

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEKİRLER CİVARI (NALLIHAN/ANKARA) ŞEYLLERİNİN HİDROKARBON  
POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ**

**Zeynep DÖNER**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2012**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Zeynep DÖNER tarafından hazırlanan “**Tekirler Cıvarı (Nallıhan/Ankara) Şeyllerinin Hidrokarbon Potansiyellerinin İncelenmesi**” adlı tez çalışması 26.06.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof.Dr. Ali SARI

Jüri Üyeleri :

Başkan: Prof. Dr. İsmail Hakkı DEMİREL  
Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Üye : Prof. Dr. Şükrü KOÇ  
Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof.Dr. Özer KOLSARICI**  
**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TEKİRLER CİVARI (NALLIHAN/ANKARA) ŞEYLLERİNİN HİDROKARBON POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ

Zeynep DÖNER

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalı

Danışman: Prof.Dr. Ali SARI

Tekirler (Nallıhan/Ankara) civarı şeyl türü kayaçları disoksik ve anoksik özellikli depolanma koşullarında çökelmiş olup, organik madde içeriği ortalama % wt 6,32'dir. Petrol türeten kayaçların ortalama % wt 0.5'ten yüksek olan TOC değerleri ekonomik olarak kabul edildiğinde % wt 6,32'lik TOC değerinin mükemmel kaynak kaya potansiyeline işaret ettiği görülmektedir. Ayrıca incelenen örneklerin Piroliz analizleri ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $T_{max}$ , PI, HI ve OI), Gaz Kromatografi (GC) analizleri, İnce Tabaka Kromatografi (% Doymuş Hidrokarbon, % Aromatik Hidrokarbon, % Polar) analizleri, İzotop analizleri ve Organik Petrografi analizleri (Altta Aydınlatmalı Mikroskopta) yapılmış olup, incelenen örneklerin organik madde tipleri, organik maddenin olgunlukları ve hidrokarbon türüm potansiyelleri belirlenmiştir. Çalışılan örneklerin genel olarak kerojen tiplerinin Tip I olduğu ve petrol üretme potansiyeline sahip oldukları belirlenmiştir. Olgunluk verileri olan  $T_{max}$ , PI (Üretim İndeksi) ve SCI (Spor Renk İndeksi) parametreleri neticesinde Tekirler şeyl örneklerinin olgunlaşmamış ve erken olgun seviyelerde oldukları tespit edilmiştir. İncelenen örneklere ait belirlenen  $S_1$  türü hidrokarbonlara göre ise bölgede herhangi bir organik kirliliğin olmadığı tespit edilmiştir.

**Haziran 2012, 135 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Organik Jeokimya, Bitümlü Şeyl, HI, Kerojen, Organik Karbon

## ABSTRACT

Master Thesis

### INVESTIGATION OF HYDROCARBON POTENTIAL OF THE SHALES AROUND TEKİRLER (NALLIHAN/ANKARA) AREA

Zeynep DÖNER

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

Supervisor: Prof.Dr. Ali SARI

Shales type rocks of Tekirler (Nallıhan/Ankara) around are accumulated in disoxic and anoxic deposition conditions, and have an average organic matter contents of 6,32 wt %. When more than 0,5 wt % TOC values of oil generating rocks are considered, TOC values with an average of 6,32 wt % show an excellent source rock potential. Moreover Pyrolysis analysis ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $T_{max}$ , PI, HI ve OI), Gas Chromatography (GC) analysis, Thin Layer Chromatography (% Saturated Hydrocarbon, % Aromatic Hydrocarbon, % Polar) analysis, Isotope analysis and Organic Petrography analysis (in Backlit Mikroscope) were done, and organic matter types, maturities of organic matter and hydrocarbon potentials of studied samples were determined. Studied samples are generally type I kerogen and have oil production potential. According to  $T_{max}$ , PI (Production Index) ve SCI (Spor Color Index) parameters (maturity values) Tekirler shale samples were determined that they have immature and early mature degree. Determined  $S_1$  type hydrocarbon shows that no organic contamination is present in the area.

**June 2012, 135 Pages**

**Key Words:** Organic Geochemistry, Bituminous Shale, HI, Kerogen, Organic Carbon

## TEŞEKKÜR

2009-2012 yılları arasında Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Yatakları-Jeokimya Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırladığım bu çalışmayı yöneten ve araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeye katkıda bulunan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali SARI'ya en derin teşekkürlerimi sunmayı bir vefa borcu bilirim.

Tez çalışmam sırasında bilimsel anlamda gelişmemde önemli katkılarda bulunan, yetişme ve gelişmemde katkı sağlayarak beni yönlendiren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Şükrü KOÇ'a (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı), beni olumlu düşünceleri ile yönlendiren, yol gösteren, yetişme ve gelişmemde her türlü katkı ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı Demirel'e (Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı), bu çalışmayı maddi olarak destekleyen Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne, çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma, bu çalışmanın her aşamasında yanımda olan, çalışma boyunca birçok fedakarlık gösteren, karşılaştığım zorlukları ve sıkıntıları benimle paylaşan, başta beni yetiştirip bugünlere getiren annem Aynur DÖNER, babam Hüsnü DÖNER ve ağabeyim Umut DÖNER, yengem Seval DÖNER olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Zeynep DÖNER  
Ankara, Haziran 2012

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Çalışmanın Amacı .....	1
1.2 Önceki Çalışmalar .....	2
1.3 Uygulanan Yöntemler .....	11
1.3.1 Büro çalışmaları .....	11
1.3.2 Arazi çalışmaları .....	12
1.3.3 Laboratuvar çalışmaları .....	12
1.3.3.1 Kayaçta yapılan incelemeler .....	12
1.3.3.1.1 Piroliz analizleri .....	12
1.3.3.1.2 Organik petrografik analizler-SCI analizi; kerojen tip tayini ve % bolluk dağılımı .....	14
1.3.3.2 Petrol ve bitümde yapılan incelemeler .....	15
1.3.3.2.1 Gaz kromatografi analizi (GC) .....	15
1.3.3.2.2 İnce tabaka kromatografi analizi (Iatroscan) .....	16
1.3.3.3 Duraylı karbon izotop analizi ( $\delta^{13}C$ ) .....	17
1.3.3.4 Organik fasiyes incelemeleri .....	25
1.4 İnceleme Alanının Konumu .....	27
2. BÖLGESEL JEOLJİ .....	29
2.1 Stratigrafi .....	32
2.1.1 Metamorfitler (Pm) .....	32
2.1.2 Granitler (Pg) .....	32
2.1.3 Soğukçam kireçtaşları (JKs) .....	33
2.1.4 Kızılçay grubu .....	33
2.1.4.1 Beyköy formasyonu (Tb) .....	34
2.1.4.2 Çamalan formasyonu (Tç) .....	34
2.1.4.3 Laçın formasyonu (Tl) .....	35
2.1.5 Sarıcakaya volkanitleri (Tsv) .....	36
2.1.6 Pliyosen çökelleri (Pl) .....	36
2.1.7 Kuvaterner çökelleri (Qal) .....	36
2.2 Tekirler Bölgesi (Nallıhan/Ankara) Ölçülü Stratigrafik Kesiti .....	36
3. ORGANİK JEOKİMYASAL İNCELEMELER .....	39
3.1 Organik Maddece Zengin Sedimanlar .....	39
3.1.1 Bitümlü şeyller .....	40
3.1.1.1 Bitümlü şeyl tanımı ve sınıflaması .....	40
3.1.1.2 Bitümlü şeyllerdeki organik ve inorganik bileşenin kökeni .....	41
3.1.1.3 Bitümlü şeyllerin depolanma ortamları .....	42
3.1.1.4 Bitümlü şeyllerin kullanım alanları .....	43
3.2 Organik Jeokimyasal Analizlerin Uygulanması ve Yorumu .....	43
3.2.1 Bitümlü şeyl örneklerine ait piroliz analizleri .....	44

3.2.1.1 Toplam organik karbon miktarı (TOC) .....	46
3.2.1.2 Organik madde tipi .....	49
3.2.1.3 Organik maddenin ısısal olgunluğu .....	59
3.2.1.4 Hidrokarbon üretme potansiyeli .....	71
3.2.1.5 Organik fasiyes incelemeleri .....	88
3.2.2 Gaz kromatografi incelemeleri .....	92
3.2.2.1 İnce tabaka kromatografi analizleri (Iatroscan) .....	107
3.2.3 Duraylı izotop analizi ( $\delta^{13}\text{C}$ ) .....	109
4. SONUÇLAR .....	113
KAYNAKLAR .....	120
EKLER .....	129
EK 1 Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası .....	130
EK 2 Bölgenin yapısal haritası .....	131
EK 3 Çalışma alanında belirli yerlerden elde edilen enine kesitler .....	132
EK 4 Tekirler ölçülü stratigrafik kesiti .....	133
ÖZGEÇMİŞ .....	134

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	American Society for Testing and Materials
Ba	Baryum
C	Karbon
°C	Santigrad derece
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksit
CO	Karbon monooksit
Corg	Organik karbon
CPI	Karbon tercih indeksi
Cr	Krom
CS <sub>2</sub>	Karbon disülfür
Cu	Bakır
EOM	Ekstrakt edilebilen organik madde
Fe	Demir
g	Gram
GC	Gaz kromatografi
H	Hidrojen
H/C	Hidrojen/Karbon
HC	Hidrokarbon
HI	Hidrojen İndeks
KB	Kuzeybatı
Kcal	Kilokalori
Kg	Kilogram
km	Kilometre
km <sup>2</sup>	Kilometrekare
m	Metre
mg	Miligram
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Azot
Ni	Nikel
O	Oksijen
O/C	Oksijen/karbon
OI	Oksijen indeksi
ÖSK	Ölçülü stratigrafik kesit
P	Fosfor
PC	Piroliz edilebilen karbon
Ph	Fitan (Phytane)
PI	Üretim indeksi (Production Index)
ppm	Parts per million
Pr	Pristan (Pristane)
PY	Potansiyel verim (Potential Yield)
Ro	Vitrinit yansıması



RC	Razidüel karbon
S	Kükürt
S <sub>1</sub> /TOC	Bitümen indeks
S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	Hidrokarbon indeksi
Sc	Skandiyum
SCI	Spor renk indeksi
Th	Toryum
T <sub>max</sub>	Maksimum sıcaklık
TOC	Toplam organik karbon
TOT/S	Toplam kükürt
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TR	Transformasyon oranı
U	Uranyum
V	Vanadyum
Zn	Çinko
δ	İzotop
‰	Binde
µm	Mikrometre

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Kıtasa kenar ortamında farklı bölgelerdeki duraylı karbon izotopu verileri..	19
Şekil 1.2 Çeşitli materyallerdeki $\delta^{13}\text{C}$ (‰) aralıkları.....	22
Şekil 1.3 Anorganik bileşiklerin, organik bileşiklerin ve denizel ve karasal organizmaların karbon izotop kompozisyonlarının karşılaştırmaları.....	23
Şekil 1.4 Karbonat, organizmalar, kerojen ve petrol ürünlerinin izotopik karbon .....	24
Şekil 1.5 Organik fasiyesler ve çökelme ortamları arasındaki ilişkinin şematığı .....	25
Şekil 1.6 Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.....	28
Şekil 2.1 Bölgenin stratigrafik kolon kesiti.....	31
Şekil 3.1 Karbon çevrimi .....	39
Şekil 3.2 Organik madde korunumu .....	40
Şekil 3.3 Bölgeye ait örneklerin derinlikle ilişkilendirilmiş TOC içeriğindeki değişimlerine bağlı kaynak kaya gelişimi .....	48
Şekil 3.4 Koloni halindeki algler, Botryococcus braunii, İskoçya Permiyen’i mikroskopik görüntüsü .....	49
Şekil 3.5 Süngerimsi organik madde, Avustralya Kretase’si mikroskopik görüntüsü ...	50
Şekil 3.6 Odunsu kalıntı, Kuzey Tersiyer’i mikroskopik görüntüsü .....	50
Şekil 3.7 Tip IV Kerojen mikroskopik görüntüsü.....	51
Şekil 3.8 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI-OI diyagramındaki konuları.....	55
Şekil 3.9 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI-T <sub>max</sub> diyagramındaki konuları.....	55
Şekil 3.10 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI sınır değerleriyle ilişkilendirilmiş S <sub>2</sub> - TOC grafiğindeki konuları .....	56
Şekil 3.11 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin maseral grup bileşimi ve hidrokarbon türüm potansiyeli üçgen diyagramına göre konuları .....	58
Şekil 3.12 İncelenen örneklerin derinlik (m) ile ilişkilendirilmiş T <sub>max</sub> (°C) değerlerine göre olgunlukları .....	63
Şekil 3.13 İncelenen örneklerin derinlikle (m) ilişkilendirilmiş PI diyagramı .....	66
Şekil 3.14 İncelenen örneklerin derinlikle (m) ilişkilendirilmiş S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> grafiği .....	68
Şekil 3.15 İncelenen örneklerin PI-T <sub>max</sub> (°C) diyagramındaki konuları .....	69
Şekil 3.16 İncelenen örneklerin TOC ve EOM değerlerine göre petrol potansiyelleri... 74	
Şekil 3.17 İncelenen örneklere ait kalınlıkla ilişkilendirilmiş S <sub>1</sub> /TOC diyagramı.....	75
Şekil 3.18 İncelenen örneklerin S <sub>2</sub> ve TOC değerlerine dayanan kaynak kaya potansiyelleri .....	77
Şekil 3.19 İncelenen örneklerin S <sub>2</sub> ve TOC değerlerine dayanan kaynak kaya potansiyelleri .....	77
Şekil 3.20 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI (mg HC/g kaya) -TOC (wt %) diyagramına göre konuları.....	80
Şekil 3.21 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HC (ppm) -TOC (wt %) diyagramına göre konuları .....	80
Şekil 3.22 İncelenen örneklerin PY-TOC diyagramındaki konuları .....	83
Şekil 3.23 Bölgeye ait bitümlü şeyl örneklerinin S <sub>1</sub> (mg HC/ g kaya) - TOC (wt %) diyagramındaki konuları.....	84
Şekil 3.24 İncelenen örneklerin RC (%) - TOC (%) diyagramındaki konuları .....	86

Şekil 3.25 İncelenen örneklerin PC (%) – TOC (%) diyagramındaki konumları .....	88
Şekil 3.26 Pürüzlü organik madde, Kolombiya Kretase'si mikroskobik görüntüsü.....	92
Şekil 3.27 Psilophytale sporu, Emphanisporites, Libya Alt Devoniyen'i mikroskobik görüntüsü .....	92
Şekil 3.28 TK 8 nolu örneğe ait gaz kromatogramı .....	93
Şekil 3.29 TK 19 nolu örneğe ait gaz kromatogramı .....	94
Şekil 3.30 TK 29 nolu örneğe ait gaz kromatogramı .....	94
Şekil 3.31 TK 38 nolu örneğe ait gaz kromatogramı .....	95
Şekil 3.32 TK 52 nolu örneğe ait gaz kromatogramı .....	95
Şekil 3.33 İncelenen bitümlü şeyl örneklerinin paleoredoks işaretçilerine göre değerlendirmesini gösteren grafikler .....	99
Şekil 3.34 % wt Pirit S ve % wt Corg arasındaki genel ilişki.....	101
Şekil 3.35 İncelenen örneklerin S (%) – Pr / Ph diyagramındaki konumları.....	102
Şekil 3.36 İncelenen örneklerin Pr/Ph – CPI diyagramındaki konumları.....	105
Şekil 3.37 İncelenen örneklerin petrolerin olgunlaşma düzeyi ile ilişkilendirilmiş Pr/Ph– CPI diyagramındaki konumları.....	105
Şekil 3.38 İncelenen örneklerinin Pr/n-C17-Ph/n-C18 diyagramındaki konumları .....	107
Şekil 3.39 Bölgeye ait örneklerin temel bileşen üçgen diyagramı.....	108
Şekil 3.40 Çeşitli materyallerdeki $\delta^{13}C$ (‰) aralıkları .....	110
Şekil 3.41 Karbonat, organizmalar, kerojen ve petrol ürünlerinin izotopik karbon .....	111
Şekil 3.42 Anorganik bileşiklerin, organik bileşiklerin ve denizel ve karasal organizmaların karbon izotop kompozisyonlarının karşılaştırmaları.....	112

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Nallıhan ve çevresinde yapılmış bilimsel çalışmalar.....	2
Çizelge 1.2 Çeşitli rezervuarlardaki $\delta^{13}\text{C}$ değerleri .....	20
Çizelge 1.3 Organik madde, sediman ve kerojenler için tipik $\delta^{13}\text{C}$ aralıkları .....	21
Çizelge 1.4 Çeşitli organik bileşiklerdeki tipik $\delta^{13}\text{C}$ aralıkları .....	21
Çizelge 1.5 Organik fasiyeslerin genelleştirilmiş mikroskobik ve jeokimyasal karakteristiklerinin özeti.....	26
Çizelge 1.6 Organik fasiyesler ve ortamsal faktörler arasındaki ilişki .....	27
Çizelge 3.1 Bitümlü şeyl bileşenleri .....	42
Çizelge 3.2 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin rock-eval piroliz analizi sonuçları .....	45
Çizelge 3.3 Çeşitli araştırmacılara göre TOC sınır değerleri ve kaynak kaya, petrol potansiyeli sınıflaması.....	46
Çizelge 3.4 Tekirler bölgesi bitümlü şeylerine ait toplam organik madde miktarları ve kaynak kaya, petrol potansiyelleri.....	47
Çizelge 3.5 Kerojen tiplerinin kaynağı ve karakteristikleri .....	51
Çizelge 3.6 Kerojen tipleri ve karakteristikleri .....	52
Çizelge 3.7 HI sınır değerlerine ilişkin kerojen ve HC tipleri .....	53
Çizelge 3.8 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI-OI diyagramındaki konumları .....	54
Çizelge 3.9 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI-Tmax diyagramındaki konumları .....	56
Çizelge 3.10 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI sınır değerleriyle ilişkilendirilmiş S2- TOC grafiğindeki konumları.....	57
Çizelge 3.11 Tekirler bölgesine ait 5 adet örnek üzerinde gerçekleştirilen organik petrografi analiz sonucu.....	58
Çizelge 3.12 Çeşitli araştırmacılara göre olgunlaşma dereceleri.....	61
Çizelge 3.13 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin Tmax (°C) değerleri ve buna ilişkin olgunlaşma dereceleri .....	62
Çizelge 3.14 Üretim İndeksi (PI) sınır değerlerine göre olgunlaşma düzeyi.....	64
Çizelge 3.15 İncelenen örneklerinin PI değerlerine göre olgunlaşma düzeyleri .....	65
Çizelge 3.16 S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> parametresine göre organik maddenin olgunlaşma seviyesi ve hidrokarbon potansiyeli .....	66
Çizelge 3.17 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> değerleri ve buna ilişkin HC potansiyelleri .....	67
Çizelge 3.18 SCI değerlerine karşılık gelen palinomorf renkleri ve buna bağlı olarak hidrokarbon olgunluğu.....	70
Çizelge 3.19 Tekirler bölgesine ait 5 adet bitümlü şeyl örneğinin olgunlaşma seviyesiyle ilişkilendirilmiş SCI değerleri.....	70
Çizelge 3.20 Kaynak kayaların petrol potansiyelini belirlemede kullanılan TOC ( wt %) miktarları ve S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> hidrokarbon değerleri .....	72
Çizelge 3.21 İncelenen örneklerin S <sub>1</sub> (mg HC/g kaya) değerlerine göre petrol potansiyelleri (Peters ve Cassa 1994) .....	73
Çizelge 3.22 İncelenen örneklerin S <sub>2</sub> (mg HC/g kaya) değerlerine göre petrol potansiyelleri.....	76

Çizelge 3.23 S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> parametresine göre organik maddenin hidrokarbon potansiyeli.....	78
Çizelge 3.24 Bölgeye ait örneklerin S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub> parametresine göre hidrokarbon ve kerojen tipleri .....	79
Çizelge 3.25 Jenetik potansiyel ile kaynak kaya potansiyeli arasındaki ilişki.....	81
Çizelge 3.26 İncelenen örneklerin Jenetik Potansiyel değerleri ve buna ilişkin kaynak kaya potansiyelleri.....	82
Çizelge 3.27 Tekirler bölgesine ait incelenen örneklerin % RC değerleri .....	85
Çizelge 3.28 Bölgeye ait örneklerin % PC değerleri .....	87
Çizelge 3.29 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin organik petrografik ve piroliz verileri .....	89
Çizelge 3.30 Organik fasiyeslerin genelleştirilmiş mikroskobik ve jeokimyasal karakteristiklerinin özeti .....	90
Çizelge 3.31 Organik fasiyesler ve ortamsal faktörler arasındaki ilişki .....	91
Çizelge 3.32 Tekirler bölgesine ait örneklerin Pr/Ph değerleri ve buna ilişkin redoks koşulları .....	97
Çizelge 3.33 Paleoredoks ortam işaretçileri.....	98
Çizelge 3.34 Tekirler bölgesi bitümlü şeyl örneklerinin ortalama değerleri ve buna göre depolanma ortamının redoks koşulları.....	98
Çizelge 3.35 Bölgeye ait örneklerin toplam kükürt (TOT/S) değerleri .....	100
Çizelge 3.36 İncelenen örneklerin Pr/Ph ve % S değerleri .....	102
Çizelge 3.37 Karasal bitkiler ve denizel organizmalarda CPI'nın değerlendirmesi .....	104
Çizelge 3.38 İncelenen örnekler için hesaplanan CPI değerleri .....	104
Çizelge 3.39 İncelenen örnekler için hesaplanan gaz kromatografi parametreleri .....	106
Çizelge 3.40 Tekirler bölgesine ait ince tabaka gaz kromatografi analiz sonuçları.....	108
Çizelge 3.41 Tekirler bölgesine ait 2 adet örneğinin δ <sup>13</sup> C değerleri .....	109

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Foto 1.1 Rock-Eval VI cihazı .....	13
Foto 1.2 Agilent 6850 gaz kromatografi cihazı .....	15
Foto 1.3 Iatroscan-MK5 ince tabaka kromatografi cihazı .....	16
Foto 1.4 Eurovector Elemental Analyser - GV Instruments Micromass Isoprime IRMS cihazı .....	17
Foto 1.5 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl tabakasının görüntüsü .....	37
Foto 1.6 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl tabakasının görüntüsü .....	37
Foto 1.7 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl tabakasının görüntüsü .....	38

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Çalışmanın Amacı

Bu tez kapsamında, Nallıhan havzası Tekirler bölgesi Eosen bitümlü şeyllerin organik jeokimyasal özellikleri incelenerek bölgenin hidrokarbon potansiyeli belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın amaçlarından biri, çalışma alanında yüzlek veren ve organik maddece zengin olan Eosen bitümlü şeyllerin içermiş olduğu organik madde miktarını, türünü, olgunlaşmalarını, kaynak kaya litolojilerini ve çökelim ortamlarını tespit ederek hidrokarbon türüm potansiyellerinin belirlenmesidir. İkincisi ise, bu çalışmanın ekonomik hedefleridir. Bitümlü şeyller petrol ve gaz üretimi açısından alternatif bir hammadde kaynağıdır. Günümüzde, doğal kaynak olarak bilinen petrol rezervlerinin süratli bir şekilde tüketilmesine bağlı olarak petrol fiyatlarının gittikçe yükselmesi, insanlığı Dünya'nın enerji ihtiyacını karşılayacak yeni doğal kaynakları bulmaya yönlendirmektedir. Bu bakımdan bitümlü şeyller teknolojik açılımlara sebep olabilecek nitelik taşımaktadır. Bitümlü şeyl rezervleri pek çok ülkede (Estonya, Brezilya, Çin, İsrail, Almanya, Rusya) petrole alternatif olabilecek çok önemli bir doğal kaynak olarak kullanılmaktadır. Dünyada bu tür kayaçları retortlamak (ısıtmak) suretiyle (insitu veya exsitu yöntemleriyle) petrol üretilmektedir. Ayrıca Avustralya, Fransa, Estonya, İskoçya ve daha pek çok ülkede petrolden elde edilen pek çok yan ürün (yapay lif, gübre, kozmetik ürünleri, filmler, plakalar, besin maddeleri, vb 80.000 ürün) bitümlü şeyllerden üretilmektedir. Dünya rezervlerinin ortalama petrol üretim potansiyeli 1 ton bitümlü şeyl başına 38 litredir. Başta ülkemiz olmak üzere pek çok ülkede bitümlü şeyllerin ekonomik önemleri henüz yeterince bilinmemektedir. Türkiye'de son derece önemli bir yeraltı zenginliği olan bitümlü şeyllerin, ileri teknolojilerin gelişmesine ortam hazırlamasının yanında ekonomik olarak da ülkemize büyük katkılar sağlayacağı açıktır. Bu nedenle hidrokarbon potansiyeli yönünden oldukça önemli olan bitümlü şeyllerin ekonomiye kazandırılmaları bu tez çalışmasını son derece önemli hale getirmektedir.

## 1.2 Önceki Çalışmalar

Bu bölgede çoğunlukla genel jeoloji amaçlı araştırmalar yapılmıştır. Nallıhan civarı ve çevresinde yapılmış olan jeolojik çalışmalar, araştırmacı, çalışma yılı, konuları ve literatüre katkılarına göre çizelge 1.1’de değerlendirilmiştir.

Çizelge 1.1 Nallıhan ve çevresinde yapılmış bilimsel çalışmalar

ARAŞTIRMACI	TARİH	ÇALIŞMA KONUSU	ÇALIŞTIĞI ALAN	LİTERATÜRE KATKISI
<i>ZIEGLER</i>	1939	Bitümlü şistler ve kömür oluşumu	Eskişehir-Ankara-Bolu-Çankırı	Genel jeolojisi
<i>STCHEPİNSKY</i>	1941	Beypazarı-Nallıhan-Bolu-Gerede bölge jeolojisi	Beypazarı-Nallıhan-Bolu-Gerede (Ankara-Bolu)	Genel jeoloji
<i>ABDÜSSELAMOĞLU</i>	1956	Gönük-Mudurnu-Beydili bölge jeolojisi	Göynük-Mudurnu-Beydili (Bolu-Ankara)	Genel jeolojisi
<i>GÖKTUNALI</i>	1963	Beypazarı linyitlerinin jeolojisi	Beypazarı (Ankara)	Genel jeoloji
<i>KALAFATÇIOĞLU ve UYSALLI</i>	1964	Beypazarı-Nallıhan-Seben civarının jeolojisi	Beypazarı-Nallıhan-Seben (Ankara-Bolu)	Genel jeoloji
<i>BESEME</i>	1967	Kabalar senklinealinin bitümlü şeylleri	Göynük (Bolu)	Genel Jeoloji, ekonomik jeoloji
<i>ALTINLI</i>	1973	Orta Sakarya’nın jeolojisi	Orta Sakarya	Genel jeolojisi
<i>AKARSU</i>	1974	Göynük, Gölpazarı, Bolu, Nallıhan, Beypazarı bölgesini jeolojisi ve petrol olanakları	Göynük, Gölpazarı, Bolu, Nallıhan, Beypazarı (Bolu-Ankara)	Genel jeolojisi, petrol jeolojisi
<i>AZİZ</i>	1976	Beypazarı-Yeni Çayırhan ve Karaköy arasındaki sahanın jeolojisi	Beypazarı-Yeni Çayırhan ve Karaköy	Genel jeoloji, ekonomik jeoloji
<i>SANER</i>	1978	Orta Sakarya’daki üst Kretase-Paleosen-Eosen çökme ilişkileri ve petrol aramalarındaki önemi	Orta Sakarya	Genel jeolojisi, petrol jeolojisi
<i>SANER</i>	1980	Mudurnu-Göynük havzasının jeolojisi ve paleocoğrafyası	Mudurnu-Göynük (Bolu)	Genel jeolojisi ve paleocoğrafya
<i>YANILMAZ vd.</i>	1980	Göynük sahasının jeolojisi ve bitümlü şeyl imkanları	Göynük (Bolu)	Genel jeoloji, ekonomik jeoloji



Çizelge 1.1 Nallıhan ve çevresinde yapılmış bilimsel çalışmalar (devam)

<i>AKKUŞ vd.</i>	1982	Beypazarı Çayırhan yöresinin jeolojisi ve bitümlü şeyl imkânları	Beypazarı (Ankara)	Genel jeoloji, ekonomik jeoloji
<i>SİYAKO</i>	1983	Beypazarı kömürlü Neojen havzası ve çevresinin jeolojisi.	Beypazarı (Ankara)	Genel jeoloji, ekonomik jeoloji
<i>OKAY</i>	1984	Metamorfik kuşaklar	Kuzeybatı Anadolu	Yaşların belirlenmesi
<i>MERİÇ ve ŞENGÜLER</i>	1986	Göynük çevresinin jeolojisi	Göynük (Bolu)	Genel jeoloji
<i>GRANİT ve ŞENER</i>	1987	Sarıcakaya ve Çamalan-Beydili bölgesinin jeolojisi ve bitümlü şeyl olanakları	Sarıcakaya (Eskişehir), Çamalan-Beydili (Nallıhan, Ankara)	Genel jeoloji, ekonomik jeoloji
<i>TAKA vd.</i>	1988	Himmetoğlu sahasının bitümlü şeyl olanakları	Göynük (Bolu)	Ekonomik jeoloji
<i>KİBİCİ</i>	1990	Sarıcakaya volkanitlerinin petrolojisi ve kökensel yorumu	Sarıcakaya (Eskişehir)	Petroloji
<i>YAĞMURLU vd.</i>	1990	Neojen havzasının tektoniği, yapısal evrimi	Beypazarı-Nallıhan (Ankara)	Tektonik, yapısal evrim
<i>ŞEKER ve KESKİN</i>	1991	Nallıhan-Mudurnu-Seben-Beypazarı arasında kalan bölgenin jeolojisi ve petrol olanakları	Nallıhan, Beypazarı (Ankara), Mudurnu, Seben (Bolu)	Genel jeoloji, petrol ve ekonomik jeoloji
<i>ŞENER ve ŞENGÜLER</i>	1991	Beypazarı bitümlü marnlarının jeolojisi ve ekonomik kullanım alanları	Beypazarı (Ankara)	Genel jeoloji, ekonomik jeoloji
<i>ALTINER ve KOÇYİĞİT</i>	1992	Faylanmalar, stratigrafi ve paleocoğrafik evrim	KB Anadolu	Stratigrafi ve Paleocoğrafik evrim
<i>ŞENER ve ŞENGÜLER</i>	1992	Hatıldağ bitümlü şeyl sahasının jeolojisi ve teknolojik kullanım olanakları	Göynük (Bolu)	Genel jeoloji, ekonomik ve petrol jeolojisi
<i>ŞENER</i>	1993	Himmetoğlu bitümlü şeyl sahasının litostratigrafive tektonik özellikleri	Göynük (Bolu)	Stratigrafi, tektonik
<i>ŞENER ve ŞENGÜLER</i>	1998	Hatıldağ bitümlü şeyllerin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri	Göynük (Bolu)	Genel jeoloji, mineraloji, jeokimya
<i>SARI</i>	1999	Himmetoğlu formasyonu (Göynük-Bolu) bitümlü şeyllerinin organik jeokimyasal incelemesi	Göynük (Bolu)	Organik jeokimya

Çizelge 1.1 Nallıhan ve çevresinde yapılmış bilimsel çalışmalar (devam)

<i>SARI ve SONEL</i>	2000	Gösel bitümlü kayaçların organik jeokimyasal özellikleri ve ekonomik kullanım olanakları	Himmetoğlu (Bolu), Seyitömer (Kütahya), Ulukışla (Niğde)	Organik jeokimya, ekonomik jeoloji
<i>ÖZÇELİK</i>	2002	Beypazarı kuzeyindeki Miyosen yaşlı bitümlü şeyllerin organik jeokimyasal özellikleri	Beypazarı (Ankara)	Genel jeoloji, organik jeokimya
<i>GÜLBAY ve KORKMAZ</i>	2005	KB Anadolu'daki Tersiyer yaşlı bitümlü şeyllerin organik jeokimyası ve çökelme ortamları	KB Anadolu (Ankara, Bolu, Bilecik)	Organik jeokimya, paleoortam
<i>YEŞİLADALI vd.</i>	2005	Himmetoğlu havzasındaki kömür-bitümlü şeyl birlikteliğinin paleoortam koşulları	Göynük (Bolu)	Organik jeokimya, paleoortam
<i>SARI ve ALİYEV</i>	2005	Paleosen yaşlı Kabalar formasyonu bitümlü şeyllerinin organik jeokimyası	Göynük (Bolu)	Organik jeokimya
<i>SARI ve ALİYEV</i>	2006	Nallıhan (Ankara) civarında bitümlü şeyllerin organik jeokimyasal özellikleri	Nallıhan (Ankara)	Organik jeokimya
<i>KORALAY ve SARI</i>	2007	Ağsaklar (Göynük) civarında yer alan bitümlü kayaçların organik jeokimyasal incelemesi	Göynük (Bolu)	Organik jeokimya
<i>KOCA</i>	2011	Nallıhan (Ankara, Türkiye) civarı bitümlü şeyllerinde organik madde ve iz element zenginleşmeleri	Nallıhan (Ankara)	Organik - İnorganik jeokimya

Ziegler (1939), Hırka (Beypazarı) ve Karaköy (Nallıhan) bölgesinde yaptığı araştırmada linyit ve bitümlü şeyllerin yayılımları hakkında bilgi vermiş ve yaptığı analizler sonucunda bitümlü şeyllerin küçük cepler şeklinde lagüner ortamda çökeldiğini ve sahil kesimine doğru bitümlü şeyl kalitesinin artabileceğini ileri sürmüştür.

Stchepinsky (1941), Beypazarı – Nallıhan – Bolu – Gerece bölgesinde yaptığı çalışmada çeşitli fasiyesleri ayırt etmiş ve Neojen'in Beypazarı çevresinde iyi gelişmiş olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bölgenin jeolojisi ve mineral zenginliklerini incelemiştir.

Abdüselamoğlu (1956), Göynük – Mudurnu – Beydili bölgesinin jeolojisini inceleyerek, bölgenin detaylı 1/100000 ölçekli jeolojik haritasını yapmıştır. Paleosen-Eosen yaşlı birimlerin bitümlü şeyl ve linyit içerdiğini belirtip, alttaki birimlerin üzerine diskordanslarla geldiğini ifade etmiştir.

Göktunalı (1963), Beypazarı civarının 1/250000'lik ölçekli haritasını sunarak, bölgenin Neojen yaşlı kömürlerin özellikleri hakkında çalışmalar sunmuş, bunları 4 ayrı formasyon altında toplamıştır. Özellikle kömürlü seviyelerin kalınlık ve yayılımlarını ortaya koymuştur.

Kalafatçioğlu ve Uysallı (1964), Beypazarı – Nallıhan – Seben civarının jeolojisini çalışmışlardır. Orojenik fazlara bağlı olarak bölgenin stratigrafisi ve paleocoğrafyasını yorumlamışlardır. 2400 km<sup>2</sup>'lik bir alanda Paleozoyikten Kuvaternere kadar devam eden istifini tanımlayarak bölgenin tektonik ve paleocoğrafik evrimi hakkında yorum yapmışlardır.

Beseme (1967), Göynük (Bolu) ilçesindeki Kabalar senklinalinde yer alan bitümlü seviyelerin genel ve jeolojik etüdünü yapmıştır. Araştırmacı bu çalışmada Senomaniyen'de flişin çökelmiş olduğu bir jeosenklinalin varlığından söz etmekte, Eosende ise regresyon gelişimiyle bölgenin karasal karakter kazandığını belirtmektedir. Beseme, bitümlü kayalar üzerinde yaptığı incelemelere dayanarak bu kayaları kerobitümlü kayalar olarak adlandırmıştır. Araştırmacı çalışmasında ayrıca çökelme ortamı açısından da yorumlar yapmış olup, güneş ışınlarının 80 metrelik derinliğe kadar ulaşabildiği ve kıyıya yakın kesimlerde gerekli besin tuzları ve hümitik maddelerin bol bulunduğu bir göl ortamının gelişiminden bahsetmiştir. Ayrıca bitümlü kayaların kalitesinin bu gölün orta kesimlerine doğru arttığını belirtmektedir.

Altınlı (1973), Orta Sakarya'nın jeolojisi çalışmış ve bölgedeki formasyonları ayırtlamış, Beypazarı granitoidlerini Paleozoik granitleri adı altında toplamıştır.

Akarsu (1974), Göynük, Gölpaazarı, Bolu, Nallıhan, Beypazarı bölgesi ve çevresindeki bitümlü şeyllerin jeolojik incelemesini yapmıştır. Ayrıca bu bölgenin petrol olanakları hakkında bilgi vermiştir.

Aziz (1976), Beypazarı – Yeniçayırhan ve Karaköy arasındaki sahanın jeolojisini ve bitümlü şeyl özelliklerini inceleyerek, bitümlü şeyllerin olanakları hakkında yorumlar yapmıştır. İnceleme alanında Paleozoyik yaşlı şistleri Triyas yaşlı volkanitler, Jura yaşlı kireçtaşları ve Oligosen yaşlı kırmızı renkli çakıltaşlarını ayırtlayan araştırmacı; bu birimlerin Neojen yaşlı serilerin tabanını oluşturduğunu Miyosen ve Pliyosen yaşlı formasyonların ise bu temel üzerinde uyumsuz olarak bulunduğunu ve ayrıca bitümlü şeyl ve kömür içeren Hırka formasyonunda da volkanik merceklerin yer aldığını belirtmiştir.

