

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERKEN MİYOSEN YAŞLI ÖMERLER (TUNÇBİLEK-KÜTAHYA)
LİNYİTLERİNİN TOPLAM ORGANİK MADDE İÇERİĞİ, TİPİ VE
HİDROKARBON TÜRETME POTANSİYELİ

YÜKSEK LİSANS

Yeliz KÖSE

OCAK-2024
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERKEN MİYOSEN YAŞLI ÖMERLER (TUNÇBİLEK-KÜTAHYA)
LİNYİTLERİNİN TOPLAM ORGANİK MADDE İÇERİĞİ, TİPİ VE
HİDROKARBON TÜRETME POTANSİYELİ**

**TOTAL ORGANIC CARBON CONTENT, TYPE, AND HYDROCARBON
GENERATION POTENTIAL OF EARLY MIOCENE-AGE ÖMERLER
(TUNÇBİLEK-KÜTAHYA) LIGNITES**

YÜKSEK LİSANS

Yeliz KÖSE

**OCAK-2024
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERKEN MİYOSEN YAŞLI ÖMERLER (TUNÇBİLEK-KÜTAHYA)
LİNYİTLERİNİN TOPLAM ORGANİK MADDE İÇERİĞİ, TİPİ VE
HİDROKARBON TÜRETME POTANSİYELİ**

**TOTAL ORGANIC CARBON CONTENT, TYPE, AND HYDROCARBON
GENERATION POTENTIAL OF EARLY MIOCENE-AGE ÖMERLER
(TUNÇBİLEK-KÜTAHYA) LIGNITES**

YÜKSEK LİSANS

Yeliz KÖSE

Danışman: Prof. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER

**OCAK-2024
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Erken Miyosen Yaşlı Ömerler (Tunçbilek-Kütahya) Linyitlerinin Toplam Organik Madde İçeriği, Tipi ve Hidrokarbon Türetme Potansiyeli**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi’nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

18/01/2024

.....
Yeliz KÖSE

TEŞEKKÜR

Bu tez Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Ömerler (Tunçbilek-Kütahya) sahası Miyosen yaşlı kömürlerin jeokimyasal özelliklerine bağlı çökelme ortamı ve şartlarının yorumlanmasını amaçlanan tez çalışmasını Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (GÜBAP) tarafından 22.EO511.07.01 ve 23.F5114.01.01 no'lu projeler ile; finansal destek sağlanmıştır. Katkılarından dolayı GÜBAP' a teşekkür ederim.

Tez danışman, değerli hocam Prof. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER'e tez için gerekli çalışmaların başlangıcından bitimine kadarki bütün aşamalarında gösterdiği yoğun destek ve yardımları için içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışma alanımdaki çalışmalar ve numune alımı esnasında bana yardım ve desteklerini esirgemeyen öncelikle Genel Müdürüm Ali SAĞIR'a, Semih CEYLAN'a ve eğitim sürecimde yanımda olan ve desteğini esirgemeyen çok değerli aileme teşekkür ederim.

Yeliz KÖSE
GÜMÜŞHANE – 2024

ÖZET

Tez kapsamında Ömerler (Tunçbilek-Kütahya) sahası İğdekuzu yeraltı ocağına ait Miyosen yaşlı kömürlerin organik jeokimyasal özellikleri, kömürleşme derecesi, çökelme ortam ve paleo-iklim koşulları yaklaşık analiz, piroliz/TOK ve gaz kromatografi (GC) analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

İğdekuzu yeraltı ocağına ait kömürlerin havada kuru bazda, üst ısı değerleri 6027–6360 (ortalama 6194) ve alt ısı değerleri 5798 – 6117 (ortalama 5958) arasında değişmektedir. Kömürlerin taban, orta ve tavan kesiminin toplam organik karbon (TOK) değerleri sırasıyla % 61.49 - % 87.55, % 79.55 - % 90.98 ve %57.93 - %97.14 arasında değişmekte olup, petrol açısından çok iyi kaynak kaya potansiyeli taşımaktadır. Taban, orta ve tavan kömürlerinin hidrojen indeksi (HI) değerleri sırasıyla 197 – 274 mgHK/gTOK, 176 – 215 mgHK/gTOK ve 170 – 206 mgHK/gTOK arasında değişmektedir. Örneklerin tamamı çok düşük oksijen indeksi (OI), S_3 ve çok yüksek S_2 değerleri ve genel olarak Tip II ve Tip II-III kerojen içermektedir. Taban kömürlerinin maksimum sıcaklık (T_{max}) değerleri 435 – 441 °C, orta kısmın T_{max} değerleri 439 – 443 °C ve Tavan kısmın T_{max} değerleri 436 – 442 °C arasında değişerek, ısısal olarak olgunluğa işaret etmektedir.

Örneklerin GC analizinde uzun zincirli n-alkanların kısa zincirli n-alkanlara göre baskın olduğu unimodal dağılım dikkat çekmektedir. Tavan, orta ve taban örneklerinin Pr/Ph oranları sırasıyla 2.67, 4.71 ve 2.41, Karbon varlık indeksi (CPI) değerleri sırasıyla 1.28, 1.47 ve 1.44 ve Karasal/sucul organik madde oran (TAR) değerleri sırasıyla 36, 34, 16.80 ve 8.62 olarak belirlenmiştir. İncelenen kömürler baskın olarak karasal organik madde içeren, oksik- suboksik ortam olan paralik bir havzada, ılık ve nemli iklim koşullarında çökelmiştir ve hidrokarbon üretecek aşamaya gelmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Çökelme ortamı, Gaz kromatografi, Kömür, Hidrokarbon, Miyosen, Ömerler (Tunçbilek), Paleo-iklim, TOK/Piroliz

SUMMARY

In the thesis, the organic geochemical properties, carbonization degree, depositional environment, and paleoclimatic conditions of Miocene aged coals belonging to the İğdeküzü underground mine in Ömerler (Tunçbilek-Kütahya) area were evaluated using approximate analysis, Pyrolysis/TOC and gas chromatography (GC) analyses.

The upper calorific values of the coals belonging to the İğdeküzü underground mine vary between 6027 - 6360 (average 6194) and the lower calorific values range between 5798 - 6117 (average 5958) on an air-dry basis. The total organic carbon (TOC) values of the bottom, middle, and top sections of the coals vary between 61.49% - 87.55%, 79.55% - 90.98% and 57.93% - 97.14%, respectively, and it has a very good source rock potential for oil. The hydrogen index (HI) values of bottom, middle, and top coals vary between 197 – 274 mgHK/gTOK, 176 – 215 mgHK/gTOK and 170 – 206 mgHK/gTOK, respectively. All samples contain very low oxygen index (OI), S₃ and very high S₂ values and generally contain Type II and Type II-III kerogen. The maximum temperature (T_{max}) values of the bottom coals vary between 435 – 441 °C, the T_{max} values of the middle part vary between 439 – 443 °C, and the T_{max} values of the upper part vary between 436 – 442 °C, indicating thermal maturity.

In the GC analysis of the samples, the unimodal distribution, in which long-chain n-alkanes are dominant over short-chain n-alkanes, draws attention. Pr/Ph ratios of the upper part, middle, and bottom samples have been determined as 2.67, 4.71, and 2.41, respectively, Carbon preference index (CPI) values have been determined as 1.28, 1.47, and 1.44, respectively, and Terrigenous/aquatic organic matter ratio (TAR) values have been determined as 36.34, 16.80, and 8.62, respectively. The coals examined were deposited in a paralic basin, which is an oxic-suboxic environment, containing predominantly terrestrial organic matter, in warm and humid climatic conditions, and have not yet reached the stage of producing hydrocarbons.

Keywords: Depositional environment, Gas chromatography, Coal, Hydrocarbon, Miocene, Ömerler (Tunçbilek), Paleo-climate, TOC/Priolis

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş ve Amaç	1
1.2. Coğrafi Bilgiler	1
1.2.1. Coğrafi Konum	1
1.2.2. Topoğrafya	2
1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü	2
1.2.4. Ekonomi	3
1.2.5. Ulaşım ve Yerleşim.....	3
1.3. Bölgesel Jeoloji	4
1.4. Önceki Çalışmalar	5
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	8
2.1. Stratigrafi.....	8
2.1.1. Miyosen Öncesi Temel Kayaçlar	9
2.1.1.1. Müzeyyen Metamorfizmaları	9
2.1.1.2. Üst Kretase Birimleri	11
2.1.1.3. Paleosen Serisi	11
2.1.2. Miyosen Serisi.....	11
2.1.2.1. Beke Formasyonu (TB(m1)).....	11
2.1.2.2. Tunçbilek Formasyonu (Tb(m1)).....	12
2.1.3. Miyosen Sonrası Kayaçlar	12
2.1.3.1. Pliosen Serisi.....	12
2.1.3.2. Kuvaternerler.....	13
2.2. İnceleme Alanın Jeolojisi.....	13

2.2.1. Giriş.....	13
2.3. Materyal ve Metot	19
2.3.1. Arazi Çalışması	19
2.3.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	20
2.3.2.1. Kısa (Yaklaşık=Kaba=Proksimate) Analiz	20
2.3.2.2. Rock-Eval ve Piroliz Analizleri	21
2.3.2.2.1. Organik Madde Miktar.....	27
2.3.2.2.2. Organik Madde Tipi.....	27
2.3.2.2.3. Organik Maddenin Olgunluğu	28
2.3.2.2.4. Hidrokarbon Potansiyeli	29
2.3.2.3. Gaz Kromatografi (GC) Analizi.....	29
3. BULGULAR.....	34
3.1.Giriş.....	34
3.2. Yaklaşık Analiz Sonuçları	34
3.3. Piroliz (Rock-Eval)/Toplam Organik Karbon (TOK) Analizleri Sonuçları	35
3.4. Moleküler Jeokimya Analiz Sonuçları.....	39
3.4.1. n-alkanlar ve izoprenoidler	39
4. İRDELEME	43
4.1. Organik Madde Miktarı ve Kaynak Kaya Potansiyeli	43
4.2. Organik Madde Tipi.....	45
4.3. Organik Madde Olgunluğu ve Kömürleşme Derecesi	49
4.4. Çökelme Ortamı ve Paleoiklim Şartları	51
4.5. Hidrokarbon Potansiyeli	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKÇA.....	57
ÖZGEÇMİŞ	63

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 1. Kaynak kaya hidrokarbon üretme potansiyeli tespiti için kullanılan S_1 sınır değerleri	23
Tablo 2. Kaynak kaya hidrokarbon üretme potansiyeli tespiti için kullanılan S_2 sınır değerleri	23
Tablo 3. T_{max} sınır değerlerine göre kaynak kaya olgunluk sınıflandırılması.....	24
Tablo 4. HI değerlerine göre organik madde türü, ürün eğilimi ve sedimanter ortam ...	25
Tablo 5. Potansiyel ürün ve kaynak potansiyeli arasındaki ilişki	25
Tablo 6. Üretim indeksi (PI) değer aralıklarında kaynak kaya olgunluk seviyeleri	26
Tablo 7. S_2/S_3 oranına bağlı kerojen tipi ve hidrokarbon türetme potansiyeli.....	26
Tablo 8. TOK içeriğine göre kaynak kaya olma potansiyeli	27
Tablo 9. Çeşitli parametrelere göre olgunlaşma seviyeleri.....	29
Tablo 10. Seçilen örneklerle ait gaz kromatografi analiz sonuçları.....	32
Tablo 11. Kömür örneklerinin yaklaşık (proksimate) analiz sonuçları.....	35
Tablo 12. Kömür örneklerinin tok ve piroliz analiz sonuçları ve hesaplanan parametreleri	37
Tablo 13. Seçilen örneklerin gaz kromatogramlarından (GC) hesaplanan parametreler	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası	4
Şekil 2. Kütahya-Tunçbilek sahası genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.....	10
Şekil 3. Örneklerin topladığı kömür stampı.....	14
Şekil 4. Taban kömür örneklerinin damar stampındaki konumları.....	15
Şekil 5. Taban kömürlerine ait TB-8 numaralı örneğin görseli	15
Şekil 6. Orta kısım kömür örneklerinin damar stampındaki konumları.....	16
Şekil 7. Orta kısım kömürlerine ait QR-5 numaralı örneği görseli.....	16
Şekil 8. Tavan kömür örneklerin damar stampındaki konumları.....	17
Şekil 9. Tavan kömürlerine ait TV-9 numaralı örneğin görseli	18
Şekil 10. Ömerler ve civarlarının jeolojik haritası	19
Şekil 11. İncelenen kömür örneklerinin ortalama tok oranlarını gösteren a) histogram ve b) pasta diyagramı	36
Şekil 12a. TV-9 nolu örneğin tüm özüt gaz kromatogramı	41
Şekil 13. İnceleme kömür örneklerinin TOK-S ₂ diyagramındaki dağılımı	44
Şekil 14. İncelenen kömür örneklerinin TOK-S ₁ +S ₂ diyagramındaki dağılımları	44
Şekil 15. İncelenen kömür örneklerinin TOK-S ₂ diyagramındaki dağılımları	45
Şekil 16. İncelenen kömür örneklerinin T _{max} -HI diyagramındaki dağılımları.....	46
Şekil 17. İncelenen kömür örneklerinin n-alkan dağılımlarını gösteren histogramlar a)TV-9, b) OR-5, c) TB-8.....	48
Şekil 18. TV-9, OR-5 ve TB-8 numaralı kömür örneklerinin Pr/n-C ₁₇ – Ph/n-C ₁₈ diyagramındaki dağılımları	49
Şekil 19. İncelenen kömür örneklerinin PI-T _{max} diyagramındaki dağılımları	50
Şekil 20. İncelenen örneklerin ruhr ve ASTM kömürleşme derecesi parametrelerine göre karşılaştırılması	51
Şekil 21. İncelenen kömürlerin çökelme ortam ve şartlarını gösteren şematik şekil	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACL	: n-Alkanların Ortalama Zincir Uzunluğu
BI	: Bitüm İndeksi
CPI	: Karbon Tercih İndeksi
GC	: Gaz Kromatografi
HI	: Hidrojen İndeksi
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
OI	: Oksijen İndeksi
OEP	: Tek-çift n-Alkan Baskınlığı
Paq	: Sucul bitkilerin karasal ortamda yaşayan bitkilere oranı
PC	: Piroliz Edilebilen Karbon
PI	: Üretim İndeksi
Ph	: Fitan
Pr	: Pristan
PP	: Potansiyel Ürün
Pwax	: Bitkilerden gelen mumsu hidrokarbonların toplam hidrokarbonlara oranı
QI	: Kalite indeksi
Qwood/grass	: Ağaçsı türlerin odunsu türlere oranı
Qwood/plant	: Ağaçsı türlerin çimensi bitkilere oranı
Qgrass/plant	: Otsu bitkilerin çimensi bitkilere oranı
RC	: Rezidüel (Kalıntı) Karbon
R ₀	: Vitrit Yansıması
S ₁	: Kayaç içerisindeki serbest halde bulunan hidrokarbon miktarı
S ₂	: Kerojenin ısısal parçalanması ile açığa çıkan hidrokarbon miktarı
S ₃	: Kerojenin ısısal parçalanması ile açığa çıkan CO ₂
S ₄	: S ₂ pikinin belirlenmesinden sonra arta kalan organik karbon miktarı
TAR	: Karasal/Sucul Organik Madde Oranı
T _{max}	: S ₂ pikinin ulaştığı maksimum sıcaklık değeri
TOK (TOC)	: Toplam Organik Karbon
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş ve Amaç

Kömürler havanın oksijeni ile doğrudan doğruya yanabilen ve %50 ile %95 arasında serbest veya bileşik karbon içeren katı ve organik tortul kayalarlardır. Başka bir deyişle, kömür, siyah-koyu gri veya kahverengi-siyah renkli, parlak veya mat bir katı fosil yakıt ve aynı zamanda sedimanter kayadır. Kömürler element olarak Başlıca karbon ve hidrojen (C, H) bunun yanısıra oksijen (O) ve az miktarda da kükürt ve azot (S ve N) içermektedir. Kömür, dünya enerji gereksiniminin karşılanmasında birkaç yüzyıldan beri çok önemli rol üstlenmiş olan önemli bir katı fosil yakıttır. Bugün dünyada tüketilen toplam birincil enerjinin %29'u kömürle karşılanmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de ilk kömür yataklarının oluşumu Karbonifer zamanında (354 MY) başlamış ve Tersiyer zamanın sonuna (2 MY) kadar devam etmiştir. Kömürler, bataklık ortamlarında oluşan kömürler hümk, su kütlesi altında oluşanlar ise sapropolik olarak sınıflandırılmışlardır. Taş kömürü, alt bitümlü kömür ve linyitler hümk kömür grubundandır.

Ülkemizde Tersiyer yaşlı kömür havzaları oldukça yaygındır ve birçok araştırmacı tarafından da farklı amaçlarla incelenmişlerdir. Bu çalışmada, daha önce organik jeokimyasal araştırması yapılmamış olan Ömerler (Tunçbilek-Kütahya) linyitleri ele alınmıştır. Tez kapsamında, Ömerler (Tunçbilek-Kütahya) sahası İğdekuzu yeraltı ocağına ait Miyosen yaşlı kömürlerin organik jeokimyasal özellikleri, kömürleşme derecesi, çökelme ortamı ve paleo-iklim koşulları yaklaşık analiz, piroliz/TOK ve gaz kromatografi (GC) analizleri kullanılarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Coğrafik Bilgiler

1.2.1. Coğrafik Konum

Çalışma alanı, Ege Bölgesi, kuzey doğu kesiminde yer almaktadır ve 1/25000 ölçekli Kütahya İ23-d1 ile İ22-c2 paftaları içerisinde bulunmaktadır. Çalışma kapsamında Tunçbilek - Kütahya yöresinde Erken-Miyosen Yaşlı Ömerler linyitlerinin toplam organik madde İçeriği, tipi ve hidrokarbon türetme potansiyeli için geniş bir alan seçilmiştir. Çalışma alanı il merkezinin kuzeybatısında olup Kütahya'ya 62 km, Tavşanlı'ya 17 km ve Tunçbilek beldesine 7 km uzaklıkta yer almaktadır.

Kütahya ili 11875 km²'lik yüzölçümü ile Türkiye topraklarının ortalama %1,5'luk kısmını kaplamaktadır (TKİ, 2011). Kütahya ili, kuzeyde Bursa, kuzeydoğuda Bilecik,

doğuda Eskişehir ve Afyon, güneyde Uşak, batısında Manisa ve Balıkesir illeri yer almaktadır.

1.2.2. Topoğrafya

Kütahya dağlar ve platoların çoğunlukta olduğu topoğrafya yapısına sahiptir. Topraklarının %57.5'i dağları, %11'i ova, %31.5'i de platolardan oluşmaktadır. Kütahya'da yer alan başlıca dağlar; güneyde Yellice Dağı (1764 m) ve Gümüş Dağı (1901 m), kuzeyde Yeşil Dağ (1533 m) batıda Eğrigöz Dağı (2181 m), doğuda Türkmen Dağı (1829 m), Murat Dağı (2312 m), Şaphane Dağları (2121 m) ve Simav Dağı (1800 m) bulunmaktadır.

Kütahya'da yer alan önemli ovalar; Kütahya ovası, Köprüören ovası, Tavşanlı ovası, Altıntaş ovası, Aslanapa ovası, Gediz ovası, Simav ve Örencik ovaları sayılmaktadır. Kütahya ovası, deniz seviyesine oranla 930 metre yükseklikte yer almaktadır. Kütahya Ovasının kuzeybatı ve güneydoğu ucu arasında 25 km mesafe olup ortalama genişlik 5,5 km ortalama 1 km mesafede olan Kütahya ovası 93 km² alanlı ova, yeni alüvyon ve eski alüvyondan oluşmaktadır. Ovadaki yeraltı vs suları Porsuk Çayı ve kolları vasıtasıyla Karadeniz'e dökülmektedir. Kütahya toprakları, büyük kısmını dağlık alanlar oluşmakta ve Karadeniz, Marmara ve Ege Denizine dökülen bazı akarsularının doğduğu yer olarak özellik kazanmıştır. İl toprakları genel olarak Susurluk havzasında yer bulunmakta olup diğer topraklar ise Sakarya ve Gediz havzalarına girmektedir. Kirmasti çayı, Koca su çayı (Adırnaz), Kocaçay ve Simav çayının suları Marmara Denizine, Felent çayı ve Porsuk çayı suları Sakarya nehri kanalı ile Karadeniz'e ve Gediz çayı Ege Denizi'ne dökülmektedir. Porsuk çayı Murat Dağının kuzey doğusunda doğmakta ve ilin içerisinde bulunan en uzun nehir konumundadır. Gediz çayı, Batı Anadolu'nun ikinci önemli akar suyudur. Kütahya'da doğal göl olarak bulunan göl Simav gölüdür. Doğal gölün yanı sıra yapay oluşturulmuş baraj gölleri bulunmaktadır. Bunlar Porsuk baraj gölü, Enne baraj gölü, Kayaboğazı baraj gölü, Söğüt baraj gölü ve Çavdarhisar baraj gölü ile Pazarlar göleti, Çalköy göleti, Belkavak göleti, Sofular göleti, Karagür göleti, Çerte göleti ve Kuruçayda gölet mevcuttur.

1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Kütahya ilinin iklimi Ege iklimi, Marmara iklimi ve İç Anadolu iklimi arasında "geçiş iklimi" özelliği göstermektedir. Kütahya ilinin iklimi geçiş iklimi olmasından kaynaklı üç iklimin de özelliklerini göstermektedir. Sıcaklıklar genellikle İç Anadolu iklimini göstermekte, ancak step iklimini kapsamamaktadır. Bu iklim şartı ile daha çok

kurak ve nemli iklimin arasında “geçiş iklim” tipi karakterindedir ve yıllık sıcaklık ortalaması 10.6°’dir. Kütahya ilinin en ılıman olduğu yerleri yüksekliği 1000 metre altı olan ovalarıdır. Ovalardan yayla ve dağlara çıkıldıkça sıcaklık azalmaktadır. İlde genellikle yağış miktarı 400 – 1100 mm arasında değişmekte iken yıllık yağış miktarı ortalaması 568 mm’dir. İlde en kurak ay olarak Ağustos, en fazla yağış aldığı ayda Aralık ayıdır.

Kütahya ili ve çevresi bitki örtüsü, Karadeniz, İç Anadolu ve Akdeniz bölgeleri bitki örtüsü özelliklerini bir arada bulundurmakta olup orman bakımından zengindir. Genellikle meşe, karaçam ve ardıç bulunduran ormanlarda 10 çeşit ağaç bulunmaktadır. Ormanlar platolarda yer almaktadır. Platoların iklim şartına uygun ağaç türlerinden olan karaçam il genelinde yaygındır. Çoğunluğu Karaçam ağacından oluşan ormanlar Yellice dağında ve Gümüş dağ etekleri yer alan platolarda görülmektedir. İl ormanlarında alt kesimleri ardıç ağaçları, ardıç ağaçları aşağısında meşe ile kaplamaktadır. Toprak örtüsü az ve zayıf olduğu yerler meşe ağacı yerini ardıç çalılıklarına bırakmaktadır. Kütahya ilinin ikliminde görülen çeşitlilik, bitki örtüsüne de yansımaktadır.

1.2.4. Ekonomi

İlin ekonomi yönünde yöre halkı genellikle geçim kaynağını esas olarak tarım ve sanayi alanlarına dayanmaktadır. Kütahya ili tarım bakımından, verimli ovalarında çoğunlukla tahıl yetişmektedir. Sebze ve meyve üretimi de oldukça gelişmiştir. İl genelindeki arpa, buğday, mısır, baklagiller (fasulye, nohut vs.), şekerpancarı, kenevir lifi, kenevir tohumu, sakız ve tohum olarak haşhaş, patates ve soğan gibi tahıl ürünleri ilin başlıca tarım ürünleridir. Tahıl ürünlerinin yanı sıra ayçiçeği de ekilmektedir. İlde sebze bakımından patlıcan, domates, biber ve lahana yetişmektedir.

Nüfusun %70’lik kısmı tarımla, hayvancılıkla, ormancılıkla, avcılıkla ve balıkçılıkla uğraşırken, %20’lik kısmı ise madencilik, imalat, inşaat ve sanayiyle uğraşmaktadır.

