

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÖKÇESU (BOLU) CİVARI EOSEN BİRİMLERİNİN ORGANİK
JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Uğur ÖREN

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2019**

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Uğur ÖREN tarafından hazırlanan “Gökçesu (Bolu) Civarı Eosen Birimlerinin Organik Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 06.05.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/ oy çokluğu ile Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ali SARI

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Hükmü ORHAN
Konya Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Ali SARI
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Turhan AYYILDIZ
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Özlem YILDIRIM
Enstitü Müdürü (V.)

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

06.05.2019



Uğur ÖREN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÖKÇESU (BOLU) CİVARI EOSEN BİRİMLERİNİN ORGANİK JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Uğur ÖREN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali SARI

Gökçesu Havzası Eosen yaşlı tortullarından derlenen bitümlü şeyl örnekleri organik jeokimyasal, organik petrografi, gaz kromatografi ve ince tabaka kromatografi analizlerine tabii tutularak hidrokarbon potansiyelleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar bitümlü şeyllerin organik madde miktarı, organik madde tipi, organik maddenin olgunlaşma düzeyi, kaynak kaya litolojisi, çökelme ortamı, organik fasiyes ve hidrokarbon potansiyeli yönlerinden yorumlanmıştır.

Organik maddeler çoğunlukla petrol ve gaz türetebilecek (Tip I ve Tip II kerojen) tiptedir. Çalışılan bitümlü şeyllerin ısısal olgunlaşmaları; piroliz analizleri, üretim indeksi ve spor-renk indeksi ile belirlenmiş ve ısısal olarak olgunlaşmamış-erken olgun petrol türüm evresinde olduğu belirlenmiştir. Gökçesu havzasına ait bitümlü kayalar organik karbon yönüyle yeterli derecede kaynak kaya potansiyeline sahiptirler.

Organik fasiyes ayırtlaması, kerojenin jeokimyasal özellikleri, maseral tipleri ve mikroskopik incelemelere göre yapılır. Organik maddenin bileşimi, oluşumu ve diyajenetik durumu göz önüne alınarak yapılan yedi ayrı organik fasiyes tanımlamasına göre organik fasiyesler AB tipindedir. Analiz sonuçlarına göre Tokmaklar formasyonunun olgunlaşmanın yeterli olduğu alanlarda petrol ve gaz türetebileceği belirlenmiştir.

Mayıs 2019, 87 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bitümlü şeyl, organik madde, alg, sentetik petrol, organik fasiyes

ABSTRACT

Master Thesis

ORGANIC GEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THE EOCENE UNITS AROUND GÖKÇESU (BOLU)

Uğur ÖREN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ali SARI

Hydrocarbon potentials of bituminous shale samples collected from the Eocene sediments in Gökçesu basin were evaluated through the organic geochemical, organic petrographical, gas chromatographical and iatrosan chromatographic analysis. The results were interpreted in respect to the amount of organic matter, type of organic matter, organic maturation lithology of source rock, depositional environment, organic facies and hydrocarbon potential.

Organic matters are mostly of oil-prone and gas prone (Type I and Type II kerogen). The thermal maturation of the studied bituminous shales determined through pyrolysis analysis, production indeks and spor-colour index are in the range of the immature and early mature bituminous shales of the Gökçesu basin have high source rock potential in regard to their organic carbon contents.

The classification of organic facies is made with respect to the geochemical properties of kerogene, maseral types and microscopic analyses. Among seven types of organic facies defined by using data, such as the composition, formation and diagenetic condition of organic matter, the studied samples are interpreted as being organic facies AB type. The analyses results show that Tokmaklar formation may produce oil and gas at the zones which have enough maturation.

May 2019, 87 pages

Key Words: Bituminous shale, organic matter, algae, synthetic petroleum, organic facies.

TEŐEKKÖR

Tüm alıőmam süresince beni yönlendiren, bilgi, öneri ve yardımlarını benden esirgemeyen Sayın Danıőmanım Prof. Dr. Ali SARI'ya (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü), alıőmaya eleőtirileri, önerileri ve her türlü yardımlarıyla katkı sağlayan mesai arkadaşlarım başta Serkan KARACA olmak üzere Levent İLDEŐ ve Ünsal TURALI'ya, analizlerin yapılması ve değerlendirilmesinde emeği geçen MTA Maden Analizleri ve Teknolojileri Dairesi Başkanlığı laboratuvarları personeli ve TPAO Araştırma Grup Başkanlığı ve laboratuvar çalıőanlarına, benden emeğini ve ilgisini esirgemeyen değerli hocalarıma teőekkörü bir borç bilirim.

Uğur ÖREN

Ankara, Mayıs 2019

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Önceki Çalışmalar.....	1
1.3 Uygulanan Yöntemler	5
1.3.1 Arazi çalışmaları	5
1.3.2 Laboratuvar çalışmaları.....	5
1.3.2.1 Kayaçta yapılan incelemeler	6
1.3.2.1.1 Toplam organik karbon analizleri.....	6
1.3.2.1.2 Piroliz analizleri	7
1.3.2.1.3 Özütleme analizi.....	8
1.3.2.1.4 Organik petrografik analizler	9
1.3.2.2 Petrol ve bitümde yapılan incelemeler	9
1.3.2.2.1 Gaz kromatografi analizi.....	9
1.3.2.2.2 İnce tabaka kromatografi analizi	10
1.3.3 Büro çalışmaları	10
1.4 İnceleme Alanının Konumu	10
2. BÖLGESEL JEOLJİ.....	12
2.1 Stratigrafi.....	14
2.1.1 Bolu granitoidleri (bgy)	14
2.1.2 Aksudere formasyonu (Dsa).....	16
2.1.3 Soğucak formasyonu (Ks)	19
2.1.4 Buldandere formasyonu (Tkb)	22
2.1.4.1 Fındıklıdere üyesi (Tkbf).....	24
2.1.4.2 Devretkaya üyesi (Tkbd)	27
2.1.5 Sazlar formasyonu (Ts)	29

2.1.6 Tokmaklar formasyonu (Tt)	32
2.1.7 Mengen formasyonu (Tm).....	35
2.1.8 Alüvyon (Qal)	36
3. ORGANİK JEOKİMYA	37
3.1 Organik Maddenin Kaynağı, Oluşumu ve Korunumu.....	37
3.2 Bitümlü Şeyller	38
4. ANALİZ VE BULGULAR	42
4.1 Organik Jeokimyasal İncelemeler	42
4.1.1 Organik madde miktarı ve kaynak kaya potansiyeli.....	44
4.1.2 Organik madde tipi.....	50
4.1.3. Hidrokarbon Üretim Potansiyeli	57
4.1.4 Organik maddenin olgunluğu	61
4.1.4.1 Üretim İndeksi (PI) değerlerine göre olgunlaşma seviyesi.....	62
4.1.4.2 T _{max} değerlerine göre olgunlaşma seviyesi.....	63
4.1.4.3 Spor Renk İndeksi (SCI) değerlerine göre olgunlaşma seviyesi	66
4.1.5 Organik fasiyes incelemeleri	67
4.1.6 Gaz kromatografi analizleri	71
4.1.7 İnce tabaka kromatografi analizleri.....	76
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	78
KAYNAKLAR	81
EK 1 Gökçesu-Mengen (Bolu) ve yakın civarına ait jeoloji haritası	
ÖZGEÇMİŞ.....	87

SİMGELER DİZİNİ

C	Karbon
°C	Santigrad derece
Co	Kobalt
CO ₂	Karbondioksit
CPI	Karbon Tercih İndeksi
CS ₂	Karbon disülfür
Fe	Demir
H	Hidrojen
HC	Hidrokarbon
HI	Hidrojen İndeks
km	Kilometre
m	Metre
mg	Miligram
Mo	Molibden
N	Azot
Ni	Nikel
NSO	Azot, kükürt, oksijen
O	Oksijen
OI	Oksijen İndeks
P	Fosfor
PI	Üretim İndeksi
ppm	Parts per million
Ph	Fitan
Pr	Pristan
PY	Potansiyel Verim
R ₀	Vitrinit Yansıması
S	Kükürt
S ₁	Kaya içerisinde serbest halde bulunan hidrokarbon miktarı
S ₂	Kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan hidrokarbon miktarı
S ₃	Kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan CO ₂
SCI	Spor Renk İndeksi
T _{max}	S ₂ pikinin maksimumuna ulaştığı noktadaki sıcaklık değeri
TOC	Toplam Organik Karbon Miktarı
U	Uranyum
V	Vanadyum
Zn	Çinko

Kısaltmalar

BD	Batı-Doğu
GB	Güney-Batı
KD	Kuzey-Batı
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
OM	Organik madde
ÖSK	Ölçülü Stratigrafik Kesit
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 LECO karbon analiz cihazına ait görünüm.....	7
Şekil 1.2 Rock-Eval VI cihazına ait bir görünüm	7
Şekil 1.3 Varian-3700 cihazına ait bir görünüm	9
Şekil 1.4 Çalışma sahası yerbulduru haritası	11
Şekil 2.1 Çalışma sahasının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Erendil vd. 1991)' den değiştirilerek alınmıştır).....	13
Şekil 2.2 Bolu granitoidinin (bgy) uzaktan görünümü (Mengen güneyi, yol kenarı).....	14
Şekil 2.3 Bolu granitoidinin (bgy) yakın plan görünümü (Mengen güneyi, yol kenarı).....	15
Şekil 2.4 Aksudere formasyonuna ait kireçtaşları (Mengen-Sazlar kuzeyi).....	17
Şekil 2.5 Aksudere formasyonuna ait spari-kalsit çimentolu tanetaşı	18
Şekil 2.6 Aksudere formasyonuna ait istiftaşı fasiyesi	18
Şekil 2.7 Soğucak formasyonuna ait kireçtaşları (Şahbazlar Mahallesi güneyi).....	20
Şekil 2.8 Soğucak formasyonuna ait pelajik fosilli mikritik kireçtaşına ait ince kesit görüntüsü.....	22
Şekil 2.9 Buldandere formasyonu Fındıklıdere üyesinde gözlenen kumtaşı- kireçtaşı ar dalanması (Demirciler Mahallesi kuzeyi).....	23
Şekil 2.10 Fındıklıdere üyesine ait kumtaşı-marn ar dalanması yakın plan görünüm (Demirciler Mahallesi)	25
Şekil 2.11 Fındıklıdere üyesi kireçtaşlarına ait ince kesit görüntüsü.....	25
Şekil 2.12 Devretkaya üyesi kireçtaşı-kumtaşı-marn ar dalanması (Karakaya Mahallesi)	27
Şekil 2.13 Devretkaya üyesine ait ekinidler etrafındaki sintaksiyal çimento gelişimleri	28
Şekil 2.14 Sazlar formasyonu kireçtaşlarının uzaktan görünümü (Sazlar Köyü, yol kenarı).....	30
Şekil 2.15 Sazlar formasyonuna ait bol alveolinli kireçtaşı.....	30
Şekil 2.16 Sazlar formasyonuna ait karbonatlı kumtaşı seviyesi (Sazlar Köyü)	31
Şekil 2.17 Sazlar formasyonuna ait kireçtaşları içerisinde gözlenen, ilksel dokusu tanınmayan nummulit fosili.....	32
Şekil 2.18 Tokmaklar formasyonu şeyl seviyeleri (Gökçesu batısı).....	34
Şekil 2.19 Tokmaklar formasyonuna ait kumtaşı seviyeleri (Gökçesu batısı).....	34
Şekil 2.20 Mengen formasyonu konglomera ve kumtaşları (Mengen-Gökçesu yol üzeri).....	36
Şekil 2.21 Mengen formasyonuna ait sparikalsit çimentolu istiftaşının fotomikrografisi	36
Şekil 4.1 Gökçesu (Bolu-Mengen) yöresine ait ölçülü stratigrafik kesiti.....	43
Şekil 4.2 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerinin organik madde miktarı.....	45
Şekil 4.3 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü kayaçların S ₂ hidrokarbon pik değerleri	49
Şekil 4.4 İncelenen örneklerin HI değerleri	53

Şekil 4.5 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllerinin HI sınır değerlerine göre S ₂ - TOC grafiğindeki konumları (Langford ve Blanc-Valeron 1990)	54
Şekil 4.6 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllerinin HI-T _{max} diyagramı (Hunt 1995, Mukhopadhyay vd. 1995)	55
Şekil 4.7 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllerinin maseral grup bileşimi ve hidrokarbon türüm potansiyeli diyagramı üzerinde gösterimi (Espitalie vd. 1977).....	56
Şekil 4.8 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllerinin HI-TOC diyagramına göre kaynak kaya yeterliği (Jackson vd. 1985)	58
Şekil 4.9 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllerinin HC-TOC diyagramına göre petrol ve gaz kaynak potansiyeli (Wehner 1989)	59
Şekil 4.10 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllerinin S ₁ (mg HC/g kaya)- TOC (%) diyagramındaki konumları (Hunt 1995).....	61
Şekil 4.11 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyllerin PI değerleri	62
Şekil 4.12 İncelenen örneklerin T _{max} değerleri	64
Şekil 4.13 İncelenen örneklerin T _{max} - PI (°C) diyagramındaki konumları (Ghori 2000)	65
Şekil 4.14 Organik fasiyeslerin şematik görünümü (Jones 1987, Altunsoy ve Özçelik 1991)	67
Şekil 4.15 U2 numunesine ait gaz kromatografi analiz sonuçları.....	72
Şekil 4.16 U4 numunesine ait gaz kromatografi analiz sonuçları.....	72
Şekil 4.17 U15 numunesine ait gaz kromatografi analiz sonuçları.....	73
Şekil 4.18 U20 numunesine ait gaz kromatografi analiz sonuçları.....	73
Şekil 4.19 Tokmaklar formasyonuna ait Pr/n-C17-Ph-n-C18 diyagramı (Petersen vd. 2001)	75
Şekil 4.20 Petrol ve bitümlerin yüzde kimyasal bileşenlerine ait üçgen diyagram (Tissot ve Welte 1984)	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Çalışma alanından derlenen örnekler üzerinde uygulanan yöntemlerin sınıflaması	6
Çizelge 3.1 Bitümlü şeyl bileşenleri	39
Çizelge 3.2 Dünyadaki bitümlü şeyl petrol-eşdeğer rezervleri (USA Department of Energy 2004).....	39
Çizelge 3.3 Çeşitli ülkelerin bitümlü şeyl rezerv ve üretim oranları (Laherrere 2005) ..	40
Çizelge 3.4 Türkiye'deki bitümlü şeyl potansiyel sahaları (Altun vd. 2006)	41
Çizelge 4.1 Tokmaklar formasyonuna ait örneklerde gerçekleştirilen analizler.....	42
Çizelge 4.2 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyl örneklerinin TOC (%) ve piroliz analiz değerleri	44
Çizelge 4.3 Çeşitli araştırmacılara göre kaynak kayanın petrol potansiyelini belirlemede kullanılan % TOC sınır değerleri	45
Çizelge 4.4 Tokmaklar formasyonuna ait örneklerin toplam organik karbon analiz sonuçları ve kaynak kaya potansiyeli yorumları	47
Çizelge 4.5 Peters ve Cassa (1994)'a göre kaynak kayaların petrol potansiyelini belirlemede kullanılan S ₁ hidrokarbon değerleri.....	47
Çizelge 4.6 İncelenen örneklerin S ₁ (mg HC/g kaya) değerleri ve kaynak kaya potansiyelleri	48
Çizelge 4.7 Farklı araştırmacılara göre kaynak kayaların S ₂ sınır değerleri.....	48
Çizelge 4.8 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örnekleri S ₂ hidrokarbon değerlerinin farklı araştırmacılara göre yorumlamaları	49
Çizelge 4.9 Peters (1986), Peters ve Cassa (1994) ve Clementz vd. (1979)' a göre S ₂ /S ₃ oranı ve HC tipi ile kerojen tipi sınıflaması.....	51
Çizelge 4.10 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllere ait örneklerin S ₂ /S ₃ parametresine göre kerojen tipleri (Peters ve Cassa 1994)	52
Çizelge 4.11 HI sınır değerlerine göre kerojen tipleri (Peters ve Cassa 1994).....	52
Çizelge 4.12 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerinin HI değerlerine göre kerojen ve hidrokarbon tipleri	53
Çizelge 4.13 İncelenen örneklerin S ₂ mg HC/g kaya ve TOC % değerleri.....	54
Çizelge 4.14 İncelenen örneklerin organik petrografi analiz sonuçları	56
Çizelge 4.15 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyl örneklerinin HI-TOC değerleri.....	57
Çizelge 4.16 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerine ait Jenetik Potansiyel değerleri ve buna göre kaynak kaya potansiyel tablosu	60
Çizelge 4.17 Jenetik potansiyel ile kaynak kaya potansiyeli arasındaki ilişki (Tissot ve Welte 1978)	60
Çizelge 4.18 PI sınır değerlerine göre olgunlaşma düzeyi (Peters ve Cassa 1994)	63
Çizelge 4.19 Farklı araştırmacılara göre Tmax-olgunlaşma ilişkisi	63
Çizelge 4.20 Kerojen tiplerine göre değişiklik gösteren Tmax sınır değerleri (Espitalie ve Tissot 1980).....	64
Çizelge 4.21 İncelenen bitümlü şeyllerin T _{max} değerlerine göre olgunlaşma seviyelerinin değerlendirilmesi	65
Çizelge 4.22 Sarı ve siyah arasında değişen renk tonları ve karşılık gelen olgunlaşma seviyesi (Ediger ve Soylu 1993).....	66
Çizelge 4.23 İncelenen örneklerin SCI değerlerine karşılık olgunlaşma seviyeleri	67
Çizelge 4.24 Eosen yaşlı Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyllerin organik petrografi ve piroliz verileri	69

Çizelge 4.25 Organik fasiyeslerin genelleştirilmiş mikroskobik karakteristiklerinin özetini (Jones ve Demaison 1982, Jones 1984, 1987).....	70
Çizelge 4.26 Organik fasiyesler ve ortamsal faktörler arasındaki ilişki (Jones ve Demaison 1982, Jones 1984, 1987)	70
Çizelge 4.27 Karbon tercih indeksi değerlerine ait sınıflamalar (Bray ve Evans 1961) ..	74
Çizelge 4.28 Tokmaklar formasyonuna ait ince tabaka kromatografi analiz sonuçları ..	76
Çizelge 4.29 Toplam özüt miktarları	76



1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu tez kapsamında Gökçesu (Bolu) yöresinde yer alan Eosen bitümlü şeyllerinin organik jeokimyasal özellikleri incelenerek, hidrokarbon potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için çalışma alanında yüzlek veren bitümlü şeyllerin içermiş olduğu organik madde miktarı ve türü, organik olgunlaşmaları, kaynak kaya litolojileri ve çökelim ortamları tespit edilerek hidrokarbon türüm potansiyelleri belirlenmiştir.

Ülkemizdeki alternatif enerji kaynaklarından olan bitümlü şeyllerin, teknolojik gelişmelere olanak sağlamasıyla birlikte ekonomimize de katkılar sağlayacağı açıktır. Bu durum bu tez çalışmasını önemli hale getirmektedir. Ayrıca bitümlü şeyller yönünden oldukça zengin bir potansiyele sahip olan Bolu yöresine ve özellikle Türkiye genelinde üzerinde çalışma yapılabilecek diğer bölgelere ait bitümlü şeyl yataklarına ışık tutması yönüyle de önem arz etmektedir.

1.2 Önceki Çalışmalar

Çalışma sahası ve yakınında bugüne kadar genel jeoloji, stratigrafi, sedimantoloji, petrol jeolojisi, bitümlü şeyl ve kömür jeolojisi konularında birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan başlıcaları şunlardır:

Blumenthal (1937); Bolu bölgesinin jeolojik incelemesini yapmış, 300 m'ye kadar olan derinlikte 37 milyon ton bitümlü şeyl rezervi hesaplamıştır.

Stchepinsky (1941); Beypazarı-Nallıhan-Bolu bölgesinin jeolojisi ve mineral zenginliklerini incelemiştir.

Blumenthal (1948); Bolu bölgesinin stratigrafik ve tektonik durumu ile, bölge jeolojisini açıklamıştır. Bölgeyi, Bolu Masifi ve Arkot Dağı silsilesi olarak iki kısma ayırmıştır. Arkot Dağı silsilesini, "Karışık tektonik" tipteki Kretase yaşlı oluşuk olarak belirlemiş ve bu birimlerin Paleozoik yaşlı eski çekirdek üzerinde yer aldığını ifade etmiştir. Ayrıca Arkot Dağının kuzey kesiminde Mengen çayı vadisinde, "numulitik filiş

bölgesinin” bir tarafta faylı Arkot Dağı, diğer tarafta, “Bolu Masifinin eski oluşukları” arasında uzandığını belirtmiştir.

Uysallı (1961); Salıpazarı-Mengen bölgesinde, Paleozoik, Eosen ve Kretase formasyonlarını ayırmıştır. Paleozoik yaşlı birimlerin değişik metamorfik kayalardan oluştuğunu, Eosen yaşlı birimlerin Alt ve Orta Eosen’e ait bol numulitli kireçtaşı ve marnlardan oluştuğunu ifade etmiştir.

Beseme (1967); Göynük-Gölpazarı bölgesinin ayrıntılı stratigrafisini belirlemiş, tektonik deformasyonları incelemiş ve söz konusu bölgenin bitümlü şist rezervlerinin tahminini yapmıştır.

Beseme (1969); Bolu ili Göynük ilçesinde yer alan bitümlü seviyelerin bitüm oranı ve rezervini hesaplamıştır.

Akarsu (1974); Sakarya havzasında bulunan bitümlü şeyller ve bölgenin petrol potansiyeli hakkında çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Saner (1980); Bolu ili Mudurnu ilçesi civarında gerçekleştirmiş olduğu çalışmasında granitlerden oluşan temel birimlerin üzerine Mesozoyik yaşlı birimlerin geldiğini ve arazide bulunan çukurlukları Liyas yaşlı verilmiş kumtaşı birimlerinin doldurduğunu belirtmektedir.

Yanılmaz vd. (1980); Göynük (Bolu) Bitümlü şist Sahası hakkındaki raporda 1967-1969 yıllarında jeoloji haritası yapılan sahanın olası bitümlü şist rezervinin hesaplanması, kalitesinin belirlenmesi ve işletme olanaklarının tespit edilmesine yönelik çalışmalara yer verilmiştir.

Kaya ve Dizer (1983); Mengen civarındaki Eosen yaşlı kömür ve bitümlü şeyl oluşumlarının stratigrafisi ve ekonomik potansiyelini araştırmışlardır.

Cerit (1983); Mengen yöresinin jeolojisini araştırmıştır. Bu bölgenin stratigrafik ve tektonik açıdan incelemesini yapmıştır.

Sonel vd. (1987b); Bolu ili Göynük ilçesi civarının jeolojisini incelemişler ve bölgedeki linyit oluşuklarının jeolojisini araştırmışlardır.

Taka ve şener (1988); Bolu ili Göynük ilçesi Himmetoğlu yöresindeki bitümlü şeyl birimlerini incelemişlerdir. Buradaki bitümlü şeylerin büyük çoğunluğunun kömür birimleri üzerinde yer aldığını ve genellikle şeyl ve marnlar içinde serbest halde bulduklarını iddia etmişlerdir.

şengüler vd. (1988); Bolu-Mengen sahasındaki bitümlü şeylerin jeolojisi ve ekonomik olarak değerlerini araştırmışlardır.

şeker ve Keskin (1991); Sakarya havzasını jeolojik açıdan değerlendirmişler ve petrol olanaklarını araştırmışlardır.

şener ve şengüler (1992), Hatıldığ yöresinde yapmış oldukları çalışmada bitümlü şeylerin jeolojisini ve teknolojik olarak kullanım olanaklarını incelemişlerdir. Sahada bulunan bitümlü kayaaların kalınlıklarını tespit etmişler ve organik madde bakımından kalitesinin iyi olmadığını belirtmişlerdir. Ekonomik olarak işletilebilecek bitümlü şeyl zonunun kalınlığının 30.5 m ve kalori değerinin 774 Kcal/kg olduğunu saptamışlardır. Ayrıca bitümlü şeyl zonunun petrol içeriğini % 5.3 olarak tespit etmişlerdir.

Sarı ve Sonel (1995); Kayabaşı (Göynük-Bolu) yöresinin bitümlü şeylerini incelemişlerdir.

şener ve şengüler (1998); Hatıldığ yöresinde bulunan bitümlü şeylerin jeolojisi, jeokimyası ve mineralojisi üzerinde çalışmışlardır.

Sarı (1999); Himmetoğlu formasyonuna ait bitümlü şeylerin organik jeokimyasal özelliklerini incelemiştir.

Tekin ve Sarı (2000); Göynük civarında bulunan Kabalar formasyonunda yer alan bitümlü şeyllerin ürettiği oldukları hidrokarbonların fiziksel özelliklerini ve göç yollarını incelemiştir.

Sarı ve Aliyev (2005); Bolu ili Göynük ilçesi civarındaki çalışmalarında bitümlü şeyllerin organik madde tiplerini ve organik karbon içeriğini tespit etmişlerdir.

Sarı vd. (2007); Gökçesu (Bolu) Eosen bitümlü şeyllerin kaynak kaya özelliklerini incelemiştir.

Sarı ve Geze (2008); Himmetoğlu (Göynük-Bolu) bölgesi bitümlü şeyl ve kömürlerinin organik jeokimyasal özelliklerini incelemiştir.

Şengüler vd. (2008); Mengen petrolü şeyllerin jeokimyasal, mineralojik ve termal ayrışma özelliklerini incelemiştir.

Koralay (2009); Bolu Mengen yöresindeki bitümlü şeyllerin hidrokarbon potansiyelleri ve iz element incelemesini yapmıştır.

Koralay ve Sarı (2013); Bolu ili Mengen ilçesi Veliler kasabası civarındaki Eosen bitümlü şeyllerin redoks koşulları ve metal organik karbon ilişkilerini incelemiştir.

Bu tez çalışmasında ise, bu bölge ve civarında gerçekleştirilmiş olan önceki çalışmalardan farklı olarak Gökçesu (Bolu-Mengen) kasabası civarında bulunan Tokmaklar formasyonundaki bitümlü şeyllerin ayrıntılı organik jeokimyasal incelemeleri yapılmış olup, sahanın denizel ve kömürsüz bir ortam olmasının Türkiye’de bulunan pek çok bitümlü şeyl sahasından farklı olması nedeniyle, elde edilen sonuçların alternatif bir enerji hammadde kaynağı olan bitümlü şeyllerin kullanımı açısından ülke ekonomisine ve gelecek çalışmalara katkı sunması hedeflenmiştir.

1.3 Uygulanan Yöntemler

Bu tez çalışması; arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları gerçekleştirilerek ortaya çıkarılmıştır.

1.3.1 Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları 2002 ve 2003 yılları yaz aylarında yapılmıştır. Bolu iline bağlı Mengen ilçesi Gökçesu kasabası civarındaki Eosen yaşlı bitümlü şeyllerin yayılımı tespit edilmiştir. Bitümlü şeyllerin altında ve üstünde yer alan birimlerle ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla, bölgeye ait literatürde bulunan jeolojik haritalar çalışma amacına göre revize edilmiştir. Ayrıntılı olarak litoloji tanımlamaları yapılmış ve arazide her bir litolojik birim ayrı ayrı fotoğraflandırılmış ve kaynak kaya analizleri için istifi temsil edecek aralıklarla ölçülü stratigrafik kesit alınarak örneklenmiştir.