Saner (1978), Orta Sakarya'daki Üst Kretase-Paleosen-Eosen çökelme ilişkilerini ve petrol aramalarındaki önemini araştırmıştır. Buna göre bölgede petrol aramacılığı için hedef olabilecek bir derinlik ve yapısal kapanlanmanın olmadığını belirlemiştir.

Yanılmaz vd. (1980), Göynük (Bolu) bitümlü şist sahasının 1/10000 ölçekli detaylı jeolojik haritasını yaparak formasyonları tanımlamış ve bitümlü şist rezerv hesabına, kalite belirlenmesine ve işletme olanaklarının tespitine yönelik çalışmalar yapılmıştır. 50-80 m arasında değişen kalınlığa sahip bitümlü şeyl zonundan bahsedilen çalışmada ortalama % 8 petrol üretim potansiyeli ile 900KCal/ kg'lık ısı güce sahip bitümlü şeyllerin, örtü/bitümlü şeyl oranına göre 1:1 125 milyon ton, 1:2 314 milyon ton, 1:3 400 milyon ton rezervi olduğunu belirtmişlerdir.

Akkuş vd. (1982), Beypazarı – Çayırhan yöresinin jeolojisi ve bitümlü şeyl olanaklarını araştırarak, 850 Kcal/kg ve üzerinde ısı değerine sahip 340 milyon ton görünür bitümlü şeyl rezervi tespit etmiştir.

Siyako (1983), Beypazarı (Ankara) kömürlü Neojen havzası ve çevresini jeolojisini çalışıp, Neojen birimlerinin alttaki neojen öncesi birimler ile uyumsuz olarak ve/veya tektonik dokanaklı olup yanal fasiyes değişimi gösterdiklerini, bu nedenle bölgesel stratigrafide farklılıklar olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bu bölgedeki kömürlerin ekonomik bakımdan potansiyelinin ortaya koymuştur.

Okay (1984), Kuzeybatı Anadolu'da yer alan metamorfik kuşaklardan bahsetmiştir. Bunlar Sakarya zonunun temelini oluşturan Karakaya kompleksi, Tavşanlı ve Afyon zonları ve bunlarla yakın ilişkili olan Uludağ metamorfikleri ve ofiyolitlerdir. Bozüyük ve Söğüt çevresinde görülen granitlerin Karakaya metamorfik kompleksini keserek Triyas zamanında yerleştiği belirtilmiştir.

Meriç ve Şengüler (1986), Göynük (Bolu, KB Anadolu) çevresinde üst Kretase-Paleosen stratigrafisi üzerine çalışarak yeni görüşler sunmuşlardır. Pontid kuşağının batı kesiminde Üst Kretase yaşlı tortulların derin denizel fasiyeste geliştiklerini yorumlamışlardır.

Granit ve Şener (1987), Sarıcakaya (Eskişehir) ve Çamalan-Beydili (Ankara) bölgesinin jeolojisini çalışmış ve bitümlü şeyl olanaklarını araştırmışlardır.

Taka ve Şener (1988), Himmetoğlu (Göynük, Bolu) sahasının bitümlü şeyl olanaklarını incelemişlerdir. Sahadaki bitümlü şeyllerin büyük bir bölümünün kömürün üzerinde yer aldığı ve genellikle şeyl ve marnlar içinde bulunduğu ifade edilmektedir.

Kibici (1990), Sarıcakaya (Eskişehir) volkanitlerinin petrolojisi ve kökensel yorumu üzerine çalışmalar yürüterek İç Batı Anadolu'da Eskişehir ili Sarıcakaya ilçesi civarında yüzeylenen volkanik kayalarda yapılan petrokimyasal incelemelerin yanı sıra bölgesel yayılımları araştırarak çevredeki benzerleri olan diğer volkanitlerle karşılaştırmalar yaparak, oluşumları ve kökenlerini incelemiştir.

Yağmurlu vd. (1990), Beypazarı-Nallıhan Neojen havzasının tektonik özellikleri ve yapısal evrimi konulu çalışmasında, Neojen havzasının tortul dolgu şeklinde olduğunu

ve Neojen öncesi temel kaya topluluğunun havzanın kuzeyinde yer aldığını; ultrabazik, granitik ve metamorfik kayalardan oluşan Orta Sakarya kıtasının havzayı güneyden kuşattığını belirtmiştir.

Şeker ve Keskin (1991), Nallıhan – Mudurnu – Seben – Beypazarı arasında kalan bölgenin jeolojisi ve petrol olanaklarını incelemişler ve Karakaya tipi bir temelin üzerine Mesozoik, Tersiyer ve Kuaterner birimlerinin çökeldiğini ifade etmişlerdir.

Şener ve Şengüler (1991), Beypazarı bitümlü marınlarının jeolojisi ve ekonomik kullanım alanları üzerine çalışma yapmışlardır. Sahadan 9 adet sondaj yapılarak karot numunelerinden bitümlü kayaçların organik karbon içerikleri, kalori değerleri, nem içerikleri ve petrol içerikleri tespit edilmiştir.

Altın vd. (1992), Kuzeybatı Anadolu'nun güneyinin Jura-Alt Kretase stratigrafisi ve paleocoğrafik evrimi konulu çalışmalarında dört ana stratigrafik seriden bahsetmiştir. Bunlardan Bursa-Bilecik serisinin Bozüyük (Eskişehir) alanında Jura yaşlı birimler çalışılmıştır. Burada pegmatitik ve aplitik dayklarla kesilmiş yüksek alterasyonlu Orta Sakarya granitine rastlanmıştır. Mudurnu-Nallıhan serisinin Beypazarı-Çayırhan alanında iki farklı bölge tespit edilmiştir. Birincisi bu alanın kuzeyinde Keltepe ve Kazağaç köyleri arasında Beypazarı'nın kuzeybatısında, ikincisi ise Sakarya nehrinin ana kollarından birisi olan Aladağ nehir vadisinin batı ve doğusunda yer alır. Burada, Beypazarı-Çayırhan Jura-Alt Kretase serileri ile temsil edilmiştir. Bindirme ve normal faylanmalar görülmüştür.

Şener ve Şengüler (1992), Hatıldağ (Göynük, Bolu) bitümlü şeyl sahasının jeolojisi ve teknolojik kullanım olanaklarını incelemiştir. Sahada ekonomik petrollü şeyl zonu belirlenerek, petrol potansiyeli ve açılan kuyu verilerine göre toplam rezerv miktarları hesaplanmıştır. Bitümlü kayaçların 26-120 m arasında değişen kalınlıklar sunduğunu ve organik madde açısından zayıf kaliteli olduğunu belirtmişlerdir. Ekonomik olarak işletilebilecek bitümlü şeyl zonu kalınlığının 30,5 m ve kalori değerinin 774 Kcal/kg olduğunu saptamışlardır. Ayrıca bitümlü şeyl zonu petrol içeriğini % 5,3, kükürt değerlerinin % 1,34 olduğunu ifade etmişlerdir.

Şener (1993), Neojen yaşlı Himmetoğlu bitümlü şeyl sahasının litostratigrafik ve tektonik özellikleri üzerine çalışmıştır. Bu çalışma kapsamında yeryuvarının jeoloji tarihi boyunca Prekambriyenden Tersiyer'e kadar bitümlü şeyl çökelimleri olduğu belirtilmiş ve bu bağlamda genellikle Neojen yaşlı volkanosedimanter göl ortamlarında gelişen bitümlü şeyl sahalarına örnek teşkil etmesi amacı ile Himmetoğlu sahası tip saha olarak seçilmiş ve ayrıntılı şekilde incelenmiştir.

Şener ve Şengüler (1998), Hatıldağ (Göynük, Bolu) bitümlü şeyllerin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal karakteristiklerini inceleyerek, organik karbon ve iz element zenginleşmelerini korele etmişlerdir. Bitümlü şeyllerin göl ortamında oluştuğunu ve organik maddenin heterojen bileşene ve orijine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Sarı (1999), Himmetoğlu havzasından derlediği bitümlü şeyl örneklerini organik jeokimyasal ve organik petrografik yöntemlerle incelemiş, organik maddesinin çoğunlukla petrol ve gaz üretebilecek (Tip II kerojen) tipte olduğunu belirtmiştir. Birimin ısısız olgunlaşmasını, spor renk indeksini, Tmax ve Üretim İndeksi (PI) belirleyerek, birimin diajenetik zon ile kısmen erken olgun petrol zonu sınırında olduğunun saptamıştır. Himmetoğlu formasyonu bitümlü şeyllerinin organik karbon yönünden mükemmel kaynak kaya potansiyeline sahip olduğunu ancak ısısız olgunlaşmasının düşük olduğunu ifade etmiştir.

Sarı ve Sonel (2000), Himmetoğlu/Bolu (Miyosen), Seyitömer/Kütahya (Miyosen), Ulukışla/Niğde (Miyosen) ve Kabalar/Bolu (Paleosen-Eosen) göl havzalarına ait bitümlü kayaç örneklerini organik jeokimyasal, organik petrografik, gaz kromatografik analizleri ve yakma deneyleri bakımından karşılaştırarak, ekonomik değerleri yönünden değerlendirmişlerdir. Kabalar göl havzasına ait bitümlü şeyllerin petrol kaynak kaya potansiyellerinin bulunduğunu, Himmetoğlu, Seyitömer, Ulukışla havzalarına ait bitümlü kayaçların petrol elde edilmesine uygun olduklarını açıklamışlardır. Ancak Ulukışla bitümlü şeyllerinin damar kalınlıkları ve yayılımlarının sınırlı olmasının petrol eldesi için olumsuzluk teşkil edeceğini belirtmişlerdir.

Özçelik (2002), Beypazarı (Ankara) kuzeyinde bulunan bölgenin stratigrafisini ortaya koyarak, Miyosen yaşlı bitümlü şeyllerin ayrıntılı organik jeokimyasal analizlerini yapmış ve değerlendirmiştir. Buna göre toplam organik karbon miktarı 0,37-7,07 wt % arasında, vitrinit yansıma değerleri % 0,27-0,56 arasında, Tmax değerlerinin ise 407-437 °C arasında değişmekte olduğunu tespit etmiştir.

Gülbay ve Korkmaz (2005), Kuzeybatı Anadolu'daki (Beypazarı, Seyitömer, Himmetoğlu, Hatıldağ, Gölpazarı ve Bahçecik) Tersiyer yaşlı bitümlü şeyllerin organik jeokimyasal özellikleri ve çökeltme ortamlarını incelemiştir. Elde ettikleri Pr/Ph oranlarına göre Beypazarı, Seyitömer ve Hatıldağ bitümlü şeyllerinin anoksik, Himmetoğlu, Gölpazarı ve Bahçecik bitümlü şeyllerinin ise suboksik bir ortamda çökeldiğini belirtmişlerdir.

Sarı ve Aliyev (2005), Göynük civarındaki çalışmalarında bitümlü şeyllerin organik maddelerinin algal materyalden (Tip I kerojen) oluştuğunu, şeyllerin organik karbon içeriğinin % 10'dan fazla, hidrojen indeks değerlerinin 900 mg/HC g kaya üstünde olduğunu belirlemişlerdir. Piroliz verileri ve organik petrografik verilere göre petrolü şeyllerin Tip-I organik madde içeren mükemmel potansiyel petrol kaynak kayaları olduğunu açıklamışlardır. Spor renk indeksi ve Tmax değerlerinden elde edilen ısısal olgunluk değerlerinin Kabalar formasyonu için petrol oluşturan termal zona girdiğini ve petrol oluşturabileceğini söylemişlerdir.

Yeşiladalı vd. (2005), Himmetoğlu havzası'ndaki (Göynük, Bolu) kömür ve bitümlü şeyllerin çökeltmesine ve organik maddenin önemli miktarlarda korunmasına elverişli paleoortam koşulları değerlendirilmeye çalışmışlardır. Hümik kömür ve karasal organik maddece zengin kesimin oksik bir gölde, sapropelik organik maddece zengin kesimin ise kapalı ve su derinliği değişken disoksik-anoksik bir göl ortamında çökeldiği sonucuna varmışlardır.

Sarı ve Aliyev (2006), Nallıhan (Ankara) civarındaki bitümlü şeyllerin HC potansiyelini ortaya koymuşlardır. Buna göre birimin erken olgun zon-petrol türüm başlangıcında



olduğu, Tip I-II kerojen tipine sahip olduğu, petrol için mükemmel kaynak kayalar olduğu belirlenmiştir.

Koralay ve Sarı (2008), Ağsaklar (Göynük) civarında yer alan bitümlü kayaçların organik jeokimyasal incelemesini yapmışlardır. Bitümlü şeyllerin organik madde miktarının wt % 3,88 – 11,18 arasında ve çok iyi petrol kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Koca (2011), Nallıhan (Ankara, Türkiye) civarı bitümlü şeyllerinde organik madde ve iz element zenginleşmeleri adlı çalışmasında bitümlü şeyllerin element zenginleşmelerini, depolanma ortamı redoks koşullarını, elementlerin kaynak alanlarını, kaynak alanlarının tektonik koşullarını araştırarak, Nallıhan bitümlü şeyllerini Dünya'daki organik maddece zengin ortamlarla kıyaslamasını yapmıştır.

Bu tez çalışmasında ise, bu bölge civarında yapılmış olan önceki çalışmalardan farklı olarak, Tekirler (Nallıhan/Ankara) bölgesine ait bitümlü şeyllerin detaylı organik jeokimyasal incelemesi yapılmış olup, buna ilişkin bölgenin hidrokarbon potansiyelinin ortaya konmasının yanı sıra petrol - gaz üretimi ve bunlardan elde edilen yan ürünlerin elde edimi açısından alternatif bir hammadde kaynağı olan bitümlü şeyllerin kullanım açısından ileri teknolojilerin gelişmesine ortam hazırlaması ve gelecek çalışmalara da ışık tutması hedeflenmiştir.

### **1.3 Uygulanan Yöntemler**

Tezin amacı ve kapsamına yönelik yapılan işlemler büro çalışmaları, arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları olarak üç ana başlık altında sınıflandırılmıştır.

#### **1.3.1 Büro çalışmaları**

Arazi ve laboratuvarda elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanmasına yönelik çalışma alanı ile ilgili ulusal ve uluslar arası çeşitli literatürün taranması literatür bilgilerinin toplanması, arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçların yorumlanması, ölçülü stratigrafik kesitlerin çizimleri, jeoloji harita çizimi, elde edilen

verilerin çizelge ve şekillere aktarılarak yorumlamaların yapılması ve tez yazım aşaması büro çalışmalarını kapsamaktadır.

### **1.3.2 Arazi çalışmaları**

Arazi çalışmalarında Ankara Nallıhan civarında bulunan Tekirler bölgesindeki Paleosen-Eosen yaşlı bitümlü şeyller üzerinde yoğunlaşmıştır. Bitümlü şeyllerin yayılımı, altında ve üstünde yer alan birimlerle ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla uygun yüzlelerde ölçülü stratigrafik kesit (ÖSK) yapılarak, ayrıntılı olarak litoloji tanımlamalarının yapılması, arazide her bir litolojik birimin ayrı ayrı fotoğraflandırılması ve kaynak kaya analizleri için istifi temsil edecek aralıklarla örnekler alınmıştır.

### **1.3.3 Laboratuvar çalışmaları**

Laboratuvar çalışmaları kapsamında yapılan analizlerin tamamı Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Araştırma Grubu Organik Jeokimya Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanından derlenen örnekler üzerinde uygulanan yöntemlerin sınıflaması aşağıdaki gibidir.

#### **1.3.3.1 Kayaçta yapılan incelemeler**

##### **1.3.3.1.1 Piroliz analizleri**

Çalışma alanından toplanan organik maddece zengin olduğu düşünülen 22 örnek üzerinde, toplam organik karbon miktarının, organik madde tiplerinin ve olgunlaşmalarının belirlenmesi için Rock-Eval VI cihazı, IFP 160000 (Institut Français du Pétrole) standardı kullanılarak piroliz analizleri yapılmıştır (Foto 1.1). Bu analizle TOC (Toplam Organik Karbon), S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, T<sub>max</sub>, HI (Hidrojen İndeks), OI (Oksijen İndeks), PI (Üretim İndeksi), RC (Rezidüel Karbon), PC (Piroliz Edilebilen Karbon) değerleri elde edilmiştir.



Foto 1.1 Rock-Eval VI cihazı

Kayacın küçük bir kısmı (100 mg), 3 dakika için 300°C Helyum atmosferi altında ısıtılır, sonra sıcaklık 25°C/dak'dan 600°C'e kadar artırılır. Isınma süresince gerçekleşen adımlar;

- a. Organik maddede bulunan serbest hidrokarbonlar, petrol ve gaz yaklaşık 300°C'de buharlaşır. 3 dakikalık aralıklar ile bu termo-buharlaşma pik verir. Bu pik, S<sub>1</sub> piki olarak adlandırılır ve mg HC/g kayaç olarak ifade edilir.
- b. 300 ile 600°C arasında, hem kayaçtaki kerojenin parçalanma süresince açığa çıkanlar hem de resin ve asfaltinler gibi ağır ekstrakt edilebilen bileşikler açığa çıkar. Bu hidrokarbonlar S<sub>2</sub> pikini oluşturur. S<sub>2</sub>, kayaçta mg HC/g kaya şeklinde ifade edilir.
- c. 300 ile 390°C arasında oksijen bileşikleri ayrışır ve CO<sub>2</sub> sonucu mg CO<sub>2</sub>/g kayaç olarak ifade edilen S<sub>3</sub> piki ölçülür.
- d. S<sub>2</sub> pikinin maksimum olduğu nokta maksimum sıcaklık olarak isimlendirilip, Tmax °C ile ifade edilir.
- e. S<sub>2</sub> piki (C<sub>R</sub>) kaydından sonra kalan organik karbon 600°C hava (veya oksijen) atmosferi altında oksidasyon ile ölçülür. Elde edilen CO<sub>2</sub>, S<sub>4</sub> pikidir, kayaçta mg CO<sub>2</sub>/g kayaç olarak ifade edilir. Toplam organik karbon (TOC % ağırlık olarak ifade edilir) S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> ve S<sub>4</sub>'den otomatik olarak hesaplanır.

Ayrıca bu analizle elde edilen;

HI (Hidrojen İndeks) parametresi, kerojenin hidrojen zenginliğini gösteren bir parametre olup,  $S_2$  (ppm) / TOC x 100 ile ifade edilir.

OI (Oksijen İndeks) parametresi ise, kerojenin oksijen zenginliğini gösterir ve  $S_3$  (ppm) / TOC x 100 ile ifade edilir.

PI (Üretim İndeksi) parametresi, kayanın içinde hazır halde bulunan sıvı hidrokarbon oranını göstermekte olup,  $S_1 / (S_1 + S_2)$  ile ifade edilmektedir.

RC (Rezidüel Karbon) parametresi, piroliz işlemi esnasında CO ve CO<sub>2</sub>'den elde edilen organik karbonun (wt %) toplamını gösterir. Rezidüel karbon aynı zamanda piroliz edilemeyen organik karbonu gösteren TOC bölümü olarak da tanımlanabilir (Johannes vd. 2006).

PC (Piroliz Edilebilen Karbon) parametresi ise, toplam organik karbonun piroliz edilebilen kısmı olarak tanımlanır.

#### **1.3.3.1.2 Organik petrografik analizler - SCI analizi; kerojen tip tayini ve % bolluk dağılımı**

Organik petrografik incelemeler, kayalar içindeki katı organik maddenin fiziksel ve optik özelliklerinin incelemek, organik madde tipleri, bağıl bollukları ve olgunlaşma parametrelerini (SCI; Spor Coloration Index-Spor Renk İndeksi) belirlemek amacıyla 'X 40 epışam ve 2.5 µm spotlu Zeiss Umsp 50' mikroskobu kullanılarak geçirimli ışık altında yapılmıştır.

Kerojen tip tanımlaması görsel olarak gerçekleştirilir. Kayaçlar içinde depolanan karasal ve denizel organik maddelerin kerojen tipleri, petrol türetme yeteneklerine göre alttan aydınlatmalı mikroskoplarda değerlendirilir.

SCI analiz tekniği palinomorflarda ısı/derinlik artışına bağlı olarak ortaya çıkan renk değişim evrelerinin tanımlanmasına dayalıdır. Bu analizler kerojen tayini için hazırlanmış preparatlarda yapılmaktadır. Bitkilerin üreme hücrelerini oluşturan spor ve polenlerin renginin ısıya duyarlı olması yöntemin temelini oluşturur. Doğal renkleri açık sarı olan bu organik maddeler artan ısı karşısında turuncu, kırmızı, kahverengi ve siyah renklere sahip olurlar. Sarı ile siyah arasında değişen renk tonları 10'luk bir skalada tanımlanmaktadır.

### **1.3.3.2 Petrol ve bitümde yapılan incelemeler**

#### **1.3.3.2.1 Gaz kromatografi analizi (GC)**

Gaz kromatografi analizleri (GC), 5 adet örnek üzerinde, hidrokarbon bileşiklerinin genel dağılımlarını görmek, petrol ya da bitümün ilişkili olduğu sedimanın çökeltme ortamı, organik madde tipi, ısısız olgunluğu ve biyoloji bozunma gibi özellikler hakkında bilgi sağlamak amacıyla, DCM (dichloromethane) çözücüsü ile seyreltilerek hazırlanmış, Agilent 6850 GC cihazında (Foto 1.2) ASTM D 5307-97 (Reapproved 2002)<sup>e1</sup> metoduna uygun olarak yapılmıştır. Ayrıca gaz kromatogramlarında yararlanılarak farklı kökene sahip petrol ya da bitüm korelasyonları da yapılabilmektedir (Merrill 1991, Peters ve Moldowan 1993). Bir örnek için analiz süresi 170 dakikadır. 8 örnek kapasiteli otomatik 'sampler' kullanılmaktadır. Taşıyıcı gaz olarak; helyum, FID dedektörü için; hidrojen ve kuru hava kullanılmaktadır.



Foto 1.2 Agilent 6850 gaz kromatografi cihazı

GC analiz sonuçları kullanılarak Pr (Pristan) / Ph (Fitan) oranı, izoprenoid/n-alkan oranı, Karbon Tercih İndeksi (CPI) indeksi hesaplanarak ve ayrıca n-alkan dağılımlarından yararlanarak yorumlamaya gidilmektedir.

Bu çalışmada;

$$CPI_{(16-24)} = (nC_{15} + nC_{17} + nC_{19} + nC_{21} + nC_{23}) / (nC_{16} + nC_{18} + nC_{20} + nC_{22} + nC_{24})$$
 formülü kullanmıştır (Bray ve Evans 1961).

#### 1.3.3.2.2 İnce tabaka kromatografi analizi (Iatroscan)

İnce Tabaka Kromatografi Analizi (Iatroscan); Iatroscan-MK5 cihazında Norveç Petrol Standardı kullanılarak 5 adet üzerinde yapılmıştır (Foto 1.3). Analiz, petrol ve bitüm örnekleri içindeki hidrokarbon gruplarını yüzde olarak tespit etmek amacıyla yapılmaktadır. Bu gruplar doymuş hidrokarbonlar, aromatikler ve heterobileşiklerdir.

Petrol veya bitüm örneği 20mg/ml konsantrasyonda hazırlanarak silikajel ile kaplanmış rod denilen ince kolonlara enjekte edilir. Burada silikajel tutucu bir faz olup, hidrokarbon gruplarının bu faz üzerinde uygun çözücüler kullanılarak taşınması

sonucunda ayrışması sağlanır. Rodlar üzerinde bu ayrışma sağlandıktan sonra, Frame Iatroscan cihazına yerleştirilerek FID dedektörde bu grupların yüzdeleri tespit edilir.



Foto 1.3 Iatroscan-MK5 ince tabaka kromatografi cihazı

### 1.3.3.3 Duraylı karbon izotop analizi ( $\delta^{13}\text{C}$ )

Duraylı izotop analizi ( $\delta^{13}\text{C}$ ), 2 adet örnek için organik maddenin kökenine açıklık getirmek amacıyla, Eurovector EA-Elemental Analyser ile birlikte GV Instruments Isoprime EA-IRMS (Elemental Analiz-İzotop Oranı Kütle Spektrometresi) cihazı kullanılarak yapılmıştır (Foto 1.4).



Foto 1.4 Eurovector Elemental Analyser - GV Instruments Micromass Isoprime IRMS cihazı

Kerojen, petrol ve petrol fraksiyonlarının (doymuş, aromatik, polar ve asfalten) karbon izotopları referans gaza göre PDB scale parts per mil (‰) olarak ölçülür. 1 örnek için analiz süresi 26 dakikadır. Taşıyıcı gaz olarak helyum gazı kullanılır. Analizin uygulama sıcaklığı 1050 °C'dir. Petrol ve petrol fraksiyonları için analiz NBS22 NIST uluslararası standartları kullanılarak yapılır. Analiz süresince, kerojen ve petrol fraksiyonlarına ait karbon izotopları sıkıştırılmış seramik ve kuvars reaktör ile birlikte bulunur. Sistem çalıştırdıktan sonra ise kerojen ve petrol fraksiyonlarına ait karbon izotopları kalibre edilmiş referans CO<sub>2</sub> gazına göre bulunur.

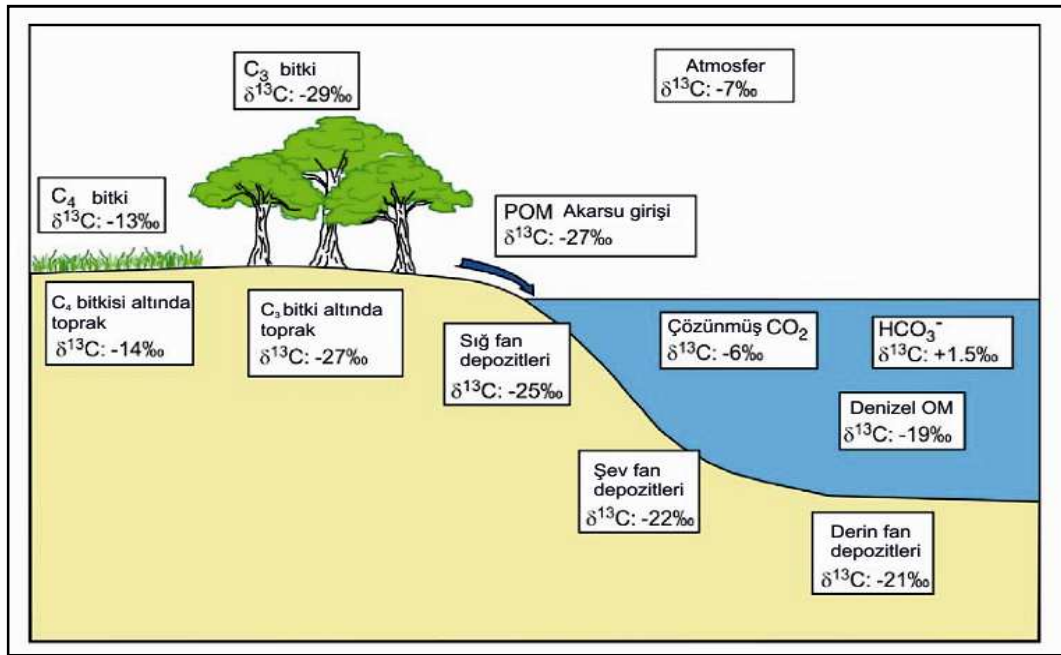
Petrol-petrol ve petrol kaynak kaya korelasyon çalışmalarında kullanılan önemli bir tekniktir. Yöntem; bulk kerojen, bulk petrol, petrolün doymuş ve aromatik fraksiyonu ve petrolün polar fraksiyonunun karbon izotoplarının saptanması ve elemental analiz izotop değeri olarak değerlendirilmesinden oluşur ve aşağıdaki simgelerle ifade edilir;

13Cker.....kerojen  $\delta^{13}\text{C}$   
13Cbit.....bitüm veya petrol  $\delta^{13}\text{C}$   
13Cres.....resin  $\delta^{13}\text{C}$   
13Csat.....doymuş  $\delta^{13}\text{C}$   
13Caro.....aromatik  $\delta^{13}\text{C}$   
13Casp.....asfalten  $\delta^{13}\text{C}$

İzotop, proton sayısı aynı (aynı atom numarası) fakat nötron sayısı farklı atomlara denir. Radyoaktif parçalanmaya uğrayan izotoplar kayaların yaş tayinlerinde kullanılırken (<sup>14</sup>C) duraylı izotoplardan bilhassa karbon izotopları (<sup>12</sup>C/<sup>13</sup>C) petrol petrol ve petrol-kaynak kaya korelasyonlarında kullanılmaktadır. Korelasyonlarda özellikle doymuş ve aromatik hidrokarbon izotop diyagramları hem petroleri ve hem de kaynak kayaları genetik olarak ayırırken, organik maddenin kökenine de açıklık getirmektedir (Sofer, 1984). Normal bir petrolün karbon izotop değerleri -35 per mil ile -20 per mil arasında değişirken bu rakamlar göç, biyodegradasyon ve ısısal olgunlaşma gibi alterasyon olayları sırasında -1 ile -3 per mil arasında değişmektedir.



Duraylı karbon izotop analizi güncel ortamlarda organik maddenin kaynağını belirlemek için en çok kullanılan tekniklerden bir tanesidir. Genellikle nehir ağzı, denizel ve gölsel koşullardaki sedimanlarda organik maddenin fitoplankton ve karasal bağıl oranını belirlemede kullanılmıştır. Bunun dışında biyologlar, jeologlar ve jeokimyacılar çeşitli konularda duraylı karbon izotop analiz tekniğinden yararlanmaktadır (Sackett 1964, Maynard 1981, De Laune 1986, Pratt ve Threlked 1984, Fontugne ve Calvert 1992, Tyson 1995). Karbon biyosferdeki majör elementlerden birini oluştururken aynı zamanda atmosfer, litosfer ve hidrosferde de bulunmaktadır (Şekil 1.1). Çamurtaşlarında organik maddenin ve karbonat minerallerinin ana bileşiklerinden birini oluşturmaktadır. Karbon  $^{12}\text{C}$  ve  $^{13}\text{C}$  olmak üzere iki duraylı form ve  $^{14}\text{C}$  duraysız form izotop şeklinde bulunmaktadır.



Şekil 1.1 Kıtasal kenar ortamında farklı bölgelerdeki duraylı karbon izotop verileri (Rullkötter 2006'dan türkçeleştirilmiştir)

Organik materyaller oluşumlarındaki metabolik yollar, karbon kaynağı ve kompozisyonlarına bağlı izotop oranlarında önemli varyasyonlar gösterir (Tyson 1995).  $^{12}\text{C}$  ve  $^{13}\text{C}$  karbonun iki duraylı izotopu çamurtaşlarında karbon kaynağını ayırt etmek amacıyla sıkça kullanılmaktadır (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2 Çeşitli rezervuarlardaki  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri (Degens 1989)

Rezervuar/Materyal	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Atmosferik $\text{CO}_2$	-6'den -10
Tatlı su $\text{H}_2\text{CO}_3$	-4'den -14
Kerojen	-22 -27 arası
Denizel karbonatlar (inorganik)	+2 +7 arası
Denizel karbonatlar (biyojenik)	-4 +3,5 arası
Tatlı su karbonatları	-2 -12,5 arası
Metan (Mesozoyik)	-32 -54 arası
Metan (Kuaterner)	-56 -82 arası

$\delta^{13}\text{C}$  değeri, binde (‰) şeklinde ifade edilip, aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \left\{ \left[ \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{örnek}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{standart}}} \right] - 1 \right\} \times 100$$

Çeşitli araştırmacılar karbon materyalini farklı  $\delta^{13}\text{C}$  değer aralıklarına göre ayırmışlar (Çizelge 1.3 - 1.4, Şekil 1.2 - 1.4). Duraylı karbon izotopları değişken biyojeokimyasal sistemlerdeki hem yaşlı hem de genç organik maddelerin incelenmesinde kullanılır. Bu anlamda bu data değişimi sayesinde karbonun kökeni hakkında yorum yapılabilmektedir. Tyson'a (1995) göre genç ve yaşlı sedimanlar arasında değişim olduğu görülmektedir (Çizelge 1.3). Bu güncel ve yaşlı sistemlerdeki davranış değişikliğinin sebebi Devoniyen'deki ve en çok Fanerozoik'deki diğer zamanlarda daha yüksek atmosferik  $\text{CO}_2$  seviyelerine bağlı olabilmektedir (Lewan 1986). Eosen-Miyosen'de ise  $\text{CO}_2$  düşüşü ve iklimdeki soğuma değişimin sebeplerindedir.

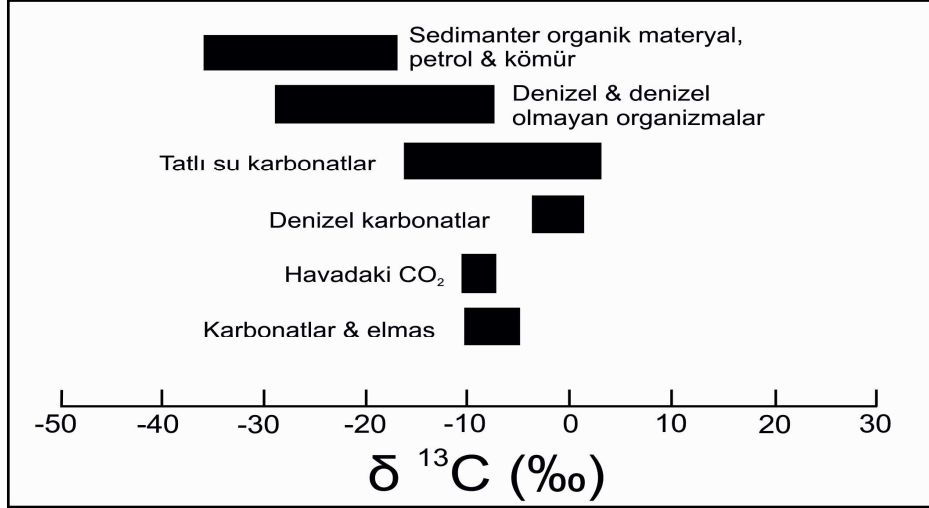
Çizelge 1.3 Organik madde, sediman ve kerojenler için tipik  $\delta^{13}\text{C}$  aralıkları (Prasolov 1990, Tyson 1995)

<b>Kategori</b>	<b>Toplam aralık (‰)</b>	<b>Modal aralık (‰)</b>
Karasal C4 bitkiler	-6'den -23	-10'den -14
Karasal C3 bitkiler	-23'den -35	-23'den -31
Karasal CAM bitkiler	-11'den -33	
Bataklık bitkileri	-11'den -27	
Mangrovlar	-21'den -28	
Deniz yosunu	-3'den -24	-6'den -13
Bentik mikroalg	-11'den -24	-11'den -20
Denizel plankton	-13'den -31	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşükten orta enleme</li> <li>• Yüksek enlemler (Antarktik)</li> </ul>		-18'den -24 -25'den -31
Siyanobakteri (tatlı su ve denizel)	-3'den -31	-10'dan -22
Siyanobakteri olmayan tatlı su bakterileri	-22'den -47	
Genç flüviyal sedimanlar	-20'den -29	
Genç gölsel sedimanlar	-15'den -30	
Genç denizel sedimanlar	-14'den -35	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deniz yosunu çim sedimanları</li> <li>• Düşük boşalma/dış şelf sedimanları</li> <li>• Genç disoksik-anoksik fasiyesler</li> <li>• Yüksek boşalma/iç şelf sedimanları</li> <li>• Antarktik-Güney Atlantik ve Güney Hindistan Okyanusu sedimanları</li> </ul>		-14'den -19 -19'den -23 -20'den -23 -23'den -27 -27'den -35
Yaşlı sedimanlar		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tip I tatlı su kerojenleri</li> <li>• Tip I denizel kerojenler (Neojen öncesi)</li> <li>• Tip II (Neojen-Genç) kerojenler</li> <li>• Tip II (Neojen öncesi) kerojenler</li> <li>• Tip III kerojenler (Paleozoyik-Mezozoyik)</li> </ul>	-16'den -31 -27'den -34  -20'den -24 -24'den -34 -22'den -29	-22'den -26

Çizelge 1.4 Çeşitli organik bileşiklerdeki tipik  $\delta^{13}\text{C}$  aralıkları

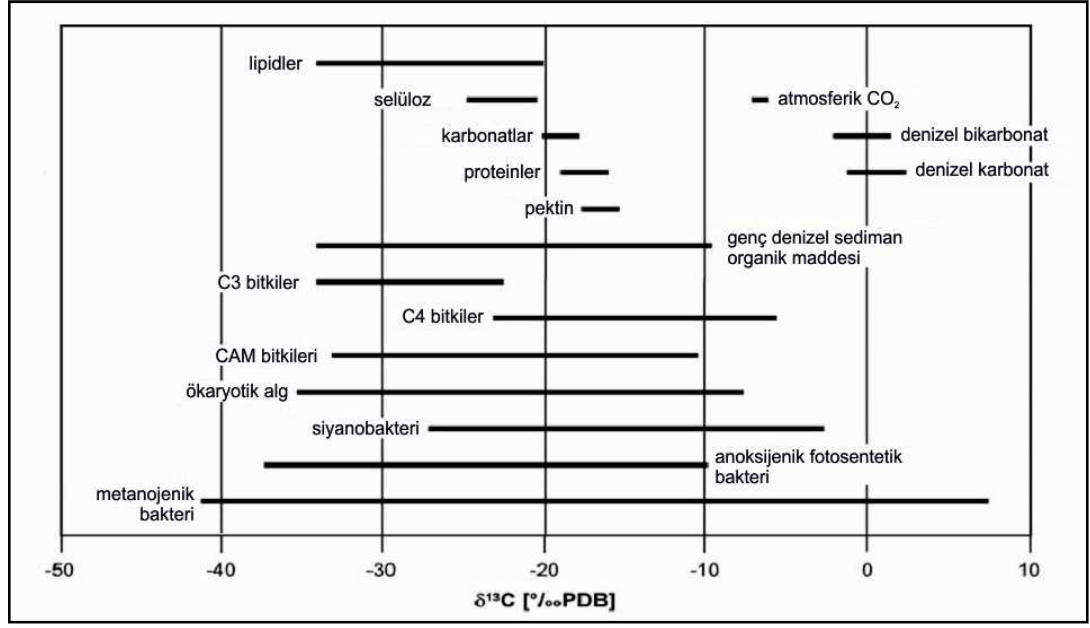
<b>Bileşik</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}</math> (‰)</b>
Karbonatlar	-0,1
CO <sub>2</sub> birikimleri	-8,7
Kerojen	-25,0
Bitümlerdeki organik madde	-27,0
Ham petrol	-29,7
Propan	-27,0
Etan	-31,3
Metan	-42,6
Metan (biyokimyasal)	-75,0

Çoğu kerojenin  $\delta^{13}\text{C}$  değeri ‰ -25 ve ‰ -26'ya yakın değerler sunmaktadır (Degens 1989, Prasolov 1990). Prekambriyen kerojenler daha negatif değerler gösterirken daha genç denizel örnekler daha pozitif sonuçlar vermektedir.



