

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**TUNÇBİLEK (TAVŞANLI-KÜTAHYA) FC PANO AÇIK İŞLETME  
SAHASI KÖMÜRLERİNİN ORGANİK FASİYES ÖZELLİKLERİ**

**Ceren KAZANCI**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ŞUBAT 2020**

**ANTALYA**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



TUNÇBİLEK (TAVŞANLI-KÜTAHYA) FC PANO AÇIK İŞLETME  
SAHASI KÖMÜRLERİNİN ORGANİK FASİYES ÖZELLİKLERİ

Ceren KAZANCI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞUBAT 2020

ANTALYA

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

**TUNÇBİLEK (TAVŞANLI-KÜTAHYA) FC PANO AÇIK İŞLETME  
SAHASI KÖMÜRLERİNİN ORGANİK FASİYES ÖZELLİKLERİ**

**Ceren KAZANCI  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi  
tarafından FYL-2019-4818 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**ŞUBAT 2020**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUNÇBİLEK (TAVŞANLI-KÜTAHYA) FC PANO AÇIK İŞLETME  
SAHASI KÖMÜRLERİNİN ORGANİK FASİYES ÖZELLİKLERİ

Ceren KAZANCI  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 06/02/2020 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK (Danışman)

Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÜNAL

## ÖZET

### TUNÇBİLEK (TAVŞANLI-KÜTAHYA) FC PANO AÇIK İŞLETME SAHASI KÖMÜRLERİNİN ORGANİK FASİYES ÖZELLİKLERİ

Ceren KAZANCI

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

Şubat 2020; 77 sayfa

Bu çalışmada Tavşanlı ilçesi (Kütahya-Tunçbilek) sınırları içerisinde yer alan FC Pano açık işletme sahası kömürlerinin organik jeokimyasal ve organik petrografik özellikleri incelenmiştir. Havzada Miyosen yaşlı birimler konglomera, kumtaşı, kil, kıltaşı, kömür ve marndan oluşmaktadır.

Alt bitümlü kömürlerin toplam organik karbon değerleri (TOC) % 8,25-55,01, hidrojen indeksi değerleri (HI) 185-389 mg HC/g TOC ve Tmax değerleri 426-437 °C arasında değişmektedir. Rock-Eval piroliz analizi ve organik petrografik çalışmalar ile kerojen tipi II-III olarak belirlenmiştir. Tmax değerleri hidrokarbon üretimi için olgunlaşmamış-erken olgun aralığını göstermektedir. Kömürler potansiyel kaynak kaya özelliği göstermelerine rağmen henüz gaz/petrol oluşturacak kadar olgunlaşmamıştır. Organik fasiyes çalışmalarına göre fasiyes tipi baskın olarak C, birkaç örnekte BC olarak belirlenmiştir.

Tunçbilek kömürlerinin hüminit yansıma ölçümleri % 0,48 - 0,60 Ro arasındadır ve olgunlaşmamış-erken olgun organik maddeyi ifade eder. Bu değerlere göre kömür sınıfı alt bitümlü kömür olarak belirlenmiştir. Hüminitler (% 30-80) çalışma alanındaki en baskın maseral grubunu oluşturur. Daha düşük miktarlarda liptinit (% 1-8) ve inertinit (% 2-7) grubu maserallerine de rastlanılmaktadır. Maseral analizi sonuçlarına göre linyitler limnik-limnotelmatik bataklık zonlarında oluşmuşlardır.

Kömür örneklerinin elementel analiz sonuçlarına göre karbon (C) miktarı % 23,62-67,20, hidrojen (H) miktarı % 1,72-5,49, oksijen (O) miktarı % 6,41-10,2 arasında değerlere sahiptir. Azot (N) değerlerine bakıldığında ise % 1,27-2,23 arasında değerler göstermektedir. İncelenen kömürler ortalama % 0,17- 2,76 kükürt (S) değerleri ile yüksek değerler sunmuş olup, limnik- limnotelmatik ortamı belirtmektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Kömür, Organik Fasiyes, Organik Jeokimya, Organik Petrografi, Tunçbilek

**JÜRİ:** Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÜNAL

## ABSTRACT

### ORGANIC FACIES CHARACTERISTICS OF FC PANO OPENCAST MINE COALS, TUNÇBILEK (TAVŞANLI-KUTAHYA)

Ceren KAZANCI

MSc Thesis in Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

February 2020; 77 pages

Organic geochemical characteristics and organic petrographic features of Tavşanlı (Kütahya-Tunçbilek) coals located in the south of the FC pano basin were investigated within this study. The Miocene units in the basin consist of conglomerate, sandstone, mudstone, clay, claystone, coal and marl.

Total organic carbon (TOC) values are between 8,25-55,01 %, hydrogen index (HI) values vary between 185-389 mg HC/g TOC and Tmax values vary between 426-437 °C of subbituminous coal. Kerogen in the deposits is type II-III, as indicated by organic petrographic observations and Rock-Eval pyrolysis data. Tmax values indicate an immature-early mature stage for hydrocarbon production. Although coals represented potential source rock characteristics, they were immature for gas/oil production. Facies C and BC was determined according to the organic facies evaluation.

Huminite reflectances measured on the coal samples between 0,48 - 0,60 % Ro and it shows that immaturity-early mature stage. These values indicate that coal rank can be classified as subbituminous coal. Huminite is the most abundant maceral group (30-80 %). Small amounts of liptinite (1-8 %) and inertinite (2-7 %) are observed within the coals. According to the maceral analysis, the coals are formed in limnic to limnotelmatic zone.

Carbon (C) values are between 23,62-67,20 %, hydrogen (H) values 1,72-5,49 % vary between, oxygen (O) values % 6,41- 10,2 vary between, nitrogen (N) values vary between 1,27-2,23 % were determined in the coal samples with ultimate analysis. Sulphur (S) values are between % 0,17- 2,76 were determined according of coal, as results of show that the environments indicate terrestrial environment.

**KEYWORDS:** Coal, Organic Facies, Organic Geochemistry, Organic Petrography, Tunçbilek

**COMMITTEE:** Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK

Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY

Asist. Prof. Dr. Neslihan ÜNAL

## ÖNSÖZ

Günümüz şartlarında enerji, nüfusun artışı ve teknolojik ilerlemeler ile birlikte tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de en temel gereksinimlerimizden biri haline gelmiştir. Her geçen gün enerjiye olan ihtiyacımız artmaktadır. Üretilen enerjinin, enerji talebini karşılayamaması ülkemizi dışa bağımlı hale getirmektedir. Bu dışa bağımlılığın azalması ancak yeni enerji kaynaklarının bulunması ve mevcut enerji kaynaklarının en etkin şekilde kullanılmasını halinde mümkün olacaktır. Dünyada tüketilen enerji petrol, kömür, doğal gaz, hidro, nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Fosil yakıtlar bu enerji kaynaklarının büyük çoğunluğunu meydana getirmektedir. Türkiye’de enerji talebinin yaklaşık % 90’ı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Buna karşılık yerli üretim, talebin sadece % 25’ini karşılamaktadır. Petrolde yaklaşık % 93, doğal gazda ise yaklaşık % 99’luk bir dışa bağımlılık söz konusudur. Ülkemizde fosil yakıtların fazla olmaması ancak bunun aksine kömürün yüksek miktarda rezerve sahip olması, kendi kaynaklarımızın daha büyük ölçüde değerlendirilmesi gerektiğini açık şekilde ortaya koymaktadır.

Yüksek lisans çalışmama başladığım ilk andan itibaren, destek ve sabrını esirgemeyen, bana birlikte çalışma fırsatı sunan, bilimsel katkılarıyla bana yön veren değerli danışman hocam Prof. Dr. Orhan ÖZÇELİK’e ve yine bana her konuda destek olan, bilgi birikimleri ile çalışma süresince bana yol gösteren sayın hocam Prof. Dr. Mehmet ALTUNSOY’a çok teşekkür ederim. Tez çalışmam süresince bana yol gösteren olumlu düşünceleri, bilgi birikimleri ve tecrübelerini benimle paylaşan, destek ve sabrını esirgemeyen değerli hocam Dr. Selin KARADİREK’e ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Neslihan ÜNAL’a teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışmayı gerçekleştirmem için saha çalışmalarında her türlü imkânı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi mühendisleri ve çalışanlarına, yüksek lisans sürecimin saha çalışmalarında yardımlarını ve desteğini gördüğüm Jeoloji Mühendisi Arif BİLGİÇ’e ayrıca teşekkür ederim. Hayatımın her döneminde olduğu gibi, bu çalışmamda da maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen canım aileme sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
AKADEMİK BEYAN.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. İnceleme Alanının Konumu ve Morfolojisi.....	2
2. KAYNAK TARAMASI.....	4
2.1. Kömür Kavramı ve Oluşumu.....	4
2.2. Çalışma Alanına Ait Kaynak Taramaları.....	5
2.3. Kömürün Bileşenleri.....	9
2.3.1. Kömürün organik bileşenleri.....	9
2.3.2. Kömürün inorganik bileşenleri.....	12
2.4. Organik Madde Miktarı.....	15
2.5. Organik Madde Türü.....	15
2.6. Organik Maddenin Olgunlaşma Düzeyi.....	16
2.7. Kaynak Kaya Potansiyeli.....	17
2.8. Organik Fasiyes.....	18
3. MATERYAL VE METOT.....	21
3.1. Arazi çalışmaları.....	21
3.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	22
3.2.1. TOC-piroliz analizi.....	22
3.2.2. Organik petrografi analizleri.....	24
3.2.3. Elementel Analizler.....	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	28
4.1. Bölgesel Jeoloji.....	28
4.2. Stratigrafi.....	29
4.2.1. Paleozoyik birimler.....	30



4.2.2. Senozoyik birimler.....	31
4.2.3. Kuvaterner birimler .....	36
4.3. Yapısal Jeoloji .....	37
4.4. Kömürlerin Organik Jeokimyasal Özellikleri .....	38
4.4.1. Organik madde miktarı .....	39
4.4.2. Organik madde türü .....	39
4.4.3. Organik maddenin olgunlaşma düzeyi .....	42
4.4.4. Kaynak kaya potansiyeli.....	43
4.5. Organik Fasiyes İncelemeleri .....	44
4.6. Kömürlerin Organik Petrografik Özellikleri .....	46
4.6.1. Maseral analizi.....	46
4.6.2. Hüminit yansıması ölçümleri.....	54
4.6.3. Organik Petrografik indekslerin ortamsal yorumlarda kullanımı.....	55
4.6.4. Kömürün elementel analiz değerlendirmeleri .....	61
5. SONUÇLAR .....	64
6. KAYNAKLAR .....	68
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Tunçbilek (Tavşanlı-Kütahya) FC Pano Açık İşletme Sahası kömürlerinin Organik Fasiyes 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.

06/02/2020

Ceren KAZANCI

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

% : Yüzde

°C : Derece santigrat

C : Karbon

CaSO<sub>4</sub> : Kalsiyum Sülfat

CO<sub>2</sub> : Karbondioksit

COOH: Karboksilik asit

cm<sup>3</sup> : Santimetreküp

cm<sup>2</sup> : Santimetrekare

FeS<sub>2</sub> : Demir sülfür

g : Gram

H : Hidrojen

H<sub>2</sub>O : Su

HC : Hidrokarbon

kg : Kilogram

MgO : Magnezyum Oksit

MgSO<sub>4</sub>: Magnezyum Sülfat

m : Metre

mg : Miligram

mm : Milimetre

NH<sub>3</sub> : Amonyak

N : Azot

Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Sodyum Sülfat

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: Sodyum Karbonat

O : Oksijen

- OH : Hidroksil
- pH : Hidrojenin gücü
- ppm : Milyonda bir birim
- R<sub>o</sub> : Hüminin yansıması
- S : Kükürt
- S<sub>1</sub> : Kaya içerisinde serbest halde bulunan hidrokarbon miktarı
- S<sub>2</sub> : Kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan hidrokarbon miktarı
- S<sub>3</sub> : Kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan CO<sub>2</sub>
- S<sub>4</sub> : S<sub>2</sub> kaydedildikten sonra geri kalan organik karbon miktarı
- T<sub>max</sub> : S<sub>2</sub> pikinin maksimumuna ulaştığı noktadaki sıcaklık
- Bu tezde kullanılan ondalık ayırıcı virgül (“,”)’ dır.

### **Kısaltmalar**

ASTM : Amerika Malzeme ve Test Birliği

- B : Batı
- D : Doğu
- G : Güney
- GB : Güneybatı
- HC : Hidrokarbon
- HI : Hidrojen indeksi
- GI : Jelleşme indeksi
- GLİ : Garp Linyitleri İşletmesi
- GWI : Yeraltı suyu etkisi indeksi
- K : Kuzey
- KB : Kuzeybatı
- KD : Kuzeydoğu

MTA : Maden Tetkik Arama

OF : Organik fasiyes

OI : Oksijen İndeksi

PI : Üretim indeksi

PY : Potansiyel ürün

RC : Rezidüel karbon

TKİ : Türkiye Kömür İşletmeleri

TOC : Toplam organik karbon

TPAO : Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

TPI : Doku koruma indeksi

VI : Vejetasyon indeksi

MTA : Maden Tetkik Arama

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası.....	2
Şekil 1.2. GLİ açık işletmesine ait sahanın KB-GD yönünden görünümü.....	3
Şekil 2.1. Çökelme ortamlarındaki fasiyeslerin görünümü (Altunsoy ve Özçelik 1993) .....	20
Şekil 3.1. Çalışma sahasında yüzeyleyen kömürlü birimler .....	21
Şekil 3.2. Çalışma alanındaki kömürlü birimlere ait görüntüler.....	22
Şekil 4.1. Türkiye ve yakın çevresinin tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999).....	28
Şekil 4.2. Çalışma alanının jeoloji haritası ( <a href="http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx">http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx</a> ) .....	30
Şekil 4.3. Kütahya-Tavşanlı bölgesine ait stratigrafik kesit (Akdeniz ve Konak, 1979a; Özcan vd. 1988; Göncüoğlu vd. 1992; Baş, 1983, 1986'dan değiştirilmiştir.)...	32
Şekil 4.4. Miyosen yaşlı kömürlü birimlere ait görüntü .....	33
Şekil 4.5. Tunçbilek Formasyonu kömür seviyelerine ait dikme kesit.....	35
Şekil 4.6. İnceleme alanında gözlenen eğim atımlı fay .....	38
Şekil 4.7. İncelenen örneklerin S <sub>2</sub> -TOC diyagramı ve organik madde türleri (Langford ve Blanc-Valleron 1990).....	40
Şekil 4.8. İnceleme alanının HI-OI kerojen tipi sınıflama diyagramı (Espitalié vd. 1977) .....	41
Şekil 4.9. İncelenen örneklerin HI- Tmax diyagramındaki dağılımı (Mukhopadhyay vd. 1995) .....	42
Şekil 4.10. İnceleme alanına ait HI-TOC diyagramı .....	44
Şekil 4.11. Kömür örneklerinin maseral gruplarının üçgen diyagramdaki konumları ...	46
Şekil 4.12. Framboidal pirit oluşumlarının üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüsü ..	48
Şekil 4.13. Homojen ve geniş yüzeylere sahip dokusuz görünümleri ile gelinit ve ulminit maseralleri (Gl: gelinit, Ul: ulminit).....	49
Şekil 4.14. Üstten aydınlatmalı mikroskopta densinit, ulminit, gelinit ve korpohuminit gibi bazı maserallerin görüntüleri (Dn: densinit, Ul: ulminit, Gl: gelinit, kor: korpohuminit).....	50

<b>Şekil 4.15.</b> İncelenen örneklerin mikroskoptaki funginit ve fusinit maserallerinin görüntüleri (fun: funginit, fus: fusinit).....	51
<b>Şekil 4.16.</b> İncelenen kömür örneklerinde killerin üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüleri .....	51
<b>Şekil 4.17.</b> Üstten aydınlatmalı mikroskopta makrinit, fusinit, korpohuminit ve densinit gibi bazı maserallerin görüntüleri (mak: makrinit, fus: fusinit, kor: korpohuminit, dn:densinit).....	52
<b>Şekil 4.18.</b> İncelenen örneklerin üstten aydınlatmalı mikroskopta rezinit, kütinit ve bazı maseral görüntüleri (rz: rezinit, cut: kütinit) .....	53
<b>Şekil 4.19.</b> İncelenen örneklerde izlenen sporinit maseralleri (sp: sporinit).....	54
<b>Şekil 4.20.</b> İncelenen kömür örneklerinin üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüleri (kut:kütinit, fun:funginit, sp:sporinit) .....	54
<b>Şekil 4.21.</b> Kömür örneklerinin GI-TPI diyagramındaki konumu (Diessel 1986) .....	57
<b>Şekil 4.22.</b> Kömür örneklerinin GWI-VI diyagramındaki konumu (Calder vd. 1991) ..	59
<b>Şekil 4.23.</b> Toplam kükürt değerlerinin GI ile ilişkisi .....	60

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1.</b> Hüminit grubu maseralleri (Sykorova vd 2005).....	10
<b>Çizelge 2.2.</b> Liptinit sınıflaması (Pickel vd 2017).....	11
<b>Çizelge 2.3.</b> İneritinit grubu maseralleri (ICCP 2001).....	12
<b>Çizelge 2.4.</b> a) Olgunlaşmamış kaynak kayanın türetme potansiyeli(miktar), b) Kerojen tipi ve ürün kalitesi, c) Isısal olgunlaşma (Peters ve Cassa 1994).....	18
<b>Çizelge 2.5.</b> Organik fasiyeslerin genelleştirilmiş mikroskobik ve kimyasal karakteristikleri (Jones 1987).....	19
<b>Çizelge 3.1.</b> Tmax değerinin temsil ettiği olgunlaşma değerleri (Tissot ve Welte 1984) .....	23
<b>Çizelge 4.1.</b> Tunçbilek kömür örneklerinin Toplam Organik Karbon (TOC) ve Rock- Eval piroliz analiz sonuçları.....	38
<b>Çizelge 4.2.</b> İncelenen kömürlerin örneklerinin petrografik analiz değerleri (% olarak) .....	47
<b>Çizelge 4.3.</b> Tunçbilek (Kütahya-Tavşanlı) FC Pano Açık İşletmesi'ne ait kömürlerde ölçülen rastgele hüminit yansıtımalarının her bir örnekteki ölçüm sayısı, ortalaması ve standart sapması .....	55
<b>Çizelge 4.4.</b> Fasiyes indislerine ait değerler (GI, TPI) .....	57
<b>Çizelge 4.5.</b> GWI ve VI fasiyes indislerine ait değerler .....	59
<b>Çizelge 4.6.</b> Tunçbilek (Kütahya-Tavşanlı) FC Pano Açık İşletmesi kömürlerinden alınan örneklerin elementel analiz değerleri .....	62
<b>Çizelge 4.7.</b> Tunçbilek (Kütahya-Tavşanlı) FC Pano Açık İşletmesi kömürlerinden alınan örneklerin kükürt analizi değerleri .....	63



## 1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarından biri olan kömür, ülkemizde ve dünyada büyük bir öneme sahip olmakla birlikte ülkelerin ekonomisinde yenilenemeyen ve tüketilebilir enerji kaynağı olarak üst sıralarda yer almaktadır. Ülkemiz son on yılda elektrik, kömür ve doğal gaz talebinde Avrupa’da ilk sırada yer almaktadır (BP 2015). Enerji ihtiyacının % 30,7’si doğal gaz, % 30,3’ü petrol, % 17,2’si ithal kömür, % 9,9’u yerli kömürden karşılanmaktadır (TKİ 2016). Dünyadaki petrol ve doğal gaz rezervlerinin 50-60 yıl içerisinde tükenecek olmasıyla birlikte, insanların kömüre olan ilgisi artmış ve değişik şekillerde yararlanmaya başlamışlardır. Yapılan araştırmaların sonucuna göre linyit, ülkemizde en çok çıkarılan kaynaklardan biridir (Uyar, 2017). Linyit, ısı değeri düşük, barındırdığı kül ve nem miktarı fazla olduğundan genellikle termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde ve yakıt olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda sanayi sektöründe, ev ve iş yerlerinde ısınma amacıyla, kimyasal madde üretimi, kok yapımı, endüstriyel süreçlerde ve demir-çelik sanayide ve gaz üretimi gibi alanlarda kullanılan doğal bir enerji kaynağıdır (ETKB, 2018).

Ülkelerin nüfusunun hızla artışıyla birlikte, enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tüketilmesi, yeni rezervlerin bulunması ve farklı enerji kaynaklarının ortaya konmasını zorunlu hale getirerek sürdürülebilir enerjinin gündem olmasına sebep olmuştur. Diğer enerji kaynaklarına bakıldığında kömür, sürdürülebilir enerji kaynağı olarak en önemli unsur olarak gözükmektedir. Petrolün tükenebilir kaynak olması, üretim rezervinin sınırlı olması, aynı zamanda petrokimyasal ürünlerin fazla kullanılması gibi etkenler, var olan rezervler dışında yeni kaynakların tespit edilmesini ve kömür kökenli rezervlerin ömrünün şu anki üretim seviyelerinin diğer fosil yakıtlara nazaran bir kaç kat fazla oluşu hidrokarbon potansiyellerini ortaya çıkarma çalışmalarının artmasını sağlamıştır (Kavak ve Toprak 2012). Özellikle karasal sedimanlar içerisinde yer alan organik maddelerin gömülmesi, artan sıcaklıkla birlikte petrol veya gaz üretebilecek değerleri sunabildiğini gösteren bazı çalışmalar, detaylı araştırmalara temel oluşturmuştur (Hubard 1950).

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, kömürlü birimlerin organik jeokimyasal-petrografik özellikleri ve bu parametrelere bağlı olarak organik fasiyes değerlendirmelerinin ortaya konmasını amaçlamıştır. Batı Anadolu bölgesi ülkemizde linyit sahalarını bulduran önemli bir bölgedir. Ülkemizde yaklaşık olarak 12,4 milyar tonluk bir linyit rezervi bulunmaktadır (TKİ, 2009). Bu çalışmaya konu olan kömürlerimizde Batı Anadolu’nun önemli linyit sahalarından biri olan Kütahya-Tavşanlı-Tunçbilek sahasında bulunmaktadır. Bu kapsamda, Miyosen yaşlı Tunçbilek Formasyonu içerisindeki kömürlü birimlerin organik jeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi için Rock-Eval piroliz analizi gerçekleştirilerek; organik maddenin tipi, miktarı ve olgunlaşma düzeyleri, kökensel ilişkileri belirlenmiştir. Piroliz analizi ile elde edilecek olan verileri desteklenmesi için hüminit yansıması, maseral analizi ve kısa analizlerden yararlanılmıştır. Elde edilen veriler ile çalışma alanının organik fasiyes değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca paleoortam özellikleri de belirlenmiştir. Çalışma alanına ait kömürlerde organik fasiyes özelliklerinin değerlendirilmemiş olması ve organik jeokimyasal-petrografik açıdan detaylı bir şekilde incelenmemiş olması önemli bir eksikliktir. Bu çalışmayla, bilimsel anlamda yeni bir bakış oluşturacağı gibi ekonomik beklenti yönünden de linyitlerin yeni

üretim alanı olasılıklarının değerlendirmesinde de rol oynayacaktır. Söz konusu araştırma FC Pano Açık İşletmesi kömürlü birimlerinde daha önce çalışılmamıştır. Bu alanda ilk kez uygulanmış olması da önemlidir.

## 1.2. İnceleme Alanının Konumu ve Morfolojisi

Çalışma alanı, Kütahya ili Tavşanlı ilçesi Tunçbilek beldesinde bulunmaktadır (Şekil 1.1). Kömür sahası; Tunçbilek, Tavşanlı - Domaniç karayolu üzerinde yer almakta olup, Tavşanlı'ya 13 km Kütahya'ya ise 63 km uzaklıktadır. Ege ve Marmara Bölgeleri'nin birleştiği yerde, 1/25.000 ölçekli Kütahya I22-c3, I23-d3 ve d4, J22-b2, J23-a1 ve a2 paftaları içerisinde bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kömürler Garp Linyit İşletmeleri (GLİ)'ne ait açık işletmesinden alınmıştır (Şekil 1.2). Türkiye'nin bilinen linyit rezervlerinin en kaliteliğine sahip olan GLİ, ülkemizde linyit üreten kuruluşların en büyüğüdür.



Şekil 1.1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası

Bölge, Kütahya-Balıkesir-Bursa karayolunu D-B yönünde izlemektedir. Demiryolu hattıyla araştırma alanı aynı yönde (D-B) olup, doğuda Eskişehir-Ankara batıda ise Balıkesir-İzmir ile bağlantılıdır. Karasal bir iklimin görüldüğü bölgede, düşük eğimli araziler ve ovalar tarımsal amaçlı kullanıma uygundur. Yüksek topoğrafyalı dağlık arazilerin bitki örtüsü ise ormandır.

Çalışma sahası İç Batı Anadolu platolarının içerisinde akarsularla derin yarılmış olarak gözlenmektedir. Bu platolar çeşitli yaş ve türdeki kaya grupları üzerinde erozyon alanları şeklinde gelişmiştir. Platolar genellikle Miyo-Pliyosen yaşlı birimler üzerinde

izlenmektedir. Platoların ortalama yükseltisi 1000-1400 m arasındadır. Temel kayaların üzerindeki kısımlar, erozyona uğramış Neojen öncesi paleo-topografyayı belirgin özellikleriyle yansıtmaktadır. Neojen öncesi temel kayalar plato yüzeylerindeki yüksek topografik dağılımları oluşturmaktadır. Kütahya'nın güney kısmında kalan Yellice Dağı (1899 m) ile Tavşanlı güneyinde yer alan Budağan Dağı (1611 m) alandaki en yüksek tepelerdir. Çalışma alanındaki en büyük yükselti olan Eğrigöz dağı granitik batolit (magmatik kütle) özelliğindedir. Eğrigöz Dağ'ının güneyinde yer alan Şaphane Dağı temel kayalardan oluşmuş 2118 m'lik yükseltisiyle bölgenin en yüksek tepesini temsil etmektedir. Neojen birimlerin yatay veya yataya yakın durumda bulunduğu alanlardaki birim içindeki tuf ile kireçtaşları, ignimbirit ve bazaltik lavlardan oluşan volkanikler tepeler veya platoları oluşturmaktadır.

Çalışma alanı ve çevresini drenajlayan iki büyük akarsu olan Orhaneli Çayı (Kocasu) ve Porsuk Çayı güneyden kuzeye akışlı olarak görülmektedir. Bu iki nehir, Kütahya ve Tavşanlı faylarının taban bloklarında bulunan metamorfik kayaları, gömülmüş menderesleri derin vadilerle izlemektedir. Bahsedilen iki fayın güney blokları, Kütahya-Tavşanlı ile Aslanapa-Çavdarhisar platoları arasında olup, Pliyo-Kuvaterner'de tektonik olarak yükselmiş olmasına işaret etmektedir.



**Şekil 1.2.** GLİ açık işletmesine ait sahanın KB-GD yönünden görünümü

Kütahya ve Tavşanlı ovaları iki normal fay düzlemine bağlı olarak gelişmiş graben havzalarıdır. Havza tabanlarına bakıldığında alüvyon malzemeyle kaplı olduğu görülmektedir. Kütahya Grabeni, normal fay zonu tarafından güneyden morfolojik ve yapısal olarak sınırlandırılmıştır. Havzada, Tavşanlı Fayına bağlı olarak gelişmiş yarım graben yapısı gözlenmektedir. Havzanın tabanı Orhaneli Çayı tarafından kaplanmıştır. Nehir, havzaya doğudan karışarak kuzey yönünü izleyip KB'da havzayı terk etmektedir. Graben tabanı alüvyonla doldurulmuş ve ortalama yükseltisi 820-830 m'dir. Belirgin drenaj sistemi gelişmemiş olan alüvyonal havza tabanında, mevsimlik göl ve bataklıklar yaygın görülmektedir.

## 2. KAYNAK TARAMASI

### 2.1. Kömür Kavramı ve Oluşumu

Kömür, çoğunlukla bitki kalıntılarında oluşmuş (lignoselülozik bitki parçası esaslı), bitkisel malzemenin ısı ve basınç etkisiyle fizikokimyasal değişime uğramasıyla oluşan değişik miktarlarda organik ve inorganik bileşenler içeren, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip, kahverengi-siyah, siyah, koyu gri renklerde görülebilen, biyolojik ve jeolojik süreçler sonucu meydana gelen, heterojen ve karmaşık yanabilen sedimanter bir kayadır. Temel yapısı organik ve inorganik olmak üzere iki kısımdan oluşur (Uzun 2002). Organik yapısı C, H, O ve az miktarda S ve N içerir, inorganik yapısı ise minerallerden ve elementlerden oluşmaktadır (Çit 2007). Kömürü oluşturan ana elementin karbon olması nedeniyle kömür oluşumu karbon çevrimine fazlasıyla bağlıdır. Kömürün oluşumu bataklıklarda başlar. Bataklıkların geliştiği delta, göl, lagün, akarsu taşkın ovaları gibi ortamlarda kömür damarlarının oluşabilmesi içinde iklim, bitki topluluğu, bölgesel koşullar, beslenme girdisi, pH değeri, bakteri etkinliği ve kükürt oranı, turba sıcaklığı gibi koşulların oluşması gerekmektedir (Stach vd. 1982, Yağmurlu 1983).

Kömür oluşumunun ilk evresi turba ile başlar. Turba oluşumu, oksijence beslenmenin sınırlı olduğu turba yüzeylerinden itibaren başlamaktadır. Bitkisel malzemenin atmosferin oksijeni ile yalıtılmasından sonraki aşama turbalaşma (biyokimyasal) ve kömürleşme (jeokimyasal) olarak iki ayrı bölümden oluşmaktadır (Stach vd. 1982, Yağmurlu 1983). Biyokimyasal kömürleşme süreci olarak bilinen turbalaşma, bitkiler uzun bir süre bataklığın yüzeyinde yüzerek bitkisel malzemenin asidik ve indirgeyici koşullarda biyolojik faktörlerle karbondioksit, su ve hümik asitlere dönüşmesi süreçlerini kapsar. Bu süreç tamamen oksijenli ortamda (su üstünde) gerçekleşirse aerobik bakteriler ve bazı mantarlar tarafından bitkinin nişasta, selüloz, hemiselüloz, petkin, protein gibi bileşenlerini kolaylıkla bozar ve CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüşerek tamamen yok olur. Ancak bitki su tablası altında kalırsa veya bitki gelişimi devam ediyorsa aerobik bakteriler ve oksidasyon süreci tarafından yok edilemezler. Bakteri etkinliği 10 metre derinliğe kadar devam etmektedir (Köksay 1994). İçerdikleri organik maddenin türüne göre hümik ve sapropelik olmak üzere iki çeşit kömür bulunmaktadır. Hümik kömürler, bitkisel malzemenin bataklık ortamında bakteri ve mantarların etkisiyle turbalaşması, daha sonra gömülmenin artması ile sıcaklığın etkisiyle turbanın kömürleşmesi sonucu oluşurlar. Çoğunlukla içerdikleri organik madde III. Tip kerojendir. Sapropelik kömürler ise belli su kütlesine sahip olan lagün, göl, deniz gibi ortamlarda biriken sapropelin, sıcaklığın etkisiyle kömürleşmesi sonucu oluşan, homojen görünümlü kömürlerdir. Fazla miktarda spor ve polen içerenlerine cannel kömürü, alg bakımından zengin olan türlerine ise boghead kömürü denir. İçerdikleri organik madde I. ve II. Tip kerojendir. Sapropelik kömürlerin rezervleri ve dağılımları oldukça sınırlıdır. Dünyadaki kömürlerin büyük çoğunluğu hümik kömürlerdir (Stach vd. 1982). Turbalaşma basamağını kömürleşme olarak adlandırılan jeokimyasal süreç takip etmektedir (Taşçı 1998). Turbanın jeokimyasal faktörlerin etkisiyle kömürleşme derecesine göre, kahverengi kömür (linyit), alt bitümlü, bitümlü kömür evrelerinden geçerek antrasit ve metaantrasite dönüştüğü evredir (Stach vd. 1982). Jeokimyasal kömürleşme süresince kömürleşmeye etki eden faktörler, sıcaklık, zaman, basınç, gömülme derinliği ve jeolojik olaylar olarak değerlendirilebilir. Kömürleşme sürecinde farklılıklara sebep olmaktadır ve en önemli faktör sıcaklıktır.

Bu da kömürleşme derecesi olarak adlandırılır. Sıcaklık kömürleşmeyi hızlandırır ve kömürleşme derecesini artırır. Kömürleşme derecesinin artmasıyla nem miktarı azalır. Nem miktarının azalması, gözenekliliğin azalmasının dışında, -OH, -CH<sub>3</sub> (metoksil), -COOH ve -C=O (karbonil) gibi grupların ayrılmasına bağlıdır (Stach vd. 1982). Kömürleşme derecesi arttıkça kömürün karbon içeriği artarken, hidrojen ve oksijen içeriği azalır. Böylece kömürün kimyasal etkinliği de azalır (Speight 1983).

Kimyasal ve fiziksel bozunmalar göz önüne alınırsa kömürleşme, olgun yumuşak kahverengi kömür evresine kadar diyajenetik bir süreçten geçmektedir. Ancak bu evreden hemen sonra sert kahverengi kömür (alt bitümlü kömür) evresiyle beraber organik malzemenin bozunması çok şiddetli olarak gerçekleşir ve bundan sonraki evreler metamorfizma olayı olarak adlandırılır (Ocakoglu 2015).

## 2.2. Çalışma Alanına Ait Kaynak Taramaları

Bugüne kadar inceleme alanı ve çevresini kapsayan birçok jeolojik araştırma çalışması yapılmıştır. Çoğunlukla cevherleşme ve bölgesel jeoloji özelliklerine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bunun yanı sıra tektonik ve stratigrafi, enerji kaynakları, yanma olayları, hidrojeoloji, kömür potansiyeli, volkanitler konularında yoğunlaşmış, endüstriyel hammaddeler ve bazı önemli mineraller konusunda da çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Tunçbilek Formasyonu kömür havzasında işletilmekte olan ve söz konusu çalışmanın gerçekleştirileceği damarlara ait FC Pano Açık İşletme sahası kömürlerinin, organik jeokimyasal özelliklerinin ortaya konmadığı belirlenmiştir. İnceleme alanı ve çevresinde yapılan bu çalışmaların belli başlı olanları tarih sırasına göre aşağıda özetlenmiştir.