1.3.2 Laboratuvar çalışmaları

Gökçesu civarında yer alan Eosen yaşlı Tokmaklar formasyonunun taze mostra örneklerinden alınan bitümlü şeyl örnekleri piroliz analizleri ve organik petrografik yöntemler kullanılarak incelenmişlerdir. Bitümlü şeyller organik madde konsantrasyonu açısından farklı renklerde ve laminalı özellikte olduğu için örneklemeler bitümlü tabakaların farklı özellikli yerlerinden yapılmıştır.

Laboratuvar çalışmaları kapsamında yapılan analizler MTA Maden Analizleri ve Teknolojileri Dairesi Başkanlığı laboratuvarları ve Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) AR-GE Merkezi Organik Jeokimya laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanından derlenen örnekler üzerinde uygulanan yöntemlerin sınıflaması aşağıdaki gibidir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1 Çalışma alanından derlenen örnekler üzerinde uygulanan yöntemlerin sınıflaması

Organik Jeokimyasal İncelemeler				
Kayaçta Yapılan İncelemeler				
<i>TOC Analizi</i>	<i>Piroliz Analizi</i>	<i>Özütleme Analizi</i>	<i>Organik Petrografik Analizler</i>	
Toplam Organik Madde Miktarı	S ₁ , S ₂ , S ₃ T _{max} PI PY HI OI	Bitüm	Altın Aydınlatma Mikroskopisi SCI Analizi Kerojen Tip Tayini ve % Bolluk Dağılımı	Floresans Kerojen Tip Tayini ve HC Türetme Yönünden Kalitesinin Test edilmesi
Petrol Ve Bitümde Yapılan İncelemeler				
<i>Gaz Kromatografi Analizi</i>			<i>İnce Tabaka Kromatografi Analizi</i>	
Organik Fasiyes İncelemeleri				

1.3.2.1 Kayaçta yapılan incelemeler

1.3.2.1.1 Toplam organik karbon analizleri

Kaynak kayalar içerisindeki % TOC miktarı kayaçların üretebilecekleri hidrokarbonların ekonomik olup olmadıklarını belirlemek açısından önem arz eder. Hunt (1995), kayacın içerisinde bulunan kerojenin karbon miktarı ile bu kerojenden türemiş fakat kayaç dışına atılmamış hidrokarbonlara ait karbonların toplamını, toplam organik karbon olarak adlandırmıştır.

Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyl örneklerinin içerisindeki toplam organik madde miktarını ölçmek için LECO karbon analiz cihazı kullanılmıştır (Şekil 1.1).

Toplam organik karbon analizi yapılırken, örnekler LECO cihazına konulmadan önce öğütülerek toz haline getirilir. Daha sonra hidroklorik asit kullanılarak içerisindeki kalsiyum ve magnezyum karbonatlar uzaklaştırılır. LECO krozerlerine konulan örnekler oksijen gazı yardımı ile LECO cihazına ait fırın içerisinde 700-1600 °C sıcaklıkları arasında 70 saniye süreyle yakılır. İşlem sonunda oluşan karbondioksit gazı dedektörden geçirilir ve örneğe ait karbon yüzdesi tespit edilir.



Şekil 1.1 LECO karbon analiz cihazına ait görünüm

1.3.2.1.2 Piroлиз analizleri

Kerojen, herhangi bir çözücüde çözünemediği için piroliz analizi ile ısısal olarak parçalanır. Bu analiz Rock-Eval VI cihazıyla (Şekil 1.2), kaynak kayaların içermekte olduğu kerojenin tipi, olgunlaşması ve kayanın hidrokarbon potansiyelinin belirlenmesi amacıyla yapılan bir analizdir.



Şekil 1.2 Rock-Eval VI cihazına ait bir görünüm

Organik maddenin içermiş olduğu serbest hidrokarbonlar, petrol ve gaz 300 °C civarında buharlaşır. Bu buharlaşma 3 dakikalık bir periyod için pik verir ve bu pik S_1

(mg HC/g kaya) piki olarak adlandırılır. 300-600 °C arasında hem kayaçtaki kerojen parçalanır hemde resin-asfalten gibi bileşikler ayrılırlar ve S₂ (mg HC/g kaya) pikini oluştururlar. Bu pik kayaçtaki hidrokarbon potansiyelini gösterir. S₂ pikinin maksimum olduğu sıcaklığa T_{max} (°C) ismi verilir. T_{max} kayaç örneğinin analiz altında değişen ısısal olgunluğunu ifade eder (Tissot ve Espitalie 1975). Oksijen bileşikleri 300-390 °C arasında parçalanır, karbondioksiti oluşturur ve S₃ piki (mg CO₂/g kaya) olarak kaydedilir. S₃ kerojende bulunan oksijen miktarına bağlıdır. Karbonatlı kayaçlar S₃ değerlerini yükseltebilir. Gerçekleştirilen bu analizlerden elde edilen pikler yorumlanırken, hidrojen indeksi (HI), oksijen indeksi (OI), potansiyel verim (PY) ve üretim indeksi (PI) gibi parametreler kullanılmaktadır. Hidrojen indeksi (HI) (mg HC/g kaya) değerleri, kayanın içindeki kerojenin hidrojen zenginliğini temsil eder ve (S₂/TOC X 100) formülüyle hesaplanır. HI değeri 200 mg/g'ın altındaki organik maddeler gaz türetme potansiyeli bulunan, 200-500 mg/g arasındaki organik maddeler petrol ve/veya gaz türetme potansiyeli bulunan ve 500 mg/g'ın üzerindeki değerlere sahip organik maddeler ise petrol türetim potansiyeline sahiptirler (Espitalie vd. 1977, Peters 1986). Oksijen indeksi (OI) (mg CO₂/g kaya), kayanın içindeki kerojenin oksijen zenginliğini temsil eder ve (S₃/TOC X 100) formülüyle hesaplanır. Potansiyel verim (PY), S₁+S₂ piklerinin ppm cinsinden ifadesidir. Kayanın petrol türetim potansiyelini gösterir. Üretim indeksi (PI), (S₁/ S₁+S₂), kayacın içerisinde mevcut olan sıvı hidrokarbon oranını göstermektedir. Olgunlaşma gerçekleşmeden önceki hidrokarbon potansiyelinin ne kadarının, derinlikle de bağlantılı olarak, kayaçta bulunan S₁ hidrokarbonlarına dönüşmüş olabileceğinin göstergesidir (Espitalie vd. 1977). PI değeri kaynak kayanın olgunlaşması ile birlikte artmaktadır.

1.3.2.1.3 Özütleme analizi

Özütleme analizi, kayaçlar içinde serbest halde bulunan bitümleri almak amacıyla yapılır. Bunun için önce kaya örnekleri toz haline getirilir ve tartılarak özel ekstraksiyon kaplarına konur. Bu kaplar daha sonra Soxhlet ekstraktörüne yerleştirilir. Belirli bir zaman boyunca numune içerisindeki bitümler çözücü içerisinde toplanır. Sonra bu çözücü, azot gazı yardımıyla uçurularak, kayaçtan bitüm özütlenmiş olur.

1.3.2.1.4 Organik petrografik analizler

Mikroskopta alttan aydınlatma tekniğiyle yapılan bu çalışmada, kayacın içerisindeki organik maddenin optik özelliklerinin incelenmesi amaçlanır. Geçirimli ışık mikroskobu altında gerçekleştirilen analizde organik maddenin türü, spor renk indeksi (SCI) ve bağıl bolluğu elde edilir. Spor renk indeksi denilen polinomorf renk değişiminde, kesitteki renkler derinlik ve olgunluğun göstergesidir (Ediger ve Soylu 1993).

1.3.2.2 Petrol ve bitümde yapılan incelemeler

1.3.2.2.1 Gaz kromatografi analizi

Bu analiz tekniği ile bitümlü şeyller içerisindeki doymuş hidrokarbon bileşiklerinin (n-alkan, i-alkan) genel dağılımlarını görmek mümkündür. Varian-3700 cihazı (Şekil 1.3) kullanılarak Pr/Ph oranları ve gaz kromatogramından elde edilen pik dağılımları ve boylarına bakılarak organik maddenin tipi, olgunluğu, ana kayanın litolojisi, yaşı ve çökelim ortamı hakkında bilgiler elde edilir.



Şekil 1.3 Varian-3700 cihazına ait bir görünüm

1.3.2.2.2 İnce tabaka kromatografi analizi

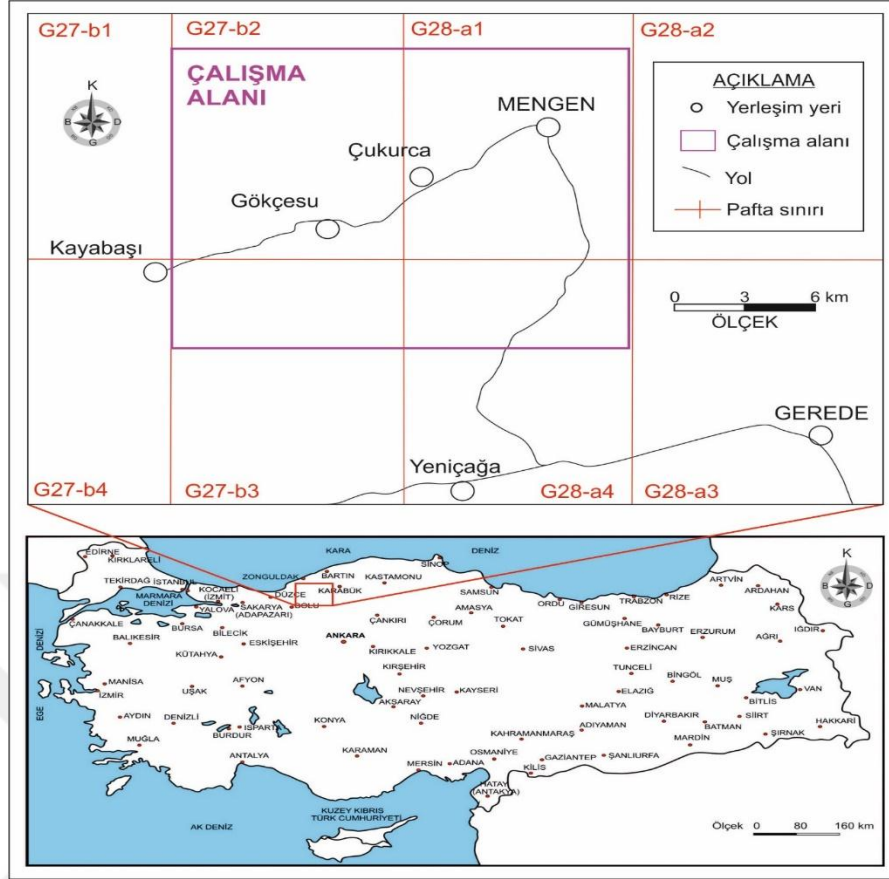
Bu analizler yardımıyla petrole veya bitüme ait hidrokarbonlar ve aromatik hidrokarbonlar ile polar miktarlarının yüzdeleri belirlenir. Analiz öncesi numune içerisinde arındırılan asfaltın yüzdesi, elde edilmiş olan bu değerler yüze tamamlanarak bulunur. Bu şekilde örneklerdeki hidrokarbon grupları oran olarak belirlenmiş olur.

1.3.3 Büro çalışmaları

Çalışma alanı ile ilgili literatürün taranması, saha ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçların yorumlanması, elde edilen verilerin alanındaki güncel gelişmelerle denestirilmesi ve çizelge ve şekillere aktarılarak yorumlamaların yapılması ile tez yazım aşaması büro çalışmalarını oluşturmaktadır.

1.4 İnceleme Alanının Konumu

İnceleme alanı Bolu ili Gökçesu kasabası civarındaki yaklaşık 144 km² 'lik bir alanı içerisine alır (Şekil 1.4). Kuzeyinde Devrek (Zonguldak), güneyinde Gerede (Bolu), batısında Yığılca (Bolu) ve doğusunda Mengen (Bolu) ilçeleriyle sınırlıdır. Çalışma alanında engebeli ve yoğun orman örtüsüyle kaplı bir topoğrafya hakimdir. Ayrıca Mengen çayı gibi büyük akarsuların dışında birçok dere ve dere kolları mevcuttur.



Şekil 1.4 Çalışma sahası yerbulduru haritası

2. BÖLGESEL JEOLJİ

İnceleme alanımızın da içinde yer aldığı bölgede magmatik ve sedimanter kayaç toplulukları yer almaktadır. Magmatik kayaç toplulukları bölgenin en yaşlı birimlerini oluşturmaktadırlar. Blumenthal (1948) ve Uysallı (1961) tarafından magmatik kayaçların yaşları Paleozoyik olarak tanımlanmıştır.

Çalışma alanının temelini Ordovisiyen-Siluriyen yaşlı magmatik kayaç toplulukları, örtü birimlerini ise Devoniyen-Neojen yaş aralığında çökelmiş ve yer yer uyumsuzluklarla depolanan sedimanter birimler oluşturmaktadır (Şekil 2.1). Bolu Granitoyidi inceleme alanında ki en yaşlı birim olup, Ordovisiyen-Siluriyen yaşındadır ve temeli oluşturur. Bunun üzerine uyumsuz olarak gelen Devoniyen yaşlı Aksudere Formasyonu fillit, şeyl, rekristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kumtaşı, siltaşı, marnlardan oluşur. Aksudere Formasyonu üzerine uyumsuzlukla oturan Soğucak Formasyonu Geç Kretase yaşındadır ve kireçtaşı, killi siltaşları, volkanit, granit ve metamorfik bloklarından oluşur. Soğucak Formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelen Buldandere Formasyonu Geç Kretase-Paleosen yaşlı olup Fındıklıdere ve Devretkaya isminde iki üyeye ayrılmıştır (Erendil vd. 1991). Fındıklıdere üyesi kireçtaşı, kumtaşı, marn, çamurtaşı, tuf ve konglomeralardan oluşmakta olup Geç Kretase yaşındadır. Devretkaya üyesi ise kireçtaşı, marn, kumlu kireçtaşı ve kalkerli çamurtaşlarından oluşmaktadır ve Paleosen yaşındadır. Bu iki üyenin üzerine uyumlu olarak oturan Sazlar Formasyonu bol nummülit fosili içeren kireçtaşlarından oluşur ve Eosen yaşındadır. Bu formasyonun üzerine ise Eosen yaşındaki Tokmaklar Formasyonu uyumlu olarak gelir ve kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşları içerir. Formasyona ait olan bitümlü şeyller tez çalışmasının ana konusudur. Tokmaklar Formasyonunun üzerinde uyumsuz olarak yer alan Mengen Formasyonu ise konglomera, kumtaşları, killi çamurtaşı, kireçtaşı ve marnlardan oluşur ve Pliyosen yaşlıdır. İstif, Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla son bulur. Çalışma alanına ait jeoloji haritası ek 1’de verilmiştir.

PALEOZOYİK		MESOZOYİK		SENOZOYİK				ÜST SİSTEM							
ORDOVİSİYEN -SİLÜRİYEN	DEVONİYEN	KRETASE		PALEOJEN		NEOJEN	KUVA- TERNER	SİSTEM	SERİ						
BOLU GRANİTOYİDİ	AKSUDERE	SOĞUÇAK	ÜST	PALEOSEN	EOSEN	PLİYOSEN		FORMASYON							
bgy			FINDIKLIDERE DEVRETKAYA		SAZLAR	TOKMAKLAR	MENGEN	ÜYE							
?	Dsa	Ks	Tkbf	Tkbf	Ts	Tt	Tm	Qal	SİMGE						
?	900-1000	?	600	300	200-300	700	?		KALINLIK (m)						
Granitoid.		Fillit, şeyl, rekristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, marn.		Kireçtaşı, kumtaşı, marn, çamurtaşı, tuf, konglomera ve silttaşı.		Kireçtaşı, marn, kumlu kireçtaşı ve kalkerli çamurtaşları.		Bol nümmülit fosili içeren kireçtaşı.		Kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı ve bitümlü şeyl.		Yarı tutturulmuş-tutturulmamış çakıl, konglomera ve kumtaşları, killi çamurtaşı, kireçtaşı ve marn.		Alüvyon	
uyumsuzluk		uyumsuzluk		uyumsuzluk		uyumsuzluk		uyumsuzluk		uyumsuzluk		uyumsuzluk		uyumsuzluk	

(ÖLÇEKSİZ)

Şekil 2.1 Çalışma sahasının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Erendil vd. 1991)'den değiştirilerek alınmıştır)

2.1 Stratigrafi

2.1.1 Bolu granitoidleri (bgy)

Çalışma alanının temelini oluşturan ve en yaşlı birim olan Bolu granitoidleri ilk olarak Erendil vd. (1991) tarafından bu isimle anılmışlardır. İnceleme alanının kuzeyinde yaygın olarak görülen bu magmatik derinlik kayaçları, morfolojik olarak oldukça sarp alanlar oluştururlar ve genellikle yoğun orman örtüsü ile kaplıdırlar (Şekil 2.2).

Bolu granitoidleri çalışma alanının kuzeyinde Kayabükü Mahallesi çevresinde ve güney kesimde Ağalar Mahallesi güneyinde yüzlek verirler (Ek 1).

Birimi oluşturan kayalar genel olarak granitik bir magmadan oluşan sokulum kayalarıyla, bunlarla yakından ilişkili volkanik/ volkanoklastik kayaçlardır. Bu gruptaki kayalar BD/GB-KD uzanımlı yükselti şeklindeki yaygın yüzeyleme alanlarıyla dikkat çeker.



Şekil 2.2 Bolu granitoidinin (bgy) uzaktan görünümü (Mengen güneyi, yol kenarı)

Birimi oluşturan magmatik derinlik kayaçları, iri taneli, hipidiyorfik, bileşimleri granitten diyorite kadar değişen, masif kayalardır. Granodiyorit bileşimi yaygın olmakla

birlikte sırasıyla diyorit, kuvars diyorit, kuvars monzonit ve granitlerde görülür. Granitik kayaların yeşilist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş türleri yaygın yüzeylemeler gösterir. Bu tür kayalardan metabiyotit granit, amfibolitleşmiş granit ve gnaysik granit yaygın olarak gözlenen kaya türü örnekleridir (Erendil vd. 1991) (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Bolu granitoidinin (bgy) yakın plan görünümü (Mengen güneyi, yol kenarı)

Bolu granitoidini oluşturan kayalar genel olarak çalışma alanının kuzeybatı kesimlerinde Paleozoyik yaşlı birimlerle sınırlanır. Güneyde birimin üzerine uyumsuz olarak gelen Aksudere formasyonu kireçtaşı, kumtaşı, şeyllerden oluşur ve Devoniyen yaşlıdır.

Birimin yaşı Aydın vd. (1987)'ne göre (Dirgine granitoidleri), Karbonifer sonu ile Geç Jura öncesi arasındadır. Kastamonu yöresi granitoidlerinin yaşının da Orta Jura olduğu (Yılmaz 1980; Yılmaz ve Boztuğ 1986) bilinmektedir. Canik (1980), Bolu kuzeyindeki granit ve diğer magmatik derinlik kayalarını (gabro, diyorit) Prekambriyen yaşlı ayırtlanmamış temel karmaşığı içinde ele alır. Yılmaz (1984), Orta Pontidler'deki

Karadere magmatitlerinin kökeninin olasılıkla Pan-Afrikan deformasyonları ile ilgili olduğunu ve bu granitik ve bazik kayalar topluluğunun Kambriyen yaşlı çökellerle örtüldüğünü belirtir. Yılmaz (1977) tarafından "Orta Sakarya Graniti" adı altında toplanan granitik kayalara Permiyen yaşlı magmatitler arasında yer verilmiştir. Cerit'e (1990) göre Bolu kuzeyi çevresindeki granitik kayalar (Dirgine granitoidleri), metavolkanik kayalarla aynı genel bir magmatik faaliyetin ürünüdür ve Erken Paleozoyik (Ordovisiyen ?) yaşadadır. Yakın çevrede gerçekleştirilen eski çalışmalarla deneştirildiğinde Bolu Granitoidi'nin Ordovisiyen-Silüriyen yaşında olduğu düşünülmektedir.

2.1.2 Aksudere formasyonu (Dsa)

İlk olarak Erendil vd. (1991) tarafından olarak adlandırılan Aksudere formasyonu, Mengen-Gökçesu hattı kuzey- kuzeydoğusunda ve Demirciler Mahallesi kuzeyinde yüzeyler (Ek 1).

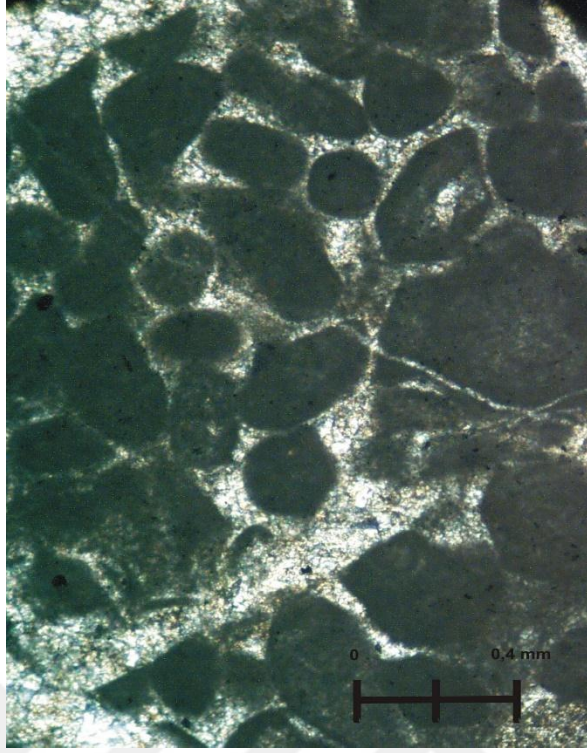
Mengen-Gökçesu hattı kuzeyinde birbirinden ayrı ve tektonik etkilere bağlı olarak düzensiz yüzeylemeler gösterir (Şekil 2.4). Kolay aşınabilen litolojilerden oluştuğu için yayvan tepeler halinde az engebeli bir arazi görünümü ortaya çıkaran birim koyu gri, boz, mavimsi-yeşilimsi gri ve kahverengi gibi renklerle temsil olunur.

Aksudere formasyonu fillit, şeyl, rekristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, marn gibi kaya türlerinden oluşmuştur. Grimsi siyah renkli olan ve belirgin şistozite özelliği gösteren fillit, kuvars, serizit-muskovit, klorit, epidot, feldspat ve pirit tanelerinden oluşmuştur. Çok ince kum boyu tanelerin hakim olduğu fillitler, açık-koyu renk farklılaşmasıyla kendini gösteren, bantlı ve mercekli yapılarla mikro kıvrımların gözlendiği kayalardır. Fillitlerin içinde masif düzeyler halinde, onlarla ardalanmalı ve yanal geçişli olarak bulunan rekristalize kireçtaşları mavimsi koyu gri renkte, kalın tabakalı ve piritlidir.

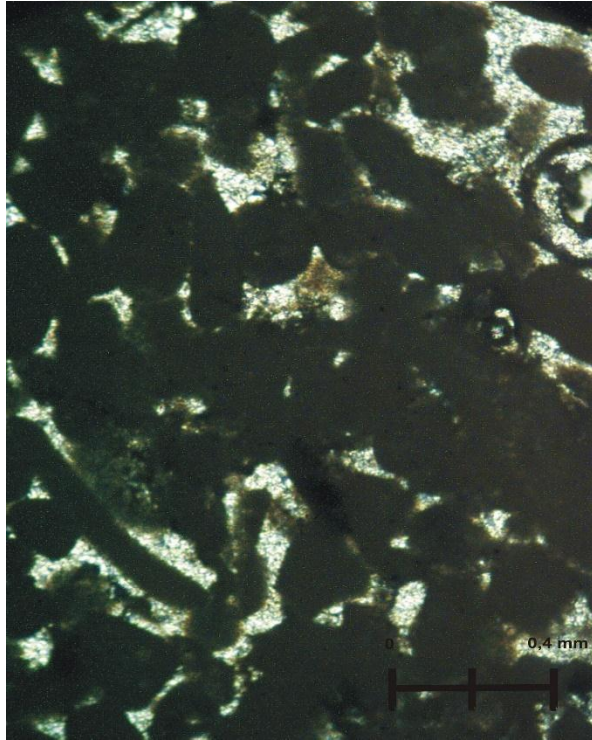


Şekil 2.4 Aksudere formasyonuna ait kireçtaşları (Mengen-Sazlar kuzeyi)

Kireçtaşlarındaki petrografik bulgulara, kanal porozitelerine rastlanmıştır ve bu kanallar kalsitlerle doldurulmuştur (Şekil 2.5). Ayrıca kalsitlerin üzerinde ikizlenmeler görülmektedir. Bu, basıncın izlerini gösterir. Bazı düzeylerde daha yaygın olmak üzere fosil kırıntıları (brakiyopod ve krinoid) ve kuvars taneleri içerir. Fillitler ve rekristalize kireçtaşlarıyla ardalanmalı, düşey ve yanal geçişli olarak şeyl, silttaş, kumtaş, dolomitik kireçtaş, marn, şeylimsi kireçtaş gibi litolojiler ince-orta tabakalı düzeyler halinde istifte görülebilmektedir. Rekristalize kireçtaşları bol ekinoid- krinoid malzemesi, kuvars taneleri ve pirit içerir. Dolomitik, breşleşmiş, stilotitli, demirin oksidasyonuna bağlı kırmızı lekeli bölümler yaygındır. Bu kireçtaşlarıyla ara tabakalı, ardalanmalı ve yanal geçişli olarak karbonat kırıntılı ve çimentolu kuvars kumtaş, silttaş ve kalkerli çamurtaş (Şekil 2.6) litolojileri vardır. Bu kaya türlerinden oluşan bazı düzeylerde derecelenme ve laminalanma görülür ve pirit yaygındır. Bağlamtaş türünde mercanların oluşturduğu rekristalize kireçtaşları da mevcuttur.



Şekil 2.5 Aksudere formasyonuna ait spari-kalsit çimentolu tanetaşı



Şekil 2.6 Aksudere formasyonuna ait istiftaşı fasiyesi

Aksudere formasyonunu uyumsuzlukla üzerleyen Soğucak formasyonu ise kireçtaşı, volkanit, metamorfik blokları, granit, killi silttaşlarından oluşur ve Geç Kretase yaşındadır.

Aksudere formasyonu sınırlı platform, lagün, resif, açık şelf yamacı gibi çeşitli ortamların ürünlerini içeren bir sığ denizel çökeller topluluğundan oluşur. Fosil kapsamı yönünden çok sınırlı, yaygın dolomitleşmiş lamine kireçtaşları ve bunlarla ara tabakalı kırıntılı kayalar, sınırlı platform ve lagün ortamlarını; genellikle mercan, ekinoid ve krinoidlerden oluşan karbonat kayaları resifleri; kırıntılıların oluşturduğu kireçtaşları resif yamacını; karbonat breşleri ve şeyller türbidit akıntılarıyla çökmenin de meydana gelebildiği yamaç önü ve açık şelf ortamlarını temsil eder (Erendil vd. 1991).

Çökellerden pirit kapsayanlar, dalga tabanı düzeyinde veya hemen onun altında, indirgen şartlarda meydana gelen çökelmeyi yansıtır (Erendil vd. 1991).

Bu birimden alınan örneklerin kapsadığı fosillerle bunların parça ve kırıntılılarından yaş verilememiştir. Görmüş (1982), Aksudere formasyonunun alt bölümlerine karşılık gelen Kocadere formasyonunun yaşını, fosilli metakireçtaşı düzeylerine ait fosillere göre Erken Devoniyen olarak belirlemiştir. Birimin üst bölümünün eşdeğeri sayılan Hacıyerdere formasyonu (Görmüş 1982) içinse fosillere dayalı bir yaş belirlenememiş, stratigrafik konuma göre Orta Devoniyen yaşı uygun görülmüştür. Kaya (1973)'nin Devoniyen yaşlı Kartal formasyonu Aksudere formasyonu ile denestirilebilir. Bu bilgiler ve birimle ilgili gözlemlere dayanarak Aksudere formasyonunun yaşı Devoniyen olarak kabul edilmiştir.