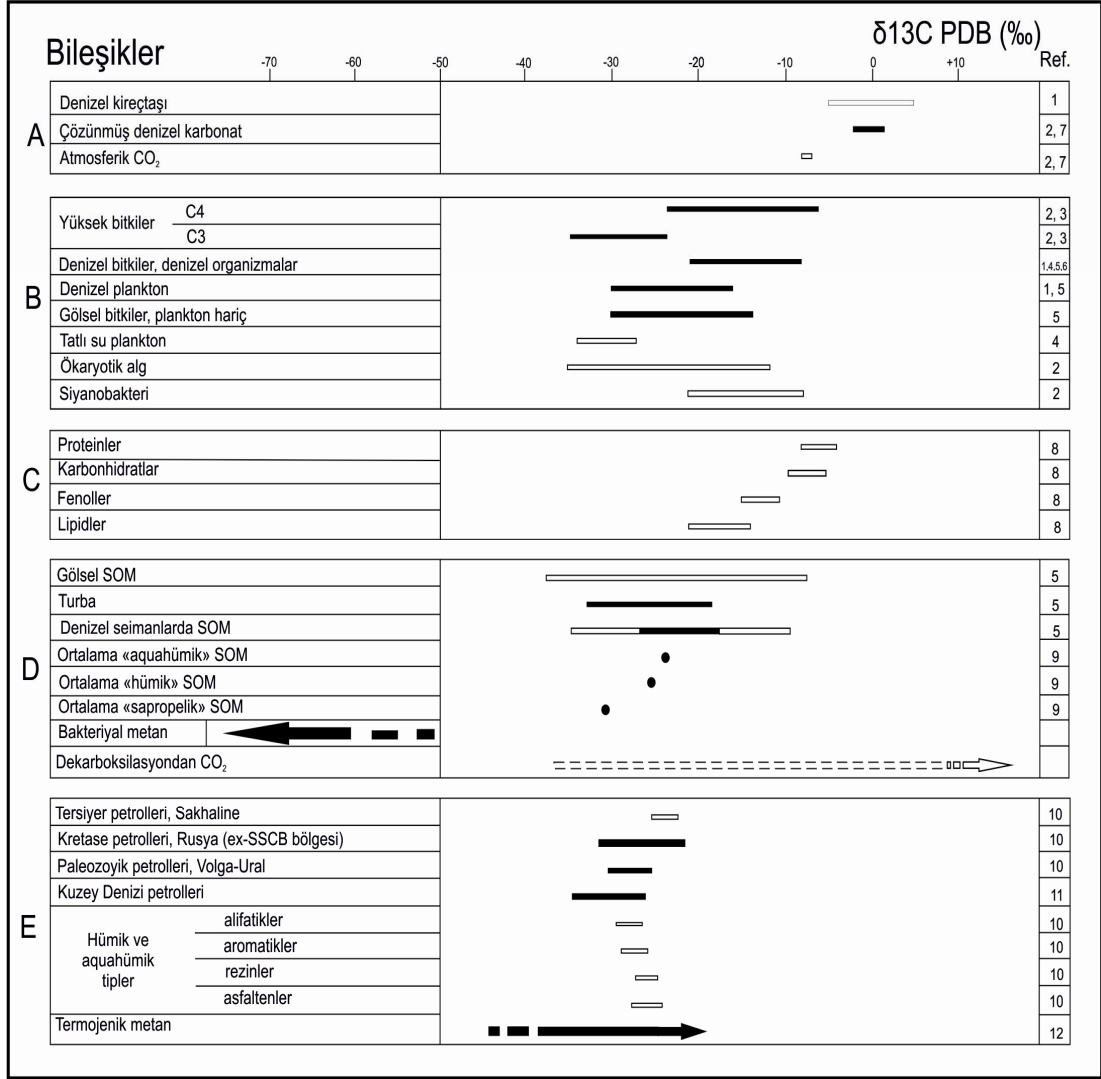
Şekil 1.2 Çeşitli materyallerdeki  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) aralıkları (Hoefs 1997'den türkçeleştirilmiştir)

C izotopları karbonat mineralleri ve organik madde için biyolojik etkilerini belirlemeye yardımcı olur.



Şekil 1.3 Anorganik bileşiklerin, organik bileşiklerin ve denizel ve karasal organizmaların karbon izotop kompozisyonlarının karşılaştırmaları (Schidlowski vd. 1983, Degens 1989'dan türkçeleştirilmiştir)

Bitkilerin karbon izotop kompozisyon sonuçları fotosentez sürecindeki hem CO<sub>2</sub> kaynağı hem de izlediği metabolik yollara bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple bu şekilde bir yüksek karasal bitkiler ana sınıflaması  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ -20 ile -35 arasında değişirken diğer karasal bitkilerin  $\delta^{13}\text{C}$  -10 ile -20 ‰ arasında değişmektedir. Sucul bitkiler de aynı aralıkta yer almaktadır (‰ -10 ile -35 arası), fakat gölsel bitkilerin ortalaması denizel bitkilerin ortalamasına oranla daha düşük  $\delta^{13}\text{C}$  olması gibi çeşitli farklar olabilmektedir. Muhtemelen CO<sub>2</sub> kaynağı tatlı sularda izotopik olarak daha hafif olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.4 Karbonat, organizmalar, kerojen ve petrol ürünlerinin izotopik karbon kompozisyonu (Bordenave 1993);

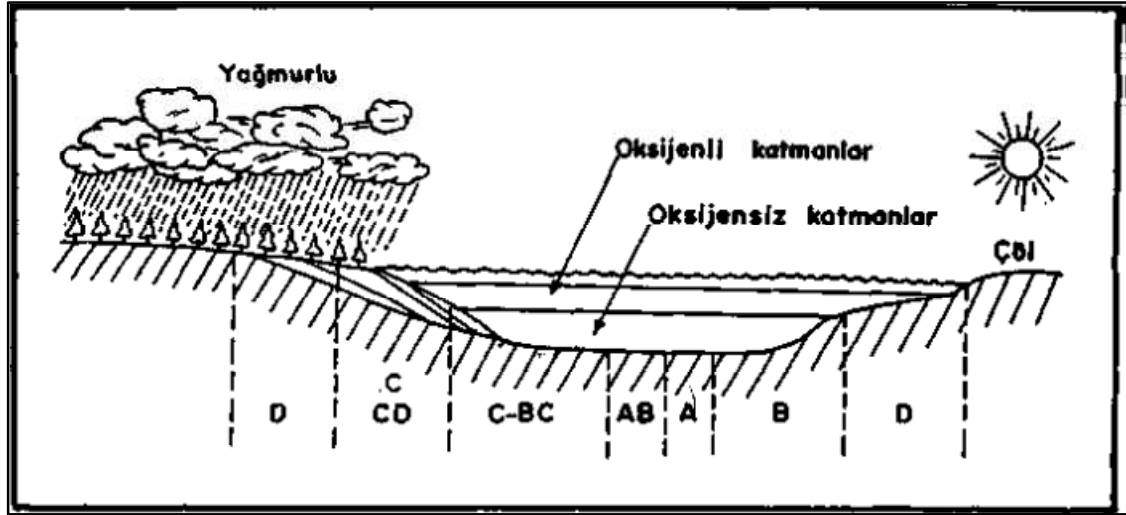
- CO<sub>2</sub> ve karbonatlar: inorganik karbon
- Canlı organik madde. C4 ve C3 fotosentezin ana metabolik yollarıdır. Tuzlu bataklık bitkileri ve tropikal çimler C4 bitkilere örnektir (Stahl 1977). Denizel planktonların  $\delta^{13}C$  organizmanın yaşadığı deniz suyu sıcaklığı işaret eder
- Biyolojik sistemdeki kimyasal bileşikler.
- Kerojenler ve diyajenetik organik ürünler
- Petrol, fraksiyonları ve termojenik metan örnekleri.

- Fuex 1977
- Schidlowski vd. 1983
- Hillaire-Marcel 1986
- Stahl 1977
- Deines 1980
- Sackett 1989
- Weizer 1983
- Galimov 1980
- Galimov 1986
- Galimov 1973
- Bailey vd. 1990
- Schoell 1988

### 1.3.3.4 Organik fasiyes incelemeleri

Organik fasiyes incelemeleri 22 adet örnek üzerinde, Rock-Eval piroliz analizi verileri (HI, OI, TOC), H/C, O/C atomik oranları ve egemen organik madde türlerine göre yapılmıştır.

Organik maddenin oluşumu, bileşimi ve diyajenez özellikleri (diyajenetik durumu) göz önüne alınarak, mikroskobik ve organik jeokimyasal özelliklerin temel veri olarak kullanılmasıyla (Rock-Eval piroliz analizleri (HI, OI, TOC), H/C, O/C atomik oranları ve egemen organik madde türlerine göre) yedi ayrı organik fasiyes tanımlaması yapılmıştır. Bu fasiyesler A, AB, B, BC, C, CD ve D organik fasiyesidir (Jones 1987). Organik fasiyeslerin sınıflandırması yapılırken, kerojenin kimyasal özellikleri, maseral tipleri ve mikroskobik incelemelere göre organik fasiyes ayrılması yapılarak, her bir fasiyesin mikroskobik ve kimyasal özellikleri, çökelme ortamları ve örnekleri incelenerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.5 Organik fasiyesler ve çökelme ortamları arasındaki ilişkinin şematik gösterimi (Altunsoy ve Özçelik 1993)

Çizelge 1.5 Organik fasiyelerin genelleştirilmiş mikroskobik ve jeokimyasal karakteristiklerinin özeti (Jones ve Demaison 1982, Jones 1984, 1987)

ORGANİK FASİYES	%R <sub>0</sub> = 0,5 deki H/C ORANI	PIROLİZ VERİLERİ			EGEMEN ORGANİK MADDE	KEROJEN TİPİ	SEDİMANTER YAPI
		HI, mg HC/g kaya	OI, mg HC/g kaya	TOC, (wt %)			
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 - biyotürbasyonlu
CD	0,60 – 0,75	50 - 125	40 - 150+	< 0.5	Okside; taşınmış	Tip III / Tip IV	Masif ; biyotürbasyonlu
D	≤ 0,60	< 50	20 - 200+		Yüksek okside; taşınmış	Tip IV	



Çizelge 1.6 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

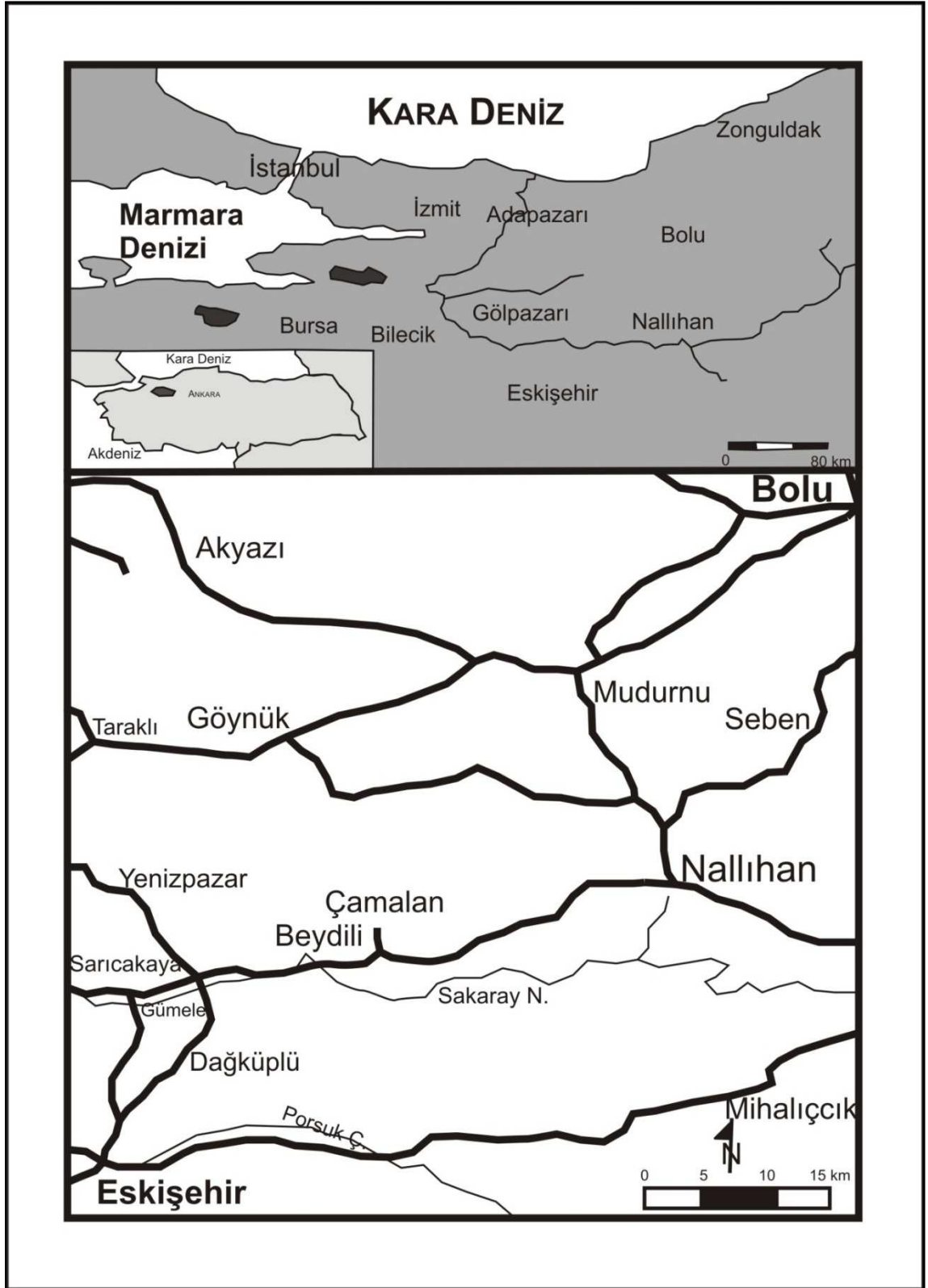
#### 1.4 İnceleme alanının konumu

Çalışma alanı Adapazarı H25 c1, c2, c3, c4 ve H26 d<sub>1</sub> paftaları içinde, 300 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır. Batıda Eskişehir'in Sarıcakaya ilçesi ile doğuda Ankara'nın Nallıhan ilçesi arasında bulunur. Göynük (Bolu) ilçesinin 20 km güneydoğusunda, Nallıhan'ın 35 km batısında yer alır. Çalışma alanı doğudan batıya doğru akan Sakarya nehrinin oluşturduğu vadide yer almaktadır (Şekil 1.6).

Çalışma alanında bulunan başlıca yerleşim alanları Eskişehir ilinin Sarıcakaya ilçesine bağlı Laçın, Düzköy ve Beyköy köyleri, Ankara ilinin Nallıhan ilçesine bağlı Tekirler, Çamalan, Beydili, Kuzucular, Demirköy, Subaşı, Ozan köyleridir.

Sarıcakaya ilçesi ve bu ilçeye bağlı batısında bulunan köyler İç Anadolu bölgesinde olmasına rağmen denizden yükseltisinin 220 metre olması, kuzeyinde ve güneyinde 1300 metreye varan dağ sıralarının bulunuşu nedeniyle değişik bir iklim arz etmektedir. İlçe, yazları sıcak ve kurak, kışları nispeten ılıman bir iklime sahiptir. Sarıcakaya ilçesi Orta Anadolu, Batı Karadeniz ve Marmara Bölgelerinin kavşak yerlerinde bulunmasına rağmen Akdeniz İklim özelliğini taşımaktadır. Kış, İlkbahar ve Sonbahar mevsimleri oldukça kısa olup en uzun mevsim yazdır. Çalışma bölgesi mikro-klima iklim (bölgesel farklılıklar gösteren, özel koşullu küçük iklim alanları) özelliklerini taşımaktadır.

Genellikle çalışma alanında çam ve meşe ormanları araziyi örtmektedir.



Şekil 1.6 Çalışma alanına ait yer bulduru haritası

## 2. BÖLGESEL JEOLJİ

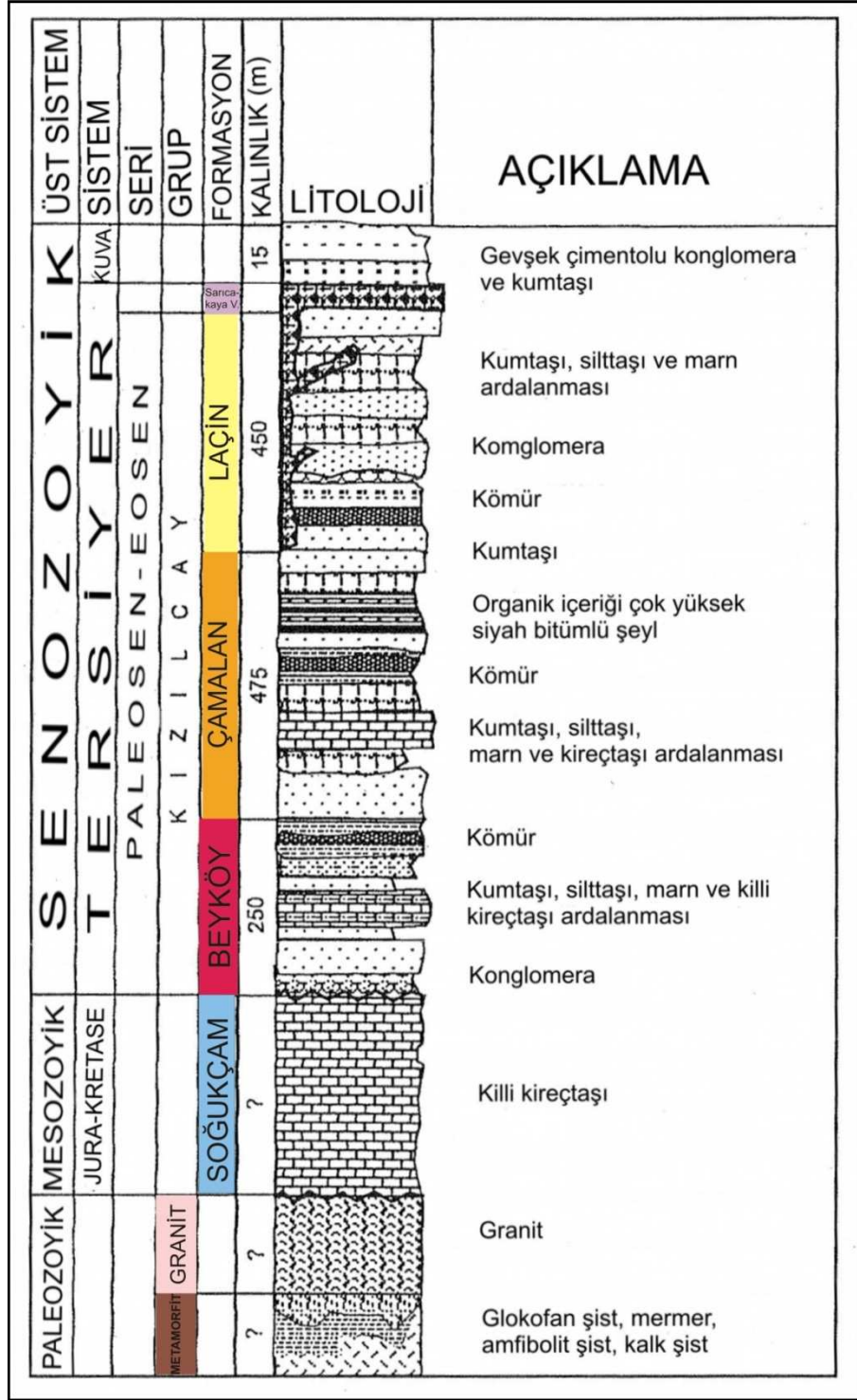
Çalışma alanı Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerden oluşmaktadır. İnceleme alanının en yaşlı birimlerini, Alt Paleozoyik yaşlı metamorfikler ve granitler oluşturur. Bunların üzerine uyumsuz olarak Mesozoyik yaşlı, Jura–Kretase, Soğukçam kireçtaşları yer alır. Bunun üzerine de yine uyumsuz olarak Senozoyik yaşlı birimleri arasında uyumlu, Paleosen–Eosen yaşlı Kızılçay Grubu yer almaktadır. Kızılçay Grubu en altta bulunan Beyköy Formasyonu ile başlamaktadır. Bu formasyon üzerine uyumlu olarak sırasıyla Çamalan ve Laçın Formasyonları gelmektedir. Sarıcakaya volkanitleri Eosenden itibaren üstündeki daha genç birimleri keser ve Laçın Formasyonunun da üzerini örter. Bunların da üzerine Neojen çökelleri ve alüvyonlar yer alır (Şekil 2.1, EK 1 - EK 3).

Eosen sonu Pliyosen öncesi zaman aralığında tektonik kuvvetlerin etkisiyle kuzeyden gelen birimlerle güneyde yer alan daha dayanıklı Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar arasında sıkışan çalışma alanındaki Paleosen-Eosen yaşlı birimler gerek bu zaman aralığında gerekse daha önce gelişen tektonizmaya bağlı olarak kıvrılmış ve kırılmıştır. Kıvrımlar, genellikle doğu-batı veya kuzeydoğu-güneybatı yönde uzanmaktadır. Fakat sıkışma sonucunda birimlerin kırılmış, kaymış ve karışık bir görünüm kazanmasından dolayı kıvrımları takip etmek güçleşmektedir. Kuzeyden güneye doğru, batıda Bendede Senklinali, Bendede Antiklinali, Karatepe Devrik Senklinali, Örencik Antiklinali, Göksarlık Senklinali, Tekirler Antiklinali, Çamalan Senklinali, Sarıkaya Antiklinali, Akbelen Tepe Senklinali, Düzköy Antiklinali ve Yenice Senklinali, doğuda ise İğdelitepe devrik Antiklinali, İğdelitepe Senklinali ve Köpekalanı Tepe Antiklinali gibi kıvrımlar şekillenmiştir.

Çalışma alanında belirlenen faylar, sürüklenim, ters fay, normal fay ve doğrultu atımlı faylar şeklindedir. En önemlisi çalışma alanının kuzeyinde doğu-batı yönünde uzanan Sarıcakaya sürüklenimidir. Bu sürüklenimle Paleozoyik yaşlı granitler, Jura-Kretase yaşlı Soğukçam kireçtaşları Paleosen-Eosen yaşlı birimlerin üzerine itilmiştir. Bu sürüklenimden önce gelişen normal fayları, sürüklenim sonrası oluşan ters faylar izlemiştir. Bu sürüklenimi Altınlı (1973) Tuzaklı-Gümele sürüklenimi olarak

adlandırmıştır. Ozan köyünün kuzeyinden geçen Bendede ve güneyinden geçen Ozan fayı çalışma alanında bulunan ters faylardır. Tekirler köyünden başlayıp Kanlıbelen tepesine kadar devam eden Tekirler fayı, Çamalan köyünün kuzeyinden geçen Çamalan fayı, Beyköy ve Beydili fayları normal faylar olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının kuzeybatısında Evliyanıngöbedi Tepe ile Celiloğlu arasında kuzey güney yönde uzanan Top Tepe fayı ise doğrultu atımlıdır.

Paleosen'den önce bölge düşey hareketlerin etkisi altında su dışına çıkmış ve aşınmaya uğramıştır. Paleosen'de kara halinde olan bölge akarsuların getirdiği malzeme ile Beyköy Formasyonu, suların birikimi ile oluşan ortamda ise Çamalan Formasyonu çökelmiştir. Bölge büyük olasılıkla Eosen ortalarında yeniden su yükselimi başlayıp, su yükseliminin yavaş yavaş ortadan kalkmaya başladığı sürede Laçın Formasyonunu oluşturan malzeme depolanmıştır. Bölgede Eosen'den sonra tektonik olayların etkisiyle kuzeyden gelen birimlerle güneyde yer alan dayanıklı Paleozoyik yaşlı birimler arasında kalmış, kıvrılmış ve kırılmıştır. Eosen sonrası volkanik faaliyetlerin etkisi bir süre daha devam etmiş ve sonrasında da bölge yaklaşık bugünkü durumunu almıştır.



Şekil 2.1 Bölgenin stratigrafik kolon kesiti (Granit ve Şener 1987)

## 2.1 Stratigrafi

### 2.1.1 Metamorfitletler (Pm)

Çalışma alanındaki en yaşlı birim olup, inceleme alanının güneybatısında yer almaktadır. Laçın ve Yenice köylerinin güneyinde gözlenmektedir. Daha önce yapılan araştırmalarda; Altınlı (1973) tarafından Ayırılanmamış Temel Karmaşığı, Demirkol (1977), Şentürk ve Karaköse (1979) tarafından Söğüt Metamorfitletleri, Gözler vd. (1985) tarafından Metamorfite kayaçlar olarak çeşitli isimler altında incelenmişlerdir. Genel olarak yeşil, mavi kirlı sarı veya gri renkli mika şist, klorit şist, glokofan şist, kuvarsit ve serizit şist ile temsil edilir. Metamorfitletlerin yaşı belirlenememiş olup, Yılmaz (1979)'a göre bölge metamorfitletlerin yeşil şist fasiyesini temsil ettiğini vurgulamıştır. Altınlı (1973) Permiyen öncesi, Demirkol (1977) ve Gözler vd. (1985) ise Jura öncesi yaşını vermişlerdir.

### 2.1.2 Granitler (Pg)

Çalışma bölgesinin kuzeybatısında yüzlek vermektedir. Burada meta granit ve ayrımış derinlik kayaçları gözlenmiştir. Meta granitlerde taneli dokular gözlenmektedir. Bunlarda ksenomorf oluşmuş kuvars kısmen kil mineralleşmesine dönüşmüş ortoz, kısmen epidotlaşmış albit, biyotit (yer yer kıvrımlanmış), hornblend ve az miktarda muskovit yer almaktadır. Ayrımış derinlik kayaçlarında ise daha fazla miktarda kuvarsa rastlanır, tamamen serizitleşmiş feldispat, opaklanmış amfibol kalıntıları ve az miktarda biyotit gözlenmiştir. Bunun dışında metamorfizma sebebiyle zayıf yönlenneler izlenmiştir. Çalışma alanında granitler Soğukçam kireçtaşlarının altında ve Sarıcakaya sürüklenimi ile birlikte Paleosen – Eosen yaşlı birimler üzerine gelmektedir. Altınlı (1973) bu birimi Granitler olarak adlandırıp yaşı Permiyen öncesi olarak belirlenmiştir. Demirkol (1977) birimin Karbonifer yaşlı olduğunu kabul edip Akçasu magmatikleri olarak adlandırılmışlardır. Bunun dışında Granit ve Şener (1987) Soğukçam kireçtaşları altında yer almalarından dolayı jura öncesine ait olduklarını belirtmişlerdir.

### **2.1.3 Soğukçam kireçtaşları (JKs)**

Çalışma bölgesinin kuzey kesiminde yer almaktadır. En iyi gözlemlendiği bölge çalışma alanının kuzeyidir. Birim doğuda bulunan Top Tepe bölgesine doğru devam etmektedir. Sarıcakaya sürüklenimi sınırını oluşturan Soğukçam kireçtaşları güneye doğru Beyköy Formasyonu üzerinde bindirmeli şekilde bulunmaktadır. Açık bej, grimsi, beyaz renkleri içerebilmektedir. Killi mikritik özellikte ve çatlaklı olup şeyl, kumtaşı arabantlarına sahiptir. Bazı seviyelerinde bol fosil içeriğine sahip olabilmektedir. Granitler üzerinde açılabilir uyumsuzlukla yer almaktadır. Heper'in (2001) yaptığı paleontolojik çalışmalara göre sünger spikülleri, ekinit kırıntıları, Tintinos pella Longa, mavi-yeşil alg, mollusk kavkuları, Milliolidae, Textularidae gibi fosiller belirlemiş olup, fosil içeriğine ve dokanak ilişkisine göre birimin yaşını Üst Jura – Alt Kretase olarak kabul etmiştir. Altınlı (1973), Saner (1980), Granit ve Şener (1987) birimi aynı isimle adlandırılmış olup, yaşını Jura – Alt Kretase olarak kabul etmişlerdir. Araştırmacılar birimin pelajik fosiller içerdiğini ve sakin sularda depolandığı belirtmişlerdir.

### **2.1.4 Kızılçay grubu**

Gölpazarı güneyinde Eroskay (1965) tarafından Kızılçay formasyonu olarak tanımlanmıştır. Daha sonra Altınlı (1973) ve Saner (1980) tarafından Kızılçay Grubu olarak tanımlanan bu formasyon Granit ve Şener (1987) tarafından da Kızılçay grubu olarak tanımlanıp Beyköy, Çamalan ve Laçın formasyonlarından oluştuğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada da Kızılçay Grubu tanımlaması uygun görülmüş ve Beyköy, Çamalan ve Laçın formasyonları şeklinde incelenmesi uygun görülmüştür. Kızılçay Grubu tabanda çakıltaşları, kumtaşları ve kömür arabantlı Beyköy Formasyonu ile başlayıp üste doğru kumtaşı, marn, bitümlü şeyl, çakıltaşı ardalı Çamalan Formasyonu ile devam etmektedir. Bu formasyon içerisindeki bitümlü şeyller genel olarak çalışmanın örneklerini oluşturmaktadır. Üstlere doğru Sarıcakaya Volkanitlerinin kestiği tabanda kömür çakıltaşı içeren kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı, şeyl ardalımları ile devam eden bir litolojiye sahiptir. Çamalan Formasyonu üzerine uyumlu olarak çakıltaşı, kumtaşı, şeyl, kireçtaşı ardalımlarına sahip Laçın Formasyonu gelmektedir. Bu formasyon içerisine Sarıcakaya Volkanitleri damar şeklinde sokulum yapmıştır.

Bunun yanında doğuda Beydili Kayasında ve Kanlıbelen Tepesinde, güneydoğuda ise Korkuterenler Tepesinde Kızılçay Grubu içerisinde Sarıcakaya Volkanitlerinin yayılımı gözlenmektedir.

#### **2.1.4.1 Beyköy formasyonu (Tb)**

Birim, çalışma alanının batısında, Beyköy köyü çevresinde en iyi gözlemlenmektedir. Bundan dolayı Granit ve Şener (1987) bu birimi Beyköy formasyonu olarak isimlendirmişlerdir. Formasyon Beyköy köyü dışında Örencik yakınındaki Göksarlık Tepede, Ozan köyü kuzeyi, Kapankezi Tepe ile Top Tepe arasındaki alanda, Subaşıdere köy civarı ve Aktepe civarlarında gözlenmektedir. Beyköy Formasyonu çakıldaş, kumtaşı, marn ve killi kireçtaşları şeklinde bir ardalana sahiptir. Formasyon da genelde kırmızı renk hakim olmakla birlikte yer yer kül rengi ve sarımsı kırmızı renklere sahiptir. Yapılmış araştırmalara göre Beyköy Formasyonunun Paleosen yaşını temsil ettiği kabul edilmiştir (Eroskay 1965, Altınlı 1973, Şentürk ve Karaköse 1979, Gözler vd. 1985). Saner'e (1980) göre ise Kızılçay Grubunun yaşı Üst Kretase – Paleosen olarak kabul edilmiştir.

#### **2.1.4.2 Çamalan formasyonu (Tç)**

Birim en iyi temsil edildiği yerin Çamalan köyü ve civarı olması sebebiyle Granit ve Şener (1987) tarafından Çamalan Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Çalışma alanının batısından doğusuna kadar geniş bir alanda yayılım göstermektedir. Örencik köyünün batısından başlayarak, Tekirler, Çamalan, Ozan, Beydili köyleri civarından Subaşıdere köyünün batısına kadar yayılım gösterir. Çamalan Formasyonu kumtaşı, marn, kireçtaşı ve gri-koyu gri şeyl ve marn ardalanaşması şeklinde bir litoloji sergilemektedir. Formasyon içerisinde yer yer linyit damarları gözlenmektedir. Bu formasyon organik maddece zengin kayalardan oluştuğundan dolayı çalışmanın ana materyalini oluşturmaktadır. Tekirler bölgesi civarından Çamalan Formasyonuna ait numunelerinden yapılan nanoplantolojik çalışmalarda şu fosillere rastlanmıştır; *Fasciculithus tympaniformis*; *Sphenolithus radians*; *Chiasmolithus solitus*; *Sphenolithus*



*anarrhopus*; *Coccolithus pelagicus*; *Cruciplacolithus primus* (sözlü olarak Manolya Sınacı). Bu fosillere göre formasyon yaşının Paleosen – Eosen olduğu belirlenmiştir.

#### 2.1.4.3 Laçın formasyonu (T1)

Birim en iyi Laçın köyü civarında gözleendiğinden dolayı bu isim verilmiştir (Granit ve Şener 1987). Formasyon Sakarya nehri güneyinde, Yenice ve Kuzular köyleri çevresinde, Çamalan kuzey ve doğusunda ve Ozan köyü civarında doğu-batı uzanımlı bir şerit halinde yayılım göstermektedir. Formasyon çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı, marn aralanması ve kömür seviyeleri bulunup sarımsı kırmızı, beyazdan griye değışen renkler ile temsil edilmektedir. Granit ve Şener'in (1987) yapmış olduğu palinolojik çalışmaya göre;

*Leiotriletes* sp.

*Laevigatesporites haardti* Pot., Ven

*Inaperturopollenites dubius* Pot.

*Inaperturopollenites hiatus* Pot.

*Inaperturopollenites emmaensis* Mürr., Pflug.,

*Triatriopollenites excelsus* (R.Pot.), Th., Pf.

*Triatriopollenites rurensis* (Pflug. ve Thomson).

*Triatriopollenites bituites* (Pot) Th., Pf.

*Triatriopollenites coryphaeus* Pflug. Thomson.

*Triatriopollenites plicatus* (R.Pot) Th., Pf.

*Subtriporopollenites* sp

*Intratiporopollenites instructus* pot., Ven.

*Tricolpopollenites microhenrci* (Pot.) Th., Pf.

*Tricolpopollenites cingulum* Pflug.

*Tricolpopollenites megaexactus* Pflug

Fosilleri belirlenmiş olup, Paleosen-Eosen yaşı verilmiştir. Birim alttan Çamalan Formasyonu ile geçişli üstte ise Sarıcakaya Volkanitleriyle uyumsuz olarak

bulunmaktadır. Sarıcakaya Volkanitleri aynı zamanda Laçın Formasyonunu keserek damar şeklinde sokulum yapmaktadır.

### **2.1.5 Sarıcakaya volkanitleri (Tsv)**

Birim çalışma alanının doğu ve kuzeydoğu bölgelerinde yayılım göstermektedir. Andezit ve bazaltlardan oluşmaktadır. Sarıcakaya volkanitleri Pliyosen yaşlı genç çökeller altında yer alarak, Paleosen-Eosen yaşlı formasyonları da kesmektedir.

### **2.1.6 Pliyosen çökelleri (Pl)**

Çalışma alanının doğusuna doğru, Beydili Köyü kuzey doğusu civarında yüzlekler vermektedir.

### **2.1.7 Kuvaterner çökelleri (Qal)**

Alüvyonlar, çalışmanın doğu-batı yönünde uzanan Sakarya Nehri etrafında gözlenmektedir. 0-15 m kalınlıklarda değişen çakıl, kumdan oluşan genç çökeller olarak yer alır.

## **2.2 Tekirler Bölgesi (Nallıhan/Ankara) Ölçülü Stratigrafik Kesiti**

Tekirler ölçülü stratigrafik kesiti Tekirler köyünün kuzeyinde ve Göksarlık Tepenin doğusundan alınmıştır (koordinatlar: başlangıç = 20355-44460; bitiş = 20200-45350). Kesit 517,30 m kalınlıkta olup, 70 adet örnek temin edilmiştir (EK 4) (bunlardan 22 adedi üzerinde organik jeokimyasal analizler gerçekleştirilmiştir). Tekirler ÖSK'sı kayaçları kalkarenit, marn, dolomitli kiltası, bitümlü şeyl (Foto 1.5, 1.6, 1.7), kireçtaşı litolojilerinden oluşmaktadır. Tabanda 20 m kalınlığında kalkarenit-marn ardalanması şeklinde başlamaktadır. Devamında gelen 20 m kalınlığında kalkarenit dolomitli kiltası ardalanmasının üzerine değişen kalınlıklarda kalkarenit, kiltası, bitümlü şeyl ardalanması bulunmaktadır (EK 4).