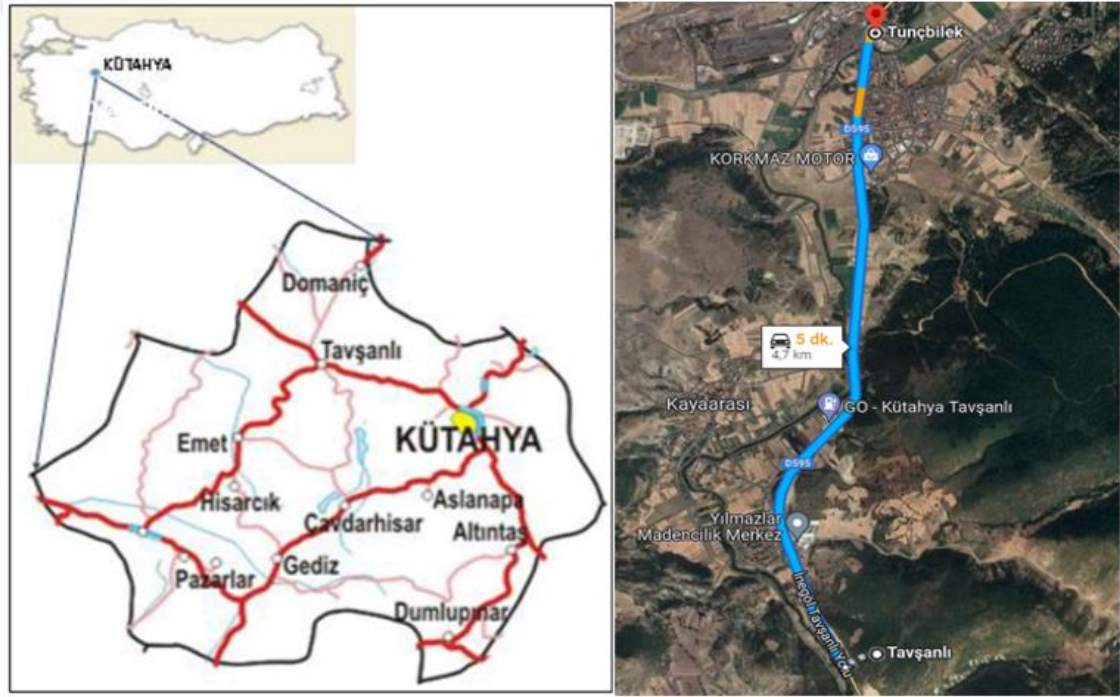
Kütahya linyit, bor, demir gibi birçok maden bakımından zengin olmakla birlikte termik santralleri de enerji üretimi ve imalat sanayisinde önemli rol almaktadır.

1.2.5. Ulaşım ve Yerleşim

İnceleme yeri Kütahya ili Tavşanlı ilçesinde yer almakta olup Kütahya’nın komşu illeri olan Bursa, Eskişehir, Afyon, Uşak, Balıkesir ve Bilecik illerine karayolu ile bağlanmaktadır. İlin genelinde karayolları mevcut olup merkezden ilçelere ve ilçeler arası karayolu ile bağlanmaktadır. Kütahya ili İstanbul, Ankara için kavşak konumunda

bulunmaktadır. Bu kavşak konumu ile İstanbul ilini Antalya iline bağlamaktadır. Kütahya ili ile Ankara ili arası otobüs yolculuğu ile ortalama 4,5 saat sürmekte, İstanbul ilinden Antalya ve İzmir arası otobüsle ulaşım ortalama 6 saattir. Kütahya ili, Eskişehir ili üzerinden ülkenin kuzey ve doğu kısmına, Balıkesir ili üzerinden ülkenin batı kısmına, Afyon ili üzerinden ülkenin güney kısmına ve İç Anadolu Bölgesine demiryolu ile bağlanmaktadır. Ankara – İzmir demiryolu ilin güneyinde bulunan Dumlupınar ilçesine bağlanmaktadır.

İnceleme alanına ulaşım Kütahya – Tavşanlı Yolu (D230) dan İnegöl – Tavşanlı Yolu (D595) bu yollara bağlı çok sayıda stabilize yollarla sağlanmaktadır. Çalışma yapılan alanın Kütahya ili Tavşanlı ilçesine bağlı Tunçbilek Beldesi mevkiinde olup şehir merkezine yaklaşık Kütahya’ ya 62 km, Tavşanlı’ ya 17 km uzaklıktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

1.3. Bölgesel Jeoloji

Bölgede temel kayaçlarını Paleozoik yaşlı mermer, şist ve gnayslardan oluşan metamorfik kayaçlar oluşturmaktadır. Bu metamorfik kayaçlar üzerine Permian yaşlı, fosil içeren gre ve kalkerlerden oluşan istif gelmektedir. Bu istif bölgenin batısında geniş alanlarda yüzeylenme vermekte olup, daha yaşlı kayaçları uyumsuzlukla örtmektedir. Permian sonunda bölge genç Varistik orojenez ile yükselerek tekrar kara haline gelmiştir. Bölgenin kuzeyindeki asit intruzifler ve ofiolitik seri kayaçları bu devreye aittir (Kalafatçıoğlu, 1964). Mesozoik yaşlı serpantin, peridotit, metaklastik

metakarbonatlardan oluşan ultrabazik kayaçların da kesin olmamakla birlikte bu devreye ait olduğu söylenmektedir. Neojen kayaçlarının iri taneli ve bazan çok iri blok halinde, konglomeralarla başladığı, kum, kil, marn, kalker, gre, marnlı kalker, silisli kalker, silis yumru ve tabakaları ve tuf ile temsil edildiği görülmektedir (Kalafatçıoğlu, 1964). Neojen kayaçlarından olan Miyosen serisi temel kayaçları üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Miyosen serisi oldukça çeşitlilik göstermekte olup, çalışma alanında üç farklı seriden oluşmaktadır. İlk seri konglomera, kumtaşı ve linyitlerden, ikinci seri kumtaşı, sittaşı, marn ve linyitlerden, üçüncü seri ise linyit mercekleri içeren kireçtaşlarından oluşmaktadır (Çetin vd., 1985). Ayrıca farklı araştırmacılar tarafından ilk seri Beke Formasyonu, ikinci ve üçüncü seri Tunçbilek Formasyonu olarak adlandırılmaktadır (Baş, 1986; Sütçü vd., 2021). Bu serinin üzerine Pliyosen yaşlı konglomera, kumtaşı kireçtaşı ve tuf, bazalt ve andezitten oluşan istif uyumlu olarak gelmektedir. Kuvaterner yaşlı moloz ve alüvyonlar alttaki tüm seriyi uyumlu olarak örtmektedir (Çetin vd., 1985).

1.4. Önceki Çalışmalar

Tunçbilek bölgesinde kömür arama faaliyetleri 1967 yılından bugüne kadar Maden Tetkik ve Arama Kurumu (MTA) ve Türkiye Kömür İşletme Kurumu (TKİ) programlı bir şekilde sondaj çalışmaları yapmışlardır. Bu sondajlardan genelde temel kaya serpantin üzerine genelde kömür, marn veya kil aralanmaları ile çökeldiği ve en üste doğru konglomera ve alüvyon çökeldiği görülmektedir.

Çalışma konusunu oluşturan Ömerler (Tunçbilek-Kütahya) Sahası Miyosen yaşlı kömürlerin jeokimyasal özelliklerine bağlı çökeltme ortamı ve şartlarının yorumlanması ile ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bölgede daha çok kömür madenciliği yapıldığından dolayı çalışma konuları da çoğunlukla kömür üretimi ve zenginleştirilmesi üzerine yapılmıştır. Çalışma alanları ve çevresinde yapılan başlıca çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Çelik (1999), Domaniç (Kütahya) Neojen havzanın sedimentolojisini ve kömür potansiyelini araştırmıştır. Batı Anadolu horst – graben sisteminin kuzeydoğusunda yer alan bu havza Erken Miyosen yaşta başlayan tektonik rejimde gelişen KD-GB uzanımlı graben olduğunu belirtmiştir. Havza sınırlarını, faylar ve havzada yer alan faylanma havzada çökel dolgularını ve fasiyes dağılımlarını belirtmiştir. Domaniç Neojen havza temel kayacı Paleozoyik yaşlı şistlerden, Mesozoyik yaşlı ofiyolitik kayaç ve Erken Tersiyer yaşlı granitoid oluşturmaktadır. 1000 metreyi geçen akarsu rejimi ile oluşan Miyosen – Pliyosen yaşlı havza dolgulu Beke formasyonu ile başladığını ve bu formasyonda alttan üstte doğru çakıldaşı-kumtaşı-ince kömür damarı birimlerinden oluşmaktadır. Beke

formasyonunun üstüne uyumlu çökelen birim Tunçbilek formasyonu kömür içermektedir. Bu formasyonda yer alan Demirbilek üyesi içerisindeki kömürler, göl kıyısında sazlık, bataklık ve küçük kısmı da karasal bataklık gibi ortamlarda geliştiğini belirtmiştir. Kömürün oluşmaya başladığı zaman havzadaki aktif tektonizmanın varlığını işaret eden bilgiler, gölsel alanların genişlediği ve havzanın doğusunda görülen Tatarlar üyesinde yelpaze delta kaba kırıntılı çökeller ve yine havzanın batı kısmında Güragaç üyesi deltayık çökellerden anlaşılmıştır. Havzanın doğu ve batısında çökeller yer alırken kuzeyinde ve güneyinde ise Tunçbilek Formasyonunda Yel değirmeni üyesinde gölsel kireçtaş bulunmaktadır. Bu gölsel sistemin yukarılara doğru ilerlerken piroklastik kayaç ve kireçtaşları gibi kayaçlardan oluşan göl, kısmı olarak akarsu kökenli olan Beşiktepe formasyonunu, geçişli olan Tunçbilek formasyonu kapatmaktadır. Bu birimleri Karaköy volkaniklerinden oluşan Pliyosen yaşlı birimi çökelmiş ve aynı zamanda Beşiktepe formasyonu içerisine de kamalandığı belirtilmiştir. Karaköy volkanik birimi üzerine kökeni akarsu olan Çokköy formasyonu, Domaniç ve çevresine yayılım gösterirken bu yayılım Emet formasyonun akarsu kökenli olan çökellerle girmiştir. Havzanın son olarak çökelen dolgusu olan Emet Formasyonun Pliyosen yaşı sonuna kadar sürdüğünü belirtmiştir.

Zeybek (2007), Orta Sakarya Bölgesi doğusunda alanında yer alan Pliyosen yaşlı Porsuk Formasyonundaki evaporitlerin jeokimyasal incelemesini yapmıştır. Bu formasyona ait oldukça kalın ve yaygın olan evaporitlerin oluşumları, eser element ve izotop jeokimyası çalışmaları yapılarak evaporitlerin kökenleri ve bölgenin paleocoğrafyasını belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla jips, anhidrit, kireçtaşı, dolomit numune örneklerinin jeokimyasal karakterizasyonlarını ortaya koymak için oksit, eser element ve nadir toprak element gibi analizler yapılmıştır. Yapılan analizler ve çalışmalar sonucunda evaporitler; paleo iklim koşulları, dönemsel olarak karasal volkanizmanın ve tektonizma, farklı litolojilerin depolama alanlarının aktif olarak gelişen playa göl şeklinde çökeldiğini belirtmiştir.

(TKİ, 2011) MTA ve TKİ Kurumlarının yapmış olduğu sondaj çalışmalarını değerlendirmek, saha jeolojisini ve tektoniğini yorumlayarak, jeolojik katı modeli oluşturmak, sahadaki fayların ortaya koyulması ve kömür cevherinin modellenmesi için 2008 – 2011 tarihleri arasında Hacettepe Üniversitesi Cevher Yatağı Modelleme ve Ocak Tasarım Ekibi tarafından Tunçbilek Ömerler Sahası Linyit Kaynağının Kestirimi ve Yeraltı İşletme Projesini hazırlamışlardır. Bu proje kapsamında bölgede üç tektonik rejimin hakim olduğunu belirtilmiştir. İlk tektonik rejim, havzanın oluşmasında rol alan KD-GB doğrultusunda olup sıkışmaya bağlı KB-GD açılmasıdır. Havzanın oluşmasında

rol alan bu rejim, KD-GB doğrultulu açılma rejimini devam ettirmektedir. Son dönem ise havzanın oluşmasında rol alan ilk rejimin özelliklerini gösteren rejim olmuş ve K-G doğrultulu fayların gelişmesinde rol oynarken aynı zamanda kenar faylarında aktif hale getirmiştir. Tunçbilek havzasında K-G, KB-GD ve KD-GB doğrultulu faylar olduğunu ve bu fayların verev atımlı normal faylardan meydana geldiğini belirtilmiştir.

Can (2012), Eski Gediz (Kütahya) ilçesi ve çevresindeki genel jeolojik özelliklerini ortaya koymak için çalışmalar yürütmüştür. Çalışma alanının temelini Paleozoyik yaşlı birimler oluşturduğunu bu birimler üzerine sırasıyla uyumsuz olarak Erken Miyosen yaşlı çakıltaşlarından oluşan birim, Orta Miyosen yaşlı kireçtaşıdan oluşan birim, Orta Miyosen yaşlı çakıltaşı-kumtaşı-fosilli kireçtaşı ardalı birim ve Geç Miyosen yaşlı marn olduğunu ortaya koymuştur. Bu sedimanter istif Miyosen yaşlı volkanitler keserek yerleştiğini belirtmiştir. Tüm bu birimlerin üstüne Geç Pliosen yaşlı çörtlü kireçtaşı uyumsuz yerleşmiş ve üzerine Kuvaterner yaşlı alüvyonlar çöktüğünü belirtmiştir. Bu çalışmanın yanı sıra çalışma alanında faylanma üzerinde de durmuştur. Fayların genellikle doğrultu atımlı faylar olduğu ve genelde Gediz depremini tetiklediğini belirtilmiştir.

Kazancı (2020), Kütahya – Tunçbilek sınırlarında yer alan FC Pano diye adlandırılan maden sahasından açık ocak yöntemiyle üretilen kömürlerin organik jeokimyasal ve organik petrografik özelliklerini incelemiştir. Havzada genellikle Miyosen yaşlı birimlerden olduğunu ve bunların konglomera, kumtaşı, kıltaşı, kömür ve marn meydana geldiğini belirtmiştir. Yapılan analizler ve sonuçları incelendiğinde limnik-limnotelmatic ortam olduğunu ortaya koymuştur.

Cicioglu Sutçu vd. (2021), “ Mineral and rare earth element distribution in the Tunçbilek coal seam, Kütahya, Turkey” başlıklı çalışmalarında, Tunçbilek kömür örneklerinin mineral kompozisyonun başlıca kuvars, kaolinite ve dolomit minerallerinden oluştuğunu, simektit, mica-illit, pirit ve sideritin ikincil mineral olarak bulunduğunu belirlemişlerdir. En yaygın majör oksitlerin SiO_2 ve Al_2O_3 , bunları MgO , Fe_2O_3 , CaO ve SO_3 takip ettiğini dile getirmişlerdir. Ayrıca incelenen kömürlerin nadir toprak element içeriklerinin dünya kahverengi kömürlerin nadir toprak element içeriklerinden daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Stratigrafi

Ömerler (Tunçbilek-Kütahya) sahası genelinde ilk çalışmaları Nebert (1963) tarafından yapılmıştır. Araştırmacı bölge jeolojini inceleyerek, Miyosen öncesi temel ve örtü kayaçları olarak 2 grup olarak irdelenmiştir. Miyosen öncesi temel kayaçları kalker, mermer ve serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlar ve radyolarit olarak üç grupta incelemiş ve Miyosen 6 alt birime, Pliyosen ise 8 alt birime ayırarak irdelenmiştir.

Havza ve çalışma alanının en yaşlı birimini mermer, kalkışist, metadiyabaz kayaçlarını oluşturan birim Paleozoik yaşlıdır ve bu kayaçlar Mesozoik birimleri tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Mesozoik birimleri Kretase yaşlı çamurtaşı, serpantin ve melanj kayaçlarından oluşan Arifler Formasyonu (Ükm) ve dünit, gabro listvenit kayaçlarından oluşan Ultramafitlerden (Ükg) ibarettir. Bu birim üzerine Paleosen yaşlı Alaçam Formasyonu çökelmiş ve bu dönem ait olan granitler metaforfikleri kesmektedir. Alaçam Formasyonu üzerine Miyosen yaşlı sırasıyla Beke ve Tunçbilek Formasyonları gelmektedir. Beke formasyonunu konglomera-kumtaşı-kil (TB(m1)), Tunçbilek formasyonu kömür (Ttd(m2)) içeren formasyon olup kömürün yanı sıra marn, kil taşı, kum taşı (Tty(m3b) ve kireçtaşı (Ttg(m3a)) içermektedir. Bu kömürlü birim üzerine uyumsuz olarak Pliyosen yaşlı sırasıyla Saruhan Formasyonu, Karaköy Formasyonu, Çökköy Formasyonu ve Emet Formasyonu gelmektedir. Saruhan Formasyonunu konglomera-kumtaşı-tüf (Ts(PI3)) oluşturmakta olup yanıl olarak kireçtaşına (Ts(PI2)) geçmektedir. Karaköy volkanitleri ikincil kalsit dolguları içeren bazaltlardan (Tkv(V)) oluşturmaktadır. Çökköy Formasyonunu marn-kil-kumtaşı-konglomera-tüf (Tç(PI3)) oluşturmakta ve bu formasyon üzerine uyumsuz olarak kireçtaşı (Te(PI4)) içeren Emet Formasyonu çökelmiştir. Havzanın son birimi olan Kuvaterner yaşlı yamaç molozu (Qym) ve alüvyon (Qal) çökelerek havzanın litolojisi tamamlanmıştır (Şekil 2).

Bu formasyonlar ve seriler aşağıda detaylı olarak anlatılmıştır. Ayrıca Tez konusunu oluşturan kömürler Miyosen kayaçları arasında yer almasından dolayı, Miyosene göre ayırım yapılarak irdelenmiştir.

2.1.1. Miyosen Öncesi Temel Kayaçlar

2.1.1.1. Müzeyyen Metamorfizmaları

Paleozoik yaşlı Müzeyyen Metaformitleri olarak adlandırılan birimi Geyik Tepe Mermerleri (Ükom(Tk)) ve Devlez Metabazitleri (Ükoş(Tmş)) oluşturmaktadır. Bu birim metadiyabaz (Ükod), metabazitler (Ükoş), kalkşist (Ükök) ve mermerlerden (Ükôm) oluşmaktadır. Metadiyabaz, kalsit bantları içermekte ve dayk görünümündedir. Metabazitler, yatık izoklinal kıvrımlar, kuvars bantları ve mercekler içermektedir. Kalkşist, mermer ve metabazit geçişlerinde görülmektedir. Mermer, kırık ve eklemler bulundurmakta, ara ara iyi derece foliasyon ve lineasyon göstermektedir (Şekil 2).



Üst Sistem	Sistem	Seri	Grup	Formasyon	Üye	Simgesi	Kalınlık	Kaya Türü	Açıklama
SENOZOYİK	KUVATERNER			Alüvyon		Qal			Alüvyon (Qal): Güncel akarsu çökelleri, tutturulmamış çakıl, kum, silt, kil
				Yamaç Molozu		Qym			Yamaç Molozu (Qym): Gevşek tutturulmuş, köşeli çakıllı, çakıl, kum, silt
	TERSİYER	PLİYOSEN		Emet Fm		Ta (P14)	200		Kireçtaşı (Te (P14)): Gri, krem renkli, alt seviyeleri killi, marn ara seviyeli
				Çokkay Fm		Tç (P13)	200		Marn - Kil - Kumtaşı - Konglomera - Tüf (Tç (P13)):
				Karakay Volkanitler		Tkv (V)	200		Bazalt (Tkv (V)): Siyah ve siyahımsı, koyu gri renklidir.
				Sarulanlar Fm.		Ts (P13) Tsk (P12)	0-300		Konglomera - kumtaşı - tüf (Ts (P13)): Açık gri renklidir. Arada marn ve kil seviyeleri olabilmektedir. Kireçtaşı (Tsk (P12)): Açık gri - beyaz renkli,
				Tunçbilek Fm	Demirbilek Üyesi	Ttg (m3a) Tty (m3b) Ttd (m2)	300		Kireçtaşı (Ttg (m3a)) - Marn - kil - kumtaşı (Tty (m3b)) - Kömür (Ttd (m2)): Gri, sarımsı, yeşilimsi, kahve renkli tonlar gösterir. Konglomera, kumtaşı
		MİYOSEN		Beke Fm.		Tb (m1)	150		Konglomera - kumtaşı - kil (Tb (m1)): Bordo renkli, en üstte kömür izli
				Alaçam Fm		Fgr (Tg)	200		Granit (Pgr (Tg)): Gri, grimsi bej ve yeşil renklidir. Metamorfikleri keser. Bolca aplit daykılı
		PALEOSEN							
	MESOZOYİK	KRETASE	ÜST	Ultramafitler		Ükg	400		Listvenit (L) : Silisleşmiş, karbonatlaşmış kabuk görünümünde, Gabro, Mikrogabro (Ükm) Dümit, Harzburgit (Ükh)
				Arifler Fm	Tekketepe Serpantinler (Ükmş)	Ükm	400		Melanit (Ükm): Kuvvetli tektonik etkiler gösteren, çeşitli kaya birimlerini mermer, şist, diyabaz, çamurtaşı, rayolarit, çört ile yanyana bulunur. Serpantin (Ükmş): Hidrotermal alterasyon ve tektonik zonlarda oluşur.
				Kelenlik Çamurtaşı (Ükmc)					
PALEOZOİK	MÜZEYEN METAMORFİTLERİ	Geyik Tepe Mermerleri	Ükon (TK)	Dodurga (Ükod)		Ükoş (Tmş)	600-200 m		Metadiyabaz (Ükod): Yeşil renkli, taneli dokuda, bolca kalsit bantlı, dayk görünümlü.
				Bakarcaktaş T (Ükøk)			2200		Metabazitler (Ükøk): Siyahımsı ve mavimsi koyu renklidir.
							1500-400 m		Kalkışist (Ükøk): Mermer - metabazit geçişlerinde görülür. Mermer (Ükøm): Mavimsi açık gri renkli

Şekil 2. Kütahya-Tunçbilek sahası genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Küçükayman, 1988. MTA, 2006)

2.1.1.2. Üst Kretase Birimleri

Paleozoik yaşı Müzeyyen Metamorfitlerin üzerine uyumsuz olarak çökelen Üst Kretase yaşı birim Arifler Formasyonu (Ükm) ve Ultramafitlerden (Ükg) oluşmaktadır. Ultramafitler, dünit harzburgit (Ükh), gabro mikrogabro (Ükm) ve listvenit (L) ile karakterize edilmektedir. Dunit harzburgit, peridotların esasını oluşturmakta, bolca manyezit bulunurken krom az miktarda mevcuttur. Gabro ve mikrogabrolar, dünit ve harzburgit ile tektonik ilişkilidir.

Arifler Formasyonu, çamurtaşı (Ükmç), serpantin (Ükmş) ve melanjdan (Ükm) oluşmaktadır. Çamurtaşı, ara ara pelajik kireçtaşı, ara ara sert silisifiye çört içermektedir. Serpantin (Ükmş), hidrotermal alterasyonlar ve tektonik zon gibi yerlerde oluşmaktadır. Melanj (Ükm), güçlü tektonik etkileri gösterir ve mermer, şist, diyabaz, çamur taşı, radyolarit ve çört gibi çeşitli kaya birimleriyle yanal geçişli olarak bulunmaktadır. Temeldeki birimler ile kontak tektoniğindedir.

2.1.1.3. Paleosen Serisi

Üst sistemi Senozoyik ve Tersiyer sisteminde yer alan bu seriyi Alaçam formasyonu oluşturmaktadır. Bu seri ultramafitlerin üzerine uyumsuz olarak yerleşmiş granitlerden (Pgr(Tg)) oluşmaktadır. Granitler genellikle metamorfite kesmekte ve bol miktarda apolit dayklı bir yapıda görünmektedir (Şekil 2)

2.1.2. Miyosen Serisi

Bu başlık altında Miyosen yaşı Beke formasyonu ve Tunçbilek formasyonu irdelenmektedir.