2.1.3 Soğucak formasyonu (Ks)

Blumenthal (1948)'in "karışık tektonik fasiyes"li seri adı altında topladığı kayaların oluşturduğu birime Erendil vd. (1991) tarafından Soğucak formasyonu ismi verilmiştir. Çalışma sahasında, formasyon Gökçesu güneybatısı ve Şahbazlar Mahallesi güneyinde en yaygın biçimde görülebilir (Ek 1).

Gri renkli kireçtaşları formasyonun en sık görülen yüzleklerini verir (Şekil 2.7). Kırmızı renkli mikrit ve radyolaritler birimi tüm yüzeylediği alanlarda karakterize ederler.

Birimde değişik türlerde kireçtaşları vardır. Beyaz, bej, açık-koyu gri kireçtaşları genellikle platform kökenli karbonat çökellerinin; bloklar, olistolitler olarak derin denizel bir ortamın çökelleri arasında yerleşmesini yansıtır. Ayrıca gravite akmaları sonucu çökeltme yeri değiştirilmiş ve yeniden çökeltilmiş sedimanları da temsil eden kireçtaşları da vardır. Bunlar dışında, pelajik ve türbiditik kireçtaşları birimin yaygın kaya türleri arasındadır. Kırmızı renkli radyolaritler, pembe-açık gri-bej renkli pelajik mikritlerle ve türbiditik kireçtaşlarıyla ara tabakalıdır. Bu tür kayaların yüzeylemelerinde laminalanmalar ve derecelenmeler görülür. Rekristalize kireçtaşı ve mermer blokları da birimin kaya türleri arasındadır. Kumtaşları ve konglomeralar genellikle türbidit akıntılarının ve debris akmalarının ürünü olarak gelişmiştir (Erendil vd. 1991).

Soğucak formasyonu içinde nadiren düzgün istiflenmeli kesimler görülse de genel olarak deforme bir yapı hakimdir. Net bir görünür kalınlık tespit edilememiştir.



Şekil 2.7 Soğucak formasyonuna ait kireçtaşları (Şahbazlar Mahallesi güneyi)

Farklı köken ve yaştaki kaya türlerinin olistostromal bir çökel istifi olarak düşünülen Soğucak formasyonunda olistolitler, bloklar, türbiditik çökeller, debris akma çökelleri, pelajik/ yarı pelajik çökeller vardır. Birim Geç Kretase öncesi yaşta olması gereken fakat çalışma alanında gözlenemeyen farklı köken ve yaşta kayaların oluşturduğu tektonik dilimler üzerinde gelişmiş bir olistostromal istif olmalıdır. Çünkü birim içinde Erken Permiyen, Geç Jura-Erken Kretase, Erken Kretase, Senomaniyen-Türoniyen yaşlı kireçtaşı blokları/ olistolitleri; granit blokları; metamorfik kaya ve kuvarsit blokları; volkanik kaya blokları vardır (Erendil vd. 1991).

Formasyon çalışma alanında Aksudere formasyonu üzerine uyumsuz olarak oturur. Güneydoğu kesimlerde Buldandere formasyonunun Fındıklıdere üyesi Soğucak formasyonunu uyumsuz olarak örter.

Soğucak formasyonu içindeki çökel kaya bloklarının en yaşlısı Erken Permiyen kireçtaşlarıdır. Formasyon içinde ayrıca,

Pseudoschwagerina sp.,

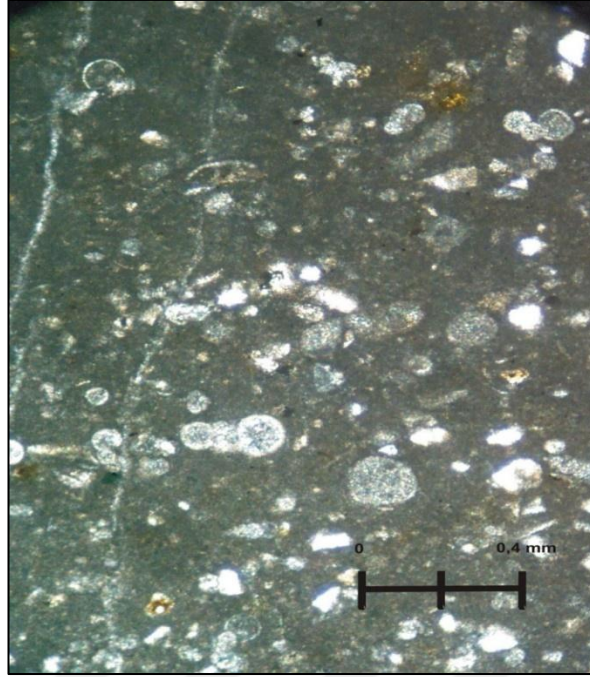
Paleotextularia sp.,

Schwagerina sp. ve

Tetrataxis sp.

fosillerini içeren Geç Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşları bulunur. Pelajik-yarı pelajik kireçtaşları (mikrit- kireç vaketaşı) (Şekil 2.8) ve türbiditik kireçtaşları ise birimin yaşına yaklaşan yaşlar vermek yönünden daha elverişlidir. Bir türbiditik kireçtaşı örneğindeki Orbitolina, Globotruncana ve rudist parçalarından ibaret fosil kapsamı Geç Kretase'de depolanmayı gösterir (Erendil vd. 1991).

Çalışma alanında çok dar bir alanda gözlenmiş olmasına rağmen, Soğucak formasyonunun ilksel konumunda otokton ve stratigrafik ilişkili bir birim olduğu düşünülmektedir. Armutlu Yarımadası'nda (Göncüoğlu vd. 1987) ve İznik Gölü ile Uludağ arasında (Genç 1986) bu formasyonun karşılığı olabilecek birimlerin konumu da bu görüşü destekler niteliktedir.



Şekil 2.8 Soğucak formasyonuna ait pelajik fosilli mikritik kireçtaşına ait ince kesit görüntüsü

Barkurt vd. (1990), birimin deneştirilebileceği Aktaş karmaşığının Orta-Geç Maestrihtiyen yaşlı kabul ettiklerini ve Emirler formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtüldüğünü belirtirler. Tokay (1973), birimin eşdeğeri sayılan Arkotdağ formasyonunun kuzeyde Pazarköy bölgesinde faylı da olsa Geç Kampaniyen-Paleosen, güneyde Ödemiş bölgesinde Maestrihtiyen-Paleosen sedimanları ile örtülü olmasından dolayı Turoniyen-Kampaniyen arasında oluştuğunu, üst yaş sınırının Paleosen olabileceğini ileri sürer. Yılmaz vd. (1981)'nin Abant Karmaşığı da Soğucak formasyonunun deneştirilebileceği birimler arasındadır. Birimin yaşı bu çalışmada Geç Kretase kabul edilmiştir.

2.1.4 Buldandere formasyonu (Tkb)

Zonguldak-Devrek güneydoğusundaki Buldandere vadisi boyunca yüzeyleyen Buldandere formasyonu, kendi içerisinde litoloji ve fasiyes özellikleri açısından çeşitlilik göstermektedir. Erendil vd. (1991) formasyonu bundan dolayı Fındıklıdere ve Devrekaya olarak iki üyeye ayırmışlardır. Soğucak formasyonu üzerinde uyumsuzlukla yer alan birim, Kıyaslar Mahallesi doğusunda, Demirciler Mahallesi kuzeyinde,

Ağacalar Mahallesi kuzeyinde ve Şahbazlar Mahallesi kuzeybatısında üyeleriyle yüzlek verir (Ek 1).

Birim kireçtaşı- çamurtaşı ile volkanik kırıntılı türbiditik silttaşı, kumtaşı ve tuf gibi kaya türlerinin ardalanmasından oluşur (Şekil 2.9). Genel olarak yeşilimsi gri, kırmızı-mor, gri renkler göze çarpar. Derecelenme, laminalanma yaygındır. Planktonik foraminiferler ve radyolaria en yaygın fosil bileşenleridir. Kireçtaşı vaketaşı bileşimi en yaygın kireçtaşı türüdür. Terrijen çökel malzemeleri özellikle kumtaşları ve silttaşlarında boldur.



Şekil 2.9 Buldandere formasyonu Fındıklıdere üyesinde gözlenen kumtaşı-kireçtaşı ardalanması (Demirciler Mahallesi kuzeyi)

Derin denizel fosil bileşenleriyle sığ denizel fosil bileşenleri birlikte bulunurlar. Andezitik aglomera ve tüfler de istifin önemli kaya türleri arasındadır.

Tahmini olarak 1500 m kalınlığı olan birimden alınan örneklerden tespit edilen *Globorotalia sp.*,
Globorotia sp.,
Globigerina sp.,
Globotruncanaita stuarti,

Globotruncana arca,

Pseudotextularia sp.,

Rugoglobigerina, radiolaria, orbitolina ve ammobaculites fosillerine göre birimin yaşı Geç Kretase-Paleosen arası düşünülmektedir (Erendil vd. 1991).

Buldandere formasyonu Görmüş (1982)'ün Hızardere formasyonu; Kaya vd. (1986)'nin Neyren, Sarıkaya, Yeniyer, Sarıkorkmaz formasyonları, Kargacık şeyli ve Çamlı kumtaşı birimleriyle; Aydın vd. (1987)'nin Yemişliçay formasyonu, Kilisecik üyesi, İkse killi kireçtaşı üyesi, Liman tuf üyesi, Kale killi kireçtaşı üyesi ve Sarıkorkmaz üyesi birimleriyle denestirilebilir.

2.1.4.1 Fındıklıdere üyesi (Tkbf)

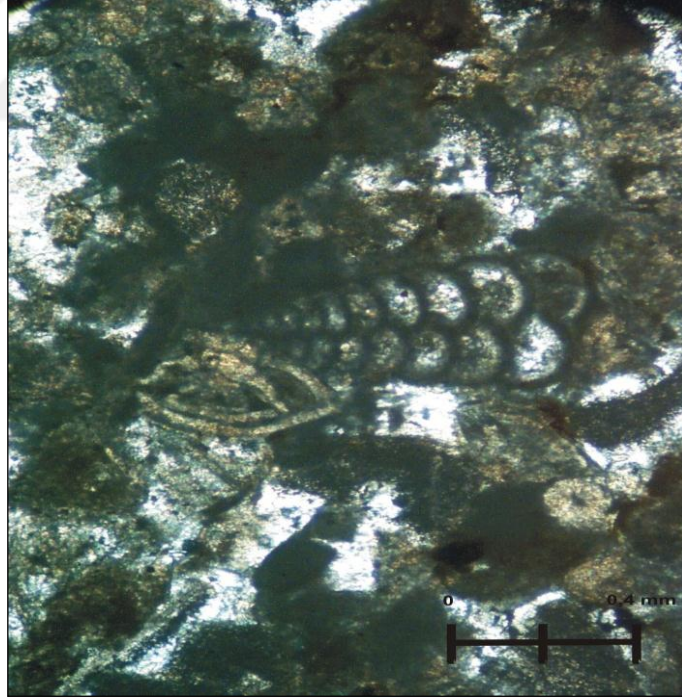
Birim, en iyi Buldandere'nin bir kolu olan Fındıklıdere'de görüldüğü için Fındıklıdere üyesi olarak adlandırılmıştır (Erendil vd. 1991). Mengen-Demirciler ve Gökçesu-Ağacalar dolaylarında yüzeylemeleri vardır (Ek 1).

Birimi oluşturan kaya türleri kireçtaşı, kumtaşı, marn, çamurtaşı, tuf ve konglomeradır (Şekil 2.1). Çökeller türbiditik özelliktedir; belirgin ve devamlılığı olan tabakalanma gösterirler. İstif kireçtaşlarının hakim olduğu fliş karakterinde bir gelişmeyi yansıtır.

Birime ait kireçtaşları genellikle bej, beyaz ve açık gri renklerde, türbiditik özelliktedir. Gri-yeşilimsi gri renkte kumtaşı, silttaşı ve marn aratabakalı kireçtaşı istifleri en yaygın yüzeylemeleri oluşturur (Şekil 2.10). Konglomera, çamurtaşı ve tuf aratabakaları da istifte gözlenen kaya türleridir. İstifin gelişiminde türbidit akıntılarının yanında diğer sediman gravite akmaları etkili olmuştur. Tanetaşı-istiftaşı türündeki kireçtaşları litolojik olarak zengin bir fosil kapsamı gösterir (Şekil 2.11). Foraminiferler (planktonik ve bentonik), alg parçaları ve kırıntıları, ekinoid malzemesi, bryzoa başlıca fosil bileşenlerini oluşturur. Ayrıca volkanik kırıntılar, kuvars taneleri, peloid gibi bileşenler görülür.



Şekil 2.10 Fındıklıdere üyesine ait kumtaşı-marn ardalanması yakın plan görünüm (Demirciler Mahallesi)



Şekil 2.11 Fındıklıdere üyesi kireçtaşlarına ait ince kesit görüntüsü

Silttaşı, çamurtaşı gibi kaya türlerinde de derecelenme ve laminalanma yaygındır. İstifte tabaka alt yapıları gözlenmiştir. Bu verilere göre istifin türbidit ve diğer sediman gravite

akıntılarının etkili olduğu derin denizel bir ortamda gelişen çökeltmeleri temsil ettiği söylenebilir.

Çalışma alanında birimin kalınlığı değişiklik göstermekte, ortalama görünür kalınlığı 600 m tahmin edilmektedir (Erendil vd. 1991).

Birim, Soğucak formasyonu üzerine uyumsuz olarak oturur ve Buldandere formasyonuna ait Devretkaya üyesiyle düşey yönde geçişler göstermektedir. Kuzey kenarlarındaki yüzeylemelerde Mengen çevresinde Sazlar formasyonu ile uyumlu ve geçişli olarak örtülür.

Birimden alınan örneklerde;

Nummulites sp.,

Orbitolites sp.,

Alveolina sp.,

Adterocyclina sp.,

Kathina sp.,

Planorbulina sp.,

Missisipina sp.,

Discocyclina sp.,

Lepidorbitoides sp.,

Siderolites sp.,

Spharegypsina globula sp.,

Miscellanea globula sp.,

Globotruncana cf. Arca sp.,

nummulitidae, miliolidae, orbitoclypeus, rothalia, alg, bryzoa fosilleri tespit edilmiş ve buna göre birime Kampaniyen yaşı verilmiştir (Erendil vd. 1991).

Birim, Ketin ve Gümüş (1963) ve Gedik ve Korkmaz (1984)'ın Akveren formasyonu ile deneştirilebilir.

2.1.4.2 Devretkaya üyesi (Tkbd)

Çalışma alanında Karakaya Mahallesi güneyinde, Devretkaya sırtında iyi gözlemlendiği için bu ad verilmiştir (Erendil vd. 1991). Fındıklıdere üyesiyle düşey yönde geçişli olan, beyaz ve masif görünüşü ile dikkat çeken birim, farklı litolojiler taşıyan kireçtaşı yüzeylemeleriyle kolayca ayırt edilmektedir. Çalışma alanının batı kesimlerinde, Gökçesu kuzeyinde, Karakaya civarında kötü tabakalanmalı ve masif halde görülen birim, arazide set yapan bir morfoloji gösterir (Ek 1).

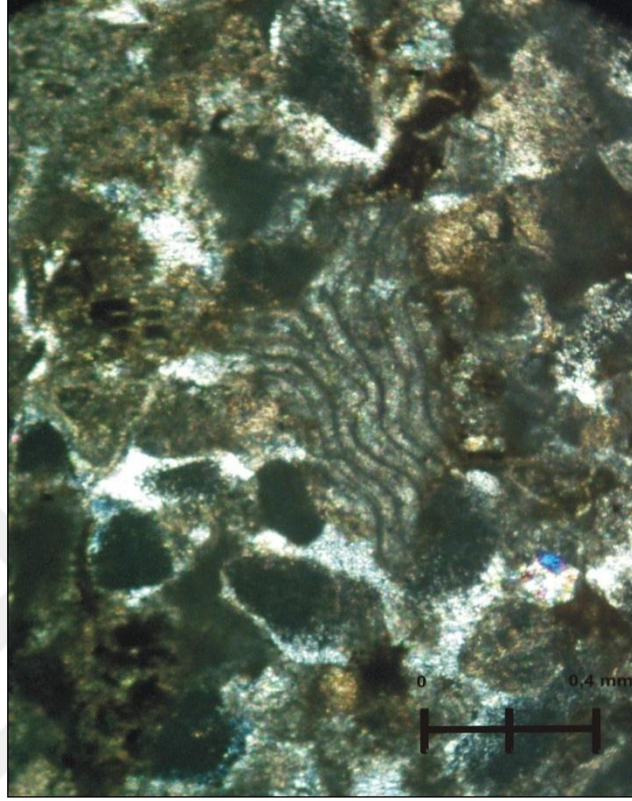
Devretkaya üyesi genel olarak kireçtaşı, marn, kumlu kireçtaşı ve karbonatlı çamurtaşlarından oluşur (Şekil 2.1). Kireçtaşları tabakalı ve masif olmak üzere iki farklı özellikte gelişmiştir. Tabakalı kireçtaşları marn aratabakalı olup, kumlu ve killi kireçtaşları halindedir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Devretkaya üyesi kireçtaşı-kumtaşı-marn araldanması (Karakaya Mahallesi)

Türbiditik özellikteki bu kireçtaşları bej- açık gri renkte olup resif kırıntıları, biyoklastlar ve kuvars taneleri kapsar; istiftaşı-tanetaşı türündedir. Masif kireçtaşları ise bol alg, mercan, bryzoa, stromatoporea, ekinid, discocyclina gibi resif ve resif yamacını yansıtan fosiller kapsar. Kireçtaşları resif dolayında çökeldikten sonra türbidit akıntılarının etkisiyle yeniden çökeldiklerini yansıtan doku özelliklerine sahiptir. Ekinid

levhaları çevresinde ikincil çimento gelişmeleri (syntaxial replacement rim) yaygın olarak gözlenir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 Devretkaya üyesine ait ekinidler etrafındaki sintaksiyal çimento gelişimleri

Devretkaya üyesi alttaki Fındıklıdere üyesi üzerinde uyumlu ve geçişli olarak yer alır. Üstten ise Sazlar formasyonu ile uyumlu olarak örtülür. Kalınlığı yer yer farklılıklar gösteren Devretkaya üyesinin ortalama kalınlığı 300 m kadar olduğu tahmin edilmektedir (Erendil vd. 1991).

Birimde bol miktarda discocyclus ve algler,

Miscellanea sp.,

gypsinid formlar, rotalidae,

Missippinina cf. Binkhorsti,

Planorbulina sp.,

miscellanidae ve milliolidae fosilleri tespit edilmiş ve buna göre birime Paleosen yaşı verilmiştir (Erendil vd. 1991).

Devretkaya üyesi Görmüş (1982)'ün Sarıkaya formasyonu, Kaya vd. (1986)'nin Sermi kireçtaşı ile denestirilebilir.

2.1.5 Sazlar formasyonu (Ts)

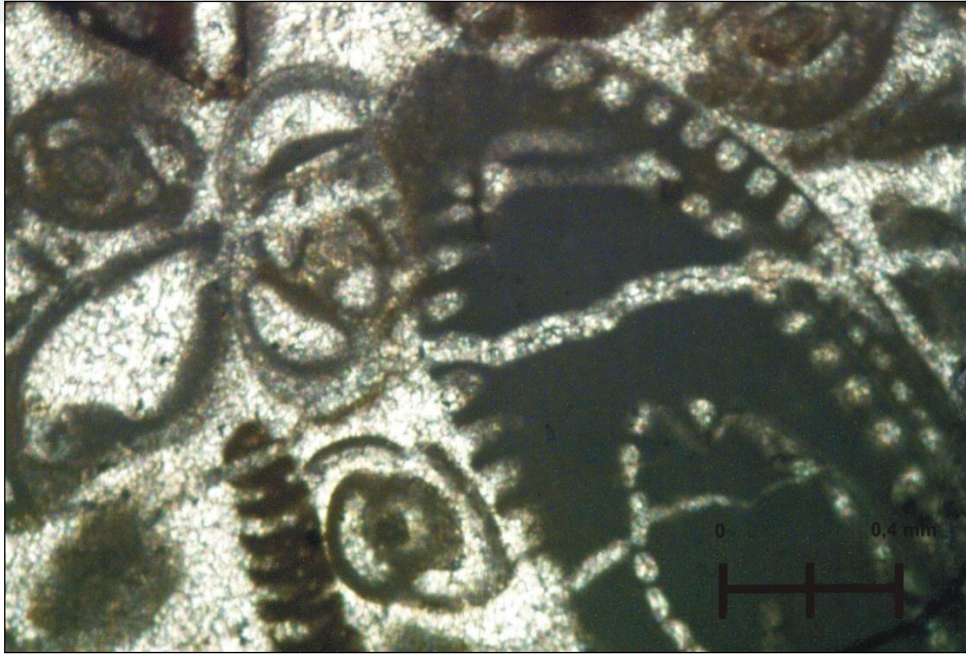
İlk kez Cerit (1983) tarafından adlanan birim, Mengen'e bağı Sazlar köyü dolayında tipik yüzeylemeler gösterir. Mengen batısında Gökdağ'ın eteklerinde, Gökçesu kuzeyinde ve kuzeybatısında yaygın olmayan yüzeylemeleri vardır (Ek 1).

Birimin yaygın yüzeylemelerinin yer aldığı Mengen-Sazlar Köyü çevresi yüksek olmayan, yayvan tepelerin yer aldığı ve genellikle Pliyosen yaşlı Mengen formasyonu, Geç Paleosen yaşlı Fındıklıdere üyesi birimlerinin komşu yüzeylemelerinin bulunduğu bir arazi görünümündedir.

Sazlar formasyonu, kireçtaşlarından oluşan bir birimdir (Şekil 2.1). Bol nummulit fosili içeren bu kireçtaşları, taban seviyelerinde, Fındıklıdere üyesi çökellerinin devamı olarak, daha az sığ kesimlerin çökelleriyle (resif önü yamaç), örneğin kısmen breşleşmiş, litoklastik kireç istifası-tanetaşı türünde kireçtaşlarıyla temsil olunur (Şekil 2.14). Üste doğru nummulitler giderek bollaşır ve kireçtaşları platform kenarının yüksek enerjili çökme ortamını temsil eder hale gelir. Bu seviyelerde konglomeratik kireçtaşı, kireç tanetaşı türünde kireçtaşları bol ve tane destekli nummulitler taşır (Şekil 2.15). Daha üst seviyelerde denizin sığlaşması nispeten devam eder. Birimin üstünde uyumlu ve geçişli olarak yer alan Tokmaklar formasyonu ile yanal geçişler de üst seviyelere doğru görülür.



Şekil 2.14 Sazlar formasyonu kireçtaşlarının uzaktan görünümü (Sazlar Köyü, yol kenarı)



Şekil 2.15 Sazlar formasyonuna ait bol alveolinli kireçtaşı

Nitekim Cerit (1983)'in de belirttiği gibi, Sazlar formasyonu kireçtaşları batıdan doğuya doğru gidildikçe daha kumlu bir karakter kazanmaktadır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Sazlar formasyonuna ait karbonatlı kumtaşı seviyesi (Sazlar Köyü)

Sığ ve karasal çökelleri temsil eden Tokmaklar formasyonu yüzeylemelerinin yaygın olduğu batı kesimlere doğru çökel ortamında sığlaşma ve karasallaşma söz konusudur. Formasyonu oluşturan kireçtaşı türleri genellikle bej-sarımsı gri kireç istifataş-tanetaşdır. Biyoklastlar iri nümmülitler ve alveolinlere göre ince taneler şeklindedir. Fosil kabuklarında neomorfik sparit gelişimi vardır (Şekil 2.17).

Birimin görünür kalınlığı tahminen 200-300 m kadardır (Erendil vd. 1991).

Birimden alınan

Alveolina sp.,

Alveolina (glomalveolina) sp.,

Orbitolites sp.,

Nummulites sp.,

Discocyclina sp.,

Assilina cf.,

Exponens sowerby, *Eorupertia incrassatus (Uh)*

fosillerine göre Eosen yaşı verilmiştir (Erendil vd. 1991).



Şekil 2.17 Sazlar formasyonuna ait kireçtaşları içerisinde gözlenen, ilksel dokusu tanınmayan nummulit fosili

Sazlar formasyonunun denestirilebileceği birimler Kaya ve Dizer (1983)'in Aşılık formasyonudur.

2.1.6 Tokmaklar formasyonu (Tt)

Aydın vd. (1987) tarafından adlanmış olan birim Bolu kuzeydoğusundaki Tokmaklar köyü dolayında iyi gözlendiği için bu çalışmada da aynı adla incelenmiştir. Eosen yaşlı Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyl içeriği yönünden oldukça zengindir. Ayrıca kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşları içeren birim tez konusu çalışmaların merkezi konumundadır.

Birim çalışma alanında Gökçesu çevresinde, Çukurca ve Şahbazlar Mahalleleri civarında, Demirciler Mahallesi batısında, Ağalar Mahallesi kuzeyi ve batısında ve

Bölükören Mahallesi'nde yaygın yüzlekler verir (Ek 1). Mengen-Gökçesu ve Gökçesu-Bolu arasındaki yüzeyleme alanları genellikle güneybatı-kuzeydoğu doğrultulu tektonik hatlarla sınırlıdır.

Birimi oluşturan kaya türleri kireçtaşı, marn, kiltası, çamurtaşı, silttaşı, killi-kumlu kireçtaşı ve kumtaşıdır (Şekil 2.1). Bitümlü şeyl ve bitümlü kireçtaşı düzeyleri de fazladır. Mengen-Gökçesu arasındaki Mengen Çayı vadisinde Tokmaklar formasyonuna ait çeşitli kaya türleri yüzeyler. Bu düzeyi yine marn aratabakalı biyoklastik, masif görünümlü bir kireçtaşı seviyesi izler (Şekil 2.18). Daha sonraki orta tabakalı kireçtaşları arasında bitümlü şeyl seviyeleri yer alır. Yumrulu, marnlı kireçtaşlarıyla devam eden istif yeşilimsi gri, gevşekçe tutturulmuş, kötü tabakalı kumtaşlarıyla izlenir (Şekil 2.19). İstifin devamında bitümlü şeyl arakatlı marnlar ve en üstte de marn- kumtaşı ardalanması yer alır. Gökçesu kuzeyindeki yüzeylemelerinde ise lamine kiltası- çamurtaşı ve bitümlü şeyllerle başlar. Grimsi yeşil, grimsi kahverengi görünen bu düzeylerde bitümlü şeyl dışında kömürlü şeyl arakatlı ve bol bitki kalıntısı bulunur. Kırmızı renkli çamurtaşı aratabakalı kumtaşlarıyla devam eden istif resifal kireçtaşı, biyoklastik kireçtaşı ve çamurtaşı bölümlerinden sonra kireçtaşı, kumtaşı konglomera kapsar. Çamurtaşı ve kiltası bitümlü seviyeler barındırmaktadır. Bolu ili kuzey ve kuzeydoğusundaki alanlarda birim, yüzeylemeleri devamlı ve yaygın olmayan Sazlar formasyonu üzerinde killi-kumlu-çakıllı kireçtaşı, konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve marn ardalanmasından oluşan kesimlerle kireçtaşı, kırmızı kil, çamurtaşı ve marn seviyeleri olarak gelişen diziler halinde yüzlek verir.