**Maucher 1936;** Çalışmasında Seyitömer havzasında yer alan linyitlerin petrografik incelemelerini yapmıştır. Seyitömer linyit havzası, silis-konglomeraları, marnlı kalker tabakaları, tüflü maddeler ve saf tüflerden oluştuğu ve Neojen yaşlıdır gibi sonuçlar elde etmiştir.

**Ziegler 1936;** Seyitömer havzasında yapmış olduğu stratigrafik çalışmalar sonucunda, havzaya ait linyit potansiyelinin belirleyerek ilk jeolojik çalışmayı yapmış ve sahada yer alan iki linyit damarı arasındaki bitümlü marnları ayırt etmiştir.

**Lebküchner 1959;** Seyitömer havzasının stratigrafisini ayrıntılı olarak ortaya koymuştur. Havzanın kömür potansiyeline yönelik olarak yaptığı çalışmada, önceki yıllarda yapılmış sondajları ve sahayı tektonik açıdan inceleyerek genel olarak çatlaklar gösteren bir fay tektoniğinin hâkim olduğu belirtilerek stratigrafik istifi oluşturmuştur.

**Akkuş 1962;** “Kütayha Gediz Arasındaki Sahanın Jeolojisi” adlı çalışmasında genel olarak etüd sahasında ortaya çıkan jeolojik durumun Paleozoik, Mesozoik, Neojen ve Kuaterner Formasyonları ile temsil edilmektedir. Etüd sahasındaki en eski ve esas temeli oluşturan Paleozoik Formasyonların Alpin hareketlerine mâruz kaldığını belirtir.

**Kalafatçioğlu 1964;** “Balıkesir-Kütahya Arasındaki Bölgenin Jeolojisi” isimli raporunda etüd bölgesinde en eski kayaçlar Paleozoik yaşlı mermerler ve bu serinin en altında gnayslar görüldüğünü anlatmaktadır. Metamorfik seri üzerine fosilli Permiyen gelir ve bölgenin hemen batısında geniş sahalar kaplar. Eski Formasyonlar üzerine

diskordan olarak gelirler. Bu döneme ait ofiyolitik seri kayalar da mevcut olabileceğini anlatmıştır.

**Arslan 1979;** “Kütahya-Tunçbilek Sahasındaki Sondaj Örneklerinin Palinoloji İncelemesi” isimli raporunda Kütahya-Tunçbilek havzasında yapılmış olan sondajlardan alınmış 33 örneğin palinoloji incelemesi yapılmış 21 cins, 48 tip bulunmuştur. Kömürlerin içerdiği spor ve polenler Tersiyer yaşlı olup, genç polenlerin varlığı ile Üst Miyosen yaşlı oldukları belirlenmektedir. Spor ve polenler, onlara bağlı bitkiler ile kömürün oluşumu sırasındaki iklimin Akdeniz iklimi özellikleri taşıdığı saptanmıştır.

**Akdeniz ve Konak 1979;** “Simav, Emet, Tavşanlı, Dursunbey, Demirci Yörelerinin Jeolojisi” adlı raporunda inceleme alanlarının stratigrafik istifi alttan üste; temel kayaları Dolaylar ve Kalkan Formasyonları, bu metamorfikler üzerine uyumsuzlukla gelen Sarıcasu Formasyonu, üste doğru Permiyen yaşlı Arıkaya Formasyonu şeklinde ele almıştır. Bu yöreleri içine alan bölgede yaptıkları çalışmada altı farklı havza saptamışlardır.

**Baş 1983;** “Domaniç, Tavşanlı, Gediz ve Kütahya Yörelerinin Tersiyer Jeolojisi ve Volkanitlerinin Petrolojisi” isimli raporunda bölgede ilk Tersiyer çökel birimini Alt Eosen yaşlı denizel kireçtaşları oluşturduğunu ve Tavşanlı-Tunçbilek arasında, dar bir sahada görülen birimin bol fosilli olduğunu tespit etmiştir. Kömür yatakları marnların içinde olup marnların üzeri konglomera ve kireçtaşı ile örtülüdür. Miyosen sonuna doğru volkanik faaliyet etkili olarak, tuf ve lavların bölgeye yayıldığını belirtmiştir. Tavşanlı ve Domaniç yörelerinden alınan volkanit örneklerinin kimyasal bileşimlerinin kıta kabuğu ürünlerine uygun olduğunu belirtmiştir.

**Sarıyıldız ve Emre 1986;** “Seyitömer (Kütahya) Kuzeybatısı Kömürlü Neojen Oluşuklarının Jeolojisi” adlı çalışma Seyitömer kömür havzasının kuzeybatısında yayılım gösteren Neojen yaşlı oluşukların ekonomik açıdan incelenmesini amaçlamıştır. Neojen öncesi temel kayaları, yörede geniş yayılım gösteren serpantin ve kırmızı çörtlerdir. Neojen yaşlı oluşuklar alttan üste akarsu, gölsel ve tekrar akarsu tortullarından oluşmuştur. Yörede kömürlü Neojen oluşuklarının yayılımı saptanmış ve kömür damarlarının stratigrafik konumlarını belirlemiştir.

**Baş 1986;** “Domaniç, Tavşanlı, Kütahya ve Gediz Yörelerinin Tersiyer Jeolojisi” adlı çalışmasında, Tersiyer çökel birimini Tavşanlı-Tunçbilek arasındaki dar bir sahada gözlenen Eosen yaşlı kireçtaşları oluşturur. Seyitömer havzasındaki Neojen yaşlı birimler; yaşlı Neojen birimleri, Beke ve Tunçbilek Formasyonları; genç Neojen birimleri, Saruhanlar, Çökköy ve Emet Formasyonları; Neojen birimleri üzerine uyumsuz olarak gelen Kuvaterner yaşlı birimler ise Kocayataktepe Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Tunçbilek Seyitömer sahalarının kömür açısından büyük önem gösterdiğini ortaya koymuştur.

**Şengüler 1988;** Seyitömer (Kütahya) yöresindeki petrolü şeyllerin ekonomik kullanım olanaklarını araştırmıştır.

**Yılmaz 1992;** tarafından Seyitömer termik santrali uçucu küllerinin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi amacıyla yürütülen çalışmada, söz konusu uçucu küllerin

bağlayıcı olarak kil ilavesiyle inşaat sektöründe hafif duvar örgü malzemesi olarak potansiyel bir kullanım alanının olabileceğini ortaya koymuştur.

**Gökmen 1993;** tarafından hazırlanan Türkiye Linyit Envanteri, MTA arşivindeki raporların bir derlemesi niteliğindedir. Çalışmada ülkemizdeki linyitlerin rezerv durumları, damar kalınlıkları ve yayılım alanları ile kömürlerin kaba kimyasal analizlerine ait verilere yer verilmiştir.

**Yavuz 1995;** “Tavşanlı (Kütahya) kömürlerinin palinolojisi, petrografisi ve kimyası” adlı çalışmada Tavşanlı (Kütahya) kömürlerinin yaşı, kömürleşme derecesi, kimyasal özellikleri ve çökelme ortamının belirlenmesi amacıyla palinolojik, petrografik ve kimyasal analizler yapılmıştır. Kömür petrografisi teknikleri kullanılarak maseraller, palinolojik yöntemler kullanılarak spor ve polenler tanımlanmış ve random hüminit yansıma değerleri ölçülmüştür. Kimyasal analizler nem, kül, uçucu madde, toplam kükürt ve alt ısı değeri ölçümlerini içerir. Petrografik çalışmalar baskın maseral türünün hüminit olduğunu göstermiştir.

**Beder 1996;** tarafından Seyitömer kömür havzasının jeolojisi incelenmiş ve kömür horizonlarıyla ilgili rezerv hesaplamaları yapılmıştır. Buna göre, çalışma alanı 264.423.161 ton linyit rezervine sahip olup, yapılması gereken dekapaj miktarı 641.754.118 m<sup>3</sup>tür. Seyitömer kömürlerinin ortalama ısıl değerini ise 1.992 kcal/kg olarak bulmuştur.

**Yanık 1997;** Seyitömer kömür havzası killerin jeolojisi, mineralojisi ve seramik endüstrisinde kullanım olanakları araştırılmıştır. Gerçekleştirilen XRD ve SEM analizlerine göre, belirlenen başlıca kil fraksiyonu mineralleri illit ve klorittir. XRF yardımıyla yapılan kimyasal analizler sonucunda tespit edilen başlıca elementler Al, Si, K, Fe ve Mg’ dur. İnceleme sahasındaki killerin %10-14 civarında FeO içermesinden ve örneklerin koyu renkte olması sebebiyle seramik üretiminde kullanımının mümkün olmayacağı sonucuna varmıştır.

**Yavuz 1999;** “Seyitömer (Kütahya) kömürlerinin palinostratigrafisi ve kömür petrografisi” isimli doktora tezinde Seyitömer Tunçbilek Formasyonu havzının merkezinde ekonomik kömür damarları içerdiği ve kömür ocaklarından alınan 154 adet palinoloji ve 25 adet petrografi örneğinde, kömür içeren seviyelerin yaş ve çökelme ortamlarını, kömürleşme derecelerini ve diğer petrografik özelliklerini belirlemek amacıyla analizler yapılmıştır.

**Şengüler ve Sonel 1999;** “Seyitömer (Kütahya) Bitümlü Marnlarının Termik Santralde Linyit ile Birlikte Değerlendirilmesi” isimli çalışmada bitümlü marnlarının özellikleri araştırılarak alınan bitümlü marn ve linyit numunesinin akışkan yataklı sisteme sahip bir santralde yakma testleri gerçekleştirilmiştir.

**Karayiğit 2003;** “Tunçbilek-Domaniç Havzası Miyosen Kömürlerinde Mineral Maddesi ve İz Elementleri” adlı çalışmada kömür yatağının tam kalınlığı belirlenerek, mineral madde ve iz element analizleri gerçekleştirilmiştir. Örneklerin temel olarak kil minerallerinden (simektit, illit ve kaolinit / klorit) ve kuvars ve minör / eser miktarlarda siderit, dolomit ve piritten oluştuğu sonucuna varmıştır. Petrografik çalışmalar, bazı büyük pirit, kalsit ve dolomitlerin koçboynuzu ve kırılma dolgularında

tespit edildiğini göstermektedir. Elemental sonuçlar, tamamen kömür kuru olarak bir enerji dağıtıcı, polarize X-ışını spektrometresi (EDP-XRF) kullanılarak belirlenmiştir.

**Çelik ve Karayığit 2004;** “Seyitömer Linyitlerinin (Miyosen) Kimyasal Özellikleri ve Petrografik Bileşimi” adlı çalışmalarında Seyitömer Havzası'ndaki linyit numunelerinden elde edilen analiz sonucunda % 29 ülminit, kömürleşme derecesi olarak yumuşak kahverengi kömür olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada iki linyit damarında bazı sonuçların dikey varyasyonları dikkate alınmıştır.

**Karayığit 1984;** “Zonguldak Kömürlerinin Petrolojik Özellikleri” adlı çalışma kapsamında alınan 71 adet kömür örneği üzerinde kimyasal (nem, kül, uçucu madde ve toplam kükürt) ve petrolojik (vitrinit yansımalarının ölçümü, maseral ve mikrolitotip) analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

**Kara Gülbay 2004;** “Kuzeybatı Anadolu'daki bitümlü şeyllerin organik jeokimyasal özellikleri, çökeltme ortamları ve hidrokarbon potansiyeli” adlı doktora tezinde bitümlü şeyllerin kalınlıkları, ortalama TOC değerleri, potansiyel ürün değerleri ile hidrokarbon potansiyeli yüksekliği belirlenmiştir. Ayrıca organik maddenin türü, miktarı ve ortam özellikleri hakkında, olgunlaşma düzeyi, çökeltme ortamları ve kaynak kaya potansiyeli hakkında bilgiler edinilmiştir.

**Dikmen 2005;** “Seyitömer-Kütahya Yöresindeki Kömür-Bitümlü Marn Geçişinin Organik Fasiyes Özellikleri” başlıklı bu çalışmada, söz konusu Neojen havzasındaki kömür ve bitümlü marnların çökeltme ortamlarının ve bu birimlerin organik fasiyes özelliklerini ortaya koymaktadır.

**Demirbilek 2005;** “Ilıca- Sobran (Kütahya) Arasının Jeolojisi” isimli yüksek lisans tezinde, yaklaşık 280km<sup>2</sup> 'lik alanda yapılan çalışmada bölgede Beşçam melanjı, Tavşanlı volkanitleri, Karacaören volkanitleri, alüvyon ve traverten birimleri yüzeylendiği gözlemlenmiştir.

**Kırdım 2006;** “Seyitömer (Kütahya-Türkiye) termik santralinde yanan kömürlerin ve oluşan katı atıkların mineralojisi ve petrografisi” adlı tez kapsamında Seyitömer termik santralinden alınan kömürlerde uçucu kül ve taban küllerinin tane boyu analizlerini, XRD ve SEM-EDX çalışmalarıyla uçucu kül ve taban küllerinin mineralojisi ve önemli esas element bileşimlerini incelenmiştir. Termik santralde yanan kömürlerden alınan örneklerde yürütülen petrografi çalışmalarında ise hüminit grubu, liptinit ve inertinit grubuna göre daha yaygın olarak bulunmuştur.

**Hoş Çebi 2007;** Kuzey Anadolu'daki Eosen Yaşlı Kömürlerin Organik Jeokimyasal Özellikleri ve Çökeltme Ortamları konulu doktora tezinde, Yüksek kükürt içeriğinin sülfat getiriminin fazla olması, organik kükürt miktarının katkısı ve artan bakteri etkinliğinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. TOC verilerinden yararlanarak organik madde tipini belirlenerek kerojen tespiti yapmıştır. Ayrıca biyomarker analiz sonuçlarına göre steran üçgen diyagramlarında tüm sahaların yüksek bitki ve kahverengi-yeşil alg alanında yer aldığı görülmüştür.

**Özburan 2009;** “Kütahya ve Çevresinin Neotektonik İncelemesi” isimli doktora tezinde K-G gerilmenin egemen olduğu dönemde bölgede D-B doğrultulu Kütahya



Grabeni oluşmuştur. Grabenin dolgusu, akarsu ve alüvyal yelpaze çökellerinden oluşmaktadır. Fay zonu boyunca gözlenen, sıcak-soğuk su kaynaklarının varlığı, üçgen yüzeyler, asılı vadiler, sedimanlardan ve yelpazelerden oluşan genç çökeller bu fay zonunun çok genç ve aktif olduğunu göstermektedir. 1900'den günümüze, yıkıcı bir depremin meydana gelmemiş olması, Türkiye Aktif Fay Haritası'nda gösterilmiş bu tektonik hattın bir sismik boşluk olabileceğini tespit ederek çalışmada Kütahya ve çevresinin paleotektonik ve neotektonik olayları gözlemlenmiştir

**Okay 2009;** “Tavşanlı Zonu, Anatolid-Torid Bloku'nun Dalma-Batmaya Uğramış Kuzey Ucu” isimli çalışmada, Tavşanlı zonunun tektonik konumu ve jeolojik olayların zamanlaması açısından bilgi verilmiştir.

**Akkiraz vd. 2011;** Seyitömer ve Tunçbilek Ast-Havzalarında Linyit İçerikli Alt–Orta Miyosen Tortullarının Paleoflorası ve İklimi üzerine yapılmış bir çalışmadır. Paleoiklim ve vejetasyonu yeniden kurmak için, Kütahya alanının (Seyitömer ve Tunçbilek havzaları) Alt–Orta Miyosen istifleri incelenmiştir. Sporomorfların arasında, zengin bir konifer ormanı baskın bileşenleri oluşturduğu belirlenmiştir.

**Göncüoğlu 2011;** “Kütahya-Bolkardağ Kuşağının Jeolojisi” adlı makalede, Torit-Anatolit Tektonik Biriminin alt birimlerinden biri olduğu ve Ege Denizi'nden Hınzır Dağları'na kadar uzanan bölgenin jeolojisi hakkında bilgiler verilmiştir.

**Akçay ve Özburan 2018;** “Değirmisaz Havzası'nın (Tavşanlı/Kütahya) Neotektonik İncelemesi” adlı çalışmada, Kütahya ili, Tavşanlı ilçesi, Değirmisaz ve Kızılbük köyleri arasında yüzeyleyen Neojen yaşlı birimlerin stratigrafik ve yapısal özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla yapılmıştır. Tespit edilen fayların bir bölümünün normal ve oblik, bir bölümünün de doğrultu atımlı faylar olduğu ortaya konulmuştur.

## 2.3. Kömürün Bileşenleri

### 2.3.1. Kömürün organik bileşenleri

Organik bileşenler, kömürün kömürleşme derecesini ve çeşidini, farklı kullanım alanlarındaki değerini belirlemede kullanılabilir. Bitki parçaları fiziksel ve kimyasal değişimlere uğrayarak kömürlerin maseral adı verilen en küçük organik bileşenlerini oluştururlar (Toprak 1996). Sözcük anlamına bakıldığında maserasyon ve mineral kelimelerinden türemiştir ve maserasyon bitkisel doku demektir. Maseralleri, kayaçları oluşturan minerallere benzetecek olursak, kayaçları nasıl mineraller oluşturuyorsa, kömürlerinde maseraller oluşturur diyebiliriz. Maseraller farklı kökene ait bitkilerin kömürleşmiş halleri olduğu için, farklı morfolojik yapılarıyla fiziksel ve kimyasal özelliklerinin farklılığından dolayı birbirlerinden ayrılarak gruplandırılmışlardır. Kömür petrografisi çalışmalarıyla elde edilen maserallerin bileşen ve oranları ile kömürün yansıma değerleri, kömürün oluşum sürecindeki koşulları, depolanma ortamının yorumlanması ve organik maddenin kaynağıyla ilgili bilgiler sunmaktadır (Diessel 1986).

Maseral gruplarını, petrografik çalışmaların sonucunda özellikleri benzeyen maseraller oluşturmaktadır. Sonlarına “init” sözcüğü alıp, mikroskobik olarak şekillerine ve ışığı yansıtma derecelerine bakılarak tanımlanırlar. Başlıca maseral grupları vitrinit (linyitlerde hüminit), liptinit, inertinit olmak üzere, maserallerin köken ve oluşumlarına göre bölümlenmişlerdir (Buzkan 1987).

Hüminit grubu maseralleri; bitkilerin kök, gövde ve yapraklarını meydana getiren selüloz, lignin ve tannin bileşimli parankima, odun dokuları ve hücre maddelerinden türemişlerdir. Hücre duvarlarının metamorfizması ve hümitifikasyonu sonucu oluşur. Bozunma süreçlerine (hümitifikasyon, jelleşme) ve kömürleşme derecelerine bağlı olarak hüminitlerdeki hücre yapıları korunabilir ve değişik seviyelerde gözlenebilir. Hüminit, bataklıklarda linyoselüloz maddesinin anaerobik koşullarda korunmasıyla oluşur. Tersiyer kömürlerinde hüminit ana bileşendir ve miktarı % 90'ı aşabilir (Sykorova vd. 2005). Termal veya mikrobik bozunması sırasında ortaya çıktıklarına inanılmaktadır (Peters ve Cassa 1994).

Hüminit grubu diğer iki gruba göre daha yüksek miktarda oksijen ve daha düşük karbon içeriğine sahiptir. ICCP, 1970 yılından itibaren linyitler için maseral grubu olarak bu terimi kullanmaktadır (Sykorova vd. 2005). Hüminit, taşkömürü ve antrasitlerdeki vitrinite karşılık gelmektedir. Yansıyan ışıktaki renkleri orta-koyu gridir ve linyitlerde ışık yansıtma derecesi (Rr) % 0,2-0,4 arasındadır (Sykorova vd. 2005). Flüoresans rengi sarı-kahveden kırmızı-kahveye değişiklik gösterebilir (Taylor vd. 1998). Işık yansıtma derecesi inertinit ve liptinit maserallerinin yansıtma değerleri arasındadır. Hüminitler üç maseral alt grubuna ve altı maserale ayrılmıştır (Çizelge 2.1).

**Çizelge 2.1.** Hüminit grubu maseralleri (Sykorova vd 2005)

Maseral Grubu	Maseral Alt Grubu	Maseral
Hüminit	Telohüminit	Tekstinit
		Ülminit
	Detrohüminit	Atrinit
		Densinit
	Jelohüminit	Korpohüminit
		Gelinit

Liptinit grubu maseralleri; Spor, polen, reçine, mum, alg, kütin, süberin, hayvansal ve bitkisel yağlardan meydana gelmişlerdir. Liptinitlerin rengi koyu griden siyaha kadar değişebilir ve yeşilimsi sarı-sarı renklerde oldukça güçlü flüoresans özelliği gösterir. Genellikle kendine özgü ayırıcı niteliği olan morfolojisi ve floresans özelliğinden ayırt edilebilmektedir (Scott 2002).

Maseral gruplarından yüksek hidrojen ve uçucu madde bakımından zengin, daha düşük yoğunluğa ve karbon içeriğine sahip olanıdır. Yüksek hidrojen içeriği sebebiyle, liptinit bakımından zengin kömürler sıvı hidrokarbon kaynağı olarak değerlendirilebilirler. Flüoresans şiddeti kömürleşme arttıkça azalır. Işık yansıtma dereceleri kömürleşme/termal olgunlukla artar ve yaklaşık % 1,3 düzeylerine kadar ulaşabilir ancak daha ileri düzeylerde liptinit maserali duraylılığını koruyamaz. İntertinit ve hüminit maserallerine göre ışık yansıtma dereceleri daha düşüktür. Düşük ışık yansıtma dereceleriyle, polarize ışıkta koyu renkte gözüklürler ve mavi UV ışıkta gösterdikleri flüoresans özellikleriyle minerallerden kolayca ayrılabilirler (Pickel vd. 2017). Liptinitler, aşağıdaki çizelgede görüldüğü gibi dokuz maserale ayrılmıştır (Çizelge 2.2).

**Çizelge 2.2.** Liptinit sınıflaması (Pickel vd 2017)

Maseral Grubu	Maseral
Liptinit	Kütinit
	Suberinit
	Sporinit
	Rezinit
	Eksudatinit
	Klorofillinit
	Aljinit
	Liptodetrinit
	Bitüminit

İntertinit grubu maseralleri; kökeni hakkında tartışmalar devam etmekle birlikte başlangıç maddesi hücre duvarındaki linyin ve selülozdur. Scott ve Glasspool (2007)'a göre semifüzinit, füzinit ve nertodetrinit oranları çeşitli etkenler tarafından kontrol edilmektedir. Bunlar yangın, sıcaklık ve taşınma etkileri olabilir. İntertinit maseralleri, yüksek bitki dokuları ve mantarlardan meydana gelmişlerdir. Hücre yapılarının korunma derecesi ve şekli, farklı inertinit maserallerinin depolanma sonrası maruz kaldığı koşullara ve kökenine bağlı olarak değişiklik gösterir. Kömürleşme sırasında farklı kökenli ve oluşumlu maserallerden de oluşabilirler. Füzinitleşme adı verilen süreçten geçerler ve süreç sonunda maserallerin hidrojen içerikleri azalırken karbon içerikleri artar. Yansıyan ışıkta renkleri gri, grimsi beyaz-sarımsı beyaz arasında değişmektedir. İntertinit maserallerinin flüoresans özelliği yoktur ancak mavi-mor/yeşil ışık uygulandığı zaman düşük yansıtma dereceli inertinitler zayıf flüoresans gösterebilirler. Işık yansıtma dereceleri diğer iki gruptan yüksektir. Füzinitlerin hücre duvarları zayıf anizotropi gösterebilir. İntertinitler, yüksek karbon, düşük hidrojen ve oksijen içerikleriyle karakterize edilerek diğer maseral gruplarından ayrılmıştır (Van Krevelen 1993).

Bazı havzalardaki kömürlerde en yaygın inertinit maserali olan funginitler, karakteristik yapıya sahiptir. Kendine özgü dokular göstermekle birlikte, yuvarlak veya oval şekiller gösterirler (ICCP 2001). Mikrinit dışındaki inertinit maseralleri genellikle pozitif rölyef gösterirler. Makrinit maserali ise geniş alanlar kaplayan dokusuz görünümüyle tipik özelliktedir. Bu görünüm ve oluşumları ile makrinitlerin, Türkiye

linyit ve alt bitumlu kömürlerinin önemli bir bileşeni olduğu belirtilmiştir (Toprak 2009). İneritinit grubu maseralleri, aşağıdaki çizelgede görüldüğü gibi yedi maserale ayrılmıştır (Çizelge 2.3)

**Çizelge 2.3. İneritinit grubu maseralleri (ICCP 2001)**

Maserale Grubu	Açıklama	Maserale
İneritinit	Bitki hücre dokusu gösteren maseraller	Füzinit
		Semifüzinit
		Funginit
	Bitki hücre dokusunu kaybeden maseraller	Sekretinit
		Makrinit
		Mikrinit
	Parçalanmış (kırıntılı) İneritinit maseralleri	İneritodetrinit

### 2.3.2. Kömürün inorganik bileşenleri

Kömürlerin inorganik bileşenlerinin tür ve miktarları kömürün kimyasal, jeolojik ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Kömürün organik yapısını karbon oluştururken, inorganik yapısını ise kil, kuvars, kalsit ve kükürt olmak üzere, kömürün oluşumu sırasında bitkisel yapısından gelen, olduğu bataklık ortamındaki reaksiyonlar sonucu oluşan veya kömür oluşumu sırasında doğa faktörleri ile dışarıdan gelip kömür yataklanmasına dahil olan mineral maddelerden oluşmaktadır (Benson, 1993). Kömür oluşumu sırasında jeolojik ve kimyasal aşamalarda farklılıktan dolayı inorganik bileşenlerin türü ve miktarı havzalar arasında, havzalardaki yataklar arasında her düzeyde çeşitlilik gösterebilir (Swaine 1990; Bouska 1981). İneritinit materyal, boşluk suyu içerisinde çözünerek bulunan tuzlar, belirli kristal yapıya sahip olan katılardır (Karayığit 1998). İneritinit maddeler, kökenlerine göre üç grupta sınıflandırılırlar. Bunlara bakacak olursak:

1. Kömürün gözenekleri içerisinde çözülmüş tuzlar ve diğer inorganik maddeler,
2. Kömür maserallerinin organik bileşenleriyle birleşmiş inorganik maddeler,
3. Kristal yapıda olan veya olmayan inorganik tanecikler (Ruiz ve Crelling, 2008)

Mineral madde, kömürdeki tüm minerallerin ve diğer inorganik elementlerin toplamı olarak değerlendirilmektedir. Organik olarak karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt dışındaki tüm elementler, bu sınıflandırmaya göre mineral madde olarak tanımlanmaktadır. Kömürde inorganik bileşim halinde bulunan, kalsiyum, magnezyum ve demir karbonatlarda karbon; oksitlerde, suda, sülfatlarda ve silikatlarda oksijen;

serbest su ve hidrat suyu olarak hidrojen; sülfürler ve sülfatlarda kükürt bulunmaktadır. Organik yapıyla meydana gelen inorganik maddeler de mineral madde olarak belirtilebilmektedir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998). Ortamdaki su içinde eriyik halde bulunan mineral maddenin kristallenerek çökmesi sonucu oluşan, çeşitli faktörlerle (su, rüzgâr) ya da volkanik aktivite sırasında gelen ve organik madde ile birlikte depolanan detritik mineraller (kuvars, feldispat, kil, vb) otijenik mineraller olarak tanınmaktadır. Otijenetik mineraller sinjenetik veya epijenetik olarak oluşabilirler. Gömülme ve kömürleşme sırasında diyajenetik süreçlerle oluşan sinjenetik mineraller pirit framboidleri, siderit yumruları, gözenek veya bitkisel hücre aralarında bulunan kuvars, kaolinit, fosfat ve pirit minerallerinden oluşmaktadır (Andrejko ve Cohen 1984). Epijenetik mineraller ise turba kömürleştikten sonra kırık ve çatlaklarda oluşan kalsit, siderit, dolomit, markazit, dawsonit, pirit, apatit, ankerit, illit, klorit mineralleridir (Ünalın 2010). Bataklık ortamındaki anoksik koşullar ve bitki materyalinin bozunmasıyla bol miktarda kükürt serbest kalarak sülfid minerallerini ortaya çıkarırlar. Kömür içinde en çok rastlanan örneği pirittir. Sinjenetik pirit genellikle framboidal yapıdadır ve tipik olarak az miktarda kalkofil elementi içerir (As, Hg, Pb, Se, Cd, Tl) (Ünalın 2010).

Kömürdeki mineral maddenin miktarı kömürün kalitesini belirlemektedir. Mineral madde oranının yüksek olduğu kömürler düşük kaliteli olarak sınıflandırılır. Kömürün yakıt olarak değerlendirilebilmesi için mineral madde oranının % 50'nin altında olması gerekmektedir. Kömür örneklerinin çoğunda ana elementler ve kükürt (C, H, O ve N hariç) farklı yüzdelerde görülebilmektedir. Minerallerin bazıları, kömürde makroskobik olarak, bir kısmı da yüzeyde yumrular halinde bulunabilmektedir. Minerallerin maserallerle olan ilişkisi, ayrıntılı olarak optik mikroskopla ya da daha ayrıntılı görülebilen elektron mikroskobunda belirlenebilmektedir. Kömürde bulunan mineraller, kömürün sınıflaması, test edilmesi, kullanımı ve oluşum ortamlarının belirlenmesi bakımından büyük bir öneme sahiptir (Karayığit 1998).

Kömürün (kuru, kül içermeyen) organik maddesinin bileşimine bakıldığı zaman en önemli bileşenleri sırasıyla karbon (C) ve hidrojen (H) genelde, % 70-95 ve % 2-6 oranında olduğu düşünülmektedir. Kömürler genellikle karmaşık hidrokarbon bileşikleri olarak bulunurlar. Kömür yakıldığında H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> olarak serbestleşirler. Bu yüzden birlikte ölçümleri de kolaydır. Ancak ölçülecek CO<sub>2</sub> 'teki karbonun bir kısmının karbonat minerallerinden, bir kısmının da kömürün yüzey neminden veya killerin kristal yapısından gelebileceği de ihtimaller dâhilindedir (Speight 2005).

Azot büyük ölçüde kömürde, organik bileşiklere bağlı olarak bulunmaktadır. Kömürde bulunan azot içeren bileşikler hakkında çok az bilgi mevcuttur, ancak kararlı oldukları ve esas olarak halkalı yapıda oldukları düşünülmektedir. Kömürde hiç bir azot minerali bulunmamakla birlikte özellikle gözenek sularında bazı azot bileşikleri oluşabilmektedir. Kömürdeki azotun bir kısmı, kok eldesi sırasında amonyum bileşiklerine dönüşebilmektedir. Bunlar yan ürün olarak gübre sanayinde ve nitrik asit eldesinde kullanılabilir. Kömürün yanması sırasında oksit oluşumunu kolaylaştırdığından yüksek azot kömürde istenmeyen bir parametredir. Kömürdeki orijinal azot kaynağı hem bitki hem de hayvansal protein olabilir. Bitki alkaloidleri, klorofil ve diğer porfirinler, kömürleşme işlemi sırasında değişikliklere dayanarak böylece kömürün azot içeriğine katkıda bulunacak kadar kararlı olan halkalı yapılarda azot içerir. Belirtilenin aksine, kömürün tamamını oluşturduğu varsayılan organik

malzeme ile azotun tümüyle meydana gelir (Speight 2005). Buna göre, kükürt kömürde üç şekilde oluşur:

1. Organik kükürt; Kömürün organik yapısında bulunmaktadır
2. Piritik kükürt; Sülfid minerallerinin (pirit ve markazit,  $FeS_2$ ) bünyesindeki kükürttür (inorganik sülfür)
3. Sülfat kükürdü; Sülfat minerallerinin bünyesinde bulunmaktadır (İnorganik sülfatlar, örneğin  $Na_2SO_4$ ,  $CaSO_4$ ) (ASTM D-2492; ISO 157; Kuhn, 1977) .

Organik kükürt ve piritler kömürdeki neredeyse tüm kükürdü oluşturur. Sülfat kükürdü, kayda değer miktarda piritler içeren yıpranmış kömür hariç, genellikle % 0.1'den azdır. Piritik kükürt içeriği, organik kükürt içeriğinden çok daha fazla değişir ve daha ilgi çekicidir, çünkü mevcut hazırlama uygulamaları ile kömürden en kolay şekilde çıkarılabilen formdur (Speight 2005).

Kömürün koklaşmasında, kükürtün bir kısmı koklaştırma işleminde çıkarılır, bu da önceki ve sonraki değerlerin elde edilmesi için gereklidir. Metalurjik işlemlerde olduğu gibi kokun ticari kullanımları düşük bir kükürt içeriği gerektirir ve kok için doğru bir kükürt değeri gerektirir. Kömür gazlaştırma ve sıvılaştırma işlemlerinde, kömürdeki kükürt bazen ürünlere taşınır. Bu nedenle, kullanılmadan önce ürünlerin her birindeki kükürt miktarını belirlemek gerekir. Kömür temizlemenin başlıca nedenlerinden biri, kükürt içeriğini azaltmaktır. Temizleme işlemini değerlendirmek için temizlik öncesi ve sonrası kükürt içeriğini bilmek gerekmektedir (Speight 2005).