2.1.2.1. Beke Formasyonu (TB(m1))

Paleosen yaşı birim üzerine uyumsuz olarak gelen Beke formasyonu konglomera, kumtaşı ve kil taşı kayaçlarından oluşmakta ve ortalama 150 m kalınlığındadır. Formasyonda en alt kısımda blok yığılma şeklinde bulunurken üst kısmına bakıldığında tabaka şeklinde konglomera, kumtaşı bulunmakta ve en üst kısımda kömür arakatlı kilaşı bulunmaktadır (Şekil 2). Akarsu rejimi ile oluşan Miyosen – Pliyosen yaşı Beke Formasyonu alttan üstte doğru çakıltaşı-kumtaşı-ince kömür damarı birimlerinden oluşmaktadır (Çelik, 1999). En üst kısımda bulunan yeşilimsi ve siyahımsı kilaşları arasında bulunan ince kömür katmanları ekonomik olmayan kömür olarak değerlendirilmektedir (Baş, 1983).1000 metreyi geçen akarsu rejimi ile oluşan Miyosen

– Pliyosen yaşı havza dolgulu Beke formasyonla başladığını ve bu formasyonda alttan üstte doğru çakıltası-kumtaşı-ince kömür damarı birimlerinden oluşmaktadır. (Çelik, 1999)

2.1.2.2. Tunçbilek Formasyonu (Tb(m1))

Konglomera-kumtaşı-kiltaşı (TB(m1)) karakterli Beke Formasyonunu üzerine uyumlu olarak çökelen Tunçbilek Formasyonu Demirbilek ve Gurağaç Üyelerinden oluşmaktadır. Demirbilek Üyesi kiltaşı, marn kömür ardalanmasından oluşmakta olup, bu ardalanmaya yer yer silttaşı, kireçtaşı ve konglomeralar eşlik etmektedir. Üyenin içerdiği kömür damarlarının kalınlıklarının 7 ile 15 m arasında değiştiği, ekonomik olduğu değerlendirilmektedir. Kömürlü zonlar tek damarlar şeklinde bulunduğu gibi kil-marn ardalanması şeklinde de olmaktadır. Kömürün içerisinde belirgin olan pirit ve kalkopirit oluşumları eş oluşumlu veya post oluşumludur. Kükürt içeren mineraller asit-kaya drenajından dolayı bölge sularının yüksek iyonik derişimli olmasına sebep olmaktadır. Gurağaç Üyesi, konglomera, kumtaşı, silttaşı ve kiltasından ibaret olmakta ve Geç Miyosen yaşı olduğu belirtilmiştir (Baş, 1983).

2.1.3. Miyosen Sonrası Kayaçlar

Bu başlık altında miyosen serisi üzerine gelen birim, formasyonlar irdelenecektir

2.1.3.1. Pliyosen Serisi

Bu seri içerisinde sırasıyla yaşlıdan gence doğru Saruhanlar Formasyonu (Ts(PI3), Ts(PI2)), Karaköy Volkanitleri (Tk(V)), Çokköy Formasyonu (Tç(PI3)), Emet Formasyonu (Te(PI4)) yer almaktadır (Şekil 2).

Saruhanlar Formasyonunu, konglomera-kumtaşı- tuf (Ts(PI3)) ve kireçtaşlarından (Tsk(PI2)) oluşmakta olup yer yer marn ve kiltaları da gözlenmektedir. Kireçtaşları gölsel karakterde olup, konglomera-kumtaşı-tüfler ile yanal geçişlidir.

Karaköy Volkanitleri ikincil kalsit dolguları içeren siyah, koyu gri renkli bazaltlardan (Tk(V)) oluşmaktadır.

Çokköy Formasyonunu marn, kiltaşı, kumtaşı, konglomera ve tüflerden oluşturmaktadır. Bu istifte yer yer kireçtaşı ara katkısı ve silisyum dioksit izlerine de rastlanmaktadır. İstifdeki kayaçlar yatay ve yataya yakın tabakalanma göstermektedir.

Emet Formasyonunu gri, krem renkli, gözenekli tabanda killi, üstlere doğru slisleşmiş orta kalın tabakalı kireçtaşı ve marn ardalanmasından oluşmakta ve Çokköy Formasyonu üzerine uyumsuz olarak çökelmektedir.

2.1.3.2. Kuvaternerler

Bu sistem yamaç molozu (Qym) ve alüvyonlardan (Qal) oluşmaktadır. Yamaç molozları genelde gevşek tutturulmuş ve köşeli çakıllar bulunduran çakıl, kum, siltlerden oluşmaktadır. Alüvyon ise günümüze yakın akarsuların çökelleri ve tutturulmamış çakıl, kum, siltlerden meydana gelmiştir (Şekil 2).

2.2. İnceleme Alanın Jeolojisi

2.2.1. Giriş

Çalışma alanı Tunçbilek havzası içerisinde yer almaktadır. Havzanın geneli yeraltı linyit ocağı olmakta ve şirketin işlettiği İğdekuzu ocağı olarak adlandırılan yeraltı ocağında (Şekil 3) 29.09.2022 tarihinde analiz için kömür numunesi alınmıştır. Kömür ocağı olması nedeni ile iş sağlığı ve güvenli kapsamında atex özellikli telefon vs olmadığı için numune alınan alanın ve alınma aşamasında fotoğraf çekilememiştir. Ocakta kömür üretilmesi aşamasında numune alınmış ve Y: 454496.455, X: 4394298.471 koordinatlarında 679.985 kodundaki kömüründen taban örnekleri toplanmış (Şekil 4) ve taban kömürlerini temsilen TB-8 numaralı örneğin fotoğrafı Şekil 5’de gösterilmiştir. 683.985 kodundaki kömürden orta kısım örnekleri toplanmış (Şekil 6) ve orta kısım kömürlerini temsilen OR-5 numaralı örneğin fotoğrafı Şekil 7’de gösterilmiştir. 688.485 kodundaki kömürden tavan örnekleri toplanmış (Şekil 8) ve tavan kömürlerini temsilen TV-9 numaralı örneğin fotoğrafı Şekil 9’da gösterilmiştir. Üretim kalınlığı 10 metrelik damar kalınlığında olup, kömür – kıltaşı ardalanması olan kısımda ise bu kalınlık 8.5 metreye kadar düşmektedir.

Miyosen ve Pliyosende çökelen Tunçbilek havzası Neojen sedimanları olarak bilinmekte ve Miyosende çökelenler "Alt Seri veya Tunçbilek Serisi" Pliyosende çökelenler "Üst seri veya Domaniç Serisi" olarak adlandırılmaktadır. Havzada 1937 yılından beri açık ocak ve kısmen yer altı linyit üretimi yapılmaktadır. Bununla birlikte bu bölgede açık ocak işletmeciliğine uygun linyit rezervi bittiğinden dolayı Ömerler Sahası’nın uygun geometrik modelleri yapılarak yeraltı linyit üretimi şeklinde üretime geçilmiştir (TKİ, 2011).

Kalınlık	Litoloji	Açıklamalar
5 m		Tavan kömürü Numune alınan kot: 688.485
1 m		Kiltaşı
2.20 m		Orta kömürü Numune alınan kot: 683.985
		Kiltaşı
1.80 m		Taban kömürü Numune alınan kot: 679.985
Ölçeksiz		

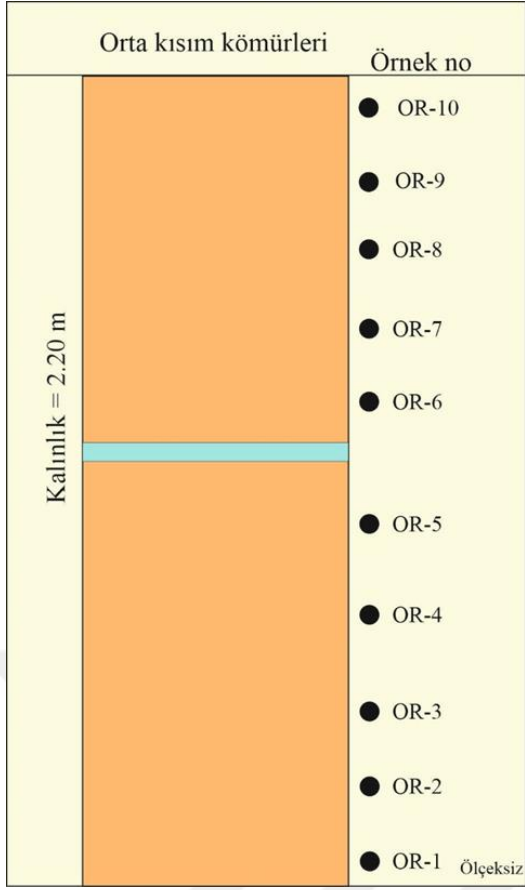
Şekil 3. Örneklerin toplandığı kömür stampı

Taban kömürleri		Örnek no
Kalınlık = 1,80 m		● TB-10
		● TB-9
		● TB-8
		● TB-7
		● TB-6
		● TB-5
		● TB-4
		● TB-3
		● TB-2
		● TB-1
		Ölçeksiz

Şekil 4. Taban kömür örneklerinin damar stampındaki konumları



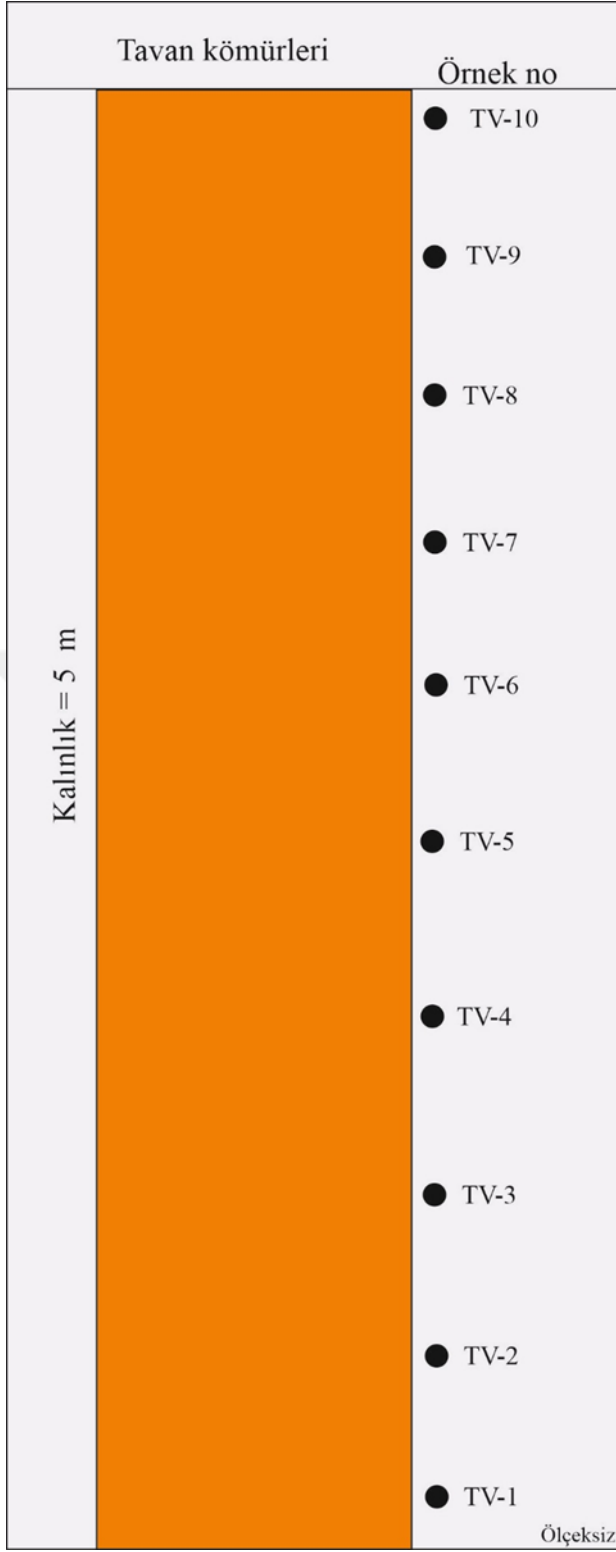
Şekil 5. Taban kömürlerine ait TB-8 numaralı örneğin görseli



Şekil 6. Orta kısım kömür örneklerinin damar stampındaki konumları



Şekil 7. Orta kısım kömürlerine ait QR-5 numaralı örneği görseli

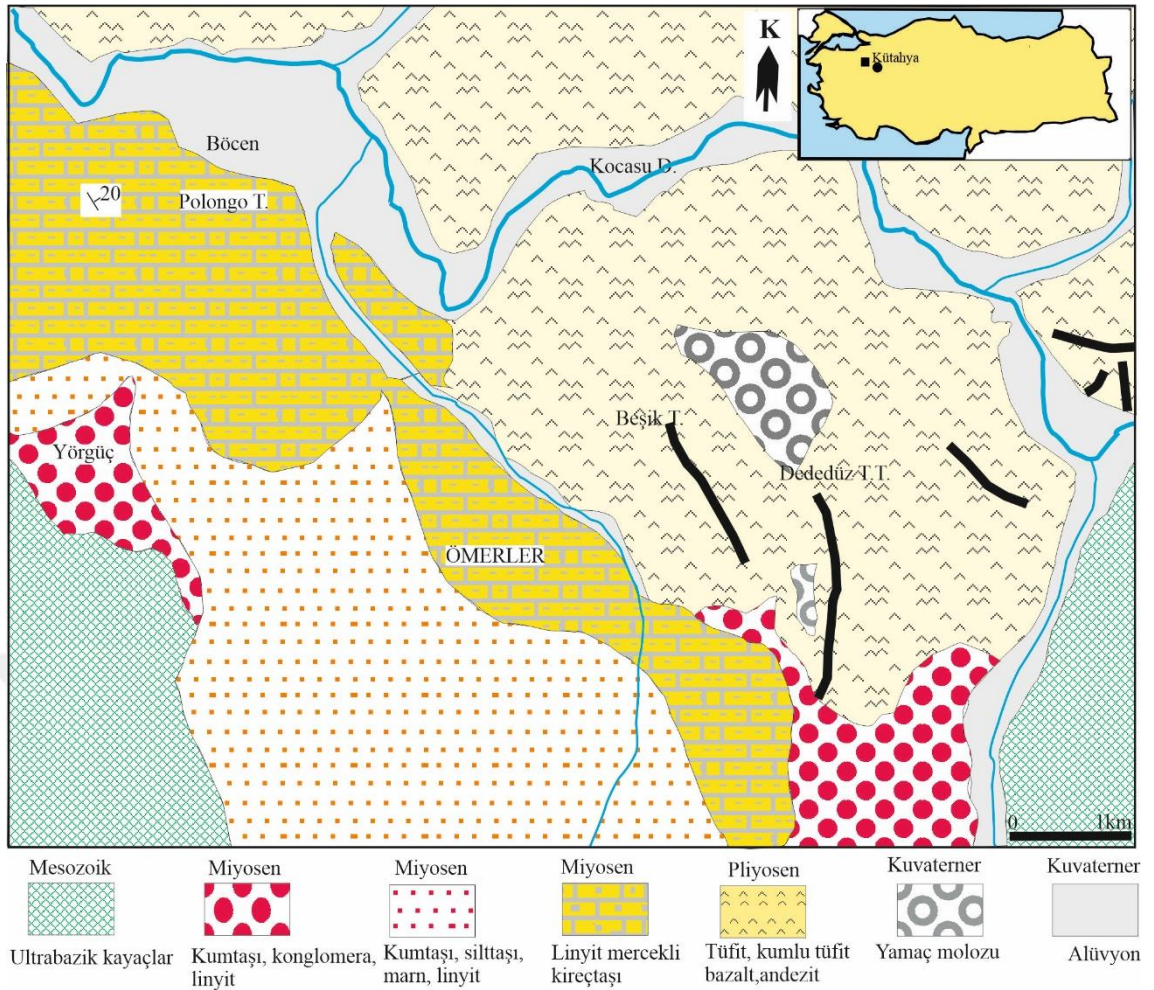


Şekil 8. Tavan kömür örneklerin damar stampındaki konumları



Şekil 9. Tavan kömürlerine ait TV-9 numaralı örneğin görseli

Tunçbilek yöresinde temel kayaçlarını Paleozoik yaşlı mermer, şist ve gnayslardan oluşan metamorfik ve Mesozoik yaşlı serpantinit, peridotit, metaklastik metakarbonatlardan oluşan ultrabazik kayaçlar oluşturmaktadır. Temel kayaçları üzerine uyumsuz olarak Miyosen serisi gelmektedir. Miyosen serisi oldukça çeşitlilik göstermekte olup, çalışma alanında üç farklı seriden oluşmaktadır. İlk seri konglomera, kumtaşı ve linyitlerden, ikinci seri kumtaşı, sittaşı, marn ve linyitlerden, üçüncü seri ise linyit mercekleri içeren kireçtaşlarından oluşmaktadır (Çetin vd., 1985). Ayrıca farklı araştırmacılar tarafından ilk seri Beke Formasyonu, ikinci ve üçüncü seri Tunçbilek Formasyonu olarak adlandırılmaktadır (Baş, 1986; Sütçü vd., 2021). Bu serinin üzerine Pliyosen yaşlı konglomera, kumtaşı kireçtaşı ve tuf, bazalt ve andezitten oluşan istif uyumlu olarak gelmektedir. Kuvaterner yaşlı moloz ve alüvyonlar alttaki tüm seriyi uyumlu olarak örtmektedir (Şekil 10) (Çetin vd., 1985).



Şekil 10. Ömerler ve civarlarının jeolojik haritası (Çetin vd. 1985'den sadeleştirilerek)

2.3. Materyal ve Metot

2.3.1. Arazi Çalışması

İğdekuzu ocağından alınan numuneler üretim çalışmaları devam ederken alınmış ve üretim genelde delme patlatma yöntemiyle yapılmaktadır. Üretime bağlı olarak öncelikle 679.985 kodunda yer alan taban kömürün numune alınmış ve torbalanarak ağzı sıkıca bağlanmıştır. Üretim devam ettirilip orta kömürün göçmesi sağlanmış ve 683.985 kodunda yer alan orta kömürün numunesi alınarak aynı şekilde torbalanmıştır. Üretiminde son aşamasında tavan kömürün göçmesi sağlandığında 688.485 kodundaki tavan kömürden numune alınmış ve torbalanarak ağzı sıkıca bağlanmıştır. Alınan taban kömürü, orta kömürü ve tavan kömürü olmak üzere ağızları bağlanmış 3 ayrı numune bir torbaya daha koyulmuştur.

2.3.2. Laboratuvar Çalışmaları

2.3.2.1. Kısa (Yaklaşık=Kaba=Proksimate) Analiz

İncelenen kömür örneklerinin kısa analizi, LECO TGA 701 Termogravimetrik Analiz Cihazı kullanılarak ASTM D 7582 standart yöntemi kullanılarak TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü'nde yapılmıştır.

Yaklaşık analiz ile kömürün kül, uçucu madde, nem ve sabit karbon içerikleri belirlenir ve ağırlık yüzdesi olarak ifade edilir, dolayısıyla bunların toplamı 100'e eşittir (Nem+Uçucu madde+Kül+Sabit karbon=100) (Speight, 2005; Ünal, 2010). Bunların haricinde bu analiz yöntemi ile kömürlerin kükürt içeriği ve ısı değerleri de ölçülmektedir.

Nem içeriği: Kömürün gözle görülen çatlaklarında (Klit) veya kömür parçaları üzerinde film gibi duran suya yüzey suları (kaba nem veya serbest su) denir. Bu sular, yeraltı suyu, yağmur ve kar suyu, sulama suyu ve kömür ocaklarında zeminde birikmiş sular olabilir. Kömürün hava ile temasında bu yüzey suları kaybolur ve bu kömürlere havada kuru kömür denir. Kömürlerin mikro gözenek yüzeylerine yapışık halde su molekülleri halinde bulunan, kömürleşme sırasında organik maddeden türeyen sulara veya turba oluşumu sırasındaki bataklıkta ait sulara ise gözenek suyu (bünye suyu) denir (Rogers, 1994; Rodrigues ve Lemos de Sousa, 2002). Bünye suyu, kömürün yaklaşık 105 – 110 °C ısıtılmasıyla buharlaşarak yok olur ve bünye suyu kaybolmuş kömüre kuru kömür denir (Ünal, 2010).

Uçucu madde içeriği: Kömürün içermiş olduğu N₂, CO, CH₄ ve CO₂ gibi gazlara uçucu madde denir, kömürleşme derecesine bağlı olarak uçucu madde miktarı azalmaktadır (Ünal, 2010).

Kül içeriği: Kül içeriği kömürün kalitesini belirleyen önemli bir parametre olup, kömürün tamamen yanmasından sonra geriye kalan inorganik atığa denir. Ünal (2010) kuru kömür örneklerini kül yüzdelere göre şu şekilde sınıflandırmıştır: < % 5 çok düşük kül, % 5– 10 düşük kül, % 10 – 20 orta kül, %20 - 30 yüksek kül, % 30 - 50 oldukça yüksek kül.

Sabit karbon içeriği: Isıtılarak nem ve uçucu maddelerden arındırılmış kömür içindeki katı haldeki yanıcı karbona sabit karbon denir (Ünal, 2010).

Kükürt (S) içeriği: İçinde bulunduğu kömürün kalitesini belirleyen ve miktarı arttıkça kömürün kalitesini düşüren kükürt kömürler içinde organik kükürt, sülfütlere ait kükürt (pirit, markasit = FeS₂) ve sülfatlara ait kükürt (CaSO₄, FeSO₄) şeklinde bulunur ve bunların toplamı kömürün toplam kükürt içeriğini belirler (Ünal, 2010).

Kalorifik güç (Isıl güç): Bir kömürün kalorifik gücü, birim ağırlıktaki kömürün tam yanma şartı ile elde edilen ısı miktarıdır ve kcal/kg olarak ifade edilir. Yoğunlaşma ısısına bağlı olarak üst ısı değer ve alt ısı değer şeklinde sınıflandırılır. Yanma esnasında kömüre ait hidrojen, oksijen ile birleşerek su buharı oluşturmaktadır, ayrıca kömürün içindeki suda buharlaşmaktadır ve buharların yoğunlaşması ile ortaya ek bir ısı çıkmaktadır ve buna kondansasyon ısısı denir. Bu kondansasyon ısısının da kalorifik güce eklenerek elde edilen ısıya üst ısı değer, eklenmeksizin direkt elde edilen ısıya ise alt ısı değer denir (Ünalın, 2010).

2.3.2.2. Rock-Eval ve Piroliz Analizleri

Laboratuvar çalışmaları kapsamındaki analizler Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO)'nın AR-GE Merkezi Laboratuvarlarında (Ankara) gerçekleştirilmiştir. Organik jeokimyasal analizler (toplam organik karbon ve piroliz analizleri), Rock-Eval 6/ TOK Turbo model cihaz kullanarak gerçekleştirilmiştir, "Turbo" biri piroliz işlemleri, diğeri ise oksidasyon işlemleri için olmak üzere iki kızıl ötesi dedektörden oluşmaktadır ve iki dedektör sayesinde iki fırın birbirine paralel çalıştırılabilmektedir. Kalibrasyon standardı olarak IFB 160,000 kullanılmıştır. Numuneler 300 °C'den (tutma süresi 3 dakika) 650 °C'ye 25 °C/dakikada ısıtılarak, öğütölmüş kaya, oksidasyon için 25 °C/dakikada 400 °C'den (tutma süresi 3 dakika) 850 °C'ye (tutma süresi 5 dakika) ısıtılmıştır. Analizi için yaklaşık 100 mg toz haline getirilmiş kömür örneğı, direkt olarak Rock-Eval eritme kabında tartılmaktadır. Bu maden eritme kabı, Rock-Eval robotu ile piroliz ocağına yüklenmektedir. Daha sonra örnekler, 3 dakika ve 300 °C'de nitrojen altında eritilip S₁ piki ölçölmektedir, sonra dakikada 25 °C olmak üzere kademeli olarak 650 °C kadar arttırılıp S₂ piki tespit edilmektedir. Bundan sonra, örnekler 3 dakikadan daha fazla bir süreçte soğutulmaya bırakılarak 300 °C'ye kadar soğutulularak S₃ piki ölçölmektedir. Çalışma boyunca, çıkan CO ve CO₂ 'nin kesin değeri ve oksitlenen toplam organik karbonu hesaplamak için software kullanılmaktadır. Bu analiz sürecinde S₁, S₂, S₃ ve S₄ pikleri ile T_{max}, piroliz edilebilen karbon (PC) ve rezidüel karbon (RC) parametre değeri ölçölmektedir.