Foto 1.5 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl tabakasının görüntüsü



Foto 1.6 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl tabakasının görüntüsü



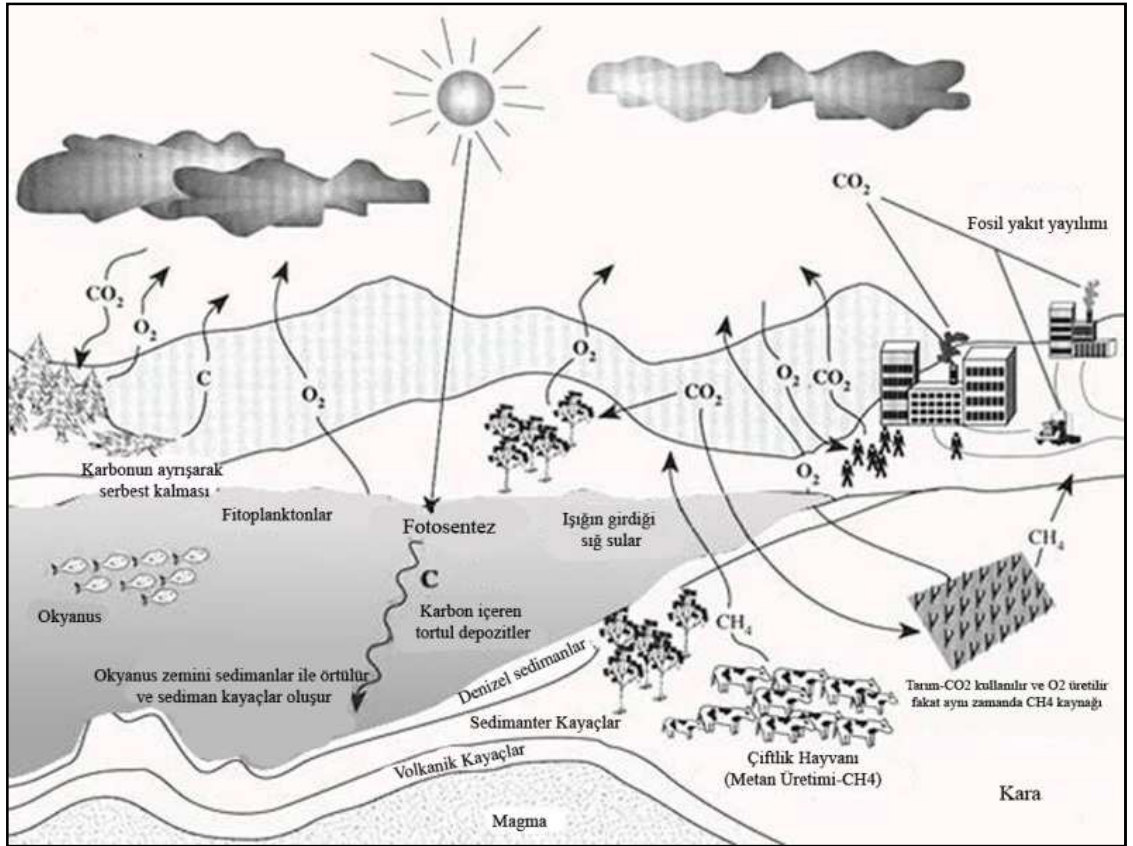
Foto 1.7 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl tabakasının görüntüsü

### 3. ORGANİK JEOKİMYASAL İNCELEMELER

#### 3.1 Organik Maddece Zengin Sedimanlar

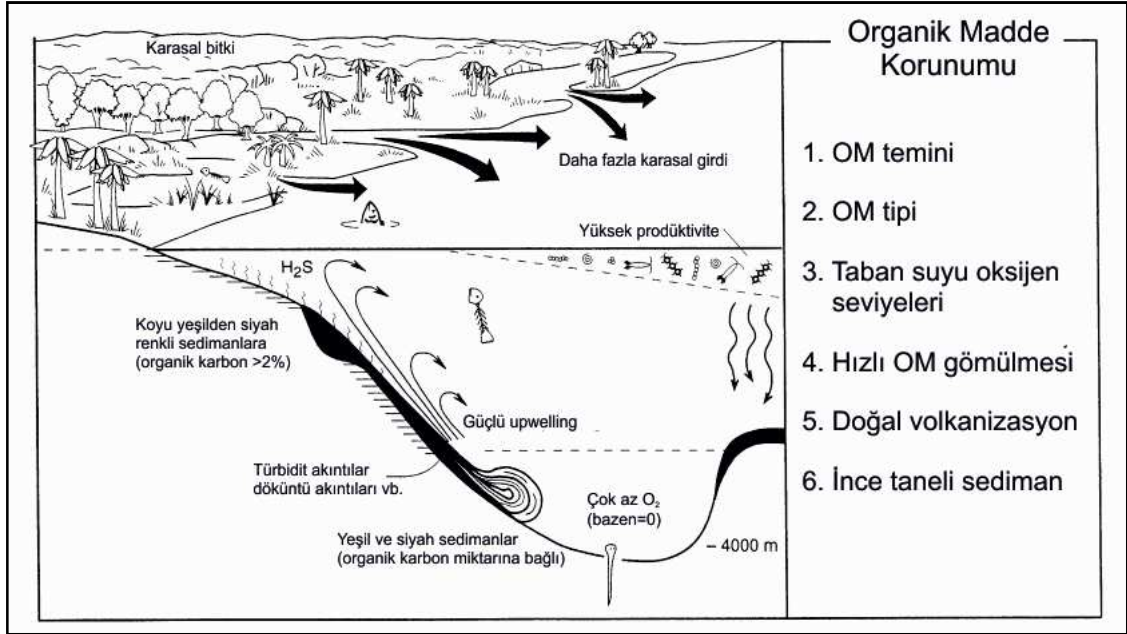
En geniş anlamıyla sedimanter kayaçların biyojenik bileşimleri olarak tanımlanabilen “organik madde” genellikle sulara, toprakta, sedimanlarda ve güncel veya güncel olmayan kayaçlar içerisinde dağılık (dissemine) olarak bulunmakta (Şekil 3.1) olup, farklı disiplinlerde çeşitli araştırmaların konusunu oluşturur.

Sedimanter organik madde, yaşayan organik maddelerden türemektedir. Bu organizmaların ölümünden sonra karbonhidrat, lipidler, proteinler, lignin gibi birleşik maddeler sedimantasyon ortamına bağlı olarak çeşitli derecelerde ayrışmalara maruz kalmaktadır. Bu parçalanma sonucunda açığa çıkan bazı ürünlerin başka organizmalar tarafından enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla tekrar geri dönüşüm sağlanmaktadır.



Şekil 3.1 Karbon çevrimi (<http://www.disc.sci.gsfc.nasa.gov>, 2012)

Sedimanların organik madde içeriği ve verimliliği, korunma ve sedimentasyon oranları ile ilişkilidir. Yani buna bağlı olarak organik maddenin kayaç içerisinde zenginleşmesinde taşınma, depolanma ve korunma süreçlerinin önemi büyüktür (Şekil 3.2, Stow vd. 2001).



Şekil 3.2 Organik madde korunumu (Arthur ve Sageman 1994'den türkçeleştirilmiştir)

Organik kayaçları; kömürler, bitümlü şeyller, bitüm empenye olmuş kayaçlar ve katranlı kumlar olmak üzere dört grupta toplamak mümkündür. Ayrıca “katı bitümler”, “katılaştırılmış bitümler” veya “pirobitümler” olarak sınıflandırılan bir organik materyaller vardır.

### 3.1.1 Bitümlü şeyller

#### 3.1.1.1 Bitümlü şeyl tanımı ve sınıflaması

Bitümlü şeyller için kabul edilebilir tanımlar dikkate alındığında bitümlü şeyllerin ortak özellikleri, siyah-gri renklere, ince tane boylu, laminalı, organik maddenin yaklaşık %20'sini oluşturan çözülebilen “bitüm” ve organik çözücülerde çözilemeyen “kerojen” den oluşan, petrol kaynak kayasından daha çok kerojen (% 1- 40 TOC), kömürden ise daha az kerojen içeren ve daha fazla miktarlarda (% 60-90) mineral

madde içeren, yakıt içerisinde rafine edilebilen, yakıldıklarında en az % 33 oranında kül bırakan ince taneli sedimentler veya sedimanter kayalar olarak tanımlanırlar. Bitümlü şeyller kerojenin petrole dönüşümü için gerekli olan yüksek sıcaklıklara da nadiren maruz kalan fakat kuru distilasyonla önemli miktarlarda yanabilir gaz ve petrol elde edilen kayaçlardır (Yen ve Chilingarian 1976, Nadkarni 1983, Leventhal 1998, Stow vd. 2001, Dyni 2003).

Bitümlü şeyllerin depolanma ortamları, organik maddenin petrografik karakteri ve öncü organizmaların tanımlanması göz önünde bulundurularak Hutton (1991) tarafından kullanışlı güncel bir sınıflama geliştirilmiştir. Sınıflamada bitümlü şeyllerden türeyen hidrokarbonların kimyasıyla, bitümlü şeyllerdeki organik maddenin farklı türlerini karşılaştırılmaktadır. Hutton (1991) tarafından geliştirilen sınıflama aşağıdaki gibidir;

1. Bitüm içeren kayalar
2. Petrollü şeyller
  - a. Karasal petrollü şeyl
    - Cannel coal (ince taneli donuk kömür)
  - b. Gölsel petrollü şeyl
    - Lamosit
    - Torbanit
  - c. Denizel petrollü şeyl
    - Kukersit
    - Tasmanit
    - Marinit
3. Hüyük kömürler

### **3.1.1.2 Bitümlü şeyllerdeki organik ve inorganik bileşenin kökeni**

Bitümlü şeyllerdeki organik bileşen, farklı tiplerdeki denizel ve gölsel algler, spor, polen, bitki kütikül kalıntıları, otsu ve odunsu bitkilerin parçaları ve diğer karasal, gölsel ve denizel bitkilerin hücre kalıntılarını içerir. Bu materyaller başlıca C, H, O, N ve S' ten meydana gelir. Bazı organik maddelerin belli bir yapısı yoktur. Bunlar "amorf" (bitüminit) olarak tanımlanırlar ve muhtemelen parçalanmış alg veya plankton kalıntılarının karışımından oluşurlar. Bitki resinleri ve mumsu maddelerin (waxy) küçük miktarları da organik maddeye katılır. Fosfat ve karbonat minerallerinden oluşan fosil

kabukları ve kemik parçaları ise bitümlü şeylin mineral matriksinin bir parçası olarak göz önünde bulundurulur.

Bitümlü şeyllerin inorganik bileşenleri ise, çökelme ortamı ve çökelme koşulları hakkında önemli bilgiler sunarlar. Bitümlü şeyllerin inorganik bileşenleri olan mineraller ayrıca iklim, canlı türü, çözeltinin kimyasal karakteri ve alterasyon hakkında da bilgi verirler. Bu kayaçların mineral fraksiyonu değişik oranlarda yaygın spor ve alglerden (Dinoflagelatta, Tasmanaceae, Botryococcaceae Diatomaceae, Foraminifera, Radiolaria gibi), detrital mineral tanelerinden (kuvars, feldispat, mika ve killer gibi), kimyasal ve biyolojik olarak çökelen minerallerden (kalsit, dolomit, biyojenik silika ve apatit gibi) ve otijenik ve diyajenetik minerallerden (kil, feldispat, barit ve pirit gibi) oluşur (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Bitümlü şeyl bileşenleri

<b>Bitümlü Şeyl</b>		
<b>Kerojen</b> (CS <sub>2</sub> çözünemeyen) (U, Fe, V, Ni, Mo içeren)	<b>Bitüm</b> (CS <sub>2</sub> çözünebilen)	<b>İnorganik Matriks</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Kuvars</li><li>▪ Feldispat</li><li>▪ Killer ( esas olarak illit ve klorit)</li><li>▪ Karbonatlar (kalsit ve dolomit)</li><li>▪ Pirit ve diğer mineraller</li></ul>

### 3.1.1.3 Bitümlü şeyllerin depolanma ortamları

Bitümlü şeyller gömülme ve diyajenez gibi faktörlere bağlı olarak biyota (göl ya da deniz ortamında yaşayan algler, çeşitli etkenlerle karadan taşınan ot, yosun, yaprak ve spor-pollenler) bozunmasından türeyen organik parçalanma ve bozuşma ürünlerinin ve ince taneli mineral artıklarının (inorganik materyal) aynı zamanda depolanması ile oluşurlar. Kalın bitümlü şeyl yataklarının oluşabilmesi için gerekli olan genel koşullar, zengin organik madde üretkenliği ve anaerobik koşulların meydana gelişi ile tahrip edici aerobik organizmaların azlığını kapsar. Bitümlü şeyl çökelme ortamlarını üç



grupta toplamak mümkündür. (1) büyük göller (2) deniz tabanına yakın su sirkülasyonunun kısıtlı olduğu genellikle kıtasal platformlar ve kıtasal şelfler üzerindeki sığ denizler ve (3) küçük göller, bataklıklar ve lagünlerle birlikte kömür oluşturan bataklıklar.

#### **3.1.1.4 Bitümlü şeyllerin kullanım alanları**

Bitümlü şeyl depoları dünyanın birçok yerinde Kambriyen'den günümüze kadar uzanan yaş aralığında bulunmaktadır. 700 metre veya daha fazla kalınlıklara ulaşan ve binlerce kilometre kare alan kapsayan devasa depolar mevcuttur.

Birçok bitümlü şeyl çökeli mi ekonomik potansiyelde olup, yüzeyde veya yüzeye yeteri kadar yakında olması ile açık ocak, klasik yer altı madenciliği veya yerinde (insitu) metodlarla işletilir. Bitümlü şeylerden retort edilebilen petrolün miktarı kayanın ağırlığının yaklaşık % 4' ü ile % 50' sinden daha fazlası veya 1 ton kayada yaklaşık 10-150 galon petroldür.

Bitümlü şeyllerin birçok yararlanma olanakları vardır. Bunlardan bazıları; yaklaşık %10 veya daha fazla kerojen içerenlerden sentetik petrol ve gaz üretiminde, ısısız gücü en az 850 Kcal/kg olanlardan termik santrallerde katı yakıt olarak, artık şeyllerden (küllerden) çimento hammaddesi olarak ve refrakter tuğla yapımında, içerdiği nadir elementlerden, son yıllarda tarımda gübre ve toprak stabilizatörü olarak ve adsorban karbon ve aktif karbon üretiminde yararlanmadır. Şeyller ve çamurtaşları genellikle yüksek kil minerali içerirler. Bu nedenle killerin kullanıldığı alanlar, bitümlü şeyllerin kullanım alanları için de geçerlidir. Günümüzde killerin imalat endüstrisinde muhtelif kullanım alanları vardır.

#### **3.2 Organik Jeokimyasal Analizlerin Uygulanması ve Yorumu**

Petrolün kökeninin organik olması; kayalar içindeki organik maddelerin türünün, miktarının ve olgunluk derecesinin bilinmesinin petrol aramacılığının ilk çalışmalarından olmasını gerektirmektedir. Herhangi bir çökeltme ortamında bir petrol kaynak kayasının gelişebilmesi için sedimentlerle beraber çökelen organik maddenin

ekonomik anlamda petrol trmn gerçekleştirebilecek miktar, tip ve olgunlukta olması gerekir. Bu bağlamda, kaynak kaya potansiyeline sahip katmanların, bu katmanların yayılımlarının ve paleocoğrafya ile olan ilişkilerinin, petrol tretebilecek olgunluğa ulaştıkları jeolojik zaman aralığının, derinliğinin ve bölgesinin, oluşan petrolün hangi yollarla, ne miktarda ve ne zaman gtğnn, kapan oluşumu ile petrol türüm ve g zamanları arasındaki ve göçme yolları ile kapan yerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve buna bağlı olarak da kaynak kayaların üretim potansiyelinin tespit edilmesi açısından organik jeokimyasal incelemeler son derece önemlidir.

### **3.2.1 Bitümlü ŗeyl örneklere ait piroliz analizleri**

Bu tez kapsamında incelenecek olan Tekirler (Nallıhan/Ankara) Bölgesi'ne ait bitümlü ŗeyl rneklarının Rock-Eval piroliz sonuçları izelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin Rock-Eval Piroлиз Analizi sonuçları

Örnek No	TOC, wt %	S <sub>1</sub> , mg HC/g kaya	S <sub>2</sub> , mg HC/g kaya	S <sub>3</sub> , mg CO <sub>2</sub> /g kaya	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	PY (S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> ), ppm	PI S <sub>1</sub> /(S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> )	T <sub>max</sub> , °C	HI (S <sub>2</sub> /TOC), mg HC/g kaya	OI (S <sub>3</sub> /TOC), mg HC/g kaya	RC, %	PC, %	S <sub>1</sub> /TOC
TK 61	4,37	1,41	31,07	1,50	20,71	32480	0,04	435	711	34	1,58	2,79	0,32
TK 58	5,57	0,58	42,46	1,87	22,71	43040	0,01	439	762	34	1,88	3,69	0,10
TK 55	2,64	0,31	15,43	0,89	17,34	15740	0,02	437	584	34	1,26	1,38	0,12
TK 52	4,31	0,72	34,51	1,27	27,17	35230	0,02	437	801	29	1,31	3,00	0,17
TK 50	2,80	0,26	18,51	1,14	16,24	18770	0,01	436	661	41	1,17	1,63	0,09
TK 46	5,69	0,43	40,65	2,26	17,99	41080	0,01	438	714	40	2,14	3,55	0,08
TK 43	2,37	0,50	15,25	0,89	17,13	15750	0,03	434	643	38	1,00	1,37	0,21
TK 40	4,82	0,48	34,30	1,75	19,60	34780	0,01	439	712	36	1,83	2,99	0,10
TK 38	4,84	0,95	41,10	0,76	54,08	42050	0,02	444	849	16	1,29	3,55	0,20
TK 36	6,38	0,72	47,82	2,62	18,25	48540	0,01	441	750	41	2,21	4,17	0,11
TK 33	10,41	1,49	79,20	4,54	17,44	80690	0,02	440	761	44	3,47	6,94	0,14
TK 31	5,60	0,33	42,25	1,93	21,89	42580	0,01	441	754	34	1,95	3,65	0,06
TK 29	11,65	0,84	88,37	4,11	21,50	89210	0,01	442	759	35	4,00	7,65	0,07
TK 25	4,36	0,30	34,72	0,88	39,45	35020	0,01	441	796	20	1,38	2,98	0,07
TK 23	6,91	0,87	53,40	2,62	20,38	54270	0,02	441	773	38	2,25	4,66	0,13
TK 20	6,29	0,85	47,78	2,25	21,24	48630	0,02	441	760	36	2,12	4,17	0,14
TK 19	12,42	1,79	100,44	2,82	35,62	102230	0,02	446	809	23	3,70	8,72	0,14
TK 16	6,65	0,90	59,25	1,31	45,23	60150	0,02	444	891	20	1,56	5,09	0,14
TK 13	5,62	0,47	45,49	1,28	35,54	45960	0,01	441	809	23	1,71	3,91	0,08
TK 11	9,69	2,53	85,28	1,77	48,18	87810	0,03	444	880	18	2,28	7,41	0,26
TK 8	10,15	1,25	82,99	2,60	31,92	84240	0,01	442	818	26	2,99	7,16	0,12
TK 5	5,39	0,53	37,97	1,74	21,82	38500	0,01	437	704	32	2,08	3,31	0,10
<b>Ortalama</b>	6,32	0,84	49,01	1,95	26,88	49852,27	0,02	440	759,14	31,45	2,05	4,06	0,13

### 3.2.1.1 Toplam organik karbon miktarı (TOC)

Toplam organik karbon miktarı (TOC, wt %), kayacın içindeki kerojene ait karbon miktarı ile bu kerojenden türemiş fakat kayaç dışına atılamamış hidrokarbonlara ait karbonların toplamının genellikle yüzde ağırlık cinsinden değerini ifade eder (Hunt 1995). Toplam Organik Karbon analizi kayaç içerisinde bulunan organik karbon miktarını belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Bu analiz Leco metodu, Carmhograph metodu veya Rock-Eval metoduyla yapılabilmektedir. Bir kayaç örneğinin TOC değeri organik maddenin hava veya oksijen atmosferi altında yakılması ile ölçülmektedir. Bu sıcaklık Leco için 1500°C, Carmhograph için 1100°C ve Rock-Eval için 600°C'dir. Kaynak kayaların ticari miktarda petrol türetebilmeleri için belirli miktarda organik madde içermeleri gerekmektedir. 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).

Araştırmacılar şeyl kaynak kayalarını organik karbon yüzdelere göre çizelge 3.3'deki gibi farklı şekilde sınıflandırmışlardır (Jarvie 1991, Tissot ve Welte 1984, Peters ve Cassa 1994).

Çizelge 3.3 Çeşitli araştırmacılara göre TOC sınır değerleri ve kaynak kaya, petrol potansiyeli sınıflaması

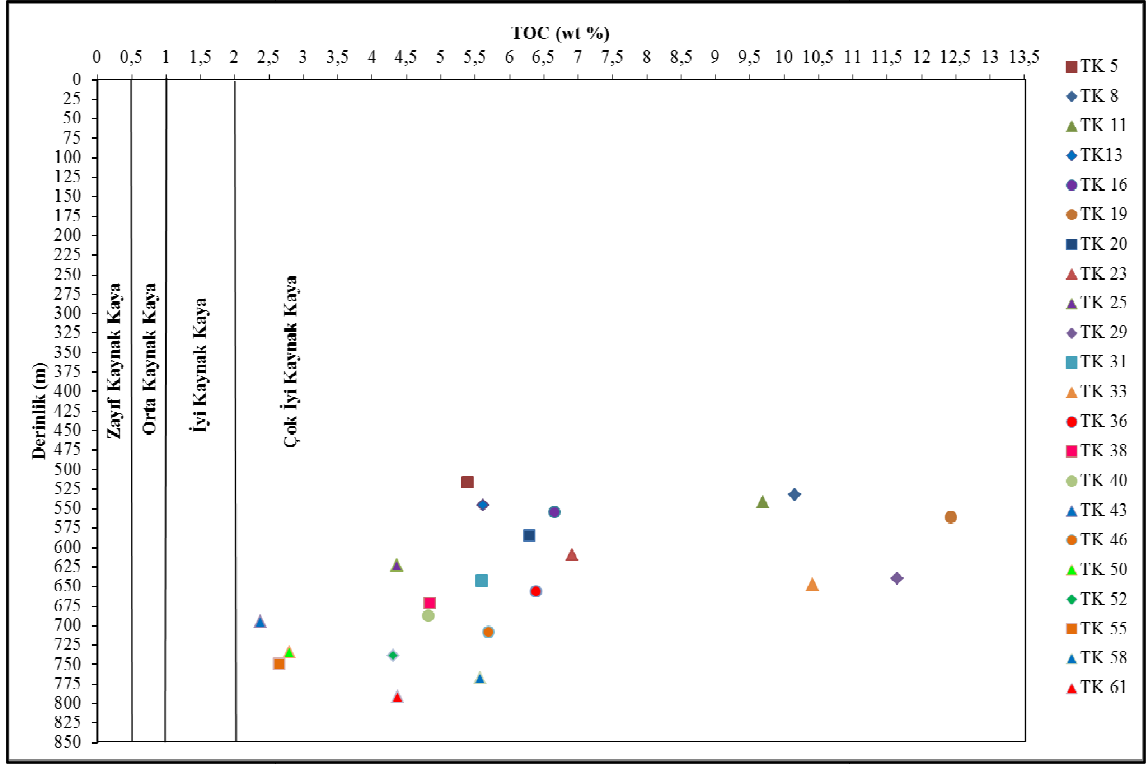
Tissot ve Welte (1984)		Jarvie (1991)		Peters ve Cassa (1994)	
TOC (wt %)	Kaynak Kaya Kalitesi	TOC (wt %)	Kaynak Kaya Kalitesi	TOC (wt %)	Petrol Potansiyeli
0,1 – 0,5	Zayıf	0– 0,5	Yetersiz	0 – 0,5	Zayıf
0,5 – 1	Orta	0,5 – 1	Orta	0,5 – 1	Orta
1 – 2	İyi	>1	Yeterli	1 – 2	İyi
2 – 10	Zengin			2 – 4	Çok iyi
				>4	Mükemmel

Buna göre, Tekirler bölgesine ait incelenen 22 adet bitümlü şeyl örneğinin Rock-Eval analizinden elde edilen Toplam Organik Karbon (TOC) değerleri % wt 2,37-12,42 arasında değişmekte olduğundan (ortalama % wt 6,32), bu değerler birimin zengin (Tissot ve Welte 1984), yeterli (Jarvie 1991), mükemmel (Peters ve Cassa 1994) kaynak kaya potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4 Tekirler bölgesi bitümlü şeylerine ait toplam organik madde miktarları ve kaynak kaya, petrol potansiyelleri

Örnek No	TOC, wt %	Tissot ve Welte (1984)	Jarvie (1991)	Peters ve Cassa (1994)
TK 61	4,37	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 58	5,57	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 55	2,64	Zengin	Yeterli	Çok iyi
TK 52	4,31	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 50	2,80	Zengin	Yeterli	Çok iyi
TK 46	5,69	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 43	2,37	Zengin	Yeterli	Çok iyi
TK 40	4,82	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 38	4,84	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 36	6,38	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 33	10,41	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 31	5,60	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 29	11,65	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 25	4,36	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 23	6,91	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 20	6,29	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 19	12,42	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 16	6,65	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 13	5,62	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 11	9,69	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 8	10,15	Zengin	Yeterli	Mükemmel
TK 5	5,39	Zengin	Yeterli	Mükemmel

İncelenen örnekler derinlikle (m) ilişkilendirilmiş TOC (wt %) grafiğinde değerlendirildiğinde de, örneklerin 516,5 m – 790,8 m derinlik arasında değiştiği ve çok iyi kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Bölgeye ait örneklerin derinlikle ilişkilendirilmiş TOC içeriğindeki değişimlerine bağlı kaynak kaya gelişimi (Maky ve Ramadan 2008)

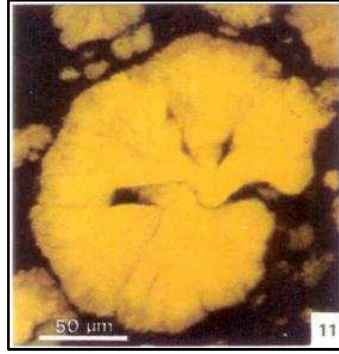
Potansiyel petrol kaynak kayalarını belirlemek için tek başına toplam organik karbon miktarını kullanmak yeterli bir ölçüt değildir. Örneğin gaz oluşturmaya yatkın karasal organik maddeler ya da daha önceki sedimanter döngülerle yeniden işlenen ve depolanan organik maddeler eski denizel sedimentlerde yüksek seviyede organik karbon birikimi meydana getirirler. Bu yanıltıcı durumdan dolayı yüksek organik karbon içeriği her zaman zorunlu olarak potansiyel petrol kaynak kayalarına işaret etmeyebilir.

### 3.2.1.2 Organik madde tipi

Bir havzada üretilebilecek hidrokarbonların petrol ve/veya gaz olması mevcut organik maddenin tipiyle ve onların kimyasal bileşimleriyle alakalıdır.

Genel olarak kerojen tipleri kimyasal özelliklerine göre üç gruba ayrılmaktadır (Tissot ve Welte 1984).

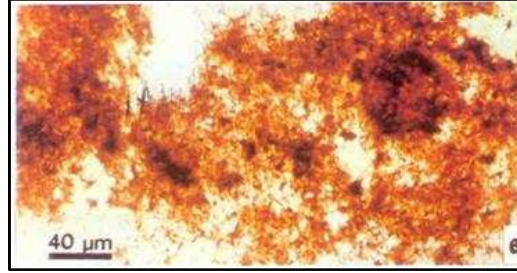
1. Tip I Kerojen (Algal Kerojen): Özellikle gölssel ya da denizel kökenli basit yapılı Botryococcus ve Tasmanites gibi planktonik alglerden türemişlerdir (Şekil 3.4). Kimyasal yapısında alifatik zincirler son derece bol olup, az oranda aromatik bileşikler bulunur. Oldukça yüksek atomik H/C (yaklaşık 1,5 veya daha yüksek) oranına ve düşük atomik O/C (genellikle 0,1'den daha düşük) oranına sahiptir. H/C oranı yüksek uzun zincirli hidrokarbonlar, ısıl ayrışma nedeniyle parçalanarak H/C oranı yüksek kısa zincirli hidrokarbonlardan yapıları olan ham petrolü türetir. Özellikle alifatik bağlara sahip tercihen lipid materyal içermektedir. Buna bağlı olarak da petrol üretme yetenekleri çok yüksektir.



Şekil 3.4 Koloni halindeki algler, Botryococcus braunii, İskoçya Permiyen'i mikroskopik görüntüsü (Durand 1980)

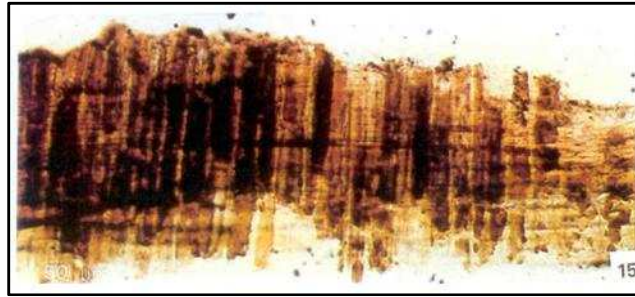
2. Tip II Kerojen (Lipid Kerojen): Genellikle spor, polen, karasal bitki kütikülleri, bitki tohumları, yaprakların ve ağaçsal reçinelerinin yağ ve mumsu bileşenlerinden, bakteri kalıntılarında ve denizel planktonlardan oluşurlar (Şekil 3.5). Kimyasal yapısındaki aromatik bileşikler Tip I kerojene göre daha fazladır. Moleküler yapısında H/C oranı Tip I kerojene göre düşük, O/C oranı

ise daha yüksektir ve özellikle çoğu petrol kaynak kaya ve petrol şeylerinde yoğun tip kerojenidir. Tip II kerojenler denizel ve karasal kökenli organik maddelerin birlikte bulunduğu yerlerde oluşmaktadır. Bu nedenle petrol oluşturma yeteneği Tip I kerojene göre daha azdır.



Şekil 3.5 Süngerimsi organik madde, Avustralya Kretase'si mikroskobik görüntüsü (Durand 1980)

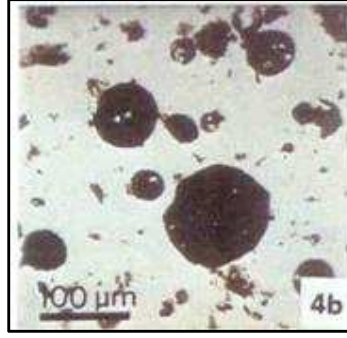
3. Tip III Kerojen (Odunsu Kerojen): Karasal kökenli yüksek ağaçlar, yüksek bitkiler ve selüloz'lu organik maddelerden türemiştir (Şekil 3.6). Kimyasal yapılarında aromatik bileşikler hakimdir. Oldukça düşük H/C (genellikle  $< 1$ ) ve yüksek O/C (0,2 veya 0,3 kadar) oranlara sahiptir. Tip I ve II kerojenlerin petrol tütetme potansiyellerine nazaran Tip III kerojenin gaz tütetme potansiyeline sahip olmaktadır.



Şekil 3.6 Odunsu kalıntı, Kuzey Tersiyer'i mikroskobik görüntüsü (Durand 1980)

4. Tip IV Kerojen ise; çok fazla oksidasyon koşulları altında kalan, önceki depolanma ortamından aşınarak yeniden bir araya gelen değişik kökenli organik maddelerdir (Şekil 3.7) ve jeokimyasal incelemelerde önem arzetmezler.





Şekil 3.7 Tip IV Kerojen mikroskobik görüntüsü (Durand 1980)

Çizelge 3.5 Kerojen tiplerinin kaynağı ve karakteristikleri (Wignall 1994, Potter vd. 2005)

KEROJEN TİPİ	KAYNAK	KARAKTERİSTİKLERİ
Tip I	Tatlı su algi	Hidrojen zengin, Oksijen fakir Petrol üretimi için mükemmel potansiyel
Tip II	Spor, polen, karasal bitki kütikülleri, lipidler, resinler; denizel alg	Tip I ve Tip III karışımı
Tip III	Karasal bitkiler, ağaçlar ve Selüloz	Düşük H/C oranı, Yüksek O/C oranı Gaz üretimi için mükemmel potansiyel
Tip IV	Yanmış kömür, okside olmuş materyaller	Düşük H/C oranı, Yüksek O/C oranı Gaz üretimi için zayıf potansiyel

Kerojenler mikroskobik özelliklerine göre de iki bölümde incelenmektedir.

1. Amorf kerojen: Planktonik alglerden türemiş, belirgin bir dış yapısı ve şekli olmayan, ilksel rengi sarı veya turuncu organik maddelerdir. Amorf kerojenler hidrojen zengin lipitlerce zengin olduklarından Önemli ölçüde sıvı hidrokarbon yani petrol üretirler. Amorf kerojenlerin genel olarak Tip I ve Tip II kerojenin eşdeğeri olduğu kabul edilebilir (Çizelge 3.5).
2. Hümit kerojen: Başlıca selüloz, lignin ve karbonhidratlardan türemiş, belirgin bir dış yapıya sahip özellikle karasal ağaç ve yüksek bitki kökenli olan bu tür kerojenlerin petrol üretme yeteneği zayıf olup, gaz oluşumu için önemlidirler. Genel olarak Tip III kerojenin eşdeğeri olarak kabul edilirler.

Çizelge 3.6 Kerojen tipleri ve karakteristikleri (Barker 1979'dan değiştirilerek)

Kerojen Tipleri ve Hidrokarbon Potansiyelleri				
Ortam	Kerojen Tipi	Kerojen Formu	Köken	Hidrokarbon Potansiyeli
Sücul	I	Alginit	Algal gövde	Oil
		Amorf Kerojen	Algal kaynağın yapısız döküntüleri	
	Yapısız planktonik materyal, ilksel			
Karasal	II	Eksinit	denizel kaynak	Gaz, biraz petrol
			Spor ve polenlerin kabukları, yaprak kütükülleri ve otsu bitkiler	
	III	Vitrinit	Lifi ve odunsu bitki parçaları ve yapısız, koloidal hümit madde	Çoğunlukla gaz
	IV	İnertinit	Oksitlenmiş, tekrar dönüşümlü odunsu döküntüler	Yok

Bu tez kapsamında organik madde tipi; Hidrojen İndeks (HI, mg HC/g kaya) verisi, HI-OI (Éspitalié vd. 1977), HI-Tmax (Hunt 1995, Mukhopadhyay vd. 1995) ve TOC-S<sub>2</sub>

(Langford ve Blanc-Valleron 1990) diyagramları, Hidrokarbon Tip İndeksi (S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> oranı) (Peters ve Cassa 1994) ve organik petrografik analizler kullanılarak belirlenmiştir.

Hidrojen İndeks (HI, mg HC/g kaya) verileri kullanılarak kayacın kerojen tipinin belirlenmesi yanında üretebileceği hidrokarbon tipi (petrol/petrol+gaz) açısından da bir yaklaşımda bulunulabilir. Hidrojen İndeks, kerojenin hidrojen zenginliğini ifade eder. Hidrojen zenginlik algal kerojenlerde en yüksektir. Hidrojen İndeks parametresi Tip I kerojenlerde en yüksek iken, Tip III kerojenlerde ise en düşük değerde olur. Yani, Hidrojen İndeks değeri ne kadar yüksek ise kerojen o derece de zengin petrol potansiyeline sahip olur. Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI verileri Peters and Cassa (1994) standartlarına göre karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7 HI sınır değerlerine ilişkin kerojen ve HC tipleri (Peters ve Cassa 1994)

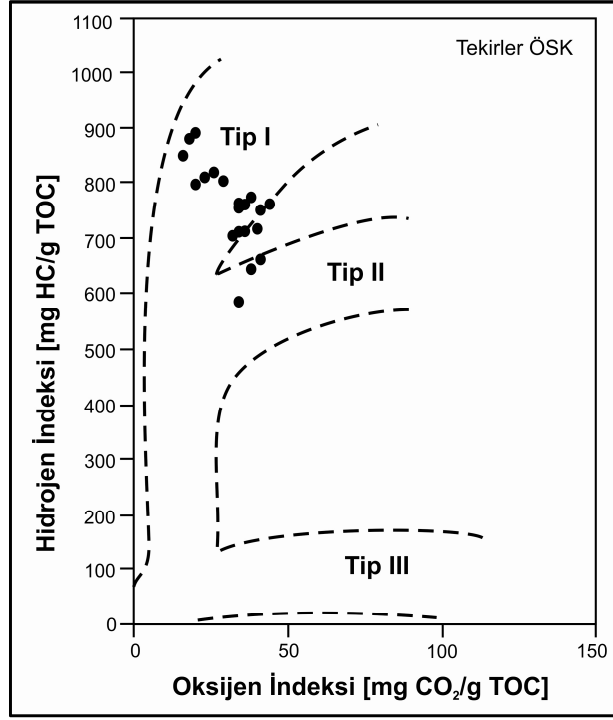
HI, mg HC/g kaya	Kerojen Tipi ve Hidrokarbon tipi
> 600	Tip I, Petrol
300 - 600	Tip II, Petrol
200 - 300	Tip II - Tip III, Petrol – Gaz Karışık
50 - 200	Tip III, Gaz
< 50	Tip IV, Sınırlı Gaz

Buna göre, incelenen örneklerin Hidrojen İndeks değerleri 584 – 891 mg HC/g kaya arasında değişmekte olup (ortalama 759,14 mg HC/g kaya), çoğunlukla 600 mg HC/g kaya'dan büyük olduğundan kerojen tipinin Tip I kerojen olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.8).