Oksijen, kömürün hem organik hem de inorganik bileşiminde bulunmaktadır. Organik kısımda, hidroksil (-OH), genellikle fenol grupları, karboksil grupları ( $CO_2H$ ), metoksil grupları ( $-OCH_3$ ) ve karbonil gruplarında ( $=C=O$ ) oksijen bulunur. İçinde düşük seviyeli kömür, hidroksil oksijen ortalama yaklaşık % 6-9, yüksek dereceli kömürler % 1'den daha az içerir. Karbonil, metoksil ve karboksil gruplarındaki oksijen yüzdeleri, düşük dereceli ve kahverengi kömürde %~1, yüksek dereceli kömürde neredeyse ölçülebilir bir ortalama değerde görülmektedir. Oksijen kömür içinde, aynı zamanda nemde, kömürün oksitlenmiş yüzeyinde ve inorganik mineral, silikatlar, karbonatlar, oksitler ve sülfatlarda da yer almaktadır. Mineral yapıdaki ve nemdeki kömür göz ardı edilirse, oksijen iyi bir kömür derecesi göstergesidir. Kömür sınıflamalarında kullanılan önemli bir parametredir. Kömürdeki oksijen miktarı, bilinen, 100'den diğer bütün bileşenlerin çıkarılması ile elde edilmektedir (Speight 2005).

Kömür, iz elementler yönünden oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Kömürlerde zenginleşen iz elementler depolanma ortamının jeokimyasal koşullarının belirlenmesinde önemli bilgiler ortaya koymaktadırlar. Kömürde inorganik bileşenlerin bolluğu, her seviyede mikrometreden kilometreye kadar çeşitlilik sunabilmektedir. Bu çeşitlilik turba ve kömür oluşum sürecindeki jeolojik ve jeokimyasal farklılıktan kaynaklanmaktadır (Swaine 1990; Bouska 1981). Düşük kül içeriğine sahip kömürlerde, elementler çoğunlukla organik materyalle ilişkilidir (Swaine 1995). Kömürlerde kül artışıyla birlikte organik kaynağına bağlı elementlerin miktarı azalırken, minerallere bağlı elementler artar (Nicholls 1968; Song vd. 2007).

## 2.4. Organik Madde Miktarı

Toplam organik karbon miktarı (TOC), kayacın içerisindeki kerojene ait karbon miktarı ile bu kerojenden türemiş fakat kaya dışına atılamamış hidrokarbonların toplamıdır (Durand vd 1972, Jonathan vd 1976). Tissot ve Welte (1984)'ye göre de TOC, sedimanter kayaç içerisindeki organik madde miktarının ağırlıkça yüzdesi olarak ifade edilerek, kaya içerisinde serbest halde bulunan hidrokarbonlara ve kerojene ilişkin organik karbonun toplamına eşittir.

Kaynak kaya içerisindeki organik madde miktarı; birincil biyolojik üretkenlik, tane boyu, sedimantasyon hızı, fizikokimyasal koşullar ve kaya cinsine bağlı olarak değişimler sergilemektedir. Sedimanların çökeldiği ortam organizmaların varlığı tarafından ne kadar zenginse kaya içerisindeki organik madde miktarı da o kadar fazla olmaktadır. Ortamın anoksik ve asidik bir karaktere sahip olması, organik maddenin bozulup yok olmaması için gereklidir. Aksi takdirde organik maddenin korunumu mümkün olmayıp bakteriler tarafından yok edilmektedirler. Ayrıca kayanın cinsine bağlı olarak organik maddenin miktarıda değişmektedir. Örneğin kıltaşı ve çamurtaşları organik madde bakımından zengin, karbonatlı kayaçlar orta, silttaşı ise fakirdir (Tissot and Welte, 1984).

Sedimantasyon hızında da organik maddenin miktarını etkileyen faktörler arasındadır. Kömürler için nemli ve sıcak iklim, yoğun bitki topluluğu, turbaların korunabilmesi için yeraltı su seviyesinin devamlı ve yavaş yükselmesi, diğer taraftan denizin ve nehirlerin taşıyıcı etkisinden turba bataklıklarının korunması gerekir. Sübsidans (çökme) çok hızlı olursa bataklıklar gölsel veya denizel çökellerle dolar ve turba yerine bu çökeller depolanmaya başlar. Eğer çökme çok yavaş olursa bitkilerin çürümesi havada gerçekleşir ve böylece turba ve sonrasında da kömür oluşumu gerçekleşemez. Bu sebeplerle orta hızdaki bir sedimantasyon (0.01-1m/1000 yıl) organik maddenin korunması için en ideal olanıdır (Meyers ve Lallier 1999).

Kömürler çok yüksek organik karbon içeriğine sahiptirler. Fakat termal bozunma sırasında ilk olarak gaz üretmektedirler. Bu, organik maddenin yapısı, bileşimi ve aynı zamanda da hidrojen azlığından kaynaklanmaktadır. Ayrıca kömürler genellikle III. Tip kerojen içerdiklerinden dolayı TOC değeri içerisinde kalıntı karbon (KK) hâkimdir (Jarvie, 1991).

## 2.5. Organik Madde Türü

Organik maddenin tipi, kaynak kayaların üretmiş oldukları hidrokarbonların petrol veya gaz oluşturabilmesi açısından oldukça önemli bir parametredir (Hunt 1995). Rock-Eval piroliz analizlerinden elde edilen verilere göre organik maddenin türü, kerojen tipleri tayin edilerek belirlenmektedir. Kerojen tipleri kimyasal bileşimlerine göre 3 gruba ayrılmıştır (Tissot ve Welte 1984).

*Tip I kerojenlerin*, atomik H/C oranları yüksek ve atomik O/C oranları düşük olup petrol-gaz üretme potansiyelleri yüksektir. Denizel ve gölsel kökenli algal lipidlerden veya mikrobiyal aktivitelerle lipid oranı yükselmiş organik maddelerden meydana gelirler. I. tip kerojenler lignin ve selüloz içermezler. Genellikle yüksek oranlarda yağ asitleri ve alkanlar içerirler ve bu yüzden hidrojen zengindirler.

*Tip II kerojenlerin*, H/C oranları ile petrol-gaz üretme potansiyelleri Tip I'e göre daha düşüktür. Bunlar lipid bileşenlerinden (yağ ve parafin) ve özellikle spor ve polen tanelerinin parafinli dış kabuklarından ve planktonlardan meydana gelirler. Çoğunlukla bakteri topluluklarından oluşarak hidrojen zengin bir yapıya sahiptirler.

*Tip III kerojenler* ise karasal yüksek bitkilerden oluşarak aromatik karakterdedirler. Karasal bitki artıklarının karasal ortamlarda çökmesiyle oluşurlar. Çökelişimin artmasıyla gömülmenin fazla olması sonucunda önemli miktarda gaz üretme potansiyeli sağlamaktadırlar ve petrol üretme potansiyelleri zayıftır. Nispeten düşük H/C oranına ve yüksek O/C oranına sahiptirler.

İncelenen örneklerin organik madde tiplerini belirlemek için Langford ve Blanc-Valleron (1990) tarafından geliştirilen S<sub>2</sub>-TOC, Mukhopadhyay vd. (1995) tarafından geliştirilen HI-T<sub>max</sub> ve Espitalie vd. (1977) tarafından geliştirilen HI-OI diyagramlarından yararlanılmıştır. Piroliz analizi sonucunda elde edilen ve S<sub>2</sub> pikinin maksimum olduğu andaki T<sub>max</sub> sıcaklığı ve HI değerleri kullanılarak oluşturulan HI-T<sub>max</sub> diyagramı kerojen tipini belirlemede kullanılmaktadır. T<sub>max</sub> değeri, kerojenin olgunluğu kadar, tipine göre de değişmektedir (Hunt 1995).

Kerojen tipi, organik madde miktarından bağımsız olup, kerojenin elementel bileşimi ile yakından ilişkili olup, HI ve OI parametreleri tarafından da karakterize edilmektedir. Özellikle HI ile atomik H/C oranı ve OI ile atomik O/C oranı arasında uyumlu bir korelasyon söz konusudur. Dolayısıyla bu iki parametre kerojenin elementel bileşimine göre sınıflanan Van Krevelen diyagramına uygulanabilmektedir. Ve daha sonra kerojen tipleri HI ve OI değerlerine göre tespit edilebilmektedir (Tissot ve Welte 1984, Hunt 1995).

## 2.6. Organik Maddenin Olgunlaşma Düzeyi

Organik maddenin olgunluğu, sedimanter bir havzada çökme esnasında sıcaklık, basınç, gömülme ve depolanma sonrası geçen süre gibi çeşitli etkenler tarafından organik maddenin fiziksel ve kimyasal değişikliklere maruz kalan hidrokarbon bileşimlerini meydana getirmesi süreci olarak tanımlanmaktadır (Tissot ve Welte 1984). Rock-Eval analizinden elde edilen verilerle bu aşamada (T<sub>max</sub>, Üretim İndeksi (PI), HI-T<sub>max</sub> diyagramı) organik maddenin olgunluğu belirlenebilmektedir. T<sub>max</sub> ve PI değerlerinin organik maddenin ısıl gelişimi ile yakından ilgili olup birçok özelliğini değiştirmekte olduğu saptanmıştır. PI değerinin olgunlukla beraber sürekli arttığı ve olgunluğu belirlemede kullanılabilir yararlı bir parametre olduğu ifade edilmektedir (Tissot ve Welte 1984; Waples 1985). T<sub>max</sub> ve PI arasında oldukça iyi bir korelasyon olduğu değerlendirilmektedir (Tissot ve Welte 1984).

Olgunlaşmanın erken evrelerinde I. Tip kerojen için T<sub>max</sub> değerleri II. ve III. Tip kerojenlerden daha yüksektir. Bununla birlikte olgunluk arttıkça kerojen tipleri arasındaki T<sub>max</sub> farklılıkları gittikçe azalmakta ve petrol oluşum noktasında hemen hemen eşit olmaktadır (Teichmüller ve Durand, 1983). Olgunlukla ilgili yorumlamalarda kullanılan parametrelerden biri de hüminit yansımasıdır. Hüminit yansıması değerleri ile karşılık geldiği ısıl olgunluk sınıflamasına göre kayacın olgunlaşma düzeyini vermektedir.



## 2.7. Kaynak Kaya Potansiyeli

Kaynak kaya potansiyeli hakkında bilgi edinebilmek için, Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen  $S_1$  ve  $S_2$  parametrelerinden faydalanılmaktadır.  $S_1$  değeri jenetik potansiyelin hemen hidrokarbona dönüşebilen miktarını ve  $S_2$  değeri kerojenin ısısal parçalanması sonucu açığa çıkan hidrokarbon miktarını verir. Potansiyel ürün (PY), kayaç içerisinde önceden oluşmuş olan hidrokarbonları ve kerojenin ısısal parçalanmasıyla açığa çıkan hidrokarbonların toplamını vermektedir (Tissot ve Welte, 1984). PY, 1 ton kayada bulunan kg cinsinden hidrokarbon miktarını verir ve  $S_1+S_2$  toplamı olarak hesaplanmaktadır. Tissot ve Welte (1984)'ye göre ana kayanın nicel sınıflaması;

$(S_1+S_2) < 2$  kg/ton → bu tür kayalar petrol ana kayası olamazlar, ender olarak doğal gaz kayası olabilirler (zayıf)

$2$  kg/ton  $< (S_1+S_2) < 6$  kg/ton → orta derecede petrol ana kayası olabilirler

$(S_1+S_2) > 6$  kg/ton → iyi derecede petrol ana kayası olabilirler.

Bazen oldukça yüksek potansiyel ürün değerlerine sahip kayaçlar olabilmektedir. Bunlar bol miktarda Tip I ya da Tip II kerojen içermekte ve önemli derecede bir gömülme varsa mükemmel bir kaynak kaya, sığ bir gömülme varsa organik maddece zengin şeyllerden oluşmaktadırlar (Tissot ve Welte, 1984). Kömürün potansiyel petrol kaynak kayası olabilmesi için, içerisinde minimum %15-20 liptinit bulunması gerekmektedir. Liptinit ile petrol türüm potansiyeli arasında doğrudan bir ilişki vardır (Hunt 1995; Fowler vd. 1991).

**Çizelge 2.4.** a) Olgunlaşmamış kaynak kayanın türetme potansiyeli(miktar), b) Kerojen tipi ve ürün kalitesi, c) Isısal olgunlaşma (Peters ve Cassa 1994)

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

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

*Olgunlaşma*

*Üretim*

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

## 2.8. Organik Fasiyes

Organik fasiyes incelemeleri, sedimanter bir havzanın kaynak kaya potansiyelinin belirlenmesi ve havzanın jeolojik-tektonik evrimi hakkında değerlendirmeler yapabilmek için önemlidir ve bunlar organik parçaların karakterleri baz alınarak diğer alt gruplardan ayrılırlar. Sedimentlerin inorganik özellikleri dikkate alınmadan belirli stratigrafik birimin haritalanabilir ölçekteki alt gruplarıdır (Jones ve Demaison 1982).

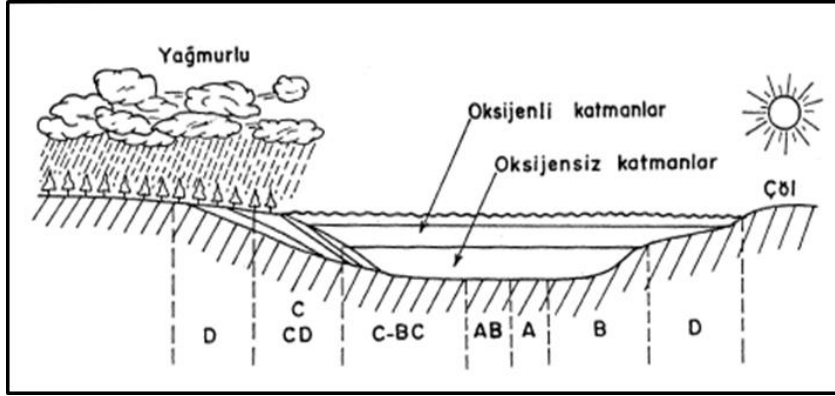
Organik fasiyes sınıflandırmasını Jones ve Demaison (1982), atomik H/C oranları, Rock-Eval piroliz verileri ve hüminit yansıması değerlerinden faydalanarak organik fasiyesleri A, B, BC, C ve D olmak üzere beş tipe ayırmıştır. Jones (1987) ise bu ayrımı, H/C oranı, hidrojen indeksi (HI) ile oksijen indeksini (OI) içeren Rock-Eval piroliz verileri ve egemen organik madde türlerine göre A, AB, B, BC, C, CD ve D organik fasiyesi olmak üzere 7 ayrı tip organik fasiyes olarak geliştirmiştir (Çizelge 4.4). Bu çalışmada, örneklerin organik fasiyes özellikleri değerlendirilirken Jones (1987) sınıflaması baz alınmıştır.

**Çizelge 2.5.** Organik fasiyeslerin genelleştirilmiş mikroskobik ve kimyasal karakteristikleri (Jones 1987)

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

Çalışma alanında organik fasiyes dağılımı ve çalışma alanları karşılaştırması yapılırken paleoortamına, organik jeokimyasal karakterlerine, tektoniğine, hidrokarbon oluşumlarının eşik değerlerine bakılır. TOC ve Rock Eval pirolizleriyle elde edilen HI, OI, değerleri ile potansiyel korelasyonu kerojen tipindeki değişimi (HI/OI) ve organik fasiyesin kalitesi değerlendirilir.

Kerojenin kimyasal özellikleri, mikroskobik incelemelere ve maseral tiplerine göre organik fasiyes ayrılması yapılmaktadır. Her fasiyesin mikroskobik ve kimyasal özellikleri çökelme ortamları incelenerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Fasiyes tanımlamaları yapılırken organik maddenin bileşimi, oluşumu ve diyajenetik durumu göz önüne alınarak yapılmaktadır. Yapılan çalışmayla organik fasiyeslerin konumları Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çökeltme ortamlarındaki fasiyelerin görünümü (Altunsoy ve Özçelik 1993)

### 3. MATERYAL VE METOT

Kütahya-Tavşanlı, Tunçbilek kömür/kömürlü birimlerinin organik jeokimyası ve organik petrografik özelliklerini konu alarak yürütülen tez çalışması kapsamında, incelemeler arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

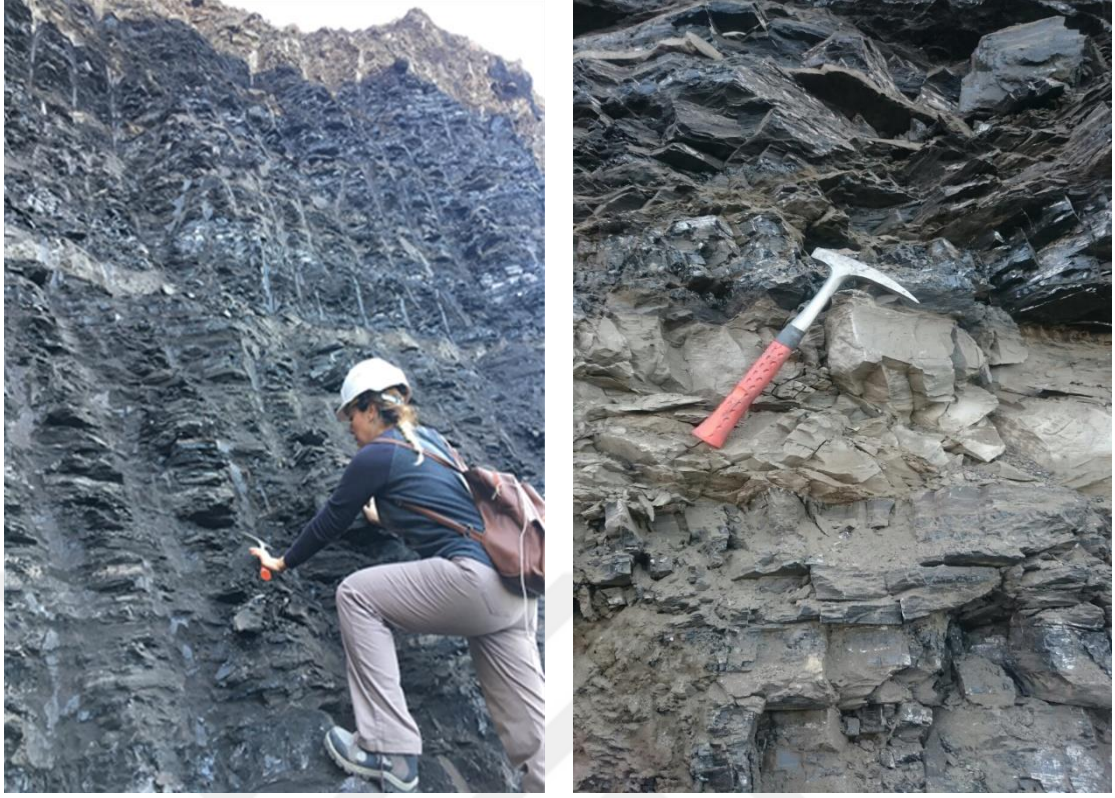
#### 3.1. Arazi çalışmaları

Çalışma alanının jeolojisi hakkında bilgi edinmek amacı ile öncelikle kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Bu kapsamda yapılmış olan çalışmalar göz önünde bulundurularak bölgenin jeolojisi gözden geçirilmiştir. Mevcut jeoloji haritası arazide denetlenmiş ve birimlere ait gözlemler yapılmıştır. Çalışmanın gerçekleştiği Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) kurumu bünyesine ait Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi, madencilik faaliyetlerini sürdürdüğü Tunçbilek Formasyonundaki FC Pano Açık İşletmesi kömürlü birimlerden numuneler alınmıştır (Şekil 3.1)



**Şekil 3.1.** Çalışma sahasında yüzeyleyen kömürlü birimler

Mevcut çalışma alanında Miyosen yaşlı Tunçbilek Formasyonu'nda yer alan kömürlü birimlerden konglomera, marn, kil, kumtaşı olmak üzere havzayı temsil edecek ölçülü stratigrafik kesiti yapılarak ve standartlara uygun yüzey örneği şeklinde 32 adet numune alınmıştır (Şekil 3.2). Bölgenin genel stratigrafik dizilimini görebilmek için önceki çalışmalardan ve arazi gözlemlerinden yararlanılmıştır. Kömürlü birimlere ait yaklaşık 1-2 kg ağırlığında olan örnekler çift katlı numune poşetlerine konularak numaralandırılmıştır. Alınan örnekler analiz için laboratuvara getirilmiştir.



**Şekil 3.2.** Çalışma alanındaki kömürlü birimlere ait görüntüler

### 3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları kapsamında analizlerin yapıldığı yerler ve uygulanan yöntemleri aşağıda sırasıyla açıklanmıştır. Organik jeokimyasal analizler; TOC- Piroliz analizi, organik petrografik analizler; maseral analizi, hüminit yansıma analizidir. Ayrıca elementel analiz olan C, H, O, N miktarı tayini, Toplam Kükürt (S) analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Grubu Laboratuvarlarında (Ankara) ve Maden Tetkik ve Arama (MTA) Laboratuvarlarında yapılmıştır.

#### 3.2.1. TOC-piroliz analizi

Çalışma alanındaki kömür/kömürlü birimlere ait örnekler üzerinde organik madde miktarı, tipi ve olgunlaşma düzeylerinin belirlenmesi ve örneklerin kaynak kaya potansiyelinin ortaya çıkarılması amacıyla yapılan bir analiz tekniğidir. Toplam Organik Karbon (TOC) piroliz analizleri Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO Ankara) Jeokimya Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Organik madde miktarını belirlemek için TOC miktarından yararlanılır. TOC kayacın içindeki kerojene ait karbon miktarı ile bu kerojenden türemiş fakat kaya dışına atılmamış hidrokarbona ait karbonların toplamıdır. (Durand vd 1972, Jonathan vd 1976). TOC miktarının belirlenmesi tek başına kaynak kayanın belirlenmesinde yeterli olmayabilir. Sedimenter kaya içindeki organik madde tipi ve olgunlaşma derecesi belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla

piroliz analizlerinden yararlanılır. Yüksek karbon içeriği her zaman kaynak kayanın belirlenmesinde yardımcı olmayabilir. Bu yüzden diğer parametrelerin de belirlenerek göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Kerojenin oksijensiz ortamda ısısal olarak parçalanma olayına “Piroliz” denilmektedir.

(TOC)-piroliz analizleri Rock-Eval VI cihazı kullanılarak IFP 160000 (Fransa Petrol Enstitüsü) standartına göre analiz gerçekleştirilmiştir. Cihazın çalışma prensibine göre analiz piroliz ve oksidasyon aşaması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilir. Piroliz işleminde, yaklaşık 100 mg öğütülmüş örnek taban ve tavan geçirimli çelik bir hücre içerisine yerleştirildikten sonra mikropiroliz fırınına yerleştirilir, 300°C’de 3 dakika boyunca ısıtılır. Bu sürenin sonunda sıcaklık helyum atmosferinde dakikada 25°C artacak şekilde 600°C’ye kadar artışı sağlanır. Bu ısınma sürecinde, örnekte bulunan serbest hidrokarbonlar 300°C civarında buharlaşır ve 3 dakikalık aralıklar ile bu termo-buharlaşma S<sub>1</sub> piki olarak ölçülür. 300°C’den sonra ısıtma işleminin devam etmesiyle kerojen ısısal olarak parçalanması sonucu ortaya çıkan hidrokarbon gazlarının miktarı S<sub>2</sub> pikleri olarak kaydedilir. S<sub>2</sub> pikinin maksimum değere ulaştığı sıcaklık ölçülerek T<sub>max</sub> olarak adlandırılır. 300-390°C arasında oksijen bileşikleri ayrışır ve kaydedilen S<sub>3</sub> piki açığa çıkan CO<sub>2</sub>’yi temsil etmektedir. Bu da 1 g kayadaki kerojenin ısısal olarak parçalanması sonucunda açığa çıkan CO<sub>2</sub>’in mg olarak miktarını ifade eder. Oksidasyon aşamasında S<sub>3</sub> piki kaydından geriye kalan organik karbon oksijenli ortamda 600°C’de yakılır ve elde edilen CO<sub>2</sub> S<sub>4</sub> piki olarak kaydedilir. TOC miktarı ise S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> ve S<sub>3</sub> değerlerinden otomatik olarak hesaplanılarak % ağırlık olarak ifade edilir.

Piroliz sırasında S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> değerleriyle T<sub>max</sub> ve TOC değerlerini kullanarak kaya içerisindeki organik maddenin çeşitli özelliklerini saptamak için kullanılan indeks değerleri elde edilir. Kaynak kayanın olgunluk derecesi T<sub>max</sub> ile belirlenmektedir. T<sub>max</sub> değeri pirolizin en yüksek ısı değerini gösteren bir parametre olup derinlik artışıyla birlikte değeri de artmaktadır (Espitalie vd. 1977). Ayrıca T<sub>max</sub> ve PI arasındaki ilişkinin kerojen tipiyle değişiklik göstermesi nedeniyle bu veriler diğerleriyle korele edilerek kullanılmalıdır (Espitalie vd. 1985, Huizinga vd. 1988, Peter ve Cassa 1994, Yalçın 1998). Yapılan değerlendirmeler en sık kullanılan yöntemlerden olmasına rağmen fay, kıvrım, uyumsuzluk, jeotermal gradyan gibi etkenler sonucunda T<sub>max</sub> değerinde değişimler görülmesine sebep olabilir (Peters 1986, Yalçın 1998). Tmax değeri ile temsil edilen olgunlaşma derecesi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Tmax değerinin temsil ettiği olgunlaşma değerleri (Tissot ve Welte 1984)

T <sub>max</sub>	Olgunlaşma Derecesi
< 435 °C	Olgunlaşmamış
435 - 445 °C	Erken - Orta Olgun
445 - 460 °C	Orta - İleri Olgun
> 460 °C	Aşırı Olgun

Bu değerlerden  $S_2/TOC$  değeri, hidrojen indeksini (HI);  $S_3/TOC$  değeri, oksijen indeksini (OI);  $S_1+S_2$  değeri, potansiyel ürünü (PY) ve  $S_1/S_1 + S_2$  değeri, üretim indeksi (PI) olarak hesaplanır. Hidrojen indeksi (HI) kaynak kayanın hidrojen zenginliğinin bir ölçüsüdür ve kerojenin hidrokarbon potansiyeli hakkında bilgi verir. Oksijen indeksi (OI) kaynak kayanın oksijen zenginliğini, kaynak kayalarının kalitesini ve termal olgunluğunu tahmin etmek için hidrojen indeksiyle bağlantılı olarak kullanılabilir (Tissot ve Welte 1984, Peters 1986). Üretim indeksi (PI) üretilmiş olan hidrokarbonların potansiyel hidrokarbonlara oranını belirtir ve bir diğer olgunluk parametresidir. Bu değer genellikle derinlik artışına bağlı olarak artar, ancak bu değişim kayaca göç yoluyla gelmiş olan hidrokarbonlar tarafından değişiklikler gösterebilir (Peters 1986, Peters ve Cassa 1994). Piroliz analiziyle elde edilen değerlerden, Hidrojen indeksi ( $S_2/TOC$ ),  $HI-T_{max}$  ve  $HI-OI$  diyagramlarından yararlanılarak organik madde tipi belirlenebilmektedir. Kerojenin elementer analizi sonucu elde edilen H/C ve O/C ile HI ve OI değerleri doğrudan korele edilebilir. Van Krevelan diyagramına elde edilen bu değerler uygulanarak  $HI-OI$  diyagramları oluşturulur ve kerojen tipleri yani organik madde tipi belirlenebilir.  $S_2-TOC$  diyagramında ise eğimi 2 olan doğrunun altında kalan alan III. tip kerojen, eğimi 2-6 arası olan doğrular arasında kalan alan II. tip kerojen ve eğimi 6 olan doğrunun üzerinde kalan alan ise tip I kerojen olarak tanımlanmaktadır. Bu diyagram üzerine düşürülen örnekler için regresyon çizgisinin eğimi kaya içerisindeki piroliz edilebilir hidrokarbon yüzdesini vermektedir. Organik madde miktarı dolayısıyla kaynak kaya potansiyeli hakkında bilgi edinebilmek için TOC,  $S_1$  ve  $S_2$  parametrelerinden de faydalanmak gerekir.

Potansiyel ürün (PY) 1 ton kayada bulunan kg cinsinden hidrokarbon miktarını verir. PY değeri kayanın hidrokarbon türüm potansiyelini yorumlamada kullanılmaktadır. Kaynak kayanın nicel sınıflamasına göre  $PY < 2$  değerini verdiğinde sadece doğal gaz için uygun olabileceği,  $PY > 6$  değerini verdiğinde ise iyi derecede kaynak kaya oluşturabileceğini gösterir (Tissot ve Welte 1984).  $S_2/S_3$  ile kerojen tipi indeksi elde edilmektedir. Bu indeks kayanın ne kadar hidrokarbon türetebileceği hakkında bilgi elde etmemizi sağlamaktadır.

### 3.2.2. Organik petrografi analizleri

Organik petrografi analizleri örneklerdeki organik madde tiplerinin belirlenmesini ve maseral gruplarının yüzde miktarlarının saptanması amaçlanmıştır (Stach vd. 1982). Araziden alınan kömür örneklerinin hazırlanması belirtilen kömür petrografisi standartlarına (ASTM 1983 ve Stach vd. 1982) uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Petrografik analiz için numunenin hazırlanması TS ISO 7404-2 standartına göre, ölçümler ise TS ISO 7404-5 standartına göre yapılmıştır. Yansıma değeri parlatılmış bir yüzey üzerine düşürülen normal ışığın yansımalarının yüzde olarak ifade edilmesiyle belirlenmektedir.

Örneklerin parlatma briketleri (pellet) haline getirilmesi ve parlatılması Maden Tetkik ve Arama (MTA) Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Analizi yapılacak olan örnekler parlatma briketlerinin hazırlanması için kurutulup 1 mm boyutundaki elekten geçirilmiş ve bölücü yardımıyla öğütülmüştür. Silindirik kalıplar içerisine özel polyester (reçine), dondurucu, hızlandırıcı karışımı ile beraber eklenir. Sertleşmesi için 50 °C sıcaklıktaki etüvde bekletilmiştir. Sertleşme işlemi tamamlandıktan sonra farklı tane boyutunda parlatma tozları ve sıvılar kullanılarak hazırlanmış parlatma solüsyonları



döner diskler üzerine dökülmüştür. Kalıplar parlatma cihazında 400, 600, 1200'lük zımpara aşamalarından geçirilerek aşındırılmış ve diskin dönme yönünün tersine çevrilerek parlatılması sağlanır. Maseral analizi için parlatma disklerinin incelenmesi üstten aydınlatmalı mikroskopta gerçekleştirilmiştir. 32x objektif, kırılma indisi % 1,516 olan yağ immersiyonu kullanılmıştır. Kömürlerin yansıtma ölçümleri için yansıtma değeri % [0,586] olan safir standardı kullanılmıştır. Her örnek için minimum 100 noktada rastgele yansımalar ölçülmüştür. Örneklere ait en büyük yansıtma değeri (Rmax), en küçük yansıtma değeri (Rmin) ve ortalama yansıtma değeri (Rmean, Ro) belirlenmiş, ayrıca standart sapma değerleri de hesaplanmıştır.

### 3.2.3. Elementel Analizler

Kömürün organik yapısını büyük ölçüde oluşturan beş elementin (C, H, O, N ve S) nispi oranlarının belirlenmesi için yapılmaktadır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Laboratuvarlarında, Enstrümental yöntem ile karbon(C), hidrojen(H) analizi, azot(N) miktarı tayini (950 °C) ASTM D5373 Standardı'na göre yapılmıştır. Kömürün elementel (ultimate) analizi, karbonla birlikte kükürt, azot ve oksijen'in ağırlıkça yüzdesinin belirlenmesini içerir.

Karbon tayini, organik karbondan meydana gelen kömürde ve karbonatlı minerallerde bulunan herhangi bir karbonu belirler. Hidrojen tayini, kömürün içerdiği organik madde ile birlikte hidrojenin tamamını suyla ilişkili olarak belirlemektedir. Elementel analizle belirlenen kükürt değerleri, kömür içeriğine ve ilk aşamada ki kömür temizleme yöntemlerine bağlı olarak, inorganik kükürt ve organik kükürt olarak ayrılır. Kömür ve kok kömürünün elementel analizi için standart yöntem (ASTM D-3176) elementel karbon, hidrojen, sülfür ve azot ile birlikte tüm materyali içerir. Oksijen genellikle farklı hesaplanmaktadır. Elementel analiz için önerilen test yöntemlerinin kapsadığı karbon ve hidrojen (ASTM D-3178), azot tayini (ASTM D-3179) ve kükürt (ASTM D-3177; ISO 334; ISO 351) ile ilişkili dönüştürülmüş nem (ASTM D-3173) ve kül (ASTM D-3174) tayini verileri kuru bir bazda oluşumunu kapsamaktadır.

*Karbon ve Hidrojen:* Kömürün (kuru, kül içermeyen) organik maddesinin bileşimine bakıldığında en önemli bileşenleri sırasıyla karbon (C) ve hidrojen (H), % 70-95 ve % 2-6 oranında olduğu düşünülmektedir. Kömürler genellikle karmaşık hidrokarbon bileşikler şeklinde bulunurlar. Kömür yakıldığında H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> olarak serbestleşir. Bu yüzden birlikte ölçümleri de kolaydır. Ancak ölçülecek CO<sub>2</sub> 'teki karbonun bir kısmının karbonat minerallerinden, bir kısmının da kömürün yüzey neminden veya killerin kristal yapısından gelebileceği unutulmamalıdır. C ve H ölçümü için iki yöntem kullanılmakta olup bu yöntemler. Liebig Yöntemi (kömürün 800°C'ye ısıtılmasına dayanmaktadır) ve Yüksek sıcaklık yöntemi (1350°C'ye ısıtılan kömürden aynı zamanda kükürt, azot vb.'de ölçülebilmekte) dir.