Şekil 2.18 Tokmaklar formasyonu şeyl seviyeleri (Gökçesu batısı)



Şekil 2.19 Tokmaklar formasyonuna ait kumtaşı seviyeleri (Gökçesu batısı)

Sığ denizel ve sığ denizel-karasal geçiş ortamlarıyla karasal ortamların çökellerini, bir istif halinde kapsayan birim, Sazlar formasyonu üzerinde uyumlu ve geçişli olarak yer alır; üstten ise Pliyosen yaşlı Mengen formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür.

Birim yüzeylemeleri çoğu yerde tektonik hatlarla sınırlı olduğu için sağlıklı bir kalınlık tespiti zordur. Ancak birimin görünür ortalama kalınlığı 700 m kadardır (Erendil vd. 1991).

Nummulites sp.,

Rhapydionina sp.,

Orbitolites sp.,

Linderina sp.,

Pararotalia sp.,

Alveolina sp.,

Lockhartia sp.,

asterigina, gypsinid, milliolidae gibi fosil kapsamına sahip olan birim Eosen yaşındadır (Erendil vd. 1991).

Birimin eşdeğeri sayılabilecek istifler Kaya ve Dizer (1983)'in Kırankaya formasyonu, Çukurca şeyli, Hacıoğlu kumtaşı, Tokmaklar formasyonu, Bayramoğlu kireçtaşı, Sarıkızlar formasyonu, Dağarkası kireçtaşı ve Gökçesu formasyonu olarak ayırtladığı birimlerin oluşturduğu genel istif; Aydın vd. (1987)'nin Tokmaklar formasyonu ve Cerit (1983)'in Çukurca formasyonudur.

2.1.7 Mengen formasyonu (Tm)

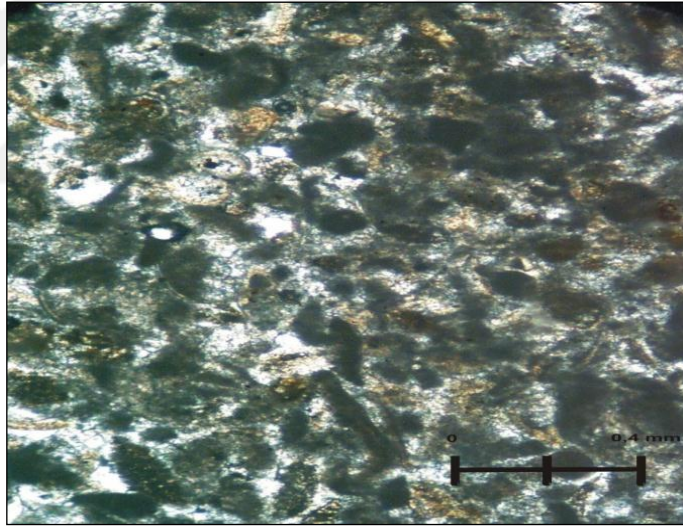
Pliyosen yaşlı birimlerin oluşturduğu formasyon Bolu kuzeyinde ve Mengen-Sazlar çevresinde genişçe yüzeylemeleri bulunduğu için bu adı almıştır (Erendil vd. 1991) (Ek 1).

Birim yarı tutturulmuş-tutturulmamış çakıl, orta-kötü yuvarlaklaşmış konglomera ve kumtaşları, kırmızı ve kahverengi killi çamurtaşları, kireçtaşı, marn ve breş görünümlü kayalardan oluşur (Şekil 2.1, Şekil 2.20). Gölsel kireçtaşlarına da rastlanan birim, sulu karasal ortam çökellerinden oluşmuştur (Erendil vd. 1991).

İntraklastlı istiftaşı-tanetaşı biçimindeki kireçtaşlarında sparit bağlayıcı mevcuttur. Taneler arası boşluklar sparikalsit çimento ile doldurulmuştur (Şekil 2.21). Formasyon, Tokmaklar formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır.



Şekil 2.20 Mengen formasyonu konglomera ve kumtaşları (Mengen-Gökçesu yol üzeri)



Şekil 2.21 Mengen formasyonuna ait sparikalsit çimentolu istiftaşının fotomikrografisi

2.1.8 Alüvyon (Qal)

Kuvaterner yaşlı alüvyon çalışma alanında, akarsu vadileri ve dere yataklarında biriken ve diğer tüm birimleri uyumsuzlukla örten, kum, çakıl ve çamur gibi çökellerden oluşmaktadır (Ek 1, Şekil 2.1).

3. ORGANİK JEOKİMYA

3.1 Organik Maddenin Kaynağı, Oluşumu ve Korunumu

Organik madde, bitkisel veya hayvansal organizmaların ana maddesidir. Esas olarak C, H, O ve daha küçük oranlarda olmak üzere S, N, P elementlerinden oluşur. Fosil yakıtların kaynağı olan karasal veya denizel organizmalar yaşamları bittikten sonra sedimanlarla birlikte uygun koşullarda korunarak organik maddeyi oluştururlar. Organik maddenin miktarı, tipi ve ısısal olgunluğu bir havzada ekonomik olarak petrol üretimine uygun kaynak kaya gelişimi için çok önemlidir.

Genellikle kireç çamuru ve ince taneli şeyl gibi litolojiler içerisinde yer alan organik madde, sığ denizler, lagünler, göller ve bataklık ortamları gibi düşük enerjili alanlarda birikir.

Şeyllerin iyi derecede kaynak kaya olabilmesi için organik madde içeriğinin zengin olması gerekir. Mavi-yeşil alg ve diatomlar gibi planktonların okyanus ve denizlerde fotosentez sonucu ürettikleri organik madde asidik ve anoksik şartlarda korunursa organik madde içeriği bakımından zengin şeyller için uygun zemin hazırlanmış olur.

Organik madde oluşumu esnasında faaliyet gösteren bakteriler, eğer çökme hızı yüksekse organik maddeyi parçalamak için yeterli zamanı bulamazlar ve işlem tamamlanamaz. Bu yüzden ısı evrim kadar çökme zamanı da çok önemlidir (Tissot ve Welte 1984).

Ayrıca süreç esnasında organik maddenin korunmasını sağlayan su kütesinin oksijen içeriği bakımından dereceli olması da önemlidir. Bazı göller, sığ denizler ve lagünlerde görülen bu derecelenme olayı tatlı suyun tuzlu su bölgesine girişlerinin oluşturduğu tabakalanma ile de gerçekleşir.

3.2 Bitümlü Şeyller

Bitümlü şeyller, önemli miktarlarda sapropelik kerojen (Tip I ve Tip II kerojen) kapsayan, ince taneli, genellikle laminalı, yakıldıklarında % 33'ten fazla kül bırakan, oksijensiz ortamda 500 °C'ye kadar ısıtılmaları (damıtma, piroliz) durumunda şeyl petrolü ve gazı üreten, serpilmiş tanecikler şeklinde kerojen kapsayan şeyl, marn, killi kireçtaşı gibi sedimanter kayalardır. Kerojen organik çözücüler içinde çözülmeyen bir organik maddedir. Bitümlü şeyller içerisinde kerojenle birlikte çok az miktarda (% 1-10) olmak üzere bitüm de bulunabilmektedir. Bitüm, kerojenden farklı olarak, organik çözücüler içinde çözülen bir organik maddedir (Tissot ve Welte 1984).

Dünya literatüründe ki yaygın kullanımı “petrollü şeyl” olan ve bitümlü şist olarak da adlandırılan bu kayaçlar ısıtıldıklarında petrol ve/veya gaz üretirler. Jeolojik yaşları Kambriyen'den günümüze kadar değişmekte olup, Tersiyer yaşlı çökeller içinde daha bol oranda rastlanırlar (Yen ve Chilingarian 1976).

Bitümlü şeyl oluşumunda yer alan organik maddelerin türü ve çökeltme koşulları meydana gelecek şeylin petrol verimini doğrudan etkilemektedir (Probstein ve Hicks 1982). Bitümlü şeyl oluşumunu sağlayan organizmaların lipit bakımından zengin olmaları maseral yapısını da liptinit ağırlıklı yapmaktadır. Kömürün yapısında bulunan vitrinit ve inertinit ise bitümlü şeyllerde, türe bağlı olarak farklı yüzdelerde bulunabilmektedir (Sarı 1999, Tissot ve Welte 1984).

Bitümlü şeyller, büyük göl ortamları, sığ denizel ortamlar ve bataklık ortamları ile bağlantılı göl ve lagünler gibi ortamlarda çökeltirler.

Bitümlü şeyller inorganik ve organik bileşenlere sahiptir (Çizelge 3.1). İnorganik bileşenler genellikle kuvars, kil, karbonat, sülfid, sülfat, zeolit ve evaporit gibi minerallerdir ve çökeltme koşulları hakkında bilgi verirler. Organik bileşenler (maseraller) ise çökeltme ortamı yanında bitümlü şeylin kalitesine yönelik önemli bilgiler verir (Şengüler 2007).

Çizelge 3.1 Bitümlü şeyl bileşenleri

BİTÜMLÜ ŞEYL		
İnorganik Matriks <ul style="list-style-type: none"> ■ Kuvars ■ Feldispat ■ Killer (esas olarak illit ve klorit) ■ Karbonatlar (kalsit ve dolomit) ■ Pirit ve diğer mineraller 	Organik Matriks	
	Bitüm (CS ₂ ile çözünebilir)	Kerojen (CS ₂ ile çözünemeyen) (U, Fe, V, Ni, Mo, Co, Zn, U vb. elementleri içeren)

Günümüzde petrolün hızla tüketilmesinden dolayı, buna alternatif olabilecek yeni enerji kaynakları aranmaktadır. Bitümlü şeyl rezervleri, bu anlamda en önemli alternatiflerden birisi olarak göze çarpmaktadır. Avustralya, Brezilya ve Çin gibi ülkelerde uzun zamandır petrol türevi ürünlere benzer olarak bitümlü şeyllerden yararlanılmaktadır. Dünya üzerindeki bitümlü şeyl rezervleri kimi kaynaklarda 411 milyar ton, kimi kaynaklarda da 300-550 milyar ton arasında olabileceği belirtilmektedir. Toplam bitümlü şeyl rezervinin % 78'i tek başına ABD'ne aittir. Brezilya ve Rusya'da bulunan rezervlerle birlikte bu oran % 87.5'a ulaşmaktadır (EASAC Report 2007). Bitümlü şeyllerin ülkelere göre petrol-eşdeğeri rezerv durumları ise çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu veriye göre dünya bitümlü şeyl rezervlerinin 2.8-3.3 trilyon varil olduğu tahmin edilmektedir.

Çizelge 3.2 Dünyadaki bitümlü şeyl petrol-eşdeğer rezervleri (USA Department of Energy 2004)

Ülke	Petrole eşdeğer rezerv (milyar varil)
ABD	626
Brezilya	300
Rusya	41
Zaire	38
Avustralya	17
Kanada	16
İtalya	13

Çizelge 3.3'de bitümlü şeyl kaynaklarından en çok yararlanan ülkeler gösterilmektedir. Estonya bu anlamda en aktif ülke durumundadır. Dünya bitümlü şeylleri toplamında rezerv payı yalnızca % 0.5 olan ülke, üretim payında % 48'lere kadar çıkmaktadır.

Estonya'da 1 ton bitümlü şeylden 850 kwh elektrik veya 125 kg sentetik petrol elde edilebilmektedir. Almanya, İsrail, Rusya, Çin ve Brezilya'da da üretime yönelik çalışmalar mevcuttur (Arvo 2007). Amerika ise elindeki petrol rezervlerini çok daha ekonomik olarak işlettiği için henüz bitümlü şeyllerden yararlanma noktasında değildir.

Çizelge 3.3 Çeşitli ülkelerin bitümlü şeyl rezerv ve üretim oranları (Laherrere 2005)

Ülke	Üretim Payı (%)	Rezerv Payı (%)
Estonya	48	0.5
Brezilya	27	2.5
Çin	17	0.5
Avustralya	8	1.0
ABD	0	78.0
Rusya	0	7.0
Ürdün	0	1.0
Fransa	0	0.2
Toplam (Dünya)	100	100

Ülkemizdeki durum ise bitümlü şeyl çalışmalarına ilk olarak MTA'nın kurulmasıyla sentetik petrol üretimi amacıyla 1935 yılında başlanmış, fakat bu eski çalışmalarda kerojen oranları düşük çıkınca çalışmalara ara verilmiştir. 1965 yılında yeni teknolojik gelişmeler ışığında araştırmalara tekrar başlanmıştır. 2000'li yıllarla birlikte çeşitli üniversitelerle ortak projeler gerçekleştirilerek çalışmalar biraz daha hızlandırılmıştır. Yalnız ekonomik olarak henüz ciddi bir katkı koyulamamıştır. Ülke ekonomisine katkı olarak yalnızca Seyitömer sahasında üretilen 400.000 ton civarında bitümlü şeyl kömürle karıştırılarak kullanılmıştır.

Bugüne kadar, Türkiye'de genel jeolojik incelemeleri tamamlanan önemli 13 adet sahadaki toplam rezerv Altun vd. (2006) tarafından derlenerek tablo haline getirilmiş ancak burada belirtilen rezervin tam olarak hangi çalışmalar sonucunda ortaya konulduğu belirtilmemiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Türkiye'deki bitümlü şeyl potansiyel sahaları (Altun vd. 2006)

Saha adı	Görünür Rezerv (milyon ton)	Muhtemel Rezerv (milyon ton)	Toplam Rezerv (milyon ton)
Ank-Beypazarı	327684	-	327684
KütahyaSeyitömer	83320	38850	122170
Bolu-Hatıldığ	78372	389200	467570
Himmetoğlu	65968	-	65938
Mengen	-	50000	50000
Balıkesir-Burhaniye	-	15600	15600
Kocaeli-Bahçecik	-	42000	42000
Niğde-Ulukışla	-	130000	130000
Eskişehir-Sarıcakaya	-	300000	300000
Çorum-Dodurga	-	138000	138000
Amasya-Çeltik	-	90000	90000
Beydili	-	300000	300000
Demirci	-	172000	172000
Toplam	555344	1665.650	2220.990

4. ANALİZ VE BULGULAR

4.1 Organik Jeokimyasal İncelemeler

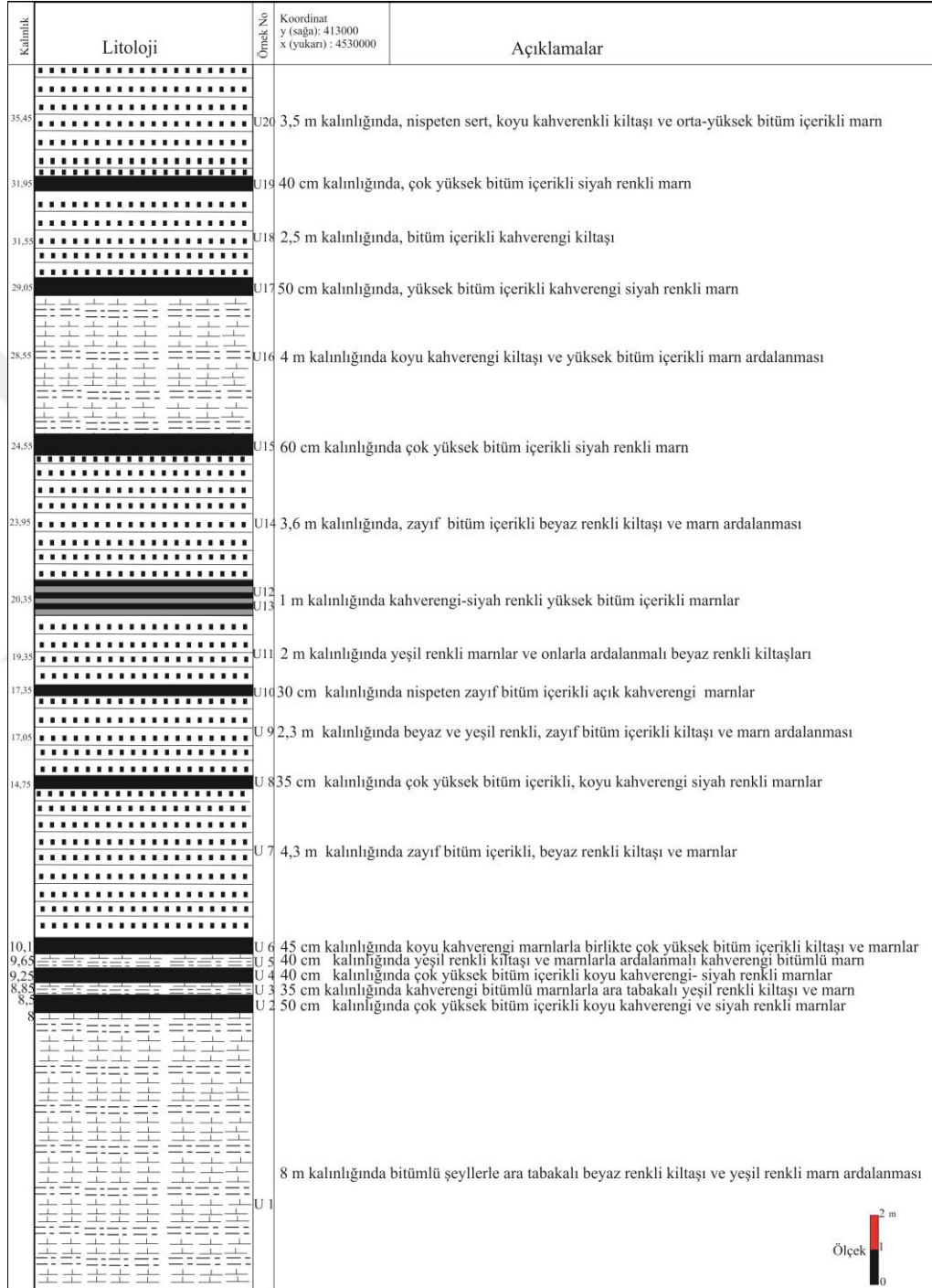
Organik maddenin miktarı, tipi, olgunlaşma düzeyi ve hidrokarbon üretme potansiyeli muhtemel kaynak kaya tespitindeki en önemli kriterlerdir. Bunun için çeşitli organik jeokimyasal ve organik petrografik analizler yapılır. Organik jeokimyasal analizlerin yardımıyla sedimanter havzalarda oluşan ve organik madde içeren birimlerin petrol ve/veya gaz üretilip üretilmediği anlaşılmaktadır.

Kaynak kaya çalışmasında uygulanacak analizlere göre kuyularda ve yüzeyde seçilen örnek sayısı ve aralıkları farklıdır. Bu parametreleri belirlemek için çeşitli analizler belirli bir sıra takip edilerek yapılır. Bu tez çalışmasında Eosen yaşlı Tokmaklar formasyonundan yarma yöntemiyle alınan, kaynak kaya potansiyeline sahip 20 adet örnek üzerinde gerçekleştirilen analizler çizelge 4.1’de verilmiştir. Piroliz analiz sonuçları ise çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Tokmaklar formasyonuna ait örneklerde gerçekleştirilen analizler

ÖRNEK NO	TOC (%)	Piroliz	Org.Pet.	Gaz Kro.	Özüt
U20	*	*	*	*	*
U19	*				
U18	*				
U17	*				
U16	*	*			
U15	*	*	*	*	*
U14	*				
U13	*				
U12	*	*	*		
U11	*				
U10	*				
U9	*				
U8	*	*			
U7	*				
U6	*	*			
U5	*				
U4	*	*	*	*	*
U3	*	*			
U2	*	*	*	*	*
U1	*	*			

Çalışma alanında yer alan Gökçesu kasabasının güneybatısında bulunan Tokmaklar formasyonu içerisinde alınan ölçülü stratigrafik kesitte bitümlü şeyl seviyeleri gösterilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Gökçesu (Bolu-Mengen) yöresine ait ölçülü stratigrafik kesiti

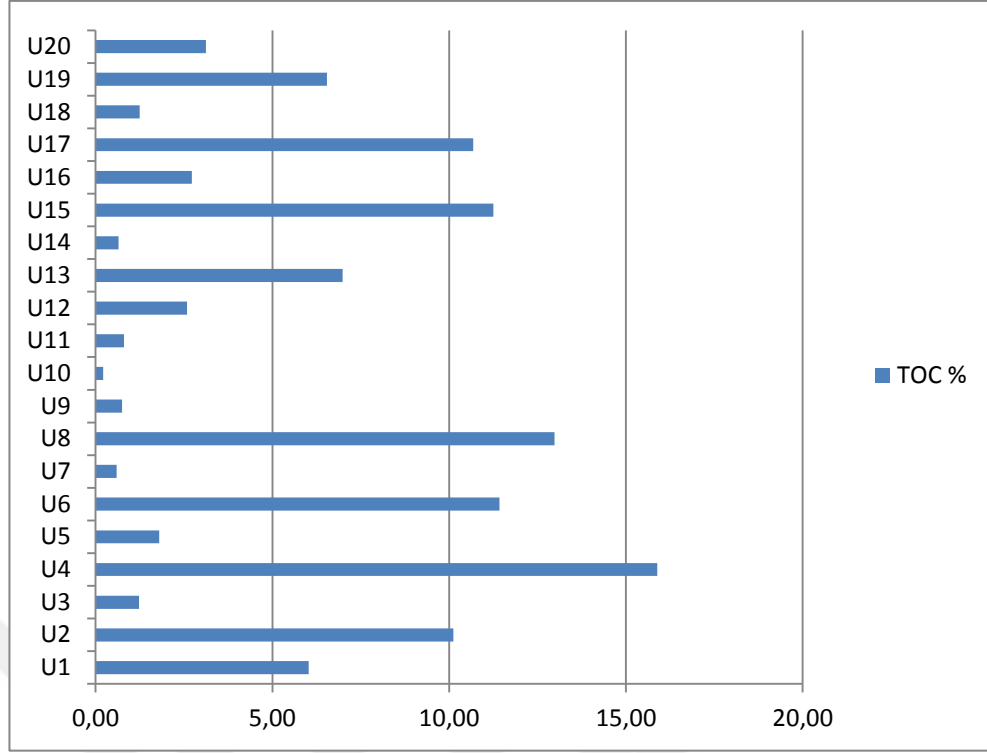
Çizelge 4.2 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyl örneklerinin TOC (%) ve piroliz analiz değerleri

Örnek No	TOC (%)	S ₁ ¹	S ₂ ¹	S ₃	S ₁ /TOC	S ₂ /S ₃	T _{max} (°C)	HI ¹ (S ₂ /TOC)	OI (S ₃ /TOC)	PI ¹ (S ₁ /S ₁ +S ₂)	PY ² (S ₁ +S ₂)
U1	6,03	1,5	51,15	1,01	0,25	50,64	438	848	16	0,03	52650
U2	10,12	1,62	83,03	1,18	0,16	70,36	440	820	11	0,02	84650
U3	1,23	0,18	6,87	0,96	0,15	7,15	441	558	78	0,03	7050
U4	15,89	3,75	91,22	6,62	0,24	13,77	429	574	42	0,04	94970
U6	11,42	3,37	76,48	3,49	0,29	21,91	425	669	30	0,04	79850
U8	12,98	3,23	75,69	5,48	0,25	13,81	433	583	42	0,04	78920
U12	2,59	0,54	21,55	0,53	0,21	40,66	438	832	20	0,02	22090
U15	11,25	4,71	65,15	4,75	0,42	13,71	425	579	42	0,07	69860
U16	2,72	1,04	15,61	1,23	0,38	12,69	422	573	45	0,06	16650
U20	3,12	0,49	17,67	1,51	0,16	11,7	433	566	48	0,03	18160

4.1.1 Organik madde miktarı ve kaynak kaya potansiyeli

Kayaçlar içerisindeki organik madde miktarına göre, üretmiş oldukları hidrokarbonların ekonomik olup olmadıkları tespit edilir. Organik madde miktarı genellikle Toplam Organik Karbon (TOC) olarak açıklanır (Hunt 1995). Toplam organik karbon analiz sonuçlarına göre TOC değerleri % 0.5'ten düşük ise diğer analizlerin yapılmasına gerek kalmaz (Sarı ve Aliyev 2005). Bir kayanın kaynak kaya olabilmesi için içermesi gereken en az TOC miktarı şeyller için % 0.5, karbonatlı kayalar için % 0.3 olarak kabul edilmektedir (Tissot ve Welte 1984). Henüz olgunlaşmamış potansiyel kaynak kayalarda ise sınır değer % 1.1 kabul edilmektedir (Bordenave 1993).

Tokmaklar Eosen birimlerine ait bitümlü şeyl örneklerinin organik madde miktarı % 0.21 ile % 15.89 arasında değişmekte olup ortalama değer % 5.38'dir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerinin organik madde miktarı

Farklı araştırmacılar Tissot ve Welte (1984), Jarvie (1991), Peters ve Cassa (1994) toplam organik karbon yüzdelere göre kaynak kayaları değişik şekillerde sınıflamışlardır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Çeşitli araştırmacılara göre kaynak kayanın petrol potansiyelini belirlemede kullanılan % TOC sınır değerleri

Peters ve Cassa (1994)		Tissot ve Welte (1984)		Jarvie (1991)	
TOC (%)	Kaynak Kaya Potansiyeli	TOC (%)	Kaynak Kaya Potansiyeli	TOC (%)	Kaynak Kaya Potansiyeli
<0.5	Zayıf	0.1-0.5	Zayıf	0-0.5	Yetersiz
0.5-1	Orta	0.5-1	Orta	0.5-1	Orta
1-2	İyi	1-2	İyi	>1	Yeterli
2-4	Çok İyi	2-10	Zengin		
>4	Mükemmel				

Toplam organik karbon miktarının ortalama değeri dikkate alındığında çalışma alanı bitümlü şeyl örnekleri Tissot ve Welte (1984)'e göre zengin, Peters ve Cassa (1994)'e göre mükemmel, Jarvie (1991)'e göre ise yeterli kaynak kaya potansiyeline sahiptirler (izelge 4.3; 4.4).

Sadece organik karbon miktarı kaynak kayaların petrol potansiyelini belirlemek için yeterli değildir. Mesela “gaz oluşturmaya yatkın” karasal organik maddeler ya da daha yaşlı çökellerden aşınarak havzaya taşınan ve yeniden depolanan organik maddeler yanılıcı olarak yüksek oranda organik karbon meydana getirirler. Yüksek organik karbon içeriği zorunlu olarak potansiyel petrol kaynağına eşdeğer değildir (Sarı ve Sonel 2000). Bu nedenle diğer parametrelerle birlikte değerlendirilmesi gerekir. Piroliz analizinden elde edilen S_1 ve S_2 değerleri potansiyel kaynak kayalarını belirlemede önemli olan diğer parametrelerdir.

S_1 hidrokarbonları kayada mevcut halde bulunan hidrokarbonlardır. Serbest halde bulunurlar ve numunenin ilk olarak 350 °C sıcaklığa kadar ısıtılmasıyla damıtılmışlardır. Serbest hidrokarbonların miktarı derinliğe bağlı olarak artar. Yaklaşık olarak 300 °C sıcaklıkta buharlaşan serbest hidrokarbonların 3 dakikalık aralıklarla verdikleri pik S_1 piki olarak isimlendirilir ve mg HC/g kaya olarak ifade edilir.

Burada açığa çıkan hidrokarbonlar bitüm hidrokarbonlarıdır. S_1 hidrokarbonları sınır değerlerine göre Peters ve Cassa (1994) tarafından belirlenen kaynak kaya potansiyelleri izelge 4.5'te verilmiştir.

Eosen yaşlı Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerinin S_1 hidrokarbon değerleri 0.18-4.71 mg HC/g kaya arasında değişmektedir (izelge 4.6) ve 2.04 mg HC/g kaya ortalama değere sahiptir. Ortalama değer dikkate alındığında Peter ve Cassa'ya (1994) göre kaynak kaya potansiyeli S_1 değerleri açısından çok iyidir.