Bu çalışmada İğdekuzu (Ömerler sahası, Tunçbilel-Kütahya) yeraltı ocağı, tabandan 10, orta kesimden 10 ve tavandan 10 adet olmak üzere toplam 30 adet örneğı Rock-Eval/TOK ve piroliz analizi uygulanmıştır. Organik jeokimyasal analizlerin uygulama yöntemleri, analiz sonucundan elde edilen verilerin kullanılması ve yorumlanması aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

Toplam Organik Karbon (TOK): Toplam organik karbon (TOK) terimi kömürlerin ve sedimanter kayaçların hidrokarbon üretim potansiyelini belirlemek için kullanılmakta olup, kısaca kayacın içermiş olduğu organik madde miktarını ifade etmektedir. TOK değerleri dönüştürülebilir karbon, ekstrakt edilebilir karbon (EOM) ve kalıntı (rezidüel) karbon fraksiyonu olarak üç bileşen içermektedir (Merril vd., 1991). Dönüştürülebilir karbon bir kayacın petrol-gaz oluşturma potansiyelini temsil etmekte olup kerojen içerisinde bulunmaktadır. EOM kayaçtan üretilen ancak dışarıya atılmayan organik karbon miktarını göstermektedir ve kerojenin ısısal parçalanması ile elde edilmektedir. Rezidüel karbon kerojenin bir parçası olup kimyasal yapısından dolayı gaz ya da petrol türetme potansiyelinde olmayan organik karbonu tanımlamak için kullanılan terimdir (Merril vd., 1991). Kayacın veya kömürün TOK miktarını belirlemek için birden fazla analiz yöntemi vardır, bu çalışmada Rock-Eval birleşik piroliz-oksidasyon yöntemi (Merril vd., 1991) ve Rock-Eval 6 (RE-6) cihazı kullanılmıştır.

TOK (% ağırlık) değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir:

$$\text{TOK (\% ağırlık)} = \text{PC} + \text{RC} \text{ ya da } [k(S_1 + S_2)/10] + [S_4/10] \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Bu eşitlikte:

PC: Pirolize Edilebilir Karbon,

RC: Rezidüel (Kalıntı) Karbon,

k: 0.83 (atomik ağırlık cinsinden hidrokarbonlarda bulunan ortalama karbon içeriği değeridir, Fakat analiz edilen örnek inertinitçe zengin içeriğe sahipse bu k değeri 0.89' a kadar çıkartılabilir (Jarvie, 1991),

S₁: Kayaç içerisindeki serbest halde bulunan hidrokarbon miktarı,

S₂: Kerojenin ısısal parçalanması ile açığa çıkan hidrokarbon miktarı,

S₃: Kerojenin ısısal parçalanması ile açığa çıkan CO₂,

S₄: S₂ pikinin belirlenmesinden sonra arta kalan organik karbon miktarını belirtir.

Piroliz (Rock-Eval) Analizleri: Rock-Eval cihazı kullanılarak organik maddenin piroliz analizi gerçekleştirilmektedir. Piroliz herhangi bir organik çözücüde çözünmeyen kerojenin ısısal olarak parçalanmasına denir. Piroliz analizi sonuçlarından yola çıkarak, kayacın içermiş olduğu organik madde tipi, termal olgunluğu ve hidrokarbon türetme potansiyeli tespit edilebilmektedir (Lafargue vd., 1998; Qiao vd., 2021).

Bu analiz sürecinde S₁, S₂, S₃ ve S₄ pikleri ile T_{max}, piroliz edilebilir karbon (PC) ve rezidüel karbon (RC) parametre değerleri ölçülmektedir ve bu değerler kullanılarak hidrojen indeksi (HI), oksijen indeksi (OI), üretim indeksi (PI), potansiyel ürün (PÜ),

hidrokarbon tip indeksi (S_2/S_3) ve bitümen indeksi (S_1/TOK) parametre değerleri hesaplanmaktadır.

S₁ piki kayaç içerisindeki serbest halde bulunan hidrokarbon miktarını temsil eder ve bu pik değeri kullanılarak potansiyel ürün (PÜ), üretim indeksi (PI) ve S_1/TOK parametreleri hesaplanmaktadır, S_1 değeri genellikle derinlik arttıkça artış göstermektedir ve S_1 değerine göre kaynak kaya olma potansiyeli Tablo 1 gösterilmiştir.

Tablo 1. Kaynak kaya hidrokarbon üretme potansiyeli tespiti için kullanılan S_1 sınır değerleri (Peters ve Cassa (1994))

S₁ (mg HC/g kaya)	Kaynak Kaya Potansiyeli
0.00-0.50	Zayıf
0.50-1.00	Orta
1.00-2.00	İyi
2.00-4.00	Çok İyi
>4.00	Mükemmel

S₂ piki, S_1 pikinin elde edilmesinden sonra (300 °C de) ısı 600 °C'ye ulaşmaya kadar dakikada 25 °C arttırılarak ısıtılmaya devam eder ve 300-600 °C sıcaklık arasında kayaçta mevcut hidrokarbona dönüşmemiş olan kerojenin, ısısal parçalanması sonucu açığa çıkan hidrokarbonlar S_2 pikini oluşturur. S_2 piki kullanılarak PI, HI, PÜ parametreleri elde edilir ve bu parametreler yardımıyla organik madde tipi (Tip-I, Tip-II, Tip-III, ve Tip- IV kerojen), organik madde olgunluğu gibi kaynak kaya özelliklerini belirten veriler elde edilir. Ayrıca S_2 piki kaynak kayanın hidrokarbon oluşturma potansiyeli hakkında bilgi verir (Tablo 2).

Tablo 2. Kaynak kaya hidrokarbon üretme potansiyeli tespiti için kullanılan S_2 sınır değerleri

S₂ (mg HC/g kaya)	Kaynak Kaya Potansiyeli	S₂ (mg HC/g kaya)	Kaynak Kaya Potansiyeli
(Espitalié vd, 1977)		(Peters ve Cassa, 1994)	
0.00-2.00	Zayıf	0.00-2.50	Zayıf
2.00-4.00	Orta	2.50-5.00	Orta
>4.00	İyi	5.00-10.00	İyi
		10.00-20.00	Çok İyi
		>20.00	Mükemmel

S₃ piki, piroliz işlemi sırasında sıcaklığın 300 - 390 °C olduğu anda kerojenin ısısal parçalanmasıyla ortaya çıkan organik CO₂ miktarını temsil etmekle birlikte, kerojenin içermiş olduğu oksijenin de göstergesidir. S₃ piki yardımıyla organik madde tipi, olgunluğu gibi nicelikleri belirten oksijen indeksi (OI) ($S_3 \times 100 / TOK$) ve S₂/S₃ parametreleri elde edilmektedir.

S₄ piki, bir kayanın veya kömürün kalıntı (rezidüel) karbon içeriği olarak bilinir. S₂ pikinin belirlenmesinden sonra arta kalan organik karbonun 600 °C sıcaklıkta hava/oksijen atmosferi etkisinde oksidasyonu sonucunda ölçülen miktarıdır ve aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır;

$$S_4 = 10 \times TOK - [0.83 \times (S_1 + S_2)] \text{ veya } S_4 = RC \times 10 \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Bu eşitlikte:

TOK: Toplam Organik Karbon,

S₁: Kayaç içerisindeki serbest halde bulunan hidrokarbon miktarı,

S₂: Kerojenin ısısal parçalanması ile açığa çıkan hidrokarbon miktarı,

RC: Rezidüel (Kalıntı) Karbon miktarını ifade etmektedir,

T_{max}, kerojenin parçalanıp, S₂ değerinin maksimum değere ulaştığı andaki sıcaklığı temsil etmektedir. Tmax değeri organik maddenin termal olgunluğunu belirlemek için kullanılmaktadır. Tmax sınır değerlerine göre kaynak kaya olgunluk sınıflandırılması aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. T_{max} sınır değerlerine göre kaynak kaya olgunluk sınıflandırılması (Espitalie, vd., 1977 ve 1985)

T _{max} (°C) Değeri	Olgunluk Düzeyi	Tip I Kerojen	Tip II Kerojen	Tip III Kerojen	Olgunluk Düzeyi
<430-435	Olgunlaşmamış	<440 °C	<425 °C	<435 °C	Olgunlaşmamış
430-460	Petrol Penceresi	440-448 °C	425-450 °C	435-465 °C	Petrol Penceresi
455-465	Gaz Penceresi	>448 °C	>450 °C	>465 °C	Gaz Penceresi

Hidrojen İndeksi (HI), kaynak kayadaki organik madde miktarıyla orantılı olarak üretilen hidrokarbon oranını gösterir ve S₂/TOKx100 (gram TOK başına miligram hidrokarbon miktarı) ifadesi ile tanımlanır (Mc Carthy ve diğ., 2011; Dembicki, 2016). Araştırmacılar Hidrojen içeriğini göz önünde bulundurarak farklı sınıflandırmalar yapmışlardır (Tablo 4).

Tablo 4. HI değerlerine göre organik madde türü, ürün eğilimi ve sedimanter ortam (Jones 1984)

HI Değeri (mg HC/g Corg)	Organik Madde Türü/Ürün Eğilimi/Sedimanter Ortam
<50	Tip IV (Gaz eğilimine sahip)
50-200	Tip III (Gaz/Petrol eğilimine sahip/ genellikle karasal)
200-350	Tip II/III (Karışık Gaz/Petrol eğilimine sahip)
350-700	Tip II (Petrol eğilimine sahip / genellikle denizel)
>700	Tip I (Petrol eğilimine sahip / genellikle gölsel)

Oksijen İndeksi (OI), kaynak kayadaki organik madde miktarına bağlı olarak üretilen karbondioksit (CO_2) miktarını yani kerojen içinde bulunan oksijen miktarını gösterir ve $S_3/TOK \times 100$ (gram TOK başına miligram karbondioksit miktarı) ifadesi ile tanımlanır (Mc Carthy vd., 2011; Dembicki, 2016). OI, HI ile birlikte kullanıldığı zaman termal olgunluk ve kaynak kaya tipi hakkında bilgi verir (Tissot ve Welte 1984, Peters 1986, Merrill, 1991).

Potansiyel Ürün (PÜ), Potansiyel ürün, yeteri kadar olgun olan bir kaynak kayanın maksimum olarak üretebileceği hidrokarbon miktarını temsil etmekte olup, hidrokarbon potansiyeli, petrol potansiyeli, potansiyel verim ve jenetik potansiyel gibi terimlerle de anılmaktadır ve S_1+S_2 toplamı ile tanımlanır (Mc Carthy ve diğ., 2011). Potansiyel ürün ve kaynak kaya potansiyeli arasındaki ilişki Tablo 5 verilmiştir.

Tablo 5. Potansiyel ürün ve kaynak potansiyeli arasındaki ilişki (Tissot ve Welte, 1984)

PÜ (mg HC/g kaya)	Kaynak Kaya Potansiyeli
<2	Yok
2-6	Orta
>6	İyi

Üretim İndeksi (PI), Organik madde evrimini karakterize etmek için kullanılan üretim indeksi $S_1/(S_1+S_2)$ ifadesi ile tanımlanır ve ince taneli kayalar için derinlikle birlikte dereceli olarak artış eğilimindedir ve dolayısıyla olgunlukla birlikte artış gösterir (Mc Carthy vd., 2011), Yüksek PI değerleri organik maddenin olgunluğunu gösterirken düşük PI değerleri olgun olmadığını işaret etmektedir (Tablo 6).

Tablo 6. Üretim indeksi (PI) değer aralıklarında kaynak kaya olgunluk seviyeleri

PI (S_1/S_1+S_2)	Olgunluk Seviyesi	PI (S_1/S_1+S_2)	Olgunluk Seviyesi
(Espitalié vd, (977)		Peters ve Cassa (1994)	
0.00-0.08	Olgunlaşmamış	<0,10	Olgunlaşmamış
0.08-0.50	Olgun (Petrol penceresi)	0,10-0,25	Erken
>0.50	Aşırı Olgun (Gaz penceresi)	0,25-0,40	Olgun
		>0,40	Aşırı Olgun

Piroliz Edilen Karbon (PC), TOK' un piroliz edilen kısmını ifade etmek için kullanılan bir parametredir, PC kayaçta hidrokarbon oluşturma potansiyeli bulunan kalıntı hidrokarbon miktarı ($0.083 \times S_2$) ile serbest halde bulunan hidrokarbonların miktarı ($0.83 \times S_1$) ile temsil etmektedir (Espitalié vd., 1982), S_2 değeri olgunlaşmamış kayaçlarda yüksekken, S_1 değeri aşırı olgun kayaçlarda daha yüksektir.

Kalıntı (Rezidüel) Karbon (RC), Kerojenin içerisinde bulunan ancak kimyasal yapı ve bileşimi nedeniyle hidrokarbon oluşturma potansiyeline sahip olmayan karbon miktarını temsil etmektedir ve S_4 piki değerine bağlı olarak $RC = S_4/10$ eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır (Espitalié vd, 1977).

Hidrokarbon Tip İndeksi (S_2/S_3), S_2 ve S_3 parametrelerinin oranından hesaplanmaktadır ve TOK verilerinin eksikliğinde kerojen tipi ve hidrokarbon belirlenmesinde kullanılmaktadır (Clementz vd., 1979; Peters ve Cassa, 1994), Bu oran aynı zamanda HI/OI ilişkisine benzerlik göstermekte ve H/C oranını yansıtmaktadır ve aşağıdaki sınıflamalar kullanılmaktadır (Tablo 7).

Tablo 7. S_2/S_3 oranına bağlı kerojen tipi ve hidrokarbon türetme potansiyeli (Clementz vd., 1979)

S_2/S_3	Kerojen Tipi/Hidrokarbon türetme potansiyeli
0.00-2.50	Tip III Kerojen / Gaz potansiyeli
2.50-5.00	Tip II Kerojen /Gaz/Petrol potansiyeli
>5.00	Tip I veya Tip II /Petrol potansiyeli

Bitüm İndeksi (S_1/TOK), Serbest hidrokarbonların toplam organik karbona olan oranını temsil eder ve rezervuar kayaların veya kaynak kayaların termal olgunluğunu tanımlamak için kullanılır (Jarvie ve Baker, 1984). Bitüm indeksi, literatürde petrol doygunluk indeksi ve göç indeksi gibi isimlerle de ifade edilmektedir. Bitüm indeksi >0.2 ise kaynak kayadan çok fazla petrol dışarı atılmıştır, 0.1 – 0.2 aralığında kaynak kaya

dışarıya petrol atmaya başlamıştır 0 – 0.1 aralığında ise kaynak kayadan dışarıya petrol atımı gerçekleşmemiştir (Hunt, 1996).

2.3.2.2.1. Organik Madde Miktar

Toplam organik karbon miktarı, kaya içindeki serbest halde bulunan hidrokarbonların ve kerojene ilişkin karbon miktarının toplamına eşittir ve TOK parametresi ile ifade edilmektedir (Tissot ve Welte, 1984). Kayanın içermiş olduğu organik madde miktarı 5 ana faktörle kontrol edilmektedir; 1- fizikokimyasal koşullar, 2- birincil biyolojik üretkenlik, 3- kayanın tane boyu, 4- sedimantasyon hızı, 5- kayanın türü. Kayaç içerisindeki organik madde miktarı ya da hidrokarbon üretme potansiyeli toplam organik karbon miktarı ile orantılıdır. Bu nedenle toplam organik karbon miktarı kaynak kaya potansiyelinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Genel olarak kırıntılı kayaçlarda toplam organik karbon miktarı $>0.5\%$, karbonat ve evaporitlerde $>0.3\%$ ise kaynak kaya potansiyeli taşımaktadır (Tissot ve Welte, 1984), ancak bazı araştırmacılar tarafından farklı sınıflandırmalarda yapılmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. TOK içeriğine göre kaynak kaya olma potansiyeli (Jarvie, 1991)

% TOK Değeri	Kaynak Kaya Potansiyeli
0.00-0.50	Yetersiz
0.50-1.00	Orta
>1.00	Yeterli

2.3.2.2.2. Organik Madde Tipi

Organik maddenin menşei (Karasal ve denizel) hidrokarbon kalitesini üretimini hem nicelik hemde nitelik bakımından etkilemektedir. Denizel kökenli organik maddeler genellikle petrol oluştururken, karasal kökenli organik maddeler ise gaz ve kömür oluştururlar ve bu durum organik maddenin kimyasal yapısı ve bileşimi ile doğrudan ilişkilidir. Hiçbir organik çözücüde çözünmeyen organik madde bileşenine kerojen, organik çözücülerde çözülen organik madde bileşenine ise bitüm denir. Bundan dolayı kerojen tipi kaynak kaya ve hidrokarbon üretimini doğrudan etkilemektedir. Kökenlerine, oksijen ve hidrojen içeriğine göre kerojenler dört grupta toplanmışlardır:

Tip I Kerojen: Yüksek H/C, düşük O/C oranına sahip, yani yüksek hidrojen, düşük oksijen içeriğine sahiptir. Genellikle göl ortamında oluşan alg ve planktonlardan oluşan (Mc Carthy vd., 2011) ve petrol üretimine meyilli olan kerojen tipidir.

Tip II Kerojen: H/C içeriği Tip I kerojene göre düşük, O/C içeriği Tip I kerojene göre daha yüksek olan başlıca bakterilerden ve planktonlardan denizel ortamda oluşan kerojen tipidir (Mc Carthy vd., 2011), Petro ve gaz oluşturma potansiyeli yüksektir.

Tip III Kerojen: Başlıca karasal, sığ veya derin denizel ortamlarda karasal bitki kalıntılarından türemiş organik maddeden oluşmaktadır. Hidrojen indeksi düşük, oksijen indeksi ise yüksektir (Mc Carthy vd., 2011), Bundan dolayı kuru gaz ve bataklık ortamlarında kömür oluşturma eğilimindedirler.

Tip IV Kerojen: Yaşlı tortular içinde bulunan kalıntı (rezidüel) organik maddeden oluşan kerojen tipidir, Tip III kerojene benzemekle beraber, daha düşük H/C ve daha yüksek O/C içeriğine sahiptir ve petrol yada gaz türetme potansiyeline sahip değildir (Mc Carthy vd., 2011).

2.3.2.2.3. Organik Maddenin Olgunluğu

Kaynak kayanın hidrokarbon türetebilmesi için yeterli miktarda organik madde içermesi ve bu organik maddenin yeterli termal olgunluğa maruz kalması, yani kerojenin ısısal olarak parçalanması gerekmektedir. Organik maddenin ısısal olarak parçalanması için, organik maddeyi içeren sedimanter kayacın basınç, sıcaklık ve belli bir süre sonunda sırasıyla diyajenez, katajenez ve metajenez evrelerini geçirip fiziksel ve kimyasal olarak birtakım değişikliklere maruz kalması gerekmektedir (Tissot ve Welte, 1984). Kaynak kayanın termal olgunluğunu belirlemek için organik petrografik (Vitrinit yansıtma değeri= %Ro) ve organik jeokimyasal analizler yapılmaktadır. Organik jeokimyasal analiz neticesinde elde edilen PI, T_{max} değerleri, T_{max} ve HI parametreleri arasındaki ilişki olgunlaşmayı yorumlamak için oldukça elverişli yöntemlerdir (Peters, 1986). T_{max} değeri organik madde piroliz edilirken kerojenin termal olarak parçalanması neticesinde açığa çıkan hidrokarbonun maksimuma eriştiği andaki sıcaklık olarak ifade edilmektedir (Espitalie vd., 1977), olgunlaşma arttıkça T_{max} değeri de artmaktadır. PI değeri kaynak kaya serbest sıvı hidrokarbonların potansiyel verime olan oranını tanımlamak için kullanılır, olgunluk arttıkça bu değer de artar (Espitalie vd., 1977). Ayrıca vitrinit yansımaları sedimanter kayaçların termal olgunluğunu ölçmede oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Vitrinit yansıma değeri parlatılmış kayaç yüzeyine düşürülen ışığın yansımalarının yüzde olarak ifade edilmesi ile tespit edilmektedir (Kilby, 1988). Son zamanlarda, T_{max} değerleri baz alınarak hesaplanan vitrinit yansımaları değerlerine dayanarak olgunlaşma değerlendirilmesi sıklıkla yapılmaktadır ve Jarvie vd, (2001)'nin geliştirdiği aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Saydam Eker ve Arı, 2023);

$$[Ro = (0.018 \times T_{max}) - 7.16]$$

(Eşitlik 3)

Organik madde olgunluğunu değerlendirmek için çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen bir çok sınıflandırma yapılmıştır, bunlardan bir tanesi aşağıda verilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Çeşitli parametrelere göre olgunlaşma seviyeleri (Peters ve Cassa, 1994)

T_{max}	PI	Ro (%)	Olgunlaşma Seviyesi
<435 °C	<0.10	0.2-0.6	Olgunlaşmamış
435-445 °C	0.10-0.15	0.6-0.65	Erken Olgun
445-450 °C	0.15-0.40	0.65-0.90	Olgun
450-470 °C	>0.40	0.90-1.35	Geç Olgun
>470 °C	-	>1.35	Aşırı Olgun

2.3.2.2.4. Hidrokarbon Potansiyeli

Hidrokarbon oluşturma potansiyeli bir tortul kayaç içerisinde dışarı atılmamış serbest hidrokarbonlar (S_1) ile kayaç içerisinde hidrokarbona henüz dönüşmemiş olan ve ısısal parçalanma ile ortaya çıkarılan hidrokarbonların (S_2) miktarının toplamı (S_1+S_2) ile tespit edilmektedir (Tissot ve Welte, 1984). Kömürün potansiyel hidrokarbon kaynak kayası olabilmesi için, minimum miktarda %15-20 oranında liptinit içermesi gerekmektedir, liptinit hidrokarbonu oluşturan ana maddedir (Fowler vd., 1991; Hunt, 1991), Kömürlerin katajenezi esnasında az miktarda hidrokarbon türettiğine dair deliller mevcuttur, ancak şimdiye kadar ticari değerde petrol birikimi elde edilmemiştir, bununla birlikte ticari değerde gaz türetebilirler. Kömürler genellikle karasal yüksek bitkilerden, karasal veya paralik ortamlarda oluşurlar ve Tip III kerojen içerirler, Bunun aksine, petrol sucul bitki ve bakterilerin baskın olduğu denizel ve gölsel ortamlarda oluşurlar, Tip I ve Tip II kerojen içerirler (Tissot ve Welte, 1984). Kömürün sıvı hidrokarbon kaynak kayası olması konusunda hala tartışmalar devam etmektedir. Bununla birlikte son yapılan çalışmalar, kömürün önemli bir sıvı hidrokarbon kaynağı ve ticari anlamda ham petrol rezervuarı için kaynak kaya olabileceği konusunda ortak görüşler vardır (Boreham ve Powell, 1993; Peterson, 2002; Hoş-Çebi, 2007). Tersiyer ve Karbonifer yaşlı kömürler kullanılarak, vitrinit yansıması ($\%Ro = 0.85 - 0.90$ ve >1.6) değerleri büyük olan kömürlerde petrol türümünün gerçekleşebileceği belirtilmiştir.

2.3.2.3. Gaz Kromatografi (GC) Analizi

Analiz için belirli konsantrasyonlarda hazırlanan örnekler bir enjektör yardımı ile enjeksiyon bölümüne yerleştirilir. Analiz işlemi inert olan helyum atmosfer ortamında

gerçekleştirilmektedir. Helyum atmosferi kirlenmeyi ve okside olmayı engelleyerek daha doğru ve gerçek sonuçların elde edilmesi için kullanılmaktadır. Enjeksiyon sonrası fırın içerisinde olan kolon bölümüne giden örnek 40 °C’de 8 dakika bekletildikten sonra dakikada 4 °C arttırılarak hedef sıcaklık 270 °C’ye getirilip bu sıcaklıkta 60 dakika bekletilmektedir. Isıtılma sırasında kolon içerisinde kaynama noktaları farklı olan moleküller farklı sıcaklıklarda buharlaşarak dedektörde ölçülmektedir. Ölçümler sonrasında yatay eksen zaman ve düşey eksen bolluk olan tablolarda değişik moleküllerin pik dağılımları görülmektedir. Pik dağılımı ve boylarına bakılarak organik maddenin tipi ve olgunluğu hakkında yorumlamalar yapılabilmektedir.

Bu tez kapsamında Gaz Kromatografi (GC) analizi tüm özüt üzerinden gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda C₁₂-C₃₆ aralığında dağılım gösteren n-alkanlar ve izo-alkanlar elde edilmiştir (Tablo 10). Elde edilen sonuçlar kullanılarak Pristan/Fitan (Pr/Ph), Pr/n-C₁₇, Ph/n-C₁₈, Karbon tercih indeksi (CPI), tek-çift n-alkan baskınlık değeri (OEP), Mumluluk indeksi (WI), Karasal/sucul organik madde oranı (TAR), batık veya yüzen makrofit ve fitoplanktonların, yüksek kara bitkilerine oranı (Paq), damarlı bitki girdisi ve iklim koşullarını Pwax, ACL (n-alkan ortalama zincir uzunluğu) parametreleri hesaplanmıştır.

n-alkan dağılımı organik maddenin tipini, çökme ortamını, termal olgunluğunu ve biyolojik bozunma derecesini yorumlamak için kullanılmaktadır. Gaz kromatogramında yüksek karbon numaralı n-alkan (nC₂₃-nC₃₀) baskın ise veya bimodal bir dağılım var ise organik maddenin hakim olarak karasal yüksek bitkilerden oluştuğunu göstermektedir. Aynı şekilde nC₂₃-nC₃₃ gibi yüksek moleküler ağırlığına ve tek karbon sayısına sahip olan n-alkanlar da karasal yüksek bitki girdisine işaret etmektedir (Waples, 1985; Tissot ve Welte, 1984). Düşük moleküler ağırlıklı ve tek karbon numaralı n-alkanlar ise algal organik madde hakimiyetine işaret etmektedir.