Karbon ve hidrojen için bu özel yanma analizi yöntemi (Liebig yöntemi) uluslararası olarak kullanılmaktadır, ancak çeşitli ulusal standart organizasyonları tarafından bazı değişiklikler yapılmış olabilir. Örnek boyutu, 1 ile 3 mg (mikroanaliz) kadar 100 ile 500 mg (makroanaliz) yüksek yanma sıcaklıklarıyla birlikte 1300 °C arasında değişebilir. Bununla birlikte, yöntem, kömürdeki karbonun tamamının karbon dioksit ve hidrojenin tamamının suya dönüştürülmesini sağlamalıdır. Kükürt ve klor oksitleri, yanma ürünlerinin ısıtılmış kurşun kromat ve gümüş gazlı bez üzerinden

geçirilmesiyle çıkarılır. Karbon (karbondioksit olarak) ve hidrojen (su olarak), su ve karbondioksiti toplamak için kullanılan emici maddelerin ağırlıklarındaki artıştan hesaplanır. Kükürt oksitleri (ve önemli miktarlarda salınabilen klorin) genellikle yanma gazlarından yaklaşık 600°C 'de gümüş üzerinden geçerek azot dioksit kurşun kromat veya mangan dioksit ile uzaklaştırılır. Ön ve son prosedür geçişi içererek, kuru hava (ayrıca karbondioksit içermeyen) sistem üzerinden absorpsiyon dizisi, tespitten önce ve sonra havayla dolu olarak tartılabilir.

Azot: Azot kömürde büyük ölçüde, organik bileşiklere bağlı olarak bulunmaktadır. Kömürde bulunan azot içeren bileşikler hakkında çok az bilgi mevcuttur, ancak kararlı oldukları ve esas olarak halkalı yapıda oldukları düşünülmektedir. Kömür içeriğindeki azot ölçümünde en sık kullanılan Kjeldahl yöntemidir. Bu yöntemle sülfürik asitte kataklastik özütleme ile amonyum sülfata dönüştürülmektedir.

Kjeldahl yönteminde toz haline getirilmiş kömür, potasyum sülfat içeren konsantre sülfürik asit içeren potasyum sülfat ve bozunma süresini azaltmak için uygun katalizör ile kaynatılmış kömürdür. Katalizör genellikle bir cıva tuzu, selenyumun kendisi veya bir selenyum bileşiği veya ikisinin bir karışımı şeklindedir. Selenyumun özellikle avantajlı olduğu düşünülmektedir.

Kjeldahl-Gunning makro yöntemi azotu belirlemek için en yaygın kullanılan yöntemdir (ASTM D-3179). Bu yöntemle, numune, sıcak konsantre sülfürik asit ve potasyum sülfat karışımı ile yıkıcı bozunma yoluyla amonyum tuzlarına dönüştürülür. Bozunma karışımı sonrası, sodyum veya potasyum hidroksit ile birlikte alkalın yapılır, amonyak damıtma ile atılır, yoğunlaştırılır ve bir sülfürik asit çözeltisi içine emilir ve fazla asit sodyum hidroksit çözeltisi ile çözülmüş maddeler derişimi sağlar. Alternatif yöntem olarak tamamen bozunmadan sonra, amonyağın bir borik asit çözeltisine damıtılması ve standart bir asit çözeltisi ile derişimi yapılabilir. Bu prosedürün gerçekleştirirken, özellikle bozunma ve damıtma adımları başarılı bir şekilde yerine getirilmelidir. Uygun ısıtma hızı gözlenmezse azot içeren türlerin kaybolma olasılığına ek olarak, sıcak konsantre sülfürik asit ve yakıcı çözeltilerle kullanılma sorunu oluşmaktadır.

Kükürt: Kükürt, kömür kullanımında önemli bir husustur. Bu nedenle, tekniklerin verimliliğini artırmanın yanı sıra kükürt tayininin doğruluğunu ve kesinliğini artırma yöntemlerin geliştirilmesi ile ilgili önemli miktarda yayınlanmış çalışma vardır (Ahmed ve Whalley, 1978; Chakrabarti, 1978a; Attar, 1979; Raymond, 1982; Gorbaty ve diğerleri, 1992).

Kömürdeki kükürt formlarını belirleme yönteminde kükürt ve piritik kükürt doğrudan belirlenir ve organik kükürt, toplam kükürt ile kükürtün toplamı arasındaki fark olarak alınır.

Toplam kükürt verileri (ASTM D-3177; ASTM D-4239), kömür yakıt olarak kullanıldığında kükürt oksit emisyonlarının etkili kontrolü için gereklidir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Laboratuvarlarında, Toplam Kükürt (S) Miktarı Tayini ASTM D4239 Standardı'na göre yapılmıştır. Sülfür oksit emisyonu, ekipmanın aşınmasına ve yanma veya kazan ekipmanının yanı sıra atmosferik kirliliğe ve çevresel

hasara sebep olur. Bu nedenle, kükürt verileri, yanma amacıyla kullanılacak kömürlerin değerlendirilmesi için gereklidir.

Kükürt tayini için en yaygın kullanılan yöntemler, Eschka yöntemi, bomba yıkama yöntemi ve yüksek sıcaklıkta yanma yöntemidir. Eschka yönteminde (ASTM D-3177; ISO 334; ISO 351), 1 g analiz örneği, ağırlıkça iki parçanın hafif yanmış magnezyum oksit ile susuz sodyum karbonatın bir kısmının birleştirilmesi oluşan 3 g Eschka karışımı ile iyice karıştırılır. Numune ve Eschka karışımının kombinasyonu porselen bir kroze (30 mL) yerleştirilir ve bir gram daha Eschka karışımı ile kaplanır. Kroze havalı bir fırına yerleştirilir,  $800 \pm 25^\circ\text{C}$  sıcaklığına kadar ısıtılır ve numunenin oksidasyonu tamamlanana kadar bu sıcaklıkta tutulur. Yanma sırasında oluşan kükürt bileşikleri, magnezyum oksit (MgO) ve sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ile reaksiyona girer ve oksitleyici koşullar altında magnezyum sülfat ( $\text{MgSO}_4$ ) ve sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) olarak tutulur. Geri kalan(kalımtı) sülfat çıkarılır ve gravimetrik olarak belirlenir.

Oksijen: Kömürdeki oksijenin doğrudan belirlenmesi için yeterli bir yöntem mevcut değildir. Uygulanan, elementel analizle oksijen miktarı belirlenmesi; nem, kül, karbon, hidrojen, azot ve kükürt yüzdelerinin toplamının 100'den çıkarılması esasına dayanmaktadır (ASTM D-3176):

$$\% \text{ oksijen} = 100 - (\% \text{C} + \% \text{H} + \% \text{N} + \% \text{S}_{\text{organik}})$$

Sonuç olarak ortaya çıkan oksijen değeri, denklemin parçasını oluşturan diğer bileşenlerin saptanmasında yer alan tüm deneysel hataların birikmesi ile yükümlü tutulur. Bu yüzden oksijen içeriği düşük bir doğruluk düzeyindedir. Bu nedenle, farkla belirlenen oksijen, yüzde oksijen değil, fark oksijen yüzdesi olarak belirlenmelidir.

Oksijen tayini için en yaygın olarak kullanılan parametre, azot varlığında kömürün pirolize edilmesini ve daha sonra ürünlerin sıcak ( $1100^\circ\text{C}$ ) karbon veya platinleşmiş karbon üzerine geçişini içerir (ISO, 1994). Böylece uçucu ürünlerdeki oksijen, çeşitli tekniklerle belirlenebilen karbon monoksit döndürülür (Gluskoter vd, 1981; Frigge, 1984).

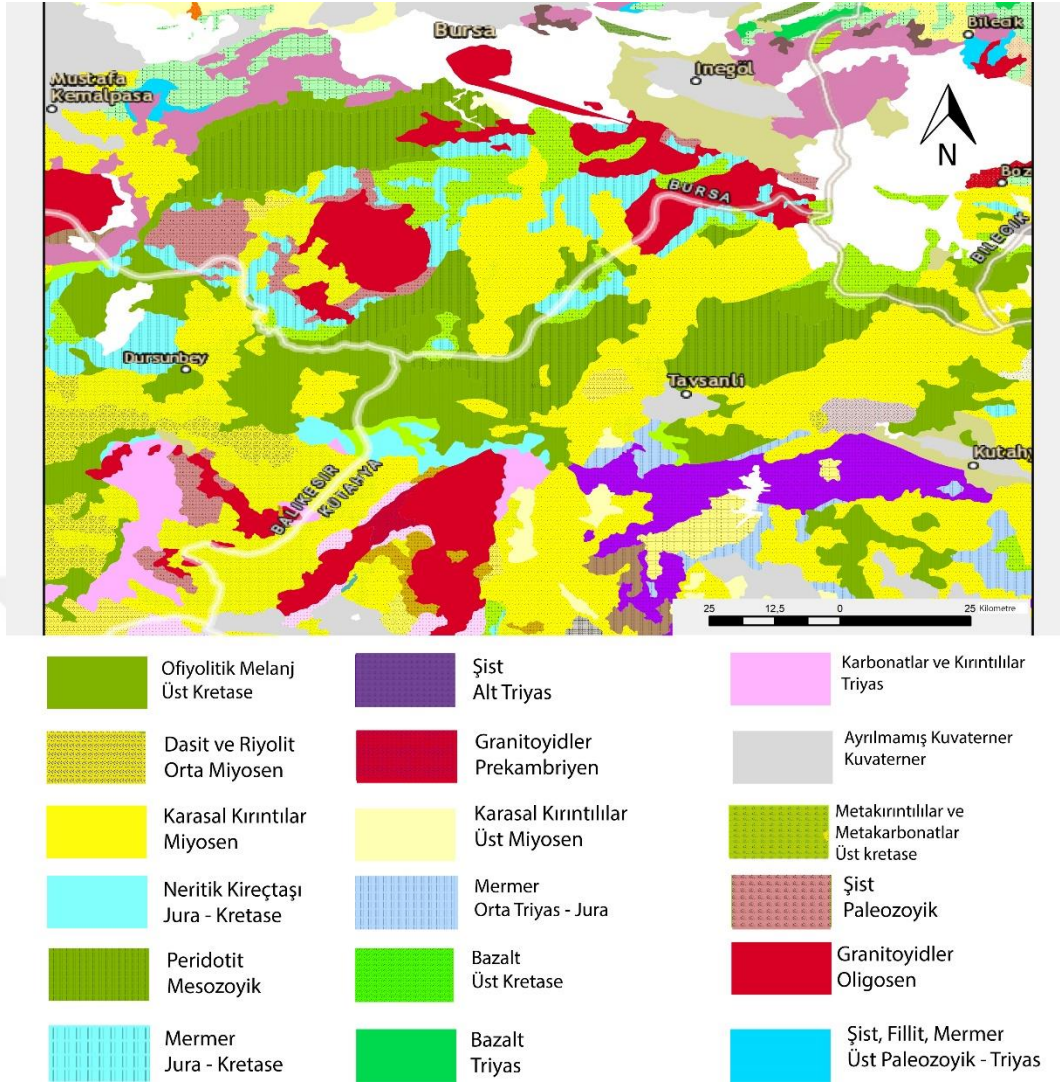


şistler, serpantinleşmiş peridotitler ve mermerler Tavşanlı Zonu' nu meydana getirmektedirler.

Tunçbilek Havzası, yoğun tektonizma etkisi altında kalan bir bölgedir. Beke Deresi, Beke Köy'ünden geçerek havzanın antiklinal eksenini oluşturmaktadır. Beke deresinin kuzeyinde yer alan birimler KD eğimli, güneyinde bulunan birimler G-GB eğimlidir. Havzanın belli aralıklarla çökmesine ilişkili olarak genellikle eğim atımlı normal faylar görülmektedir. Yataya yakın olan (5-11°) Miyosen istifleri fay zonlarında bazı yerlerde çok fazla eğim kazanmıştır. Faylanmalardan daha az etkilenmiş olan Pliyosen birimleri ise ve genelde yatay konumludur. Tüm faylardaki yaygın doğrultu KD-GB olarak görülmektedir. Havzalarda, çökmenin ilerlemesi sonucu büyüme fayları meydana gelmiştir. Neojen'de bölgenin çevresinde genellikle yoğun bir volkanik aktivite gelişmiştir. Volkanizma materyalleri Neojen istifleri içerisinde volkanotortullar, lav ve domlar şeklinde temsil edilmektedir (Akdeniz ve Konak, 1979a; Okay vd. 1996).

#### 4.2. Stratigrafi

Çalışma alanı ve çevresini oluşturan birimler; temel kaya birimlerini Sarıcasu Formasyonu, Kırkbudak Formasyonu, Budağan Kireçtaşları, Dağardı Melanji oluşturmaktadır. Miyosen-Pliyosen yaşlı çökeller ise Beke Formasyonu, Tunçbilek Formasyonu, Civandağı Tüfleri, Oklukdağ Volkanitleri, Saruhanlar Formasyonu, Çökköy Formasyonu, Emet Formasyonu, Kocayataktepe Formasyonu şeklindedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Çalışma alanının jeoloji haritası (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>)

#### 4.2.1. Paleozoyik birimler

Paleozoyik yaşlı Sarıcasu Formasyonu bölgenin temelini oluşturan birimlerden en yaşlı olanıdır (Bkz. Şekil 4.3). Havzada Paleozoyik kristalize kireçtaşları ve metamorfik şist ile Paleozoyik üzerine uyumsuz olarak gelen Kretase yaşlı ultrabazik kayalar bulunmaktadır. Paleosende granit intrüzyonu görülmektedir (Baş, 1987). Sarıcasu Formasyonu'na bakıldığında, kuvars-şist, granatlı mika-şist ve metavolkanik gibi kayalardan oluşmaktadır. Kuruçay ve Göbel yerleşim alanlarından güneye doğru ilerledikçe mostra vermeye başlar ve Tavşanlı'nın güneyinde geniş yayılıma sahiptir. Formasyon genelde bej, kirli beyaz ve yeşilimsi gri tonlarında, kahverengi renklindedir. Birim içerisinde muskovit-albit-kuvars-şist, muskovit-kuvars şist ve kloritmuskovit-albit şistler ve mercekler halinde kireçtaşları gözlenmektedir. Formasyon içerisinde türü belirlenemeyecek düzeyde kristalize olmuş alg parçaları ve krinoid dışında herhangi bir

fosil kalıntısı tespit edilmemiştir. Bölgesel araştırmalar sonucunda bu birimin yaşı Paleozoyik olarak belirlenmektedir (Akdeniz ve Konak, 1979a).

Budağan Kireçtaşı olarak tanımlanan karbonat kayalardan oluşmuş birim, Kırkbudak Formasyonu üzerinde yer alır (Kaya, 1972). Çalışma alanının güneybatısında Budağan Dağı ve çevresinde görülen bu birim kireçtaşı-dolomitik kireçtaşı seviyelerinden oluşmuştur. İnce-orta kalın tabakalanmalı, çok kırıklı, sık eklemli, çatlaklı ve yoğun karstik boşluklar içerdiği gözlenmiştir. Karbonatlar açık gri, koyu gri, kirli beyaz, bej ve siyaha yakın renklerde ve sakkaroyid, oolitik dokuludur. Birim yaşı fosil içeriğine göre Üst Triyas olarak belirlenmiştir (Akdeniz ve Konak, 1979a).

Dağardı Melanjı çalışma alanının kuzeyinde geniş alanlarda gözlenmekte olup, Budağan Kireçtaşlarının, tektonik olarak üstüne gelen ofiyolitik melanj olarak tanımlanmıştır. İçindeki kaya birimlerinin birbirleriyle ilişkisi ilksel olmayıp, tektonik olarak bir araya gelmişlerdir (Okay, 1989). Birim başlıca mafik-ultramafik kayalar, radyolarit, şist ve kireçtaşı blokları, bazı kesimlerde kumlu kalker, kumtaşı-grovak-şeyl, tüfit, şist ve konglomera şeklinde karmaşık özellikteki birimleri içermektedir. Ultrabazik kayalar peridotit, serpantin ve piroksenitlerden oluşur. Birim içindeki metamorfik kayalar değişik boyutta bloklar şeklinde izlenir. Stratigrafik araştırmalara göre yaşı Maastrichtiyen sonu, Eosen başıdır (Akdeniz ve Konak, 1979)

#### 4.2.2. Senozoyik birimler

Senozoyik birimler, Mesozoyik birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelen Paleosen yaşlı granit sokulumu, Pliyosen ve Miyosen yaşlı gölsel çökellerle kuvarterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozlarıyla temsil edilmiştir. Birimler sırasıyla Miyosen yaşlı Tunçbilek Formasyonu, Okludağ ve Cívandağı Tüfleri, Pliyosen yaşlı Karaköy Volkanitleri, Çokköy Formasyonu ve Emet Formasyonu'na ait gölsel kireçtaşı birimleriyle Taşlıtepe Formasyonu'na ait bazaltlar şeklinde gözlenmektedir.

##### 4.2.2.1. Miyosen birimler

Beke Formasyonu: Tavşanlı'nın güneybatısında, Opanözü ve Sekbandemirli köylerinde derin yarılmış akarsu vadilerinde yüzeylenmektedir. Birim yanal ve düşey geçişli olarak çakıltası, kumtaşı ve kıltaşından oluşur. Çakıltaları birimin tabanında yer alarak kırmızı renklerde görülür. Alt kısımlarda çakıltaları, kötü boylanmalı, yarı yuvarlak, köşeli, iri bloklu moloz akması ve alüvyon yelpazesi çökelleriyle başlar. Üste doğru akarsu fasiyesinde, kalın tabakalı ve yuvarlak taneli yapısıyla kumtaşları ile ardalanır. Tane boyu üstte doğru küçülür. Birimin üst seviyelerine bakıldığında kumtaşı-kıltaşı ardalanması gözlenir. Kumtaşları yeşilimsi ve gri renklerde görülmektedir. Siyahımsı ve koyu yeşil renklerin görüldüğü killer yapraklanmalı doku gösterir (Baş, 1983). Killer içinde ince kömür damarları bulunabilir. Toplam kalınlığı yaklaşık 150 metre olan Beke Formasyonu Alt Miyosen yaşlı olarak değerlendirilmiştir (Baş,1983).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ YAŞI	KALINLIK (m)	FORMASYON	LİTOLOJİ		
SENOZOYİK	TERSİYER	KUVATERNER		KOCAYAKATEPE FORMASYONU	Yamaç molozu Alüvyon Kumtaşı - çakıtaşı - kil - silttaşı		
			200	EMET FORMASYONU TASLİTEPE VOLKANİTLERİ	Andezit - Bazalt (Dayk şeklinde) Yer yer marn, ara seviyeli kireçtaşları, kil		
		PLİYOSEN	200	ÇOKKÖY FORMASYONU	Yanal ve düşey geçişli marn, kiltası, kumtaşı, tuf, tüfit, kumtaşı - çakıtaşı ardalanması		
			300	SARUHANLAR FORMASYONU	İnce - orta - kalın tabakalı çakıtaşı, kumtaşı, kil, marn, tuf, tüfit, yer yer kireçtaşı		
				OKLUKDAĞI VOLKANİTLERİ	Dasit, riyodasit, riyoalit		
		MİYOSEN	300	ÇİVANDAĞI TÜFLERİ	Temel kaya parçaları içeren yer yer altire olmuş tuf		
			400	TUNÇBİLEK FORMASYONU	Gölsel kireçtaşı kumtaşı, kireçtaşı tabakalanmalı, (killi marn - siltli marn, kiltası) Kömür (15-20 m)		
			150	BEKE FORMASYONU	Marn, kiltası, bloklu çakıtaşı Tabakalanmalı kumtaşı Yapraklanmalı killer ve marn		
				DAĞARDI MELANJİ	Kumtaşı, grovak, şeyl, kireçtaşı (matriks içinde), ultrabazik kayalar, kireçtaşı blokları, serpantin, harzburjit, dunit		
		MESOZOYİK	KRETASE	600	BUDAĞAN KIREÇTAŞLARI	Mikritik kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, ince - orta - kalın katmanlı	
				400	KIRKBUDAK FM.	Çakıtaşı, kumtaşı, kiltası, kumlu kireçtaşı, silttaşı	
					SARICASU FM.	Mikaşist, kuvarsit, muskovit, albit, yer yer mercekli kireçtaşları, değişik boyutlarda volkanit	
		PALEOZOYİK					Ölçeksiz

Şekil 4.3. Kütahya-Tavşanlı bölgesine ait stratigrafik kesit (Akdeniz ve Konak, 1979a; Özcan vd. 1988; Göncüoğlu vd. 1992; Baş, 1983, 1986'dan değiştirilmiştir.)



*Tunçbilek Formasyonu:* Çalışmada kullanılan örnekler Tunçbilek Formasyonu'ndan alınmıştır. Birim Tavşanlı'nın batısı ve kuzeyi ile Kütahya havzası kuzeyinde yüzeylenir. Tunçbilek Formasyonu; Miyosen yaşlı olup birim genel olarak konglomera, kumtaşı, kil, marn ve kiltası içinde yer alan kömür damarlarından oluşur (Baş, 1983) (Şekil 4.4). Toplam kalınlığı yaklaşık 400-450 metreyi bulan Tunçbilek Formasyonu'nu oluşturan birimler birbiriyle yanal ve düşey geçişlidir. Birimin alt seviyelerinde kiltaları görülür. Killer üstte doğru marn seviyelerine geçiş yapar. Marnlar ince-orta tabakalanmış kumtaşı marn ardalanmalı olup, yer yer ekonomik kalınlıkta kömür seviyeleri mevcuttur. Kömürlü ve ince kırıntılı sedimanlar üzerine, Domaniç Serisine ait Geç Miyosen Pliyosen yaşlı, lavlar, tüfler, kireçtaşları gelmektedir (Baş, 1983). Tavşanlı ovası batısında, Formasyonun Gürağaç üyesi yüzeyler. Bu üye kil ve silt boyutunda seviyeleri içeren kırmızı, bordo renklerde kumtaşı ve çakıltaşlarından meydana gelmektedir. Akarsu ortamında çökelmiş çakıltaşı ve kumtaşlarında çapraz katmanlanma oluşmuştur. Gürağaç üyesi, üstte Yel değirmeni, altta ise Demirbilek üyesi ile geçişlidir. Yel değirmeni üyesi altta çakıllı, kumlu kireçtaşı birimleriyle başlayarak, üstte doğru killi kireçtaşları görülür. Tunçbilek Formasyonu altta Beke Formasyonu, üstte ise Civandağı Tüfleri ile yanal ve düşey geçişlidir. Tavşanlı volkanikleri ise tüm Miyosen birimlerini keserek yüzeylemektedir (Arık, 2002). Bazı kesimlerde iyi korunamamış yaprak fosilleri gözlenmektedir. Birimin yaşı Orta-Üst Miyosen olarak belirlenmiştir (Baş 1983, Akdeniz ve Konak, 1979a).



**Şekil 4.4.** Miyosen yaşlı kömürlü birimlere ait görüntü

*Civandağı Tüfleri:* Kütahya-Domaniç-Uşak bölgelerinde geniş yayılıma sahip olan tüfler Civandağı Tüfleri olarak adlanmıştır (Akdeniz ve Konak, 1979a). Tunçbilek Formasyonu üzerine gelen çalışma alanının batısında yer alan Civandağı Tüfleri, üstte ise Okludağı Volkanitleri ile yanall ve düşey geçişlidir. Yaklaşık 300 metre kalınlıkta olan birim, pembe, sarımsı, beyaz, gri renkli olup bazı kesimlerde Neojen öncesi birimlere ait çakıllar içermektedir (Baş, 1987). Genellikle tüf ve kül tane boyutunda gözlenirken bazı kısımlarda lapilli boyutuna kadar değişim gösteren birimde üstte doğru gidildikçe volkanik kayaaç parçaları gelişmiştir (Baş, 1986). Bu tabakalanmalı yapı tüflerin çok aşamalı volkanik patlamalarla çökeldiğine işaret etmektedir. Çoğunlukla birim içerisinde masif bir kütle şeklinde bazı kesimlerde kireçtaşı, kil ve konglomera ara katları tespit edilmektedir. Tunçbilek Formasyonu üzerinde Civandağ Tüfleri, Okludağ Volkanitleri ile düşey ve yanall geçiş göstermektedir. Yapılan çalışmalarda fosil içermeyen birimin yaşı Üst Miyosen olarak belirlenmiştir (Baş, 1986;1987).

*Oklukdağı Volkanitleri:* Tavşanlı bölgesinde geniş yayılım gösterirler. Volkanitler, dasitten riyolite kadar değişen bileşimlerdeki lavlardan meydana gelmiştir. Renkleri pembemsi, açık-koyu gri, sarımsı olup dasit-riyolit bileşimli masif kayaaçlardan meydana gelir ve havzadaki görünümleri genelde dom ve dayklar şeklindedir. Başta biyotit olmak üzere koyu renkli mineraller hornblend, seyrek olarak ortopiroksen ve bazen klinopiroksen ile açık renkli minerallerden ise plajiyoklas, ortoklas ve kuvars içerdiği belirlenmiştir. Tavşanlı batısında, lavlar Tunçbilek Formasyonu'nu kesmiş ve dokanakta pişme zonları gelişmiştir. Bazı yerlerde riyolit yüzeylenmeleri aşınımlla olarak ortaya çıkmıştır ve volkan çivileri biçiminde izlenir. Oklukdağı, çalışma alanındaki en büyük riyolit, riyodasit domunu oluşturmaktadır. D-B uzanımlı bir çatlak üzerinde, gelişim gösteren bu dom çevresinde, riyolitlerin tüflerle birlikte Dağardı Karmaşığı'na ait ofiyolitik temel kayaları kesmiştir. Yer yer sokulumlar oluşturduğu ofiyolitler içinde ve bu sokulumlarda normal faylanma şeklinde kesme dokanaklarının oluştuğu gözlenmiştir.

Oklukdağı Volkanitleri'nin radyometrik yaş bulguları bulunmamaktadır. Dokanak ilişkilerine göre birimin Üst Miyosen-Erken Pliyosen'deki volkanizma sonucu geliştiği belirlenmiştir (Baş, 1983).

Örnek No	Litoloji	Açıklamalar
831		Marn + (ince damar kömür)
832		Kömür
832,5		Killi kömür
833		Kömür
833,5		Kömür
834		Kömür
835		Kömür
836		Kömür + Kil bantları
837		Kömür
840		Kiltası (ara kesme)
841		Killi kömür
843		Kömür + Kil
844		Kömür + Kiltası
844,5		Kömürlü Kil
848		Kömürlü Kil
849		Kömür + Kil

Ölçeksiz

Şekil 4.5. Tunçbilek Formasyonu kömür seviyelerine ait dikme kesit

#### 4.2.2.2. Pliyosen birimleri

**Saruhanlar Formasyonu:** Kütahya Grabeni ve Tavşanlı bölgesindeki istif içerisinde bu formasyon izlenmemiştir. İsaköy, Kınık ve Seyitömer arasında yayılım gösterir. Birim, kumtaşı, çakıltası, tüf, tüfit, kireçtaşı ve marn araldanmasından meydana gelmiştir. Birim içerisinde çakıltaları baskın, tüfler masif ve kalın tabakalanmalı görülür. Tüfler kumtaşı, kiltası ve kireçtaşları ile araldanmış şekildedir (Baş, 1983). Toplam kalınlığı yaklaşık olarak 300 metreyi bulan bu birim üstte Çökköy Formasyonu'yla yanıl ve düşey geçişlidir Saruhanlar Formasyonu'nun yaşı Alt Pliyosen olarak önerilmiştir (Baş, 1983).

**Çökköy Formasyonu:** Miyosen serisi Alt Pliyosen yaşı Saruhanlar Formasyonu, genellikle kırıntılı ve kısmen karbonatlı birimlerde temsil edilen Çökköy Formasyonu tarafından örtülmektedir. Alt Pliyosen yaşı marn, kil, konglomera, kumtaşı, tüf, tüfit ve killi kireçtaşı düzeyleri içeren Çökköy Formasyonu volkanik kayaç birimleri üstüne uyumsuz olarak gelmektedir. Birimin kalınlığı değişken olmakla beraber yaklaşık olarak 200 metreyi bulmaktadır (Baş, 1983). Birimin en alt kısımlarında tüfler hakim

durumdayken orta kesimlerde marnlar ve üste doğru kireçtaşları egemen duruma geçmiştir (Arık, 2002). Tüfler beyaz ve grimsi renklerde görülüp içinde boyutları 20 cm'ye varan serpantin parçaları izlenmiştir. Birimde, detritikler ise orta-kalın tabakalı ve sarımsı, kahve renklerde görülür. Çökköy Formasyonu ise Üst Miyosen yaşlı gölsel karbonatlı kayaçlardan oluşan Emet Formasyonu ile yanıl/düşey geçişlidir (Arık, 2002). Genellikle orta kalınlıkta ve iyi tabakalanmalı gözlenen birimin yaşı içerdiği fosillere göre Alt Pliyosen yaşlı olarak belirlenmiştir (Baş, 1983).

*Emet Formasyonu:* Gölsel kireçtaşlarından meydana gelen ve yapısında andezit ve bazalt bulunduran Taşlıtepe Volkanitleri, Çökköy Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Emet Formasyonu'nun içerdiği kireçtaşları gri, beyaz, bej, krem renkli, alt kısımları fazla killi, yer yer bol gözenekli, orta kalın tabakalanmalı yatay veya yataya çok yakın özellik göstermektedirler. Formasyonun alt kesimlerinde yaygın olan killi kireçtaşı ve marnların varlığı, Formasyonun Alt Pliyosen yaşlı olan Çökköy Formasyonu ile dereceli geçişli olduğunu sunmaktadır. Üste doğru kil oranı azalırken kireçtaşlarına geçiş gözlenmektedir. Dolomitlerin ve silisleşmiş kireçtaşlarının üzerinde olan, araları 2 m kalınlığındaki dolomitik breş parçalarından meydana gelmiş bir seviye bulunmaktadır. Bu seviye açık kahve renkli, bej, oldukça köşeli, birkaç santimetre boyutunda kırıklı parçaları ve bunların arasını dolduran mikrokristalin karbonat matriksinden meydana gelmektedir (Arık, 2002). Birimin yaşı fosil içeriklerine ve stratigrafik çalışmalara göre Orta-Geç Pliyosen olarak belirlenmiştir (Baş, 1983).

*Taşlıtepe Formasyonu:* Pliyosen-Kuvaterner geçişinde yöredeki en genç volkanik faaliyetin ürünü olan Taşlıtepe Bazalt'ları gözlenmektedir. Yörede en üstte Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal kırıntılar ve en son güncel alüvyonlar yüzeylenmektedir (Arık, 2002). Taşlıtepe Volkanitleri genelde siyah, koyu gri ve yeşilimsi siyah renkli, bol gözenekli bazaltlar ve kahvemsî, bordo ve koyu pembe renkli andezitlerle temsil edilmektedir. Birim, Ören köyü civarında domlar, Taşlıtepe civarında ise dayklar şeklinde mostra vermektedir. Saha incelemelerine göre Taşlıtepe Volkanitleri Kuvaterner yaşlı birimler arasında sokulum yaparak Üst Pliyosen yaşlı Emet Formasyonu'nu keserek gelmektedir. Birimin yaşı stratigrafik çalışmalara göre Üst Pliyosen – Kuvaterner olarak belirlenmiştir.

#### 4.2.3. Kuvaterner birimler

Kuvaterner yaşlı Kocayataktepe Formasyonu tüm birimler üzerine örtü olarak gelir ve Formasyon kaba kırıntılılar ile alüvyonlardan oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı Kocayataktepe Formasyonu çalışma alanının en genç birimi olup, kahve renkli, kırmızı, az tutturulmuş konglomera, bej renkli kumtaşı, yeşil renkli kil ve sarımsı bej renkli tüflerden meydana gelmiştir (Akkuş, 1962). Birim, 80 m kalınlığa sahiptir ve kendisinden yaşlı tüm birimleri uyumsuz şekilde örtmektedir. Çalışma alanı içinde geniş bir alanı kaplamış olan alüvyon ve bej, kahve, kırmızımsı renkli kil, kum, çakıl ve blok boyutunda kırıntılılardan meydana gelmiştir.

### 4.3. Yapısal Jeoloji

İncelenen Tunçbilek havzasının bulunduğu bölgede sedimanlar orojenik hareketlere maruz kalmıştır. Havzada epirojenik hareketler Neojen sonundan itibaren başlamış ve bunun sonucunda tansiyon çatlakları oluşarak bölge bloklara ayrılmıştır. Tabakaların ilk konumları epirojenik hareketlerin etkisiyle bozulmuş ve tabakalar az çok eğim kazanmıştır (Baş, 1986). Beke Deresi, Beke Köy'ünden geçerek havzanın antiklinal eksenini oluşturmaktadır. Beke deresinin güneyindeki birimler G-GB eğimli, kuzeyindekiler ise KD eğimlidir. Havzanın belli aralıklarla çökmesiyle bağlantılı olarak genellikle eğim atımlı normal faylar gelişmiştir. Ugradıkları deformasyonun izlerinden, normal - ters faylar ve kıvrımlanmalar gözlenmektedir. Miyosen çökelleri genellikle yataya yakın olan ( $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$ ) fay zonlarında eğim kazanmıştır ve bu eğimler bazı kesimlerde çok fazla olmaktadır. Faylanmalardan daha az etkilenmiş olan Pliyosen birimleri, havza kenarlarındaki kesimler dışında, genellikle yatay konumludur. Tüm faylardaki doğrultu yönü KD-GB olarak belirlenmiştir (Koçyiğit vd. 2000)

Üst seri, alt seri üzerine diskordan olarak gelmektedir. Ancak diskordansa tüm kısımlarda rastlanmamaktadır. Sahada üst seri ile alt seri arasında bir çökme boşluğunun varlığı gözlenmektedir. Ömerler köyü güneyinde kalkerli marn biriminin üzerine gelen bu boşluk üst seriye ait taban biriminin, Beke köyü güneyine bakıldığında ise üst marn istifinin oturmasından da anlaşılabilir. Bazı yerlerde seri içerisinde eski rölyef görülmektedir ve alt seri ile üst seri arasındaki bu durum sedimantasyon boşluğunun varlığını belli etmektedir (GLİ, 1996).

Bu Neojen havzaların çökme (subsidents) özelliği taşıyan dokanaklar çoğunlukla faylanma göstermektedir. Havzalarda, çökmenin ilerlemesi sonucu büyüme fayları meydana gelmiştir. İstifin sürekli olduğu kısımlarda, Miyosen ile Pliyosen çökelleri arasında açılal uyumsuzluk gözlenmemiştir (Baş, 1983, 1986).