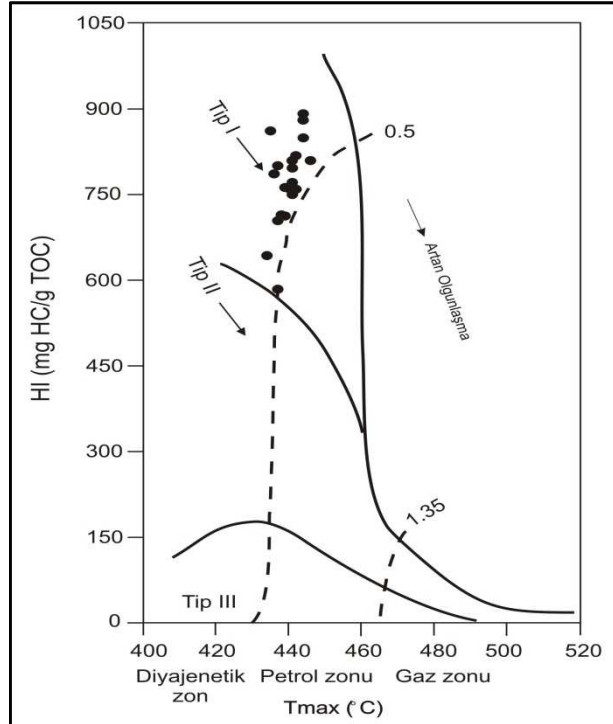
Çizelge 3.8 İncelenen örneklerin HI değerlerine göre kerojen ve hidrokarbon tipleri

Örnek No	HI, mg HC/g kaya	Kerojen Tipi	Hidrokarbon Tipi
TK 61	711	Tip I	Petrol
TK 58	762	Tip I	Petrol
TK 55	584	Tip II	Petrol
TK 52	801	Tip I	Petrol
TK 50	661	Tip I	Petrol
TK 46	714	Tip I	Petrol
TK 43	643	Tip I	Petrol
TK 40	712	Tip I	Petrol
TK 38	849	Tip I	Petrol
TK 36	750	Tip I	Petrol
TK 33	761	Tip I	Petrol
TK 31	754	Tip I	Petrol
TK 29	759	Tip I	Petrol
TK 25	796	Tip I	Petrol
TK 23	773	Tip I	Petrol
TK 20	760	Tip I	Petrol
TK 19	809	Tip I	Petrol
TK 16	891	Tip I	Petrol
TK 13	809	Tip I	Petrol
TK 11	880	Tip I	Petrol
TK 8	818	Tip I	Petrol
TK 5	704	Tip I	Petrol

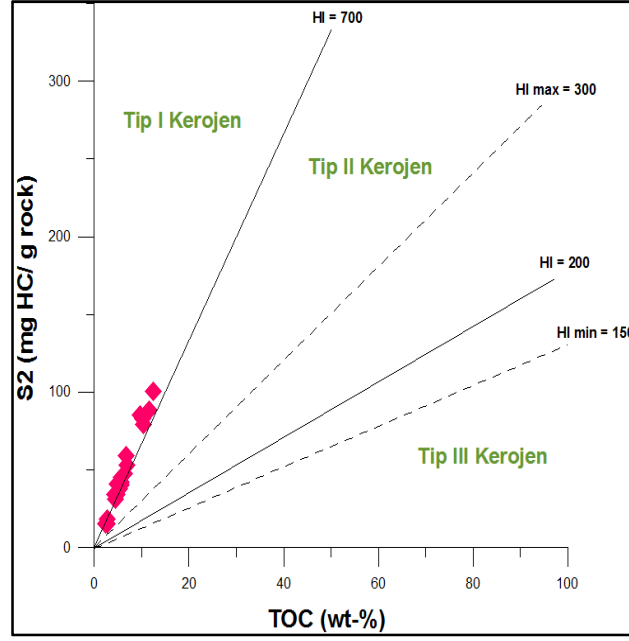
HI-OI (Éspitalié vd. 1977), HI-T<sub>max</sub> (Hunt 1995, Mukhopadhyay vd. 1995) ve TOC-S<sub>2</sub> (Langford ve Blanc-Valleron 1990) diyagramları kullanılarak kerojen tipi belirlenebilmektedir. Buna göre, incelenen bitümlü şeyl örneklerinin kerojen tipinin Tip-I kerojen olduğu görülmektedir (Şekil 3.8 - 3.10).



Şekil 3.8 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI-OI diyagramındaki konumları (Espitalié vd. 1977)



Şekil 3.9 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI-T<sub>max</sub> diyagramındaki konumları (Hunt 1995, Mukhopadhyay vd. 1995)



Şekil 3.10 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI sınır değerleriyle ilişkilendirilmiş  $S_2$ - TOC grafiğindeki konumları (Langford ve Blanc-Valleron 1990)

Piroliz analizlerinden elde edilen  $S_2$ ,  $S_3$  hidrokarbon değerlerinden Hidrokarbon Tip İndeksi ( $S_2/S_3$  oranı) (Peters ve Cassa 1994) hesaplanarak kerojen tipi belirlenebilmektedir (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9  $S_2/S_3$  parametresine göre organik madde tipi (Peters ve Cassa 1994)

Peters ve Cassa (1994)	
$S_2/S_3^a$	Kerojen Tipi
> 15	I
10 – 15	II
5 – 10	II/III
1 – 5	III
< 1	IV

<sup>a</sup> Isısal olarak olgunlaşmamış kaynak kayalardaki tahmini değerlerdir

Buna göre incelenen örneklerin Hidrokarbon Tip İndeksi ( $S_2/S_3$  oranı) değerleri 16,24 – 54,08 arasında değişmekte olduğundan (ortalama 26,88) örneklerin Tip I kerojen tipine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.10).

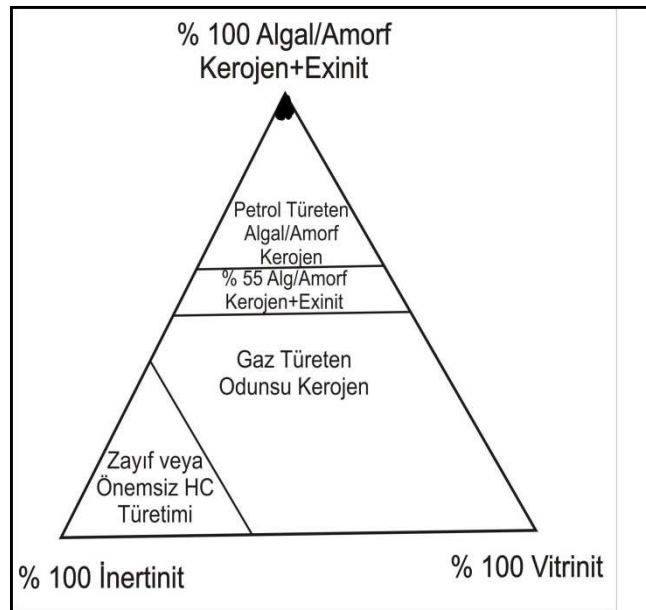
Çizelge 3.10 Bölgeye ait örneklerin  $S_2/S_3$  parametresine göre kerojen tipleri (Peters ve Cassa 1994)

Örnek No	$S_2/S_3$	Kerojen Tipi (Peters ve Cassa 1994)
TK 61	20,71	Tip I
TK 58	22,71	Tip I
TK 55	17,34	Tip I
TK 52	27,17	Tip I
TK 50	16,24	Tip I
TK 46	17,99	Tip I
TK 43	17,13	Tip I
TK 40	19,60	Tip I
TK 38	54,08	Tip I
TK 36	18,25	Tip I
TK 33	17,44	Tip I
TK 31	21,89	Tip I
TK 29	21,50	Tip I
TK 25	39,45	Tip I
TK 23	20,38	Tip I
TK 20	21,24	Tip I
TK 19	35,62	Tip I
TK 16	45,23	Tip I
TK 13	35,54	Tip I
TK 11	48,18	Tip I
TK 8	31,92	Tip I
TK 5	21,82	Tip I

İncelenen bitümlü şeylerinin organik madde tipini belirlemek amacıyla ayrıca 5 adet örnek (TK 8, TK 19, TK 29, TK 38, TK 52 nolu) üzerinde organik petrografik analizler gerçekleştirilmiştir. Buna göre, 5 örneğin de %100 amorf+algal organik maddeden oluştukları belirlenmiştir (Çizelge 3.11). Bu örnekler maseral grup bileşimi ve hidrokarbon türüm potansiyeli üçgen diyagramında değerlendirildiğinde de örneklerin %100 algal/amorf kerojen+eksinit alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 3.11).

Çizelge 3.11 Tekirler bölgesine ait 5 adet örnek üzerinde gerçekleştirilen organik petrografi analiz sonucu

Örnek No	% Amorf/algal	% Otsu	% Odunsu	% Kömürsü
TK52	100	-	-	-
TK38	100	-	-	-
TK29	100	-	-	-
TK19	100	-	-	-
TK8	100	-	-	-



Şekil 3.11 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin maseral grup bileşimi ve hidrokarbon türüm potansiyeli üçgen diyagramına göre konumları



### 3.2.1.3 Organik maddenin ısasal olgunluğu

Herhangi bir çökeltme ortamında, diğer sedimanlarla birlikte çökelen organik maddeler sıcaklık, basınç ve zaman etkenleri altında çeşitli başkalaşım evreleri (diyajenez, katajenez ve matajenez) geçirirler. Bu başkalaşım evrelerinde gelişen koşullar organik maddelerin fiziksel ve kimyasal yapısını ortama uyacak şekilde değiştirir. Organik maddelerin yapısındaki uzun moleküllerin sıcaklık etkisi ile parçalanarak daha küçük boyutlu petrol ve gaz moleküllerinin oluşumuna "organik olgunlaşma " denir. Bu ortamda, bir petrol kaynak kayasının gelişebilmesi için organik maddenin ekonomik anlamda petrol türümünü gerçekleştirebilecek miktar ve tipde olmasının yanında yeterli olgunlukta olması da gerekmektedir.

Bu araştırmada organik maddenin ısasal olgunluğu;  $T_{max}$  (°C) (Éspitalié vd. 1984, Éspitalié vd. 1985, Peters ve Cassa 1994), Üretim İndeksi (PI) (Peters ve Cassa 1994) ve  $S_2/S_3$  (Peters 1986 ve Clementz vd. 1979) parametreleri,  $PI-T_{max}$  (°C) diyagramı (Ghori 2000) ve Spor Renk İndeksi (SCI) parametresi (Ediger ve Soylu 1993) kullanılarak belirlenmiştir.

Piroliz analizi sonucunda elde edilen,  $S_2$  hidrokarbonlarının maksimum gelişme hızının sıcaklığı olan  $T_{max}$  (°C) verisi (Tissot ve Éspitalié 1975), kaynak kayanın olgunlaşma seviyesini belirlemede kullanılmaktadır (Çizelge 3.11).  $T_{max}$  (°C) değerleri ve doğru  $T_{max}$  (°C) sıcaklıkları, ısı programlama hızına göre değişir ve kinetik değerlerin tahmininde kullanılır.  $T_{max}$  (°C) kalibre edilmiş sıcaklıktır ve gerçek sıcaklık değerini yansıtmaz. Piroliz cihazındaki gerçek sıcaklık genellikle  $T_{max}$  (°C)'dan yaklaşık 35-40 °C fazladır.

$T_{max}$  (°C) değerleri,  $S_2$  pikinde ağır serbest hidrokarbonların var olması durumunda anormal düşük değerlerdeyken (< 400°C), yeniden işlenmiş (reworked) organik madde olması durumunda da anormal yüksek değerlerdedir (> 550°C). Ayrıca  $S_2$  değerinin 0,5'ten az olduğu ve  $S_2$  pikinin tanımlanmasının zor olduğu durumlarda,  $S_2$  değerlerinin 2.0 gibi yüksek olduğu organik maddece zayıf killi sedimanlarda genellikle güvenilir değildir (Éspitalié vd. 1985).

$T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ), organik maddenin tipine bağılı olup (Peters 1986) hidrokarbon oluşum kinetiğinin bir yansımasıdır. Organik madde tipine göre petrolün oluştuğu  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) sıcaklık aralıkları değişiklik göstermektedir (Éspitalié vd. 1985, Çizelge 3.12). Dar aktivasyon enerjisi dağılımına sahip Tip I kerojenler, kuvvetli C-C bağları ile birbirine bağlanan alifatik zincirlerden oluşmaları nedeniyle en yüksek aktivasyon enerjisine ve dar  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) petrol penceresine sahiptir. Tip II kerojenler, oksijen ve kükürt içeriğine bağılı olarak değişiklik gösterir. Önemli miktarda zayıf bağlarla birbirine bağlanan C-N, C-S ve C-O bağlarına sahip olan Tip II kerojenlerin petrol oluşturmak için daha düşük aktivasyon enerjilerine ihtiyaç duyarlar. Yüksek oksijen - yüksek kükürt içeriğine sahip kerojenler 390-410 $^{\circ}C$ 'lik olgunlaşmamış  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değerlerine sahiptir ve yaklaşık 425  $^{\circ}C$ 'de petrole dönüşümün % 50'si tamamlanmıştır (Jarvie ve Lundell 2001). Tip-III kerojen için ise  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değerleri, oldukça geniş aktivasyon enerjisi dağılımına sahiptir ve erken olgun evrede 435  $^{\circ}C$ ' den petrol penceresinin sonunda 465- 470  $^{\circ}C$ 'ye kadar yükselir (Çizelge 3.12). Sonuç olarak, Tip II kerojen en önce petrol türümüne başlarken, bunu Tip III ve Tip I kerojen takip eder. Çeşitli araştırmacılara göre organik maddenin olgunluk düzeyine karar vermede kullanılan  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) sınır değerleri genel sınıflaması (Éspitalié vd. 1984, Peters ve Cassa 1994) ve kerojen tiplerine göre ayrılmış sınıflama (Éspitalié vd. 1985) çizelge 3.12 verilmiştir.

Çizelge 3.12 Çeşitli araştırmacılara göre olgunlaşma dereceleri (Éspitalié vd. 1984, Éspitalié vd. 1985, Peters ve Cassa 1994)

Éspitalié vd. (1984)		Peters ve Cassa (1994)		T <sub>max</sub> (°C), Éspitalié vd. (1985)				
T <sub>max</sub> (°C)	Olgunluk Derecesi	T <sub>max</sub> (°C)	Olgunluk Derecesi	Tip I	Tip II	Tip II-S	Tip III	Olgunluk Derecesi
< 430 - 435	Olgunlaşmamış	< 435	Olgunlaşmamış	< 440°C	< 430°C	< 425 °C	< 435 °C	Olgunlaşmamış- Erken Olgun
430 - 460	Petrol Penceresi	435 - 445	Erken Olgun	440 – 448 °C	430-460 °C	425–450 °C	435–465 °C	Petrol Penceresi
> 455 - 460	Gaz Penceresi	445 - 450	Orta Olgun-Geç Olgun	> 448 °C	> 460 °C	> 450 °C	> 465 °C	Gaz Penceresi
		> 450	Aşırı Olgun					

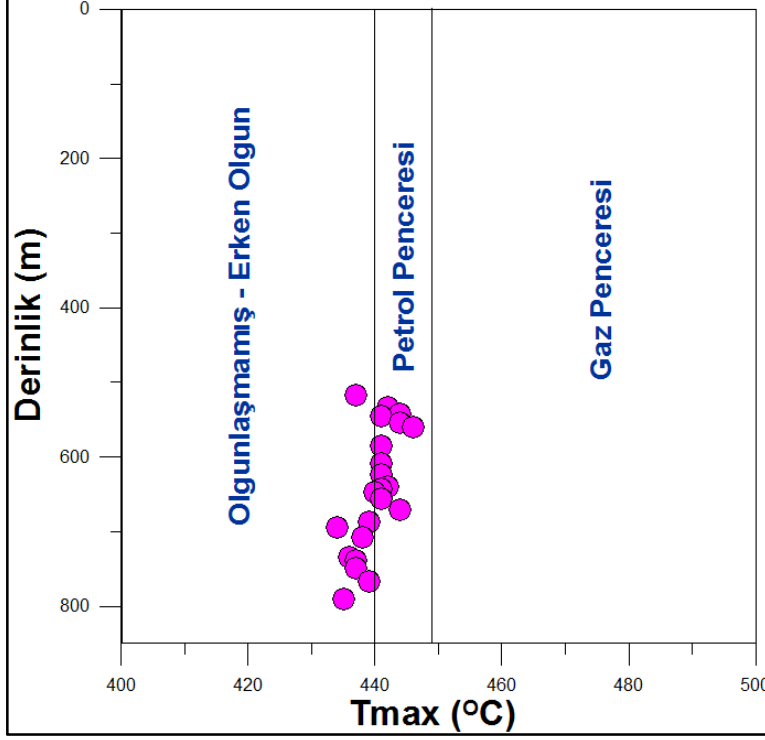
İncelenen Tekirler bitümlü şeyl örneklerinin  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değerleri 434-446 $^{\circ}C$  arasında (ortalama 440  $^{\circ}C$ ) değişmektedir. Örneklerinin  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) olgunlaşmalarının; Éspitalié vd.'nin (1984)  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) standartlarına göre petrol penceresi, Peters and Cassa (1994)'nin  $T_{max}$  standartlarına göre erken olgun, Éspitalié vd.'nin (1985)  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) standartlarına göre ise kerojen tipleri daha önce belirlendiği ve Tip I kerojen olduğundan, olgunlaşma derecesinin olgunlaşmamış-erken olgun ile petrol penceresi aralıklarında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.13).

Çizelge 3.13 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) değerleri ve buna ilişkin olgunlaşma dereceleri (Éspitalié vd. 1985)

Örnek No	$T_{max}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{max}$ ( $^{\circ}C$ ) (Éspitalié vd. (1985))
TK 61	435	Olgunlaşmamış – Erken Olgun
TK 58	439	Olgunlaşmamış – Erken Olgun
TK 55	437	Olgunlaşmamış – Erken Olgun
TK 52	437	Olgunlaşmamış – Erken Olgun
TK 50	436	Olgunlaşmamış – Erken Olgun
TK 46	438	Olgunlaşmamış – Erken Olgun
TK 43	434	Olgunlaşmamış – Erken Olgun
TK 40	439	Olgunlaşmamış – Erken Olgun
TK 38	444	Petrol Penceresi
TK 36	441	Petrol Penceresi
TK 33	440	Petrol Penceresi
TK 31	441	Petrol Penceresi
TK 29	442	Petrol Penceresi
TK 25	441	Petrol Penceresi
TK 23	441	Petrol Penceresi
TK 20	441	Petrol Penceresi
TK 19	446	Petrol Penceresi
TK 16	444	Petrol Penceresi
TK 13	441	Petrol Penceresi
TK 11	444	Petrol Penceresi
TK 8	442	Petrol Penceresi
TK 5	437	Olgunlaşmamış – Erken Olgun

Bölgeye ait örneklerin derinlik (m) ile ilişkilendirilmiş  $T_{max}$  ( $^{\circ}C$ ) diyagramındaki konumlarına bakıldığında da, örneklerin 516,5 m – 790,8 m arasında derinlikte ve olgunlaşmamış-erken olgun ve petrol penceresi içerisinde olduğu görülmektedir (Şekil

3.12). Buna göre incelenen örnekler üzerinde gömülmeye bağlı jeotermal gradyan etkisinin beklendiği şekilde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.12 İncelenen örneklerin derinlik (m) ile ilişkilendirilmiş  $T_{max}$  (°C) değerlerine göre olgunlukları

Üretim İndeksi (Potansiyel Verim/Transformasyon Oranı (TR),  $PI:S_1/S_1+S_2$ ), çoğunlukla organik maddenin bağlı ısıl olgunluğunu ve göç etmiş hidrokarbonların varlığını belirlemek için kullanılmakta ve örnek analizi ile elde edilen hidrokarbon bileşiklerinin toplam miktarına ilişkin olarak serbest HC'lerin oranını ifade etmektedir (Éspitalié 1986, Othman 2003). Üretim indeksi parametresi kayanın olgunlaşması yani derinlere doğru gömülme ile artar. Genç, yüzeye yakın kaynak kayaların Üretim İndeks parametresi düşük iken, yaşlı kayalar da Üretim İndeks parametresi yüksek olur. Ancak bazı durumlarda genç, olgun olmayan çok killi kayaların Üretim İndeks parametresi yüksek çıkabilir. Bu durum organik madenin ilk dönüşüm ürünleri olan  $S_1$  hidrokarbonlarının montmorillinit ve illit türü killer tarafından absorblanması nedeniyledir. Bu hidrokarbonlar kayanın kendi içinde oluşabileceği gibi dışarıdan gelerek kayayı kirletmiş de olabilir.

Üretim İndeksi, organik materyalin doğasına ve sonraki jeolojik geçmişe (sıcaklığa karşı zaman geçmişi) bağlıdır (Tissot ve Welte 1984). Isısal olarak olgunlaşmamış Tip I ve Tip II organik maddeler, tipik olarak 0,1'den küçük Üretim İndeksi sergilerler. Bu oranlar katajenez boyunca dereceli olarak 0,4'e yükselir ve hidrokarbon üretiminin ana evresi aşıldığı zaman 0,4'ten daha büyüktür (Tissot ve Welte 1978; Pitman vd. 1987'de). Katajenez zonundaki Tip III organik maddeler, genellikle 0,1-0,2 aralığında üretim indeksine sahiptir (Durand ve Parette 1983; Pitman vd. 1987'de). Üretim İndeksi, çalışılan sedimentlerde petrol üretiminin ne kadar ilerlediğini veya başka bir deyişle olgunluk evresinin üretim indeksi değerinin genellikle 0,2'den daha büyük olduğu dikkate alınarak, katajenez evresinin ne kadar gerçekleştiğini göstermek için kullanılmaktadır (Ghori 2002).

İncelenen bitümlü şeyl örneklerinin PI değerleri 0,01-0,04 arasında değiştiğinden (ortalama 0,02), Peters ve Cassa'nın (1994) PI standartlarına göre olgunlaşmamış olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.14 - 3.15).

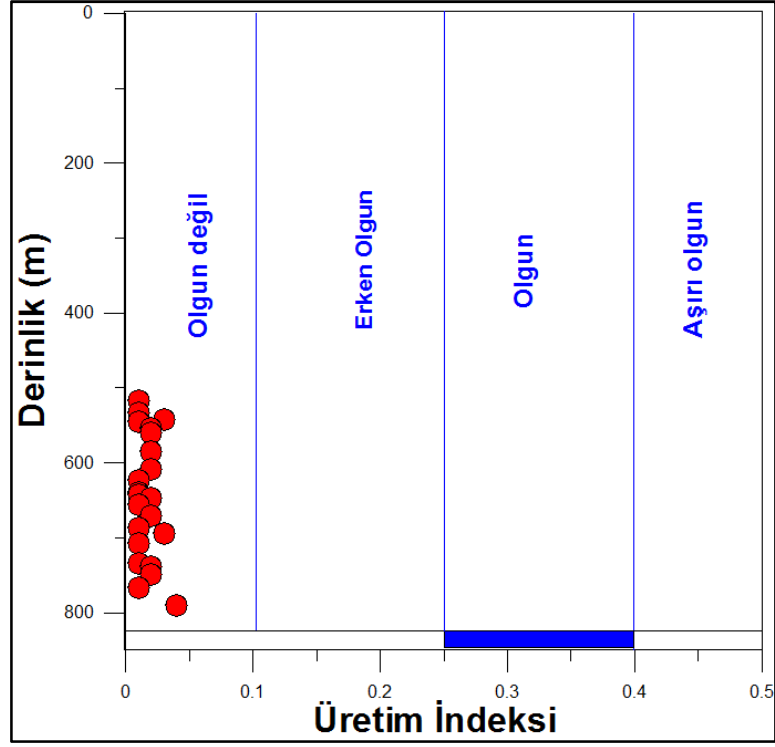
Çizelge 3.14 Üretim İndeksi (PI) sınır değerlerine göre olgunlaşma düzeyi (Peters ve Cassa 1994)

<b>Peters ve Cassa (1994)</b>	
<b>PI (<math>S_1/S_1+S_2</math>)</b>	<b>Olgunluk Derecesi</b>
< 0,10	Olgun değil
0,10 – 0,25	Erken olgun
0,25 – 0,40	Olgun
>0,40	Aşırı olgun

Çizelge 3.15 İncelenen örneklerinin PI değerleri ve buna ilişkin olgunlaşma düzeyleri (Peters ve Cassa 1994)

Örnek No	PI	Olgunluk Düzeyi (Peters ve Cassa 1994)
TK 61	0,04	Olgunlaşmamış
TK 58	0,01	Olgunlaşmamış
TK 55	0,02	Olgunlaşmamış
TK 52	0,02	Olgunlaşmamış
TK 50	0,01	Olgunlaşmamış
TK 46	0,01	Olgunlaşmamış
TK 43	0,03	Olgunlaşmamış
TK 40	0,01	Olgunlaşmamış
TK 38	0,02	Olgunlaşmamış
TK 36	0,01	Olgunlaşmamış
TK 33	0,02	Olgunlaşmamış
TK 31	0,01	Olgunlaşmamış
TK 29	0,01	Olgunlaşmamış
TK 25	0,01	Olgunlaşmamış
TK 23	0,02	Olgunlaşmamış
TK 20	0,02	Olgunlaşmamış
TK 19	0,02	Olgunlaşmamış
TK 16	0,02	Olgunlaşmamış
TK 13	0,01	Olgunlaşmamış
TK 11	0,03	Olgunlaşmamış
TK 8	0,01	Olgunlaşmamış
TK 5	0,01	Olgunlaşmamış

Bölgeye ait örnekler derinlikle (m) ilişkilendirilmiş üretim indeksi diyagramında değerlendirildiğinde, örneklerin 516,5 m – 790,8 m arasında derinliklerde bulunduğu ve olgunlaşmamış seviyede bulunduğu görülmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 İncelenen örneklerin derinlikle (m) ilişkilendirilmiş PI diyagramı

$S_2/S_3$  parametresi kullanılarak da organik maddenin olgunluğu hakkında bilgi sağlanmaktadır (Çizelge 3.16, Peters 1986, Clementz vd. 1979,)

Çizelge 3.16  $S_2/S_3$  parametresine göre organik maddenin olgunlaşma seviyesi ve hidrokarbon potansiyeli (Peters 1986, Clementz vd. 1979)

$S_2/S_3$	Katajenez Safhasının Evrelerindeki Hidrokarbon Potansiyeli
< 4,0	Katajenezin aşırı olgun evresi, kuru gaz
4,0 – 8,0	Katajenezin olgun evresi, ıslak gaz ve kondanseyt
> 8,0	Katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol

Buna göre Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_2/S_3$  değerleri 16,24 – 54,08 arasında değişmekte olup (ortalama 26,88), Peters (1986) ve Clementz vd. (1979) 'nin

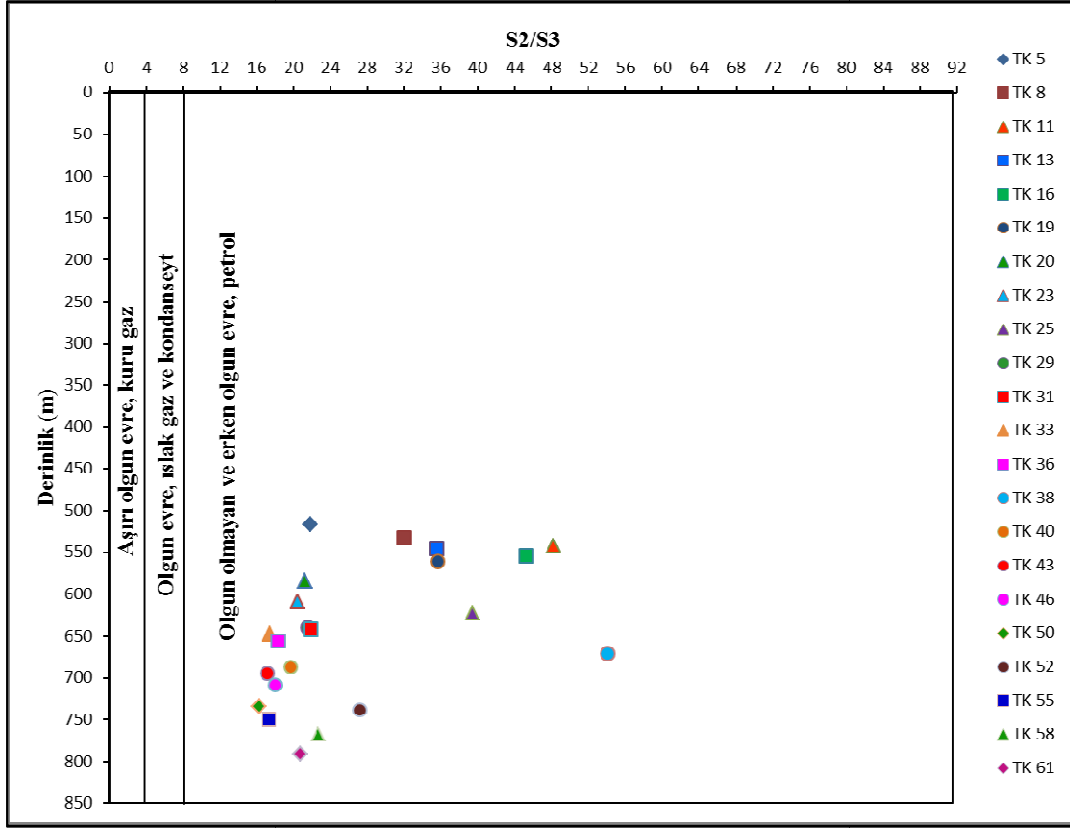


standartına göre değerlendirildiğinde örneklerin tümünün ‘katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol’ e karşılık geldiği görülmektedir (Çizelge 3.17).

Çizelge 3.17 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_2/S_3$  değerleri ve buna ilişkin HC potansiyelleri

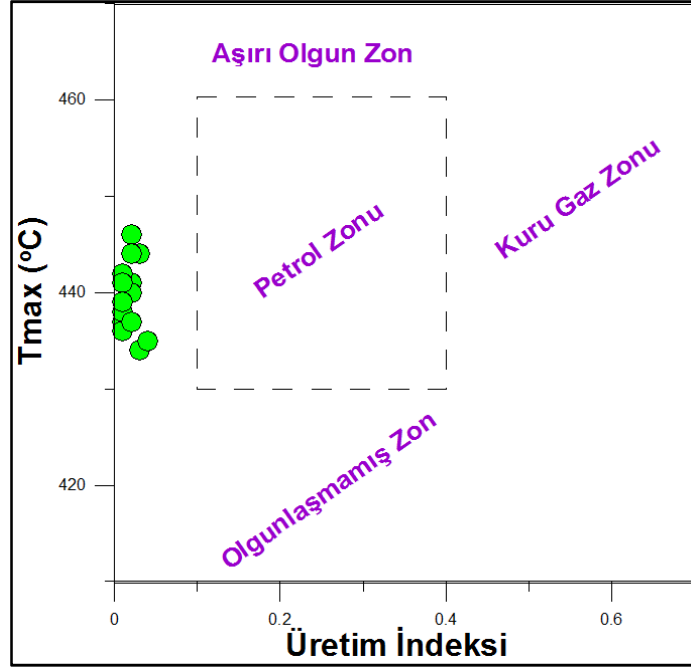
Örnek No	$S_2/S_3$	Katajenez Safhasının Evrelerindeki HC Potansiyeli
TK 61	20,71	Katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol
TK 58	22,71	"
TK 55	17,34	"
TK 52	27,17	"
TK 50	16,24	"
TK 46	17,99	"
TK 43	17,13	"
TK 40	19,60	"
TK 38	54,08	"
TK 36	18,25	"
TK 33	17,44	"
TK 31	21,89	"
TK 29	21,50	"
TK 25	39,45	"
TK 23	20,38	"
TK 20	21,24	"
TK 19	35,62	"
TK 16	45,23	"
TK 13	35,54	"
TK 11	48,18	"
TK 8	31,92	"
TK 5	21,82	"

İncelenen örneklerin derinlikle (m) ilişkilendirilmiş  $S_2/S_3$  grafiğindeki konumlarına bakıldığında da, örneklerin 516,5 m – 790,8 m arasında derinliklerde bulunduğu, ‘olgun olmayan ve erken olgun evre, petrol’ e işaret ettiği görülmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 İncelenen örneklerin derinlikle (m) ilişkilendirilmiş S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> grafiği

PI-T<sub>max</sub>(°C) diyagramı organik maddenin olgunluğu hakkında bilgi vermektedir. T<sub>max</sub> (°C) için 430-460 °C arası, PI için 0,1-0,4 arasında değişen olgunluk aralığı alındığında daha geniş sınırlar önerildiği için de, Ghori (2000) tarafından ileri sürülen grafik, benzer iki parametre arasında daha olgun örnekleri içermiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 İncelenen örneklerin PI- $T_{max}$ (°C) diyagramındaki konumları (Ghori 2000)

Spor Renk İndeksi (SCI), spor ve polenlerin renginin artan ısıya ve dolayısıyla da artan olgunlaşmaya bağlı olarak aşamalı şekilde sırasıyla turuncu, kırmızı, kahverengi ve siyah renge sahip olabilmesiyle belirlenen bir parametredir (Çizelge 3.18). Bu analiz tekniğinde dikkat edilmesi gereken hususlar, iki defa taşınmış malzemenin fark edilmesi, oksitlenme ve kavkı kalınlığından kaynaklanan renk değişimlerinin göz önünde bulundurulmasıdır (Ediger ve Soylu 1993, Hunt 1995).

Çizelge 3.18 SCI değerlerine karşılık gelen palinomorf renkleri ve buna bağlı olarak hidrokarbon olgunluğu (Batten 1980'den türkçeleştirilmiştir)

SCI	Gözlenen Palinomorf Rengi	Hidrokarbonlar İçin Önemi
1	Renksiz, açık sarı, sarımsı yeşil	Kimyasal değişim yok denilebilecek kadar az; Organik madde olgun değil. Hidrokarbon için kaynak kaya potansiyeline sahip değil.
2	Sarı	Kimyasal değişim çok az ancak organik madde hala olgun değil.
3	Açık kahverengimsi sarı, sarımsı turuncu	Kimyasal değişim çok az. Kısmen olgun ancak ekonomik bir kaynak olarak muhtemel potansiyele sahip değil.
4	Açık orta kahverengi	Olgun, etkin değişkenlik, petrol oluşumu.
5	Koyu kahverengi	Olgun, Islak gaz ve kondanseyt üretimi, kuru gaz seviyesine geçiş.
6	Çok koyu kahverengi-siyah	Aşırı olgun; kuru gaz için kaynak potansiyeli
7	Siyah (Opak)	Yalnız kuru gaz izleri

Tekirler bölgesine ait 5 adet örnek (TK 8, TK 19, TK 29, TK 38, TK 52 nolu) için yapılan SCI değerlendirmelerine göre bitümlü şeyl örneklerinin SCI değerleri 3-3,5 arasında değişmekte olduğundan Batten'ın (1980) aralıklarına göre birimin kısmen olgun aralığında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.19).

Çizelge 3.19 Tekirler bölgesine ait 5 adet bitümlü şeyl örneğinin olgunlaşma seviyesiyle ilişkilendirilmiş SCI değerleri

Örnek No	SCI	Hidrokarbon Olgunluğu (Batten 1980)
TK 52	3-3,5	Kısmen Olgun
TK 38	3-3,5	Kısmen Olgun
TK 29	3,5	Kısmen Olgun
TK 19	3-3,5	Kısmen Olgun
TK 8	3-3,5	Kısmen Olgun

### 3.2.1.4 Hidrokarbon üretme potansiyeli

Organik jeokimyasal incelemeler ile petrol kaynak kayaları hakkında kesin bilgilere ulaşırız. Petrol kaynak kayası, genel bir tanım olarak ince dokulu, koyu renkli, pirit ve organik maddece zengin kayadır. Efektif kaynak kaya; petrolü kayadan atan, petrol türeten veya türetiyor olan kayadır. Potansiyel kaynak kaya; petrol türetebilmek için yeterli miktarda organik madde içeren, organik madde türü petrol türümüne uygun olan ancak yeterli ısıl olgunluk seviyesine ulaşamadığı için düşük sıcaklıklarda bakteriyel gaz meydana getiren veya petrol oluşturmak için yeterli ısıl olgunluk seviyesine ulaştığında efektif kaynak kaya olan kayadır. Aktif kaynak kaya; petrol oluşum sürecinde en kritik dönem olan petrol penceresi içindeyken petrol türeten veya atan kayadır (Dow 1977). İnaktif kaynak kaya; petrol potansiyeli olduğu halde petrol oluşumunu durdurmuş olan kayadır (Barker 1979). Harcanmış petrol kaynak kayası; aşırı olgun evreye ulaşarak petrolünü çok süratli bir şekilde türeten ve türetilen petrolünde kaynak kayasından göç etmeye zaman bulmadan ıslak ve kuru gaza parçalanan kayadır.