Pr/Ph oranı, çökme ortamının redoks şartlarını göstermekle birlikte (Didky vd., 1978), yüksek Pr/Ph oranı organik maddedeki damarlı bitki katkısını ve ortamın oksijenli olduğunu yansıtmaktadır. Kömürler karasal (Bataklık) ortamlarında oluştuğu için bu oran genellikle yüksektir (>1) (Korkmaz ve Kara Gülbay, 2007; Yalçın Erik ve Ay, 2013; Hoş-Çebi ve Korkmaz, 2013; Saydam Eker vd., 2016).

Pr/C₁₇ ve Ph/C₁₈ (İzeprenoid/n-alkan) parametreleri korelasyon çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Fitan oranının yüksek olması indirgen ortamı gösterirken pristan oranının yüksek olması oksijenli ortama işaret etmektedir.

CPI, organik jeokimya çalışmalarında oldukça yaygın kullanılmakta olup, organik madde tipi, çökme ortamı ve termal olgunluğu tespit etmeye yaramaktadır. Ayrıca kuru

ve soğuk paleoklim şartlarının hakim olduğu alanlarda CPI değeri yüksek, nemli ve ılık paleoklimin hakim olduğu ortamlarda ise CPI değeri düşük olarak hesaplanmaktadır (Waples, 1985), CPI (Peters ve Moldowan, 1993), ve OEP aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$CPI = \frac{2(C23+C25+C27+C29)}{[C22+2(C24+C26+C28)+C30]} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

$$OEP = \frac{(C21+6C23+C25)}{(4C22+4C24)} \quad (\text{Scalan ve Smith, 1970}) \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Benzer şekil de yüksek TAR değerleri (>1) karasal organik maddeyi gösterirken, düşük TAR değerleri (<1) algal (denizel) organik maddeye işaret etmektedir. TAR aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır (Bourbonniere ve Meyers, 1996);

$$TAR = \frac{(nC27+nC29+nC31)}{(nC15+nC17+nC19)} \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Tablo 10. Seçilen örneklerle ait gaz kromatografi analiz sonuçları

n-alkan	Örnek no		
	TB-8	OR-5	TV-9
n-C ₁₂	0.10440	-	-
n-C ₁₃	0.1783	-	0.02924
n-C ₁₄	0.24905	0.07514	0.04442
n-C ₁₅	0.15151	-	-
n-C ₁₆	0.18658	0.06811	0.0787
n-C ₁₇	0.16749	0.07683	0.04012
Pristane	1.38619	3.81014	3.28798
n-C ₁₈	0.3161	0.18541	0.4688
Phytane	0.57461	0.80978	1.23368
n-C ₁₉	0.47803	0.52537	0.17811
n-C ₂₀	0.40379	0.50194	0.15909
n-C ₂₁	0.79134	0.09862	0.59464
n-C ₂₂	0.87015	1.38355	0.68994
n-C ₂₃	1.49313	2.51588	1.46411
n-C ₂₄	1.6958	2.88198	1.80124
n-C ₂₅	3.17547	5.26538	3.53325
n-C ₂₆	1.95431	2.87275	2.85942
n-C ₂₇	2.81966	4.47123	3.91554
n-C ₂₈	2.09669	2.72983	3.43422
n-C ₂₉	2.8288	3.67171	3.8318
n-C ₃₀	1.97744	3.37777	3.06159
n-C ₃₁	2.94662	4.82848	3.67966
n-C ₃₂	1.49886	1.71553	2.17204
n-C ₃₃	2.62225	4.25615	3.40251
n-C ₃₄	1.06221	0.98383	1.66618
n-C ₃₅	0.6332	0.8939	1.06727
n-C ₃₆	-	-	0.42335

Sedimanlardaki organik maddenin kaynağını tespit etmek için genellikle n-alkan karbon zincir uzunlukları kullanılmaktadır (Meyers ve Ishiwatari, 1993). Kısa zincirli n-alkanlar (<C₂₀, tek çift n-alkan gözetmeksizin) bakteriler ve sucul alg kaynağını gösterirken, uzun zincirli n-alkan (C₂₇-C₃₅) ve tek-çift karbon baskınlığı ise damarlı bitki kaynaklarını işaret etmektedir (Meyers ve Ishiwatari, 1993). Orta zincirli n-alkanlar (C₂₃-C₂₅) bir çok kaynağı, hem Sphagnum (Yosun) türlerini hemde sucul bitkileri gösterebilir (Bass vd., 2000; Nott vd, 2000), Bunun yanı sıra kömürlerin içermiş olduğu bitki türlerini

saptamak için Paq parametresi kullanılmaktadır. Orta ve Yüksek Paq değeri sucul bitkilerle birlikte nispeten yağışlı ve nemli iklimi temsil etmektedir. Paq değeri <0.1 ise karasal bitki girdisi, 0.1-0.4 arasında ise su yüzeyine çıkmış bitkileri, 0.4-1 ise su altı bitkilerini temsil etmektedir (Fisken, 2000). Aynı amaçla kullanılan bir diğer parametre ise Pwax olup, yüksek Pwax değerleri genellikle kuru iklim koşullarındaki damarlı bitki girdisini gösterirken, düşük değerler nispi nemli iklim koşullarını işaret etmektedir (Zheng vd., 2007). Aynı durum ACL değerleri içinde geçerlidir. Yüksek ACL değerleri soğuk ve kuru iklim şartlarında yaşayan damarlı bitki girdisi baskınlığını gösterirken düşük olması nemli ve ılık iklimi yansıtmaktadır. Paq, Pwax (Ficken vd., 2000) ve ACL (Poynter vd, 1989) aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmaktadır;

$$Paq = \frac{(nC23+nC25)}{(nC23+nC25+nC29+nC31)} \quad (\text{Eşitlik 7})$$

$$Pwax = \frac{(nC27+nC29+nC31)}{(nC23+nC25+nC27+nC29+nC31)} \quad (\text{Eşitlik 8})$$

$$ACL = \frac{(25 \times nC25 + 27 \times nC27 + 29 \times nC29 + 31 \times nC31 + 33 \times nC3)}{(nC25+nC27+nC29+nC31+nC33)} \quad (\text{Eşitlik 9})$$

Qwood/grass, Qgrass/plant ve Qwood/plant (Wood= odunsu, Plant=otsu, Grass=Çimensi) oranları aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmaktadır (Zheng vd., 2007),

$$Qwood/grass = \frac{(nC27)}{(nC31)} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

$$Qwood/plant = \frac{(nC27+nC29)}{(nC27+nC29+nC31)} \quad (\text{Eşitlik 11})$$

$$Qgrass/plant = \frac{(nC31)}{(nC27+nC29+nC31)} \quad (\text{Eşitlik 12})$$

3. BULGULAR

3.1.Giriş

Kömürler havanın oksijeni ile doğrudan doğruya yanabilen ve % 50 ile % 95 arasında serbest veya birleşik karbon içeren katı ve organik tortul kayaçlardır, Dünyada ve Türkiye’de ilk kömür yataklarının oluşumu Karbonifer zamanında (354 MY) başlamış ve Tersiyer zamanın sonuna (2 MY) kadar devam etmiştir. Ülkemizde Tersiyer yaşlı kömür havzaları oldukça yaygındır ve birçok araştırmacı tarafından da farklı amaçlarla incelenmişlerdir. Bu çalışmada, daha önce organik jeokimyasal araştırması yapılmamış olan Ömerler (Tunçbilek-Kütahya) linyitleri ele alınacaktır,

Ömerler (Tunçbilek-Kütahya) sahasına ait 2 adet örneğin (G8-1, G8-2) yaklaşık (proximate=kaba) analizi yapılmıştır. Ayrıca Ömerler sahası, İğdekuzu yeraltı işletmesine ait ve kömürü en iyi şekilde temsil eden kalın bir kömür damarının taban kısmından 10, orta kısmından 10 ve tavan kesiminden 10 olmak üzere toplam 30 adet örneğin organik jeokimyasal özelliklerini belirlemek için TOK ve piroliz (Rock-Eval/TOK) analizleri yapılmış ve değerlendirilmiştir.

3.2. Yaklaşık Analiz Sonuçları

Ömerler sahasına ait 2 adet örneğin yaklaşık analiz sonuçları ve hesaplanan ortalama değerleri Tablo 11’de verilmiştir. Havada kuru bazda kömürlerin nem içeriği %2.49 - %3.09 (ortalama %2.79) uçucu madde içeriği %33.78 – 34.07 (ortalama %33.93), kül içeriği %16.35 – 21.04 (ortalama %18.71), sabit karbon içeriği %42.71 – 45.90 (ortalama %44.31) arasında değişmektedir. Üst ısıl değeri 6027 – 6360 (ortalama 6194) ve alt ısıl değeri 5798 – 6117 (5958) arasında değişmektedir. Orijinal kömürün toplam kükürt içeriği 1.27 ile 1.52 arasında değişmekte olup, ortalama 1.40 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 11. Kömür örneklerinin yaklaşık (proksimate) analiz sonuçları

Örnek no	Orjinal kömür						
	Nem	Uçucu madde	Kül	Sabit karbon	Toplam kükürt	Üst ısı	Alt ısı
G8-1	18.04	28.99	13.01	30.05	1.27	5412	5123
G8-2	12.52	30.28	18.89	38.31	1.52	5407	5145
Ortalama	15.28	29.64	15.95	34.18	1.40	5410	5134
Örnek no	Havada kuru bazda						
	Nem	Uçucu madde	Kül	Sabit karbon	Toplam kükürt	Üst ısı	Alt ısı
G8-1	3.09	34.07	16.35	45.90	-	6360	6117
G8-2	2.49	33.78	21.06	42.71	-	6027	5798
Ortalama	2.79	33.93	18.71	44.31	-	6194	5958

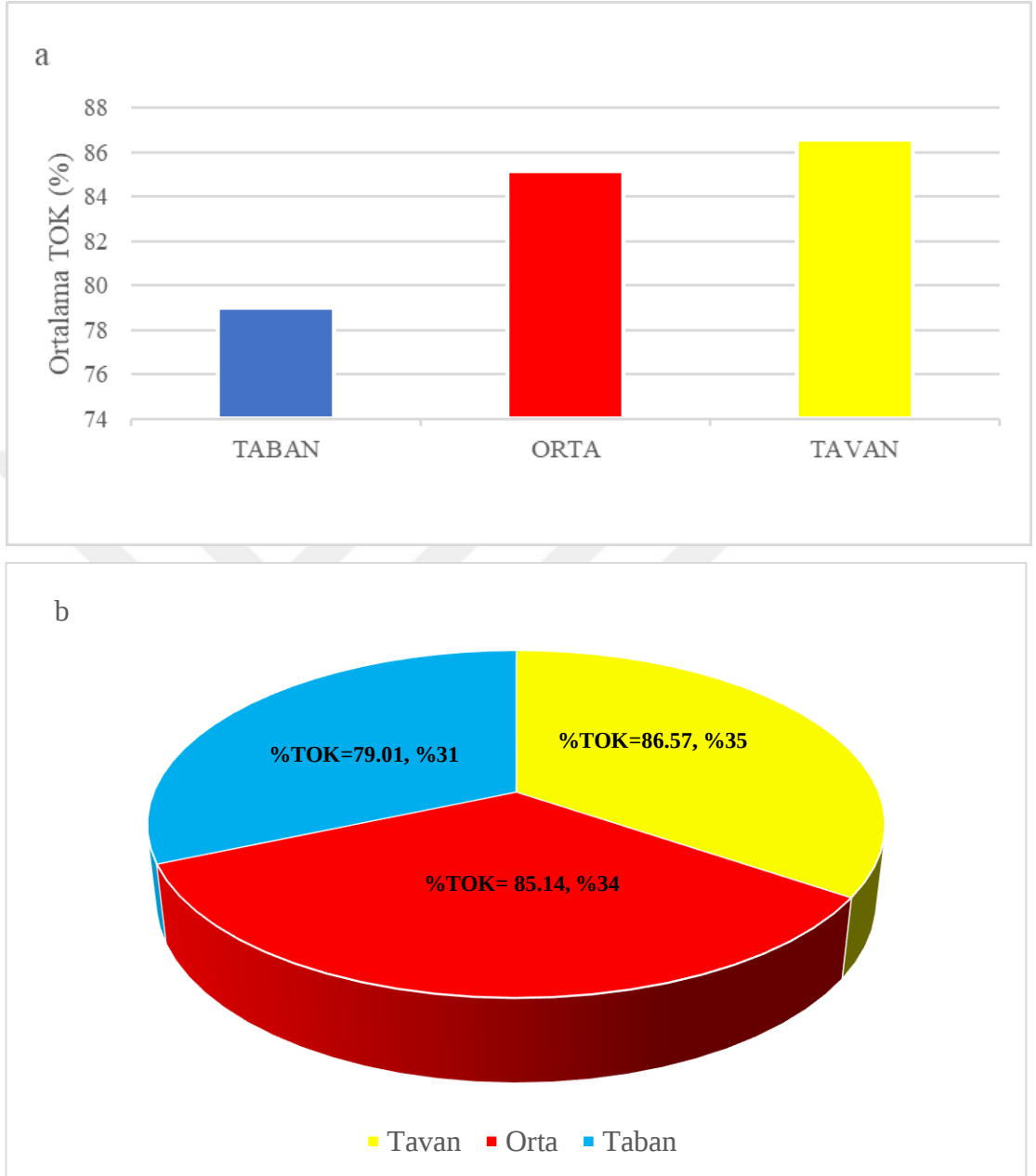
3.3. Piroliz (Rock-Eval)/Toplam Organik Karbon (TOK) Analizleri Sonuçları

Tunçbilek yöresi Ömerler sahası İğdekuzu yeraltı ocağı taban, orta ve tavan kesiminden seçilen toplam 30 adet örneğin toplam organik karbon (TOK) analiz sonuçları ve hesaplanan parametreler Tablo 12’de verilmiştir.

Buna göre örneklerin TOK miktarları ve ortalama değerleri şöyledir: tabandan alınan örneklerin TOK miktarı %61.49 - %87.55 arasında değişmekte olup ortalama %79.01 olarak hesaplanmıştır. Orta kısımdan alınan örneklerin TOK değerleri tabana göre daha yüksek olup %79.55 - %90.98 arasında değişmektedir ve ortalama %85.14 olarak hesaplanmıştır. Ancak en yüksek ve en düşük TOK değerleri tavan örneklerine ait olup, %57.93 - %97.14 arasında değişmektedir ve ortalama değeri %86.57 olarak hesaplanmıştır, Tavan örneklerin toplam TOK oranının %35’ini, orta kısım örnekleri %34’ünü ve taban örnekleri ise %31’ini içermektedir (Şekil 11a, b).

Piroliz (Rock-Eval) analizi, organik maddece zengin kayaçların içermiş olduğu kerojenin tipini, ısısal olgunluğu ve söz konusu kayaçların hidrokarbon oluşturma potansiyelini belirlemek için oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir (Lafargue vd., 1998; Qiao vd., 2021). Tunçbilek yöresi Ömerler sahası İğdekuzu yeraltı ocağından seçilen toplam 30 adet örneğin piroliz analizleri Tablo 12’de listelenmiştir. Kömür damarının taban, orta ve tavan kesiminden alınan örneklerin potansiyel indeks (PI) değerleri sırasıyla 0.02 – 0.05 (ortalama 0.04) mgHK/gkaya, 0.02 – 0.03 (ortalama 0.03) mgHK/gkaya ve 0.02 – 0.04 (ortalama 0.03) mgHK/gkaya olarak hesaplanmıştır. Taban, orta ve tavan kömürlerinin hidrojen indeksi (HI) değerleri sırasıyla 197 – 274 (ortalama 243) mgHK/gTOK, 176 – 215 (ortalama 200) mgHK/gTOK ve 170 – 206 (ortalama 193) mgHK/gTOK olarak hesaplanmıştır. Taban, orta ve tavan örneklerinin OI değerleri

sırasıyla, 3 - 4 (ortalama 3.3), 3 - 4 (ortalama 3.1) ve 2 - 4 (ortalama 3) mgCO₂/gTOK olarak ölçülmüştür.



Şekil 11. İncelenen kömür örneklerinin ortalama tok oranlarını gösteren a) histogram ve b) pasta diyagramı

Tablo 12. Kömür örneklerinin tok ve piroliz analiz sonuçları ve hesaplanan parametreleri

TAVAN	TOK	S ₁	S ₂	S ₃	T _{max}	HI	OI	PI	RC(%)	PC(%)	MINC(%)	BI	S ₂ /S ₃	PÜ	QI	% Ro
TV-1	97.14	4.61	165.1	2.21	442	170	2	0.03	82.66	14.48	1.28	0.05	74.71	170	1.75	0.8
TV-2	83.43	4.19	171.14	1.96	444	205	2	0.02	68.54	14.89	6.99	0.05	87.32	175	2.1	0.83
TV-3	91.37	5.81	175.58	2.33	442	192	3	0.03	75.95	15.42	1.39	0.06	75.36	181	1.99	0.8
TV-4	86.48	4.81	159.59	2.64	442	185	3	0.03	72.45	14.03	1.3	0.06	60.45	164	1.9	0.8
TV-5	57.93	3.13	104.64	2.58	441	181	4	0.03	48.7	9.23	1.31	0.05	40.56	108	1.86	0.78
TV-6	88	7.67	181.62	2.54	436	206	3	0.04	71.93	16.07	1.37	0.09	71.5	189	2.15	0.69
TV-7	94.25	5.78	189.01	2.58	440	201	3	0.03	77.7	16.55	1.36	0.06	73.26	195	2.07	0.76
TV-8	92.12	5.82	188.3	2.36	441	204	3	0.03	75.51	16.61	1.53	0.06	79.79	194	2.11	0.78
TV-9	88.8	6.46	172.28	3.16	442	194	4	0.04	73.49	15.31	1.13	0.07	54.52	179	2.01	0.8
TV-10	86.19	4.25	167.22	2.63	441	194	3	0.02	71.43	14.76	1.66	0.05	63.58	171	1.99	0.78
Ortalama	86.57	5.25	167.45	2.5	441.1	193.2	3	0.03	71.84	14.74	1.93	0.06	67.01	173	1.99	0.78
ORTA	TOC	S ₁	S ₂	S ₃	T _{max}	HI	OI	PI	RC(%)	PC(%)	MINC(%)	BI	S ₂ /S ₃	PÜ		% Ro
OR-1	83.1	4.11	148.59	2.29	442	179	3	0.03	69.95	13.15	1.29	0.05	64.89	153	1.84	0.8
OR-2	79.89	4.51	171.39	2.52	442	215	3	0.03	64.87	15.02	8.23	0.06	68.01	176	2.2	0.8
OR-3	83.07	5.02	169.14	2.75	441	204	3	0.03	68.21	14.86	1.38	0.06	61.51	174	2.1	0.78
OR-4	93.15	4.75	172.41	2.9	440	185	3	0.03	77.92	15.23	1.36	0.05	59.45	177	1.9	0.76
OR-5	81.93	5.57	186.26	2.35	441	227	3	0.03	65.6	16.33	1.6	0.07	79.26	192	2.34	0.78
OR-6	80.32	4.74	163.7	2.72	442	204	3	0.03	65.92	14.4	1.42	0.06	60.18	168	2.1	0.8
OR-7	84.42	5.41	177.74	2.99	439	211	4	0.03	68.81	15.61	1.33	0.06	59.44	183	2.17	0.74
OR-8	88.64	3.91	155.76	3.09	443	176	3	0.02	74.88	13.76	1.17	0.04	50.41	160	1.8	0.81
OR-9	85.92	4.49	175.13	2.81	441	204	3	0.02	70.35	15.57	1.63	0.05	62.32	180	2.09	0.78
OR-10	90.98	5.28	180.3	2.78	439	198	3	0.03	75.13	15.85	1.46	0.06	64.86	186	2.04	0.74
Ortalama	85.14	4.78	170.04	2.72	441	200.3	3.1	0.03	70.16	14.98	2.09	0.06	62.52	175	2.05	0.78

Tablo 12. Devamı

TABAN	TOC	S ₁	S ₂	S ₃	T _{max}	HI	OI	PI	RC(%)	PC(%)	MINC(%)	BI	S ₂ /S ₃	PÜ		% Ro
TB-1	87.55	4.35	172.25	2.24	440	197	3	0.02	72.37	15.18	1.66	0.05	76.9	177	2.02	0.76
TB-2	78.66	7.19	191.67	2.55	435	244	3	0.04	61.55	17.11	1.41	0.09	75.16	199	2.53	0.67
TB-3	82.63	5.79	191.34	2.37	440	234	3	0.03	64.8	16.83	1.09	0.07	80.73	197	2.39	0.76
TB-4	61.49	7.81	163.07	2.71	437	265	4	0.05	46.87	14.62	1.7	0.13	60.17	171	2.78	0.71
TB-5	81.64	6.45	181.92	2.46	441	223	3	0.03	65.6	16.04	1.97	0.08	73.95	188	2.31	0.78
TB-6	72.99	6.92	172.9	2.67	440	237	4	0.04	57.66	15.33	1.46	0.09	64.76	180	2.46	0.76
TB-7	83.9	8.81	219.35	2.97	438	261	4	0.04	64.54	19.36	2.48	0.11	73.86	228	2.72	0.72
TB-8	81.06	10.4	213.46	2.54	437	263	3	0.05	62.1	18.96	3.26	0.13	84.04	224	2.76	0.71
TB-9	78.96	6.18	181.37	2.3	442	230	3	0.03	63.03	15.93	3.27	0.08	78.86	188	2.38	0.8
TB-10	81.21	7.15	222.45	2.57	439	274	3	0.03	61.74	19.47	1.1	0.09	86.56	230	2.83	0.74
Ortalama	79.01	7.11	190.98	2.54	438.9	242.8	3.3	0.04	62.03	16.88	1.94	0.09	75.25	198	2.51	0.74

Taban kömürlerinin maksimum sıcaklık (T_{max}) değerleri 435 – 441 °C arasında değişmekte olup, ortalama değer 439 °C olarak hesaplanmıştır. Orta kısma ait kömürlerinin T_{max} değerleri taban kömürlerine göre daha yüksek olup 439 – 443 °C arasında değişmekte olup ortalama 441 °C olarak hesaplanmıştır. Tavan kısmın T_{max} değerleri, orta kömürlere benzer olup 436 – 442 °C arasında değişmekte olup ortalama 441 °C olarak tespit edilmiştir (Tablo 12). T_{max} değerlerine dayanarak hesaplanan vitrinit yansıma (%Ro) değerleri Taban kömürleri için 0.67 – 0.80 (ortalama 0.74), orta kömürler için 0.74 – 0.81 (ortalama 0.78) ve Tavan kömürleri için 0.69 – 0.83 (ortalama 0.78) olarak hesaplanmıştır. Taban kömürlerinin bitüm indeks (BI) ve kalite indeks (QI) değerleri sırasıyla 0.05-0.13, 2.02-2.78, Orta kömürlerin BI ve QI değerleri sırasıyla 0.04-0.07 ve 1.80-2.34, Tavan kömürlerin BI ve QI değerleri sırasıyla 0.05-0.09 ve 1.75-2.15 arasında değişiklik göstermektedir (Tablo 12).

3.4. Moleküler Jeokimya Analiz Sonuçları

Tunçbilek yöresi Ömerler sahası İğdekuzu yeraltı ocağı taban, orta ve tavan kesiminden toplanan örneklerin TOK ve piroliz analiz sonuçlarına göre 1 adet tavan, 1 adet orta ve 1 adet taban kısımdan olmak üzere toplam 3 adet örnek (TV-9, OR-5, TB-8) seçilerek Gaz kromatografi analizi yapılmıştır, analiz sonuçlarından elden edilen n-alkan ve izoprenoid değerleri ve hesaplanan parametreler Tablo 13’de verilmiştir.