Neojen sırasındaki ilk volkanik faaliyetler kil-marn istifinin çökmesinin sonlarında meydana gelmiştir. Miyosen sonlarındaki hareketler ise Tunçbilek serisi birimlerinin eğim açılarını yükseltmiş ve yeni faylanmalar meydana getirmiştir. Üst serinin çökmesinden sonra bölge yeniden tektoniğe maruz kalmaktadır. Bu genç fayların neredeyse hepsi günümüzdeki nehirlerin yataklarını belirlemektedir. Bölgedeki faylar normal atımlı fay özelliğindedir ve atımları 10-50 m, civarında değişimler sunmaktadır (Baş, 1983, 1986).



Şekil 4.6. İnceleme alanında gözlenen eğim atımlı fay

#### 4.4. Kömürlerin Organik Jeokimyasal Özellikleri

Herhangi bir havzada kaynak kaya potansiyelini belirlemek amacıyla ve sedimanlarla çökelmiş olan organik maddenin kaynak kaya potansiyelini belirlemek için bazı parametlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeplerle çalışma bölgesi olan Tunçbilek-Tavşanlı kömürlerine ait örneklerin organik madde tipi, organik madde miktarı ve olgunlaşma derecesi belirlenmesi amacıyla 15 örnekte Rock-Eval Piroliz analizi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.1). Piroliz analizi ile örneklere ait TOC, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, T<sub>max</sub>, HI, OI, PI, PY ve S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Tunçbilek kömür örneklerinin Toplam Organik Karbon (TOC) ve Rock-Eval piroliz analiz sonuçları

Örnek No	TOC	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	T <sub>max</sub>	HI	OI	PI	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	PY	OF
KT-831	25,41	1,61	47,03	1,45	436	185	6	0,03	32,43	48,64	C
KT-832	54,83	1,37	106,35	4,59	433	194	8	0,01	23,16	107,72	C
KT-832,50	8,25	0,69	15,43	0,67	437	187	8	0,04	23,02	16,12	C
KT-833	31,99	2,34	71,11	0,93	432	222	3	0,03	76,46	73,45	C
KT-833,50	47,81	4,84	140,03	1,61	428	293	3	0,03	86,97	144,87	BC
KT-834	48,78	3,27	103,35	3,38	434	212	7	0,03	30,58	106,62	C
KT-835	38,74	3,33	72,04	1,87	435	186	5	0,04	38,52	75,37	C
KT-836	51,07	3,50	95,36	4,35	430	187	9	0,04	21,92	98,86	C
KT-837	49,18	4,93	118,31	2,84	426	241	6	0,04	41,66	123,24	C
KT-841	52,36	6,47	154,22	1,79	426	295	3	0,04	86,156	160,69	BC
KT-843	49,59	2,97	93,57	3,26	430	189	7	0,03	28,70	96,54	C
KT-844	41,27	2,81	89,6	1,83	437	217	4	0,03	48,96	92,41	C
KT-844,50	26,41	3,03	49,36	1,34	434	187	5	0,06	36,83	52,39	C
KT-848	53,57	5,11	179,29	1,55	431	335	3	0,03	115,67	184,4	BC
KT-849	55,01	7,97	213,73	1,54	426	389	3	0,04	138,78	221,7	BC

TOC: Toplam Organik Karbon (%), S<sub>1</sub>: Kayadaki serbest hidrokarbon mg HC/g kaya, S<sub>2</sub>: Kerojenin ısısal parçalanması sonucu oluşan hidrokarbonlar mg HC/g kaya, S<sub>3</sub>: CO<sub>2</sub> değeri mg CO<sub>2</sub>/g kaya, T<sub>max</sub>: maksimum sıcaklık (°C), HI: Hidrojen İndeksi (mg HC/g TOC), OI: Oksijen İndeksi (mg CO<sub>2</sub>/g TOC), PI: Üretim İndeksi, PY: Potansiyel Ürün (mg HC/g kaya), S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub>: Hidrokarbon tip indeksi, RC: Rezidüel (kalıntı) karbon, OF: Organik Fasiyes (Jones 1987)

#### 4.4.1. Organik madde miktarı

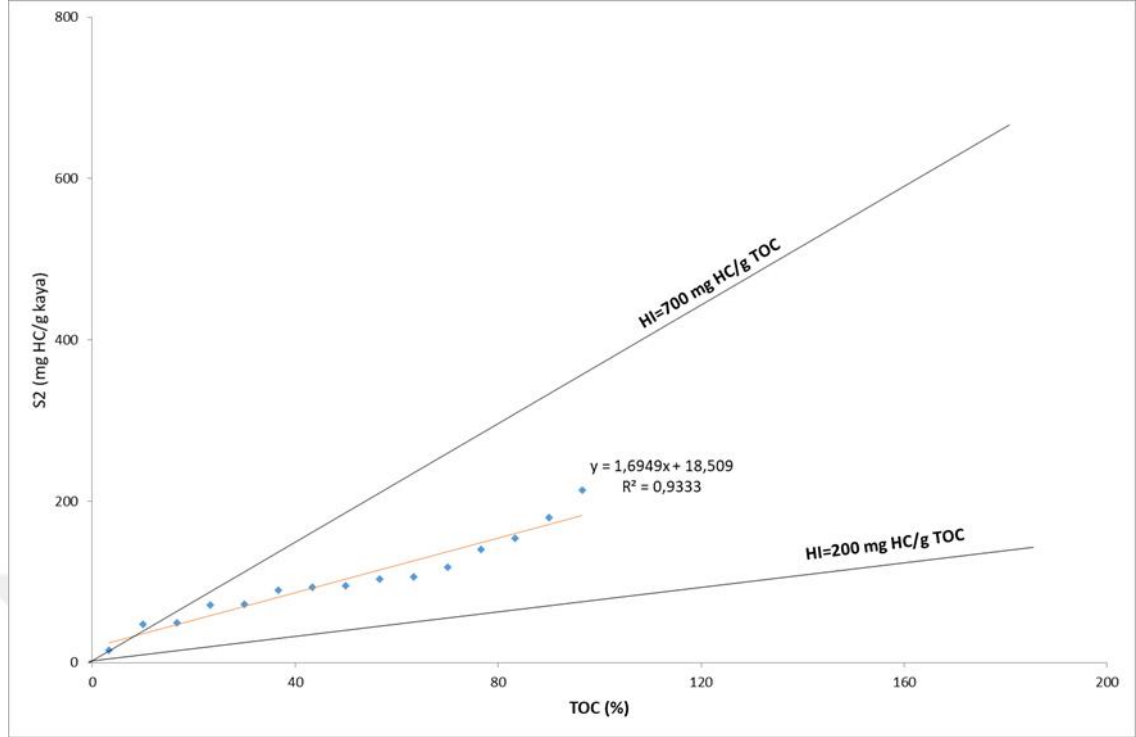
Tissot ve Welte (1984)'ye göre toplam organik karbon miktarı, sedimanter kayaç içerisindeki organik madde miktarının ağırlıkça yüzdesi olarak ifade edilerek, kaya içerisinde serbest halde bulunan hidrokarbonlara ve kerojene ilişkin organik karbonun toplamına eşittir. Kaynak kaya içerisindeki organik madde miktarı; birincil biyolojik üretkenlik, tane boyu, sedimantasyon hızı, fizikokimyasal koşullar ve kaya cinsine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. TOC miktarı, organik maddenin hava veya oksijensiz ortamda yakılması ile ölçülür. Rock-Eval VI cihazında belli standartlara göre otomatik olarak hesaplanır.

Tunçbilek Formasyonu'ndan alınan kömür/kömürlü örneklerden elde edilen sonuçlara göre TOC değerleri %8,25-55,01 arasında değişmekte olup, ortalama % 42,28 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre kömür/kömürlü birimler mükemmel kaynak kaya özelliği göstermektedir.

#### 4.4.2. Organik madde türü

Rock-Eval piroliz analizi sonucunda organik maddenin türü, kerojen tipleri tayin edilerek belirlenmektedir. Kerojen tipleri kimyasal bileşimlerine göre 3 gruba ayrılmıştır (Tissot ve Welte 1984). Organik maddenin tipi, kaynak kayaların üretmiş oldukları hidrokarbonların petrol veya gaz oluşturabilmesi açısından oldukça önemli bir parametredir (Hunt 1979).

İncelenen örneklerin organik madde tiplerini belirlemek için Mukhopadhyay vd. (1995) tarafından geliştirilen HI-T<sub>max</sub>, Langford ve Blanc-Valleron (1990) tarafından geliştirilen S<sub>2</sub>-TOC ve Espitalie vd. (1977) tarafından geliştirilen HI-OI diyagramlarından yararlanılmıştır. Yüksek TOC değerine sahip örnekler çoğunlukla büyük S<sub>2</sub> değeri gösterirler. Ancak örnekler arasında kerojen türlerinin farklı olması sebebiyle bir örnek çok yüksek TOC değerine sahip olsa bile küçük S<sub>2</sub>'yi oluşturabilmektedir. S<sub>2</sub>-TOC ve HI arasındaki ilişkiye dayanılarak hazırlanan diyagramda; eğimi 2 olan doğrunun altında kalan alan Tip III, eğimi 2 ve 7 olan doğrular arasında kalan alan Tip II, eğimi 7 olan doğrunun üzerinde kalan alan ise Tip I kerojen olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.7). Bu diyagram üzerine düşürülen örnekler ait regresyon çizgisinin eğimi kaya içerisindeki piroliz edilebilir hidrokarbon yüzdesini vermektedir (Langford ve Blanc-Valleron 1990).



**Şekil 4.7.** İncelenen örneklerin S<sub>2</sub>-TOC diyagramı ve organik madde türleri (Langford ve Blanc-Valleron 1990)

İncelenen örneklerin HI değeri 185-389 mg HC/g TOC arasında değişmektedir. S<sub>2</sub>-TOC diyagramında örneklerin hepsi Tip II kerojen alanında yer almaktadır (Şekil 4.7). Tip II kerojene ait örnekler alg-karasal bitki kökenli karışık organik madde içermektedir. HI değerleri 200'den fazla olduğu için Tip II alanında yer almıştır. Bu diyagramda regresyon çizgisinin eğimi 1,7 olarak tespit edilmiş ve buna göre kömür/kömürlü birimlerin % 17 oranında piroliz edilebilir hidrokarbon oranına sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır.

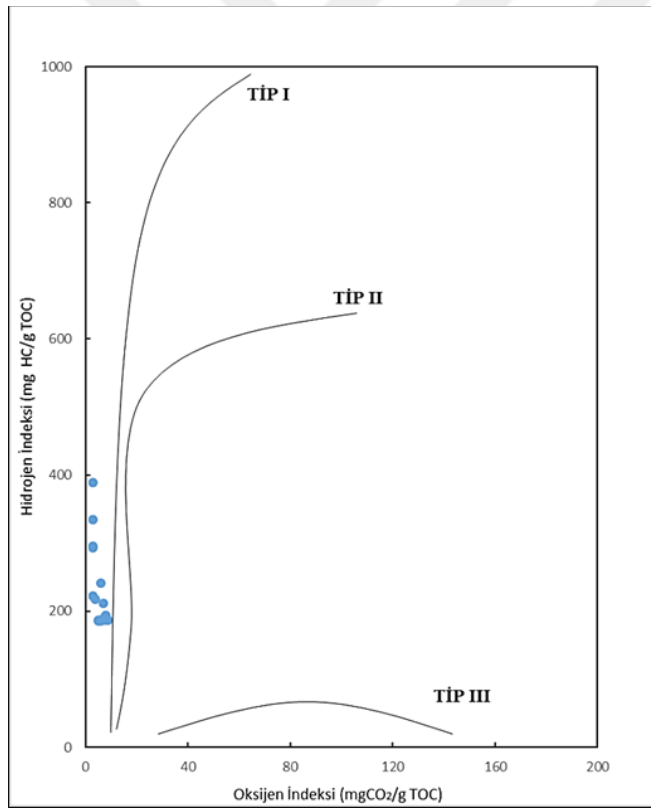
Kerojen tipi, organik madde miktarından bağımsız, kerojenin elementel bileşimi ile yakından ilişkili olup, HI ve OI parametreleri tarafından da karakterize edilmektedir. Özellikle HI ile atomik H/C oranı ve OI ile atomik O/C oranı arasında uyumlu bir korelasyon söz konusudur. Hidrojen indeksi ve oksijen indeksi verilerinin birbiriyle ilişkisi çizildiği zaman Espitalie vd. (1977) tarafından geliştirilen diyagram oluşmaktadır. Bu şekil daha önceden oluşturulmuş olan Tissot ve Van Krevelen diyagramlarıyla benzerdir. Dolayısıyla bu iki parametre kerojenin elementel bileşimine göre sınıflanan Van Krevelen diyagramına uygulanabilmektedir. Daha sonra kerojen tipleri HI ve OI değerlerine göre tespit edilebilmektedir (Tissot ve Welte 1984, Hunt 1995).

Çalışma alanına ait incelenen kömür/kömürlü örneklerin OI (Oksijen İndeksi) değerleri 3-9 mg CO<sub>2</sub>/g TOC arasında, HI (Hidrojen İndeksi) değerleri 185-389 mg HC/g TOC arasında değişmektedir. HI-OI diyagramında örneklere ait değerlere bakıldığında kerojen tipi bazı örneklerin HI değerlerinin yüksek olmasından kaynaklı olarak Tip I-II olarak belirlenmiştir (Şekil 4.8).

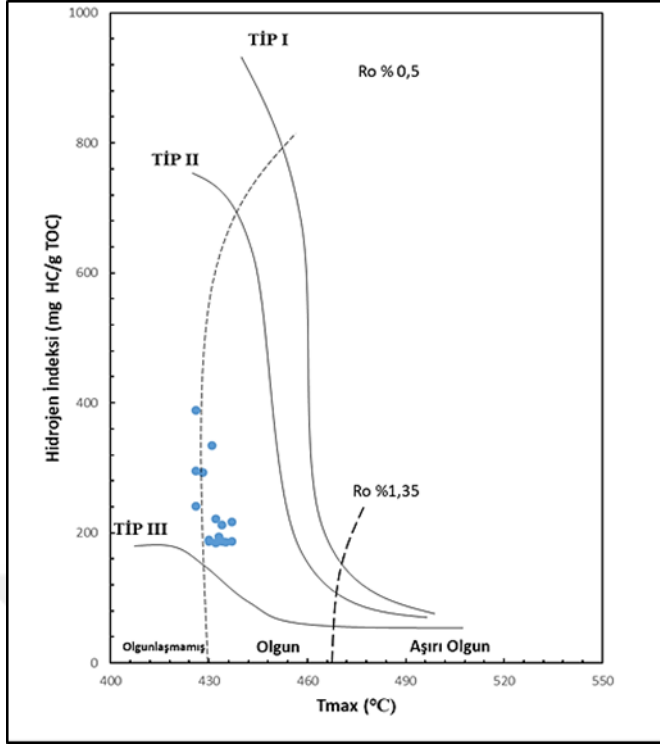


Kömürlü örnekler her zaman HI-OI diyagramında Tip III kerojen aralığında yer almayabilir. Bu nedenle özellikle kömürlerde organik madde türlerinin belirlenmesi için HI-OI diyagramı tek başına yeterli değildir. Elementel analiz ve mikroskobik çalışmalar sonucunda III. Tip organik maddeden oluştuğu belirlenen bazı kömürlerin HI-OI diyagramlarında II. ve III. Tip kerojen aralıkları arasında yer alması elementel analiz ve Rock-Eval piroliz analizi arasındaki farktan veya liptinit yüzdesi nedeni ile oluşan yüksek HI değerlerinden kaynaklanabilmektedir (Yalçın, 1998). Genellikle, kömürler 300 mg HC/g TOC değeri (II. Tip organik maddeye göre düşük bir HI değeri) ve 5 'ten büyük S2/S3 değeri göstermektedir.

Çalışma alanına ait örneklerin HI değerleri genellikle 200 den fazla olduğu için diyagramda Tip I-II kerojen alanında bulunmaktadır (Şekil 4.8). HI değerleri ve S2-TOC, HI-OI, HI-Tmax diyagramlarına göre belirlenen organik madde türleri, bir kısmı Tip III yani karasal (hümitik) kökenli organik madde içerdiği belirlenmiştir. Bir kısmının ise Tip II yani liptinit grubu maserallerince zengin organik madde ile karasal bitki kökenli organik madde (karışık organik madde) içerdiğini göstermektedir.



**Şekil 4.8.** İnceleme alanının HI-OI kerojen tipi sınıflama diyagramı (Espitalié vd. 1977)



**Şekil 4.9.** İncelenen örneklerin HI- Tmax diyagramındaki dağılımı (Mukhopadhyay vd. 1995)

Piroliz analizi sonucunda elde edilen ve  $S_2$  pikinin maksimum olduğu andaki  $T_{max}$  sıcaklığı ve HI değerleri kullanılarak oluşturulan HI- $T_{max}$  diyagramı kerojen tipini belirlemede kullanılmaktadır.  $T_{max}$  değeri, kerojenin olgunluğu kadar, tipine göre de değişmektedir (Hunt 1995). Analizi yapılan örneklere ait  $T_{max}$  değerleri 426-437 °C arasında değişmektedir. HI- $T_{max}$  diyagramında, örneklerin Tip II-III kerojen alanında yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.9).

#### 4.4.3. Organik maddenin olgunlaşma düzeyi

Organik maddenin olgunluğu, sedimanter bir havzada çökeltme esnasında sıcaklık, basınç, gömülme ve depolanma sonrası geçen süre gibi çeşitli etkenler tarafından organik maddenin fiziksel ve kimyasal değişikliklere maruz kalan hidrokarbon bileşimlerini meydana getirmesi süreci olarak tanımlanmaktadır (Tissot ve Welte 1984). Rock-Eval analizinden elde edilen verilerle bu aşamada ( $T_{max}$ , Üretim İndeksi (PI), HI- $T_{max}$  diyagramı) organik maddenin olgunluğu belirlenebilmektedir.  $T_{max}$  ve PI değerlerinin organik maddenin ısısal gelişimi ile yakından ilgili olup birçok özelliğini değiştirmekte olduğu saptanmıştır. Piroliz analizi ile elde edilen bir diğer olgunluk parametresi de (PI) üretim indeksidir.  $T_{max}$  değerlerine göre kaynak kaya olgunlukları sınıflandırılmış ve buna göre, 435 °C' den daha düşük Tmax değerinin olgunlaşmamış, 435-445 °C arasındaki Tmax değerinin erken olgun, 445-450 °C arası olgun ve 470 °C'den büyük bir Tmax değerinin aşırı olgun bir kaynak kayayı işaret ettiği çıkarılabilir. PI değerine göre ise olgunluk sınıflaması; 0,1'den küçük değerler olgunlaşmamış organik maddeyi, 0,1-0,3 arasındakiler petrol türetebilecek bir

olgunluğu ve 0,3'ten büyük değerler ise gaz türetebilir aşırı olgun organik maddeyi ifade etmektedir (Merrill 1991).

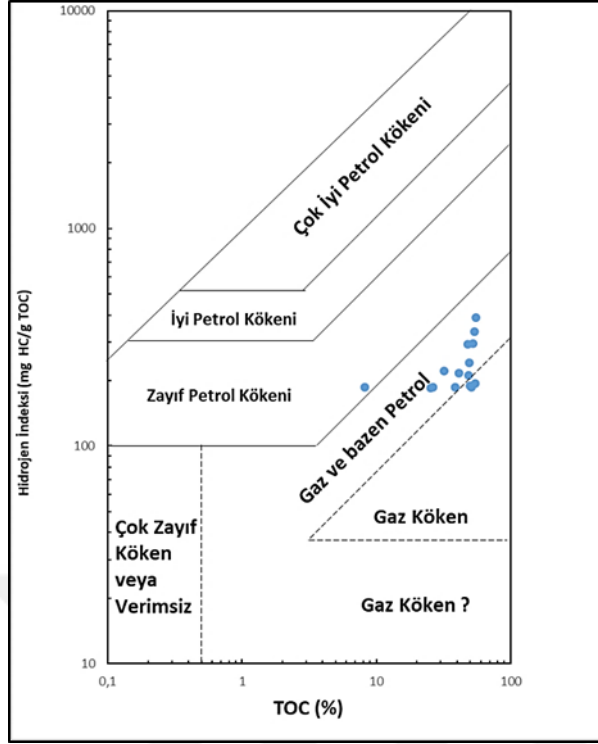
Çalışmada incelenen örneklerin  $T_{max}$  değerleri 426-437 °C arasında değişmekte olup ortalama  $T_{max}$  432°C olarak hesaplanmıştır. Bu değer olgunlaşmamış düzeyde organik maddeye işaret etmektedir. Ancak örneklerin neredeyse tamamının olgunlaşmamış organik madde düzeyi ile erken-orta olgun organik madde sınırı olan 435°C'ye çok yakın değerler sunması, organik maddenin diyajenez aşamasının son evresinde olduğu sonucunu göstermektedir.

Tunçbilek kömür/kömürlü örneklerinin PI değerleri 0,01-0,06 arasında olup ortalama 0,03 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler PI sınıflamasına göre olgunlaşmamış organik maddeyi göstermektedir. HI- $T_{max}$  diyagramına göre ise örneklerin çoğunun erken olgun, çok azının ise olgunlaşmamış alanda olduğu gözlenmektedir. Bu değer genellikle derinlik artışına bağlı olarak artar, ancak kayaca göç yoluyla gelen hidrokarbonlar tarafından gelişen kirlenme etkileri yorumlamada hataya neden olur (Peters, 1986; Peters ve Cassa, 1994). Ayrıca S2 pikinin beklenmeyen bir sonuç vermesinden ya da örneklerin yüksek kil içeriğinden kaynaklı olabilir.

#### 4.4.4. Kaynak kaya potansiyeli

Kaynak kaya potansiyeli hakkında bilgi edinebilmek için, Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> parametrelerinden faydalanılmaktadır. S<sub>1</sub> değeri jenetik potansiyelin hemen hidrokarbona dönüşebilen miktarını ve S<sub>2</sub> değeri kerojenin ısısal parçalanması sonucu açığa çıkan hidrokarbon miktarını verir. Potansiyel ürün (PY), 1 ton kayada bulunan kg cinsinden hidrokarbon miktarını verir ve S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub> toplamı olarak hesaplanmaktadır.

Rock-Eval verilerinden elde edilen PY (S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>) değerleri 16,12-221,7 arasında olup ortalama 106,8 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre çalışma alanına ait birimler iyi derecede kaynak kaya sınıfında olduğu söylenebilir. Jackson vd (1985) tarafından geliştirilen ve köken zenginliğini belirlemede kullanılan Rock-Eval değerlerine göre oluşturulmuş diyagram ise HI/TOC'dir. HI/TOC diyagramına göre değerlendirilen örneklerin gaz ve bazen petrol kökenini gösteren alanda olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. İnceleme alanına ait HI-TOC diyagramı

Kömür örnekleri üzerinde yapılan TOC ve Rock-Eval analizleri sonucunda, organik madde miktarı, türü ve olgunlaşma düzeyleri ortaya konulmuştur. Bu değerlendirmelere göre kömür örneklerinin ağırlıklı olarak Tip II-III arasındaki kerojenlerden yani petrol ve gaz kökenine sahip, yüksek toplam organik madde miktarına sahip, olgunlaşmamış-erken olgun ancak kaynak kaya potansiyeli açısından mükemmel olabileceği belirlenmiştir (Peters ve Cassa 1994).

#### 4.5. Organik Fasiyes İncelemeleri

Organik fasiyes incelemeleri, sedimanter bir havzanın kaynak kaya potansiyelinin belirlenmesi ve havzanın jeolojik-tektonik evrimi hakkında değerlendirmeler yapabilmek için önemlidir ve bunlar organik unsurların karakterleri temel alınarak diğer alt gruplardan ayrılırlar (Jones ve Demaison 1982).

Organik fasiyes sınıflandırmasını Jones ve Demaison (1982), atomik H/C oranları, Rock-Eval piroliz verileri ve hüminite yansıması değerlerinden faydalanarak organik fasiyesleri A, B, BC, C ve D olmak üzere beş tipe ayırmıştır. Jones (1987) ise bu ayrımı, H/C oranı, hidrojen indeksi (HI) ile oksijen indeksini (OI) içeren Rock-Eval piroliz verileri ve egemen organik madde türlerine göre A, AB, B, BC, C, CD ve D organik fasiyesi olmak üzere 7 ayrı tip organik fasiyes olarak geliştirmiştir (Bkz. Çizelge 2.5). Bu çalışmada, örneklerin organik fasiyes özellikleri değerlendirilirken Jones (1987) sınıflaması baz alınmıştır.

Çalışma alanında organik fasiyes dağılımı ve çalışma alanları karşılaştırması yapılırken paleoortamına, organik jeokimyasal karakterlerine, tektoniğine, hidrokarbon oluşumlarının eşik değerlerine bakılır. TOC ve Rock Eval pirolizleriyle elde edilen HI, OI, değerleri ile potansiyel korelasyonu kerojen tipindeki değişimi (HI/OI) ve organik fasiyesin kalitesi değerlendirilir. Örneklerin verilerinden elde edilen değerler sonucu elde edilen TPI-GI diyagramlarına bakıldığında, ortamın limno-telmatik bir özellikte olduğu ve sazlık bataklık ortamına işaret ettiği görülmektedir. Ortam çoğunlukla orman bataklık, yer yer taşkın ve ayrıca limno-telmatik bir çevrenin de etkisinde gelişmiştir.

İnceleme alanı içindeki kömür örnekleri Jones (1987)'ye göre çoğunlukla C organik fasiyesi özelliğindedir. Bunun yanı sıra sadece 4 örneğin BC organik fasiyesinde olduğu saptanmıştır. C fasiyesi değişik tiplerdeki karasal malzemeden oluşmaktadır. İncelenen örnekler az miktarda taşınmış organik maddeler bulundurulabilirler. Tüm hüminit tiplerinin yanı sıra aynı zamanda sporinit, rezinit, füzinit, semifüzinit ve inertinit gibi maseraller belirgin olabilir. Egemen olan organik madde genellikle karasal olup bazen oksidasyona maruz kalmıştır. Bu fasiyesin çökeli için en uygun ortamlar denizel olmayan ortamlar, özellikle de bataklıklardır.

C organik fasiyesi başlıca kömürlerde yaygındır. BC organik fasiyesinde hakim organik madde türü karışık ve oksidasyona uğramıştır. BC organik fasiyesinin belirlendiği örneklere bakıldığında inorganik maddenin genellikle az olduğu görülmektedir. Yani burada su seviyesi yüksek ve kömür oluşumuna elverişli bir ortam mevcuttur. Aynı zamanda TOC değerlerine bakıldığında ise bu duruma orantılı olarak yüksek oldukları görülmüştür.

B ile C organik fasiyeslerini karakterize eden kerojen tiplerinden oluşmuştur. Karasal organik madde içeriği B organik fasiyesinden daha fazladır. BC organik fasiyesi hem göl ortamlarında, hem de denizel ortamlarda oluşabilmektedir. Bu fasiyesin en fazla bulunduğu alanlar prodelta çamurları, delta önleri ve dış shelflerdir. Bazen lagünlerde de çökelimler gözlenebilmektedir. Aromatik bileşimler BC organik fasiyesinde, B organik fasiyesine göre daha fazladır. Ayrıca delta önlerinde çökeldiklerinden dolayı gaz oluşumu da sağlayabilirler (Altunsoy ve Özçelik 1993).

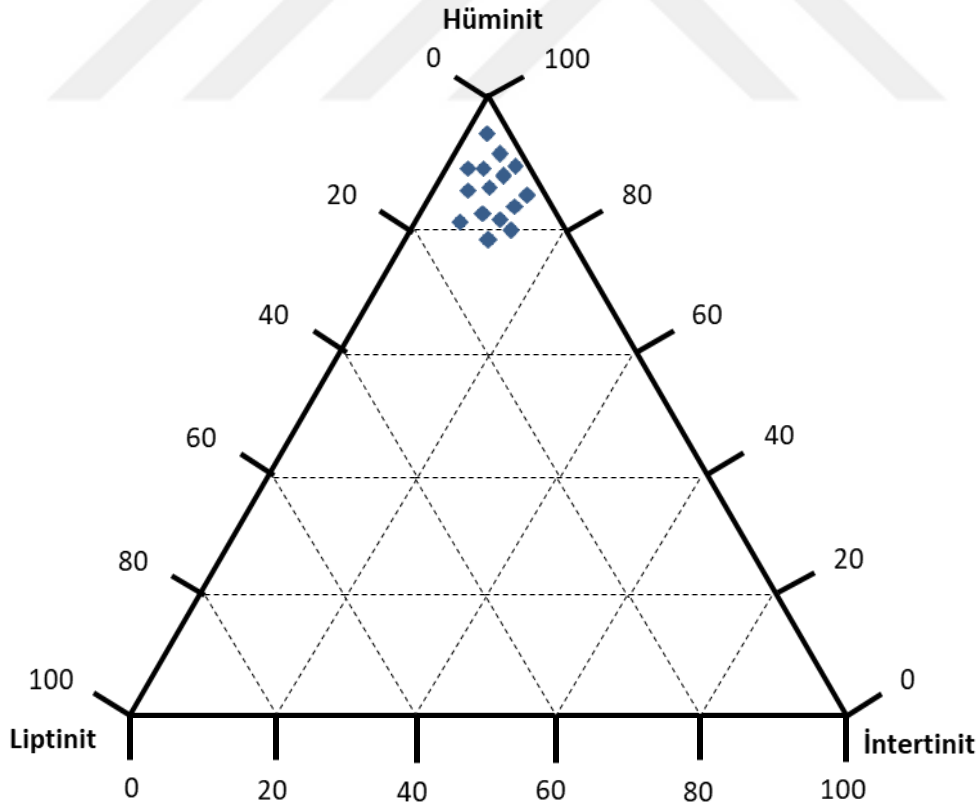
## 4.6. Kömürlerin Organik Petrografik Özellikleri

### 4.6.1. Maseral analizi

İnceleme alanındaki kömürlerden tez kapsamında 15 adet örnek üzerinde maseral analizi ve hüminite yansıma ölçümleri yapılmıştır. Maseral analizi ile ortamın özellikleri hakkında bilgiler edinilmeye çalışılmıştır. İncelenen kömür örneklerindeki maseraller renkleri, şekilleri ve yansıma özellikleriyle; ayırt edilerek hacimce yüzde değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

İncelenen kömürlerdeki füzinitler kökensel açıdan önemli bilgiler sunmaktadır. Linyitlerde fasiyes belirleyici maseral ve maseral gruplarından hüminite (vitrit), sporinit ve kütinitler kömürleri oluşturan bitkilerin kökenleri hakkında bilgi verirken, füzinit maseralleri turbanın depolanması sırasındaki su seviyesi hakkında bilgi vermektedir. (Hagemann and Wolf, 1989; Kalkreuth vd. 1991).

İncelenen kömürlere genel olarak bakıldığında en baskın maseral grubu %30–80 arasında değerler sunan hüminite maseralleridir. Liptinit maseralleri %1-8 iken inertinit grubu ise % 2-7 arasında değişmektedir (Bkz. Çizelge 4.2). Kömür örnekleri içerisinde genel olarak organik madde dışında minerallere de rastlanılmaktadır. Kömür örneklerinin maseral gruplarının üçgen diyagramdaki konumları Şekil 4.10’da sunulmuştur.



Şekil 4.11. Kömür örneklerinin maseral gruplarının üçgen diyagramdaki konumları

İncelenen örneklerde inorganik madde oranı %7–65 olup, başlıca pirit, kil ve silikat minerallerinden oluşmaktadır. Kil, silikat mineralleri değerleri %3-44 ve piritin ise %2-6 arasında değerlerde olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Ayrıca örneklerdeki pirit içeriği limnik ortamı işaret edebilmektedir. Tüm seviyelerde piritler yer yer framboidal çatlak ve boşluk dolgusu oluşumları ya da kömürler içerisinde dağılmış saçınımlı şekilde görülmektedir (Bkz. Şekil 4.12). Buda kömürlerin içerisinde pirit oluşumlarının sinjenetik (framboidal) ve epijenetik (saçınımlı) olduğunu göstermektedir.