Çizelge 4.4 Tokmaklar formasyonuna ait örneklerin toplam organik karbon analiz sonuçları ve kaynak kaya potansiyeli yorumları

Örnek No	Toplam Organik Karbon (TOC) (%)	Kaynak Kaya Potansiyeli		
		(Peters ve Cassa,1994)	Tissot ve Welte (1984)	Jarvie (1991)
U20	3.12	Çok İyi	Zengin	Yeterli
U19	6.54	Mükemmel	Zengin	Yeterli
U18	1.25	İyi	İyi	Yeterli
U17	10.68	Mükemmel	Zengin	Yeterli
U16	2.72	Çok iyi	Zengin	Yeterli
U15	11.25	Mükemmel	Zengin	Yeterli
U14	0.65	Orta	Orta	Orta
U13	6.99	Mükemmel	Zengin	Yeterli
U12	2.59	Çok İyi	Zengin	Yeterli
U11	0.8	Orta	Orta	Orta
U10	0.21	Zayıf	Zayıf	Yetersiz
U9	0.75	Orta	Orta	Orta
U8	12.98	Mükemmel	Zengin	Yeterli
U7	0.59	Orta	Orta	Orta
U6	11.42	Mükemmel	Zengin	Yeterli
U5	1.8	İyi	İyi	Yeterli
U4	15.89	Mükemmel	Zengin	Yeterli
U3	1.23	İyi	İyi	Yeterli
U2	10.12	Mükemmel	Zengin	Yeterli
U1	6.03	Mükemmel	Zengin	Yeterli

Çizelge 4.5 Peters ve Cassa (1994)'a göre kaynak kayaların petrol potansiyelini belirlemede kullanılan S₁ hidrokarbon değerleri

Kaynak Kaya Potansiyeli (Peters ve Cassa, 1994)	S ₁ (mg HC/g kaya)
Zayıf	0-0.5
Orta	0.5-1.0
İyi	1.0-2.0
Çok İyi	2.0-4.0
Mükemmel	>4.0

Çizelge 4.6 İncelenen örneklerin S₁ (mg HC/g kaya) değerleri ve kaynak kaya potansiyelleri

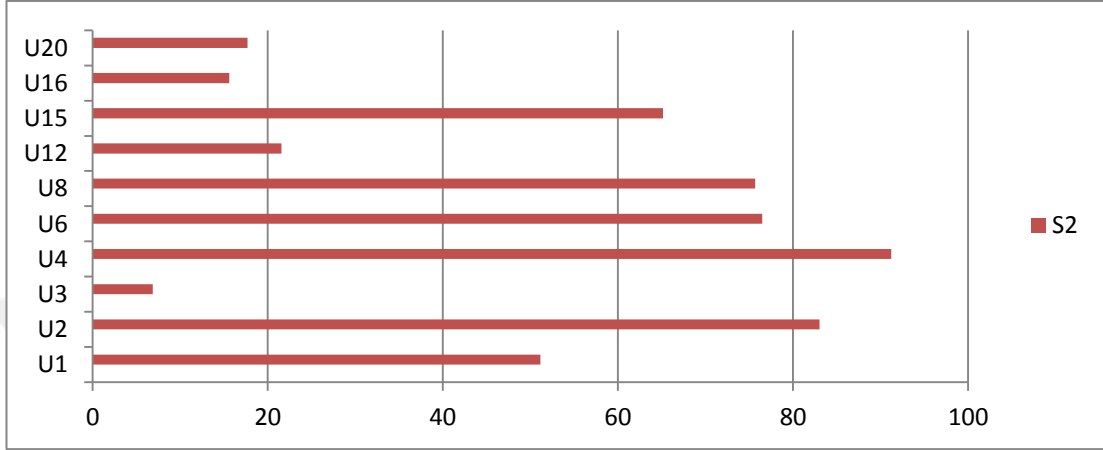
Örnek No	S ₁ (mg HC/g kaya)	Kaynak Kaya Potansiyeli (Peters ve Cassa,1994)
U20	0.49	Zayıf
U16	1.04	İyi
U15	4.71	Mükemmel
U12	0.54	Orta
U8	3.23	Çok İyi
U6	3.37	Çok İyi
U4	3.75	Çok İyi
U3	0.18	Zayıf
U2	1.62	İyi
U1	1.5	İyi

Piroliz işlemine devam edildiğinde, örnek sıcaklığı 350 °C'den 550 °C'ye çıkartıldığında kerojenin ısısal olarak parçalanması ile oluşan hidrokarbonların miktarı ise S₂ olarak adlandırılır. S₂ olgunlaşma ve gömülme devam edecek olursa kayanın üretebileceği potansiyel hidrokarbonların miktarını gösterir ve yüksek sıcaklığa bağlı olarak azalma gösterir (Clementz vd. 1979). S₂ değeri mg HC/gr kaya olarak ifade edilir. Farklı araştırmacıların S₂ hidrokarbonları sınır değerlerine göre kaynak kaya yorumlamaları çizelge 4.7'te verilmiştir.

Çizelge 4.7 Farklı araştırmacılara göre kaynak kayaların S₂ sınır değerleri

Espitalie (1982)		Peters (1986)		Peters ve Cassa (1994)	
S ₂ (mg HC/g kaya)	Kaynak Kaya Potansiyeli	S ₂ (mg HC/g kaya)	Kaynak Kaya Potansiyeli	S ₂ (mg HC/g kaya)	Kaynak Kaya Potansiyeli
0.0-2.0	Zayıf	0.0-2.5	Zayıf	<2.5	Zayıf
2.0-5.0	Orta	2.5-5.0	Orta	2.5-5.0	Orta
>5.0	İyi	5.0-10.0	İyi	5.0-10.0	İyi
		>10.00	Çok İyi	10.0-20.0	Çok İyi
				>20.0	Mükemmel

Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü kayaçların S₂ hidrokarbon pik değeri 6.87-91.22 mg HC/g kaya arasındadır (Şekil 4.3) ve ortalama değeri 50.44'tür. Buna göre, Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü kayaçların çeşitli araştırmacılara göre kaynak kaya potansiyeli için değerlendirmeler çizelge 4.8 de verilmiştir.



Şekil 4.3 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü kayaçların S₂ hidrokarbon pik değerleri

Çizelge 4.8 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örnekleri S₂ hidrokarbon değerlerinin farklı araştırmacılara göre yorumlamaları

Tokmaklar Formasyonu		Kaynak Kaya Potansiyeli		
Örnek No	S ₂ (mg HC/g kaya)	Espitalie (1982)	Peters (1986)	Peters ve Cassa (1994)
U20	17.67	İyi	Çok İyi	Çok İyi
U16	15.61	İyi	Çok İyi	Çok İyi
U15	65.15	İyi	Çok İyi	Mükemmel
U12	21.55	İyi	Çok İyi	Mükemmel
U8	75.69	İyi	Çok İyi	Mükemmel
U6	76.48	İyi	Çok İyi	Mükemmel
U4	91.22	İyi	Çok İyi	Mükemmel
U3	6.87	İyi	İyi	İyi
U2	83.03	İyi	Çok İyi	Mükemmel
U1	51.15	İyi	Çok İyi	Mükemmel

4.1.2 Organik madde tipi

Kaynak kayaların organik madde miktarlarının yanında organik madde tiplerinin de hatasız tespit edilmesi gerekmektedir. Çünkü bu kaynak kayalardan üretilebilecek hidrokarbonların petrol ve/veya gaz olması içeriğinde bulunan organik maddenin tipine ve kimyasal bileşimine bağlıdır. Kerojen; hidrojen, oksijen ve çok az miktarlarda da azot ve kükürt içerir. Çeşitli kerojen tipleri vardır, içerdikleri organik madde farklılıkları nedeniyle kimyasal yapıları da farklıdır. Tissot ve Welte (1984) kerojen tiplerini kimyasal özelliklerine göre 3 gruba ayırmıştır:

Tip I kerojenler algal kökenli organik maddelerden meydana gelirler. İçeriklerinde genellikle yüksek oranlarda alkan ve yağ asitleri bulunur ve bu nedenle hidrojen zengin olup, H/C oranları yüksektir. Buna bağlı olarak da petrol üretme yetenekleri çok yüksektir. Lignin ve selüloz içermedikleri için O/C oranları çok düşüktür.

Tip II kerojenler denizel planktonlar, ot, spor, polen, yaprak, bitki tohumlarından oluşan organik maddelerdir. İçeriğindeki hidrojenin karbona oranı Tip I kerojenlere göre daha düşük, oksijenin karbona oranı ise yüksektir. Tip II kerojenler kökensele açıdan denizel ve karasal organik maddelerin beraber bulunduğu alanlarda oluşmaktadır. Bu nedenle petrol üretme kapasitesi Tip I kerojene göre daha azdır.

Tip III kerojenler algal kerojenlerden daha fazla oksijen içerirler, çünkü lignin ve selülozdan oluşurlar. Odunsu maddelerden meydana gelmişlerdir ve bu odunsu bitkiler çok fazla miktarda lignin içerirler. Bu ligninler fenoller üretmek üzere ayrışır. Odunsu kerojenlerin O/C oranları yüksek, H/C oranları ise düşüktür. Kerojenin yapısında fenolik bileşikler fazla miktarda bulunuyorsa, kerojen aromatik yapıda olacaktır. Bu tip kerojenlerin gaz tütetme potansiyelleri daha fazladır.

Ender olarak bulunsa da dördüncü bir kerojen tipi daha vardır:

Tip IV kerojenler ise biyokimyasal etki ile bozunmuş veya aşırı ısı etkisi altında kalmış ve önceki depolanma ortamından aşınarak yeniden bir araya gelmiş değişik kökenli

organik maddelerdir. Petrol ve gaz türetme yeteneği yok denecek kadar azdır ve jeokimyasal incelemelerde önem arz etmezler (Durand 1980).

Piroliz analizleri ile elde edilen S_2 , S_3 hidrokarbon değerlerinden Hidrokarbon Tip İndeksi (S_2/S_3 oranı) (Peters 1986, Peters ve Cassa 1994, Clementz vd. 1979) hesaplanarak kerojen tipi belirlenebilmektedir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9 Peters (1986), Peters ve Cassa (1994) ve Clementz vd. (1979)' a göre S_2/S_3 oranı ve HC tipi ile kerojen tipi sınıflaması

Peters (1986)		Peters ve Cassa (1994)		Clementz vd. (1979)	
S_2/S_3	HC tipi	S_2/S_3	Kerojen tipi	S_2/S_3	HC tipi
0-3	Gaz	<1	IV	0-2.5	Gaz
3-5	Gaz ve petrol	1-5	III	2.5-5.0	Gaz ve petrol
> 5	Petrol	5-10	II/III	> 5.0	Petrol
		10-15	II		
		> 15	I		

Buna göre incelenen örneklerin Hidrokarbon Tip İndeksi (S_2/S_3 oranı) değerleri 7.16 – 70.36 arasında değişmekte olduğundan (ortalama 25.64) bu değerler birimin katajenezin erken olgun safhasında olduğunu çoğunlukla petrol ve sınırlı miktarda gaz potansiyeli olduğunu ve kerojen tipinin de Tip I ve Tip II olduğunu gösterir (Çizelge 4.10) (Peters ve Cassa 1994).

Hidrojen İndeks (HI, mg HC/g kaya) verileri kullanılarak kayacın kerojen tipinin belirlenebileceği gibi, üretebileceği hidrokarbon tipi (petrol/petrol+gaz) açısından da bir yaklaşımda bulunulabilir. Hidrojen İndeks, kerojenin hidrojen zenginliğini ifade eder. Algal kerojenler hidrojen içeriği bakımından en yüksek değere sahiptirler. HI değerleri Tip I kerojenlerde en yüksek iken, Tip III kerojenlerde ise en düşük değerde olur

(Tissot ve Welte 1991). Diğ er bir deyiş le, Hidrojen İ ndeks değ eri ne kadar yüksek ise kerojen o derecede zengin petrol potansiyeline sahip olur. Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü ş eyl ö rneklerinin HI verileri Peters ve Cassa (1994) standartlarına göre karşı laş tırılmı ş tır (Ç izelge 4.11).

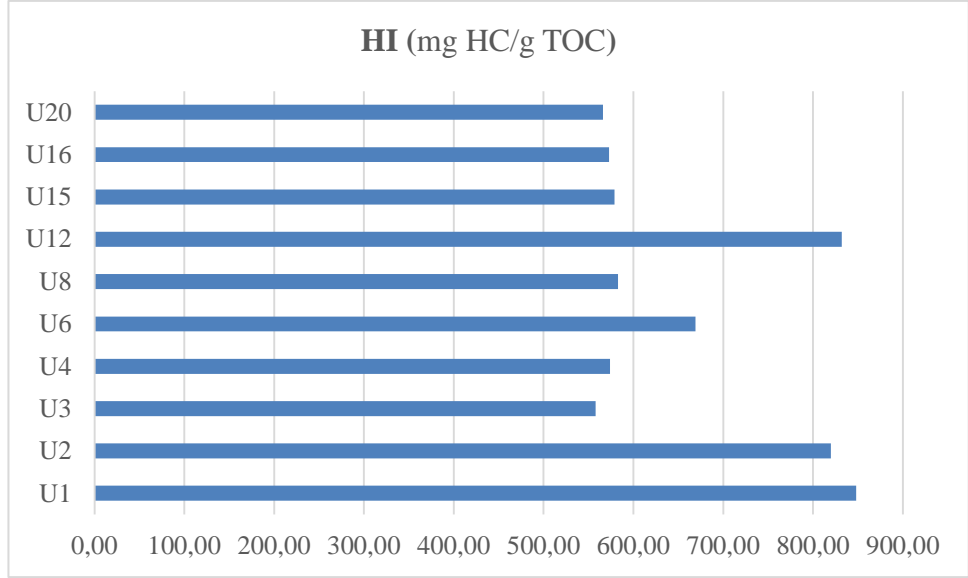
Ç izelge 4.10 Tokmaklar formasyonu bitümlü ş eylerine ait ö rneklerin S_2/S_3 parametresine göre kerojen tipleri (Peters ve Cassa 1994)

Ö rnek No	S_2/S_3	Kerojen Tipi (Peters ve Cassa 1994)
U20	11.7	Tip II
U16	12.69	Tip II
U15	13.72	Tip II
U12	40.66	Tip I
U8	13.81	Tip II
U6	21.91	Tip I
U4	13.78	Tip II
U3	7.16	Tip II-III
U2	70.36	Tip I
U1	50.64	Tip I

Ç izelge 4.11 HI sınır değ erlerine göre kerojen tipleri (Peters ve Cassa 1994)

HI (mg HC/g TOC)	Kerojen ve Hidrokarbon tipi
< 50	Tip IV, sınırlı gaz
50-200	Tip III, gaz
200-300	Tip II-Tip III, petrol-gaz karış ık
300-600	Tip II, petrol
> 600	Tip I, petrol

Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü kayaç ların HI değ erleri 558-848 mg HC/g kaya arasında değ iş mektedir (Ş ekil 4.4).



Şekil 4.4 İncelenen örneklerin HI değerleri

HI değerlerine göre bitümlü kayaçların organik madde tipleri Tip I ve Tip II, petrol üretebilen kerojendir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerinin HI değerlerine göre kerojen ve hidrokarbon tipleri

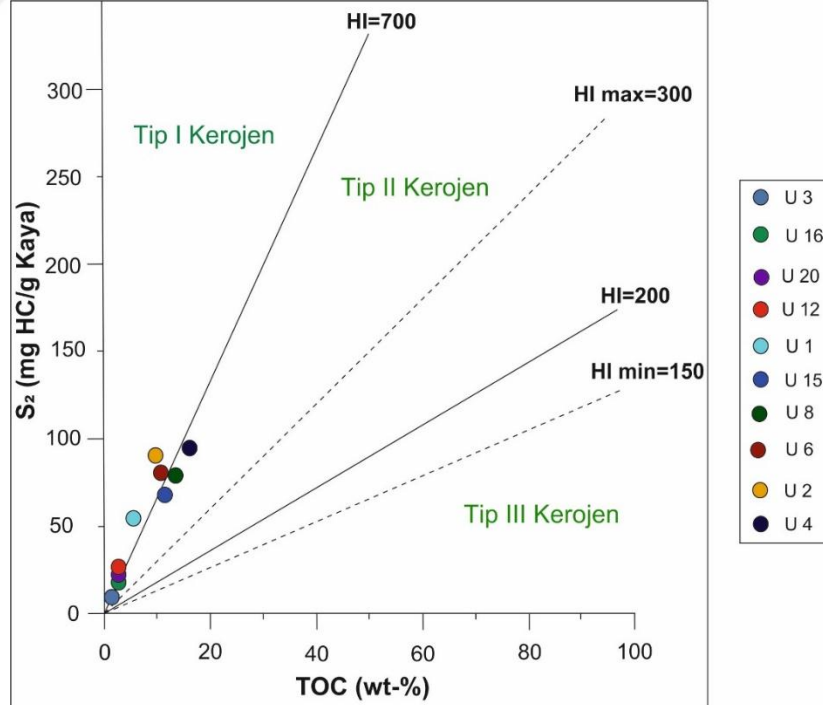
Örnek No	HI	Kerojen ve Hidrokarbon tipi Peters ve Cassa (1994)
U20	566	Tip II, petrol
U16	573	Tip II, petrol
U15	579	Tip II, petrol
U12	832	Tip I, petrol
U8	583	Tip II, petrol
U6	669	Tip I, petrol
U4	574	Tip II, petrol
U3	558	Tip II, petrol
U2	820	Tip I, petrol
U1	848	Tip I, petrol

Eosen yaşlı Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü kayaçların S₂ mg HC/g kaya ve TOC % değerleri Çizelge 4.13'de görülmektedir.

Çizelge 4.13 İncelenen örneklerin S₂ mg HC/g kaya ve TOC % değerleri

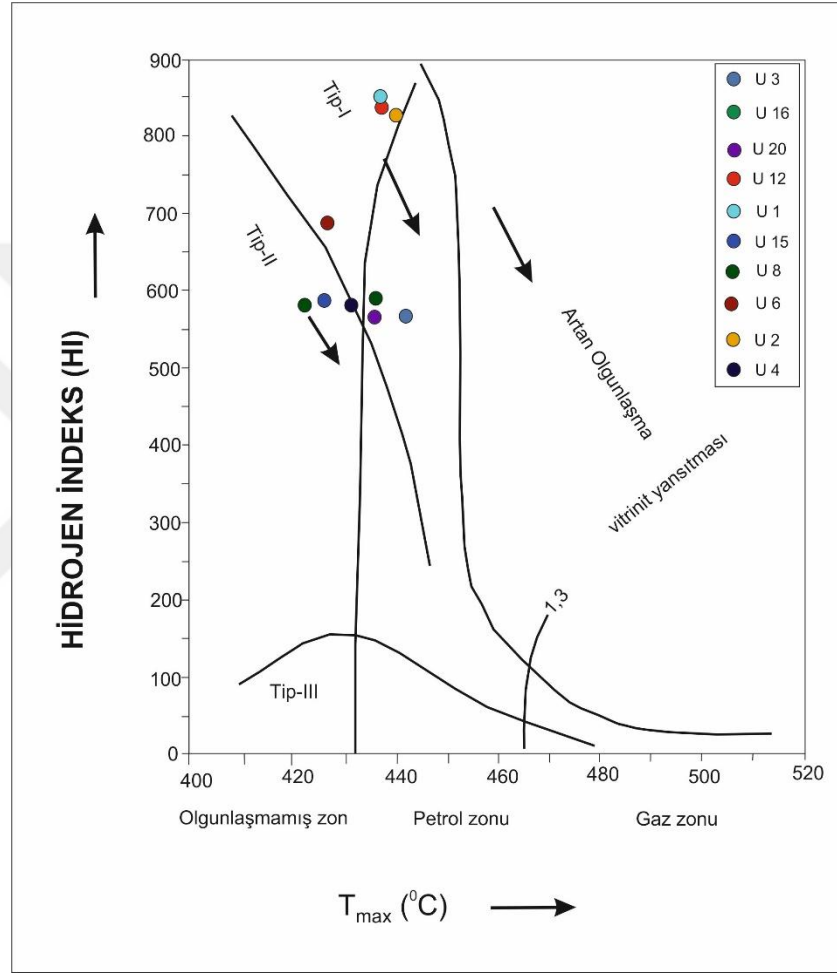
Örnek No	S ₂ (mg HC/g kaya)	TOC (Corg) %
U20	17,67	3,12
U16	15,61	2,72
U15	65,15	11,25
U12	21,55	2,59
U8	75,69	12,98
U6	76,48	11,42
U4	91,22	15,89
U3	6,87	1,23
U2	83,03	10,12
U1	51,15	6,03

Bu değerler Hidrojen İndeksi (HI) sınır değerleri ile ilişkilendirilmiş S₂-TOC diyagramına (Langford ve Blanc-Valeron 1990) göre incelendiğinde, incelenen örneklerin organik madde tipinin çoğunlukla Tip I Kerojen ve çok az da olsa Tip II kerojen olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllerinin HI sınır değerlerine göre S₂- TOC grafiğindeki konumları (Langford ve Blanc-Valeron 1990)

Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyllerin kerojen tipleri ayrıca piroliz analizlerinden elde edilen HI- T_{max} diyagramı yöntemi ile de belirlenmiştir. S_2 pikinin maksimum olduğu andaki T_{max} sıcaklığı ve Hidrojen İndeksi verileri kullanılarak oluşturulan HI- T_{max} diyagramına göre birimin kerojen tipi Tip I ve Tip II kerojenlerdir (Hunt 1995, Mukhopadhyay vd. 1995) (Şekil 4.6).



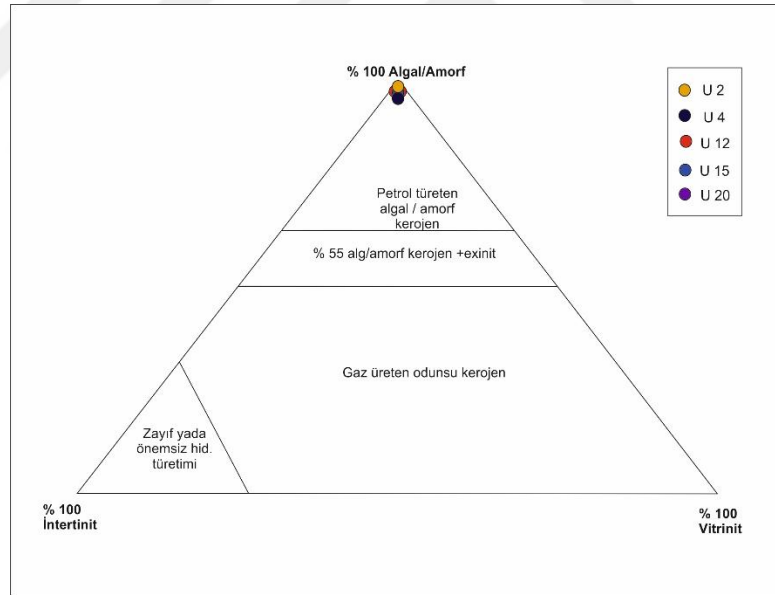
Şekil 4.6 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllerinin HI- T_{max} diyagramı (Hunt 1995, Mukhopadhyay vd. 1995)

Organik madde tipini belirlemede kullanılan diğer bir yöntem ise organik petrografik analizlerdir. Organik petrografi yöntemi ile çalışılan örneklerden U4 no'lu örnek hariç tüm örneklerin %100 amorf organik maddeden oluştuğu, U4 no'lu örneğin ise %95 amorf, % 5 otsu organik maddeden oluştuğu gözlenmektedir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14 İncelenen örneklerin organik petrografi analiz sonuçları

ÖRNEK NO	Amorf %	Otsu %	Odunsu %	Kömürsü %	Spor-Renk İndeksi
U20	100.00	-	-	-	4.00
U15	100.00	-	-	-	3.00
U12	100.00	-	-	-	4.5-5.0
U4	95.00	5.00	-	-	3.0-3.5
U2	100.00	-	-	-	5.0-6.0

Ayrıca organik-petrografik analiz verilerine göre, alg kökenli/amorf, inertinit ve vitrinitten oluşan üçgen diyagram üzerinde yorumlandıklarında bitümlü kayaç örneklerinin organik madde tiplerinin petrol türümüne uygun (% 100 alg kökenli /amorf) olduğu görülmektedir (Şekil 4.7).



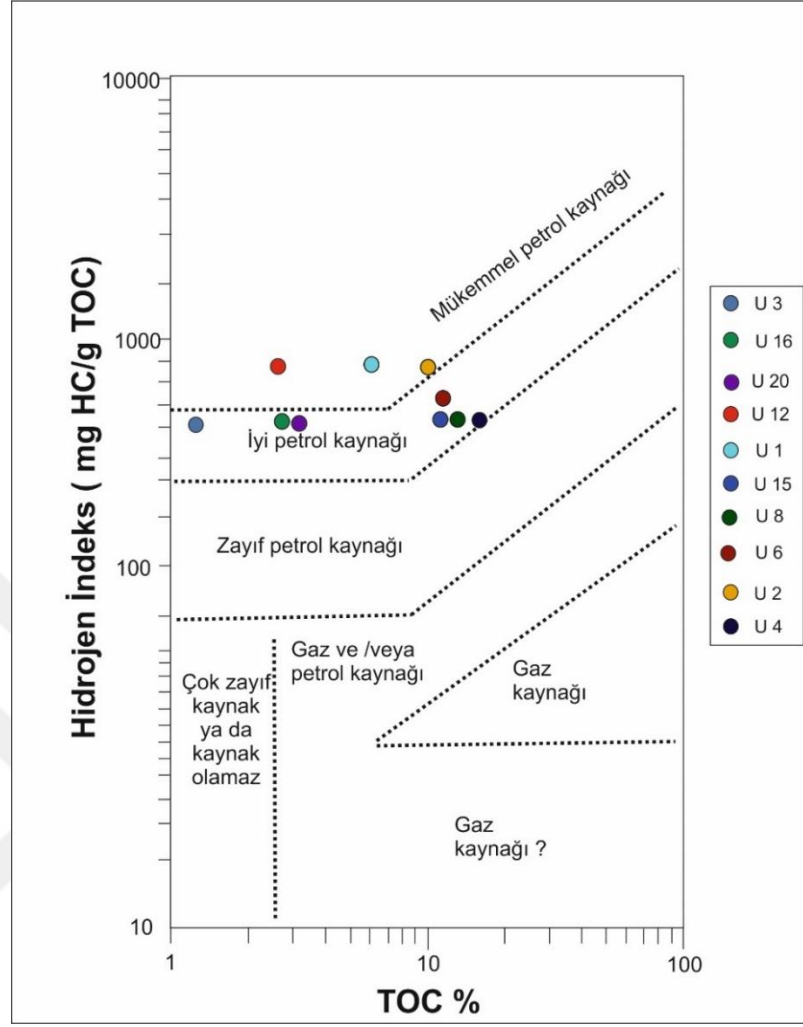
Şekil 4.7 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeylerinin maseral grup bileşimi ve hidrokarbon türüm potansiyeli diyagramı üzerinde gösterimi (Espitalie vd. 1977)

4.1.3. Hidrokarbon Üretim Potansiyeli

Tokmaklar formasyonu bitümlü kayaç örneklerinin hidrokarbon üretim kapasiteleri HI-TOC, HC-TOC, S₁-TOC diyagramları ve jenetik potansiyel (S₁+S₂) değerleri ile incelenmiştir. Tokmaklar formasyonuna ait 10 adet bitümlü şeyl örneği HI-TOC değerleri (Çizelge 4.15) diyagram (Jackson vd. 1985) üzerinde değerlendirildiklerinde kaynak kaya yeterliğinin mükemmel olduğu görülmektedir (Şekil 4.8).