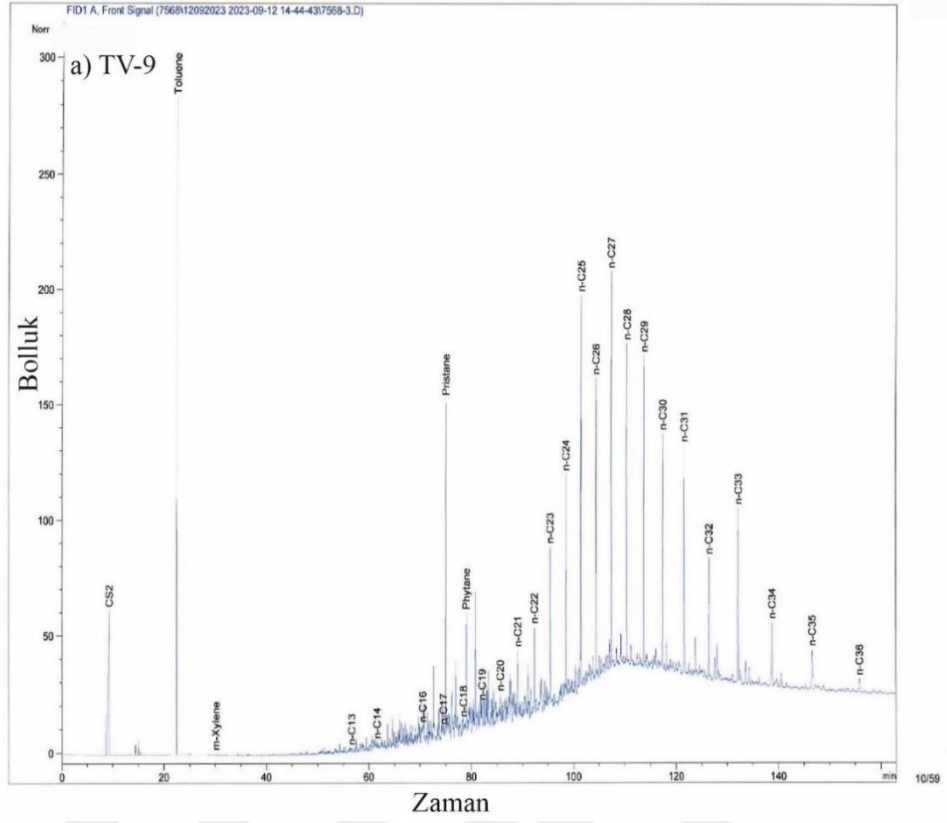
3.4.1. n-alkanlar ve izoprenoidler

İncelenen kömür damarının tavan kısmına ait örneğin (TV-9) gaz kromatogramında n-alkan dağılımı C_{13} ve C_{36} arasında değişiklik göstermekte olup, maksimum pik değeri n- C_{27} numaralı alkana aittir (Şekil 12a). Damarın orta kısmını temsil eden OR-5 numaralı örneğin gaz kromatogramında n-alkanlar C_{14} ve C_{35} aralığında dağılım göstermektedir, maksimum pik değeri n- C_{25} numaralı alkana aittir (Şekil 12b). Damarın tabanına ait olan TB-8 numaralı örneğin gaz kromatogramında n-alkan dağılımı C_{12} ve C_{35} arasında değişmektedir ve maksimum pik değeri n- C_{27} numaralı n-alkanda gözlenmektedir (Şekil 12c), Analiz edilen 3 örneğin de Pr değeri n- C_{17} değerinden yüksek, Ph değeri de n- C_{18} değerinden daha yüksektir. TV-9, OR-5 ve TB-8 numaralı örneklerin Pr/Ph oranları sırasıyla 2.67, 4.71 ve 2.41 olarak hesaplanmıştır. TV-9 numaralı örneğin Pr/ n- C_{17} ve Ph/ n- C_{18} oranları sırasıyla 41.78 ve 2.63, OR-5 numaralı örneğin Pr/ n- C_{17} ve Ph/ n- C_{18} oranları sırasıyla 55.94, 4.37, TB-8 numaralı örneğin Pr/ n- C_{17} ve Ph/ n- C_{18} oranları sırasıyla 7.43 ve 1.82 olarak hesaplanmıştır. TV-9, OR-5 ve TB-8 numaralı örneklerin n- C_{17} / n- C_{27} oranları sırasıyla 0.09, 0.02 ve 0.02 olarak hesaplanmıştır. Kömürlerde

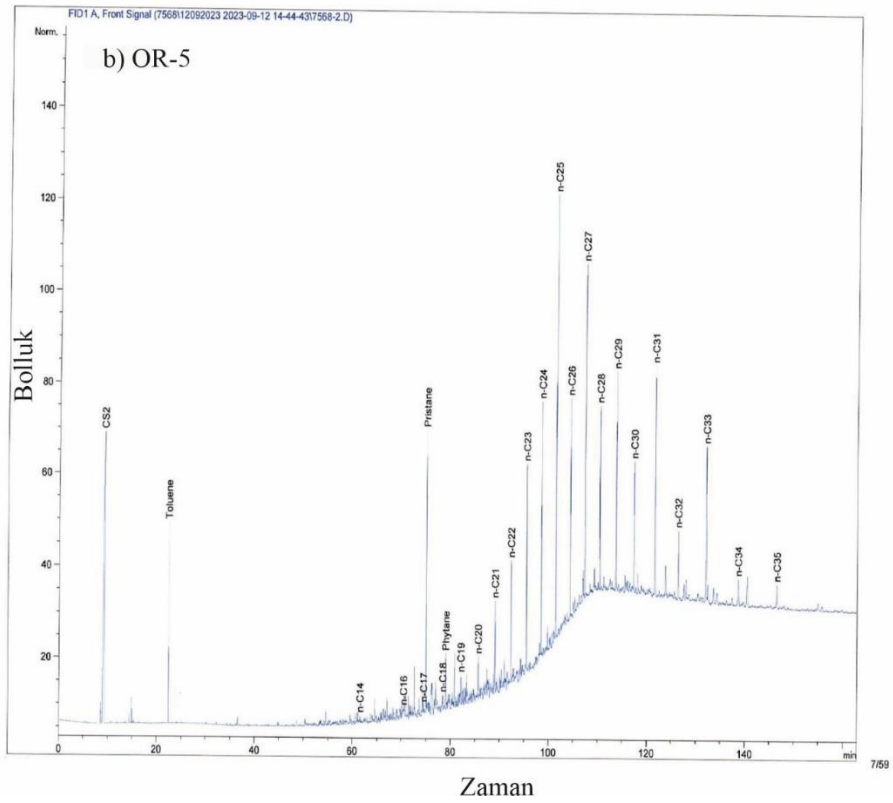
$(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ oranı denizel ve karasal organik madde ayrımını yapmak için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Pan vd., 2021). TV-9, OR-5 ve TB-8 numaralı örneklerin $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ oranları birbirine yakın olup, sırasıyla 0.18, 0.23 ve 0.34 olarak hesaplanmıştır ve oran tabandan tavana doğru azalmaktadır. TV-9, OR-5 ve TB-8 numaralı örneklerin CPI (karbon varlık indeksi, Peters ve Moldowan, 1993) değerleri sırasıyla 1.28, 1.47 ve 1.44 olarak hesaplanmıştır, OEP (tek-çift n-alkan baskınlık parametresi, Peters ve Moldowan, 1993) değerleri sırasıyla 1.30, 1.20, 1.26 olarak belirlenmiştir. TV-9, OR-5 ve TB-8 numaralı örneklerin TAR (karasal/sucul organik madde oranı, Bourbonniere ve Meyers, 1996) değerleri sırasıyla 36.34, 16.80 ve 8.62 olarak hesaplanmıştır ve en yüksek değer tavan örneğine aittir. Paq değeri batık veya yüzen makrofitlerin ve fitoplantonların, yüksek kara bitkilerine oranını yansıtmaktadır (Ficken vd., 2000; Qiao vd., 2021). TV-9, OR-5 ve TB-8 numaralı örneklerin hesaplanan Paq değerleri sırasıyla 0.42, 0.52 ve 0.49 dır. TV-9, OR-5 ve TB-8 numaralı örneklerin Pwax değerleri sırasıyla 0.70, 0.63 ve 0.65 olarak tespit edilmiştir. TV-9, OR-5 ve TB-8 numaralı örneklerin ACL değerleri birbirlerine çok yakın olup sırasıyla 28.95, 28.85 ve 28.86 olarak hesaplanmıştır. TV-9, OR-5 ve TB-8 numaralı örneklerin Qwood/plant oranları sırasıyla 1.06, 0.93 ve 0.96, Qwood/grass oranları sırasıyla 0.68, 0.63 ve 0.66, Qgrass/plant 0.32, 0.37 ve 0.34 olarak belirlenmiştir (Tablo13).

Tablo 13. Seçilen örneklerin gaz kromatogramlarından (GC) hesaplanan parametreler

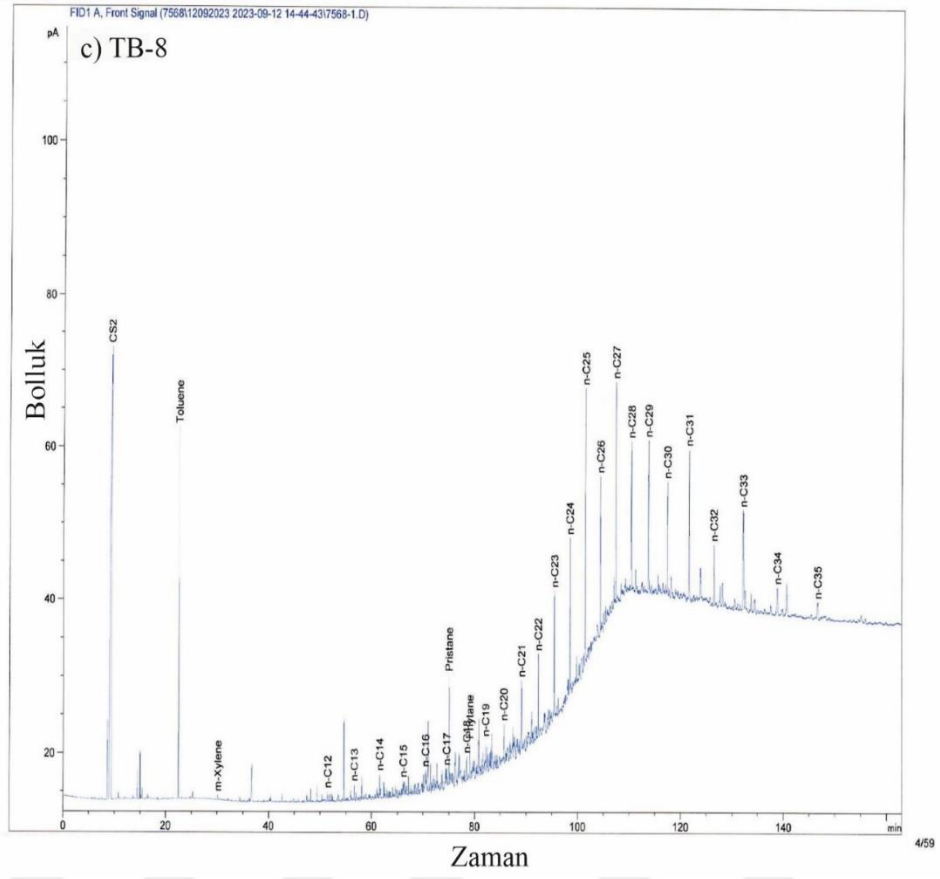
Örnek No	Pr/Ph	Pr/n-C ₁₇	Ph/n-C ₁₈	nC ₁₇ /n-C ₂₇	CPI	OEP	TAR	Paq	Pwax	ACL
TV-9	2.67	41.78	2.63	0.09	1.28	1.3	36.34	0.42	0.7	28.95
OR-5	4.71	55.94	4.37	0.02	1.47	1.2	16.8	0.52	0.63	28.85
TB-8	2.41	7.43	1.82	0.02	1.44	1.26	8.62	0.49	0.65	28.86
Örnek No	$(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$			Qwood/grass		Qwood/plant		Qgrass/plant		
TV-9	0.18			1.06		0.68		0.32		
OR-5	0.23			0.93		0.63		0.37		
TB-8	0.34			0.96		0.66		0.34		



Şekil 12a. TV-9 nolu örneğin tüm özüt gaz kromatogramı



Şekil 12b. OR-5 nolu örneğin tüm özüt gaz kromatogramı

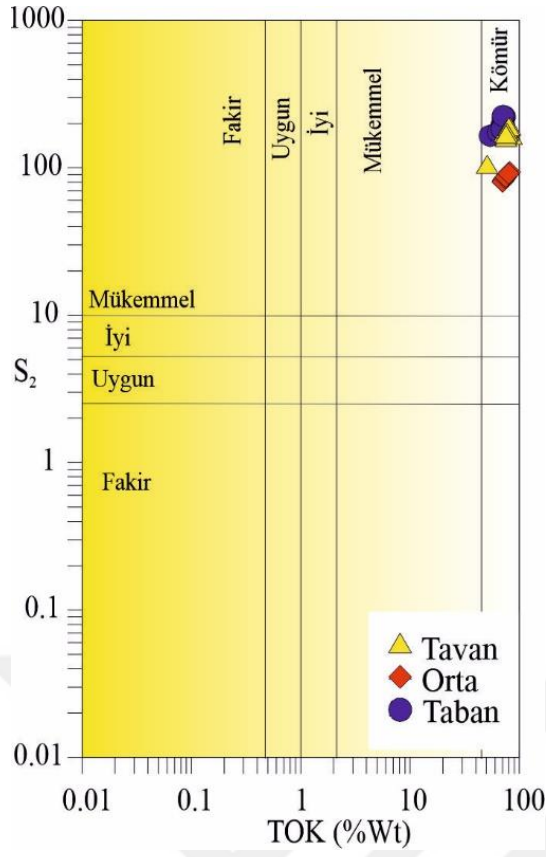


Şekil 12c. TB-8 nolu örneğin tüm özüt gaz kromatogramı

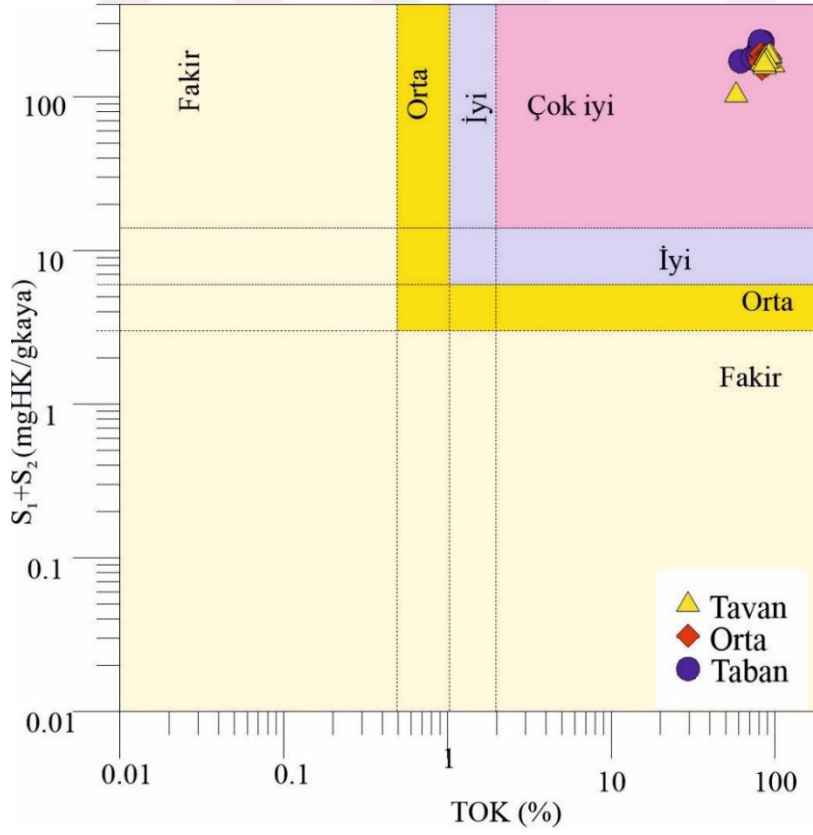
4. İRDELEME

4.1. Organik Madde Miktarı ve Kaynak Kaya Potansiyeli

Taban, orta ve tavana ait kömür örneklerinin TOK değerleri oldukça yüksektir ve Dembicki (2009) tarafından geliştirilen S_2 -TOK diyagramında olması gerektiği gibi tüm örnekler kömür kadranına yerleşmişlerdir (Şekil 13). Bununla birlikte, yüksek TOK değerine sahip olan kömürlerin petrol açısından kaynak kaya olma potansiyeline sahip oldukları da bilinmektedir (Jarvie, 1991). Ayrıca bir kayanın kaynak kaya potansiyeli olup olmadığını değerlendirmek için potansiyel ürün (PÜ), S_1 ve S_2 değerleri de kullanılmaktadır, Taban örneklerinin PÜ değerleri 171-230 (ortalama 198), orta kısma ait örneklerin 153-192 (ortalama 175), tavan kısma ait örneklerin 108-195 (ortalama 175) olarak hesaplanmıştır, PÜ değerlerine göre incelenen kömürler hidrokarbon açısından iyi kaynak kaya olarak sınıflandırılabilir (Tissot ve Welte, 1984), Taban örneklerinin S_1 ve S_2 değerleri sırasıyla 5.79-10.4 (ortalama 7.11) ve 163.07-222.45 (ortalama 190.98), orta kısma ait örneklerin 3.91-5.57 (ortalama 4.78) ve 148.59-186.26 (ortalama 170.04), tavan örneklerinin 3.13-7.67 (ortalama 5.25) ve 104.64-189.01 (ortalama 167.45) olarak ölçülmüştür. Her iki değerlere göre kömürler genel olarak mükemmel kaynak kaya olarak sınıflandırılabilir (Peters ve Cassa, 1994). TOK - S_1+S_2 diyagramı da bunu doğrular niteliktedir, söz konusu diyagramda örneklerin tamamı “çok iyi kaynak kaya” kadranında kümelenmişlerdir (Şekil 14, Kostova et al., 2022).



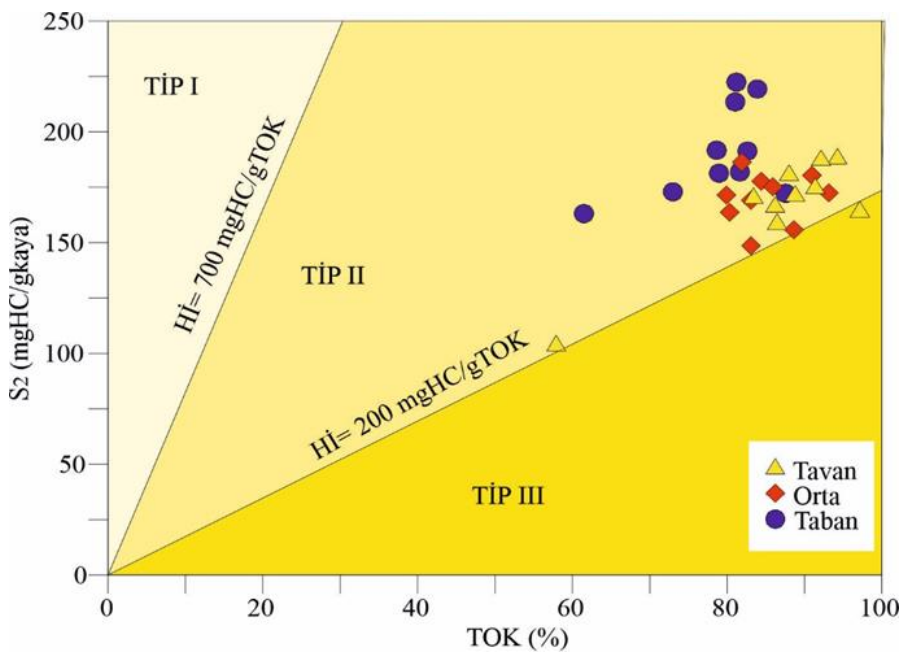
Şekil 13. İnceleme kömür örneklerinin TOK-S₂ diyagramındaki dağılımı



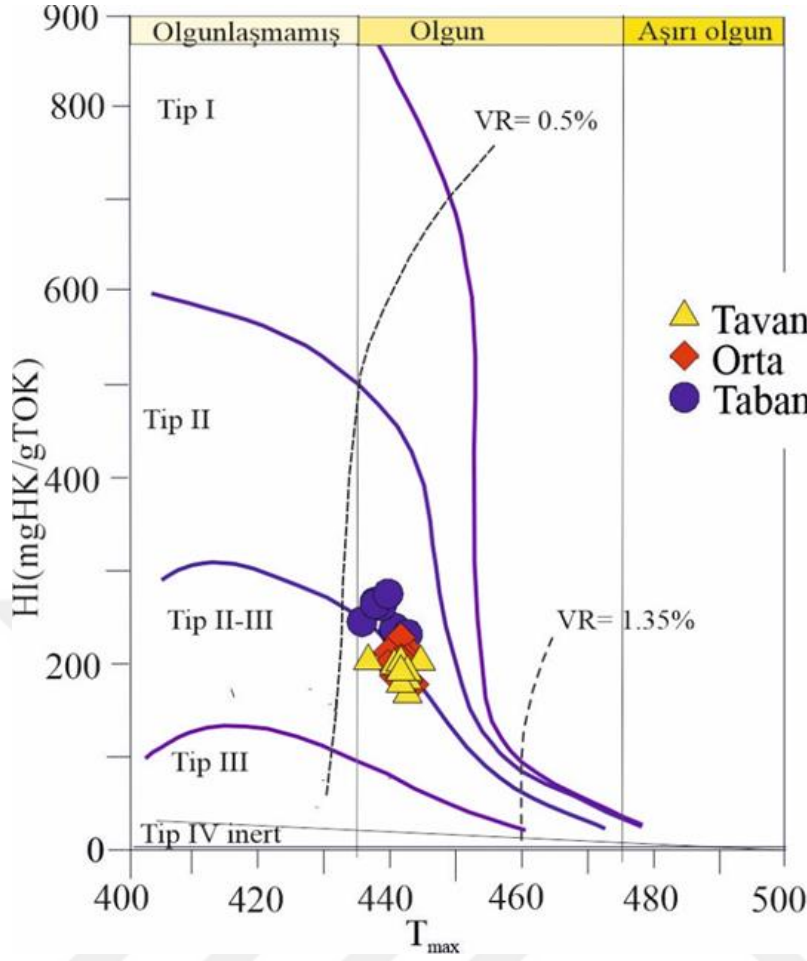
Şekil 14. İncelenen kömür örneklerinin TOK-S₁+S₂ diyagramındaki dağılımları

4.2. Organik Madde Tipi

Ömerler sahasına ait kömür örneklerinin organik madde tipini belirlemek için S_2/S_3 parametresi, S_2 -TOK ve $HI-T_{max}$ diyagramları kullanılmıştır. Taban örneklerinin S_2/S_3 oranı 64.76 – 86.56 arasında değişmekte olup ortalama 75.25 olarak hesaplanmıştır. Orta örneklerin S_2/S_3 oranları 50.41 – 79.26 arasında değişiklik gösterip, ortalaması 62.52 olarak tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek S_2/S_3 oranları tavan örneklerine ait olup 40.56 – 87.32 arasında değişmektedir ve ortalaması 67.01 olarak hesaplanmıştır (Tablo 12). Bu değerler oldukça yüksek olup, Celementz vd. (1979) sınıflamasına göre kömürler Tip I kerojen (Tablo 7). Peters ve Cassa (1994) sınıflamasına göre ise Tip I ve Tip II kerojen içermektedir. S_2 -TOK diyagramında tavan örneklerinden 1 tanesi Tip III, diğer örneklerin tamamı Tip II kerojen bölgesinde kümelenmişlerdir (Şekil 15). $HI-T_{max}$ diyagramında taban ve orta kısma ait kömür örneklerinin büyük çoğunluğu Tip II kerojen, petrol-gaz eğimli bölgeye yerleşirken, Tavan örneklerinin büyük çoğunluğu Tip II kerojen, petrol eğimli kısmına yerleşmiştir (Şekil 16). Ayrıca yüksek HI düşük OI değerli organik maddeler genellikle Tip I kerojen içermektedir ve petrol türümüne çok uygun olmaktadır (Meril, 1991). İncelenen kömür örneklerinin OI çok düşük olmasına rağmen (ortalama OI değerleri Taban örnekleri için 3.3, orta kısım örnekler için 3.1 ve tavan örnekleri için 3 $mgCO_2/gTOK$ olarak hesaplanmıştır). HI değerleri çok yüksek değildir (Ortalama HI değerleri Taban örnekleri için 243, orta kısım örnekler için 200 ve tavan örnekleri için 193 $mgHC/gTOC$ olarak hesaplanmıştır) ve bu değerler de Tip II kerojen içeriğini desteklemektedir.