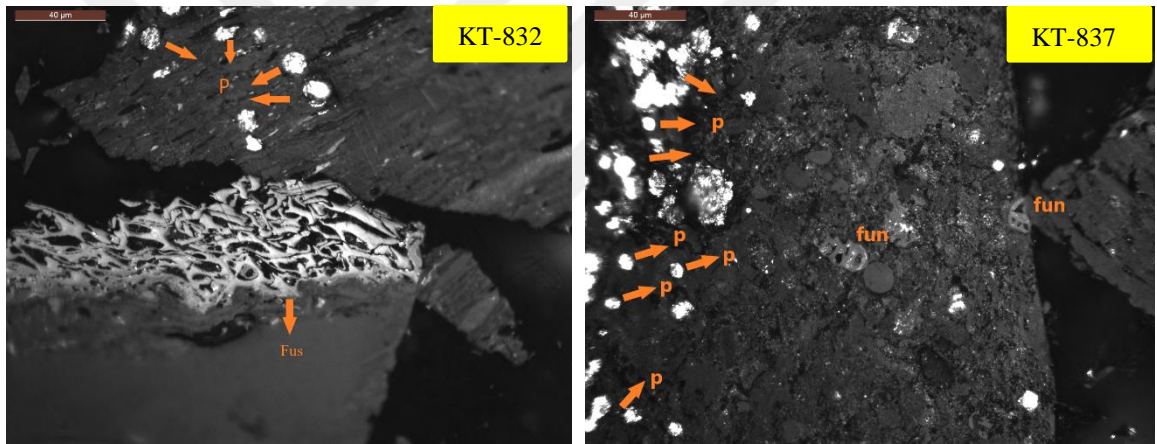
**Çizelge 4.2.** İncelenen kömürlerin örneklerinin petrografik analiz değerleri (% olarak)

No	Örnek No	Hüminit						Liptinit				İnertinit						İnor	
		Ul	Gel	Kor	Detrohuminit		Top	Sp	Cut	Rez	Top	Ma	İner	Fus	Sfus	fun	Top	Cl+Sİ	Pirit
					Dn	Att													
1	KT-831	8	25	3	8	3	47	1	-	-	1	1	1	-	-	-	2	44	6
2	KT-832	6	56	1	9	4	76	4	-	-	4	2	-	3	1	-	6	11	3
3	KT-832,50	3	23	-	4	-	30	1	-	-	1	1	-	-	-	-	2	65	6
4	KT-833	12	56	1	8	-	77	1	-	-	1	2	-	1	-	-	3	13	3
5	KT-833,50	11	33	2	18	3	77	3	-	1	4	3	1	1	-	-	5	11	3
6	KT-834	15	36	3	18	6	78	3	1	1	5	4	-	1	-	-	6	7	4
7	KT-835	7	24	-	9	2	44	3	1	1	5	3	1	-	-	-	4	43	4
8	KT-836	7	32	2	8	1	50	2	1	1	4	4	2	-	-	1	7	34	5
9	KT-837	8	27	4	16	3	58	2	1	1	4	3	-	-	-	1	4	28	6
10	KT-841	10	52	3	12	3	80	4	2	2	8	3	2	-	-	1	6	3	3
11	KT-843	9	32	3	12	2	58	3	1	1	5	4	-	-	-	2	6	3	3
12	KT-844	6	37	12	18	3	76	1	-	-	1	3	-	-	-	1	4	12	5
13	KT-844,50	3	57	10	7	-	77	1	-	-	1	1	-	-	-	1	2	16	4
14	KT-848	3	59	2	8	2	74	2	1	-	3	1	1	-	-	-	2	18	3
15	KT-849	11	47	3	14	2	77	3	2	1	6	3	4	-	-	-	7	8	2

Ul- Ülmünit, Att- Attrinit, Dn- Densinit, Gel- Gelinit, Kor- Korpohüminit, Sp- Sporinit, Cut- Kütinit, Rez- Rezinit, Ma-Makrinit, İner-İnertodetrinit, Fus- Füzinit, Fun-Funginit, Sfus-Semifüzinit, Cl- Kil, Si-Silikat, İnor- İnorganik Madde

Fromboidal piritlerin çok fazla olması, ortamın kükürt bakterilerince zenginliğini ortaya koymaktadır (Şekil 4.12). Yüksek kalsiyum içeren seviyeler bitkisel malzemenin yüksek bakteriyal bozunmasına ve sülfatların bakteriyal indirgenmesine neden olur ve bu süreç sonunda yüksek oranda pirit gelişir. Piritler genellikle yaygın olarak organik madde ile ilişkili olarak turba oluşumu sırasında veya hemen sonrasında sülfat mineralizasyonu ile meydana gelmektedir. Kükürt, bitkilerin proteinlerinden sağlanır ya da sülfat iyonu olarak deniz suyu veya akarsu etkisiyle turbaya taşınır. Bakteriler sülfat iyonlarını indirgeyerek pirit ve makrasit minerallerinin oluşumuna katkı sağlamaktadır (Stach vd 1982). Maserale içeriğine bakıldığında kömür düzeyinin geliştiği turba, bakteri aktivitesi açısından uygun ortamlardır. Bu da frambooidal piritlerin oluşmasına sebep olmuştur. Denizle ilişkili olmayan kömürlerdeki yüksek kükürt içeriği nötr ve alkalik koşulları göstermektedir.

Bunların dışında kil oluşumları da kömür dokuları içerisinde, mikroskobik ölçekte tabakalanma ve ardalanma gösterecek şekilde veya kömür içerisinde dağınık halde gözlenmiştir.



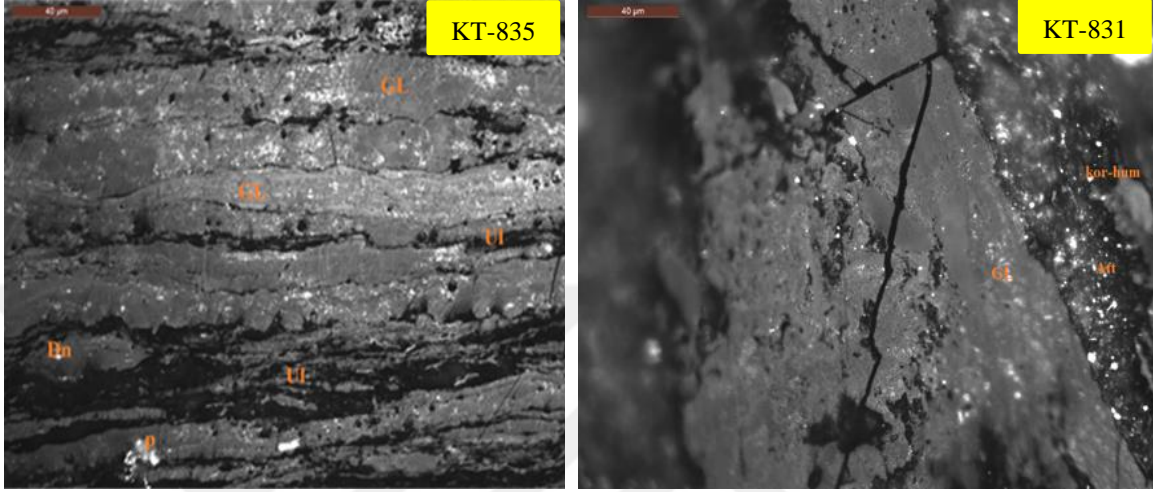
**Şekil 4.12.** Frambooidal pirit oluşumlarının üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüsü

Hüminit grubunun petrografik analiz sonuçlarının maseral bileşenlerine ait hacimce yüzde değerleri incelendiğinde en baskın maseralin gelinit olduğu görülmektedir. % 59'a varan yüksek değerler sunmuşlardır. İncelenen örneklerde gelinitler dışında densinit ve ülminitlerde önemli miktarda bulunmakta olup, daha az oranlarda korpohüminit, atrinit maseraline rastlanılmıştır (Şekil 4.13). Jelohüminitlerde gelinit maseralinin, detrohüminitlerde densinit maseralinin, telohüminitlerde ülminit maseralinin baskın olduğu görülmektedir.

Gelinitler hüresel yapı göstermeyen şekilsiz, yapısız hümit jellerden oluşmuştur ve düşük ranklı linyitlerin yaygın maseralidir (Sykorova vd. 2005). Yüksek gelinit miktarı kalsiyumca zengin kömürlerin karakteristik özelliğidir (Flores, 2002; Stach vd. 1982). Limno-telmatik turba koşullarında, ıslak çayır bataklığı turbalarında ve turbadaki suda kalsiyum iyonunun yüksek olduğu durumlarda yüksek miktarda gelinit maserali oluşmaktadır. Gelinit turbadaki suyun sodyum konsantrasyonunun artmasına sebep olan tuz çökellerinin yakınındaki çamur düzlüklerinden türemiş linyitlerde de



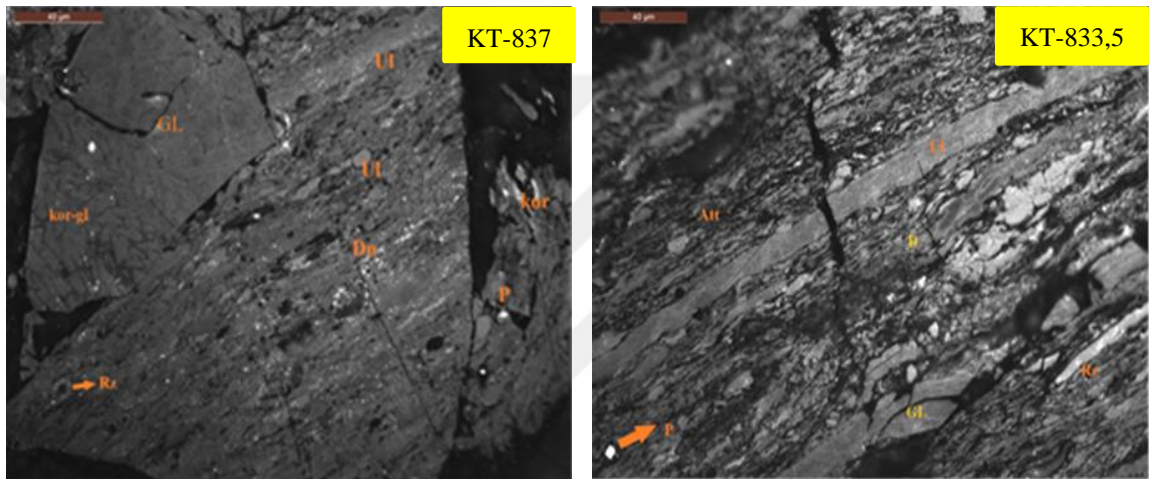
yüksek miktarlara ulaşmaktadır (Taylor vd. 1998). Gelinit maseralinin fazla oranda bulunması organik maddenin dokusunun bozulduğuna ve oluşumu sırasında pH değerlerinin nötre yaklaştığına işaret eder (Flores 2002, Stach vd. 1982). Hemen hemen tüm örneklerde görünmesine rağmen korpohüminit maserallerinin miktarları oldukça düşüktür. Korpohüminitler özellikle mantar ve ağaç dokularında hücre içi dolgusu olarak bol miktarda bulunurlar (Soo's 1964). İkincil koloidal hücre salgılarından da oluşabilirler.



**Şekil 4.13.** Homojen ve geniş yüzeylere sahip dokusuz görünüşleri ile gelinit ve ulminit maseralleri (Gl: gelinit, Ul: ulminit)

Hüminit grubunun alt maseral grubu olan ve kırıntı şeklindeki detrohüminitlere ait densinit maserali, tüm örneklerde belirlenmiştir. Detrohüminitlerin bir diğer maserali olan atrinit, üç örnek dışında tüm örneklerde belirlenmiştir ancak düşük değerler göstermiştir (Şekil 4.14). Densinit amorf hüminik madde ile çimentolanan değişik şekilli ince hüminit parçalarından meydana gelir. Densinit gibi kırıntılı maserallere sahip kömürler, oluşum tipi çökelme ortamı içinde taşınmış kömürler (hipootokton) olarak yorumlanmaktadır (Stach vd. 1982). Bazı örneklerde densinit bakımından kısmen zenginleşme gözlenmekte olup bu kömürleşme esnasında hızlı bir bitkisel materyal gelisi ve bu parçacıkların hüminik jeller içine gömülmesinin bir sonucu olabilir. Densinit zayıf briketleme özelliklerine sahiptir, çünkü elastik değildir ve briketleme sırasında diğer kömür taneleri ile etkileşime girmez (Sykorova vd. 2005). Kömürleşme sırasında atrinitlerin jelleşmesi veya turba aşamasında selüloz ve lignin'den oluşan gövde ve yaprakların parankima ve odunsu dokularının büyük ölçüde bozunması ve biyokimyasal jelleşmesiyle oluşur. Düşük ranklı Tersiyer kömürlerinde bol miktarda bulunur. Linyitlerde, diğer maseraller arasında hamur şeklinde gözlenir. İncelenen kömürlerde detrohüminit (atrinit, densinit) maserallerinin bol miktarda bulunması turba oluşumunda genellikle otsu bitkilerin varlığına işaret etmektedir. Bunun yanı sıra su seviyesinin yüksek olduğu bataklıklarda yüksek enerji, organik maddenin kırılıp parçalanmasına ve böylece maseral bileşiminin detrohüminitlerce zengin olmasına sebep olmaktadır (Petersen ve Nielsen 1995).

Hücre dokusu gösteren telohüminit alt grubunun maseralı olan ülminit tüm örneklerde belirlenmiştir. Ülminit, az ya da çok jelleşmiş hücre duvarlarından oluşan kök, gövde, kabuk ve yaprakları içeren odunsu dokulardan türetilmiştir (Sykorova vd 2005). Su altı ortamlarında biyokimyasal jelleşme işlemi spesifik iyonların (Na, Ca gibi) teminiyle hızlandırılır (Taylor vd. 1998). Ülminit maseralı kömürün rankına bağlı olarak görsel çökeller içerisinde de yaygındır. Ülminit zenginleşmesi hem paleoortamsal koşulları hem de ileri kömürleşme düzeyini yansıtmaktadır. Islak orman bataklıklarında oluşan linyitler, kurak koşullarda yüksek oranda bozunmaya maruz kalan linyitlerden daha fazla miktarda ülminit içerirler. Yüksek ülminit içeriği, briketlenme sırasında kömür tanelerinin birbirlerine bağlanmasını engeller. (Sykorova vd. 2005). İncelenen örneklerde ülminitler % 15'e varan değerler sunmaktadır.



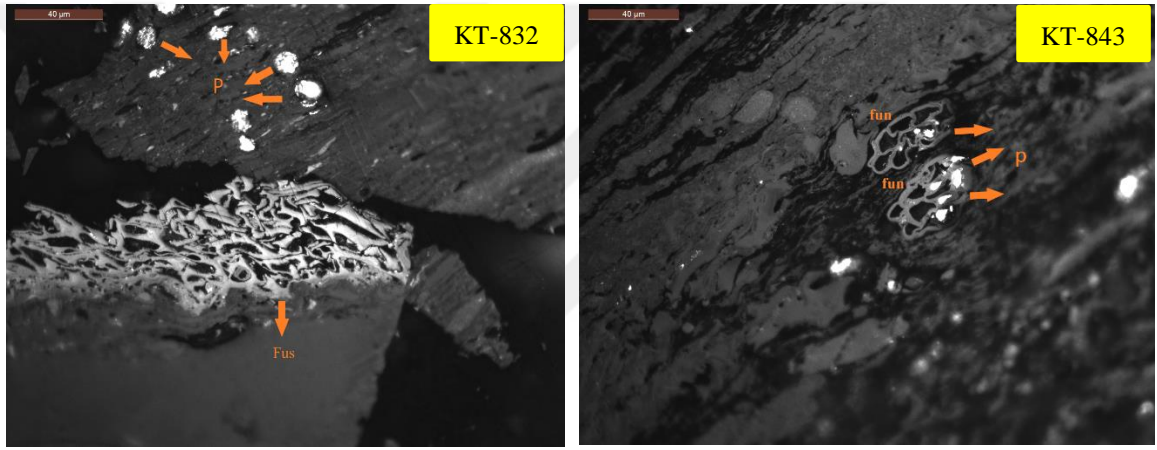
**Şekil 4.14.** Üstten aydınlatmalı mikroskopta densinit, ulminit, gelinit ve korpohuminit gibi bazı maserallerin görüntüleri (Dn: densinit, Ul: ulminit, Gl: gelinit, kor: korpohuminit)

İnertinit grubu, makrinit, füsinit, semifüsinit, funginit ve inertodetrinit maserallerinin hacim ve yüzde değerlerini saptamaktadır. İnertinit ve liptinit maseralleri hüminit grubuna göre daha düşük oranda gözlenmiştir. İncelenen örneklerde inertinit grubu maseralleri ise % 2-7 arasında değişmektedir. Başlıca makrinit, inertodetrinit ve füzinit'ten oluşmaktadır. Çok az miktarda funginit ve semifüzinit maseralleri mevcuttur (Şekil 4.15). Makrinit ve füzinit gibi inertinit maseralleri bataklıklarda orataya çıkan oksidasyon koşullarının artışı ve azalan su düzeyini göstermektedir (Flores, 2002; Stach vd. 1982). Makrinitlerin varlığı ise bataklık ortamının hareketli bir karakterde olduğunu, sellenme vb. hareketler sonucunda organik maddelerin henüz oluşum sürecinde iken yer değiştirdiklerini göstermektedir.

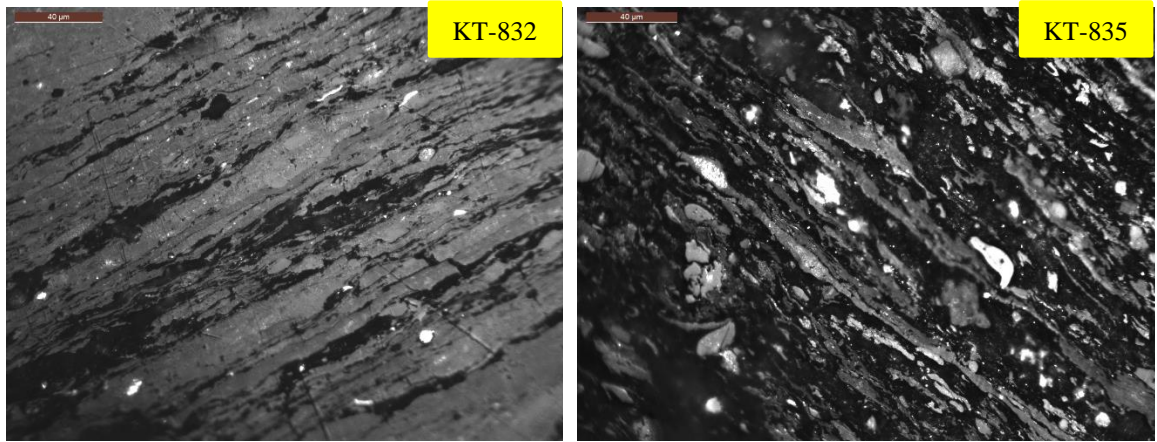
Tipik hücre yapısıyla kolaylıkla ayrımı yapılabilen füzinit maseralı ligno-selülozik hücre duvarlarından kaynaklanmaktadır (ICCP 2001). Füzinit maseralı incelenen örneklerde %1-3 arası değerler gösterip sadece dört örnekte varlığı görülmektedir. Varma (1996)'ya ve Taylor vd. (1998)'ne göre füzinit mantar ve

bakterilerin yardımıyla bitki dokularının dehidrasyon ve bozunma sonucu oluşabilir. Füzinit, su ya da hava yoluyla havzaya (Stach vd. 1982) taşınabilir ya da yanmış organik maddeden kaynaklanabilir (Goodarzi 1985). Tektonik faaliyetler de füzinit artışına sebep olmuş olabilir (Goodarzi 1986). Funginitler ise mantar sporları ve diğer mantar parçalarından oluşmuşlardır. Düşük miktarları nedeniyle kömürün teknolojik özelliklerini etkilememekle birlikte mantar sporları ve diğer parçaları kömür katmanlarının korelasyonunda ve paleoortam yorumlamalarında kullanılabilir (Moore vd. 1996). Funginitler killi ortamlarda daha bol bulunurlar (Toprak 2009) ve zaman zaman aerobik koşulların varlığına işaret ederler (Wüst vd. 2001).

Örneklerde kil minerallerince aşırı zenginleşme olduğu belirgin bir şekilde ortaya konmaktadır ve bu da ortama sık sık sellenmeler veya diğer etkilerle kolloidal ve daha iri mineral tanelerinden geldiklerini göstermektedir (Şekil 4.16).

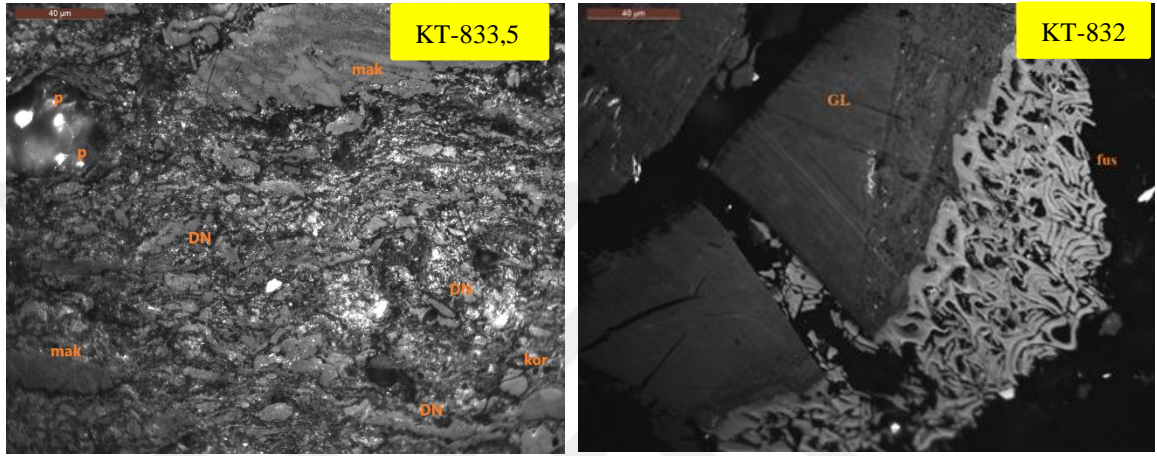


**Şekil 4.15.** İncelenen örneklerin mikroskoptaki funginit ve fusinit maserallerinin görüntüleri (fun: funginit, fus: fusinit)



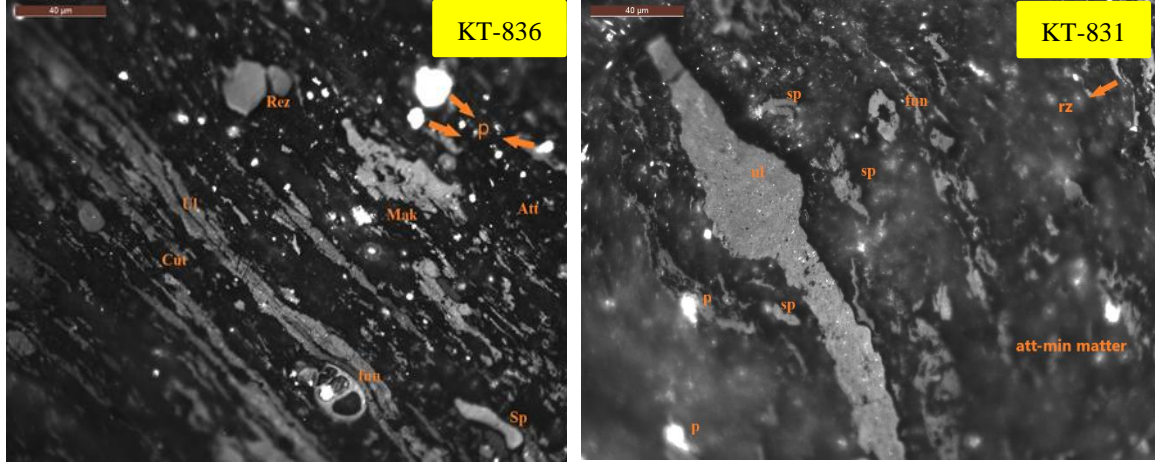
**Şekil 4.16.** İncelenen kömür örneklerinde killerin üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüleri

İnertinit grubu maserallerinden makrinit, inertodetrinit, füzinit ve funginit düşük miktarlarda belirlenmiştir. İnertinitlerin varlığı turba oluşumu esnasında bitkisel malzeminin zaman zaman oksidasyon koşullarına maruz kaldığını göstermektedir. Çalışma alanındaki örneklerde diğer maserallere kıyasla en çok izlenen inertinit grubu maserali makrinitlerdir (ICCP 2001). Makrinit maserali hücre yapısı olmayan, nispeten büyük ve kompakt inertinit oluşumlarıdır (Şekil 4.17). Makrinitlerin gözlenme sıklığı inertodetrinitlere göre çok olmakla buldukları örneklerde miktarları daha fazladır. % 4'e varan değerler sunmaktadır.



**Şekil 4.17.** Üstten aydınlatmalı mikroskopta makrinit, fusinit, korpohuminit ve densinit gibi bazı maserallerin görüntüleri (mak: makrinit, fus: fusinit, kor: korpohuminit, dn:densinit)

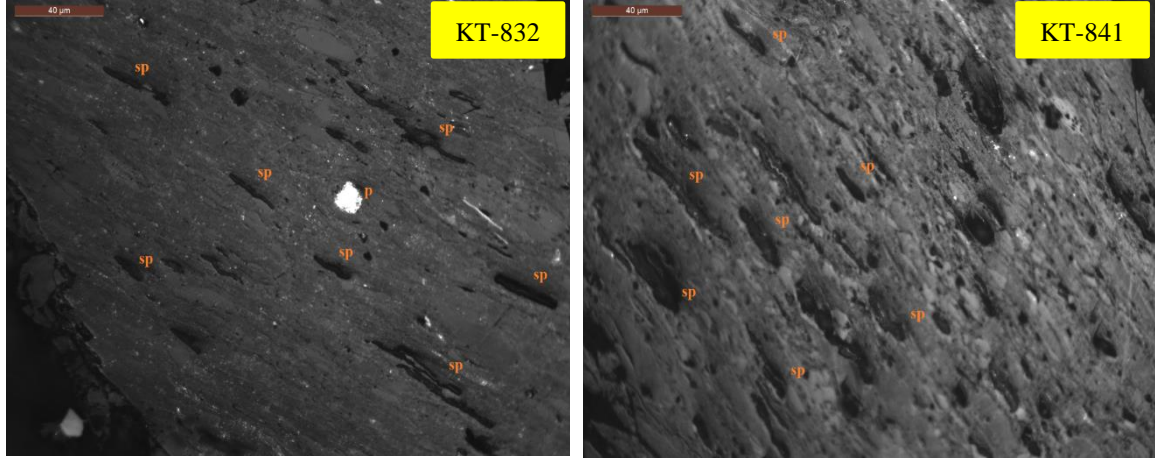
İncelenen örneklerde izlenen liptinit grubu maseralleri kütinit, sporinit ve rezinittir (Şekil 4.18). Kütinit, neredeyse tüm kömürlerde bulunur ancak nadiren bol miktarda gözlenir (Pickel vd. 2017). İnceleme alanındaki kömür örneklerinin bazılarında bulunmakla birlikte miktarları % 2'yi aşmamaktadır (Şekil 4.17). Kütinitler bitki yaprak ve gövdelerin kütiküllerinden (dış zar) kaynaklanırlar. (Stach vd. 1982). Ayrıca, fasiyes analizi ve stratigrafik değerlendirilmelerde, paleobataklık ortamının modellenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Kütinit varlığı depolanma ortamındaki su seviyesinin yüksek olduğunu ve turba oluşumunun limnik ortamda su altı koşullarında gerçekleştiğini gösterir.



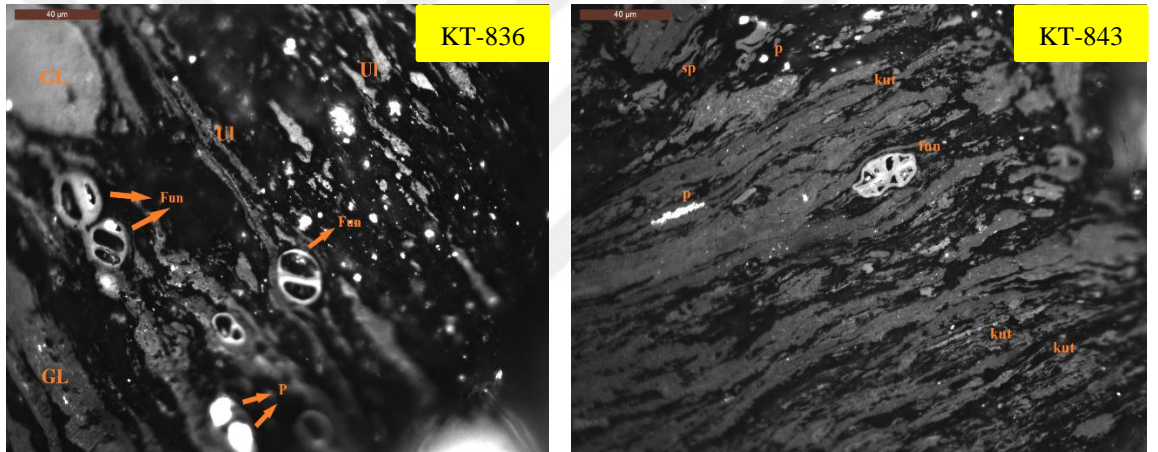
**Şekil 4.18.** İncelenen örneklerin üstten aydınlatmalı mikroskopta rezinit, kütinit ve bazı maseral görüntüleri (rz: rezinit, cut: kütinit)

Sporinit maserali, spor ve polenlerin kömürleşmiş kalıntılarında oluşan Paleojen ve Neojen linyitlerinde özellikle parlak bantlarda yüksek oranda olabilir ancak daima düşük değerler sunmaktadır. Çalışma bölgesindeki örneklerde liptinit grubunda en çok belirlenen maseral olup miktarları %4'e varan değerler gösterir (Şekil 4.19). Polen ve sporlar özellikle stratigrafi çalışmaları ve katman korelasyonu için uygundur. Fasiyes göstergeleri olarak da oldukça önemlidirler. Dağınık sporinitlerin hidrokarbon verimi oksidasyona bağlı olarak oldukça düşük olabilir (ICCP 1963). Sporinit maserali, genellikle liptinit maseral grubunun diğer maseralleriyle aynı teknolojik özelliklere sahiptir (Pickel vd. 2017). İncelenen kömürler ayrıca sporinit ve kil mineralleri bakımından zengin olup sazlık ortamındaki su altı koşullarında, yüksek bakteri faaliyeti ile bozunmayı işaret etmektedir.

Liptinit grubunda en az miktarda bulunan maseral rezinit olmuştur ve % 2'yi geçmeyen değerlerde saptanmıştır. Rezinite reçine ve mumdan kaynaklanır (Taylor vd. 1998). Çoğunlukla hücre boşluklarını doldurmaktadır. Rezinitin, diyajenezin nispeten erken evrelerinde sıvı hidrokarbon üretimine önemli katkıda bulunduğu düşünülmektedir (Powell vd. 1978). Rezinit varlığı orman bataklığına işaret etmektedir (Flores 2002).



**Şekil 4.19.** İncelenen örneklerde izlenen sporinit maseralleri (sp: sporinit)



**Şekil 4.20.** İncelenen kömür örneklerinin üstten aydınlatmalı mikroskop görüntüleri (kut:kütinit, fun:funginit, sp:sporinit)

#### 4.6.2. Hüminit yansımaları ölçümleri

Hüminit yansımaları değerleri kullanılarak kömürlerin kömürleşme dereceleri (rank) saptanabilmektedir. Hüminit yansıtma analizi, parlatılmış bir yüzey üzerine düşürülen normal ışığın ısı/derinlik artışına bağlı olarak artan oranlarda yansımalarının yüzde olarak ifade edilmesiyle belirlenmektedir. Linyitlerde yansıtma ölçümleri, genellikle hüminit maseraller grubuna ait ülminit veya nadiren teksto-ülminit maserallerinde gerçekleştirilmektedir. Artan sıcaklığa bağlı olarak kerojenin yapısında meydana gelen kimyasal değişim, yansıtma derecesinin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yansıtma ölçümleri sonucu elde edilen % Ro değerleri olgunluk parametresi olarak kullanılmaktadır (Stach vd. 1982). Her örneğe ait rastgele yansıtma değeri (%Ro) ve standart sapma (s) değerleri Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Çalışma alanı olan Tunçbilek (Kütahya-Tavşanlı) FC Pano Açık İşletmesi kömürlerinden alınan inceleme

alanına ait örneklerin hüminit yansıtma değerlerinin her bir örnekteki ortalama değeri,  $R_o$  % 0,48 - 0,60 arasında değişmektedir.

Kömür içerisindeki kül, nem, uçucu madde ve ısı değer kömürün kalitesi ve kullanım alanları hakkında bilgiler verebilmektedir. Dolayısıyla yansıtma değerleri kömürleşme derecesinin belirlenmesinde daha sağlam sonuçlar vermektedir. Tunçbilek sahasından alınan örneklere ait belirlenen hüminit yansıtma değerlerine göre kömürlerin kömürleşme derecesi, Stach vd. (1982) tarafından verilen ASTM sınıflamasına göre “Alt bitümlü Kömür” oldukları belirlenmiştir. Alman DIN sınıflamasına göre linyit sınıfında belirlenmiştir.

**Çizelge 4.3.** Tunçbilek (Kütahya-Tavşanlı) FC Pano Açık İşletmesi’ne ait kömürlerde ölçülen rastgele hüminit yansıtmasının her bir örnekteki ölçüm sayısı, ortalaması ve standart sapması

Örnek No	n	% Rmax	% Ro	% Rmin	s
KT-831	100	0,5138	0,4942	0,4726	0,0096
KT-832	100	0,6180	0,5973	0,5776	0,0098
KT-832,50	100	0,6222	0,5971	0,5818	0,0083
KT-833	100	0,6129	0,5953	0,5730	0,0085
KT-833,50	100	0,6432	0,6066	0,5783	0,0158
KT-834	100	0,6300	0,6077	0,5779	0,0092
KT-835	100	0,6233	0,6046	0,5860	0,0096
KT-836	100	0,6291	0,6067	0,5890	0,0091
KT-837	100	0,6188	0,5923	0,5612	0,0167
KT-841	100	0,6146	0,5819	0,5583	0,0125
KT-843	100	0,6189	0,5993	0,5805	0,0090
KT-844	100	0,6140	0,5927	0,5704	0,0093
KT-844,50	100	0,5082	0,4827	0,4651	0,0093
KT-848	100	0,5744	0,5461	0,5109	0,0119
KT-849	100	0,5891	0,5618	0,5361	0,0150

(Kısaltmalar; n: Ölçüm sayısı, %Ro: Rastgele hüminit yansıtması, s:Standart sapma % Rmax: Maksimum değer, % Rmin: Minimum değer)

#### 4.6.3. Organik Petrografik indekslerin ortamsal yorumlarda kullanımı

Kömür petrografisi analizleri, kömürlerin çökelim koşulları ve ortamları hakkında önemli ipuçları verebilmektedir. Organik maddelerin özellikleri, organik maddenin çökelim ortamının özelliklerine ve oluşum şartlarına göre farklılıklar gösterir. Organik maddelerin kendine özgü fiziksel ve kimyasal şartlara sahip olan bataklık ortamları (delta, lagün, göl ve akarsu taşkın ovaları) kömürü oluşturan organik ve inorganik bileşenleri belirler. Kömürü oluşturan maseral bileşenlerinin türleri ve oranları organik maddenin tipi ve oluşum sürecindeki koşullara yönelik bilgiler sunmaktadır. Bu bileşenler; pH, su tablası yüksekliği, aerobik ve anerobik bakteri

tarafından bozunma ve organik maddenin sedimantasyon ortamına taşınması ile ilgili olarak gelişen mekanik bozunmalar tarafından etkilenirler (Bozcu vd. 2008).