Bu tez kapsamında kaynak kayaların hidrokarbon üretme potansiyelleri;  $S_1$  (mg HC/g kaya) ve  $S_2$  (mg HC/g kaya) parametreleri (Peters ve Cassa 1994), HI - TOC (Jackson vd. 1985), HC - TOC (Wehner 1989), EOM - TOC (Othman 2003),  $S_2$  - TOC (Ghori 2000),  $S_2$  - TOC (Othman 2003) diyagramları, Hidrokarbon Tip İndeksi ( $S_2/S_3$  oranı) (Clementz vd. 1979, Peters 1986) ve PY [Potansiyel Verim/Jenetik Potansiyel,  $S_1(\text{ppm})+S_2(\text{ppm})$ ] parametresi (Tissot ve Welte 1978), PY - TOC diyagramı (Ghori 2002) kullanılarak belirlenmiştir.

Rock-Eval Piroliz analizinden elde edilen  $S_1$  (mg HC/g kaya) ve  $S_2$  (mg HC/g kaya) parametrelerinin kullanılması kaynak kayanın petrol potansiyelini hakkında bilgi vermektedir (Peters ve Cassa 1994).

Kaya içerisindeki serbest hidrokarbonları temsil eden  $S_1$  piki (mg HC/g kaya),  $C_1$  den  $C_{33}$ 'e kadar uzanan hidrokarbonlardan oluşur. Ağır hidrokarbonlar, resinler ve asfaltlenleri  $S_2$  pikine (mg HC/g kaya) çok küçük oranda katkıda bulunurlar.  $S_1$  piki çoğunlukla resinler ve asfaltlenlerden oluşan olgunlaşmamış sedimentler için ekstrakt

edilebilen fraksiyonlardan yani bitümden daha küçüktür. Halbuki pek çok olgun sedimentler için S<sub>1</sub> piki (mg HC/g kaya) ve ekstrakt edilebilen içerik karşılaştırılabilir.

Kaynak kayanın mevcut kaynak potansiyelinin uygun gelişimini gösteren S<sub>2</sub> piki (mg HC/g kaya), çoğunlukla kerojenin birincil parçalanması sonucunda, aynı zamanda da ağır hidrokarbonların, resinlerin ve asfaltinlerin birincil parçalanmasından da oluşurlar. Dolayısıyla S<sub>2</sub> piki (mg HC/g kaya) ısısal olgunlaşmanın şu andaki safhasından grafit safhasına kadar olan aşaması üretilebilecek petrol ve gaz miktarını gösterir.

TOC değerleri ve piroliz analizlerinden elde edilen S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> hidrokarbon miktarlarına göre potansiyeller çizelge 3.20’de verilmiştir.

Çizelge 3.20 Kaynak kayaların petrol potansiyelini belirlemede kullanılan TOC ( wt %) miktarları ve S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> hidrokarbon değerleri (Peters ve Cassa 1994)

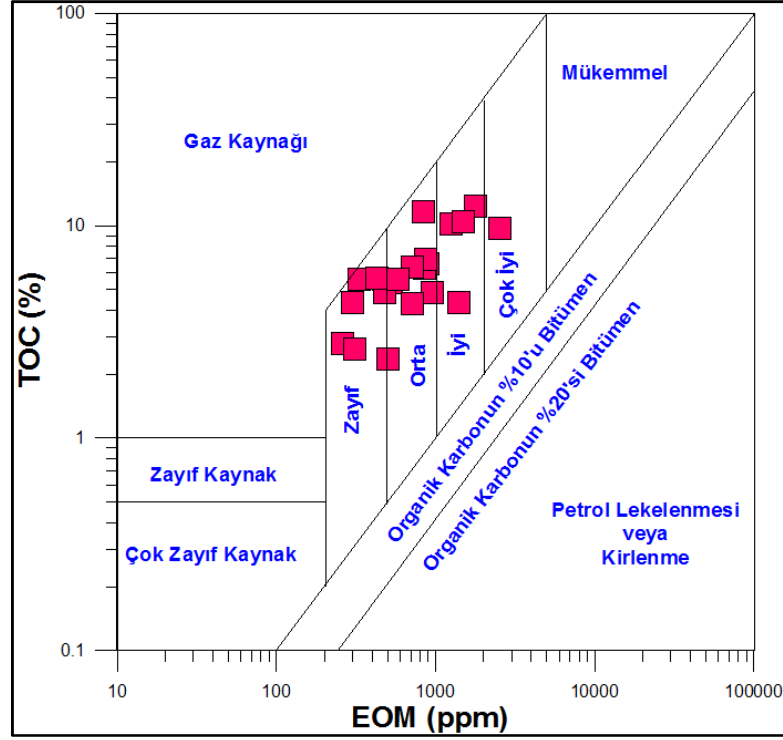
Organik Madde			PETROL POTANSİYELİ
ROCK-EVAL PİROLİZ		TOC, wt %	
S <sub>1</sub> , mg HC/g kaya	S <sub>2</sub> , mg HC/g kaya		
0 – 0,5	0 – 2,5	0 – 0,5	Zayıf
0,5 – 1,0	2,5 – 5,0	0,5 – 1,0	Orta
1,0 – 2,0	5,0 – 10,0	1,0 – 2,0	İyi
2,0 – 4,0	10,0 – 20,0	2,0 – 4,0	Çok iyi
> 4,0	> 20,0	> 4,0	Mükemmel

Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin S<sub>1</sub> hidrokarbon değerleri 0,26-2,53 mg HC/g kaya (ortalama 0,84 mg HC/g kaya) arasında değişmektedir. Peters and Cassa’ya (1994) göre incelenen örneklerin zayıftan çok iyiye değişen petrol potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.21).

Çizelge 3.21 İncelenen örneklerin  $S_1$  (mg HC/g kaya) değerlerine göre petrol potansiyelleri (Peters ve Cassa 1994)

Örnek No	$S_1$ , mg HC/g kaya	Petrol Potansiyeli (Peters ve Cassa 1994)
TK 61	1,41	İyi
TK 58	0,58	Orta
TK 55	0,31	Zayıf
TK 52	0,72	Orta
TK 50	0,26	Zayıf
TK 46	0,43	Zayıf
TK 43	0,50	Orta
TK 40	0,48	Zayıf
TK 38	0,95	Orta
TK 36	0,72	Orta
TK 33	1,49	İyi
TK 31	0,33	Zayıf
TK 29	0,84	Orta
TK 25	0,30	Zayıf
TK 23	0,87	Orta
TK 20	0,85	Orta
TK 19	1,79	İyi
TK 16	0,90	Orta
TK 13	0,47	Zayıf
TK 11	2,53	Çok iyi
TK 8	1,25	İyi
TK 5	0,53	Orta

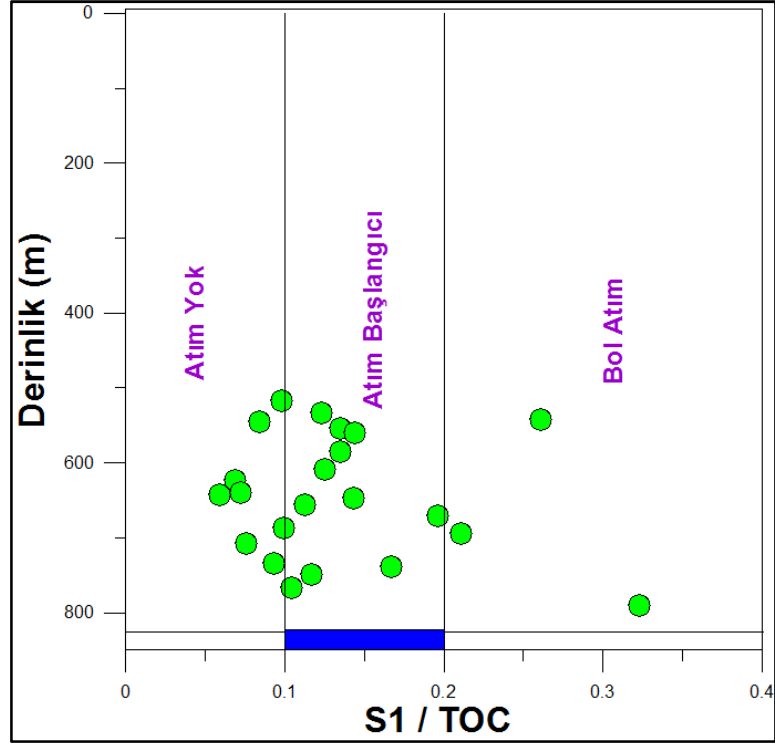
İncelenen örnekler EOM (ppm) – TOC (wt %) (Othman 2003) diyagramına göre değerlendirildiğinde de örneklerin zayıf ile çok iyi arasında değişen petrol potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 İncelenen örneklerin TOC ve EOM değerlerine dayanan petrol potansiyelleri (Othman 2003)

Bitümen indeks ( $S_1/TOC$ ), kaynak kayanın petrolü dışarı atmaya başladığı derinliği belirlemek için kullanılmaktadır. Bazen 'göç indeksi' olarak da anılmaktadır (Hunt 1996). %  $S_1/TOC$  oranı, kaynak kayada petrol atımı için 0,1-0,2 arasında olmalıdır (Smith 1994, Hunt 1996). Derinlik (m) ilişkilendirilmiş bitümen indeks ( $S_1/TOC$ ) diyagramına göre ise örneklerin bir bölümünün atım başlangıcında olduğu büyük bir çoğunluğunun ise petrol atımına başladıkları görülmektedir (Şekil 3.17).





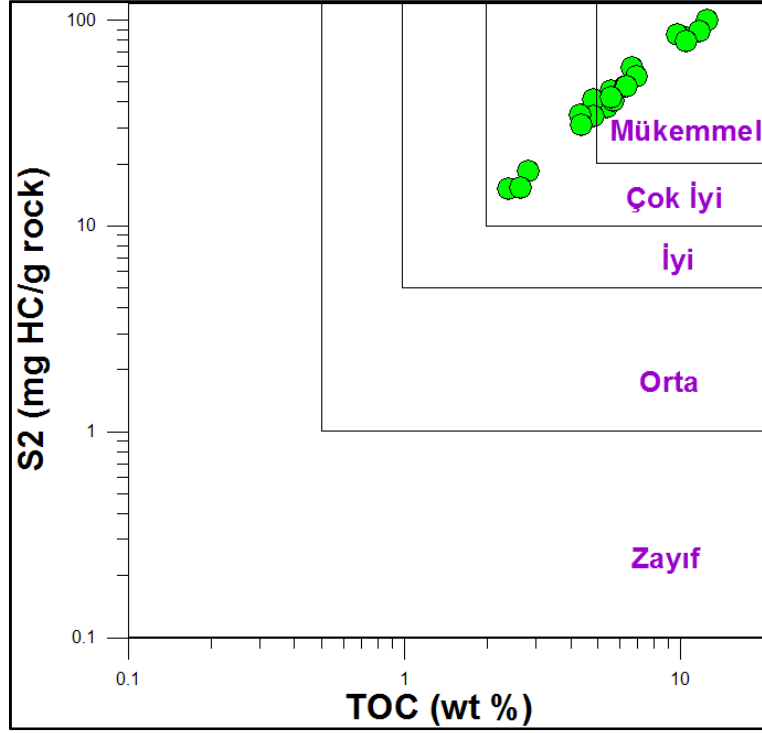
Şekil 3.17 İncelenen örneklere ait kalınlıkla ilişkilendirilmiş  $S_1/TOC$  (bitümen indeksi) diyagramı (Hunt 1996'dan değiştirilerek)

İncelenen örneklerin  $S_2$  hidrokarbonları 15,25-100,44 mg HC/g kaya (ortalama 49,01 mg HC/g kaya) arasında değerler sunmaktadır (Çizelge 3.22). Peters ve Cassa'ya (1994) göre örnekler çok iyi-mükemmel petrol potansiyelini işaret etmektedir (Çizelge 3.22).

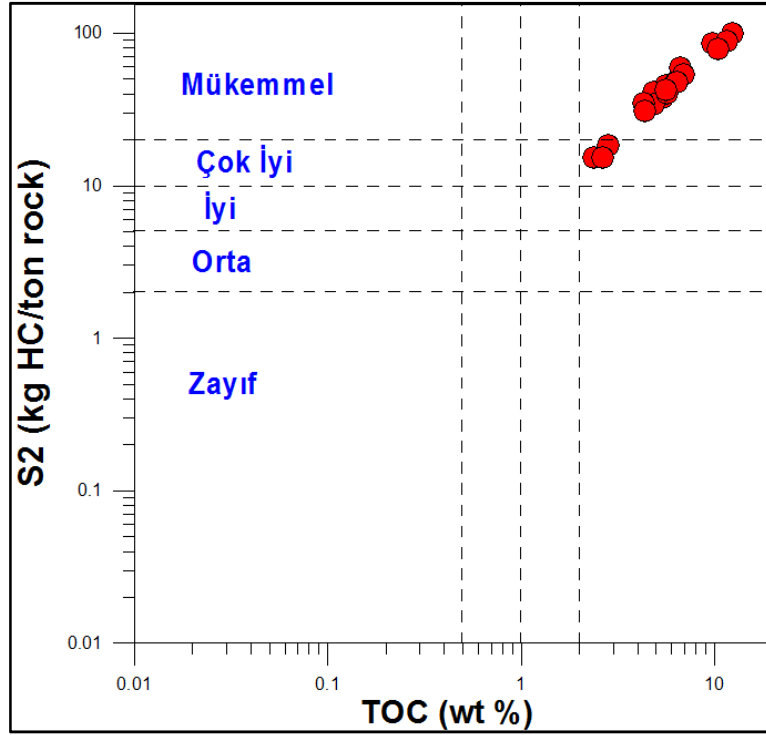
Çizelge 3.22 İncelenen örneklerin S<sub>2</sub> (mg HC/g kaya) değerlerine göre petrol potansiyelleri (Peters ve Cassa 1994)

Örnek No	S <sub>2</sub> , mg HC/g kaya	Petrol Potansiyeli (Peters ve Cassa 1994)
TK 61	31,07	Mükemmel
TK 58	42,46	Mükemmel
TK 55	15,43	Çok iyi
TK 52	34,51	Mükemmel
TK 50	18,51	Çok iyi
TK 46	40,65	Mükemmel
TK 43	15,25	Çok iyi
TK 40	34,30	Mükemmel
TK 38	41,10	Mükemmel
TK 36	47,82	Mükemmel
TK 33	79,20	Mükemmel
TK 31	42,25	Mükemmel
TK 29	88,37	Mükemmel
TK 25	34,72	Mükemmel
TK 23	53,40	Mükemmel
TK 20	47,78	Mükemmel
TK 19	100,44	Mükemmel
TK 16	59,25	Mükemmel
TK 13	45,49	Mükemmel
TK 11	85,28	Mükemmel
TK 8	82,99	Mükemmel
TK 5	37,97	Mükemmel

Örnekler Ghori (2000) ve Othman'ın (2003) S<sub>2</sub>-TOC diyagramlarına göre değerlendirildiğinde ise çok iyi-mükemmel kaynak kaya potansiyellerine sahip oldukları görülmektedir (Şekil 3.18 - 3.19).



Şekil 3.18 İncelenen örneklerin S<sub>2</sub> ve TOC değerlerine dayanan kaynak kaya potansiyelleri (Ghori 2000)



Şekil 3.19 İncelenen örneklerin S<sub>2</sub> ve TOC değerlerine dayanan kaynak kaya potansiyelleri (Othman 2003)

Hidrokarbon Tip İndeksi ( $S_2/S_3$  oranı) (Clementz vd. 1979, Peters 1986) hidrokarbon tipi (petrol/gaz) belirlemede kullanılan bir parametredir (Çizelge 3.23).

İncelenen örneklerin Hidrokarbon Tip İndeksi ( $S_2/S_3$  oranı) değerleri 16,24 – 54,08 arasında (ortalama 26,88) değişmekte olduğundan örneklerin petrol üretme potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.23 - 3.24).

Çizelge 3.23  $S_2/S_3$  parametresine göre organik maddenin hidrokarbon tipi (Clementz vd. 1979, Peters 1986)

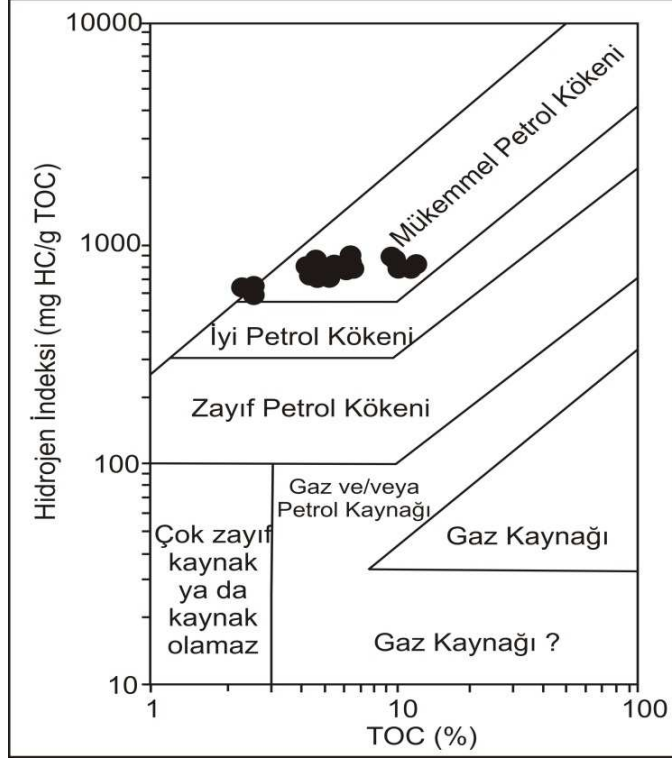
<b>Clementz vd. (1979)</b>		<b>Peters (1986)</b>	
<b><math>S_2/S_3</math></b>	<b>HC Tipi</b>	<b><math>S_2/S_3^a</math></b>	<b>HC Tipi</b>
0 – 2,5	Gaz	0 – 3	Gaz
2,5 – 5,0	Gaz ve Petrol	3 – 5	Gaz ve Petrol
> 5,0	Petrol	> 5	Petrol

<sup>a</sup>  $R_0 = \% 0.6$ 'da tahmin edilen değerlerdir

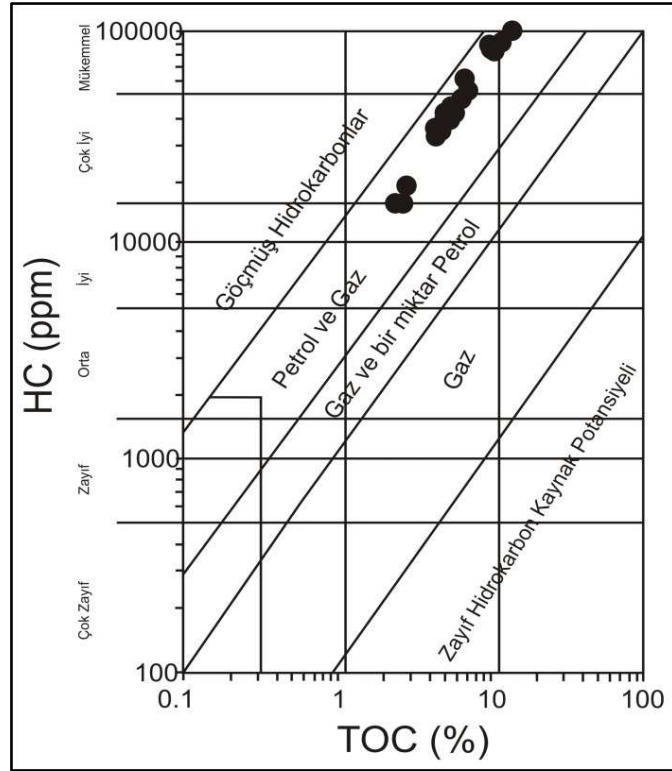
Çizelge 3.24 Bölgeye ait örneklerin S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> parametresine göre hidrokarbon tipleri (Clementz vd. 1979, Peters 1986)

Örnek No	S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>	HC Tipi (Clementz vd. 1979)	HC Tipi (Peters 1986)
TK 61	20,71	Petrol	Petrol
TK 58	22,71	Petrol	Petrol
TK 55	17,34	Petrol	Petrol
TK 52	27,17	Petrol	Petrol
TK 50	16,24	Petrol	Petrol
TK 46	17,99	Petrol	Petrol
TK 43	17,13	Petrol	Petrol
TK 40	19,60	Petrol	Petrol
TK 38	54,08	Petrol	Petrol
TK 36	18,25	Petrol	Petrol
TK 33	17,44	Petrol	Petrol
TK 31	21,89	Petrol	Petrol
TK 29	21,50	Petrol	Petrol
TK 25	39,45	Petrol	Petrol
TK 23	20,38	Petrol	Petrol
TK 20	21,24	Petrol	Petrol
TK 19	35,62	Petrol	Petrol
TK 16	45,23	Petrol	Petrol
TK 13	35,54	Petrol	Petrol
TK 11	48,18	Petrol	Petrol
TK 8	31,92	Petrol	Petrol
TK 5	21,82	Petrol	Petrol

Bunun yanı sıra incelenen örneklerin hidrokarbon türüm potansiyelini belirlemek için HI (mg HC/g kaya) –TOC (wt %) (Jackson vd. 1985) ve HC (ppm)-TOC (wt %) (Wehner 1989) diyagramları da kullanılmaktadır. Tekirler bitümlü şeyl örnekleri HI (mg HC/g kaya) –TOC (wt %) diyagramına göre değerlendirildiğinde organik madde tipi mükemmel petrol kökenini işaret etmektedir (Şekil 3.20). HC (ppm) -TOC (wt %) diyagramına göre ise incelenen örnekler çok iyi ve mükemmel petrol ve gaz potansiyelini göstermektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.20 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HI (mg HC/g kaya) –TOC (wt %) diyagramına göre konumları (Jackson vd. 1985)



Şekil 3.21 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin HC (ppm) -TOC (wt %) diyagramına göre konumları (Wehner 1989)

Jenetik Potansiyel/Potansiyel Ürün ( $S_1+S_2$ , ppm), piroliz analizlerinden hesaplanan bir diğer parametre olup, esas olarak kaynak kayanın petrol türüm potansiyelini gösterir. Tissot ve Welte (1984), eğer kerojen yeterli zaman aralığı boyunca, yeterli sıcaklığa maruz kalırsa, üretebileceği hidrokarbon miktarı (petrol ve gaz) olarak Jenetik Potansiyeli ( $S_1+S_2$ ) tanımlamıştır. Kerojenin bolluğuna ve türüne bağlı olarak bu potansiyel, sırayla sediment depolanma zamanındaki orijinal organik girdiyle, mikrobiyal degradasyon koşulları ile ve bu sedimentlerdeki organik maddenin yeniden düzenlenmesi ile ilişkilidir. Jenetik potansiyel, hidrokarbon kaynak potansiyelinin kalitatif bir tahminini verir, ancak piroliz esnasında üretilen hidrokarbon tipini (gaz veya petrol) tahmin etmek için kullanılamaz.

İncelenen bitümlü şeyl örneklerinin Jenetik Potansiyel değerleri 15740-102230 ppm arasında (ortalama 49852,27 ppm) değişmektedir. Buna göre örneklerin jenetik potansiyel değerleri Tissot ve Welte'ye (1978) göre incelenen örneklerin iyi kaynak kaya potansiyelini göstermektedir (Çizelge 3.25 - 3.26).

Çizelge 3.25 Jenetik potansiyel ile kaynak kaya potansiyeli arasındaki ilişki (Tissot ve Welte 1978)

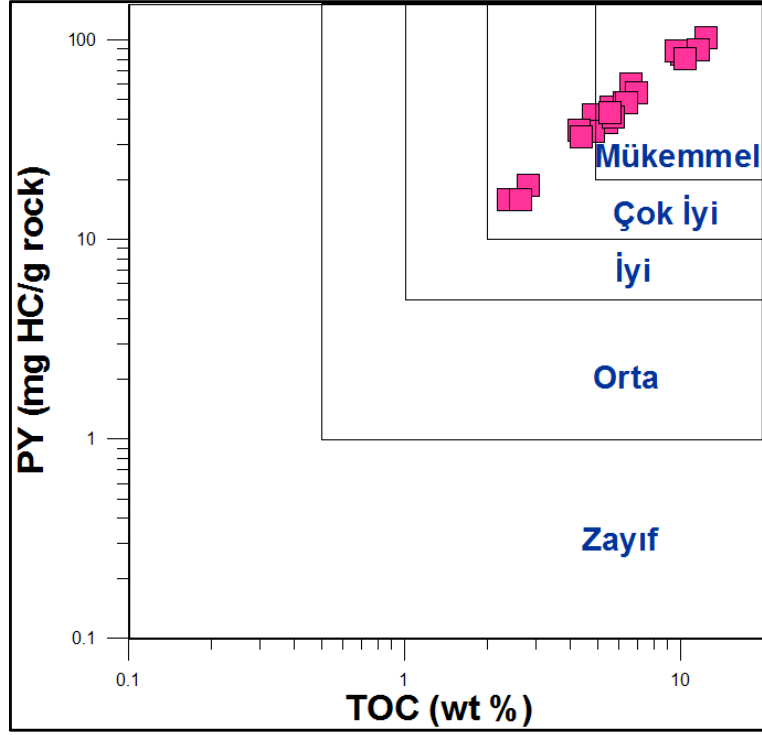
<b>Jenetik Potansiyel (ppm)</b>	<b>Kaynak Kaya Potansiyeli</b>
< 2000	Kaynak Kaya Potansiyeli Yok
2000 - 6000	Orta Derecede Kaynak Kaya Potansiyeli
> 6000	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli

Çizelge 3.26 İncelenen örneklerin Jenetik Potansiyel değerleri ve buna ilişkin kaynak kaya potansiyelleri

Örnek No	PY (S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> ), ppm	Kaynak Kaya Potansiyeli (Tissot ve Welte 1978)
TK 61	32480	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 58	43040	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 55	15740	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 52	35230	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 50	18770	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 46	41080	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 43	15750	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 40	34780	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 38	42050	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 36	48540	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 33	80690	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 31	42580	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 29	89210	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 25	35020	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 23	54270	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 20	48630	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 19	102230	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 16	60150	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 13	45960	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 11	87810	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 8	84240	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
TK 5	38500	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli
<b>Ortalama</b>	49852,27	İyi Kaynak Kaya Potansiyeli

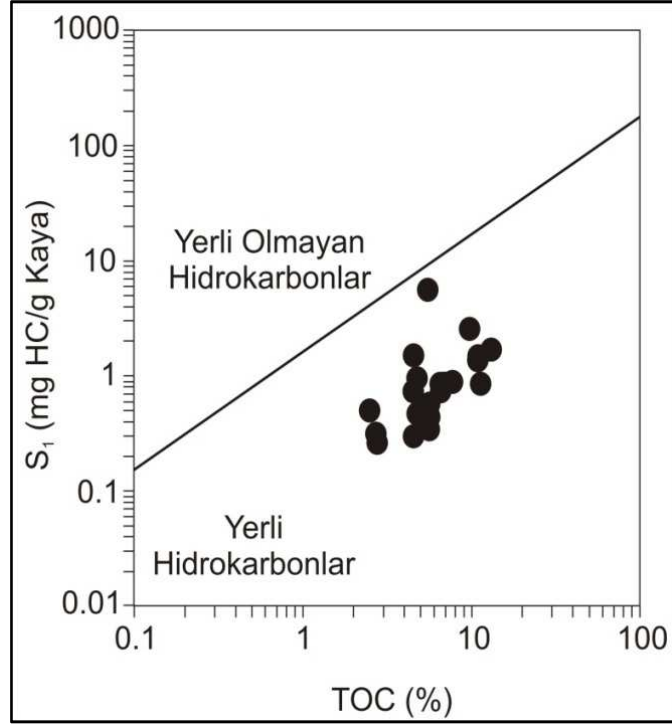
İncelenen örnekler PY (ppm) –TOC (wt %) diyagramında değerlendirildiklerinde ise, çok iyi-mükemmel kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3.22).





Şekil 3.22 İncelenen örneklerin PY-TOC diyagramındaki konumları (Ghori 2002)

$S_1$  (mg HC/ g kaya) - TOC (wt %) (Hunt 1995) diyagramı, genellikle göç etmiş hidrokarbonları ve yerli hidrokarbonlardan kirleticileri ayırmak için kullanılır. Buna göre incelenen örneklerin ürettiği hidrokarbonlar yerli olup, herhangi bir mekanik veya antropojenik yolla organik kirlenmeye maruz kalmamıştır (Şekil 3.23).



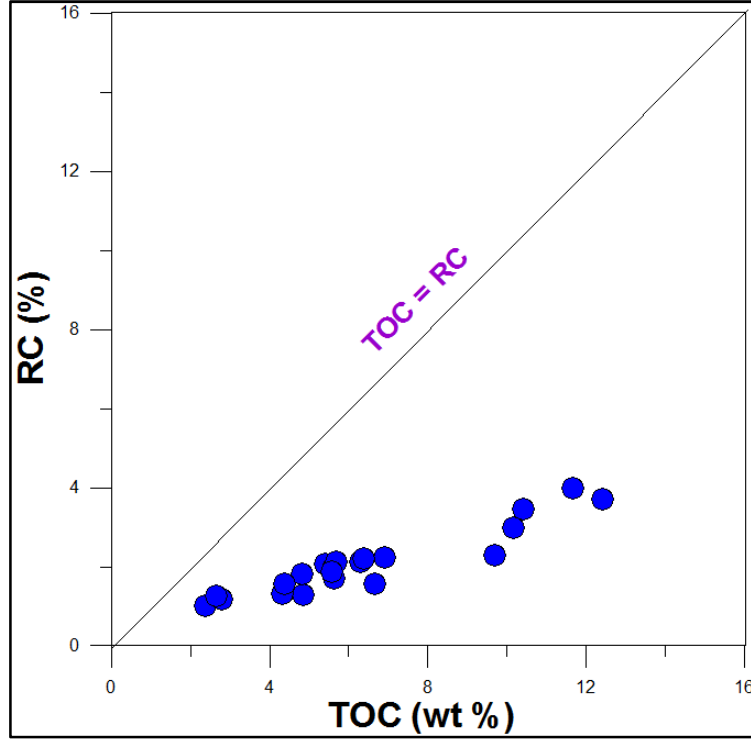
Şekil 3.23 Bölgeye ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_1$ (mg HC/ g kaya) - TOC (wt %) diyagramındaki konumları (Hunt, 1995)

Rezidüel karbon (RC), piroliz işlemi esnasında CO ve CO<sub>2</sub>'den elde edilen organik karbonun (wt %) toplamını gösterir. Rezidüel karbon aynı zamanda piroliz edilemeyen organik karbonu gösteren TOC bölümü olarak da tanımlanabilir (Johannes vd. 2006).

Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin % RC değerleri 1,0 – 4,0 arasında (ortalama % 2.05) değişmektedir (Çizelge 3.27). Buna göre incelenen bitümlü şeyl örneklerinin kalıntı karbon çizgisinde (TOC=RC) bulunmadığı ve dolayısıyla hala türüm potansiyeline sahip olduğu şekil 3.24'de görülmektedir.

Çizelge 3.27 Tekirler bölgesine ait incelenen örneklerin % RC değerleri

<b>Örnek No</b>	<b>RC, %</b>
<b>TK 61</b>	1,58
<b>TK 58</b>	1,88
<b>TK 55</b>	1,26
<b>TK 52</b>	1,31
<b>TK 50</b>	1,17
<b>TK 46</b>	2,14
<b>TK 43</b>	1,00
<b>TK 40</b>	1,83
<b>TK 38</b>	1,29
<b>TK 36</b>	2,21
<b>TK 33</b>	3,47
<b>TK 31</b>	1,95
<b>TK 29</b>	4,00
<b>TK 25</b>	1,38
<b>TK 23</b>	2,25
<b>TK 20</b>	2,12
<b>TK 19</b>	3,70
<b>TK 16</b>	1,56
<b>TK 13</b>	1,71
<b>TK 11</b>	2,28
<b>TK 8</b>	2,99
<b>TK 5</b>	2,08
<b>Ortalama</b>	2,05



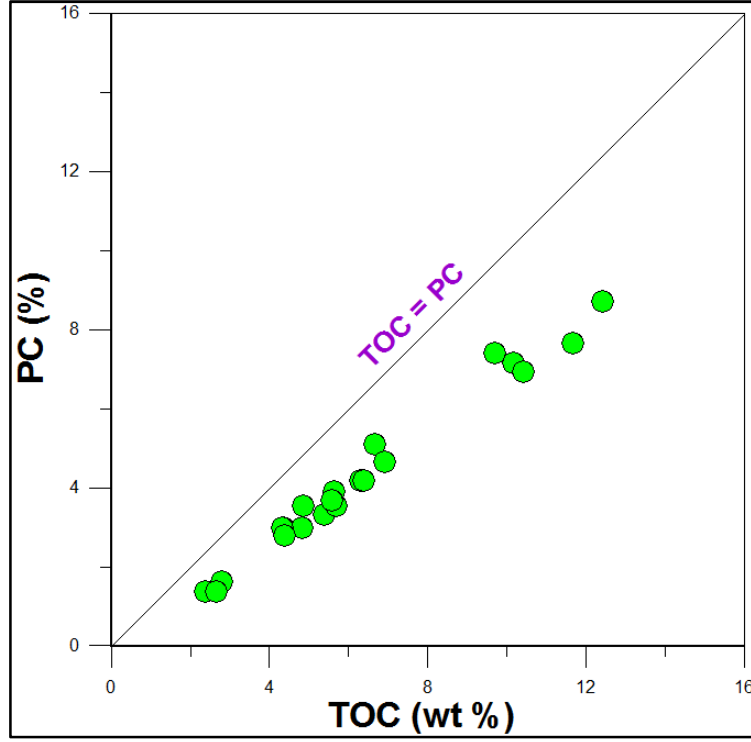
Şekil 3.24 İncelenen örneklerin RC (%) - TOC (%) diyagramındaki konumları (English vd. 2004)

Piroliz Edilebilen Karbon (PC) ise, rezidüel karbonun aksine TOC'un piroliz edilebilen kısmı olarak tanımlanabilir.

Bölgeye ait örneklerin % PC değerleri 1,37 – 8,72 arasında değişmekte olup (ortalama % 4,06), PC-TOC diyagramına göre de, incelenen örneklerin piroliz edilebilen karbon çizgisine yakın bulunduğu (TOC=PC), hala türüm potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 3.28, Şekil 3.25).

Çizelge 3.28 Bölgeye ait örneklerin % PC değerleri

<b>Örnek No</b>	<b>PC, %</b>
TK 61	2,79
TK 58	3,69
TK 55	1,38
TK 52	3,00
TK 50	1,63
TK 46	3,55
TK 43	1,37
TK 40	2,99
TK 38	3,55
TK 36	4,17
TK 33	6,94
TK 31	3,65
TK 29	7,65
TK 25	2,98
TK 23	4,66
TK 20	4,17
TK 19	8,72
TK 16	5,09
TK 13	3,91
TK 11	7,41
TK 8	7,16
TK 5	3,31
<b>Ortalama</b>	<b>4,06</b>



Şekil 3.25 İncelenen örneklerin PC (%) – TOC (%) diyagramındaki konumları

### 3.2.1.5 Organik fasiyes incelemeleri

Rock-Eval piroliz analizleri (HI, OI, TOC), H/C, O/C atomik oranları ve egemen organik madde türlerine göre A, AB, B, BC, C, CD ve D olmak üzere yedi ayrı organik fasiyes tanımlaması yapılmıştır (Jones 1987).

Bölgeye ait örneklerin Hidrojen İndeks (HI) değerleri 584 – 891 mg HC/g kaya arasında (ortalama 759,14 mg HC/g kaya), Oksijen İndeks (OI) değerleri 18 - 44 mg HC/g kaya arasında (ortalama 31,45 mg HC/g kaya), wt % TOC değerleri de 2,37-12,42 arasında (ortalama % wt 6,32) değişmektedir. Analizi yapılan örneklerin organik petrografik değerlendirmesinde de örneklerin %100 amorf+algal organik maddeden oluştuğu belirlenmiştir. Tüm bu veriler dikkate alındığında Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin organik fasiyesinin AB olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3.29, 3.30, 3.31).