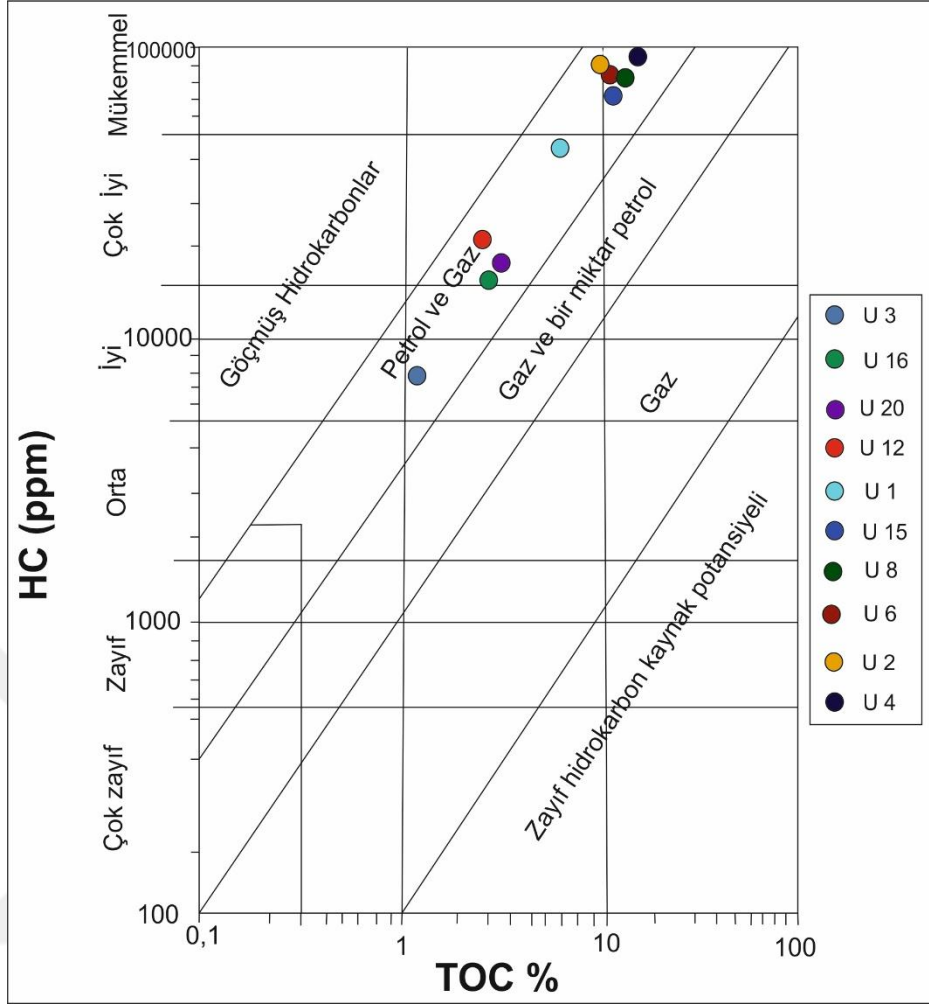
Çizelge 4.15 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyl örneklerinin HI-TOC değerleri

Örnek No	HI (S ₂ /TOC)	TOC (%)
U20	566.00	3.12
U16	573.00	2.72
U15	579.00	11.25
U12	832.00	2.59
U8	583.00	12.98
U6	669.00	11.42
U4	574.00	15.89
U3	558.00	1.23
U2	820.00	10.12
U1	848.00	6.03



Şekil 4.8 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeylerinin HI-TOC diyagramına göre kaynak kaya yeterliği (Jackson vd. 1985)

Hidrokarbon üretme kapasitelerini belirlemek için HC-TOC grafiği de kullanılmaktadır (Şekil 4.9). HC-TOC diyagramına göre örneklerin çok iyi-mükemmel hidrokarbon kaynak potansiyeline sahip oldukları görülmektedir (Wehner 1989).



Şekil 4.9 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeylerinin HC-TOC diyagramına göre petrol ve gaz kaynak potansiyeli (Wehner 1989)

Kaynak kayanın petrol üretme potansiyelini gösteren diğer bir veri ise Jenetik Potansiyel (S_1+S_2 , ppm)'dir. Kerojenin yeterli bir zaman aralığında, yeterli derecede ısıya maruz kalırsa üretebileceği hidrokarbon miktarı jenetik potansiyel olarak adlandırılmıştır (Tissot ve Welte 1984). Jenetik potansiyel piroliz sırasında türetilen hidrokarbon tipini tahmin etmek için kullanılamaz.

Çalışma alanından alınan bitümlü kayaç örneklerinin jenetik potansiyel ($S_1 + S_2$) değerleri 7050-94970 ppm arasında değişmektedir (Çizelge 4.16). S_1+S_2 değerleri bitümlü kayaç örneklerinin iyi derecede hidrokarbon potansiyeline sahip olduğunu gösterir (Tissot ve Welte 1978) (Çizelge 4.17).

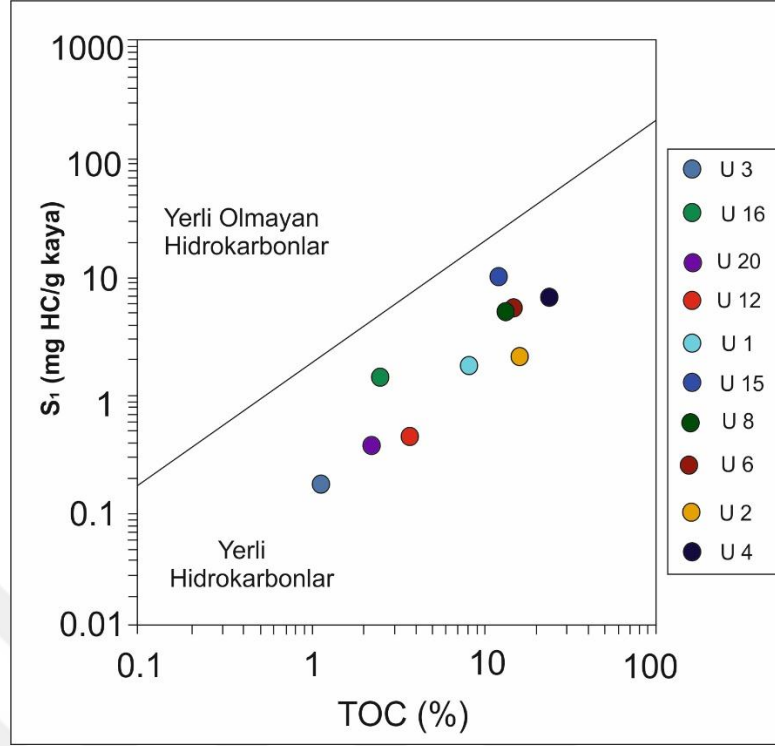
Çizelge 4.16 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerine ait Jenetik Potansiyel değerleri ve buna göre kaynak kaya potansiyel tablosu

Örnek No	PY (S₁+S₂)	Kaynak Kaya Potansiyeli (Tissot ve Welte 1978)
U20	18160	İyi derecede kaynak kaya potansiyeli
U16	16650	İyi derecede kaynak kaya potansiyeli
U15	69860	İyi derecede kaynak kaya potansiyeli
U12	22090	İyi derecede kaynak kaya potansiyeli
U8	78920	İyi derecede kaynak kaya potansiyeli
U6	79850	İyi derecede kaynak kaya potansiyeli
U4	94970	İyi derecede kaynak kaya potansiyeli
U3	7050	İyi derecede kaynak kaya potansiyeli
U2	84650	İyi derecede kaynak kaya potansiyeli
U1	52650	İyi derecede kaynak kaya potansiyeli

Çizelge 4.17 Jenetik potansiyel ile kaynak kaya potansiyeli arasındaki ilişki (Tissot ve Welte 1978)

Jenetik Potansiyel	Kaynak Kaya Potansiyeli
<2000	Kaynak kaya potansiyeli yok
2000-6000	Orta derecede kaynak kaya potansiyeli
>6000	İyi derecede kaynak kaya potansiyeli

Çalışma sahamızdan aldığımız örneklerimizi S₁/TOC diyagramına yerleştirdiğimizde kaynak kayanın iyi bir kaynak kaya olduğu, üretilmiş olan hidrokarbonların yerli olduğu görülmektedir (Hunt 1995) (Şekil 4.10). Ayrıca tüm örneklerde S₁/TOC değerleri 0.1'den büyük olduğundan kaynak kayadan yeni petrol türümünün gerçekleştiğini söyleyebiliriz (Hunt 1995).



Şekil 4.10 Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllerinin S₁ (mg HC/g kaya)- TOC (%) diyagramındaki konumları (Hunt 1995)

4.1.4 Organik maddenin olgunluğu

Organik maddenin olgunluğu, organik maddenin sedimanter bir havzada sıcaklık, basınç, gömülme ve zaman gibi etkenler altında fizikokimyasal olarak değişime uğrayıp hidrokarbon bileşiklerini meydana getirmesi süreci olarak tanımlanmaktadır (Tissot ve Welte 1984). Organik maddenin ısıl evrimi birçok fiziksel ve kimyasal özelliğini değiştirmekte ve bu özelliklerinden yararlanarak organik maddenin olgunluk derecesi belirlenebilmektedir. Piroliz analizlerinden elde edilen T_{max} değeri ile hesaplanan üretim indeksi değerleri organik maddenin ısıl gelişiminde önemli ipuçları verir (Tissot ve Welte 1984).

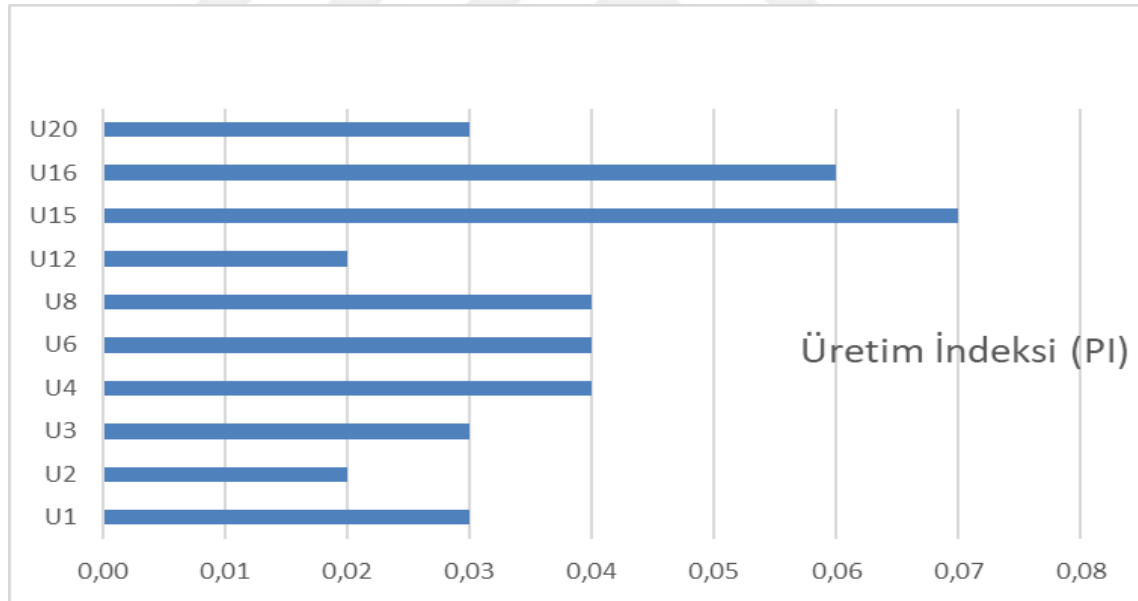
Kaynak kayalar yeterli miktarda organik maddeye ve uygun tipte kerojene sahip olsalar bile yeterli ısıl olgunluğu ulaşacak derecede derine gömülmedikleri zaman hidrokarbon üretmezler.

Organik maddenin olgunluğu piroliz analizlerinin yanısıra organik petrografik yöntemler (spor renk indeksi) ile de belirlenebilir.

4.1.4.1 Üretim İndeksi (PI) değerlerine göre olgunlaşma seviyesi

Üretim İndeksi (PI) değeri kayanın içindeki üretime hazır haldeki sıvı hidrokarbonların oranını gösterir ve kaynak kayanın yeterince gömülmesi ve olgunlaşması ile birlikte artar. Bu değer $S_1 / S_1 + S_2$ formülü ile elde edilir (Peters ve Cassa 1994). Bazen genç kaynak kayalardaki illit ve smektit türü killerin hidrojeni absorbe etmesi sonucu, S_1 hidrokarbonlarının verdiği pik piroliz analizlerinde çok yüksek çıkabilir. Bu durum organik kirlenmeyi gösterir ve olgunlaşma düzeyini belirlemede yanıltıcı sonuçlara neden olur (Hunt 1995).

Şekil 4.11’ de görüldüğü üzere Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyllerin PI değerleri 0.002-0.07 arasında değişir.



Şekil 4.11 Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyllerin PI değerleri

Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerinin PI değerleri Peters ve Cassa'nın (1994) sınıflamasına göre olgunlaşmamıştır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18 PI sınır değerlerine göre olgunlaşma düzeyi (Peters ve Cassa 1994)

Olgunlaşma düzeyi	PI (S_1/S_1+S_2) (mg HC/g kaya)
Olgun değil	< 0.10
Olgun	0.10-0.15
Erken olgun	0.25-0.40
İleri olgun	> 0.40

4.1.4.2 T_{max} değerlerine göre olgunlaşma seviyesi

T_{max} , S_2 hidrokarbonları pikinin maksimum olduğu andaki sıcaklık değeridir. S_2 hidrokarbonları 0.2 mg/g'dan daha düşük değerlerde ise piroliz verileri güvenilirliğini kaybederler (Hunt 1995, Jarvie and Tobey 1999).

Farklı araştırmacıların belirlediği T_{max} değerlerine göre olgunlaşma seviyeleri çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19 Farklı araştırmacılara göre T_{max} -olgunlaşma ilişkisi

Espitalie ve Tissot (1980)		Peters ve Cassa (1994)	
T_{max} (°C)	Olgunluk Derecesi	T_{max} (°C)	Olgunluk Derecesi
<430-435 °C	Olgunlaşmamış	<435 °C	Olgun Değil
430-460 °C	Petrol Penceresi	435-445 °C	Olgun
>455-465 °C	Gaz Penceresi	445-450 °C	Erken Olgun
		450-470 °C	İleri Olgun

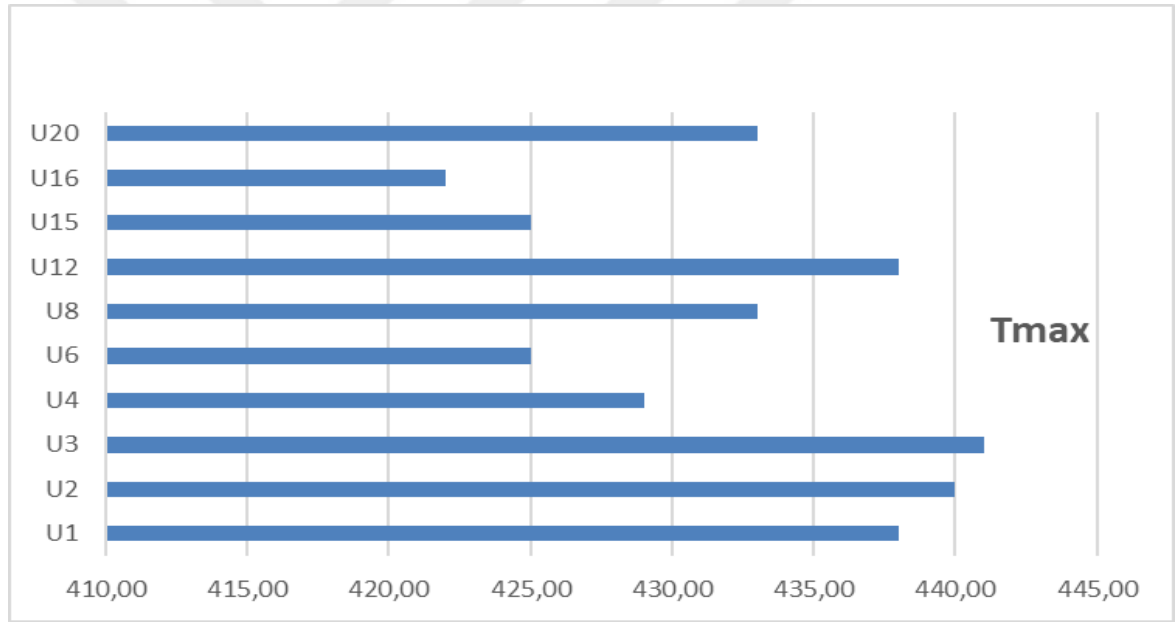
T_{max} olgunlaşma aralığı farklı organik madde tiplerine göre değişiklik göstermektedir (Espitalie ve Tissot 1980) (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20 Kerojen tiplerine göre değişiklik gösteren T_{max} sınır değerleri (Espitalie ve Tissot 1980)

Tip I	Tip II	Tip III	Olgunlaşma Derecesi
	< 425 °C	<435 °C	Olgunlaşmamış-Erken olgun
440-448 °C	425-450 °C	435-465 °C	Petrol penceresi
	> 450 °C	> 465 °C	Gaz penceresi

Tip I kerojen için daha dar olan bu değişim aralığı, Tip II kerojen için geniş, Tip III kerojen içinse, içerdiği organik maddenin yapısal karışıklığından ötürü oldukça geniştir (Tissot ve Welte 1984).

Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerinin T_{max} değerleri ise 422-441 °C arasında değişir (Şekil 4.12).



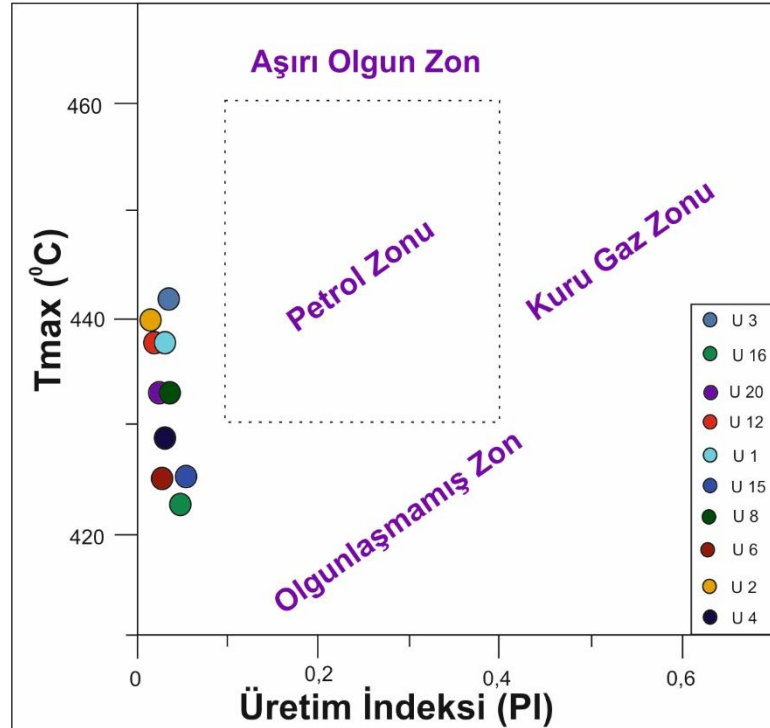
Şekil 4.12 İncelenen örneklerin T_{max} değerleri

Çalışma alanından alınan bitümlü şeyl örneklerinin T_{max} değerleri, Espitalie vd. (1984) ve Peters ve Cassa'ya (1994) göre tek tek incelendiğinde olgunlaşma derecelerinin olgunlaşmamış-erken olgun olduğunu söyleyebiliriz (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21 İncelenen bitümlü şeyllerin T_{max} değerlerine göre olgunlaşma seviyelerinin değerlendirilmesi

Örnek No	T_{max} (°C)	Olgunlaşma Seviyeleri	
		Espitalie vd. (1984)	Peters ve Cassa (1994)
U20	433	Petrol Penceresi	Olgun Değil
U16	422	Olgunlaşmamış	Olgun Değil
U15	425	Olgunlaşmamış	Olgun Değil
U12	438	Petrol Penceresi	Olgun
U8	433	Petrol Penceresi	Olgun Değil
U6	425	Olgunlaşmamış	Olgun Değil
U4	429	Olgunlaşmamış	Olgun Değil
U3	441	Petrol Penceresi	Olgun
U2	440	Petrol Penceresi	Olgun
U1	438	Petrol Penceresi	Olgun

Ayrıca T_{max} -PI grafiği de organik maddenin olgunluğu hakkında bilgi vermektedir. Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerini grafiğe (Ghori 2000) yerleştirdiğimizde olgunlaşmamış-erken olgun zona düşüklerini görürüz (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 İncelenen örneklerin T_{max} - PI (°C) diyagramındaki konumları (Ghori 2000)

4.1.4.3 Spor Renk İndeksi (SCI) değerlerine göre olgunlaşma seviyesi

Organik maddenin olgunluğu belirlemek için kullanılan bir diğer yöntem olan SCI (spor renk indeksi) ile spor-polenlerin ısı/derinlik artışına bağlı olarak ortaya çıkan renk değişimleri tanımlanır. Bu analizler kerojen tayini için hazırlanmış preparatlarda yapılmaktadır. Spor-polenlerin renkleri sıcaklığa duyarlıdır bu da yöntemin temelini oluşturur. Bitki üreme organlarını meydana getiren ve doğal renkleri açık sarı olan bu organik maddeler artan sıcaklık karşısında gittikçe koyulaşan renklere sahip olurlar. Burada dikkat edilmesi gereken husus, iki kere taşınmış malzemenin fark edilmesi, oksitlenme ve kavkı kalınlığından kaynaklanan renk değişimlerinin göz önünde bulundurulmasıdır (Ediger ve Soylu 1993, Hunt 1995).

Sarı ile siyah arasında değişen renk tonları 2-10 arasındaki bir skalada tanımlanmaktadır (Ediger ve Soylu 1993) (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22 Sarı ve siyah arasında değişen renk tonları ve karşılık gelen olgunlaşma seviyesi (Ediger ve Soylu 1993)

SCI	Renk	Olgunlaşma Seviyesi
2-3	Sarı	Olgunlaşmamış
4	Koyu sarı	Olgunlaşmamış
5	Sarı-turuncu	Olgunlaşma başlangıcı
6	Turuncu	Olgun
6.5	Turuncu-kırmızı	Orta olgun
7	Açık kahve	İleri olgun
7.5-8	Koyu-koyu kahve	Aşırı olgun
9-10	Koyu kahve-siyah	Aşırı olgun

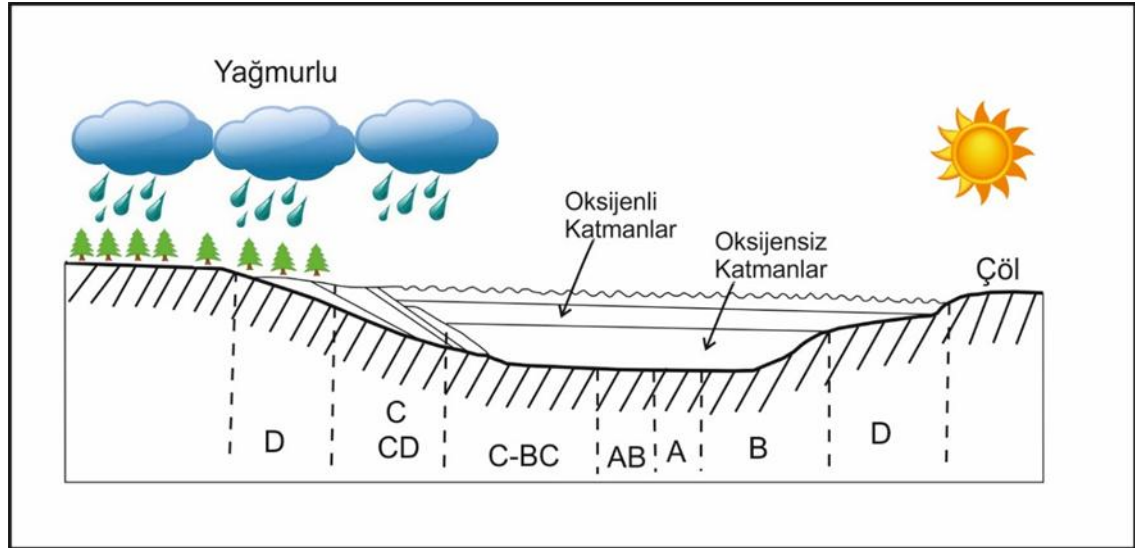
İnceleme alanına ait beş adet örneğin (U2, U4, U12, U15 ve U20) spor renk indeksi (SCI) değerleri 3.0-5.5 arasında değişmektedir. Buna göre organik maddenin renginin sarı- koyu sarı- turuncu renk tonlarında, olgunlaşma seviyesinin de henüz “olgunlaşmamış-erken olgun ” aşamasında olduğunu görmekteyiz (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23 İncelenen örneklerin SCI değerlerine karşılık olgunlaşma seviyeleri

Örnek No	SCI	Olgunlaşma Seviyesi (Ediger ve Soylu,1993)
U20	4.00	Olgunlaşmamış
U15	3.00	Olgunlaşmamış
U12	4.5-5.0	Olgunlaşmamış-Olgunlaşma Başlangıcı
U4	3.0-3.5	Olgunlaşmamış
U2	5.0-6.0	Olgunlaşma başlangıcı-Olgun

4.1.5 Organik fasiyes incelemeleri

Jones ve Demaison (1982) organik fasiyesleri şu şekilde tanımlamaktadırlar: “Sedimentlerin inorganik özellikleri dikkate alınmaksızın belirli bir stratigrafik ünitenin haritalanabilir ölçekteki alt grubudur ve bunlar organik unsurlarının karakterleri temel alınarak diğer alt gruplardan ayrılır”. Organik maddenin bileşimi, oluşumu ve diyajenezi yapılan tanımlamalarda özellikle dikkate alınmalıdır. Jones’un (1987) geliştirdiği ve Altunsoy ve Özçelik (1991) tarafından uyarlanmış olan (Şekil 4.14) bu fasiyesler A, AB, B, BC, C, CD ve D organik fasiyesleridir.



Şekil 4.14 Organik fasiyeslerin şematik görünümü (Jones 1987, Altunsoy ve Özçelik 1991)

Organik fasiyes tanımlamaları yapılırken birimlerin jeolojisi, organik jeokimyasal analiz sonuçları ve mikroskobik bilgiler birlikte değerlendirilir.

Çalışma alanımızda yüzeyleyen Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyllerin saha incelemeleri, organik jeokimyasal analiz ve organik petrografik sonuçlarına göre organik fasiyes tanımlamaları yapılmıştır.

Birimin toplam organik karbon içeriği U10 (% 0.21) no'lu örneğin dışında oldukça yüksek olup, % 0.59-15.89 arasında değişmektedir. İncelenen örneklere ait ortalama TOC değeri % 5.38'dir.

Organik petrografik incelemelerde U4 no'lu örneğin dışında incelenen bütün örneklerin % 100 amorf organik maddeden oluştuğu, U4 no'lu örneğin ise % 95 amorf, % 5 karasal (otsu) organik maddeden oluştuğu görülmektedir. Piroliz analizi yapılan 10 adet örneğin hidrojen indeksi (HI) değerleri 558-848 mg HC/g kaya arasında olup ortalama değeri 660.2 mg HC/g kayadır. Aynı örneklere ait oksijen indeksi (OI) değerleri ise 11-78 mg CO₂/g kaya arasında değişmekte olup ortalama değeri 37.4 mg CO₂/g kayadır (Çizelge 4.24).