Kömürlerin mikroskopik incelemeleri sonucunda bazı değerlerden çeşitli parametreler geliştirilmiş ve bu doğrultuda kömür oluşumunun gerçekleştiği ortamın özellikleri hakkında bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır. Değişik araştırmacılar ortam yorumlarında kullanmak üzere geliştirdikleri bu parametreler doğrultusunda petrografik bileşenleri kullanmışlardır (Diessel 1986, 1992; Kalkreuth vd. 1991; Petersen 1993; Mavridou vd. 2003). Oksidasyon, su seviyesi, pH, organik maddenin kaynağı, jelleşme durumu, çökelim ortamı koşulları, turbanın bio-kütlesi, ve bitki girdisi gibi bilgileri elde edebilmek için kullanılan bu indisler;

-Jelleşme indeksi (GI: Gelicification Index ),

-Doku Koruma İndeksi (TPI: Tissue Preservation Index),

Bu parametrelere bağlı olarak çeşitli diyagramlar geliştirilmiştir. Bunlardan en fazla kullanılanı (Diessel 1986) tarafından geliştirilen TPI-GI diyagramıdır. Diessel, Permian yaşlı kömürler üzerinde gerçekleştirdiği petrografik analiz sonuçlarından elde ettiği verileri kullanarak TPI ve GI indekslerini nitelendirerek bir formül oluşturmuştur. Düşük kömürleşme derecesine sahip alt bitümlü kömür ve linyitler için en çok kullanılan yöntem Diessel (1986)' in geliştirmiş olduğu kömür bileşenlerinin doku göstermesi ve dokularının korunması temeline dayandırılarak yapılmıştır. Kömür bileşenlerinin doku göstermesi ve bu dokuların korunması temeline dayanan TPI hümfikasyon derecesini ve korunan dokuların korunmamış dokulara oranını belirtir. GI ise jelleşmiş ve jelleşmemiş maserallerin oranına dayanarak turba birikimi ve su tablası değişimlerini ifade etmektedir. Diessel'in oluşturduğu formülleri, Mavridou vd. (2003) Tersiyer kömürlerine göre çevirmiştir. Bu çalışmada TPI ve GI hesaplamalarında Mavridou vd. (2003) tarafından değiştirilen ve aşağıda verilen formüller kullanılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.4'te verilmiştir. Bu değerlerin yorumlanmasında ise Diessel 1986 tarafından geliştirilen diyagram kullanılmıştır (Şekil 4.21).

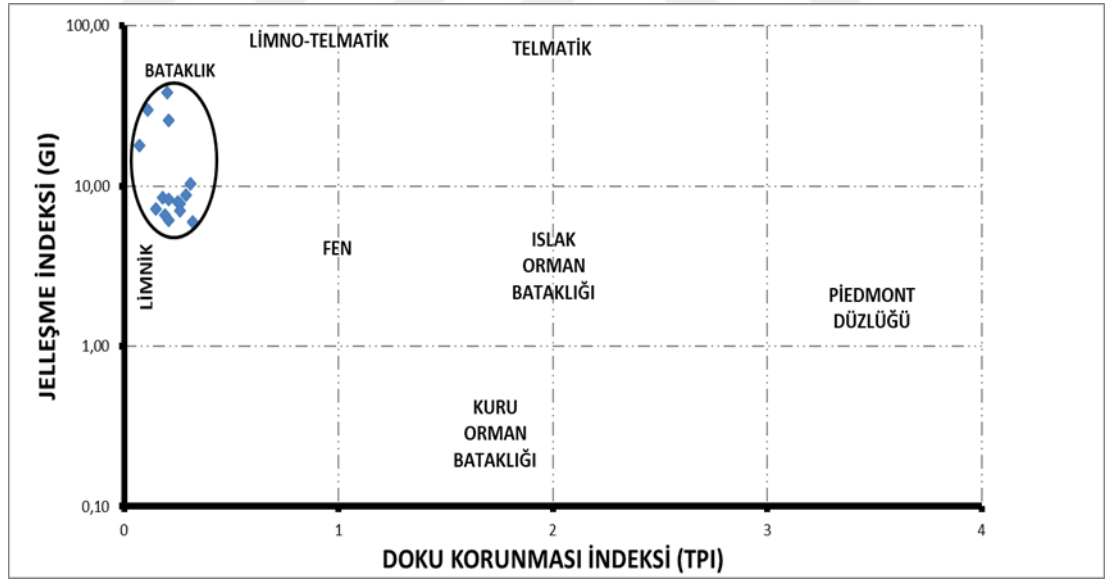
$$GI = (\text{Ülminit} + \text{Jelinit} + \text{Korpohüminit} + \text{Densinit}) / (\text{Tekstinit} + \text{Atrinit} + \text{İnertinit})$$

$$TPI = (\text{Tekstinit} + \text{Ülminit} + \text{Korpohüminit} + \text{Füzinit}) / (\text{Atrinit} + \text{Densinit} + \text{Jelinit} + \text{İnert odetrinit})$$



Çizelge 4.4. Fasiyes indislerine ait değerler (GI, TPI)

Örnek No	GI	TPI
KT-831	8,8	0,29
KT-832	7,2	0,15
KT-832,50	30	0,11
KT-833	25,6	0,21
KT-833,50	8	0,25
KT-834	6	0,32
KT-835	6,6	0,19
KT-836	6,1	0,21
KT-837	7,8	0,26
KT-841	8,5	0,18
KT-843	7	0,26
KT-844	10,4	0,31
KT-844, 50	38,5	0,20
KT-848	18	0,07
KT-849	8,3	0,21



Şekil 4.21. Kömür örneklerinin GI-TPI diyagramındaki konumu (Diessel 1986)

GI-TPI diyagramında (Şekil 4.21) görüldüğü gibi kömürler çoğunlukla limnik olmak üzere limnotelmatik, bataklık zonlarında yer almaktadırlar. Tunçbilek kömürlerinin GI değerleri 6-38,5 arasında değişmektedir. Bu değerlerden ve Diesel diyagramında limnik karakterdeki kısımlar ot saz vb. yıllık bitkilerin ağırlığının

bulunduğu, bataklık ortamında ise odunsu bitkilerin gelişmekte olduğu görülmektedir. Havzadaki kömürlerin su altı ortamında, oksitlenmeye maruz kalmadan oluştuklarını göstermektedir. Bataklık ortamında kömürleşmenin iyi bir jelleşme sonucu oluştuğu ve organik maddelerin ayrışma ve jelleşme özelliklerinin iyi geliştiği diyagramlardan anlaşılmaktadır. Ayrıca bazı örneklerde hem mineral madde çok fazla hem de yer altı suyu fazla gözlenmektedir. Bunun sebebi olarak havzaya taşınan malzemenin ciddi anlamda fazla olduğu söylenebilir. Bu durum havzaya bir sellenme döneminde (taşkın bataklık) muhtemelen killi, siltli malzeme taşındığı bir ortam olduğunu ifade etmektedir.

Maseral analizinde bol miktarda rastlanan framboidal pirit varlığı alkalın koşullara işaret etmektedir. Ayrıca nitrojen ve hidrojen zengin hümit jeller ve turbalaşma ürünlerinin oluşmasını sağlarlar. İnceleme alanının temelinde de bulunan kristalin kireçtaşlarından itibaren ortama gelen kalsiyum kömürlerin içinde zenginleşebilmiştir. Petrografik değerlendirmeler sırasında belirtilen gelinit maserali de kalsiyumca zengin kömürlerin karakteristiğidir (İordanidis ve Georgakopoulos, 2003). Maseral analizi sonucunda gözlenen gelinit bolluğu da limnotematik koşullar ve ıslak çayır bataklığında suyun kalsiyum iyonunca zengin olduğu durumu işaret etmektedir. Farklı seviyelerde gözlemlenen GI değerlerindeki değişim, yeraltı su seviyesinin zaman zaman artıp, zaman zaman azaldığını göstermektedir.

0,11-0,32 arasında değerler sunan TPI değerleri farklı seviyelerde değişim göstermemektedir. TPI değerleri doku korunumunun ve turbayı oluşturan bitki türleri arasındaki oranın ölçütüdür. Düşük TPI, ortamda otsu bitkilerin egemen olduğunu, hümitifikasyon nedeniyle bitki dokularının korunamamasını veya düşük çökme oranını, yüksek bitkileri ortama taşımadaki azalmayı gösterebilmektedir. Gelinit maseralinin fazlalığı da organik maddenin dokusunun bozulduğuna işaret etmektedir. İnceleme alanındaki maseral analizi sonuçları bu durumu desteklemektedir.

Ortam yorumlarında kullanılmak üzere geliştirilen diğer indisler ise;

-Vejetasyon İndeksi (VI: Vegetation Index),

-Yeraltı Suyu Etkisi İndeksi (GWI: Ground Water Influence Index)'dir.

Ortamın yeraltı su seviyesi, kömür içerisindeki maserallerin su tablasına bağlı olarak korunması, turbayı oluşturan bitki türleri ve havzaya mineral madde taşınımı hakkında bilgi toplayabilmek için Calder vd. 1991, Pensilvanian yaşlı Kanada kömürlerini esas alarak GWI ve VI parametrelerini geliştirmişlerdir. GWI ortamdaki yeraltı suyunun etkisini, VI ise odunsu bitkilerin, su kenarındaki otsu bitkilere oranını ifade etmektedir. Mavridou vd. (2003) tarafından ele alınıp değiştirilen GWI ve VI hesaplamalarında aşağıda verilen formüller kullanılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4.5'te verilmiştir. Bu değerlerin yorumlanmasında ise Calder vd. 1991 tarafından geliştirilen diyagram baz alınmıştır (Şekil 4.22).

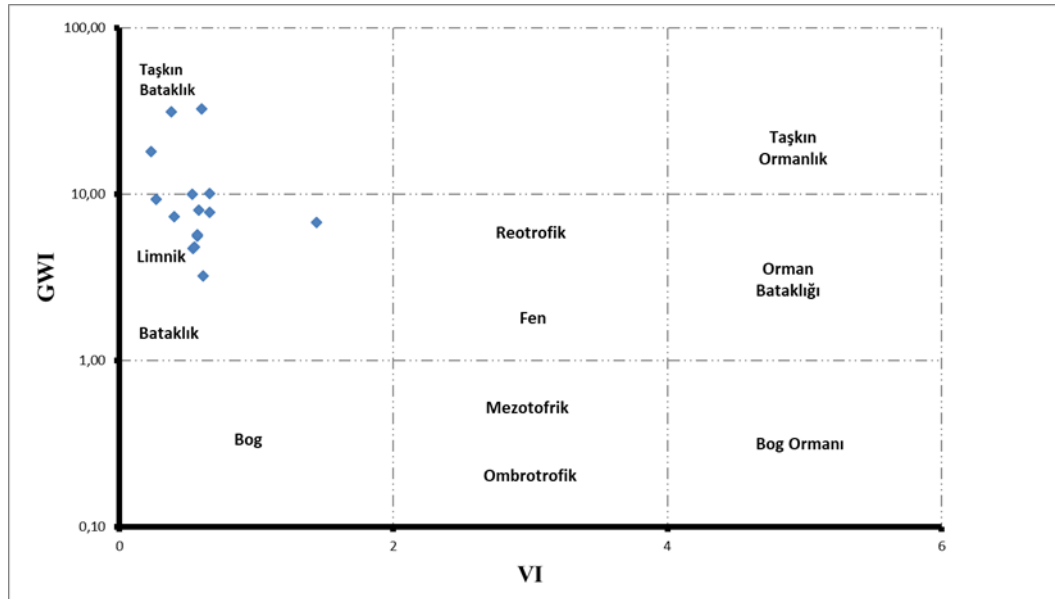
$$GWI=(Korpöhümit+Jelinit+Densinit+Mineralmadde)/(Tekstinit+Ülminit+Atrinit)$$

$$VI=(Tekstinit+Ülminit+Rezinit+Suberinit+Füzinit+Semifüzinit)/(Densinit+Atrinit+Kütinit+Sporinit+Alginit+Bitüminit+Liptodetrinit)$$

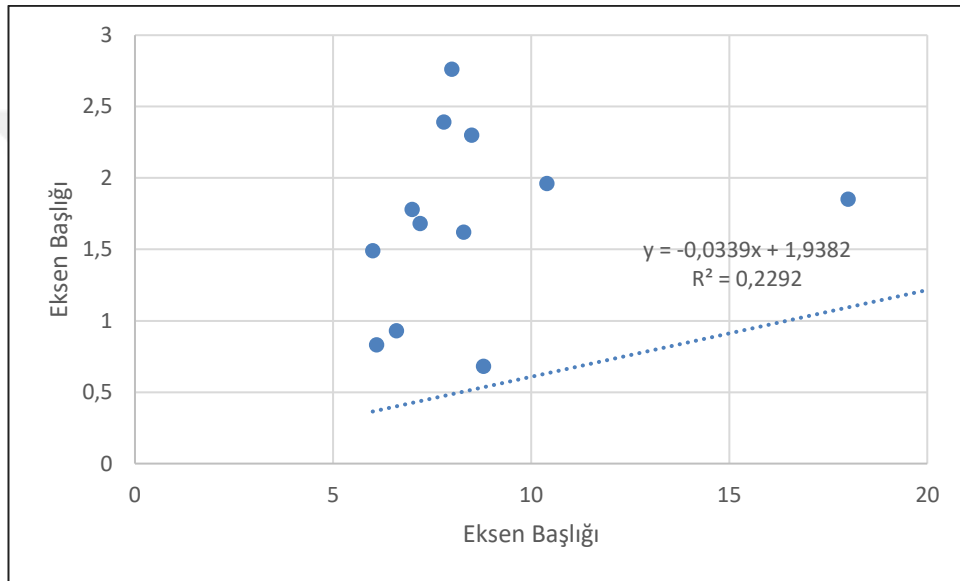
**Çizelge 4.5.** GWI ve VI fasiyes indislerine ait değerler

Örnek No	GWI	VI
KT-831	7,81	0,66
KT-832	8	0,58
KT-832,50	32,6	0,60
KT-833	6,75	1,44
KT-833,50	4,7	0,54
KT-834	3,23	0,61
KT-835	10	0,53
KT-836	10,12	0,66
KT-837	7,36	0,40
KT-841	5,61	0,57
KT-843	4,8	0,55
KT-844	9,3	0,27
KT-844, 50	31,3	0,38
KT-848	18	0,23
KT-849	5,69	0,57

GWI-VI diyagramında da görüldüğü gibi kömürler çoğunlukla limnik ortamda taşkın bataklık ve bataklık zonlarında yer almaktadır. Tunçbilek kömürlerinin GWI değerleri 3,23-32,6 arasında değişmektedir fakat çoğunlukla 10'un altında değerler sunduğu görülmektedir. VI değerleri ise 0,23-1,44 arasında değişmekte olup, çoğu örnek 1'in altında değerler sunmaktadır (Çizelge 4.5). GWI ve VI değerleri kömür seviyeleri arasında farklılıklar göstermektedir. GWI değerlerinin yükseldiği düzeylerde inorganik madde göreceli olarak azalmıştır. Bu durumun su seviyesinin yükselmesiyle ilgili olduğu söylenebilir.

**Şekil 4.22.** Kömür örneklerinin GWI-VI diyagramındaki konumu (Calder vd. 1991)

Ortam yorumunda kullanılan diğer parametre de kükürttür. Kükürt içeriğinin yüksek olması nötrden alkali ortama geçişe işaret etmektedir. Bakteriler için alkali ortam oldukça elverişlidir ve Fe-sülfid turbalarda genellikle bakteriyel faaliyet sonucu oluşur. Daha önce de söylendiği gibi maseral analizinde yaygın olarak görülen gelinitler ve fromboidal piritler alkali koşulları yansıtır. Dolayısıyla ortamın pH düzeyi hem bitkilerin bakteriyel bozunmasını, hem de sülfat indirgenmesini kontrol etmektedir (Bozcu vd. 2008). Bu nedenle kömürlerin sülfür içeriği ile GI arasında pozitif korelasyon beklenir (Dehmer 1989). Şekil 4.23'te görüldüğü gibi çalışma alanına ait örneklerin toplam kükürt değerleri ile jelleşme dereceleri arasında pozitif bir korelasyon görülmektedir.



Şekil 4.23. Toplam kükürt değerlerinin GI ile ilişkisi

#### 4.6.4. Kömürün elementel analiz değerlendirmeleri

Kömür örneklerinin elementel analiz değerleri C, H, N, O, S'den oluşmaktadır. İncelenen kömür örneklerde elementel analiz sonuçlarına göre karbon (C) miktarı baskın olarak belirlenmiş ve % 24,30- 69,23 (kuru numunede) arasında değerler sunmuştur. Hidrojen (H) % 1,76- 5,59, oksijen (O) % 6,41- 11,14 arasında değerlere sahiptir. Kükürt (S) % 0,17-2,86 (kuru numunede) ve azot (N) değerlerine bakıldığında % 0,91- 2,33 arasında değerler göstermektedir (Çizelge 4.6).

Karbon ve hidrojen, kömürde organik veya inorganik yapıda bulunabilmektedir. Kömürleşme sürecinde hidrojen/karbon oranı azalırken karbon miktarı artmaktadır. Kömür yandığı anda oluşan ısının neredeyse tamamı içerdiği karbon ve hidrojenin yanması sonucunda meydana gelmektedir. Kömürün içerdiği karbon ve hidrojenin belirlenmesi amacı ile geliştirilmiş olan yöntemlerin tümü, belirli ağırlıktaki bir kömürün kapalı sistemde yakılması sonucu oluşan karbondioksit ile suyun çözülmesi olayına dayanmaktadır. Kömürün içerdiği organik ve inorganik bağlı karbon ve hidrojenin tamamını veya her birini var olan yöntemlerle ayrı ayrı saptamak mümkündür (Meriçboyu vd. 1998). İncelenen kömür örneklerine bakıldığında karbon % 24,30- 69,23 arasında, hidrojen % 1,76-5,59 arasında değerler sunmuştur. H/C oranı 0,083 olarak hesaplanmıştır.

Kömürün içerdiği oksijenin, minerallerde inorganik, organik yapı içinde ise organik bileşikler halinde ve ayrıca nem içerisinde bulunması sebebiyle doğrudan belirlenmesi oldukça zor olmaktadır. İnorganik oksijen, kömürden mineral madde uzaklaştırma yöntemlerinden biri uygulanarak uzaklaştırılabilir ve daha sonra kalan katıda oksijen tayini yapılabilir (Meriçboyu vd. 1998). İncelenen kömürün oksijen içeriğine bakıldığında % 6,41- 11,14 arasında değerler göstermiştir.

Kömürdeki azotun, genellikle bitkisel ve hayvansal proteinler, azotça zengin bitkiler, klorofilden ve bitki alkaloitleri türediğini kabul etmektedir (Meyers1982). Kömürün içerdiği azotun tamamı organik yapıdadır ve çoğunluğu, molekül ağırlıklı heteroksitlik bileşikler içinde bulunmaktadır. Bitümlü kömürler her yüz (karbon+hidrojen+oksijen) atomu için 1-2 azot atomu içermektedirler. İncelenen örneklerde azot değerlerine bakıldığında % 0,91- 2,33 arasında değerler sunmuştur. Kömürün azot içeriği özellikle hava kirliliği açısından çok önemlidir. Kömürün yanması ile NO<sub>x</sub> oluşur ve bunlar atmosferi kirletirler. Endüstride kuru ve külsüz bazda % 1.5-2 den daha düşük azot içerikli kömürler tercih edilir. Denizel etkili çökel ortam ürünü olan kömürlerin azot içerikleri ise yüksektir. (Carpenter, 1988).

Orijinal numunede, havada kuru numunede ve kuru numunede C, H, N ve O analiz sonuçları Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

**Çizelge 4.6.** Tunçbilek (Kütahya-Tavşanlı) FC Pano Açık İşletmesi kömürlerinden alınan örneklerin elementel analiz değerleri

Örnek No	Orijinal Numunede				Kuru Numunede			
	C(%)	H(%)	N(%)	O(%)	C(%)	H(%)	N(%)	O(%)
KT-831	24,39	2,13	1,42	8,27	25,86	2,25	1,50	8,77
KT-832	64,26	4,27	2,16	8,71	69,23	4,60	2,33	9,39
KT-832,50	4,63	0,77	0,88	6,14	4,84	0,80	0,91	6,41
KT-833	37,49	2,72	1,54	6,25	38,96	2,82	1,60	6,50
KT-833,50	57,32	4,08	2,00	6,96	60,45	4,30	2,11	7,34
KT-834	42,12	3,09	1,69	8,80	45,18	3,32	1,81	9,44
KT-835	35,38	2,68	1,47	9,14	37,59	2,85	1,56	9,71
KT-836	23,04	1,67	1,27	9,54	24,30	1,76	1,34	10,06
KT-837	46,74	3,53	1,77	9,49	50,16	3,79	1,90	10,18
KT-841	58,93	4,72	2,08	9,65	62,30	4,99	2,20	10,20
KT-843	31,74	2,54	1,37	9,64	33,40	2,67	1,44	10,14
KT-844	32,29	2,68	1,39	7,86	33,92	2,82	1,46	8,26
KT-844,50	23,31	2,14	1,25	8,64	24,31	2,23	1,30	9,01
KT-848	66,84	5,46	2,01	6,86	68,43	5,59	2,06	7,02
KT-849	65,05	5,25	2,06	10,61	68,24	5,51	2,17	11,14

Kömür örneklerinde kükürt oranı fazladır. Yüksek kükürt içeriği nötr ve alkalın koşulları göstermektedir. Bu durum, örneklerde daha çok görülen epijenetik pirit oluşumlarından ve/veya fasiyes koşullarındaki değişimlerle ilgili olabileceği düşünülmektedir. Kükürt, kömürde inorganik ve organik bileşikler halinde bulunmaktadır. Organik kükürt hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunurken, inorganik kükürt ise pirit gibi sülfid minerallerinden kaynaklanmaktadır. Turbalarda Fe-sülfid genellikle bakteriyel faaliyet ile meydana gelmektedir. Sülfatların bakteriyel indirgenmesiyle de kömürlerde gelinit ve pirit oluşmuştur. Daha önce de bahsettiğimiz gibi maseral incelemelerinde yüksek gelinit ve pirit fazlalığıda bunu doğrulamaktadır. İncelenen kömürler ortalama orijinal kömürde % 0,16- 2,72 arasında, kuru numunede % 0,17- 2,86 değerler sunmaktadır.

Çevresel açıdan bakınca linyit yandığı zaman serbestleşen kükürt (S), yıllarca araştırmacıların ilgi alanı olmuştur. Örneklerin kükürt içeriği oldukça yüksek olması şehirlerde kullanımını ya da yakıt hammaddesi olarak kullanımını sınırlamaktadır. Ayrıca çevresel problemlere neden olabilir. Kömürdeki azot içeriği gibi kükürt içeriği de hava kirliliği ve korozyona neden olmasından dolayı istenmeyen bileşenlerdir. Örneğin elektrik üretimi için kullanılacak kömürlerde havada kuru bazda kükürt içeriğinin % 0.8-1.0' ı geçmemesi istenir (Kural, 1998). Çimento fabrikalarında, %2 kükürt içeriği kabul edilebilir bir sınırdır. Ancak, koklaşabilir kömürlerde sıvı ham

demir ve çelik kalitesiyle yüksek fırın çalışma koşullarını etkilemesi nedeniyle havada kuru bazda bu miktarın maksimum %0.8 olması gerekir.

**Çizelge 4.7.** Tunçbilek (Kütahya-Tavşanlı) FC Pano Açık İşletmesi kömürlerinden alınan örneklerin kükürt analizi değerleri

<b>TOPLAM KÜKÜRT (S) %</b>			
<b>Örnek No</b>	<b>Orijinal Numunede</b>	<b>Havada Kuru Numunede</b>	<b>Kuru Numunede</b>
KT-831	0,66	0,68	0,70
KT-832	1,62	1,68	1,75
KT-832,50	0,16	0,17	0,17
KT-833	1,07	1,09	1,11
KT-833,50	2,72	2,76	2,86
KT-834	1,44	1,49	1,54
KT-835	0,90	0,93	0,96
KT-836	0,80	0,83	0,85
KT-837	2,32	2,39	2,49
KT-841	2,25	2,30	2,38
KT-843	1,73	1,78	1,82
KT-844	1,91	1,96	2,00
KT-844,50	0,86	0,88	0,90
KT-848	1,84	1,85	1,88
KT-849	1,60	1,62	1,68

## 5. SONUÇLAR

Kütahya-Tavşanlı, Tunçbilek kömür/kömürlü birimlerini konu alan tez çalışmasında, organik jeokimyasal ve organik petrografik özellikleri değerlendirilerek organik fasiyes yorumlamaları, organik maddeyle ilişkileri ve kökensel ilişkileri araştırılarak yorumlanmıştır. Bu kapsamda, kömür/kömürlü birimlerde organik madde miktarı, organik madde türü, organik madde olgunluğu, kaynak kaya potansiyeli ve organik fasiyes özellikleri belirlenebilmesi için piroliz ve maseral analizinden yararlanılmıştır. Ayrıca kömür örneklerinde elementel analiz yapılarak beş elementin kömürün içeriğindeki oranları belirlenerek değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışma alanına ait kömür örneklerinin toplam organik madde (TOC) miktarı % 8,25-55,01 arasında değişmekte olup, ortalama % 42,28 olarak hesaplanmıştır. Ekonomik miktarda gaz/petrol türümü gerçekleştirebilmesi için yüksek potansiyele sahiptir. Hidrojen indeksi (HI) 185-389 mg HC/g TOC, oksijen indeksi (OI) değerleri 3-9 mg CO<sub>2</sub>/g TOC ve T<sub>max</sub> değerleri 426-437 °C olarak tespit edilmiştir. HI değeri ve S<sub>2</sub>-TOC, HI-T<sub>max</sub> diyagramlarından yararlanılarak organik madde tipi Tip II-III (karışık petrol-gaz) olarak belirlenmiştir. III. Tip kerojen karasal bitki kökenli, hümik organik maddeyi temsil ederken, II. Tip organik madde hidrojen zengin petrol-gaz kökenli organik maddeyi işaret etmektedir. HI-OI diyagramında ise HI indeksinin yüksek değerler sunmasından kaynaklı olarak Tip I-II olarak belirlenmiştir. III. Tip organik maddeden oluştuğu belirlenen bazı kömürlerin HI-OI diyagramlarında I-II Tip kerojen aralıkları arasında yer alması Rock-Eval piroliz analizi ve elementel analiz arasındaki farktan oluşan yüksek hidrojen indeksi değerlerinden kaynaklanabilmektedir.

Tunçbilek kömürlerine ait birimlerin olgunlaşma düzeyi piroliz ve petrografik analizlerden yararlanılarak değerlendirilmiştir. Pirolizden elde edilen temel olgunlaşma parametreleri T<sub>max</sub>, Üretim İndeksi (PI)'dır. PI değerleri 0,01-0,06 arasında olup ortalama 0,03 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler PI sınıflamasına göre olgunlaşmamış organik maddeyi göstermektedir. T<sub>max</sub> değerleri ise 426-437 °C olup ortalama T<sub>max</sub> 432°C olarak hesaplanmıştır. Örneklerin genellikle olgunlaşmamış organik madde düzeyi ile erken-orta olgun organik madde sınırı olan 435 °C'ye çok yakın değerler sunması, organik maddenin diyajenez aşamasının son evresinde olduğu sonucunu belirtmektedir. Ayrıca S<sub>2</sub> pikinin beklenmeyen bir sonuç vermesinden ya da örneklerin yüksek kil içeriğinden kaynaklı olabilir.

Rock- Eval piroliz verilerinden elde edilen PY değerleri 16,12-221,7 arasında olup ortalama 106,8 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre çalışma alanına ait birimler iyi derecede kaynak kaya sınıfında olduğu söylenebilir. HI/TOC diyagramına göre değerlendirilen örneklerin çoğunlukla petrol-gaz kökenini gösteren alanda olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanına ait kömür/kömürlü örneklerin dört örnek dışında C organik fasiyesi özelliğinde olduğu belirlenmiştir. Baskın olan C fasiyesi değişik tiplerdeki karasal malzemeden oluştuğu için incelenen örnekler az miktarda taşınmış organik maddeler bulundurabilirler. İncelenen kömürlerdeki hüminit maserallerinin yanı sıra aynı zamanda sporinit, rezinit, füzinit ve inertinit gibi maserallerin belirgin olması da C organik fasiyesi özelliğinde olmasını doğrulamaktadır. Baskın olan organik madde genellikle karasal olup bazen oksidasyona maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Bu fasiyesin çökelişi için en uygun ortamların denizel olmayan ortamlar, özellikle de bataklıklar olduğu diyagram sonuçlarına göre de tespit edilmiştir. Diğer dört örneğin BC organik



fasiyesinde olması hakim organik madde türünün karışık ve oksidasyona uğramış olduğunu göstermektedir. BC organik fasiyesinin belirlendiği örnekler bakıldığında inorganik maddenin genellikle az olduğu görülmektedir. Yani burada su seviyesi yüksek ve kömür oluşumuna elverişli bir ortam mevcuttur. Aynı zamanda TOC değerlerine bakıldığında ise bu duruma orantılı olarak yüksek oldukları görülmüştür.

Kömür örneklerinin elementel analiz değerleri ağırlık yüzdesinin belirlenmesini içerir. İncelenen kömür örneklerinde elementel analiz sonuçlarına göre karbon (C) miktarı baskın olarak belirlenmiş ve % 24,30- 69,23 (kuru numunede) arasında değerler sunmuştur. Hidrojen (H) miktarı % 1,76- 5,59, oksijen (O) miktarı % 6,41- 11,14 arasında değerlere sahiptir. Kükürt (S) miktarı % 0,17-2,86 (kuru numunede) ve azot (N) değerlerine bakıldığında ise % 0,91- 2,33 arasında değerler göstermektedir. İncelenen kömürler ortalama % 0,17- 2,86 yüksek kükürt değerlerine sahiptir. Kükürt içeriğinin yüksek olması nötrden alkali ortama geçişe işaret etmektedir. Turbalarda Fe-sülfid genellikle bakteriyel faaliyet ile meydana gelmektedir. Sülfatların bakteriyel indirgenmesiyle de kömürlerde gelinit ve pirit oluşmuştur. Maserale incelemelerinde yüksek gelinit ve pirit fazlalığında bunu doğrulamaktadır. Çevresel açıdan bakacak olursak örneklerin kükürt içeriği oldukça yüksek olması şehirlerde kullanımını ya da yakıt hammaddesi olarak kullanımını sınırlamaktadır. Ayrıca çevresel problemlere neden olabilir. Kömürdeki azot içeriği gibi kükürt içeriği de hava kirliliği ve korozyona neden olmasından dolayı istenmeyen bileşenlerdir.

Atomik H/C oranı ve atomik O/C oranı parametrelerine göre kerojen tipleri değerlendirilmiş olup, Tip II-III kerojen olarak belirlenmiştir. Ayrıca petrol-gaz üretim potansiyellerinin düşük olduğu görülmüştür. Piroliz verilerine göre de, örnekler olgunlaşmamış-erken olgun evrede olduğu için, potansiyel kaynak kaya özelliği göstermelerine rağmen henüz petrol-gaz oluşturacak olgunluk seviyesine gelememiştir. Elementel analiz verileri piroliz verilerini destekler niteliktedir.

İncelenen örneklerde en baskın maseral grubu % 30–80 arasında değerler sunan hüminit maseralleridir. Liptinit maseralleri % 1-8 iken inertinit grubu ise % 2-7 arasında değişmektedir. Tüm örneklerde pirit açısından oldukça yüksek değerler (% 2-6) belirlenmiştir. Örneklerdeki pirit içeriği limnik ortamı işaret edebilmektedir. Tüm seviyelerde piritler yer yer framboidal çatlak ve boşluk dolgusu oluşumları ya da kömürler içerisinde dağılmış saçınımlı şekilde görülmektedir. Buda kömürlerin içerisinde pirit oluşumlarının sinjenetik (framboidal) ve epijenetik (saçınımlı) olduğunu göstermektedir. Ayrıca framboidal pirit bolluğu ortamda kükürt bakteri faaliyetlerinin yoğun olduğunu göstermektedir. Yüksek kükürt içeriği turba ortamının neredeyse nötr veya alkalın şartlar altında olduğunu ortaya koymaktadır. Hüminit grubunda en baskın maseralin gelinit olduğu saptanmıştır. Gelinitlerin yüksek olduğu 2,4,10,13 ve 14 nolu örnekler alkali koşulları işaret etmektedir. Gelinit maseralinin bolluğu, limnotematik turba koşullarını, sazlık bataklığı turbalarını göstermektedir. Gelinitler dışında ülminitler de önemli miktarda bulunmakta olup, daha az oranlarda korpohüminit, densinit ve atrinit maserallerine rastlanılmıştır. Densinit gibi kırıntılı maserallere sahip kömürlerin, oluşum tipi çökeltme ortamı içinde taşınmış kömürler (hipootokton) olarak yorumlanmaktadır. İncelenen kömürlerde detrohüminit (attrinit, densinit) maserallerinin bol miktarda bulunması turba oluşumunda genellikle otsu bitkilerin varlığına işaret etmektedir. Bunun yanı sıra su seviyesinin yüksek olduğu bataklıklarda yüksek enerji, organik maddenin kırılıp parçalanmasına ve böylece maseral bileşiminin

detrohüminitlerce zengin olmasına sebep olmaktadır. Liptinit grubunun baskın maserali sporinitlerdir. İncelenen kömürlerin sporinit ve kil mineralleri bakımından zengin olması sazlık ortamındaki su altı koşullarında, yüksek bakteri faaliyeti ile bozunmayı işaret etmektedir. Kil oluşumları da kömür dokuları içerisinde, mikroskopik ölçekte tabakalanma ve ardalanma gösterecek şekilde veya kömür içerisinde dağınık halde gözlenmiştir. Hemen hemen tüm örneklerden tespit edilen kütinit varlığı depolanma ortamındaki su seviyesinin yüksek olduğunu ve turba oluşumunun limnik ortamda su altı koşullarında gerçekleştiğini göstermektedir. Rezinit varlığı ise orman bataklığına işaret etmektedir. İntertinit grubu maserallerinden inertodetrinit, makrinit, füzinit ve funginit hemen hemen her örnekte belirlenmiştir. İntertinitlerin varlığı turba oluşumu esnasında bitkisel malzemenin oksidasyona maruz kaldığını göstermektedir. Makrinit ve füzinit gibi inertinit maseralleri bataklıklarda ortaya çıkan oksidasyon koşullarının artışı ve azalan su seviyesini göstermektedir. Funginitler killi ortamlarda daha bol bulunurlar ve zaman zaman aerobik koşulların varlığına işaret ederler. Çalışma alanına bakıldığında derinliğe bağlı olarak örneklerin bazı kısımları limnik ortamı (su seviyesinin azaldığı), bazı kısımlar ise bataklık ortamını (su seviyesinin arttığı) ortamı belirtmektedir. Ayrıca örneklerde kil minerallerince aşırı zenginleşme olduğu belirgin bir şekilde ortaya konmaktadır ve bu da ortama sık sık sellenmeler veya diğer etkilerle kolloidal ve daha iri mineral tanelerinden geldiklerini göstermektedir.