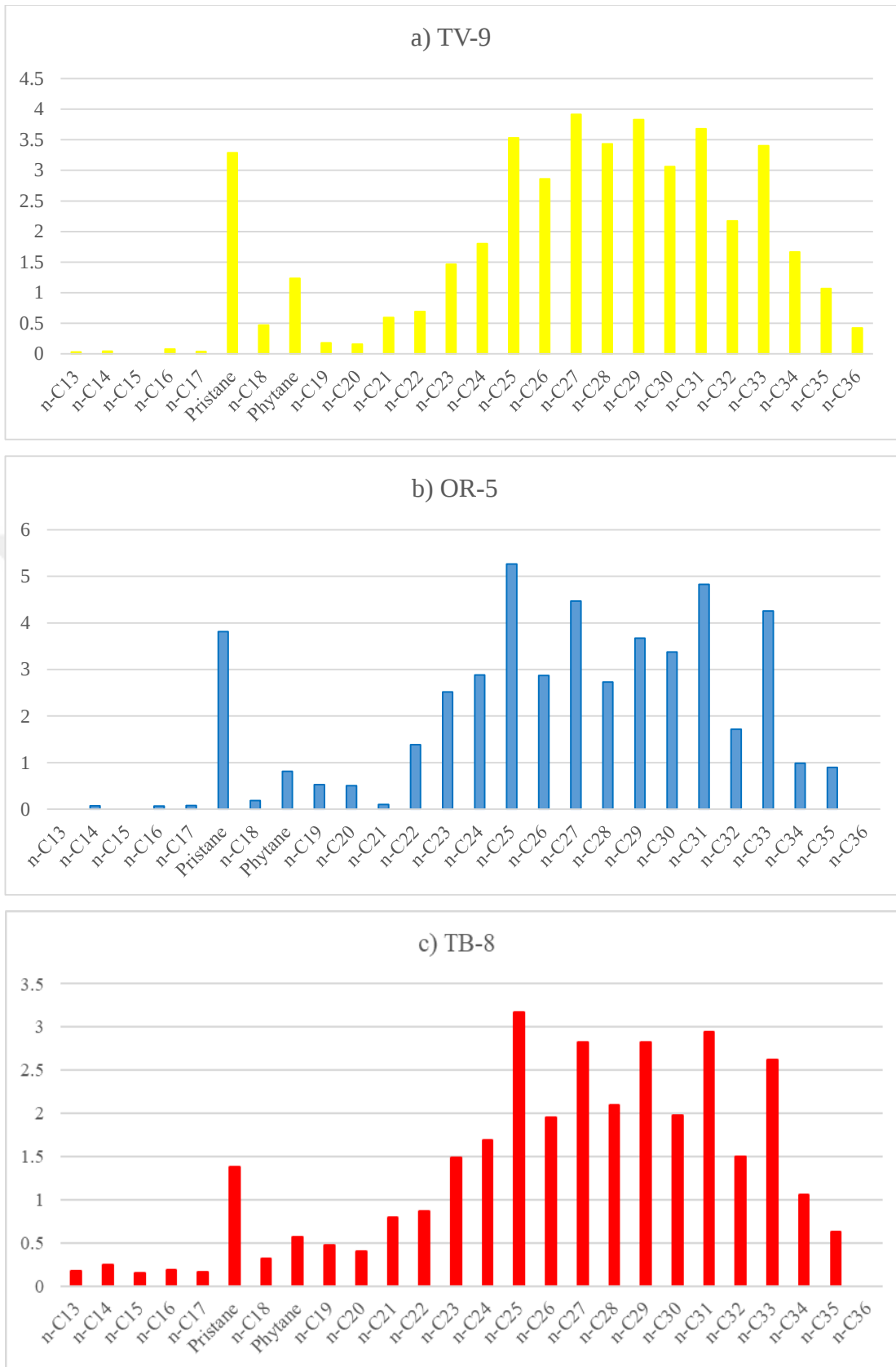
Şekil 15. İncelenen kömür örneklerinin TOK- S_2 diyagramındaki dağılımları



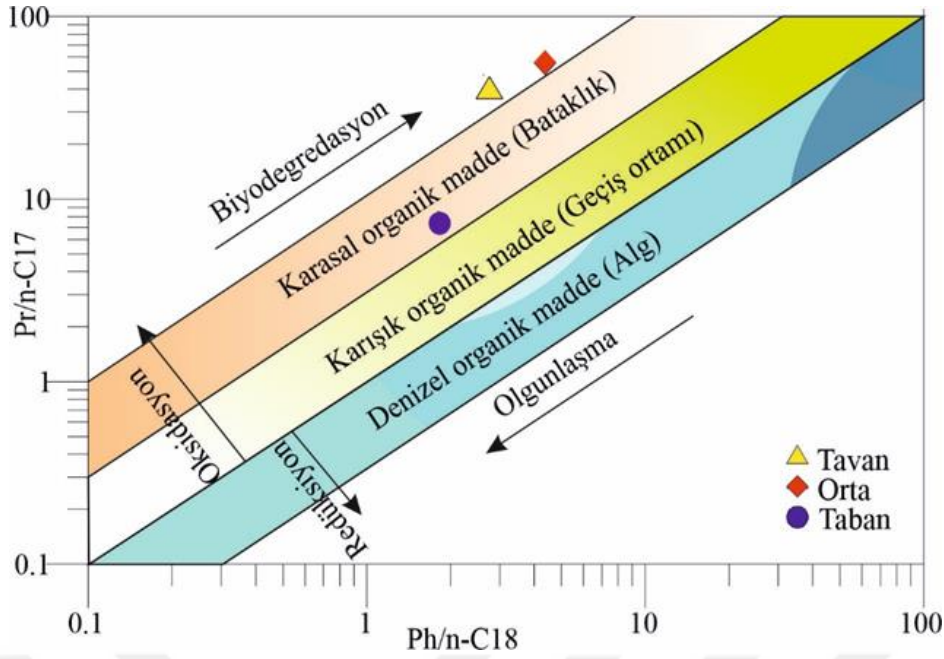
Şekil 16. İncelenen kömür örneklerinin T_{max} -HI diyagramındaki dağılımları

Ömerler sahasına ait kömürlerden seçilen örneklerin gaz kromatogramlarında baskın piki TV-9 örneğinde nC_{27} (Şekil 17a), OR-5 ve TB-8 örneklerinde ise nC_{25} numaralı n-alkanlar oluşturmaktadır (Şekil 17b, c). Ayrıca uzun zincirli n-alkanların kısa zincirli n-alkanlara göre baskın olduğu unimodal dağılım dikkat çekmektedir. Bu dağılım karasal organik maddenin denizel organik maddeye olan baskınlığını göstermektedir. Kömürlere ait seçilen örneklerin nC_{17}/nC_{27} ve $(nC_{21}+nC_{22}/nC_{28}+nC_{29})$ oranlarının 1'den çok küçük olarak hesaplanmıştır. Bu oranlar denizel organik madde/karasal bitki oranını yansıttığı için (Eglinton ve Hamilton, 1967; Guenter vd., 2013; Rodrigues vd., 2016; Qiao vd., 2021), karasal bitki oranının son derece baskınlığını ve denizel organik maddenin çok az olduğunu göstermektedir, bu da kömürler için beklenen bir durumdur. Hesaplanan CPI değeri de bunu destekler niteliktedir. Her üç örnekte de $CPI > 1$ olması karasal organik maddenin hakim olduğunu göstermektedir. İncelenen örneklerde TAR değeri oldukça yüksek olup, en düşük TAR değeri (8.62) taban, en yüksek TAR değeri ise tavan (36.34) örneğinde ölçülmüştür. Dolayısıyla tabandan tavana doğru TAR değerinde bir artış gözlenmektedir. Buda üste doğru karasal organik maddenin daha da yoğunlaştığına işaret

etmektedir. Paq değeri batık veya yüzen makrofitlerin ve fitoplantonların, yüksek kara bitkilerine oranını yansıtmaktadır (Ficken vd., 2000; Qiao vd., 2021). Çünkü Paq formülünde yer alan C_{29} veya C_{31} n-alkanlar genellikle karasal bitkilerden, C_{23} veya C_{25} batık veya yüzen makrofitlerden gelmektedir. Dolayısıyla 0.4 -1 arasında olan Paq değeri sualtı bitkilerini, 0.1-0.4 arasında olan Paq değeri su yüzeyine çıkmış bitkileri ve $Paq < 0.1$ değerleri ise karasal bitkileri göstermektedir (Ficken vd., 2000; Hoş-Çebi, 2017). Tavan, Taban ve Orta kısmı temsil eden örneklerin üçünde de Paq değeri 0.4-1 arasında değişmektedir, bu bağlamda organik maddenin çoğunlukla sualtı bitkilerinden oluştuğu söylenebilir. Pr/n- C_{17} -Ph/n- C_{18} diyagramında tabana ait kömür örneği karasal organik madde (Bataklık) alanına, tavan ve orta kısma ait örnekler ise karasal organik madde (bataklık) alanının sınırına yerleşmişlerdir (Şekil 18). Kömürlerin tavan kısmını temsil eden örneğin Qwood/grass oranı >1 , orta ve taban kısmı 1'e yakın olup sırasıyla 0.93, 0.96 olarak hesaplanmıştır. Buna göre tavanda odunsu bitki oranı çimensi bitkiye göre daha baskın, orta ve taban kısmında ise çimensi bitki oranı çok az olsa da odunsuya göre daha fazladır. Qwood/plant oranları TV-9, OR-5 ve TB-8 için sırasıyla 0.68, 0.63 ve 0.66 olarak hesaplanarak, otsu bitkilerin, odunsu bitkilere göre daha baskın olduğunu göstermektedir. Qgrass/plant oranları oldukça düşük olup, TV-9, OR-5 ve TB-8 için sırasıyla 0.32, 0.37 ve 0.34 olarak hesaplanmış ve çimensi bitkilerin oranın otsu bitkilere göre çok düşük olduğunu belirtmektedir. Dolayısıyla kömürlerde hakim olan bitkinin otsu olduğu bunu odunsunun takip ettiği, bunlara göre daha az olarak da çimensi bitkinin olduğu tespit edilmiştir



Şekil 17. İncelenen kömür örneklerinin n-alkan dağılımlarını gösteren histogramlar
a)TV-9, b) OR-5, c) TB-8



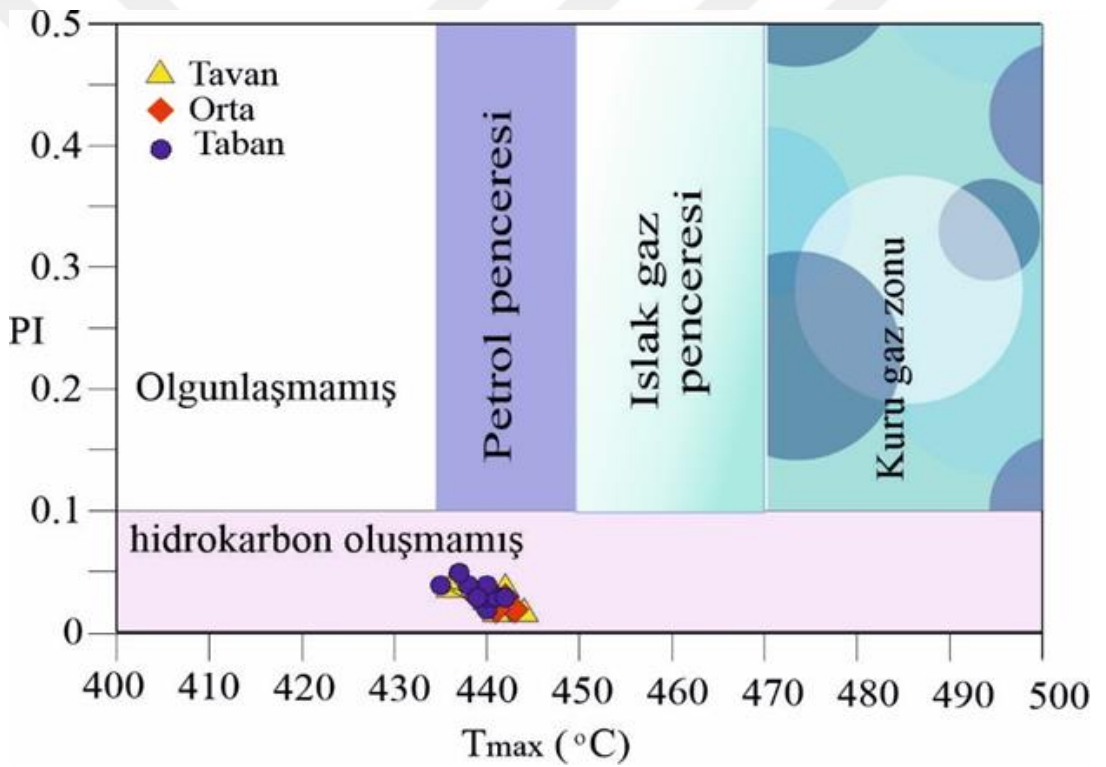
Şekil 18. TV-9, OR-5 ve TB-8 numaralı kömür örneklerinin $Pr/n-C_{17}$ – $Ph/n-C_{18}$ diyagramındaki dağılımları

4.3. Organik Madde Olgunluğu ve Kömürleşme Derecesi

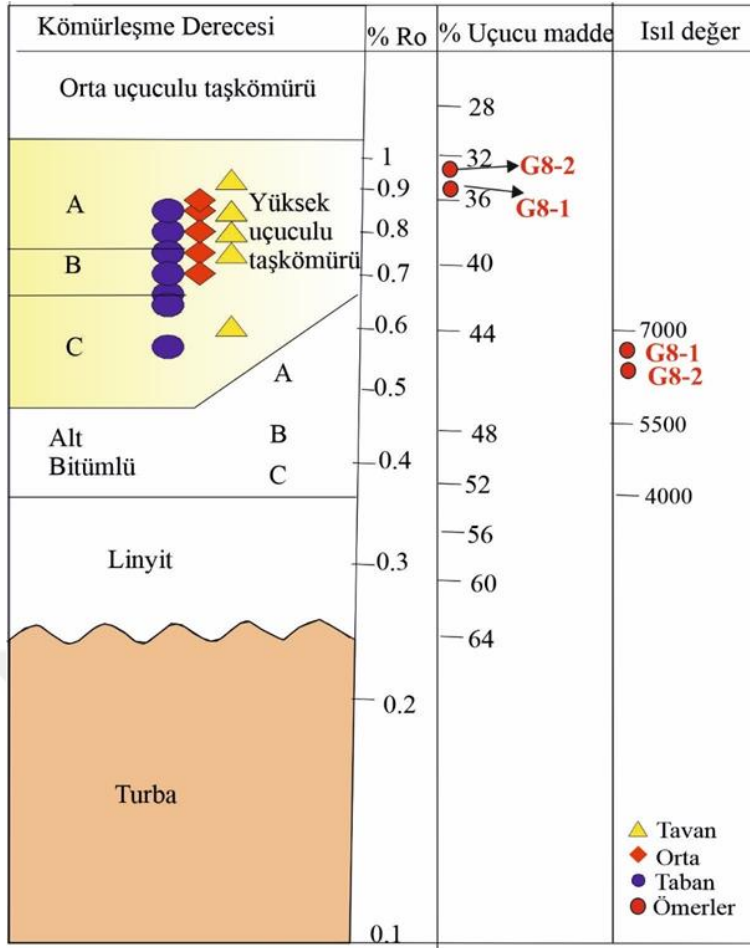
Ömerler sahası taban, orta ve tavan kısma ait kömür örneklerin T_{max} değerleri olgunluğun alt sınır değeri olan 435 °C den büyük, 445 °C dereceden küçüktür, yani Peters ve Cassa (1994) tarafından geliştirilen sınıflandırmaya göre bütün örnekler erken olgun safhasındadır. $HI-T_{max}$ diyagramına bakıldığında örneklerin tamamı olgun kadranında yer almaktadır. İncelenen örneklerin PI değerleri oldukça düşük olup (Taban 0.02 – 0.05, orta ve tavan 0.02 – 0.04 arasında değişmektedir). Peters ve Cassa (1994) ve Espitalié vd. (1977) sınıflamalarına göre olgunlaşmamış seviyesindedir. $PI-T_{max}$ (Chen vd., 2016) diyagramında bütün örnekler, ısısal olarak petrol penceresinde olmasına rağmen, PI değerleri <0.1 olduğu için hidrokarbon oluşmamış alanına yerleşmişlerdir (Şekil 19). Ancak hesaplanan Ro değerlerine göre Taban ve tavan kömürlerinde bir örnek hariç (TB-2 ve TV-6) tüm örneklerin Ro değeri > % 0.7 dir (Tablo 12). Buna göre örnekler ısısal olarak olgunlaşmıştır ve termal safha olarak katajenez ve petrol aralığında yer almaktadır. Ayrıca karasal organik girdiler CPI değerlerini yükseltmektedir, seçilen kömür örneklerinin CPI değerleri 1'den büyük, ancak 1'e yakın olarak hesaplanmıştır, bu değerler örneklerin olgunluğuna işaret etmektedir (Scalan ve Smith, 1997; Hanson vd., 2000, Pan vd., 2021).

Kömürlerin rank seviyesini belirlemek için Alman (Ruhr) ve ASTM (American Society for Testing and Materials) uçucu madde içeriği ve ısı değerleri kullanarak standart geliştirmiştir (Stach vd., 1982; Karayığit ve Köksoy, 1994). Uçucu madde

içeriğine göre, Ömerler sahasına ait kömürlerinden 2 örnek (G8-1, G8-2) yüksek uçuculu taşkömürü A olarak sınıflandırılmış, Üst ısı değerlerine göre, G8-1, G8-2 nolu örnekler alt bitümlü A ve/veya yüksek uçuculu taşkömürü C olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 20). Ayrıca vitrinit yansıması değerleri kullanılarak kömürlerin rank (kömürleşme derecesi) belirlenebilmektedir. İncelenen kömürlerin kömürleşme derecesi ASTM standartlarına göre belirlenmiştir. Hesaplanan %Ro değerlerine göre, Ömerler sahası İğdekuzu yeraltı işletmesi, taban, orta ve tavan kısmından alınan örneklerin tamamı yüksek uçuculu taşkömürü kısmında yer almıştır (Şekil 20), Bu değerlere göre, Ömerler sahasında linyit adı altında işletilen kömürlerin genel olarak linyit olmadığı, linyite göre kömürleşme derecesi daha yüksek olan alt bitümlü ve/veya yüksek uçuculu taşkömürü olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 19. İncelenen kömür örneklerinin PI-T_{max} diyagramındaki dağılımları



Şekil 20. İncelenen örneklerin ruhr ve ASTM kömürleşme derecesi parametrelerine göre karşılaştırılması

4.4. Çökelme Ortamı ve Paleoiklim Şartları

Ömerler sahası İğdekuzu yeraltı işletmesine ait kömürlerin Tavan, orta ve taban kısmına ait örneklerin Pr/Ph oranları sırasıyla 2.67, 4.71 ve 2.41 olarak hesaplanmıştır (Tablo 13). Yüksek Pr/Ph oranı organik maddenin çökelim esnasında çökelme ortamının oksijenli olduğunu göstermektedir (Mello and Maxwell, 1990; Philp, 1994; Huang et al., 2003; Saydam Eker vd., 2016). Peters ve Moldowan (1993), Pr/Ph oranı <0.5 ise güçlü anoksik ortamı, 0.5<Pr/Ph<1 anoksik sucul ortamı 1<Pr/Ph<2 zayıf oksik-zayıf anoksik sucul ortamı ve Pr/Ph>2 ise oksijenli ortamı gösterdiğini belirtmişlerdir. Pr/Ph oranı >4 olan kömürler karakteristik olarak turba-bataklık çökelme ortamında ve oksik çökelme koşullarını temsil ederler (Wan Hasiah ve Abolins, 1998). Ancak Pr/Ph oranları aynı zamanda ısısal olgunlaşma ve organik madde türünden de etkilenebilir (Ör. Bakteri, Volkman ve Maxwell 1986; Song vd., 2021; Hu vd., 2022). Bu çalışmada örnekler ısısal olarak aşırı olgun değil, normal olgunlaşmışlardır ve organik maddenin de bakteri olmadığı analizlerle ortaya konulmuştur. Dolayısıyla olgunluk ve bakteri faaliyetleri göz ardı edilebilir. Bu bağlamda incelenen kömürlerin oksijenli, sucul-bataklık bir ortamda

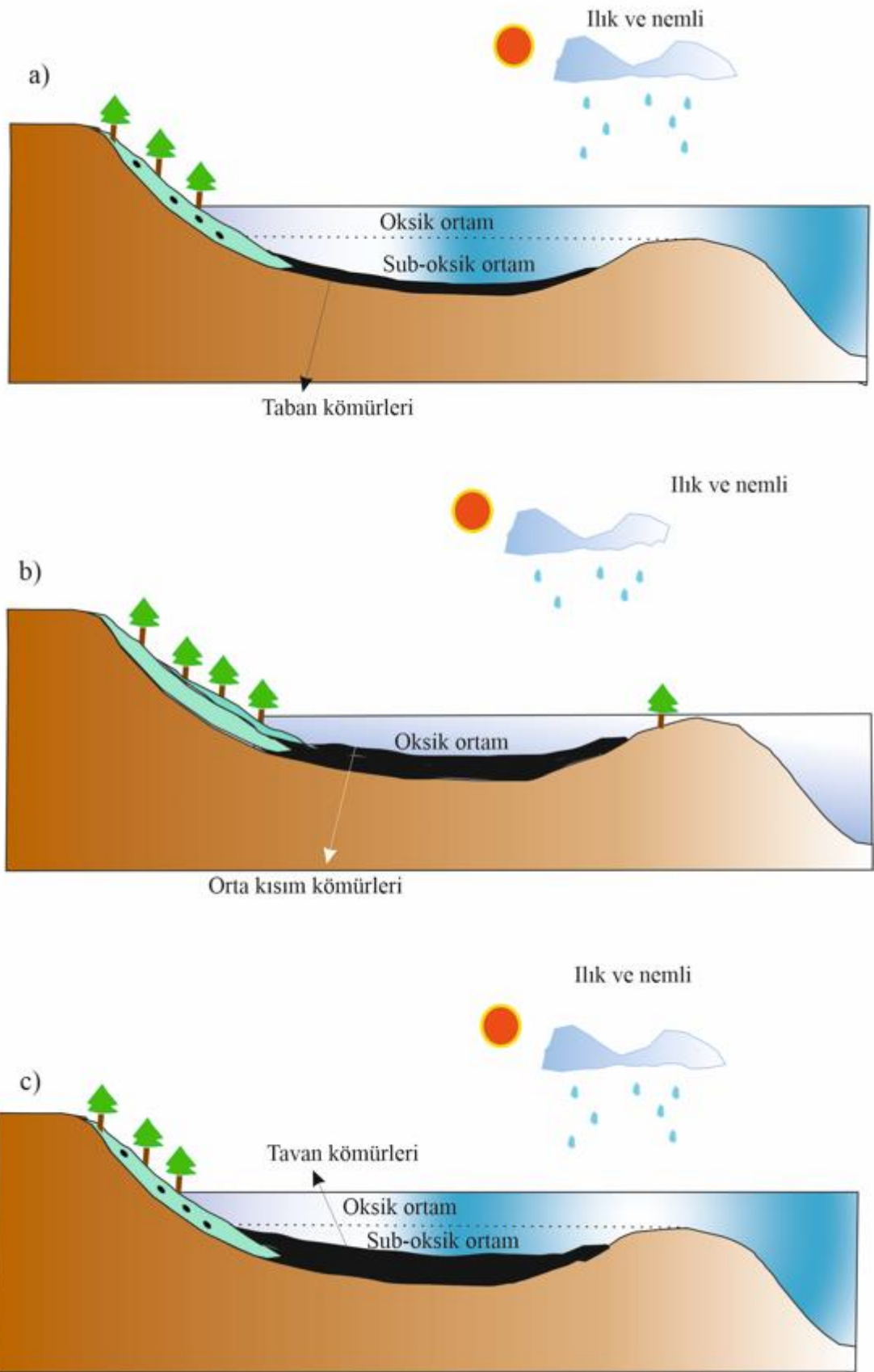
çökeldiği söylenebilir. Ancak kömür damarının tavan, orta ve taban kısmını temsil eden örneklerin Pr/Ph oranları kıyaslandığında, bu kömürün çökeli mi esnasında tabanda oksijen seviyesinin nispeten daha düşük olduğu, daha sonra oldukça yükseldiği, ardından tekrar düştüğü görülmektedir. Buna göre incelenen kömürler paralık havzada (Deniz etkisinde kalmış havza) çökelmiştir. Bunu analiz edilen kömür örneklerinin gaz kromatogramlarındaki kısa ve orta zincir uzunluğuna sahip olan n-alkanların (n-C₁₂₋₁₄, n-C₁₇₋₁₉) varlığı desteklemektedir. Bu bağlamda söz konusu kömürlerin zaman zaman deniz suyu etkisinde kalan deniz ve kara geçişi ortamda çökeldiği düşünülmektedir (Şekil 21). Taban kömürleri çökeldiği esnada havza derinliğinin ve deniz suyu etkisinin fazla olduğu, nispeten tabakalı su kütlesinin sağlandığı ve buna bağlı olarak da oksijen oranının düştüğü söylenebilir (Şekil 21a). Orta kısma ait kömürlerin çökeli mi esnasında, karaların yükselip veya denizlerin çekildiği, buna bağlı olarak havza sığlaştığı için oksijen oranının da yükseldiği düşünülmektedir (Şekil 21b). Tavan kömürlerinin çökeli mi sırasında, denizin yükseldiği ve havzadaki su derinliğinin artarak, tekrar havzada tabakalı su kütlesinin sağlandığı ve oksijen miktarının azaldığı varsayılmaktadır (Şekil 21c).