H/C atomik oranı, hidrojen indeksi (HI) ile oksijen indeksi (OI) içeren Rock-Eval piroliz verileri ve egemen organik madde türlerine göre Jones (1987) tarafından 7 ayrı organik fasiyes ayırtlanmaktadır. Bu sınıflamayı incelenen örneklerimize uyguladığımızda Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerinin organik fasiyesinin AB olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.25-4.26).

Çizelge 4.24 Eosen yaşlı Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyllerin organik petrografi ve piroliz verileri

ÖRNEK NO	Piroliz Verileri			Amorf %
	TOC (Corg) %	HI mg HC/g kaya	OI mg CO ₂ /g kaya	
U20	3.12	566.00	48.00	100.00
U19	6.54			
U18	1.25			
U17	10.68			
U16	2.72	573.00	45.00	
U15	11.25	579.00	42.00	100.00
U14	0.65			
U13	6.99			
U12	2.59	832.00	20.00	100.00
U11	0.80			
U10	0.21			
U9	0.75			
U8	12.98	583.00	42.00	
U7	0.59			
U6	11.42	669.00	30.00	
U5	1.80			
U4	15.89	574.00	42.00	95.00
U3	1.23	558.00	78.00	
U2	10.12	820.00	11.00	100.00
U1	6.03	848.00	16.00	

Çizelge 4.25 Organik fasiyelerin genelleştirilmiş mikroskobik karakteristiklerinin özeti (Jones ve Demaison 1982, Jones 1984, 1987)

ORGANİK FASIYES	%R ₀ = 0,5 deki H/C ORANI	PİROLİZ VERİLERİ			EGEMEN ORGANİK MADDE	KEROJEN TİPİ	SEDİMAN-TER YAPI
		HI, mg HC/ g kaya	OI, mg CO ₂ / g kaya	TOC %			
A	≥ 1.45	> 850	10 - 30	5(3) - 20+	Algal; amorf	Tip I	Laminalı
AB	1.35 – 1.45	650 - 850	20 - 50	3-10+	Amorf; çok az karasal	Tip I / Tip II	
B	1.15 – 1.35	400 - 650	30 - 80		Amorf, yaygın karasal	Tip II / Tip I	İyi tabakalı - laminalı
BC	0.95 – 1.15	250 - 400	40 - 80	3(1) - 3+	Karışık; bazen okside	Tip II / Tip III	Zayıf tabakalı
C	0.75 – 0.95	125 - 250	50 - 150	≤ 3	Karasal; bazen okside	Tip III / Tip II	Çok zayıf tabakalı - biyotürbas yonlu
CD	0.60 – 0.75	50 - 125	40 - 150+	< 0.5	Okside; taşınmış	Tip III / Tip IV	Masif ; biyotürbas yonlu
D	≤ 0.60	< 50	20 - 200+		Yüksek okside; taşınmış	Tip IV	

Çizelge 4.26 Organik fasiyeler ve ortamsal faktörler arasındaki ilişki (Jones ve Demaison 1982, Jones 1984, 1987)

ORGANİK FASIYES	PROKSİMAL-DİSTAL EĞİLİM	OKSİJEN REJİMİ	SEDİMENT BİRİKİM ORANI	ÜRÜN
A	Distal	Öksinik / Anoksik	Düşük	Petrol
AB		Anoksik - Disoksik	Değişken	Petrol + Gaz
B				
BC	Proksimal	Oksik	Yüksek	Gaz + Petrol
C			Orta	Gaz
CD		Düşük		Biraz Gaz
D			Çok Oksik	Çok Nadir Gaz ya da Hiç Yok

AB organik fasiyesi, A ve B organik fasiyelerini arasında geçiş oluşturur, hakim organik maddesi amorf ve çok az miktarda karasal organik madde içeriğine sahiptir (Jones 1987). Bu fasiyede çoğunlukla Tip I kerojen, daha az oranda Tip II kerojenin bulunduğu ve dolayısıyla çoğunlukla petrol, az oranda da gaz oluşumunun gerçekleşebileceği söylenebilir.

AB organik fasiyesi denizel şeyl, karbonatlar ve gölssel kayalarda görülür. Anoksik-disoksik şartlarda çökelimin gerçekleştiği AB organik fasiyesinde çökelim yeri, A organik fasiyesine göre daha büyüktür. Vitrit ve inertit gibi kaba partiküllerin çökme ortamları kıyı kenarları olurken, spor-polen gibi ince partiküllerin çökelim ortamları daha suludur (Ebukanson ve Kinghorn 1985).

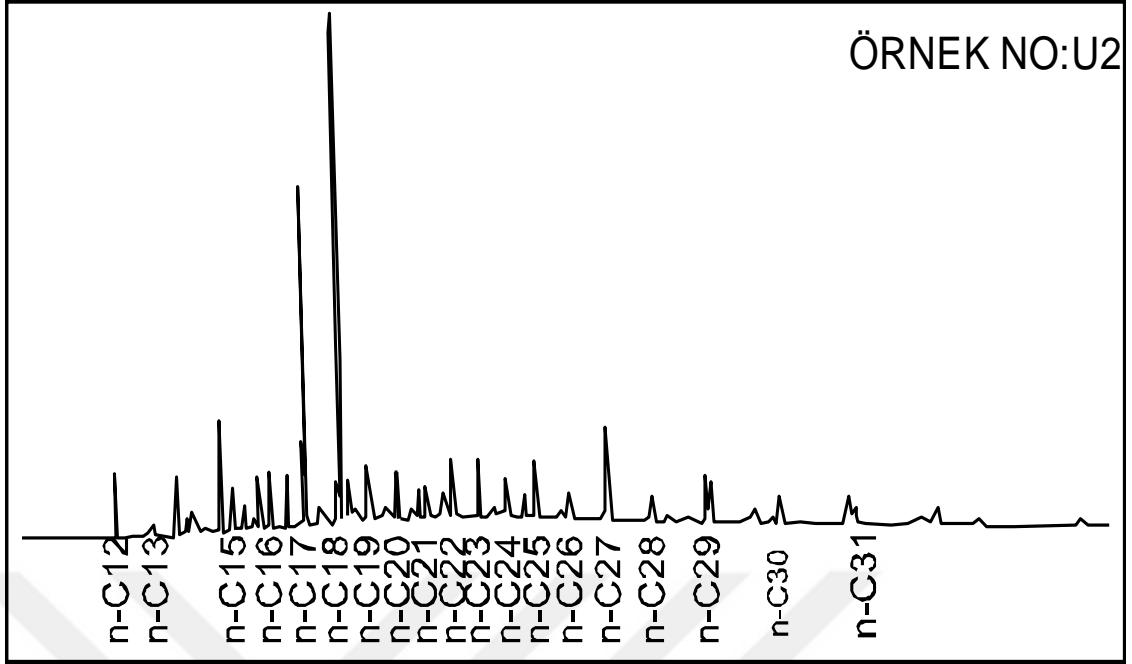
4.1.6 Gaz kromatografi analizleri

Gaz kromatogramlarından organik maddenin tipi, çökme ortamı, litolojisi ve ısısal olgunlaşması hakkında bilgi edinilebilir. Gaz kromatogramlarında hakim pikler n-alkanlardır. Pristan (Pr) n-C₁₇ ile, fitan (Ph)'da n-C₁₈ ile çift pikler olarak görülür. Pristan ve fitanın her ikisi de fitolden türer. İndirgeyici anoksik ortamlarda fitolden indirgenme ile fitan türerken, oksitleyici ortamlarda ise klorofilden türeyen fitolden pristan oluşur.

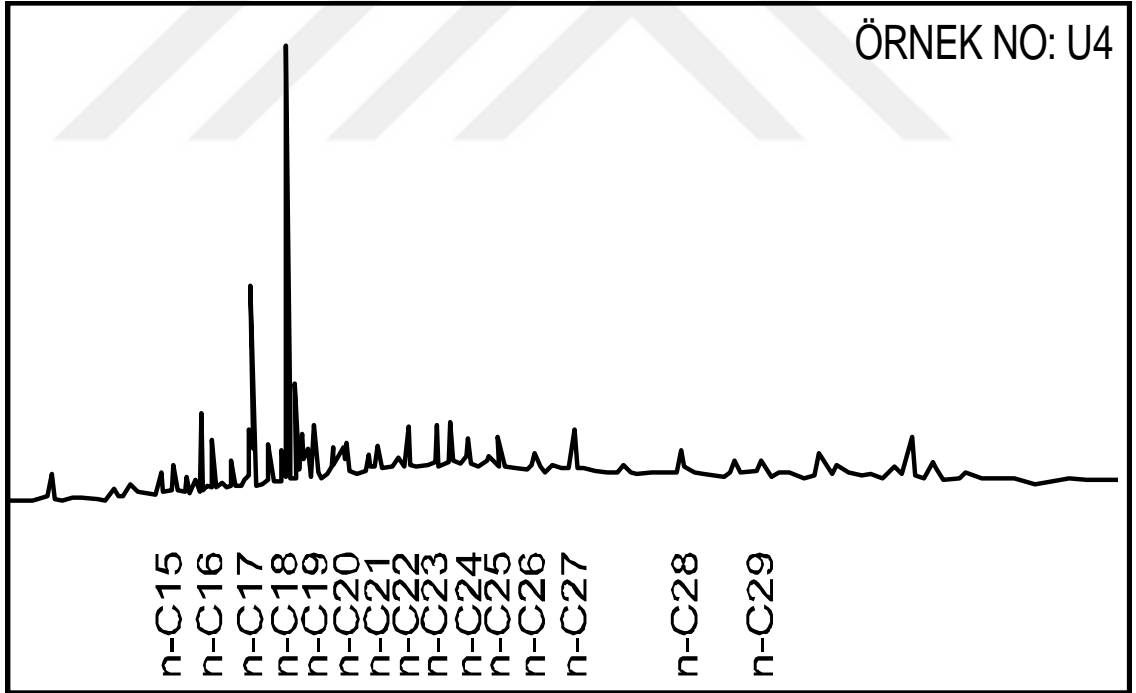
Pristan/fitan oranı 1'den küçükse organik maddenin depolanma ortamının anoksik-denizel, 1'den büyükse oksik-karasal olduğu anlaşılır (Tissot ve Welte 1984, Didyk vd. 1978).

Gaz kromatogramlarında 17. karbon zinciri alglerden, 29. karbon zinciri ise karasal bitkilerden oluşmaktadır. C₂₇, C₂₉ ve C₃₁ hidrokarbonlar karasal yüksek bitkilerden oluşurlarken, C₁₅, C₁₇ ve C₁₉ hidrokarbonlar ise planktonlar tarafından oluşturulurlar.

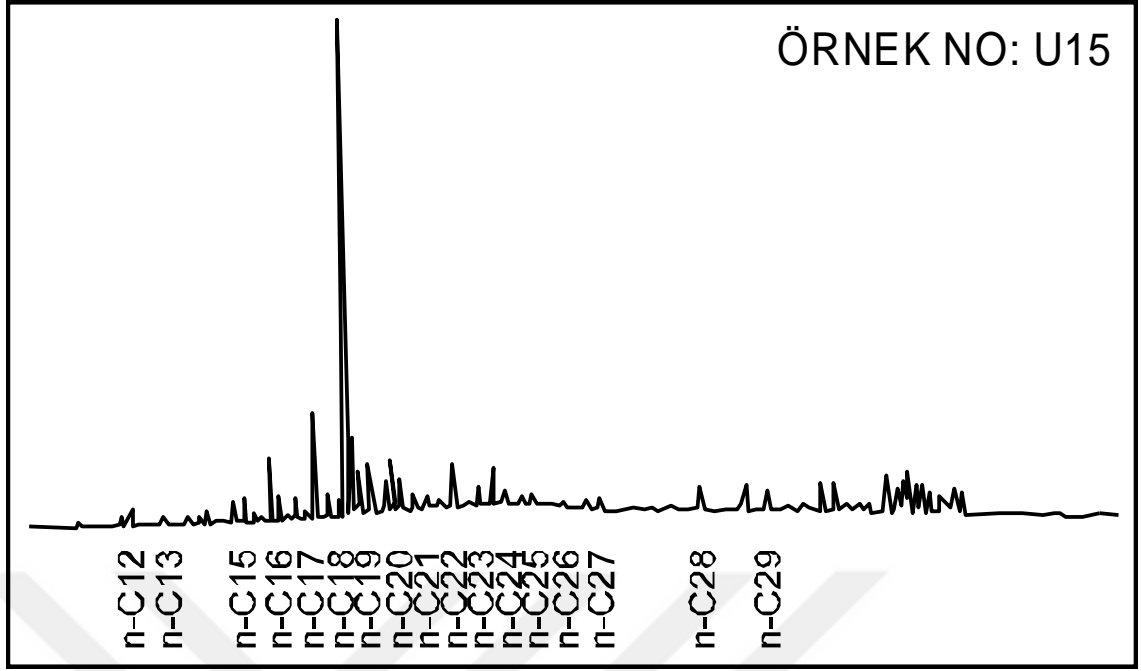
Tokmaklar formasyonunun bitümlü şeyl örneklerine ait gaz kromatografi analiz sonuçları şekil 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18'de verilmektedir.



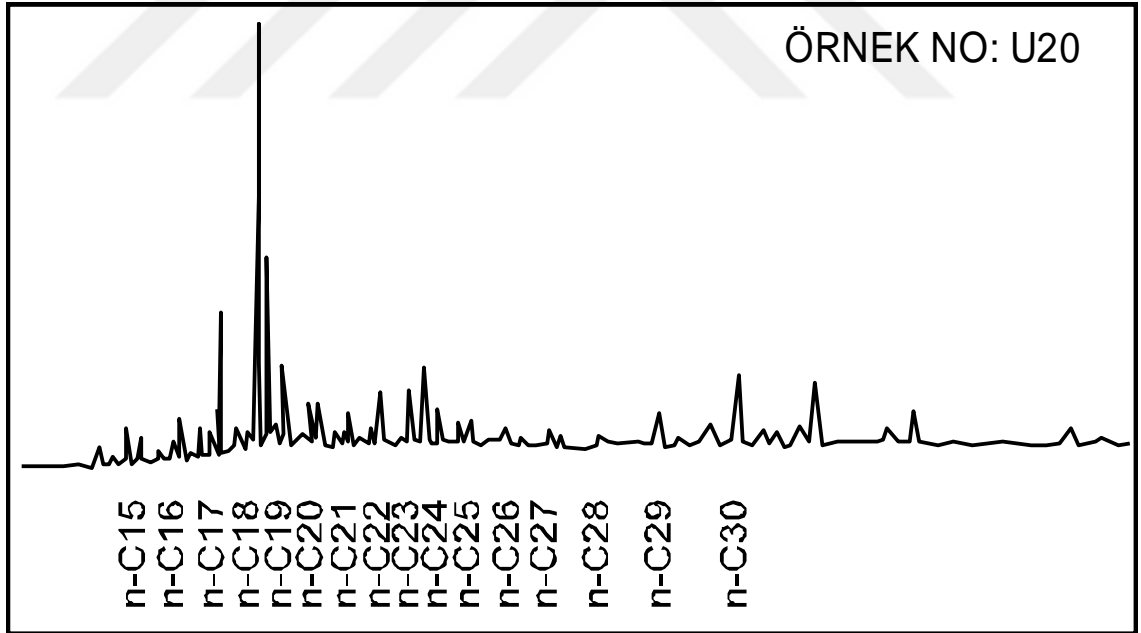
Şekil 4.15 U2 numunesine ait gaz kromatografi analiz sonuçları



Şekil 4.16 U4 numunesine ait gaz kromatografi analiz sonuçları



Şekil 4.17 U15 numunesine ait gaz kromatografi analiz sonuçları



Şekil 4.18 U20 numunesine ait gaz kromatografi analiz sonuçları

Tokmaklar Formasyonuna ait incelenen örneklerin Pr/Ph oranları (0.22 – 0.94) 1'den küçüktür. Bu verilere göre incelenen örneklerin çökelme ortamlarının anoksik olduğu görülmektedir (Tissot ve Welte 1984, Didyk vd. 1978).

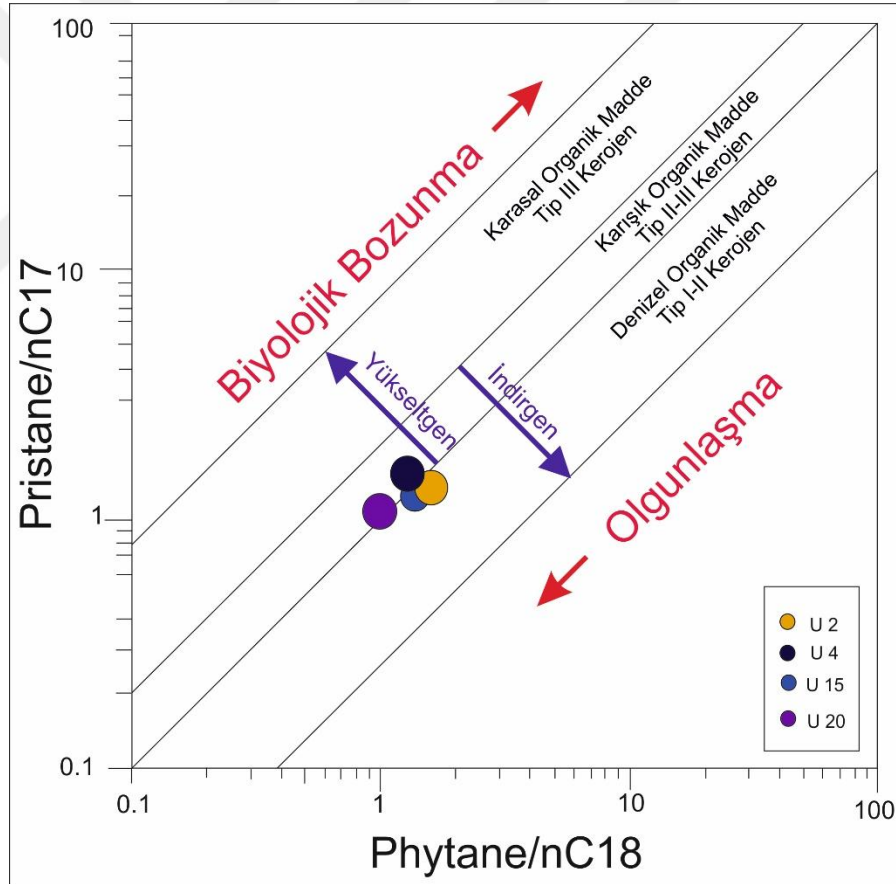
Karbon tercih indeksi (CPI= Carbon Preference Index) (Bray ve Evans 1961) n-C₂₄ ve n-C₃₄ tayfindan tek ya da çift sayılı karbon egemenliğini gösterir. CPI değeri 1'den büyükse tek sayılı, CPI değeri 1'den küçük ise çift sayılı karbon egemenliğini işaret eder. Bu değer 1 veya 1'e yakın olması denizel ve gölsel kökenli organik maddeyi temsil ederken, 4-10 arasındaki değerler ise karasal kökenli organik maddeyi temsil eder. (Pearson ve Eglinton 2000, Wang vd. 2003). Üretilen ham petrolde tek ve çift sayılı n-parafinler genellikle eşit veya yaklaşık eşit bolluğa sahiptir. Bitümlerde ise değer olarak tek karbon sayılı n-alkan egemenliği görülmektedir. Karasal yüksek bitkilerde tek-karbon sayılı n-alkanlar, çift-karbon sayılı n-alkanlardan yaklaşık 5 kat daha fazladır. Bray ve Evans (1961)'e göre CPI değerlerine ait organik madde tipi sınıflaması çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.27 Karbon tercih indeksi değerlerine ait sınıflamalar (Bray ve Evans 1961)

Kıtasal Bitkiler	Karbon Tercih İndeksi	Denizel- Gölsel Organizmalar	Karbon Tercih İndeksi
Karasal Bitkiler	4-7	Süngerler	1.2
Kıyı Açığı Sedimentler	2.5-5.5	Mercanlar	1.1
		Plankton	1.1
		Derin deniz sedimentleri	1.0

Tokmaklar Formasyonu bitümlü şeyl örneklerine ait gaz kromatograflarından elde edilen CPI değerleri 0.99 – 1.36 arasında değişmektedir. CPI değerlerinin 1.0'den yüksek ve 1.0'e çok yakın değerlerde olması örneklerin henüz olgunlaşmamış olduklarının göstergesidir (Hunt 1995). CPI değerlerinin tüm örneklerde, 1.0 ve 1.0'e çok yakın olması denizel kökenli organik maddenin işaretçisidir (Bray ve Evans 1961, Koons vd. 1965, Pearson ve Eglinton 2000, Wang vd. 2003).

Petrollerin sınıflandırılmasında kullanılan diğer bir parametre ise yine gaz kromatografi analizlerinden elde edilen Pr/n-C₁₇ ve Ph/n-C₁₈ oranlarıdır. Bu oranların grafik üzerinde değerlendirilmesi sonucunda kaynak kayaların litolojisi ve çökelme ortamları hakkında bilgiler elde edilir (Petersen vd. 2001). Tokmaklar Formasyonuna ait 4 adet örneğin gaz kromatogramından elde edilen Pr/n-C₁₇ ve Ph/n-C₁₈ değerleri (1.00 – 1.28) arasında değişmektedir. Bu değerler Şekil 4.19 ile verilen Pr/n-C₁₇ Ph/n-C₁₈ diyagramında yorumlandıklarında incelenen örneklerin çoğunlukla indirgen ortamda depolandığı, denizel organik madde ve karışık organik madde arasındaki geçiş zonunda olduğu ve olgunlaşmamış seviyede oldukları görülmektedir. Örneklerin diyagram üzerinde birbirine çok yakın konumlanması aralarında kökensel bağın olduğunu yani aynı kaynak kayadan türediklerini gösterir.



Şekil 4.19 Tokmaklar formasyonuna ait Pr/n-C₁₇-Ph-n-C₁₈ diyagramı (Petersen vd. 2001)

4.1.7 İnce tabaka kromatografi analizleri

Eosen yaşlı Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyl örneklerinden alınan 4 adet numunenin ince tabaka kromatografi analizi yapılmış ve doymuş hidrokarbonlar, aromatik hidrokarbonlar ile resin+asfalten yüzdeleri belirlenmiştir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28 Tokmaklar formasyonuna ait ince tabaka kromatografi analiz sonuçları

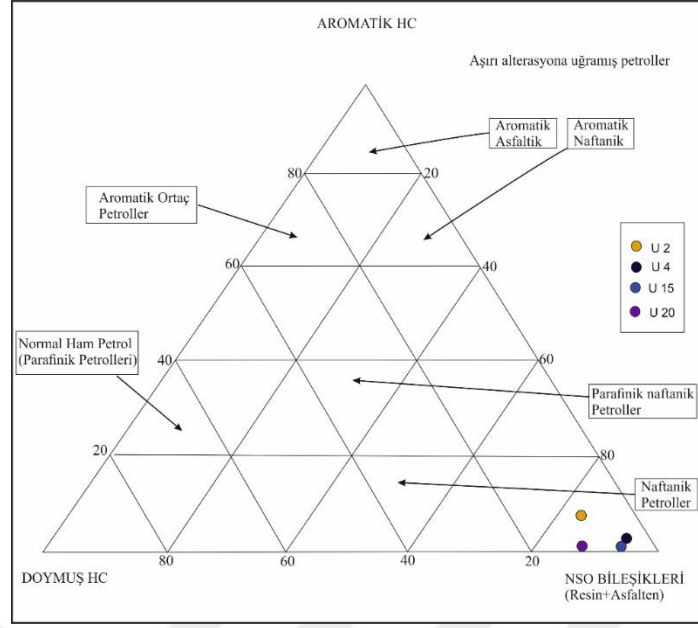
Örnek No	Doymuş HC %	Aromatikler %	NSO % (Resin+Asfalten)
U20	12.53	0.33	87.14
U15	4.79	0.18	95.03
U4	7.36	0.48	92.17
U2	9.51	6.94	83.55

Bu amaçla incelenen örneklerin toplam özüt miktarları da ölçülmüştür (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29 Toplam özüt miktarları

Örnek No	Toplam Özüt (ppm)
U20	700.00
U15	9733.00
U4	3438.00
U2	2450.00

İnce tabaka kromatografi analizi sonucunda elde edilen değerler üçgen diyagram üzerinde yorumlandıklarında doymuş hidrokarbonlar ve aromatik hidrokarbonlarca fakir, NSO bileşenlerince zengin köşe içerisinde yer aldıkları görülür (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 Petrol ve bitümlerin yüzde kimyasal bileşenlerine ait üçgen diyagram (Tissot ve Welte 1984)

Bu 4 adet örneğin resin-asfalten bileşenlerince zengin olan köşede yer almaları organik olgunlaşmanın zayıf olduğunu ve litolojisinin de karbonat olduğunu gösterir. Organik olgunlaşmalarının artmasıyla aktivasyon enerjileri yükselir ve bu da karbonlara daha zayıf bağlarla bağlanan azot-kükürt-oksijen bileşiklerinin azalmasına ve doymuş-aromatik hidrokarbonların artmasına neden olur. Karbonat kaya litolojilerinden oluşan bitümlerin azot-kükürt-oksijen oranları, şeylli litolojilerden oluşan kayalara oranla daha fazladır (Tissot ve Welte 1984).

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bolu havzasında yer alan Gökçesu civarındaki Eosen birimlerinin organik jeokimyasal özelliklerini kullanarak hazırlanan bu tez çalışması, bitümlü kayaçların hidrokarbon potansiyelini belirlemeye yöneliktir. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Eosen yaşlı Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyllerinin organik madde miktarı % 0.21 ile % 15.89 arasında değişmekte olup ortalama değer % 5.38'dir. Bu ortalama değere göre birim yeterli derecede petrol üretebilecek bir organik madde potansiyeline sahiptir.

Eosen yaşlı Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyl örneklerinin S₁ hidrokarbon değerleri 0.18-4.71 mg HC/g kaya arasında değişmektedir ve 2.04 mg HC/g kaya ortalama değere sahiptir. Ortalama değer dikkate alındığında S₁ değeri açısından açısından çok iyidir.

Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü kayaçların S₂ hidrokarbon pik değeri 6.87-91.22 mg HC/g kaya arasındadır ve ortalama değeri 50.44'tür. Buna göre, Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü kayaçların S₂ değeri açısından çok iyidir.

Tokmaklar formasyonun organik madde tipi hem organik jeokimyasal hem de organik petrografik yöntemlerle belirlenmiştir. Organik jeokimyasal analizler sonucunda birimin organik madde tipinin Tip I ve Tip II kerojenlerden oluştuğu, organik petrografik yöntemlerle ise birimin bir örnek dışında % 100 amorf/algal organik maddelerden oluştuğu, U4 nolu örneğin ise % 95 amorf, % 5 ise otsu organik maddeden oluştuğu görülmektedir. Tokmaklar Formasyonuna ait incelenen örneklerin organik madde tipleri birimin petrol türetebilecek bir potansiyelde olduğuna işaret ederler. Sarı vd. (2007), aynı bölgede yapmış oldukları ve bu çalışmanın sonuçlarıyla uyumlu olan çalışmalarında kerojen tiplerini çoğunlukla Tip I ve Tip II olarak belirlemişler ve buna göre kaynak kaya potansiyelinin çok iyi olduğunu söylemişlerdir.