GI-TPI diyagramında Tunçbilek kömürler çoğunlukla limnik-limnotelmatic bataklık zonlarında yer almaktadır. Tunçbilek kömürlerinin GI değerleri 6-38,5 arasında değişmektedir. Bu değerler havzadaki kömürlerin su altı ortamında, oksitlenmeye maruz kalmadan oluştuklarını belirtmektedir. Diesel diyagramına bakıldığında limnik karakterdeki kısımlar ot saz vb. yıllık bitkilerin ağırlığının bulunduğu, bataklık ortamında ise odunsu bitkilerin gelişmekte olduğu görülmektedir. Bataklık ortamında kömürleşmenin iyi bir jelleşme sonucu oluştuğu ve organik maddelerin ayrışma ve jelleşme özelliklerinin iyi geliştiği diyagramlardan anlaşılmaktadır. Ayrıca bazı örneklerde hem mineral madde çok fazla hem de yer altı suyu fazla gözlenmektedir. Bunun sebebi olarak havzaya taşınan malzemenin ciddi anlamda fazla olduğu söylenebilir. Bu durum havzaya bir sellenme döneminde (taşkın bataklık) muhtemelen killi, siltli malzeme taşındığı bir ortam olduğunu ifade etmektedir. Maseral analizinde bol miktarda rastlanan framboidal pirit varlığı da alkalın koşullara işaret etmektedir. Farklı seviyelerde gözlemlenen GI değerlerindeki değişim, su seviyesinin zaman zaman artıp, zaman zaman azaldığını belirtmektedir. 0,11-0,32 arasında değerler sunan TPI değerleri farklı seviyelerde değişim göstermemektedir. Düşük TPI, ortamda otsu bitkilerin egemen olduğunu, hümfikasyon nedeniyle bitki dokularının korunamamasını veya düşük çökme oranını, yüksek bitkileri ortama taşımadaki azalmayı gösterebilmektedir. Gelinit maseralinin fazlalığı da organik maddenin dokusunun bozulduğuna işaret etmektedir. İnceleme alanındaki maseral analizi sonuçları bu durumu desteklemektedir. İnceleme alanındaki kömürlerinin GWI değerleri 3,23-32,6 arasında değişmekte olup çoğunlukla 10'un altında değerler sunduğu belirlenmiştir. VI değerleri ise 0,23-1,44 arasında değişmektedir. GWI-VI diyagramında kömürlerin çökelim ortamının çoğunlukla limnik olmak üzere taşkın bataklık ve bataklık zonlarında olduğu belirlenmiştir. GWI ve VI değerleri kömür seviyeleri arasında farklılıklar göstermektedir. GWI değerlerinin yükseldiği düzeylerde inorganik madde göreceli olarak azalmıştır. Bu durumun su seviyesinin yükselmesiyle ilgili olduğu söylenebilir. Ayrıca ortam yorumunda kullanılan kükürt içeriğinin yüksek olması nötrden alkali

ortama geiŖe iŖaret etmektedir. Maseral analizinde yaygın olarak görülen gelinitler ve fromboidal piritler alkali koŖulları yansıtır. Dolayısıyla pH düzeyi hem bitkilerin bakteriyel bozunmasını, hem de sülfat indirgenmesini göstermektedir. Bu nedenle kömürlerin kükürt içeriği ile GI arasında pozitif bir korelasyon görülmektedir.

Kömür petrografisi alıŖmaları sonucunda elde edilen hüminit yansıma değerleri  $R_o$  % 0,48-0,60 arasında deęiŖmekte olup olgunlaŖmamıŖ-erken olgun organik maddeye iŖaret etmektedir. Buda Rock-Eval piroliz analizi sonuçlarını desteklemektedir. Tunçbilek sahasından alınan örneklere ait hüminit yansıma değerlerine göre kömürlerin kmrleŖme derecesi, ASTM sınıflamasına göre “Alt bitümlü Kömür” oldukları belirlenmiŖtir.



## 6. KAYNAKLAR

- Altunsoy, M. ve Özçelik, O. 1993. Organik Fasiyesler. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 43: 34-39.
- Ahmed, S. M. and Whalley, B.J.P. 1978. In Analytical Methods for Coal and Coal Products, Vol. 1, C. Karr, Jr. (Ed.). Academic Press, San Diego, CA, Chap. 8.
- Akdeniz, N. ve Konak. 1979a. Simav, Emet, Tavşanlı, Dursunbey, Demirci yörelerinin jeolojisi. MTA Raporu, No. 6547 (Yayınlanmamış), Ankara.
- Akdeniz, N. ve Konak. 1979b. Menderes masifinin Simav dolayındaki kaya birimleri ve metabazik, metault-rabazik kayaların konumu. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 22: 175-184.
- Akkuş, M.F. 1962. Kütahya Gediz arasındaki sahanın jeolojisi. *Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi*, 58: 21-31.
- Andrejko, M. R. and Cohen, A. D. 1984. Contribution of ash and silica from the majör peat-producing plants in the Okefenokee swampmarsh complex. In The Okefenokee Swamp: Its Natural History, Geology and Geochemistry, Wetland Surveys, Los Alamos, pp. 575-592.
- Anonim, 2012. Kömür Sektör Raporu (Linyit). Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Stratejik Planlama Koordinasyon Birimi, s. 34, Ankara.
- Anonim, 1: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> [Son erişim tarihi: 25.12.2019].
- Arslan, R. 1979. Kütahya-Tunçbilek sahasındaki sondaj örneklerinin palinoloji incelemesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 22: 135-140.
- Attar, A. 1979. In Analytical Methods for Coal and Coal Products, Vol. 3, C. Karr, Jr. (Ed.). Academic Press, San Diego, CA, Chap. 56.
- Baş, H. 1979. Petrologisch und geochemische Untersuchungen an subrezenten Vulkaniten der nordanatolischen Störungzone (Abschnitt, Erzincan-Niksar), Doktora tezi, Hamburg Üniversitesi, 116 s (Yayınlanmamış).
- Baş, H. 1983. Domaniç Tavşanlı-Gediz-Kütahya yörelerinin Tersiyer jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi, MTA Rapor No: 7293 (Yayınlanmamış).
- Baş, H. 1986. Domaniç-Tavşanlı-Gediz-Kütahya yörelerinin Tersiyer jeolojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 27: 11-18.
- Baş, H. 1987. Domaniç-Tavşanlı-Gediz-Kütahya yörelerinin Tersiyer jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi, MTA Derleme No: 7293.
- Akkiraz, M.S., Akgün, F., Utescher, T., Wilde, W., Bruch, A.A., Mosbrugger, V. 2012. Palaeoflora and climate of lignitebearing lower-middle miocene sediments in the Seyitömer and Tunçbilek subbasins. Kütahya province, Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 21: 213-235.
- Akkuş, M.F. 1962. Kütahya-Gediz arasındaki sahanın jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 58: 21-30.
- Arık, F. 2002. Gümüşköy (Kütahya) Gümüş Yatağının Jeokimyasal Modellemesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.

- ASTM (American Society For Testing And Materials). 1983. Annual book of ASTM standards, Gaseous Fuels; Coal and Coke (D- 388, D-2798- 79, D-3172-73, D-2799-72, D-3174-82, D-3175-82): 1916 Race Street, Philadelphia, PA.
- Beder, H.A. 1996. Seyitömer kömür havzasının jeolojisi ve rezerv hesabı. Dumlupınar Üniversitesi, Yüksek lisans Tezi, Kütahya.
- Benson, S.A. and Holm, P.L. 1993. Comparison of inorganics in three low-rank coals. *Industrial and engineering chemistry product research and development*. 24: 145-149.
- Bouska, V. 1981. Geochemistry of coal. Elsevier, Amsterdam, 284 p.
- Bozcu, M., Akgün, F., Gürdal, G., Bozcu, A., Kapan Yeşilyurt, S. ve Karaca, Ö. 2008. Çan-Yenice-Bayramiç (Çanakkale) Linyit Havzasının sedimentolojik, petrolojik, jeokimyasal ve palinolojik incelenmesi. TÜBİTAK - Proje No: 105Y114.259, 236 s.
- BP (British Petroleum). 2015. BP Statistical review of world energy, June 11, 48 p.
- Buzkan, İ. 1985. Kömür Petrografisi Kullanım Teknikleri, H.O. Zong. Müh. Fakültesi Seminerler Dizisi (yayımlanmamış), Zonguldak.
- Carpenter, A.M. 1988. Coal Classification, IEACR/12, IEA Coal Research London.
- Chakrabarti, J. N. 1978a. In Analytical Methods for Coal and Coal Products, Vol. 1, C. Karr, Jr. (Ed.). Academic Press, San Diego, CA, Chap. 9.
- Calder, J., Gibling, M. and Mukhopadhyay, P. 1991. Peat formation in a Westphalian B piedmont setting, Cumberland Basin, Nova Scotia, Nova Scotia: implications for the maceral-based interpretation of rheotrophic and raised paleomires. *Bulletin de la Societe Geologique de France* 162 (2): 283-298.
- Çelik, Y. and Karayiğit, A.I. 2004a. Geological setting and quality of the lignite seams in the Seyitömer Basin, Kutahya, Turkey. *Geologica Belgica*, 7(3-4): 259-265.
- Çelik, Y. and Karayiğit, A.I. 2004b. Chemical properties and petrographic composition of the lacustrine Seyitomer lignites (Miocene), Kutahya, Turkey., *Energy Sources*, 26: 339-352.
- Çit, İ. 2007. Polimerlerin kömür pirolizine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Delibaş O., Parlak O., Pekdemir F. ve Baran C. 2012. Pınarbaşı Granitoidi (Gediz-Kütahya) Mo-Cu, Pb-Zn ve Sb-Ag cevherleşmeleri: Polimetallik cevherleşmelere Orta-Batı Anadolu'dan bir örnek. *Yerbilimleri*, 33(2): 151-176.
- Demaison, G. and Huizinga, B.J. 1994. Genetic Calsification of Petroleum Systems Using Tree Factors: Migration and Entrapment, In L.B. Magoon and W.G. Dow (Eds). The Petroleum Systems, 60: 73-80.
- Demirbilek, M. 2005. Ilıca-Sobran (Kütahya) arasının jeolojisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Dikmen, D. 2005. Seyitömer (Kütahya) yöresindeki kömür-bitümlü marn geçişinin organik fasiyes özellikleri. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Diessel, C.F.K. 1982. An appraisal of coal facies based on maceral characteristics. *Australian Coal Geology*, 4: 474-483.
- Diessel, C.F.K. 1986. On the correlation between coal facies and depositional environments. Proceeding of 20th Symposium of Department of Geology, pp. 19- 22, University Newcastle, NSW.
- Diessel, C.F.K. 1992. Coal-bearing depositional systems. Springer Verlag, Berlin. 721 pp.
- DOE, 2003. Energy Security Technology. National Energy Technology Laboratory, U.S. Department of Energy [Son erişim tarihi: 29.12.2019].
- 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 elementarie, Etude microscope et diffraction electroniques. *Revue Institut Francais Du Pétrole* 27: 865-884.
- Durand, B. and Oudin, J.L. 1983. Maturity related biomarker and stable isotope variations and their application to oil/source rock correlation in the Mahakam Delta, Kalimantan. In: *Advances in Organic Geochemistry*, John Wiley&Sons, New York, pp. 156-63.
- IEA (International Energy Agency). 2016. Coal Information 2016, Paris.
- Espitalie, J., Madec, M. and Tissot, B. 1977. Source Rock Characterization, 9th Offshore Technology Conference, pp. 439-44.
- Espitalie, J., Derco, G. and Marquis, F. 1985. La Pyrolyse Rock-Eval Et Ses Applications (Deuxième Partie), *Revue Institut Francais Du Pétrole*,40: 755-784.
- ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı). 2017. Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü 2017.
- Finkelman, R.B. 1982. The origin, occurrence, and the distribution of the inorganic constituents in low-rank coals. In: *Low-rank Coal Basic Coal Science Workshop*, Schobert, H. H. (Ed.). Washington, D.C. US Dept. of Energy, pp. 70-89.
- Finkelman, R.B. 1993. Trace and minor elements in coal. *Organic Geochemistry*. (Ed.) Engel, M.H., Macko, S.A. New York: Plenum.
- Flores, D. 2002. Organic facies and depositional palaeoenvironment of lignites from Rio Maior Basin (Portugal). *International Journal of Coal Geology*, 48 (3-4): 181-195.
- Fowler, M.G., Gentzis, T., Goodarzi, F. and Foscolos, A.E. 1991. The petroleum potential of some Tertiary lignites from northern Greece as determined using pyrolysis and organic petrological techniques. *Organic Geochemistry* 17: 805-826.
- Goodarzi, F. 1985. Organic petrology of Hat Creek coal deposit. No 1, British Columbia. *International Journal of Coal Geology*, 5: 377-396.
- Goodarzi, F. 1986. Optical properties of oxidized resinile. *Fuel*, 66: 260-265.
- Gorbaty, M.L., Kelemen, S.R., George, G.N. and Kwiatek, P.J. 1992. *Fuel*, 71: 1255.

- Frigge, J. 1984. Erdoel Kohle Erdgas Petrochemistry, 37: 267.
- Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Öz, D. ve Tuncalı, E., 1993. Türkiye Linyit Envanteri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Yayını, Ankara 356s.
- Göncüoğlu, M.C., Özcan, A., Turhan, N. and Işık, A. 1992. Stratigraphy of Kütahya Region. Guide Book: A Geotraverse Across Suture Zones In NW Anatolia, 3–11, MTA Publication, Ankara.
- Göncüoğlu, M.C. 2007. Kütahya-Bolkardağ Kuşağının Jeolojisi. Menderes Masifi Kollokyumu. Proceedings-Bildiriler Kitabı, s: 39-43.
- 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.
- Gluskoter, H. J., Shimp, N. F. and Ruch, R. R. 1981. In Chemistry of Coal Utilization, 2nd Suppl. Vol., M. A. Elliott (Ed.). Wiley, Hoboken, NJ, Chap. 7.
- Gluskoter, H.J. Ruch, R.R. Miller, W.G. Frigge, R.A. Dreher, G.B. and Kuhn, J.K. 1981. Trace elements in coal: occurrence and distribution. Illinois, 11. State Geol. Surv. Circ. 499,154.
- GLİ, 1996. Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi, T.K.İ. Matbaası, Tavşanlı.
- Hagemann, H.W. and Wolf, M. 1989. Paleoenvironments of Lacustrine coals-the occurrence of algae in humic coals, In: P.C. Lyons and B. Alpern (Eds.), Peat and Coal: Origin, Facies, and Depositional Models. *International Journal of Coal Geology*, 12: 511 –522.
- Hayta, U. 2010. Linyit – Bitümlü Şist Karışımlarının Pirolyzi, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Hoş Çebi, F. and Korkmaz, S. 2011. The environmentally significant element contents of Eocene coals in North Anatolia, Turkey. *Energy Sources Part A*, 33: 1532-1545.
- Hoş Çebi, F. 2007. Kuzey Anadolu'daki Eosen yaşlı linyit kömürlerinin jeokimyasal özellikleri ve çökeltme ortamları, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 175 s.
- Hubard, B. 1950. Coal as a possible petroleum source rock: *AAPG Bulletin* 34(12): 2347-2359.
- Huizinga, B.J., Aizenshtat, Z.A. and Peters, K.E. 1988. Programmed Pyrolysis-Gas Chromatography Of Artificially Matured Green River Kerogen. *Journal of Energy and Fuel*, 74: 74-81.
- Hunt, J.M. 1995. Petroleum geochemistry and geology. W.H. Freeman and Company, NewYork, 743 p.
- ICCP (International Committee for Coal Petrology). 1963. International Handbook of Coal Petrography (second ed.), CNRS. Academy of Sciences of the USSR, Paris, Moscow.

- ICCP (International Committee for Coal Petrology), 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, 80: 459-471.
- Jordanidis, A. and Georgakopoulos, A. 2003. Pliocene lignites from Apofysis mine, Amynteo basin, Northwestern Greece: petrographical characteristics and depositional environment. *International Journal of Coal Geology*, 54: 57-68.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, 77(5): 349-358.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, 80: 459-471.
- Jackson, K.S., Hawkins, P.J. and Bennett, A.J.R. 1985. Regional facies and geochemical evolution of Southern Denison Trough. *APEA Journal*, 20: 143-458.
- Jarvie, D.M. 1991. Total Organic Carbon (TOC) analysis: In: Source and migration processes and evaluation techniques, Merrill, R.K. (Ed.), Tulsa, Treatise of Petroleum Geology. *AAPG Bulletin*, 113-118.
- Jones, R. and Demaison, G.J. 1982. Organic Facies - stratigraphic concepts and exploration tool. Proceedings of the Second ASCOPE Conference and Exhibition, Saldivar-Sali, A. (Ed.), Manila, Asean Council on Petroleum, pp. 51-68.
- Jones, R.W. 1987. Organic Facies. In: Advances in Petroleum Geochemistry, Brooks, J. And Welte, D. (eds.), Academic Press, London, 2:1-90.
- Jonathan, D., Letran, K., Oudin, S.L. and Vander B.M. 1976. Les methodes d'physical-chemique dela matiere organique. *Bull. Centre Reach. Pau SNPA*, pp. 39-108.
- Kalkreuth, W.D., Kotis, T., Papanicolaou, C. and Kokkinakis, P. 1991. The geology and coal petrology of a Miocene lignite profile at the Meliadi Mine, Katerini, Greece. *International Journal of Coal Geology*, 17: 51-67.
- Kara Gülbay, R. and Korkmaz, S. 2009. Trace element geochemistry of the Jurassic Coals in the Feke and Kozan (Adana) areas, Eastern Taurides, Turkey. *Energy Sources, Part A*, 31: 1315-1328.
- Kara Gülbay, R. 2004. Kuzeybatı Anadolu'daki bitümlü şeyllerin organik jeokimyasal özellikleri, çökelme ortamları ve hidrokarbon potansiyeli. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kalafatçioğlu, A. 1964. Balıkesir Kütahya arasındaki bölgenin jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 9(1-2): 46-62.
- Kalkreuth, W., Kotis, T., Papanicolaou, C. and Kokkinakis, P. 1991. The Geology and coal petrology of Miocene lignite profile at Meliadi Mine, Katerini, Greece. *International Journal of Coal Geology*, 17: 51-67.
- Karayiğit, A.İ. 1989. Zonguldak ve Amasra kömürlerinin petrografik özellikleri, Hacettepe Üniversitesi Doktora Tezi, Ankara, 315 s
- Karayiğit, A.İ. 1990. Zonguldak kömürlerinin petrolojik özellikleri. Türkiye 7. Kömür Kongresi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 261-278.



- Karayigit, A.I. 1998. Thermal effects of a basaltic intrusion on the Soma lignite bed in west Turkey. *Energy Sources*, 20(1): 55-66.
- Karayigit, A.I., Akgün, F., Gayer, R.A. and Temel, A. 1999. Quality, palynology, and palaeo environmental interpretation of the Ilgin Lignite, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 38 (3-4): 219- 236.
- Karayigit, A.I. and Celik, Y. 2003. Mineral matter and trace elements in Miocene Coals of the Tunçbilek-Domaniç Basin, Kutahya, Turkey. *Energy Sources*, 25(4): 339-355.
- Kavak, O. ve Toprak, S. 2012. Karlıova Halifan (Bingöl) Kömürlerinin Organik Jeokimyasal ve Petrografik Özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, 144: 23-50.
- Kaya O. 1972. Tavşanlı yöresi “Ofiyolit” sorununun ana çizgileri. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 15(1): 26-108.
- Ketin, İ. 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 66: 20-34.
- Koçyiğit, A., Ünay, E. and Saraç, G. 2000. Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west Central Anatolia and the Isparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon Graben, Turkey, E. Bozkurt, J.A. Winchester, J.D.A. Piper, (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, Geological Society, London, Special Publications, 173: 405-421.
- Köksay, M. 1994. Origin of coal, Coal, Orhan Kural (Ed.), İstanbul Technical University, Turkey, 39-45.
- Kırdım, Ö. 2006. Seyitömer (Kütahya-Türkiye) Termik Santralında Yanan Kömürlerin Ve Oluşan Katı Atıkların Mineralojisi ve Petrografisi, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Kural, O. 1998. Kömür özellikleri, Teknolojisi ve çevre ilişkileri, 785 s.
- 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, R.F. 1959. Seyitömer-Kütahya Neojen sahasında jeoloji ve linyit yatakları ile ilgili olarak yapılan etüdlere hakkında rapor, MTA Rapor No: 2985 (Yayınlanmamış).
- Maucher, A. 1936. Seyitömer linyit havzasının petrografik raporu, MTA Rapor No:2, 108 (Yayınlanmamış)
- Mavridou, E., Antoniadis, P., Khanaqa, P., Riegel, W. and Gentizis, T. 2003. Paleoenvironmental Interpretation of the Amynteon-Ptolemaida lignite deposit in northern Greece based on its petrographic composition. *International Journal of Coal Geology*, 56: 253-268.
- Meriçboyu, A., Beker, Ü. ve Küçükbayrak, S. 1998. Kömürün Kullanımını Belirleyen Önemli Teknolojik Özellikleri, 149-163.
- Meyers, R.A. 1982. *Coal Structure*, Academic Pres, Inc. New York

- Meyers, P.A. and Lallier, V.E. 1999. Lacustrine sediment organic matter records of lake Quaternary Paleoclimates. *Journal of Paleolimnology*, 21: 345-372.
- Merrill, R.K. 1991. Preface to this volume, in Merrill, R.K. (ed.), Source rock and migration processes and evaluation techniques. American Association of Petroleum Geologists, Treatise of petroleum geology, Handbook of petroleum geology, pp. 13-17.
- Moore, T.A., Scheerer, J.C. and Miller, S.L. 1996. Fungal origin of oxidised plant material in the Palangkaraya peat deposit, Laimantan Tenah, Indonesia: implications for 'inertinite' formation in coal. *International Journal of Coal Geology*, 30: 1-23.
- MTA, 2010. Türkiye Linyit Envanteri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Envanter Serisi, 2010, Ankara.
- Mukhopadhyay, P.K. 1986. Petrography of selected Wilcox and Jackson Group lignites from the Tertiary of Texas. *Geology of Gulf Coast Lignites, Field Trip Guide Book*, Geological Society of America, Boulder, CO, 140 p.
- Mukhopadhyay, P.K., Wade, J.A. and Kruge, M.A. 1995. Organic facies and maturation of Jurassic/Cretaceous rocks and possible oil-source rock correlation based on pyrolysis of asphaltenes, Scotian basin, Canada. *Organic Geochemistry*, 22 (1): 85-104.
- Nicholls, G.D. 1968. The geochemistry of coal-bearing strata. In: *Coal and Coal Bearing Strata*, Murchison, D.G., and Westoll, T. S. (Eds.). Edinburgh: Oliver and Boyd, pp. 269-307.
- Ocakoğlu, F., Şahin, N. ve Pulat, O. 2013. Zonguldak Taşkömür Havzası Arazi Gezisi Notları, Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 3-4 s.
- Ocakoğlu, F. 2015. Kömür Jeolojisi Ders Notları, Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 17-18 s.
- Okay, A.I. 1989. Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey, A.M.C. Şengör, (Ed.), *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*, Kluwer Academic Publications, Dordrecht, 109-115.
- Okay, A.I., Satir, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R. and Akyüz, S., 1996. Paleo- and Neo-Tethyan events in northwest Turkey: Geological and geochronological constraints, *Tectonics of Asia*, A. Yin, M. Harrison (Eds.), Cambridge University Press, 420-441.
- Okay, A.I. and Tüysüz, O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: *The Mediterranean Basin: Tertiary extension within the Alpine orogen*, A. Mascle, L. Jolivet (Eds.), Special Publication, Geological Society, London, 156.
- Okay, A.I. 2007. Tavşanlı Zonu-Torosların dalma-batmaya uğramış kuzey kenarı, T.M.M.O.B., Jeoloji Mühendisleri Odası, İzmir, 34-38, 05-10 Kasım.
- Orem, W.H. and Finkelman, R.B. 2003. Coal formation and geochemistry. In: *Treatise on geochemistry*. Holland H.D. and Turekian K.K. (Eds.), Elsevier, Amsterdam, 7: 191-222.

- Özburan, M. 2009. Kütahya ve çevresinin Neotektonik incelemesi. Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Özburan, M. 2016. Tavşanlı (Kütahya) Havzası'nın Neotektonik İncelemesi. Dumlupınar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu (2014/14), Yayımlanmamış.
- Özcan, A., Göncüoğlu, C.M., Turhan, N., Uysal, S., Şentürk, K., 1988. Late Paleozoic evolution of the Kütahya–Bolkardağ Belt. *METU Journal of Pure and Applied Sciences*, 21: 211– 220.
- Peters, K.E. 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rocks using programmed pyrolysis. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, 70: 318-329.
- Peters, K.E. and Moldowan, J.M. 1993. The Biomarker Guide Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Prentice-Hall, New Jersey, 363 p.
- Peters, K.E. and M.R. Cassa. 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, p. 93-120.
- Petersen, H.I. 1993. Petrographical facies analysis of Lower and Middle Jurassic coal seams on the island of Bornholm, Denmark. *International Journal of Coal Geology*, 22: 189-216.
- Petersen, H.I. and Nielsen, L.H. 1995. Controls on peat accumulation and depositional environments of a coal-bearing coastal plain succession of a pull-apart basin; a petrographic, geochemical and sedimentological study, Lower Jurassic, Denmark. *International Journal of Coal Geology*, 27: 99-129.
- Pickel, W., Kus, J., Flores, D., Kalaitzidis, S., Christanis, K., Cardott, B.J., Miszkennan, M., Rodrigues, S., Hentschel, A., Hamor-Vido M., Crosdale, P., Wagner N. ICCP. 2017. Classification of liptinite-ICCP system 1994. *International Journal of Coal Geology*, 169:40-61.
- Powell, T.G., Foscolos, A.E., Gunther, P.R. and Snowdon L.R. 1978. Diagenesis of organic matter and fine clay minerals: a comparative study. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 42: 1181-1197
- Raymond, R., Jr. 1982. In Coal and Coal Products: Analytical Characterization Techniques, E. L. Fuller, Jr. (Ed.). Symposium Series 205. American Chemical Society.
- Ruiz S. I. and Crelling, J.C. 2008. Applied Coal Petrology. The Role of Petrology in Coal Utilization. Elsevier, Amsterdam, 388 p. Washington, DC, Chap. 9.
- Sarıyıldız M. ve Emre T. 1986. Seyitömer (Kütahya) Kuzeybatısı Kömürlü Neojen Oluşuklarının Jeolojisi Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Bölümü, İzmir.
- Scott, A.C. 2002. Coal petrology and the origin of coal macerals: a way ahead? *International Journal of Coal Geology*. 50, 119–134.

- Scott, A.C. and Glasspool, I.J. 2007. Observations and experiments on the origin and formation of inertinite group macerals. *International Journal of Coal Geology*, 70:53–66.
- Song, D., Qin, Y., Zhang, J., Wang, W. and Zheng, C. 2007. Concentration and distribution of trace elements in some coals from Northern China. *International Journal of Coal Geology*, 69: 179-191.
- Soo's, L. 1964. Kohlen petrographische und Kohlen chemische Untersuchungen des Melano resinits. *Acta Geol. Hung.*, 8: 3-18.
- Stach E., Mackowsky, M.-TH., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D. and Teichmüller, R. 1982. *Stach's Textbook of Coal Petrology*. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 535 p.
- Speight, J. G. 1983. *The chemistry and technology of coal*, first ed., Marcel Dekker, INC., New York (USA).
- Speight, J. G. 2005. *Handbook of Coal Analysis*. In: *Ultimate Analysis*. John Wiley and Sons, Inc. pp. 67-83.
- Swaine, D.J. 1990. *Trace Elements in Coal*. Butterworth, London, 278 p.
- Swaine, D.J. 1995. The contents and some related aspects of trace elements in coals. In: *Environmental Aspects of Trace Elements in Coal*. Swaine, D.J., Goodarzi, F. (Eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 5-23.
- Sykorova, I., Pickel, W., Christanis, K., Wolf, M. Taylor, G.H. and Flores, D. 2005. Classification of huminite - ICCP System 1994. *International Journal of Coal Geology*, 62: 85- 106.
- Şengör, C. ve Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *Tectophysics*, 75: 181-241.
- Şengüler, İ. 1994. Bitümlü şeyl, *Türkiye Enerji Bülteni*, 1/1, 21-26, Ankara.
- Şengüler, İ. 1999. Seyitömer (Kütahya) yöresi petrolü şeyllerin ekonomik kullanım olanaklarının araştırılması. Doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 190s.
- Şengüler, İ., Sonel, N. ve Şener, M. 1998. Seyitömer (Kütahya) bitümlü marnların termik santralde linyit ile birlikte değerlendirilmesi. *Türkiye 11. Kömür Kongresi Kitabı*, Bartın-Amasra.
- Taşçı, S. 1998. Linyit ve ayçiçeği yağının birlikte pirolizi. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Taylor, G.H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R. and Robert, P. 1998. *Organic Petrology*. Bornträger, Berlin, Stuttgart, 704 p.
- Teichmüller, M. and Teichmüller, R. 1983. The geological basis of coal formation, In: Stach, E., et al. (Ed.), *Stach's Textbook of Coal Petrology*, 3 rd. Borntraeger, Berlin, pp. 5-86.
- Tissot, B. and Welte, D.H. 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag, Berlin, pp 699.

- Toprak, S. 1996. Alpagut-Dodurga (Osmancık-Çorum) bölgesi çevresindeki kömürlerin oluşum ortamları ve özelliklerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 164 s.
- Toprak, S. 2009. Petrographic properties of major coal seams in Turkey and their formation. *International Journal of Coal Geology*, 78: 263-275.
- Uyar, O. and Çunkaş M., 2017. State Space Modelling and Simulation For Pedelec, 6th International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT'Riga), September 12-15, 2017, Riga, Latvia.
- Uzun, D. 2002. Linyit özellikleri, piroliz ve yakma koşullarının kükürtlü bileşiklerin davranışına etkisi. Doktora tezi. Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Ünalın, G. 2010. Kömür Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Yayınları, Ankara, 595 s.
- Van Krevelen, D.W. 1961. Coal: Typology-chemistry-physics-constitution. Elsevier, Amsterdam, 515 p.
- Van Krevelen, D.W. 1993. Coal: Typology, chemistry, physics, constitution. Elsevier, Amsterdam, 979 p.
- Varma A.K. 1996. Facies control on the petrographic composition of inertic coals. *International Journal of Coal Geology*, 30: 327-335.
- Waples, D.W. 1985. Geochemistry in Petroleum Exploration, Boston, 232 p.
- Wüst, R., Hawke, M. and Bustin, M. 2001. Comparing macerals ratios from tropical peatlands with assumptions from coal studies do classic coal petrographic interpretation methods have to be disregarded. *International Journal of Coal Geology*, 48: 115-132.
- Yağmurlu, F. 1983. Kömür oluşumunun fiziksel ve kimyasal koşulları. *Yeryuvarı ve İnsan*, 8(2): 13-17.
- Yalçın, N. 1998. Rock-Eval piroliz analizinde ve verilerin yorumlanmasında karşılan bazı problemler. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri-A Yerbilimleri*, 15(1): 51-60.
- Yaman, S., Ersoy-Meriçboyu, A., Küçükbayrak, S. 1995. Chemical Coal Desulphurization Research in Turkey. *Fuel Science and Technology International*, 13(1):49-58.
- Yaman, S. and Küçükbayrak, S. 1997. Sulfur Removal from Lignite by Oxydesulfurization Using Fly Ash. *Fuel*, 76(1): pp.73-77.
- Yaman, S., Çelik, M.S. ve Küçükbayrak, S. 1998. Kömürün Kükürdünün Giderilmesi, Kömür, Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, 337- 352, Kural, O., Özgün O, İstanbul, Türkiye.
- Yanık, G. 1997. Seyitömer (Kütahya) kömür havzası kollarının jeolojisi, mineralojisi ve seramik endüstrisindeki kullanım olanakları. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Yavuz, N., Ediger, V.Ş. and Erler, A. 1995. Palynology, organic petrography and geochemistry of the Lower-Middle Miocene coals of the Tavşanlı Basin (Kütahya). *Yerbilimleri*, 17: 87-100, Ankara.

Yılmaz, Ş. 1992. Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Ziegler, J. 1936. Kütahya linyit havzası (Seyitömer) kenar mıntıkası jeolojik tetkikati hakkında rapor. MTA Raporu (Yayımlanmamış).



## ÖZGEÇMİŞ

**CEREN KAZANCI**

**cerenkazanci07@gmail.com**



### ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2017- 2020	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, Antalya
Lisans 2012-2016	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya