. Ankara (yayımlanmamış).
- Perinçek, D. 2010b. Trakya Havzası'nın Linyit İmkanları TKİ Rapor, Mart 2010, 37 s. Ankara (yayımlanmamış).
- Perinçek, D. 2010c. Trakya Havzası'nın Linyit İmkanları TKİ Final Rapor, Aralık 2010, 51 s. Ankara (yayımlanmamış).
- Perinçek, D., Ataş, N., Erensoy, E., Karatut, Ş. Kösebalaban, A., Ergüder İ., Ünal., Y. 2011. Trakya Havzası'nın linyit potansiyeli ve bunu kontrol eden jeolojik faktörler.64. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özetleri, 16-25-29 Nisan 2011, Ankara, 93-94
- Perinçek, D., Ataş, N., Karatut, Ş. and Erensoy, E. 2015. Trakya Havzasında, Danışmen Formasyonu içindeki linyit katmanlarının potansiyelini kontrol eden jeolojik faktörler. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 150: 79-110.
- Peters, K.E. 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rocks using programmed pyrolysis. *AAPG Bull.*, 70: 318-329.
- Peters, K.E. and Cassa M.R. 1994. Applied source rock geochemistry. In, L.B. Magoon and W.G. Dow (Eds.), The Petroleum System – From Source to Trap. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 60, pp. 93-120.

- Peters, K.E., Walters, C.C. and Moldowan, J.M. 2005. The Biomarker Guide, Vol.2: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1155p.
- Saner, S. 1985. Saros Körfezi dolayının çökelme istifleri ve tektonik yerleşimi, Kuzeydoğu Ege Denizi, Türkiye. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 28, 1-10.
- Saraç, G. 1987. Kuzey Trakya bölgesinde Edirne-Kırklareli-Saray-Çorlu-Uzunköprü Derekebir yörelerinin memeli paleo-faunası. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Siyako, M., 2005, Trakya ve yakın çevresinin Tersiyer stratigrafisi, TPAO Arama Dairesi Arşivi, (yayınlanmamış) rapor no, 4608, 104s., Ankara
- Siyako, M. 2006 a. Trakya Havzası'nın linyitli kumtaşları. *Maden Tetkik Arama Dergisi*, 132: 63 – 73.
- Siyako, M. ve Kasar, S., 1985, Edirne-Lalapaşa-Kırklareli bölgesinin jeolojisi. TPAO Arama Dairesi Arşivi, (yayınlanmamış) rapor no, 2062, 78s., Ankara
- Siyako, M., Bürkan, K., Okay, A.I. 1989. Biga ve Gelibolu yarımadalarının Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 1: 183-199.
- Sütçü, E., Paker, S., Nurlu, P., Kumtepe, P. ve Cengiz, T., 2009. Tekirdağ-Malkara havzasında CBS yöntemleriyle potansiyel kömür sahalarının belirlenmesine yönelik iki değişkenli istatistiksel yaklaşım. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi Bildirileri, 02-06 Kasım 2009, İzmir.
- Şengüler, İ., Toprak, S., Kara, H., Öner, A., Tuncalı, E. ve Kır, N. 2000. Güney Trakya Bölgesindeki kömürlerin petrografik incelemesi ve ortamsal yorumu. Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, ss. 173-180. Karadeniz Ereğlisi, Zonguldak.
- Şengüler, İ., Akman, Ü., Taka, M., Dümenci, S., Kalkan, İ., Kır, N. ve Sulu, K. 2003. Güney Marmara Neojen Havzalarının kömür potansiyeli. 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, ss. 212-213. Ankara.
- Şengüler, İ. 2008. Trakya Havzası Kömür Aramaları Projesi Raporu (2005-2006-2007 Yılı Sondajları), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11069 (yayınlanmamış), Ankara.
- Şengüler, İ. 2013. Ergene (Trakya) Havzası'nın jeolojisi ve kömür potansiyeli. Maden Tetkik ve Arama Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 16: 109-114.
- Thomas, B.H. 1979. Geochemical analysis of hydrocarbon occurrences in northern, Perth Basin, Australia. *AAPG Bull.*, 63: 1092-1107.
- Tissot, B. 1979. Effects on prolific petroleum. *Nature*, 277: 377-380. Tissot, B. and Welte, D.H. 1984. Petroleum Formation and Occurrence. Springer-Verlag, Berlin, 699 p.
- Turgut, S. and Eseller, G. 2000. Sequence stratigraphy, tectonics and depositional history in Eastern Thrace Basin, NW Turkey. *Marine and Petroleum Geology*, 17: 61-100.
- Turgut, S., Siyako, M. ve Dilki, A. 1983. Trakya Havzası'nın jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *Türkiye Jeoloji Kongresi Bülteni*, 4: 35-46.

- Türkiye Linyit Envanteri, 2010. Maden Tetkik Arama Enstitüsü envanter serisi – 202, Ankara, 371 s.
- Umut, M, İmik, M., Kurt, Z., Özcan, İ., Ateş, M., Karabıyıkoglu M., Saraç, G. 1984. Edirne İli-Kırklareli İli-Lüleburgaz (Kırklareli İli)-Uzunköprü (Edirne İli) civarının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7604, (yayınlanmamış), Ankara.
- Ünal, N. 2018. Şarkikaraağaç (Isparta) Kömürlerinin organik jeokimyası ve iz element dağılımı. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 129 s.
- Ünal, O. T. 1967. Trakya jeolojisi ve petrol imkanları. TPAO Arama Grubu Rapor No: 391 (yayınlanmamış), Ankara.
- Yalçın Erik, N. and Sancar, S. 2010. Relationships between coal-quality and organic-geochemical parameters: A case study of the Hafik coal deposits (Sivas Basin, Turkey). *International Journal of Coal Geology*, 83: 396-414
- Yalçın Erik, N. 2011. Hydrocarbon generation potential and Miocene–Pliocene paleoenvironments of the Kangal Basin (Central Anatolia, Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*. 42: 1146-1162.
- 25 Mayıs 2021, <https://www.setav.org>

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Çağatay KAYA

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2018-2021	Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	Ankara Üniversitesi
2007-2012	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Vergi Müfettişi	Hazine ve Maliye Bakanlığı
2014-Devam Ediyor	Vergi Denetim Kurulu Başkanlığı İstanbul Vergi Kaçakçılığı-1 Daire Başkanlığı