Çizelge 3.29 Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin organik petrografik ve piroliz verileri

Örnek No	% Amorf+Alg	Piroliz Verileri		
		HI, mg HC/g kaya	OI, mg CO <sub>2</sub> / g kaya	TOC (wt %)
TK 61		711	34	4,37
TK 58		762	34	5,57
TK 55		584	34	2,64
TK 52	100	801	29	4,31
TK 50		661	41	2,80
TK 46		714	40	5,69
TK 43		643	38	2,37
TK 40		712	40	4,82
TK 38	100	849	16	4,84
TK 36		750	41	6,38
TK 33		761	44	10,41
TK 31		754	34	5,60
TK 29	100	759	35	11,65
TK 25		796	20	4,36
TK 23		773	38	6,91
TK 20		760	36	6,29
TK 19	100	809	23	12,42
TK 16		891	20	6,65
TK 13		809	23	5,62
TK 11		880	18	9,69
TK 8	100	818	26	10,15
TK 5		704	32	5,39
TK ORT.		759,14	31,45	6,32

Çizelge 3.30 Organik fasiyelerin genelleştirilmiş mikroskobik ve jeokimyasal karakteristiklerinin özeti (Jones ve Demaison 1982, Jones 1984, 1987)

ORGANİK FASIYES	%R <sub>0</sub> = 0,5 deki H/C ORANI	PİROLİZ VERİLERİ			EGEMEN ORGANİK MADDE	KEROJEN TİPİ	SEDİMANTER YAPI
		HI, mg HC/ g kaya	OI, mg CO <sub>2</sub> / g kaya	TOC, wt %			
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 - biyotürbasyonlu
CD	0,60 – 0,75	50 - 125	40 - 150+	< 0.5	Okside; taşınmış	Tip III / Tip IV	Masif; biyotürbasyonlu
D	≤ 0,60	< 50	20 - 200+		Yüksek okside; taşınmış	Tip IV	



Çizelge 3.31 Organik fasiyesler ve ortamsal faktörler arasındaki ilişki (Jones ve Demaison 1982, Jones 1984, 1987)

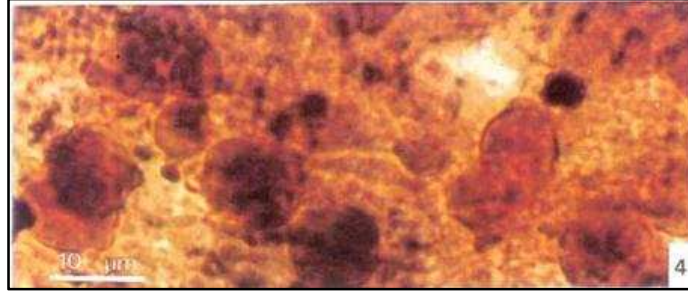
ORGANİK FASİYES	PROKSİMAL-DİSTAL EĞİLİM	OKSİJEN REJİMİ	SEDİMENT BİRİKİM ORANI	ÜRÜN
A	Distal	Öksinik / Anoksik	Düşük	Petrol
AB		Anoksik - Disoksik	Değişken	Petrol + Gaz
B			Yüksek	Gaz + Petrol
BC	Proksimal	Oksik	Orta	Biraz Gaz
C			Düşük	Gaz
CD		Çok Oksik		Düşük
D				

AB organik fasiyesi, A organik fasiyesi ile B organik fasiyesi arasında geçiş oluşturur. Egemen organik madde amorf olup çok az miktarda karasal organik madde içeriğine sahiptir (Jones 1987, Şekil 3.25 - 3.26). Buna bağlı olarak kerojen tip tanımlamasına göre, bu fasiyeste çoğunlukla Tip I, az oranda Tip II kerojenin hakim olduğu ve dolayısıyla çoğunlukla petrol, az oranda gaz oluşumunun gözlenebileceği söylenebilir.

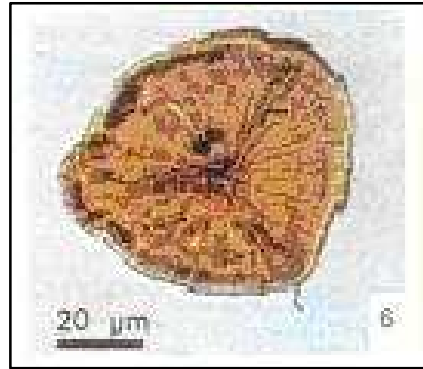
AB organik fasiyesinde laminalı yapıya sahip sedimentler içerisinde korunmuş organik maddenin jeokimyasal karakteristikleri, % 0,5 vitrinit yansıması değerinde H/C oranı, 1,35-1,45 arasındadır. Hidrojen indeksi (HI) 650-850 mg HC/g TOC, oksijen indeksi (OI) ise 20-50 mg CO<sub>2</sub>/g TOC'dir. Toplam organik karbon (TOC) miktarı % 3-10+ arasında değişmekle birlikte genellikle yüksektir.

AB organik fasiyesi, denizel şeyl ve karbonatlarda olduğu kadar gölsel kayaların çökelim alanlarında da görülür. Oksijen rejimi açısından anoksik-disoksik şartlarda çökelinin gerçekleştiği AB organik fasiyesinde jeolojik yer, çökelim açısından A organik fasiyesine göre daha büyüktür. AB organik fasiyesinin proksimal-distal eğilimi distal, sediment birikim oranı ise değişkenlik gösterir. Organik maddenin boyutu ve yoğunluğu dikkate alındığında, vitrinit ve inertinit gibi kaba partiküller kıyıya yakın çökelerken, spor, polen ve mumlu organik maddeler gibi ince partiküller daha derin sulu ortamlarda çökmektedir (Ebukanson ve Kinghorn 1985).

AB organik fasiyesine Dünya'dan örnek olarak; Güney Atlantik kenarları boyunca gelişen göl sistemleri, Batı Sibirya'daki Jurasik yaşlı köken kayalar verilebilir (Jones 1987).



Şekil 3.26 Pürüzlü organik madde, organik kayaç mikroskobik görüntüsü (Kolombiya Kretase'si; Durand 1980)



Şekil 3.27 Psilophytele sporu, Emphanisporites, Libya Alt Devoniyen'i mikroskobik görüntüsü (Durand 1980)

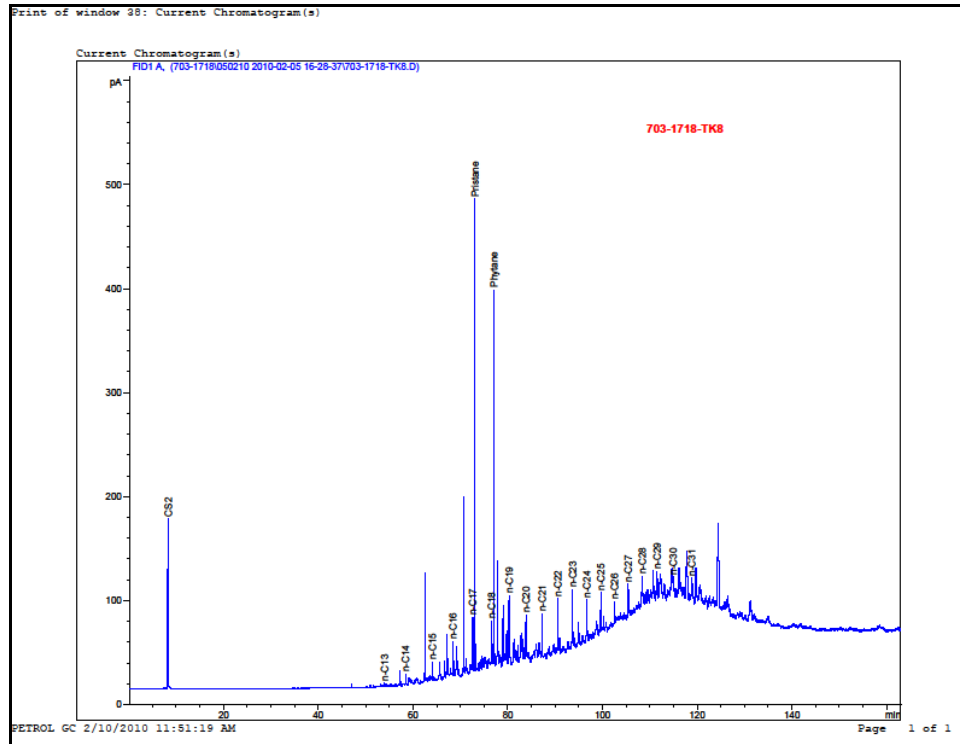
### 3.2.2 Gaz kromatografi incelemeleri

Gaz kromatografî (GC) analizi, genel olarak hidrokarbon bileşiklerinin genel dağılımlarını görmek, organik madde tipi, olgunlaşması, çökeltme ortam koşulu hakkında bilgi sağlamak amacıyla gaz kromatogramlardaki pik dağılımları ve boylarına bakılarak değerlendirme yapılır. Hakim pikler n-alkanlardır.

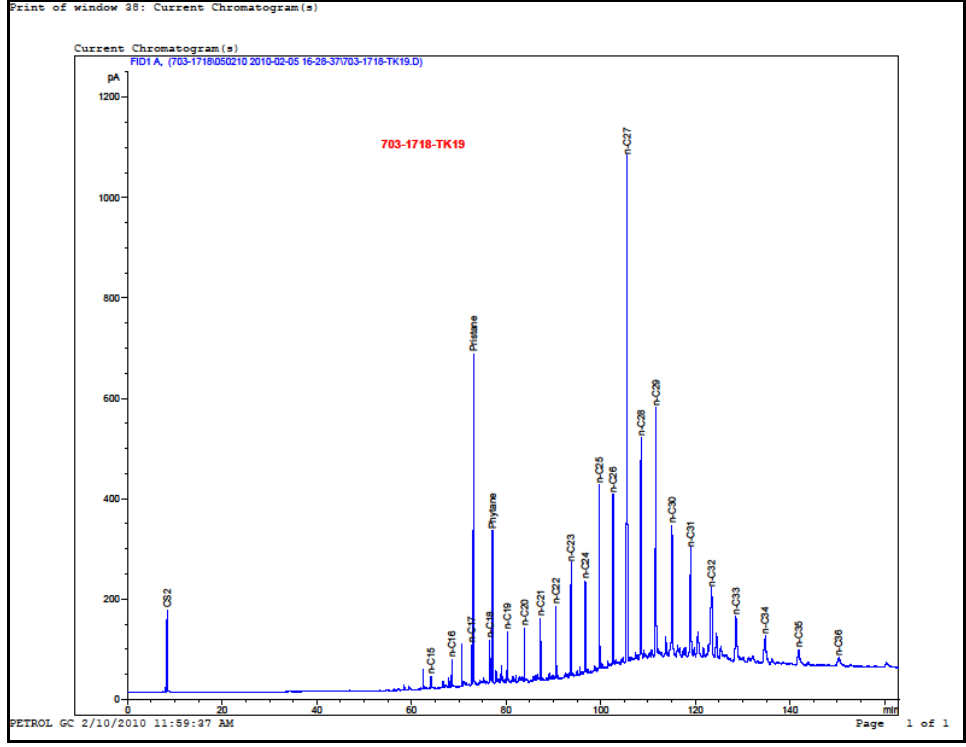
Bu çalışmada, n-alkan dağılımlarından yararlanarak, gaz kromatogramları kullanılarak, Pristan (Pr) / Fitan (Ph) oranı (Didyk vd. 1978, Tissot ve Welte 1984), paleoredoks ortam işaretçileri (Ni/Co, V/(V+Ni), U/Th, V/Sc ve Mo/Mn) (Kholodov ve Nedumov

1991, Hatch ve Leventhal 1992, Jones ve Manning 1994, Wignall 1994, Kimura ve Watanabe 2001), Karbon Tercih İndeksi (CPI) indeksi (Bray ve Evans 1961, Koons vd. 1965), Pr/Ph –CPI (Akinlua ve Smith 2009), Pr/Ph –CPI (Akinlua vd. 2007), % S - Pr/Ph, % S - Pr/Ph (Chung vd. 1992) ve Pr/nC<sub>17</sub> - Ph/nC<sub>18</sub> (Petersen vd. 2001) diyagramları kullanılarak yorumlamaya gidilmiştir.

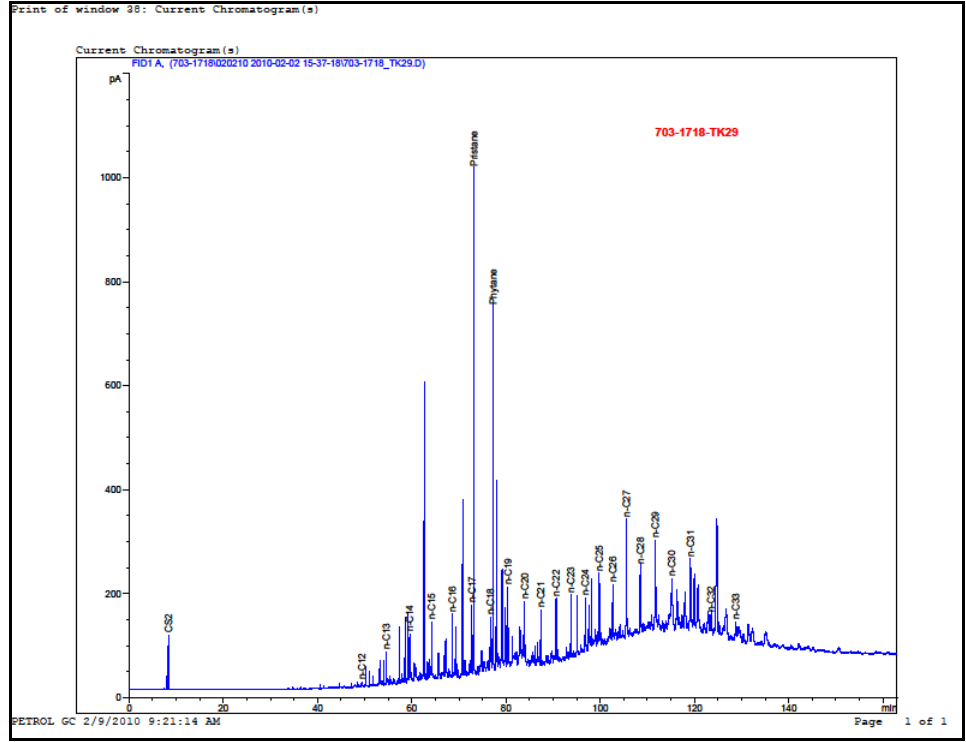
Bölgeye ait örneklerin gaz kromatogramları Şekil 3.28 - 3.32’da verilmiştir.



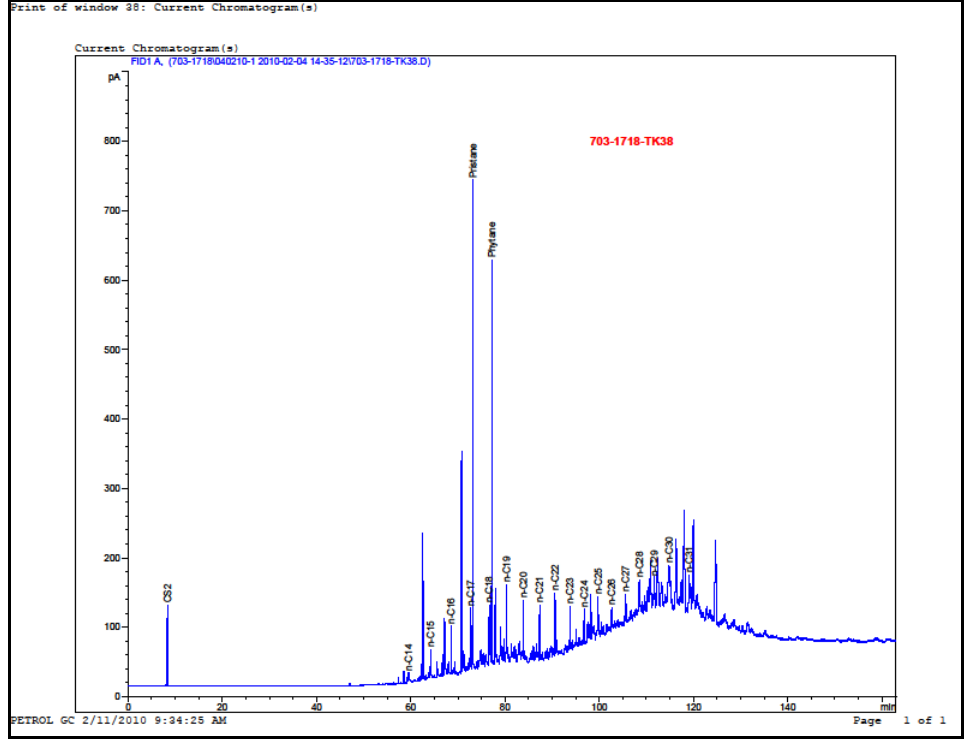
Şekil 3.28 TK 8 nolu örneğe ait gaz kromatogramı



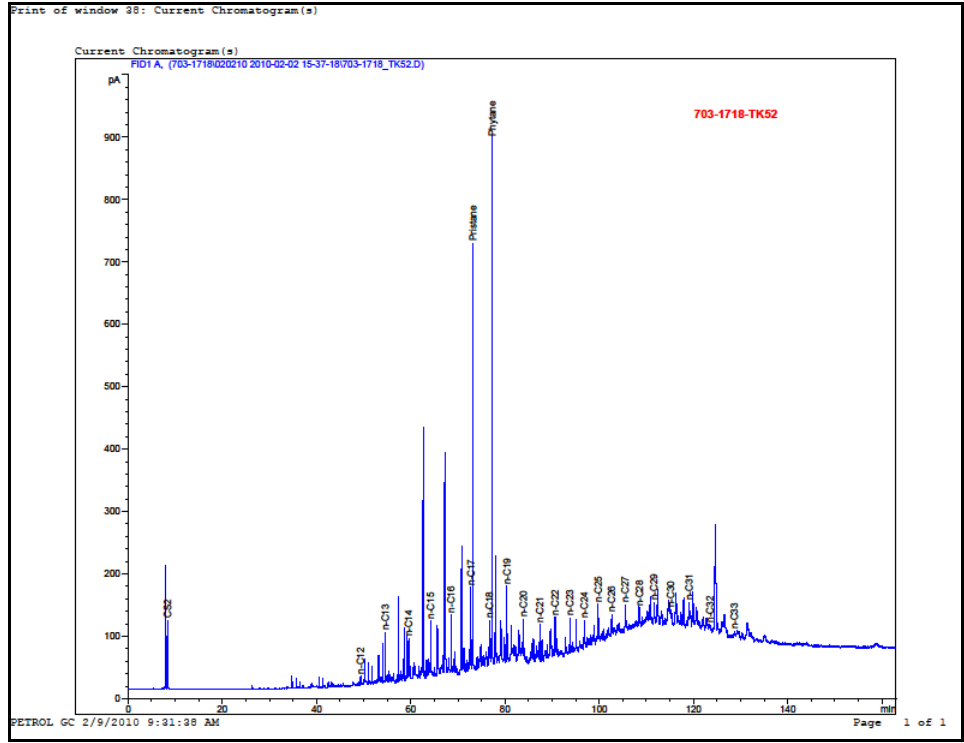
Şekil 3.29 TK 19 nolu örneğe ait gaz kromatogramı



Şekil 3.30 TK 29 nolu örneğe ait gaz kromatogramı



Şekil 3.31 TK 38 nolu örneğe ait gaz kromatogramı



Şekil 3.32 TK 52 nolu örneğe ait gaz kromatogramı

Bir gaz kromatogramındaki n-alkanların dağılımı çökelme ortamı, organik madde tipi, biyolojik bozunma ve ısıl olgunluk hakkında bilgi vermektedir. Tüm kromatogramlarda normal alkan dağılımlarındaki maksimumların genellikle C<sub>14</sub>-C<sub>18</sub> aralığında gözlenmesi, kaynak kayayı türeten organik madde tipinin baskın olarak algal+ bakteriyel olduğunu vurgular (Bourbonniere ve Meyers 1996, Peters vd. 2005, Varandas da Silva 2008). Yani C<sub>15</sub>, C<sub>17</sub>, C<sub>19</sub> gibi düşük moleküler ağırlıklı tek karbon numaralı n-alkanlar algal kaynağını yansıtırken, C<sub>27</sub>, C<sub>29</sub> ve C<sub>31</sub> gibi yüksek moleküler ağırlıklı tek karbon numaralı n-alkanlar ise karasal bitkileri yansıtır. Ayrıca gaz kromatogramlarındaki çift merkezli (biomodal) ya da nC<sub>23</sub>-nC<sub>30</sub> dizisine doğru çarpık bir n-alkan dağılımı da karasal yüksek bitki girdisini göstermektedir (Tissot ve Welte 1984, Waples 1985). Buna göre incelenen bitümlü şeyl örneklerinin çoğunda düşük moleküler ağırlıklı tek karbon numaralı n-alkanlar hakim olduğundan bu durum algal kaynağa işaret etmektedir.

C<sub>20</sub>-C<sub>30</sub> dizisindeki çift karbon numaralı n-alkanların baskınlığı da özellikle anoksik karbonat ya da evaporitler ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Palacas 1984, Tissot ve Welte 1984, Moldowan vd. 1985, Peters ve Moldowan 1993, Hunt 1995, Behrens vd. 1998). Buna göre incelenen örnekler C<sub>20</sub>-C<sub>30</sub> dizisindeki çift karbon numaralı n-alkanlarca baskın olmadığından örnekler anoksik karbonat ya da evaporitler ile ilişkili değildir.

Pr/Ph oranı, iyi bir korelasyon parametresidir. Pristan ve fitanın başka kaynakları tanımlamasına rağmen özellikle fototropik organizmalardaki klorofilin yan zinciri olan fitil (phytyl)'den türemektedirler. Sedimandaki anoksik koşullar altında fitil yan zinciri koparak fitolü ve fitol de indirgenerek fitanı oluştururken, oksik koşullar altında ise fitol pristana indirgenmektedir (Peters ve Moldowan 1993). Dolayısıyla Pr/Ph oranı çökelme ortamının redoks potansiyelini yansıtmakta, Pr/Ph < 1 ise ve özellikle yüksek porfirin ve sülfür içeriği ile destekleniyorsa anoksik depolanmayı, 1'den büyük değerlere sahipse oksik şartları işaret etmektedir (Didyk vd. 1978). Pr/Ph oranı ayrıca paleoortam ve olgunluk hakkında da bilgi sağlamaktadır. Fakat düşük ısıl olgunluğa sahip örneklerde Pr/Ph oranının paleoortamı belirlemede kullanılması tavsiye edilmemektedir (Volkman ve Maxwell 1986). Peters ve Moldowan'a (1993) göre ısıl olgunluğu petrol türetme

aralığında olan örnekler için, yüksek Pr/Ph oranı ( $> 3,0$ ) oksik şartlar altında karasal organik madde girdisini, düşük değerler ( $< 0,6$ ) ise anoksik ve yaygın olarak çok tuzlu ortamları işaret ettiğini ileri sürmüşler ve Pr/Ph oranının 0,8 ile 2,5 arasında olduğu örnekler için başka destekleyici veri olmaksızın bu oranın pleoortam belirleyici olarak kullanılmamasını önermişlerdir.

İncelenen örneklerdeki yüksek Ph (Fitan) miktarı veya ölçülen Pr/Ph  $< 1,0$  oranları çökeltme ortamının indirgen/anoksik olduğuna, yüksek Pr (Pristan) miktarı veya ölçülen Pr/Ph  $> 1,0$  organik maddenin depolanma ortamının yükseltgen/oksijenli ortam olduğuna işaret eder (Didyk vd. 1978, Tissot ve Welte 1984). Buna göre, Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinden TK 8, TK 19, TK 29, TK 38 nolu bitümlü şeyl örneklerinin Pr/Ph oranları 1'den büyük olup çökeltme ortamının redoks koşulunun oksik, TK 52 nolu bitümlü şeyl örneğinin Pr/Ph oranı 1'den küçük ve çökeltme ortamının redoks koşulu anoksiktir (Çizelge 3.32).

Çizelge 3.32 Tekirler bölgesine ait örneklerin Pr/Ph değerleri ve buna ilişkin redoks koşulları

Örnek No	Pr/Ph	Redoks Koşulları
<b>TK 52</b>	0,73	Anoksik
<b>TK 38</b>	1,22	Oksik
<b>TK 29</b>	1,43	Oksik
<b>TK 19</b>	2,27	Oksik
<b>TK 8</b>	1,16	Oksik

Paleoredoks koşullarının belirlenmesinde gaz kromatografi parametrelerinin yanı sıra iz element konsantrasyonları da kullanılabilir (Algeo 2004, Tribovillard vd. 2006). Çoğunlukla bitümlü şeylerin paleoredoks koşullarının belirlenmesiyle ilişkili olarak Ni, Co, Cu, Zn, V, Mo, Cr, Ba, Cd ve P gibi elementler kullanılabilir. Özellikle, Ni, Co, V, Cr, U, Th, Sc, Mo, Mn gibi elementler paleoredoks koşulları değerlendirmek için çeşitli araştırmalarda kullanılmıştır (Hatch ve Leventhal 1992, Jones ve Manning 1994, Algeo ve Maynard 2004, Rimmer vd. 2004).

Tekirler bitümlü şeylllerine ait Ni/Co, V/V+Ni, U/Th, V/Sc ve Mo/Mn gibi paleoredoks işaretçileri ile yapılan değerlendirmelerde, örnek ortalamalarına göre, incelenen örneklerin oksik-disoksik redoks koşulu aralıklarında depolandıkları görülmektedir (Çizelge 3.33 - 3.34, Şekil 3.33).

Çizelge 3.33 Paleoredoks ortam işaretçileri

	Oksik	Disoksik	Disoksik - Anoksik	Öksinik
<b>Ni/Co</b> <sup>1</sup>	< 5	5 – 7	> 7	
<b>V/(V+Ni)</b> <sup>2</sup>	< 0,46	0,46 – 0,60	0,54 – 0,82	> 0,84
<b>U/Th</b> <sup>3</sup>	< 0,75	0,75 – 1,25	> 1,25	
<b>V/Sc</b> <sup>4</sup>	< 9,1	İndirgen ortamlar > 9,1		
<b>Mo/Mn</b> <sup>5</sup>	< 0,01	İndirgen ortamlar > 0,01		

<sup>1</sup> Jones ve Manning (1994)

<sup>2</sup> Hatch ve Leventhal (1992)

<sup>2</sup> Wignall (1994)

<sup>3</sup> Jones ve Manning (1994)

<sup>4</sup> Kimura ve Watanabe (2001)

<sup>5</sup> Kholodov ve Nedumov (1991)

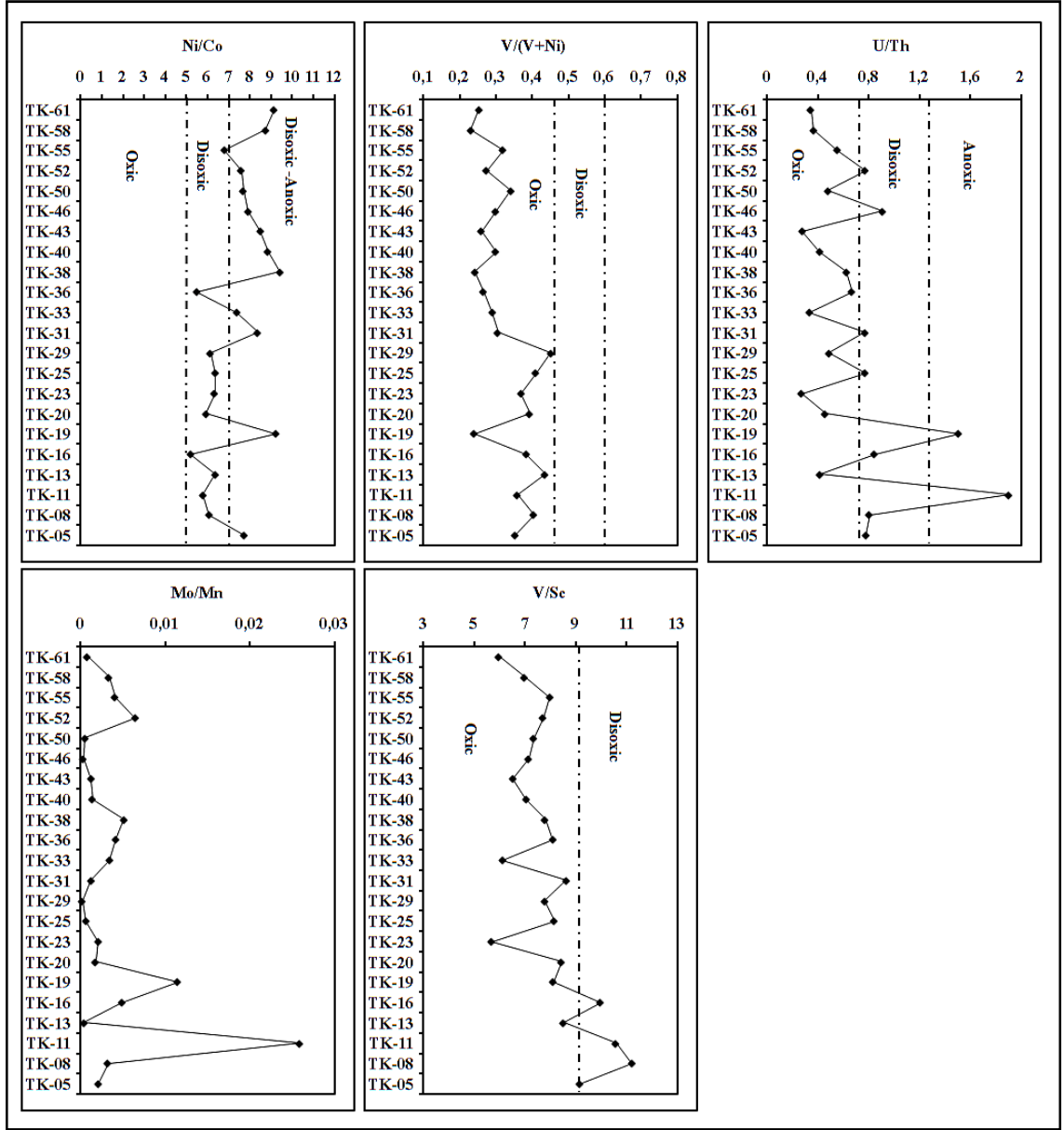
Mo/Mn değerlendirmesi için;

- 0,1 – 4, indirgen ortamlar (Namibiya Şelfi)
- 0,013 – 0,17 suboksik ve dönemsel indirgen ortam, submarin kıtasal kıyılarda (Peru, Şilli ve Fas Şelfleri)
- 0,005 – 0,011 suboksik ortam submarin yükselimler (Japon Denizi)
- 0,0008 – 0,004 oksik ortam, Pasifik ve Atlantik denizaltı dağları ve Blake Platosu
- 0,0001 – 0,043 oksik ve muhtemel suboksik ortamlar, okyanusal adalar (Baturin 2001)

Çizelge 3.34 Tekirler bölgesi bitümlü şeyl örneklerinin ortalama değerleri ve buna göre depolanma ortamının redoks koşulları

	Ni/Co	V/(V+Ni)	U/Th	V/Sc	Mo/Mn
<b>Tekirler (Ortalama)</b>	7,34	0,33	0,64	7,97	0,001388
<b>Depolanma Ortamının Redoks Koşulları</b>	Disoksik	Oksik	Oksik	Oksik	Oksik muhtemelen Disoksik





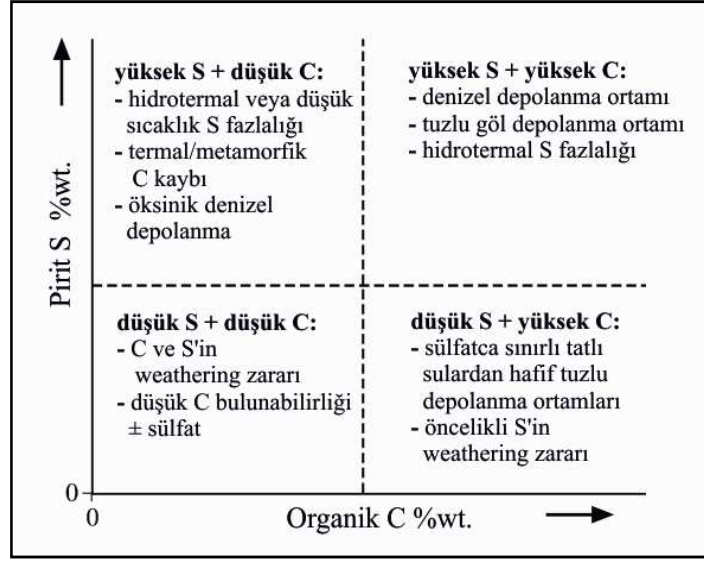
Şekil 3.33 İncelenen bitümlü şeyl örneklerinin paleoredoks işaretçilerine göre değerlendirmesini gösteren grafikler (Kholodov ve Nedumov 1991, Hatch ve Leventhal 1992, Jones ve Manning 1994, Wignall 1994, Kimura ve Watanabe 2001)

Depolanma ortamında sülfidleşme derecesinin yüksek olması organik karbon korumunu artıracığından şeyl türü kayaların organik karbonca zenginleşmeleri ile yakın ilişkisi vardır (Arnaboldi ve Meyers 2003, Brumsack 2006). Bunun yanı sıra Tekirler bölgesine ait örnekler çok düşük kükürt (% TOT/S) değerlerine sahiptir (Çizelge 3.35).

Çizelge 3.35 Bölgeye ait örneklerin toplam kükürt (TOT/S) değerleri

Örnek No	TOT/S
TK 61	<0,02
TK 58	0,02
TK 55	0,03
TK 52	<0,02
TK 50	<0,02
TK 46	<0,02
TK 43	<0,02
TK 40	0,02
TK 38	<0,02
TK 36	<0,02
TK 33	0,06
TK 31	0,03
TK 29	<0,02
TK 25	<0,02
TK 23	<0,02
TK 20	<0,02
TK 19	<0,02
TK 16	0,05
TK 13	<0,02
TK 11	0,05
TK 08	0,04
TK 05	0,02

İncelenen örneklerin %TOT/S değeri oldukça düşük olması ve Corg oldukça yüksek değerler sunması, Lyons vd. (2000)'nin sunmuş oldukları S-Corg diyagramına göre “düşük S+yüksek C” bölgesine düşme ihtimalinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Bu grafiğe göre depolanma ortamının sülfatça sınırlı tatlı sulardan veya hafif tuzlu su ortamları ve öncelikli S'ün weathering zararını işaret etmektedir (Şekil 3.34).



Şekil 3.34 % wt Pirit S ve % wt Corg arasındaki genel ilişki (Lyons vd. 2000)

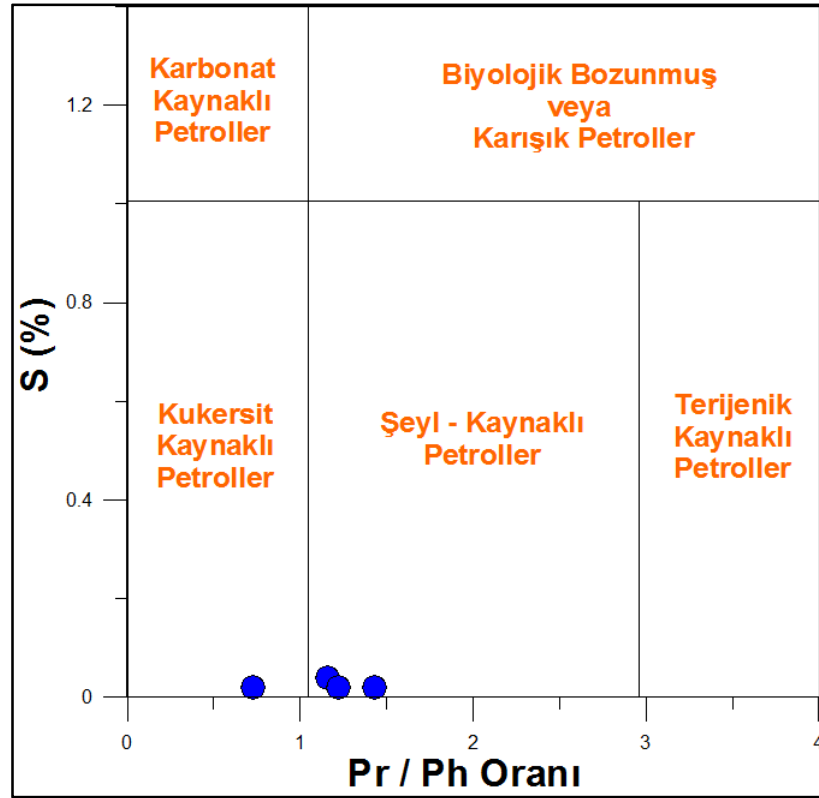
İncelenen bitümlü şeyllerin oksik-disoksik redoks koşullarında depolanmış olmalarına rağmen çok yüksek organik madde içeriğine (TOC değerleri ortalama wt % 6,32) sahip olması olağandışı gibi görünse de bu durum aşağıdaki şartlarda mümkündür;

- Çökelme ortamında üst su kolonundaki biyolojik üretkenliğin çok fazla olması (Pedersen ve Calvert 1990, Caplan ve Bustin 1998),
- Mevsimsel döngülere bağlı olarak zaman zaman havzaya nehirler vasıtasıyla gelen çözülmüş oksijen, fosfat ve nitratlar gibi planktonik besin maddelerinin sınırlanması nedeniyle su kolonunda meydana gelen kısa süreli oksijensizliğe ve besin yetersizliğine bağlı olarak canlılarda (planktonlar) ani ölümlerin meydana gelmesi (Ross 2004),
- Büyük miktarlardaki ani ölümler neticesinde tabanda biriken organik madde miktarının çok fazla olması,
- Çökelme ortamındaki sedimentasyon hızının (kil ve karbonat çökelişi) fazla olmasından dolayı organik maddenin üzerinin süratli bir şekilde örtülerek oksijenle temasının süratle kesilmesi neticesinde tahrip olmaktan korunmasıdır (Sageman vd. 2003, Katz 2005).

İncelenen örnekler petrolün türediği kaynak kayayı belirlemede kullanılan % S - Pr/Ph diyagramında değerlendirildiğinde, örneklerin çoğunun 'şeyl kaynaklı petroller' alanında olduğu görülmektedir (Chung vd. 1992, Şekil 3.35), (Çizelge 3.36)

Çizelge 3.36 İncelenen örneklerin Pr/Ph ve % S değerleri

Örnek No	Pr/Ph	S, %
TK 52	0,73	<0,02
TK 38	1,22	<0,02
TK 29	1,43	<0,02
TK 19	2,27	<0,02
TK 8	1,16	0,04



Şekil 3.35 İncelenen örneklerin S (%) – Pr / Ph diyagramındaki konumları (Chung vd. 1992)

Karbon Tercih İndeksi (CPI), tek karbon numaralı n-alkanların ve çift numaralı n-alkanların birbirlerine göre bolluğu, organik madde tipi, çökelme ortamı ve ısıl olgunluğu yorumlamada kullanılabilir. CPI indeksinin hesaplanmasında araştırmacılar farklı formüller önermişlerdir. Bu indeks karbon dizisinin herhangi bir aralığına uygulanabilir. Bu çalışmada;

$$\text{CPI}_{(16-24)} = (\text{nC}_{15} + \text{nC}_{17} + \text{nC}_{19} + \text{nC}_{21} + \text{nC}_{23}) / (\text{nC}_{16} + \text{nC}_{18} + \text{nC}_{20} + \text{nC}_{22} + \text{nC}_{24})$$

formülü kullanılmıştır (Bray ve Evans 1961).