Olgunlaşma değerlerine göre (T_{max}, Üretim İndeksi ve Spor Renk İndeksi), Tokmaklar Formasyonu bitümlü şeylleri henüz olgunlaşmamış-erken olgun aşamasındadır.

Şengüler vd. (2008) bölgede yapmış oldukları çalışmada bitümlü şeyl örneklerinin T_{max} değerlerine göre olgunlaşmamış olduklarını ve kerojen tiplerinin ise ağırlıklı olarak Tip I kerojen ve Tip II kerojen arasında olduğunu belirlemişlerdir. Buna göre bitümlü şeyllerin petrol üretme kapasitesinin olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan her iki çalışmanın sonuçları birbirine uyumludur.

Tokmaklar Formasyonuna ait incelenen örneklerin Pr/Ph oranları 1'den küçüktür (0.22 – 0.94). Bu veriler incelenen örneklerin çökelme ortamlarının anoksik olduğuna işaret eder. Koralay ve Sarı (2013) aynı bölgede yapmış oldukları iz element çalışmasında Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllerindeki yüksek metal zenginleşmelerinin anoksik redoks koşullarının biriktirme alanında çok etkili olduğuna işaret ederler. Bu sonuçlarda ortamın anoksik koşullarını destekler.

Toplam organik karbon miktarı, organik madde türü, hidrojen indeks (HI) ve oksijen indeks (OI) değerlerine göre Tokmaklar formasyonunun organik fasiyeslerinin AB sınıflamasında olduğu belirlenmiştir. AB organik fasiyesi denizel şeyl, karbonatlar ve gölsel kayalarda görülür, hakim organik maddesi amorfudur. Bu fasiyeste çoğunlukla Tip I kerojen, daha az oranda Tip II kerojenin bulunduğu ve dolayısıyla olgunlaşmanın olduğu yerlerde çoğunlukla petrol, az oranda da gaz oluşumunun gerçekleşebileceği söylenebilir. Koralay (2009) ise aynı bölgede yapmış olduğu doktora çalışmasında organik fasiyes tiplerini HI değerlerine göre AB-B olarak tespit etmiştir. B organik fasiyesinde daha fazla görülen karasal organik madde miktarı, bizim çalışmamızda AB fasiyesine uygun olarak çok daha az oranlarda tespit edilmiştir.

Tokmaklar Formasyonu bitümlü şeyl örneklerine ait gaz kromatograflarından elde edilen CPI değerleri 0.99 – 1.36 arasında değişmektedir. CPI değerlerinin 1.0'den yüksek ve 1.0'e çok yakın değerlerde olması örneklerin henüz olgunlaşmamış olduklarının göstergesidir. CPI değerlerinin tüm örneklerde, 1.0 ve 1.0'e çok yakın olması denizel kökenli organik maddenin işaretçisidir.

Pr/n-C₁₇ ve Ph/n-C₁₈ yorumlamalarında incelenen örneklerin çoğunlukla indirgen ortamda depolandığı, denizel organik madde ve karışık organik madde arasındaki geçiş zonunda olduğu ve olgunlaşmamış seviyede oldukları görülmektedir.

Örneklerin S₁/TOC diyagramı üzerinde birbirine çok yakın konumlanması aralarında kökensel bağın olduğunu yani aynı kaynak kayadan türediklerini gösterir. Koralay (2009)'da Gökçesu yöresinde yapmış olduğu çalışmasında örneklerin ürettikleri hidrokarbonların yerli olduğu, herhangi bir organik kirlenme göstermediklerini belirlemiştir.

İnce tabaka kromatografi analiz sonuçlarına göre ise resin + asfaltin miktarının çok yüksek çıkması (% 83.55 – 95.03) organik olgunlaşmanın henüz yeterli olmadığını göstermesinin yanı sıra kaynak kaya litolojisinin de karbonat olduğuna işaret etmektedir.

Tüm bu sonuçlar eşliğinde Bolu ili Mengen ilçesi Gökçesu kasabası civarında ki bitümlü şeyllerin günümüz koşullarında olmasa da ilerleyen süreçte ve teknolojik gelişmeler eşliğinde oldukça önemli bir ekonomik değere sahip olacağı düşünülmektedir. Halihazırda kullanılan ve gelecekte kullanılabilecek yeni yöntemlerle, çalışma sahasında ki olgunlaşmamış petrol kaynak kayalarının olgunlaşma koşullarının sağlanarak sentetik petrol elde edilmesi mümkün olabilecek ve bu da ülkemize ekonomik anlamda önemli bir girdi olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akarsu, İ. 1974. Göynük-Gölpazarı-Bolu-Nallıhan Beypazarı yöresi ile geniş çevresinin bitümlü şeyl ve petrol olanakları hakkında rapor. TPAO Rapor No: 898, 196, Ankara.
- Altun, N.E., Hiçyılmaz, C., Hwang, J.Y., Bağcı, S.A. and Gök, M.V. 2006. Oil shales in the world and Turkey reserves, current situation and future prospects: A review. *Oil Shale*, 23(3) , 211-227.
- Altunsoy, M. ve Özçelik, O. 1991. Organik fasiyesler. *Jeoloji Mühendisliği*, 43,34-39.
- Arvo, O. 2007. Estonian oil shale properties and utilization in power plants, *Energetika*, 53 (2) 8-18.
- Aydın, M., Serdar, S., Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokuğraş, R., Demir, O. ve Özçelik, Y. 1987. Çamdağ (Sakarya)-Sünnicedağ (Bolu) yöresinin jeolojisi. *TJK Bülteni*, 30 (1), 1-14, Ankara.
- Barkurt, M.Y., Bilginer, E., Pehlivan, S., Örcen, S., Can, B., Dağ, Z., Bilgi, Ç., Karabıyıkoglu, M. ve Süer, T. 1990. Kastamonu - Araç ve güneyinin jeolojisi; MTA Rap. Derleme No: 9079 (Yayınlanmamış), Ankara.
- Beseme, P. 1967. Kabalar senklinalinin (Göynük-Bolu) genel ve uygulamalı jeolojik etüdü. MTA Rap. No: 87,165, Ankara.
- Beseme P. 1969, Kabalar bitümlü senklinali. MTA Rapor No: 4629, 123, Ankara.
- Blumenthal, M. 1937. Bolu vilayeti dahilindeki Gökdağ mıntkası bitümlü şist sahasının jeolojisi hakkında rapor. MTA Rapor No: 269, 154, Ankara.
- Blumenthal, M. 1948. Bolu civarı ile Aşağı Kızılırmak mecrası arasındaki Kuzey Anadolu silsilelerinin jeolojisi. MTA Enstitüsü Yayınları, Seri B, No:13, 265, Ankara.
- Bordenave, M. L. 1993. Applied petroleum geochemistry. Editions Techniq, 524, Paris.
- Bray, E.E. and Evans, E.D. 1961. Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. *Geochimimica et Cosmochimica Acta* 22, 2–15.
- Canik, B. 1980. Bolu sıcak su kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi. Doçentlik Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Ana bilim Dalı, 73, Konya.
- Cerit, O. 1983. Mengen (Bolu NE) yöresinin jeolojik incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 160, Ankara.
- Cerit, O. 1990. Bolu Masifinin jeolojik ve tektonik incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, 202, Ankara.

- Clementz, D. M., Demaison, G. J. and Daly, A. R. 1979. Well site geochemistry by programmed pyrolysis; Proc. 11th Annual Offshore Technology Conf. 1, 465-470, Houston.
- Didyk, B. M., Simoneit, B. R. T., Brassel, S. C. and Eglinton, G. 1978. Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation; Nature, 272, 216-222.
- Durand, B. 1980. Kerogen: Insoluble organic matter from sedimentary rocks. Editions Techniq, 519, Paris.
- EASAC Report. 2007 (May). A Study on the EU Oil Shale Industry-Viewed in the Light Oil the Estonian Experience, A Report by EASAC to the Committee on Industry, Research and Energy of the EU Parliament.
- Ebukanson, E. J. and Kinghorn, R.R.F. 1985. W. Petr. Geol. Vol: 8; pp. 435-462.
- Ediger, V. Ş. ve Soylu, C. 1993. Petrol jeologları için organik jeokimya. Eğitim Yayınları No: 23, 169, Ankara.
- Erendil, M., Aksay, A., Kuşçu, İ., Oral, A., Tunay, G. ve Temren, A. 1991. Bolu Masifi ve çevresinin jeolojisi. MTA Rap. No: 7998, 253, Ankara.
- Espitalie, J., Madec, M., Tissot, J., Menning, J. and Leplat, P. 1977. Source rock characterization method for petroleum exploration; Proc. 9th Annual Offshore Technology Conf. 3, 39-448.
- Espitalie, J., Madec, M. and Tissot, B. 1980. Role of mineral matrix in kerogen pyrolysis: influence on petroleum generation and migration. AAPG Bulletin, 64 (1), 59-66.
- Espitalie, J. 1982. Institute Francais du Petrole. Syntheses Geologiques et Geochimie. 7020 dated April 8.
- Gedik, A. ve Korkmaz, S. 1984. Sinop havzasının jeolojisi ve petrol olanakları. Jeoloji Müh. Derg. 18, 53-79.
- Genç, Ş. 1986. Uludağ - İznik Gölü arasının jeolojisi: MTA Rap. Derleme No: 7853, 202, Ankara.
- Ghori, K.A.R. 2000. High-quality oil-prone source rocks within carbonates of the Silurian Dirk Hartog Group, Gascoyne Platform, Western Australia, Geological Survey of Western Australia, pp. 58-62.
- Göncüoğlu, M.C., Erendil, M., Tekeli, O., Ürgün, B., Aksay, A. and Kuşçu, İ. 1987. Geology of the Armutlu Peninsula: İGCP Proje. No:5, Guide Book, 12-18, MTA Publication.
- Görmüş, S. 1982. Yığılca (Bolu KB) yöresinin stratigrafisi. Yerbilimleri, No: 9, 91-110.

- Hunt, J. M. 1995. *Petroleum Geochemistry and Geology*, 743, New York.
- Jackson, K. S., Hawkins, P. J., and Bennett, A. J. R. 1985. Regional facies and geochemical evaluation of southern Denison Trough; *APEA. J.* 20, 143-158.
- Jarvie, D. M. 1991. Total organic carbon (TOC) analysis in source migration processes and evaluation techniques. Merrill, R. K. (ed), *AAPG, Treatise of petroleum geology handbook of petroleum geology*, 113-118, New York.
- Jarvie, D.M. and Tobey, M.H. 1999. TOC, Rock-Eval and SR analyzer interpretive guidelines, Application Note 99-4. Humble Instruments and Services, Inc. Geochemical services Division, 11.
- Jones, R. W. and Demaison, G. J. 1982. Proceedings of the second ASCOPE conference and exhibition, Manila, Saldivar-Sali, A. (ed), 51-68.
- 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.* 18.
- Jones, R. W. 1987. *Advances in petroleum geochemistry*, Academic Press; 2, 1-90, London.
- Kaya, O. 1973. The Devonian and Lower Carboniferous stratigraphy of the Istinye, Bostancı and Büyükada subareas: Kaya, O. (ed), *Paleozoic of Istanbul*, Ege Üniv. Fen Fak. Kitaplar Ser. 40, 1-36, İzmir.
- Kaya, O. ve Dizer, A. 1983. Mengen (Bolu) Eosen kömür havzasının stratigrafisi: *MTA Derg.* 123 – 139, Ankara.
- Kaya, O., Dizer, A., Tansel, İ. ve Özer, S. 1986. Yığılca (Bolu) alanı Üst Kretase ve Paleojenin stratigrafisi: *MTA Derg.*, 107, 13-31, Ankara.
- Ketin, İ. ve Gümüş, A. 1963. Sinop - Ayancık ve Güneyinde III. Bölgeye dahil sahaların jeolojisi hakkında rapor: I - II. TPAO Arama Grubu Rap. No: 213-288, Ankara.
- Ketin, İ. 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri: *MTA Dergisi*, 66, 20 – 34, Ankara.
- Koons, C. B., Jamieson, G. W. and Ciereszko, L.S. 1965. Normal alkane distributions in marine organisms; possible significance to petroleum origin. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists.* Vol: 49, 301-316, New York.
- Koralay, D.B. 2009. Bolu havzası Eosen bitümlü şeylllerinin hidrokarbon potansiyeli ve iz element dağılımlarının belirlenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 198, Ankara.
- Koralay, D.B. and Sarı, A. 2013. Redox conditions and metal-organic carbon relations of Eocene bituminous shales (Veliler/Mengen-Bolu/Turkey), *Energy Sources, Part A*, 35:1597–1607.

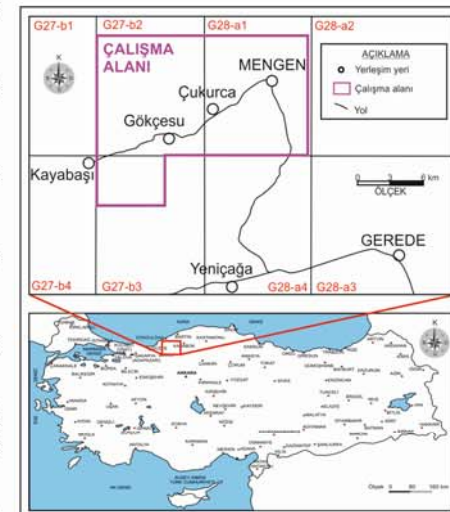
- Laherrere, J. 2005. Review of oil shale data, www.hubbertypeak.com/laherrere/OilShaleReview.
- Langford, F.F. and Blanc -Valleron, M.M. 1990. Interpreting Rock-Eval Pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon. AAPG Bulletin, 74(6), 799-804.
- Mukhopadhyay, P.K., Wade, J.A. and Kruger, M.A. 1995. Organic facies and maturation of Jurassic/Cretaceous rocks, and possible oil-source rock correlation based on pyrolysis of asphaltenes, Scotian basin, Canada, Organic Geochemistry, Vol.22(1); p. 85-104.
- Pearson, A. and Eglinton, T. 2000. The origin of n-alkanes in Santa Monica Basin surface sediment: a model based on compound specific D14C and D13C data. Organic Geochemistry, Vol. 31, 1103–1116.
- Peters, K. E. 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis; AAPG Bulletin, 70, 318-329.
- Peters, K. E. and Cassa, M. R. 1994. Applied Source Rock Geochemistry; In: Magoon, L. B. and Dow, W.G. (Eds.), The petroleum system-from source to trap, AAPG Memoir 60. Tulsa: Am. Ass. Pet. Geol., 93-120.
- Petersen, H.I., Andersen, C., Anh, P.H., Bojesen-Koefoed, J.A., Nielsen, L.H., Nytoft, H.P., Rosenberg, P. and Thanh, L. 2001. Petroleum potential of Oligocene lacustrine mudstones and coals at Dong Ho, Vietnam—an outcrop analogue to terrestrial source rocks in the greater Song Hong Basin. Journal of Asian Earth Sciences Vol.19, 135–154.
- Probstein, V. and Hicks, C. 1982. Synthetic Fuels. Mc Graw Hill Chemical Engineering Series, 322-373.
- Saner, S. 1980. Mudurnu-Göynük havzasının Jura ve sonrası çökelim nitelikleriyle paleocoğrafik yorumlaması. TJK Bülteni, 23/1, 39-52.
- Sarı, A. 1999. Himmetoğlu formasyonu (Göynük-Bolu) bitümlü şeylllerinin organik jeokimyasal incelenmesi. 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, 143-149, İzmir.
- Sarı, A. ve Sonel, N. 1995. Kayabaşı (Göynük-Bolu) yöresinin bitümlü şeyl incelemeleri. Türkiye Jeoloji Bülteni. Cilt: 2, 39-49.
- Sarı, A. ve Sonel, N. 2000. Gölsel bitümlü kayaçların organik jeokimyasal özellikleri ve ekonomik kullanım olanakları. Yerbilimleri/Geosound Dergisi, 37, 55-72.
- Sarı, A. and Aliyev, S.A. 2005. Source rock evaluation of the lacustrine oil shale bearing deposits: Göynük/Bolu, Turkey; Energy Sources, 27, 279-298, Ankara.
- Sarı, A., Aliyev, S. A. and Koralay, D. B. 2007. Source rock evaluation of the Eocene shales in the Gökçesu area (Bolu/Turkey). Energy Sources, 29, 1025-1039.

- Sarı, A. and Geze, Y. 2008. Organic geochemical evaluations of bituminous rock and coals in Miocene Himmetoğlu Basin (Bolu, Turkey). *Petroleum Science and Technology*. 26 (6), 649-664.
- Sonel, N., Sarı, A. ve Tozlu, E. 1987b. Himmetoğlu-Göynük-Bolu yöresinin jeolojisi ve linyit oluşukları. *S. Ü. Müh-Mim Fak. Derg.*, No:2, 51-67.
- Stchepinsky, V. 1941. Beypazarı-Nallıhan-Bolu bölgesinin jeolojisi ve mineral zenginlikleri. MTA Rapor No: 1332, 164, Ankara.
- Şeker, H. ve Keskin, Y. 1991. Nallıhan, Mudurnu, Seben, Beypazarı arasında kalan bölgenin jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Araştırma Merkezi Rapor: 2907, 112, Ankara.
- Şener, M. ve Şengüler, İ. 1992. Hatıldığ (Bolu-Göynük) bitümlü şeyl sahasının jeolojisi ve teknolojik kullanımı. MTA Rapor No:9445, 165, Ankara.
- Şener, M. and Şengüler, İ. 1998. Geological, mineralogical and geochemical characteristics of oil shale bearing deposits in the Hatıldığ oil shale field, Göynük, Turkey. *Fuel*, Vol. 77, No: 8, 871-880.
- Şengüler, İ., Taka, M. ve Işık, A. 1988. Mengen (Bolu) bitümlü şeyl sahasının jeolojisi ve ekonomik olanakları. MTA Rapor No: 8460, 201, Ankara.
- Şengüler, İ. 2007. Asfaltit ve bitümlü şeylin Türkiye'deki potansiyeli ve enerji değeri, TMMOB Türkiye VI. Enerji Sempozyumu-Küresel Enerji Politikaları, Ankara.
- Şengüler, İ., Ayyıldız, T., Onal, Y. and Onal, M. 2008. Organic geochemical characterization and mineralogic properties of Mengen oil shale (Lutetian), Bolu-Turkey. *Oil Shale*. Vol. 25, No: 3, 359-375.
- Taka, M. ve Şener, M. 1988. Himmetoğlu (Göynük-Bolu) sahasının bitümlü şeyl olanakları ve sondajları. MTA Rapor No:2508, 131, Ankara.
- Tekin, E. ve Sarı, A. 2000. Kabalar formasyonu (Göynük-Bolu) bitümlü şeyllerindeki hidrokarbon damlalarının morfolojileri. *Yerbilimleri Geosound*, 36, 107-119.
- Tissot, B. and Espitalie, J. 1975. L'evolution thermique de la matiere organique des sediments; Applications d'une simulation mathematique. *Revue de l'Institut Français du Petrole*, 5, 743-777.
- Tissot, B. and Welte, D.H. 1978. *Petroleum formation and occurrence*. Springer Verlag, 538, New York.
- Tissot, B. and Welte, D.H. 1984. *Petroleum formation and occurrence*, 2nd ed., Springer-Verlag, 699, New York.
- Tokay, M. 1973. Kuzey Anadolu fay zonunun Gerede ile Ilgaz arasındaki kısmında jeolojik gözlemler: Kuzey Anadolu fayı ve deprem kuşadı sempozyumu, Tebliğler, MTA Yayını, 12-29, Ankara.

- USA Department of Energy. 2004 (March). Strategic Significance of America's Oil Shale Resource, Vol.II, Section 2.1.
- Uysallı, H. 1961. Geological study of the lignite field of Salıpazarı-Mengen region (Bolu-Northwest Turkey). Symposium on Coal, CENTO, 149-150.
- Wang, X-C., Chen. R.F. and Berry, A. 2003. Sources and preservation of organic matter in Plum Island salt marsh sediments (MA, USA): long-chain n-alkanes and stable carbon isotope compositions. Estuar Coast Shelf. Vol.58, 917-928.
- Wehner, H. 1989. Organic-Geochemical studies in the Visayan basin; Philippines. Geol. Jb. 70, 317-348.
- Yanılmaz, E., Taka, M., Şengüler, İ. ve Sümer, A. 1980. Göynük (Bolu) bitümlü şist sahası hakkında rapor. MTA Rapor No: 6993, 125, Ankara.
- Yen T. F. and Chilingarian, G. V. 1976. Oil shale. Elsevier Scientific Publishing Company, 291, New York.
- Yılmaz, Y. 1977. Bilecik - Söğüt dolayındaki eski temel kayaların petrojenetik evrimi: Doçentlik Tezi, İstanbul Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, 236, İstanbul.
- Yılmaz, O. 1980. Daday - Devrekani masifi, kuzeydoğu kesimi litostratigrafi birimleri ve tektoniği: Yerbilimleri, 5-6, 101 – 135.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Gözübol, A.M. ve Yiğitbaş, E. 1981. Abant (Bolu) - Dokurcun (Sakarya) arasındaki Kuzey Anadolu fay zonunun kuzey ve güneyinde kalan birliklerin jeolojik evrimi. İst. Yerbilimleri, 2, 239 - 261.
- Yılmaz, Y. 1984. Türkiye'nin jeolojik tarihinde magmatik etkinlik ve tektonik evrimle ilişkisi: TJK Ketin Sempozyumu, 63-81.
- Yılmaz, O. ve Boztuğ, D. 1986. Kastamonu Granitoid Belt of Northern Turkey: First arc plutonism product related to the subduction of the paleo Tethys: Geology, 14,179-183.

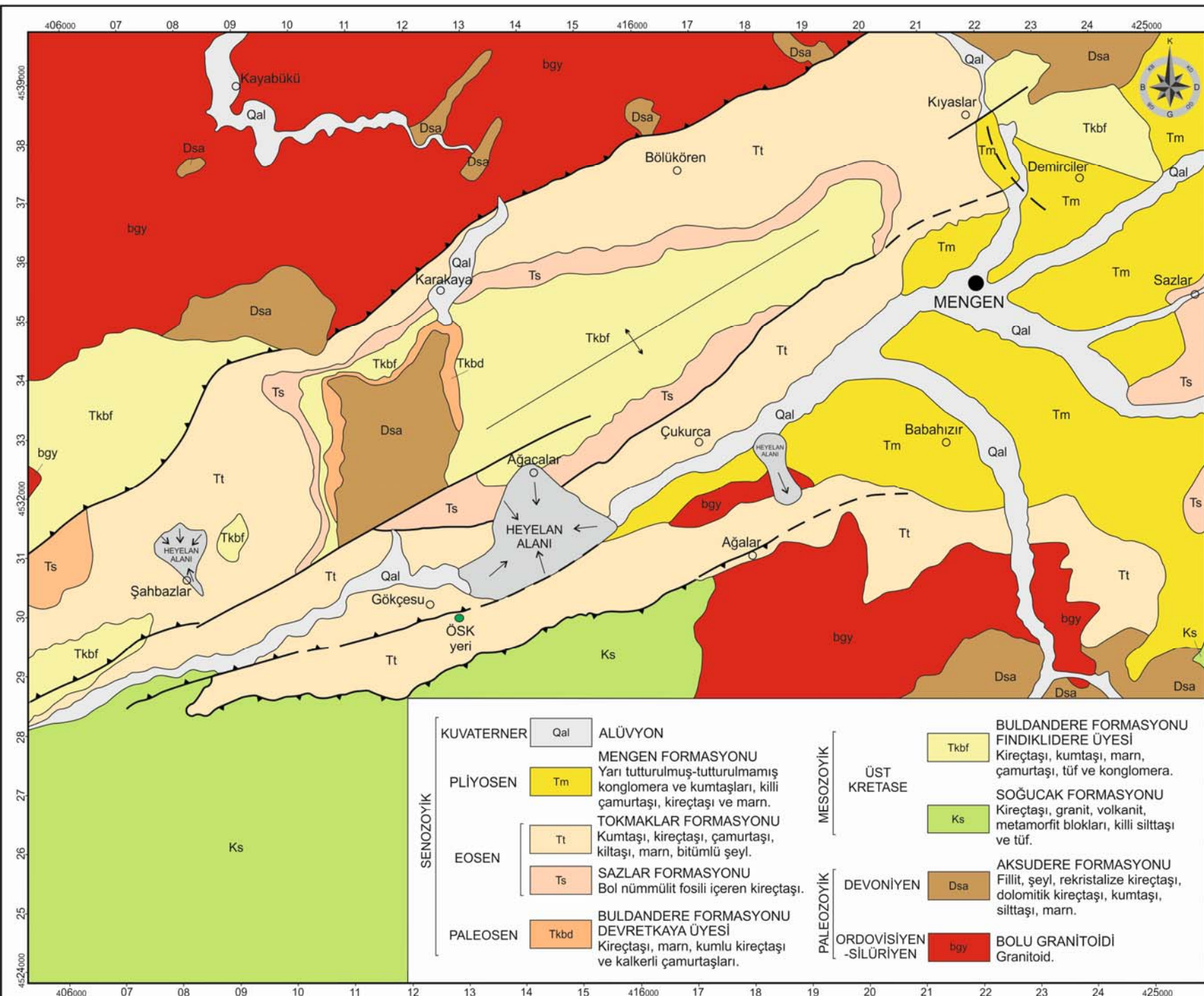
GÖKÇESU-MENGEN (BOLU) VE YAKIN ÇİVARINA AİT JEOLOJİ HARİTASI (1/25.000 ÖLÇEKLİ BOLU G27-b2 VE G28-a1 PAFTALARI)

(Erendil vd. (1991)'den değiştirilerek alınmıştır)



AÇIKLAMALAR

- Formasyon sınırı
- Muhtemel fay
- Bindirme fay
- Antiklinal eksen
- İlçe merkezi
- Mahalle-köy
- Heyelan alanı



SENZOYİK	PALEOZOYİK
<p>KUVATERNER Qal ALÜVYON</p> <p>PLİYOSEN Tm MİNGEN FORMASYONU Yarı tutturulmuş-tutturulmamış konglomera ve kumtaşları, killi çamurtaşı, kireçtaşı ve marn.</p> <p>EOSEN Tt TOKMAKLAR FORMASYONU Kumtaşı, kireçtaşı, çamurtaşı, kilitaşı, marn, bitümlü şeyl.</p> <p>Ts SAZLAR FORMASYONU Bol nümmülit fosili içeren kireçtaşı.</p> <p>PALEOSEN Tkbd BULDANDERE FORMASYONU DEVRETKAYA ÜYESİ Kireçtaşı, marn, kumlu kireçtaşı ve kalkerli çamurtaşları.</p>	<p>MESOZOYİK</p> <p>ÜST KRETASE Tkb BULDANDERE FORMASYONU FINDIKLIDERE ÜYESİ Kireçtaşı, kumtaşı, marn, çamurtaşı, tuf ve konglomera.</p> <p>Ks SOĞUCAK FORMASYONU Kireçtaşı, granit, volkanit, metamorfik blokları, killi silttaşı ve tuf.</p> <p>DEVONİYEN Dsa AKSUDERE FORMASYONU Fillit, şeyl, rekristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, marn.</p> <p>ORDOVİSİYEN -SİLÜRİYEN bgy BOLU GRANİTOİDİ Granitoid.</p>

0 1 2 km
ÖLÇEK

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Uğur ÖREN
Doğum Yeri : Ankara
Doğum Tarihi : 08.05.1974
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Aydınlıkevler Lisesi (1991)
Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği
Bölümü (2000)
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği
Anabilim Dalı (Şubat 2000-2019)

Çalıştığı Kurumlar

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü : 2000-halen