Zheng vd. (2007) yüksek P_{wax} değerlerinin kuru iklim koşullarındaki damarlı bitkilere, düşük P_{wax} değerlerinin ise nispi olarak nemli iklim koşullarını gösterdiğini belirtmiştir. Bu bağlamda P_{wax} değeri >0.7 ise kuru iklim, P_{wax} değeri <0.7 ise nemli iklim şartlarından bahsedilebilir. İncelenen kömürün orta ve taban kısmına ait örneklerin P_{wax} değeri <0.7 iken tavan kısma ait örneğin P_{wax} değeri ise 0.70 olarak hesaplanmıştır. dolayısıyla kömürün çökeli mi esnasında ortamda nemli iklim koşullarının hakim olduğu görülmektedir. Düşük değerli ACL nemli ve ılık iklim şartlarına işaret ederken, yüksek ACL değerleri kuru ve soğuk iklim şartlarını göstermektedir. İncelenen kömür örneklerinin ACL değerleri bir birine oldukça yakın olup (TV-9, OR-5, TB-8 = 28.95, 28.85, 28.86), düşük olarak tespit edilmiştir. Bu değerler paleoiklimin ılık ve nemli olduğuna işaret etmektedir.

4.5. Hidrokarbon Potansiyeli

Ömerler sahası, İğdekuzu yeraltı işletmesine ait kömürlerin tavan, orta ve taban kesiminden alınan örneklerin hidrokarbon oluşturma potansiyelini belirlemek için Piroliz verilerine dayanarak S₁, S₂ ve PÜ (S₁+S₂) değerleri hesaplanmıştır, ayrıca S₁+S₂ -TOK diyagramı kullanılarak sınıflandırılması yapılmıştır. Tavan, orta ve taban örneklerinin PÜ değeri sırasıyla 164-195, 153-192 ve 171-283 arasında değişiklik göstermektedir. En yüksek değerler taban, en düşük değerler orta kesime aittir, ancak tüm örnekler Merrill (1991) sınıflamasına göre mükemmel kaynak kayadır ve hidrokarbon türetme

potansiyeline sahiptirler. İncelenen tüm örneklerin S_1 değerleri >4 (mg HK/g kaya), S_2 değerleri ise >20 (mg HK/g kaya) dir. Peters ve Cassa (1994) sınıflamasına göre mükemmel kaynak kayadır ve hidrokarbon türetme potansiyeline sahiptir bunu S_1+S_2 - TOK diyagramı da desteklemektedir (Şekil 14). Tip III kerojen içeren hümik kömürler esas olarak gaz türetebilmektedir (Bordenave vd.. 1993). İncelenen kömür örneklerden taban kısmına ait olanların tamamı, tavan ve orta kısma ait olanların da azınlık kısmı Tip II kerojen içermektedir ve sıvı hidrokarbon üretmek için kaynak kaya potansiyeli taşımaktadırlar. Tavan ve orta kısma ait olan örneklerin çoğunluğu ise Tip II-III geçişinde yer almaktadır, bu örnekler de bir miktar sıvı hidrokarbon ve gaz üretme potansiyeline sahiptirler. Bunların yanı sıra, kaynak kayanın Bitüm indeksi (BI) >0.2 ise çok fazla sıvı hidrokarbon oluşup, dışarı atılmış demektir. 0.1 – 0.2 aralığında ise kaynak kaya dışarıya petrol atmaya başlamıştır ve 0 – 0.1 aralığında ise kaynak kayadan dışarıya petrol atımı gerçekleşmemiştir (Hunt. 1996). İncelenen Tavan örneklerinin BI değerleri 0.05-0.09, orta kısma ait örneklerin BI değerleri 0.04-0.06 ve Taban örneklerinin BI değerleri 0.05-0.13 arasında değişiklik göstermektedir (Tablo 12). Bu değerlere göre en yüksek BI değerleri taban örneklerine aittir, bunu tavan ve orta kısma ait örnekler takip etmektedir. Bu bağlamda. Tavan ve orta kesime ait tüm örnekler, taban kesime ait örneklerin çoğunluğu henüz sıvı hidrokarbon üretmemiştir. Ancak Taban örneklerinden 3 adedinin (TB-4, TB-7, TB-8) BI değerleri 0.1-0.2 aralığında olduğu için sıvı hidrokarbon üretmeye başladığı düşünülmektedir. Tüm bu veriler ışığında, Ömerler sahası İğdekuzu yeraltı işletmesine ait olan kömürlerin TOK değerlerinin çok yüksek olduğu ve hidrokarbon açısından kaya kaya olma potansiyeli taşıdığı görülmektedir. Ancak, kömürlerin yeterli derecede gömülmeye maruz kalmadığı için (Taban kısmına ait olan 3 adet örnek hariç) henüz sıvı hidrokarbon türetecek aşamaya gelmediği öngörülmektedir



Şekil 21. İncelenen kömürlerin çökeltme ortam ve şartlarını gösteren şematik şekil

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, Ömerler (Tunçbilek-Kütahya) sahası İğdekuzu yeraltı ocağına ait Miyosen yaşlı kömürlerin taban, orta ve tavan kesimini temsil eden kömür örneklerinin yaklaşık (proksimate) analiz sonuçları ve jeokimyasal özellikleri incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- İncelenen kömür örneklerinin toplam organik madde miktarının oldukça yüksek olduğu, taban, orta ve tavan kesimine ait örneklerin hesaplanan ortalama TOK değerlerinin sırasıyla % 79.01, % 85.14 ve % 86.57 olduğu tespit edilmiştir. TOK ve S_1+S_2 değerlerine göre bu kömürler petrol açısından çok iyi kaynak kaya potansiyeli taşımaktadır.

2- S_2 ve TOK değerleri göz önünde bulundurulduğunda, tavan kesimine ait 1 örnek hariç, örneklerin tamamının Tip II kerojen içerdiği gözlenmektedir. HI ve T_{max} verileri birlikte değerlendirildiğinde tavan örneklerinin tamamı (1 örnek hariç), orta kesime ait örneklerin çoğunluğu Tip II-III kerojen içerirken, taban örneklerin tamamı Tip II kerojen içermektedir. Ayrıca, incelenen örneklerin n-alkan dağılımlarına, $n-C_{17}/n-C_{27}$, $(n-C_{21}+n-C_{22})/(n-C_{28}+n-C_{29})$ oranlarına, CPI, TAR ve Paq değerlerine dayanarak, söz konusu kömürlerin baskın olarak karasal organik madde içerdiği, bunlarında çoğunlukla su altı bitkileri olduğu tespit edilmiştir.

3- T_{max} ve hesaplanan Ro değerlerine göre kömür örneklerinin ısısal olarak olgunlaşmış olduğu, termal safha olarak da katajenez ve petrol oluşum aralığında yer aldığı belirlenmiştir. Uçucu madde içeriği, ısı ve hesaplanan Ro değerlerine göre incelenen kömürlerin linyite göre kömürleşme derecesi daha yüksek olan alt bitümlü ve/veya yüksek uçuculu taşkömürü olduğu tespit edilmiştir.

4- GC analizleri neticesinde incelenen kömürlerin genel olarak oksijenli, sucul-bataklık olan paralik bir havzada çökeldiği, çökelim esnasında iklim koşullarının ılık ve nemli olduğu belirlenmiştir.

5- Ömerler sahası İğdekuzu yeraltı ocağına ait olan kömürlerin TOK değerlerinin çok yüksek olduğu ve hidrokarbon açısından kaya olma potansiyeli taşımaya rağmen BI (Taban kısmına ait olan 3 adet örnek hariç) ve PI değerlerinin çok düşük olmasından dolayı hidrokarbon türetmediği belirlenmiştir. Söz konusu kömürler Miyosen yaşlı olup, yeterli derecede gömülmeye maruz kalmadığı için henüz sıvı hidrokarbon türetecek aşamaya gelmediği öngörülmektedir.

Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda, Ömerler sahası İğdekuzu yeraltı ocağında linyit adı altında işletilen kömürlerin genel olarak linyit olmadığı, linyite göre kömürleşme derecesi (rankı) daha yüksek olan alt bitümlü ve/veya yüksek uçuculu taşkömürü olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmada yapılan analiz ve değerlendirmelerin tüm Ömerler sahasına uygulanarak işletilmekte olan kömürlerin rank derecesine göre yeniden sınıflandırılmasının yapılması önerilmektedir.



KAYNAKÇA

- Baas, M., Pancost, R. D., Van Geel, B., Sinninghe Damsté, J. S. (2000). A comparative study of lipids in Sphagnum species. *Organic Geochemistry*, 31, 535–541
- Baş, H. (1986). Domaniç-Tavşanlı-Kütahya-Gediz bölgesinin Tersiyer Jeolojisi. *Bulletin Geology Engineering*, 17, 11-18.
- Bordenave, M. L., Espitalie, J., Leplat, P., Oudin, J. L. ve Vandenbroucke, M. (1993). *Screening Techniques for Source Rock Evaluation*, In: Applied Petroleum Geochemistry (M. L., Bordenave ve eds.), Paris.
- Bourbonniere, R. A. ve Meyers, P. A. (1996). Anthropogenic influences on hydrocarbon contents of sediments deposited in eastern Lake Ontario since 1800. *Environ. Geol.*, 28 (1), 22–28.
- Can, L. (2012). *Gediz (Kütahya) ve çevresinin genel jeolojik özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale
- Chen, Z., Lavoie, D., Jiang, C., Duchesne, M. J. ve Malo, M. (2016). *Geological characteristics and petroleum resource assessment of the Macasty Formation, Anticosti Island, Québec, Canada*. Ottawa, Ontario, Canada: Geological Survey of Canada.
- Clementz, D. M., Demaison G. J. ve Daly A. R. (1979). *Well Site Geochemistry by Programmed Pyrolysis*. Proceedings of The 11th Annual Offshore Technology Conference, Houston, OTC 3410, 1, 465-470.
- Çelik, Y. (1999). *Domaniç (Kütahya) neojen havzasının sedimentolojisi ve kömür potansiyeli*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul
- Çetin, A., Bayraktar, C. ve Altınay, A. (1985). *Karamanlar – Ömerler – Çamlıca (Kütahya – Domaniç) ömür Yatağı Jeoloji Raporu*. MTA Rapor No: 7872, Ankara.
- Dembicki, Jr. H. (2017). *Petroleum geochemistry for exploration and production*. Elsevier.
- Dembicki, Jr., H. (2009). Three common source rock evaluation errors made by geologists during prospect or play appraisals. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 93, 341e356.
- Didyk, B. M., Simoneit, B. R. T. ve Brassell, S. C. (1978). Geochemical Indicators of Paleoenvironmental Conditions of Sedimentation. *Nature*, 272, 216-222.
- Eglinton, G. ve Hamilton, R. J. (1967). Leaf epicuticular waxes. *Science*, 156.

- Espitalié, J., Laporte, J. L. Madec, M., Marquis, F., Leplat, P., Paulet, J. ve Boutefeu, A. (1977). Methode rapide de caracterisation des roches meres de leur potentiel petrolier et de leur degre d'evolution. *Rev. Inst. Fr. Pet*, 32, 23-42.
- Espitalie, J. (1982). Institut Français du Petrole, Syntheses Geologiques et Geochimie 7020 dated April 28.
- Ficken, K. J., Li, B., Swain, D. L. ve Eglinton, G. (2000). An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Org. Geochem.*, 31, 745–749.
- Fowler, M. G., Gentzis, T., Goodarzi, F. ve Foscolos, A. E. (1991). The petroleum potential of some Tertiary lignites from northern Greece as determined using pyrolysis and organic petrological techniques. *Org. Geochem.* 17, 805–826.
- Guenther, F., Aichner, B., Siegwolf, R., Xu, B., Yao, T. ve Gleixner, G. (2013). A synthesis of hydrogen isotope variability and its hydrological significance at the Qinghai–Tibetan Plateau. *Quat. Int.*, 313–314, 3–6.
- Hanson, A. D., Zhang, S.C., Moldowan, J. M., Liang, D. G. ve Zhang, B. M. (2000). Molecular organic geochemistry of the Tarim basin, Northwest China. *AAPG Bull.* 84, 1109–1128.
- Hos-Cebi, F. (2017). Organic geochemical characteristics and paleoclimate conditions of the Miocene coals at the Can-Durali (Canakkale), *Journal of African Earth Sciences*, 129, 117-135.
- Hoş-Çebi, F. ve Korkmaz, S. (2013). Organic Geochemistry and Depositional Environments of Eocene Coals in Northern Anatolia, Turkey, *Fuel*, 113, 481-496,
- Hu, F., Meng, Q. ve Liu, Z. (2022). Petrological and geochemical characteristics of coal and oil shale of Paleogene Lijiaya Formation in Huangxian Basin, Eastern China: Implication for evolution of symbiotic formation mechanism. *Geomech. Geophys. Geo-energ. Geo-resour*, 8:123
- Huang, H., Larter, S. R. ve Love, G. D. (2003). Analysis of wax hydrocarbons in petroleum source rocks from the Damintun depression, eastern China, using high-temperature gas chromatography. *Org Geochem* 34: 1673-168.
- Hunt, J. M. (1996). *Petroleum geochemistry and geology (second edition)*, W. H. Freeman and Company, New York, 743p.
- Jarvie, D. ve Baker, D. (1984). *Application of the rock-eval III oil show analyzer to the study of gaseous hydrocarbons in an Oklahoma gas well: presented at the 187th American Chemical Society National Meeting, Geochemistry Division, April 1984, St. Louis MO*

- Jarvie, D. M. (1991). Total Organic Carbon (TOC) Analysis. (Merill, R.K., Ed.), *Source and Migration Processes and Evaluation Techniques*, Tulsa, American Association Of Petroleum Geologists, *Treatise of Petroleum Geology Handbook of Petroleum Geology*, 113-118.
- Jarvie, D. M., Claxton B. L., Henk, F. ve Breyer, J. T. (2001). Oil and shale gas from the Barnett Shale, Ft, Worth Basin, Texas (abs), AAPG Annual Meeting Program, pp. A100.
- Jones, R. W. (1984). Comparison of carbonate and shale source rocks. In: Palacas, J. (Ed.), *Petroleum Geochemistry and Source Potential of Carbonate Rocks*: AAPG Stud. Geol., p. 18.
- Karayigit, A. İ. ve Köksoy, M. (1994). *Classification of coal*. in *Coal* ed. by O. Kural, Kurtiş Matbaası, 975s.
- Kazancı, C. (2020). *Tunçbilek (Tavşanlı-Kütahya) fç pano açık işletme sahası kömürlerinin organik fasiyes özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Korkmaz, S. ve Kara-Gülbay, R. (2007). Organic Geochemical Characteristics and Depositional Environments of the Jurassic Coals in the Eastern Taurus of Southern Turkey, *International Journal of Coal Geology*, 70:292–304.
- Kostova, I., Zdravkov, A., Bechtel, A., Botoucharov, N., Groß, D., Dochev, D. ve Apostolova, D. (2022). Characterization of organic matter from the Cretaceous sedimentary and volcano-sedimentary strata from Livingston Island, Antarctic Peninsula: Insights from organic petrology, molecular proxies and carbon and hydrogen isotopes. *International Journal of Coal Geology*, 252: 103940.
- Lafargue, E., Marquis, F. ve Pillot, D. (1998). Rock-Eval 6 applications in Hydrocarbon Exploration, production, and Soil Contamination Studies. *Oil & Gas Sciences and Technology Journal*, 53 (4): 421–437.
- Linyit Sektör Raporu (2010). Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu yayını, Ankara
- McCarthy, K., Rojas, K., Niemann, M., Palmowski, D., Peters, K. ve Stankiewicz, A. (2011). Basic Petroleum Geochemistry for Source Rock Evaluation. *Oilfield Review Summer-Schlumberger*, 23(2): 32-43.
- Mello, M. R. ve Maxwell, J. R. (1990). Organic geochemical and biological marker characterization of source rocks and oils from lacustrine environments in the Brazilian Continental Margin. In: Katz BJ, editor. Lacustrine Basin Exploration. *AAPG Memoir* 50: 77-97.

- Merrill, R. K. (1991). Source and migration processes and evaluation techniques (R. K. Merrill, ed.), Oklahoma, USA.
- Meyers, P. A. ve Ishiwatari, R. (1995). *Organic matter accumulation records in lake sediments*, In: Lerman, A., Imboden, D.M., Gat, J.R. (Eds.), Physics and Chemistry of Lakes, Springer, Berlin.
- MTA (2006). *Kütahya-Tavşanlı-Tunçbilek Kömür Sahası Hidrojeoloji Etüdü* Yayınlanmamış, Ankara
- Nott, C. J., Xie, S., Avsejs, L. A., Maddy, D., Chambers, F. M. ve Evershed, R. P. (2000). n-Alkane Distributions in Ombrotrophic Mires as Indicators of Vegetation Change Related to Climatic Variation. *Organic Geochemistry* 31: 231–235.
- Pan, J., Ge, T. Liu, W., Wang, K., Wang, X., Mou, P., Wu, W. ve Niu, Y. (2021). Organic matter provenance and accumulation of transitional facies coal and mudstone in Yangquan, China: Insights from petrology and geochemistry. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 94: 104076
- Peters, K. E. ve Moldowan, J. M. (1993). The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Peters, K. (1986). Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *AAPG bulletin*, 70(3), p. 318-329.
- Peters, K. E. ve Moldowan, J. M. (1993). The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Peters, K. E. ve Cassa M. R. (1994). Applied source rock geochemistry, in L.B. Magoon and W.G. Dow, eds., The petroleum system from source to trap: *AAPG Memoir* 60: p. 93-120.
- Petersen, H. I. (2002). A Reconsideration of the “Oil Window” for Humic Coal and Kerogen Type III. *J. Pet. Geol.* 25: 407-432.
- Philp, P. R. (1994). Geochemical characteristics of oils derived predominantly from terrigenous source materials. In: Scot AC, Fleet AJ, editors. Coal and Coal-bearing Strata as Oil-prone Source Rocks? *Special Publications* No. 77. Geological Society, London, pp. 71-91.
- Poynter, J. G., Farrimond, P., Robinson, N., ve Eglinton, G. (1989). *Aeolian derived higher plant lipids in the marine sedimentary record: links with palaeoclimate*. In Leinen, M., and Sarnthein, M. *Palaeoclimatology and Palaeometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport*: Dordrecht (Kluwer Academic Press), 435-462.

- Rodrigues, C. F. ve Lemos De Sousa, M. J. (2002). The measurement of coal porosity with different gases. *Int. Journal of Coal Geology*, 48, 245-251.
- Rodrigues, B., Duarte, L.V., Mendonça Filho, J. G., Santos, L. G. ve de Oliveira, A. D. (2016). Evidence of terrestrial organic matter deposition across the early Toarcian recorded in the northern Lusitanian Basin. Portugal. *Int. J. Coal Geol.* 168: 35–45.
- Rogers, R. E. (1994). *Coalbed methane; principle and practice*. PTR Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 345p.
- Saydam Eker, Ç., Akpınar, İ. ve Sipahi, F. (2016). Organic geochemistry and element distribution in coals formed in Eocene Lagoon facies from the Eastern Black Sea Region, NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25: 467-489..
- Saydam Eker, Ç. ve Arı U. V. (2023). Geochemical characteristics of late Jurassic– early Cretaceous age limestones from Gümüşhane (NE-Turkey): Identification of the source of organic matter and paleo-environment conditions. *Carbonates and Evaporites*, 38: 12.
- Scalan, R. S. ve Smith, J. E. (1970). An improved measure of the odd-even predominance in the normal alkanes of sediment extracts and petroleum. *Geochimica et cosmochimica acta*, 34: 611-620.
- Speight, J. G. (2005). *Handbook of Coal Analysis*. John Wiley and Sons, Inc. publications, 222p.
- Song, D., Qin, Y., Zhang, J., Wang, W. ve Zheng, C. (2007). Concentration and distribution of trace elements in some coals from Northern China. *Intl. J. Coal Geol.* 69: 179-191.
- Song Y, Cao Q, Li S et al. (2021). Salinized lacustrine organic-rich shale influenced by marine incursions: Algal-microbial community, paleoenvironment and shale oil potential in the Paleogene Biyang Depression. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 580:110621
- Sütçü, E. C., Şentürk, S., Kapıcı, K. ve Gökçe, N. (2021). Mineral and rare earth element distribution in the Tunçbilek coal seam, Kütahya, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 245: 103820.
- Stach, E., Mackowsky, M. Th., Teichmüller, M., Taylor, G. H., Chandra, D. Ve Teichmüller, R. (1982). *Stach's Textbook of Coal Petrology*. 3rd edi., Gebrüder Bortraeger, Berlin and Stuttgart, 535p.
- Ünalın, G. (2010). *Kömür Jeolojisi*, M.T.A. Genel Müdürlüğü yayını, Ankara.
- Qiao, j., Baniasad, A., Zieger, L., Zhang, L., Luo, Q. ve Littke, R. (2021). Paleo-depositional environment, origin and characteristics of organic matter of the

- Triassic Chang 7 Member of the Yanchang Formation throughout the mid-western part of the Ordos Basin, China. *International Journal of Coal Geology*, 237: 103636.
- Tissot, B. P. ve Welte, D. H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, New York, Tokyo.
- Volkman, J. K. ve Maxwell, J. R. (1986). *Acyclic isoprenoids as biological markers, Biological Markers in the Sedimentary Record*, R. B. Johns, Ed., Elsevier, New York, 1–42.
- Wan, Hasiah, A. ve Abolins, P. (1998). Organic petrological and organic geochemical characterization of the Tertiary coal-bearing sequence of Batu Arang, Selangor, Malaysia. *J Asian Earth Sci* 16: 351-367.
- Waples, D. W. (1985). *Geochemistry in Petroleum Exploration*, International Human Resources Development Corporation. Boston, 232 s.
- Yalçın Erik, N. ve Ay, F. (2013). Organic geochemical characterization and hydrocarbon potential of Tertiary coals of the Tokat Province (Central Anatolia, Turkey). *Energy Sources, Part A*, 35, 991–999.
- Zeybek, B. (2007). *Porsuk formasyonu (pliyosen) evaporitlerinin jeokimyasal incelemesi, Orta Sakarya bölgesi, İç Anadolu*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara
- Zheng, Y., Zhou, W., Meyers, P.A. ve Xie, S. (2007). Lipid biomarkers in the Zoig^e-Hongyuan peat deposit: indicators of Holocene climate changes in West China. *Org. Geochem.* 38: 1927e1940.

ÖZGEÇMİŞ

Yeliz KÖSE, 2010 yılında Fatih Sultan Mehmet Anadolu Lisesi Fen Bilimleri bölümünde lise eğitimini, 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Lisans öğrenimini tamamladı. 2020 yılında Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalında Tezsiz Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 2021 yılında Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitimi Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine ve 2023 yılında Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Ana Bilim Dalında Tezsiz Yüksek Lisans eğitimine başladı.

2019 yılında Bozdağ Madencilik A. Ş. de Jeoloji Mühendisi görevine başlamış ve halen devam etmektedir. Kömür madencilik sektöründe bulunan şirkette görevi gereğince sondajların değerlendirilmesi ve yeraltı jeolojisini yorumlanarak madenin modellenmesi ve projenin hazırlanması, bu proje kapsamında üretim planlaması yapılması ve tabiki, fizibilite çalışmalarını yapılması ve mevzuatsal süreçlerin takibi ve yürütülmesi, UMREK standartlarında sondajların planlanması ve yürütülmesi kapsamında çalışmaktadır.