CPI değerinin belirgin bir şekilde 1'den büyük (tek tercihli) ya da 1'den küçük (çift tercihli) olması ısıl olarak olgunlaşmamış petrol ya da bitüm örneklerini işaret etmektedir. Olgunluğun artması ile CPI değeri 1'e yaklaşmaktadır (Waples 1985). Fakat CPI değerinin 1 ya da 1'e yakın bir değerde olması bu örneklerin olgun olduğunun kesin delili değildir (Peters ve Moldowan 1993). CPI değerinin 1'den düşük olması nadirdir ve bu değerler tipik olarak karbonat ya da çok tuzlu ortamlarla ilişkili petrol ile bitümlerde gözlenmektedir (Tissot ve Welte 1984, Peters ve Moldowan 1993). Olgunlaşmamış ya da olgunluğu düşük örneklerdeki yüksek bir CPI değeri yüksek karasal bitkilerden türeyen karasal organik madde girdisini yansıtmaktadır (Tran ve Philippe 1993).

Tekirler bölgesine ait örneklerin CPI değerleri 1,00 – 1,27 arasında değişmekte olup, bu değerler denizel organizmalardan türemiş organik maddeye işaret etmektedir (Çizelge 3.37 - 3.38). Ayrıca, incelenen örneklerin çoğunun CPI değerlerinin 1'den büyük (tek tercihli) ya da 1'den küçük (çift tercihli) olması da örneklerin ısıl olarak olgunlaşmamış olduğuna işaret etmektedir (Çizelge 3.38). Buna göre incelenen örneklerin genel anlamda olgunlaşmamış safhada olduğu belirlenmiştir.

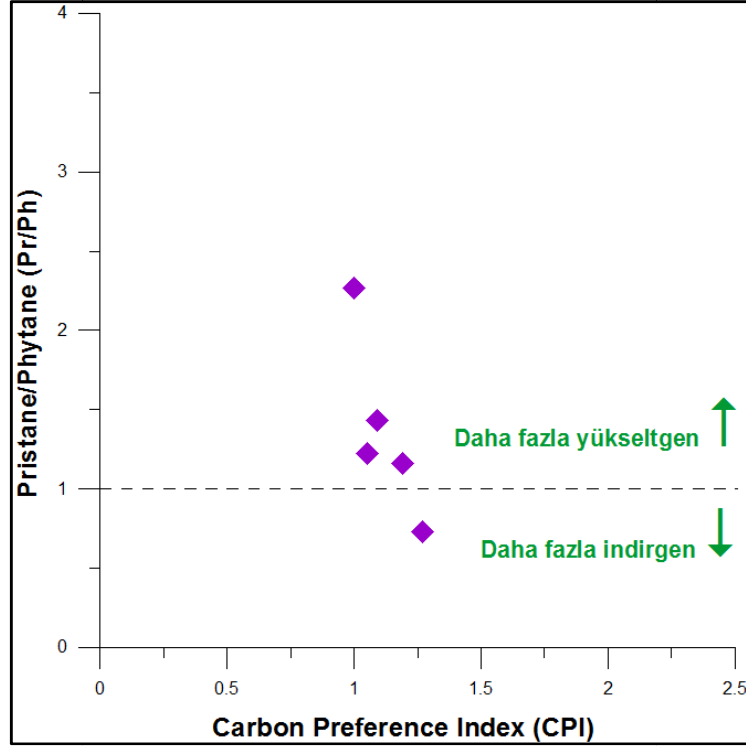
Çizelge 3.37 Karasal bitkiler ve denizel organizmalarda CPI'nın değerlendirilmesi (Bray ve Evans 1961 ve Koons vd. 1965)

<b>Kıtasal Bitkiler</b>	<b>CPI</b>	<b>Denizel Organizmalar</b>	<b>CPI</b>
Karasal Bitkilerde	4,0-7,0	Sponges	1,2
Kıyı Açığı Sedimentlerde	2,5-5,5	Coral	1,1
		Plankton	1,1
		Derin Deniz Sedimentleri	1,0

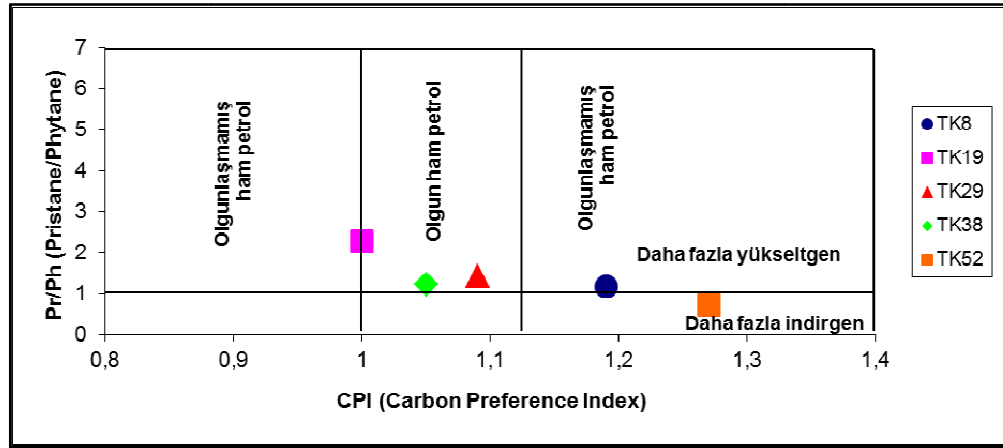
Çizelge 3.38 İncelenen örnekler için hesaplanan CPI değerleri

<b>Örnek No</b>	<b>CPI<sub>(16-24)</sub></b>
<b>TK 52</b>	1,27
<b>TK 38</b>	1,05
<b>TK 29</b>	1,09
<b>TK 19</b>	1,00
<b>TK 8</b>	1,19

Bölgeye ait örnekler Pr/Ph –CPI (Akinlua ve Smith 2009) Pr/Ph –CPI (Akinlua vd. 2007) diyagramlarında değerlendirildiğinde örneklerin çoğunlukla daha yükseltgen alanda yer aldığı ve çeşitli olgunlaşma seviyelerinde olduğu görülmektedir (Şekil 3.36 - 3.37).



Şekil 3.36 İncelenen örneklerin Pr/Ph – CPI diyagramındaki konumları (Akinlua ve Smith 2009)



Şekil 3.37 İncelenen örneklerin petrolerin olgunlaşma düzeyi ile ilişkilendirilmiş Pr/Ph–CPI diyagramındaki konumları (Akinlua vd. 2007'den değiştirilerek)

İzoprenoid/n-alkan oranlarında, gaz kromatogramlarındaki izoprenoidlere en yakın n-alkanlar kullanılmaktadır. Pristan  $n_{C_{17}}$  ile, fitan ise  $n_{C_{18}}$  ile çift pikler gibidir.  $Pr/n_{C_{17}}$  ve  $Ph/n_{C_{18}}$  oranları petrol korelasyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

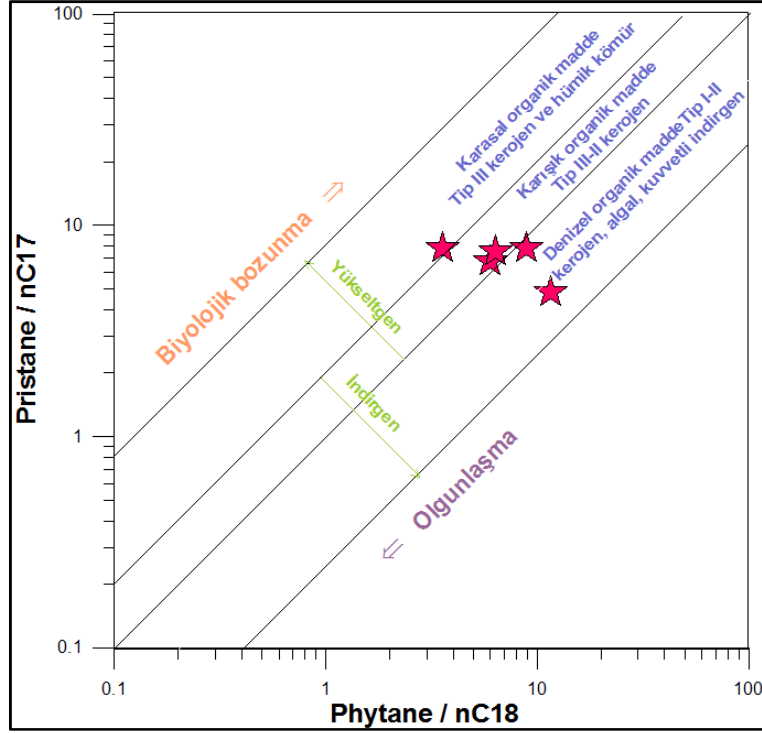
Yüksek pristan içeren örnekler oksitleyici bir kaynağı, yüksek fitan içeriği ise indirgeyici bir kaynağı yansıtmaktadır. Dolayısıyla petrol ya da bitümleri farklı gruplar içinde sınıflandırmak için Pr/nC<sub>17</sub>'nin Ph/nC<sub>18</sub>'e karşı çizildiği diyagramlar kullanılmaktadır (Hunt 1995). İzoprenoid/n-alkan oranı, kırılma ile kerojenden daha çok n-alkan serbest kaldığı için olgunluğun artması ile azalmakta olup (Tissot ve Welte 1984, Hunt 1995) biyolojik bozunmaya uğramamış petrol ve bitüm örnekleri için olgunluğun bir ölçütü olarak kullanılabilir. Bu oran n-alkanların daha kolay yok olmasından dolayı biyolojik bozunma ile artmakta (Hunt 1995) ve ayrıca organik madde girdisi ve ikincil işlevler tarafından da etkilenmektedir. Ayrıca Pr/nC<sub>17</sub>-Ph/nC<sub>18</sub> diyagramı kullanılarak petrolerin türemiş oldukları kaynak kayanın litolojisi ve çökelme ortamları belirlenebilmektedir.

Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin Pr/nC<sub>17</sub> - Ph/nC<sub>18</sub> diyagramındaki konumlarına göre, örneklerin çoğunlukla indirgen ortamda depolandığı, Tip I kerojenden oluştuğu ve olgunlaşmamış seviyede olduğu görülmektedir (Çizelge 3.39, Şekil 3.38). Ayrıca örneklerin, bu diyagramlar üzerinde aynı alanda, birbirine yakın olarak yer alması bunların kökensel olarak ilişkili olduğunu, başka bir deyişle aynı kaynak kayadan türediklerinin bir göstergesidir (Şekil 3.38).

Çizelge 3.39 İncelenen örnekler için hesaplanan gaz kromatografi parametreleri

Örnek No	Pr/nC <sub>17</sub>	Ph/nC <sub>18</sub>
TK 52	4,86	11,62
TK 38	7,58	6,33
TK 29	6,77	5,95
TK 19	7,79	3,56
TK 8	7,80	8,87





Şekil 3.38 İncelenen örneklerinin Pr/n-C17-Ph/n-C18 diyagramındaki konumları (Petersen vd. 2001)

### 3.2.2.1 İnce tabaka kromatografi incelemeleri (Iatroscan):

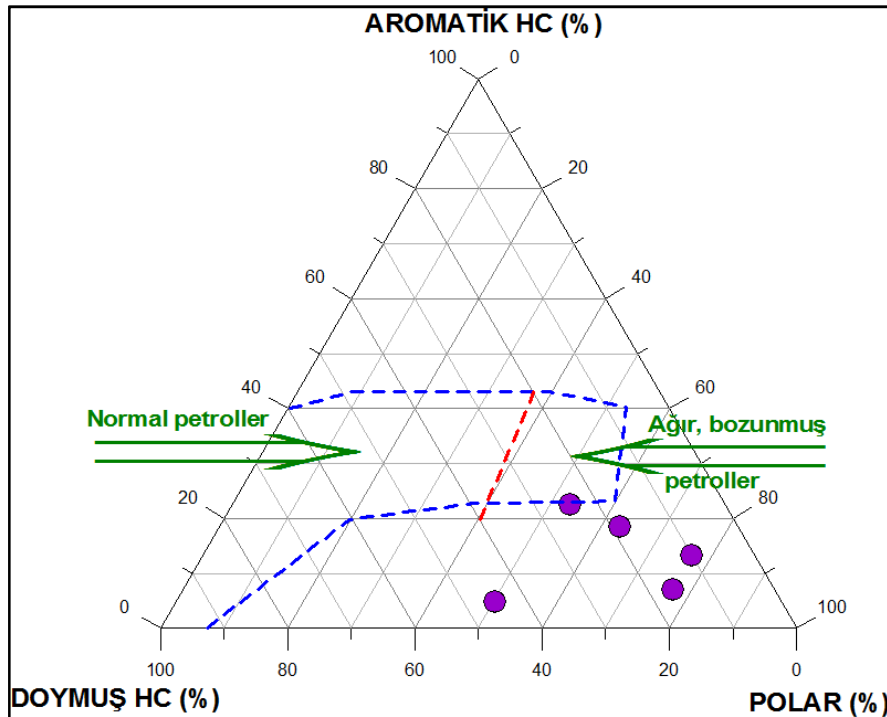
İnce tabaka kromatografi analizi, petrol ve bitüm örnekleri içindeki doymuş hidrokarbonlar, aromatikler ve polar (resin+asfalten) bileşenlerden oluşan hidrokarbon gruplarını yüzde olarak tespit etmek amacıyla yapılmaktadır.

Çizelge 3.40'da incelenen örneklerin ince tabaka kromatografi analizi sonucunda ortaya çıkan temel bileşen miktarları sunulmuştur. Örneklerdeki % doymuş HC miktarları 9,88 - 44,93 arasında, % aromatik HC miktarı 5,00 - 22,55, % polar miktarı ise 50,07 – 76,96 arasında değişmektedir. Buna göre, örneklerin % polar bileşen miktarlarının yanında daha düşük miktarlarda % doymuş hidrokarbon miktarlarına sahip olması örneklerin petrollerinin ağır petroler sınıfına girdiğini vurgular.

Çizelge 3.40 Tekirler bölgesine ait ince tabaka gaz kromatografî analiz sonuçları

Örnek No	Doymuş Hidrokarbon (%)	Aromatik Hidrokarbon (%)	Polar (%)
TK 52	9,88	13,37	76,75
TK 38	24,41	22,55	53,04
TK 29	15,95	7,09	76,96
TK 19	44,93	5,00	50,07
TK 8	18,57	18,65	62,78

İncelenen örnekler köşelerinde aromatik hidrokarbonlar, doymuş hidrokarbonlar ve polar (asfalten+resin) bileşenlerin %100 oranında yer aldığı üçgen diyagramda incelendiğinde, örneklerin düştüğü alan, dünyadaki birçok petrolün içinde yer aldığı ve normal petroler olarak adlandırılan, kesik çizgilerle sınırlandırılmış alanın dışında yer almaktadır. Buna göre incelenen örneklerin polar'larca zengin, mevcut olgunlaşma derecesinin düşük olduğu görülmektedir (Şekil 3.39).



Şekil 3.39 Bölgeye ait örneklerin temel bileşen üçgen diyagramı (Tissot ve Welte 1978'den değiştirilerek)

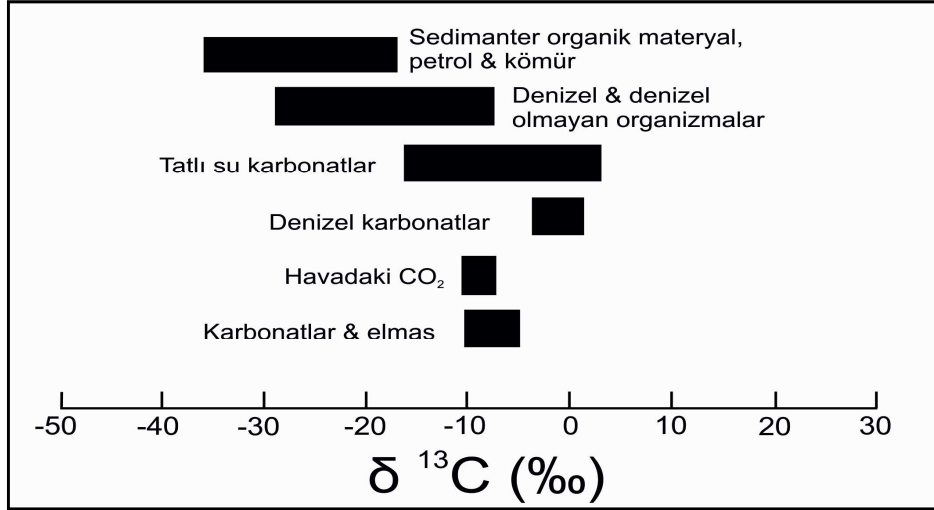
### 3.2.3 Duraylı izotop incelemeleri ( $\delta^{13}\text{C}$ )

Duraylı İzotop Analizi çoğunlukla organik maddenin kökenine açıklık getirmek amacıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada tüm petroldeki  $\delta^{13}\text{C}$  değeri elde edilmiştir. 2 adet örnek için uygulanan analizde elde edilen değerler çizelge 3.41’de verilmiştir.

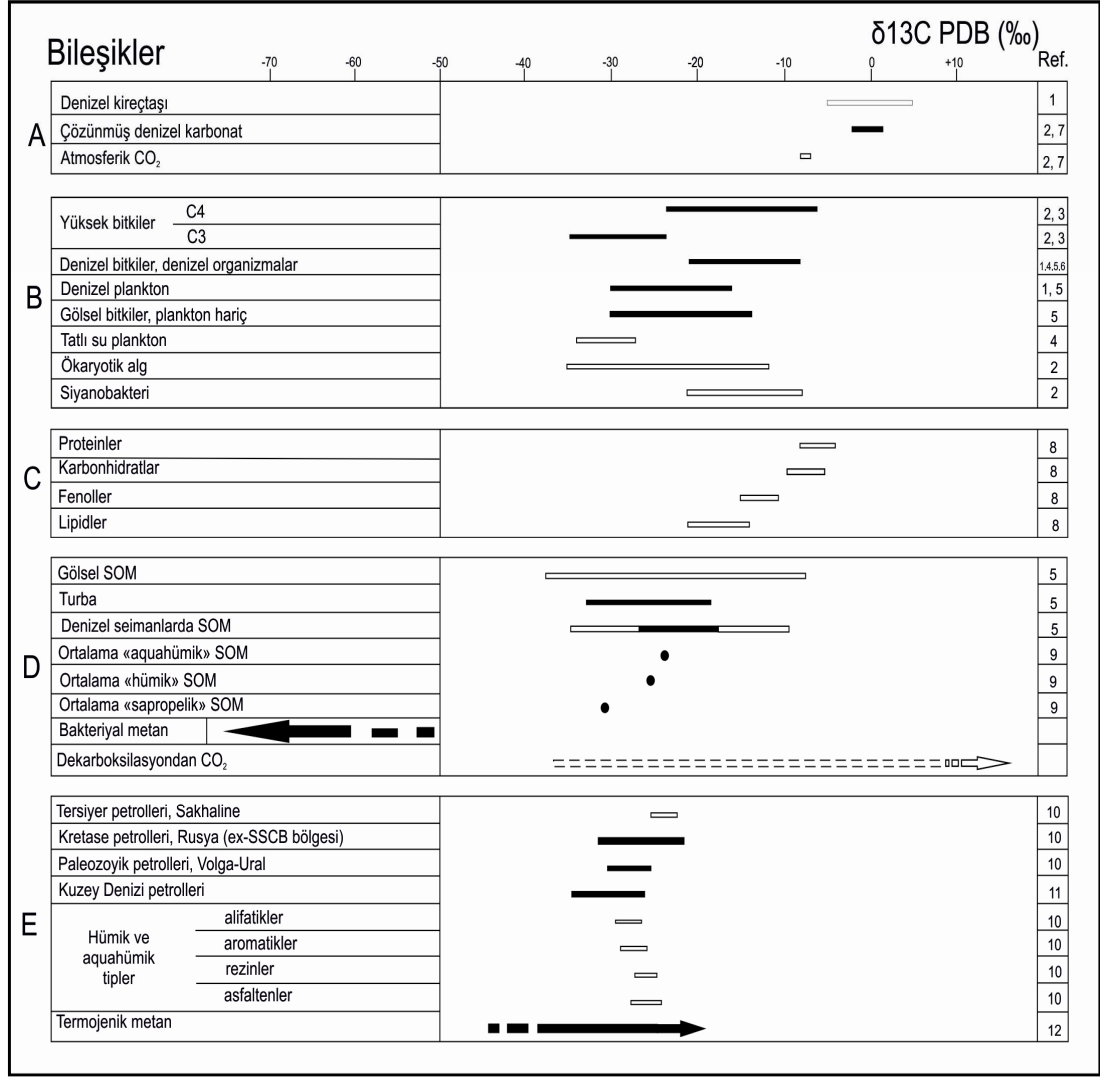
Çizelge 3.41 Tekirler bölgesine ait 2 adet örneğinin  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri

Örnek No	$\delta^{13}\text{C}$
TK 8	-35,11
TK 38	-34,06

İncelenen 2 adet örnekten TK 8 nolu örnek -35,11  $\delta^{13}\text{C}$ , TK 38 nolu örnek ise -34,06  $\delta^{13}\text{C}$  değerine sahiptir. Bu değerler çeşitli araştırmacıların belirlemiş olduğu aralıklara göre değerlendirildiğinde; Hoefs’e (1997) göre sedimanter organik materyal petrol ve kömür (Şekil 3.40), Bordenave’a (1993) göre tatlı su plankton, ökaryotik alg, gölsel SOM aralıklarını (Şekil 3.40); Schidlowski vd. (1983) ve Degens’e (1989) göre genç denizel sediman organik maddesi, lipidler, C3 bitkiler, CAM bitkileri, ökaryotik alg, anoksijenik/fotosentetik bakteri, metanojenik bakteri aralıklarını işaret etmektedir (Şekil 3.41, 3.42). Çeşitli araştırmacıların parametreleri neticesinde incelenen örneklerin farklı  $\delta^{13}\text{C}$  aralıklarını işaret ettiği belirlenmiştir. Burada  $\delta^{13}\text{C}$  tek başına net bir organik madde köken yorumunu azaltmaktadır. Bu nedenle piroliz analizi sonucunda belirlenen organik madde tipi olan çoğunlukla Tip I kerojen tipi göz önüne alınarak yorumlama yapılabilir. Bunun sonucunda  $\delta^{13}\text{C}$  aralıkları açısından denizel/gölsel organik madde, ökaryotik alg, denizel sedimanter materyal, C3 bitkiler şeklinde sınırlandırılabilir.



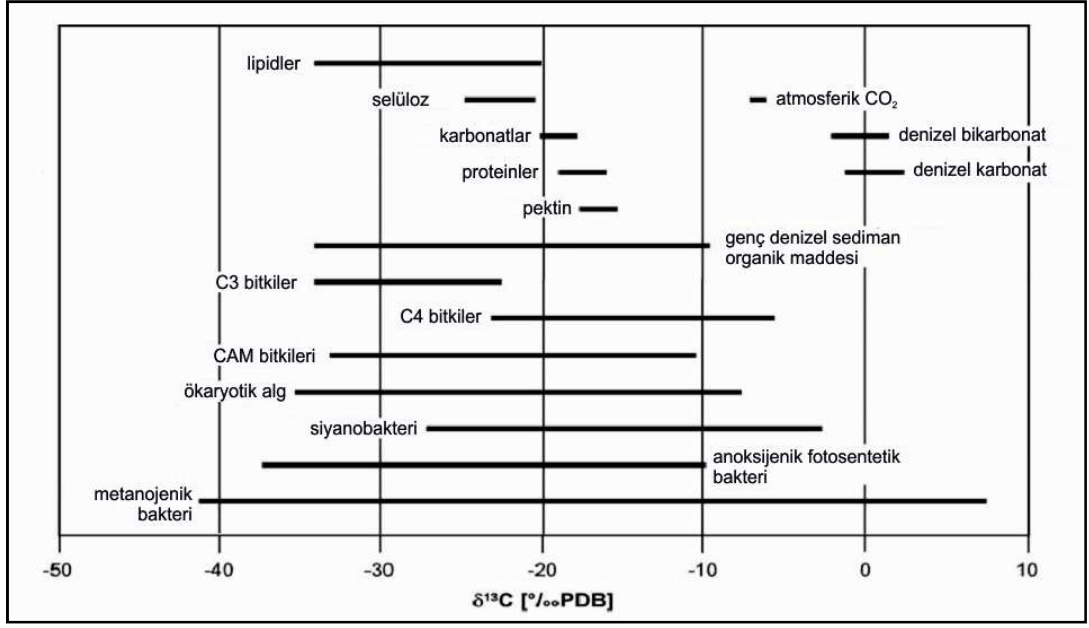
Şekil 3.40 Çeşitli materyallerdeki  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) aralıkları (Hoefs 1997)



Şekil 3.41 Karbonat, organizmalar, kerojen ve petrol ürünlerinin izotopik karbon kompozisyonu (Bordenave 1993)

- A. CO<sub>2</sub> ve karbonatlar: inorganik karbon  
 B. Canlı organik madde. C4 ve C3 fotosentezin ana metabolik yollarıdır. Tuzlu bataklık bitkileri ve tropikal çimler C4 bitkilere örnektir (Stahl 1977). Denizel planktonların  $\delta^{13}C$  organizmanın yaşadığı deniz suyu sıcaklığı işaret eder  
 C. Biyolojik sistemdeki kimyasal bileşikler.  
 D. Kerojenler ve diyajenetik organik ürünler  
 E. Petrol, fraksiyonları ve termojenik metan örnekleri.

- (1) Fuex 1977  
 (2) Schidlowski vd. 1983  
 (3) Hillaire-Marcel 1986  
 (4) Stahl 1977  
 (5) Deines 1980  
 (6) Sackett 1989  
 (7) Weizer 1983  
 (8) Galimov 1980  
 (9) Galimov 1986  
 (10) Galimov 1973  
 (11) Bailey vd. 1990  
 (12) Schoell 1988



Şekil 3.42 Anorganik bileşiklerin, organik bileşiklerin ve denizel ve karasal organizmaların karbon izotop kompozisyonlarının karşılaştırmaları (Schidlowski vd. 1983, Degens 1989)

#### 4. SONUÇLAR

Toplam Organik Karbon Miktarı (TOC):

Tekirler bölgesine ait incelenen 22 adet bitümlü şeyl örneğinin Toplam Organik Karbon (TOC) değerleri % wt 2,37-12,42 arasında değişmekte olduğundan (ortalama % wt 6,32), bu değerler birimin zengin (Tissot ve Welte 1984), yeterli (Jarvie 1991), mükemmel (Peters ve Cassa 1994) kaynak kaya potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

İncelenen örnekler derinlik (m) ile ilişkilendirilmiş TOC (wt %) grafiğinde değerlendirildiğinde de, örneklerin 516,5 m – 790,8 m derinlik arasında değiştiği ve çok iyi kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Organik Madde Tipi:

İncelenen örneklerin Hidrojen İndeks değerleri 584 – 891 mg HC/g kaya arasında değişmekte olup (ortalama 759,14 mg HC/g kaya), çoğunlukla 600 mg HC/g kaya'dan büyük olduğundan kerojen tipinin Tip I kerojen (Peters ve Cassa 1994) olduğu tespit edilmiştir.

HI-OI (Éspitalié vd. 1977), HI-Tmax (Hunt 1995, Mukhopadhyay vd. 1995) ve TOC-S<sub>2</sub> (Langford ve Blanc-Valleron 1990) diyagramları kullanılarak da kerojen tipi belirlenmiş, buna göre incelenen bitümlü şeyl örneklerinin kerojen tipinin çoğunlukla Tip-I kerojen olduğu tespit edilmiştir.

İncelenen örneklerin Hidrokarbon Tip İndeksi (S<sub>2</sub>/S<sub>3</sub> oranı) (Peters ve Cassa 1994) değerleri 16,24 – 54,08 arasında değişmekte olduğundan (ortalama 26,88) örneklerin Tip I kerojen tipine sahip olduğu tespit edilmiştir.

İncelenen bitümlü şeylerinin organik madde tipini belirlemek amacıyla ayrıca 5 adet örnek (TK 8, TK 19, TK 29, TK 38, TK 52 nolu) üzerinde organik petrografik analizler

gerçekleştirilmiştir. Buna göre, 5 örneğin de %100 amorf+algal organik maddeden oluştukları belirlenmiştir.

#### Organik Maddenin Isısal Olgunluğu:

İncelenen Tekirler bitümlü şeyl örneklerinin  $T_{max}$  (°C) değerleri 434-446°C arasında (ortalama 440 °C) değişmektedir. Örneklerin  $T_{max}$  (°C) olgunlaşmalarının; Éspitalié vd.'nin (1984)  $T_{max}$  (°C) standartlarına göre petrol penceresi, Peters ve Cassa'nın (1994)  $T_{max}$  standartlarına göre erken olgun, Éspitalié vd.'nin (1985)  $T_{max}$  (°C) standartlarına göre ise kerojen tipleri daha önce belirlendiği gibi Tip I kerojen olduğundan, olgunlaşma derecesinin olgunlaşmamış-erken olgun ile petrol penceresi aralıklarında olduğu belirlenmiştir.

Bölgeye ait örneklerin derinlik (m) ile ilişkilendirilmiş  $T_{max}$  (°C) diyagramındaki konumlarına göre de örneklerin 516,5 m – 790,8 m arasında derinlikte ve olgunlaşmamış-erken olgun safhada olduğu belirlenmiştir.

İncelenen bitümlü şeyl örneklerinin PI değerleri 0,01-0,04 arasında değiştiğinden (ortalama 0,02), Peters ve Cassa'nın (1994) PI standartlarına göre olgunlaşmamış olduğu tespit edilmiştir.

Bölgeye ait örnekler derinlik (m) ile ilişkilendirilmiş üretim indeksi diyagramında değerlendirildiğinde, 516,5 m – 790,8 m arasında derinliklerde bulunduğu ve olgunlaşmamış seviyede bulunduğu belirlenmiştir.

Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_2/S_3$  değerleri 16,24 – 54,08 arasında değişmekte olup (ortalama 26,88), Peters (1986) ve Clementz vd.'nin (1979) standartına göre değerlendirildiğinde örneklerin tümünün 'katajenezin olgun olmayan ve erken olgun evresi, petrol' e karşılık geldiği tespit edilmiştir.



İncelenen örneklerin derinlik (m) ile ilişkilendirilmiş  $S_2/S_3$  grafiğindeki konumlarına göre de, örneklerin 516,5 m – 790,8 m arasında derinliklerde bulunduğu, ‘olgun olmayan ve erken olgun evre, petrol’e işaret ettiği belirlenmiştir.

PI- $T_{max}$ (°C) diyagramına göre,  $T_{max}$  (°C) için 430-460 °C arası, PI için 0,1-0,4 arasında değişen olgunluk aralığı alındığında daha geniş sınırlar önerildiği için de, Ghorı (2000) tarafından ileri sürülen grafik, benzer iki parametre arasında daha olgun örnekleri içermiştir.

Tekirler bölgesine ait 5 adet örnek (TK 8, TK 19, TK 29, TK 38, TK 52 nolu) için yapılan SCI değerlendirmelerine göre bitümlü şeyl örneklerinin SCI değerleri 3-3,5 arasında değişmekte olduğundan Ediger ve Soylu’nun (1993) aralıklarına göre birimin olgunlaşmamış seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Hidrokarbon Üretme Potansiyeli:

Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin  $S_1$  hidrokarbon değerleri 0,26-2,53 mg HC/g kaya (ortalama 0,84 mg HC/g kaya) arasında değişmekte olduğundan Peters ve Cassa’ya (1994) göre incelenen örneklerin zayıftan çok iyiye değişen petrol potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

İncelenen örnekler EOM (ppm) – TOC (wt %) (Othman 2003) diyagramına göre değerlendirildiğinde de örneklerin zayıf ile çok iyi arasında değişen petrol potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

Derinlik (m) ilişkilendirilmiş bitümen indeks ( $S_1/TOC$ ) diyagramına göre ise örneklerin bir kısmının petrol atımı başlangıcında, bir kısmının ise petrol atımına başladığı belirlenmiştir.

İncelenen örneklerin  $S_2$  hidrokarbonları 15,25-100,44 mg HC/g kaya (ortalama 49,01 mg HC/g kaya) arasında değerler sunmakta olup Peters and Cassa’ya (1994) göre örnekler çok iyi-mükemmel petrol potansiyelini işaret etmektedir.

Örnekler Ghorı (2000) ve Othman'ın (2003) S<sub>2</sub>-TOC diyagramlarına göre değerlendirildiğinde ise çok iyi-mükemmel kaynak kaya potansiyellerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Tekirler bitümlü şeyl örnekleri HI (mg HC/g kaya) –TOC (wt %) (Jackson vd. 1985) diyagramına göre değerlendirildiğinde organik madde tipi mükemmel petrol kökenini işaret etmektedir. HC (ppm) -TOC (wt %) (Wehner 1989) diyagramına göre ise incelenen örnekler çok iyi ve mükemmel petrol ve gaz potansiyelini göstermektedir.

İncelenen bitümlü şeyl örneklerinin Jenetik Potansiyel değerleri 15740-102230 ppm arasında (ortalama 49852,27 ppm) değişmekte olup, buna göre örneklerin jenetik potansiyel değerleri Tissot ve Welte'ye (1978) göre iyi kaynak kaya potansiyelini işaret etmektedir.

İncelenen örnekler PY (ppm) –TOC (wt %) (Ghorı 2002) diyagramında değerlendirildiklerinde ise, çok iyi-mükemmel kaynak kaya potansiyeline sahiptir.

S<sub>1</sub> (mg HC/ g kaya) - TOC (wt %) (Hunt 1995) diyagramına göre incelenen örneklerin ürettiği hidrokarbonlar yerli olup, herhangi bir mekanik veya antropojenik yolla organik kirlenmeye maruz kalmamıştır.

Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin % RC değerleri 1,0 – 4,0 arasında (ortalama % 2,05) değişmekte olup, buna göre incelenen bitümlü şeyl örneklerinin kalıntı karbon çizgisinde (TOC=RC) bulunmadığı ve dolayısıyla hala türüm potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Bölgeye ait örneklerin % PC değerleri 1,37 – 8,72 arasında değişmekte olup (ortalama % 4,06), PC-TOC diyagramına göre de, incelenen örneklerin piroliz edilebilen karbon çizgisine yakın bulunduğu (TOC=PC), hala türüm potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

### Organik Fasiyes İncelemeleri:

Bölgeye ait örneklerin Hidrojen İndeks (HI) değerleri 584 – 891 mg HC/g kaya arasında (ortalama 759,14 mg HC/g kaya), Oksijen İndeks (OI) değerleri 18 - 44 mg HC/g kaya arasında (ortalama 31,45 mg HC/g kaya), % wt TOC değerleri de 2,37-12,42 arasında (ortalama % wt 6,32) değişmektedir. Analizi yapılan örneklerin organik petrografik değerlendirme sonucunda da örneklerin %100 amorf+algal organik maddeden oluştuğu belirlenmiştir. Tüm bu veriler dikkate alındığında Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin organik fasiyesinin AB olduğu tespit edilmiştir.

### Gaz Kromatografi İncelemeleri:

İncelenen örneklerin çoğunda düşük moleküler ağırlıklı tek karbon numaralı n-alkanlar hakim olduğundan bu durum algal kaynağa işaret etmektedir. Ayrıca C<sub>20</sub>-C<sub>30</sub> dizisindeki çift karbon numaralı n-alkanlarca baskın olmadığından örneklerin anoksik karbonat ya da evaporitler ile ilişkili olmadığı tespit edilmiştir.

Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinden TK 8, TK 19, TK 29, TK 38 nolu bitümlü şeyl örneklerinin Pr/Ph oranları 1'den büyük olup çökelme ortamının redoks koşulunun oksik, TK 52 nolu bitümlü şeyl örneğinin Pr/Ph oranı 1'den küçük ve çökelme ortamının redoks koşulu anoksiktir.

Tekirler bitümlü şeyllere ait Ni/Co, V/V+Ni, U/Th, V/Sc ve Mo/Mn gibi paleoredoks işaretçileri (Kholodov ve Nedumov 1991, Hatch ve Leventhal 1992, Jones ve Manning 1994, Wignall 1994, Kimura ve Watanabe 2001) ile yapılan değerlendirmelerde, örnek ortalamalarına göre, incelenen örneklerin oksik-disoksik redoks koşulu aralıklarında depolandıkları belirlenmiştir.

İncelenen örneklerin % TOT/S değerinin oldukça düşük olması ve TOC'ın oldukça yüksek değerler sunması, Lyons vd.'nin (2000) sunmuş oldukları S-Corg diyagramına göre "düşük S+yüksek C" bölgesine düşme ihtimalinin yüksek olduğunu düşündürmüştür,

bu grafiğe göre depolanma ortamının sülfatça sınırlı tatlı sulardan veya hafif tuzlu su ortamları ve öncelikli S'ün weathering zararını işaret ettiği belirlenmiştir.

İncelenen örneklerin % S - Pr/Ph (Chung vd. 1992) diyagramındaki konumlarına göre, örneklerin çoğunun 'şeyl kaynaklı petroler' alanında olduğu belirlenmiştir.

Tekirler bölgesine ait örneklerin CPI değerleri 1,00 – 1,27 arasında değişmekte olup, bu değerler denizel organizmalardan türemiş organik maddeye işaret etmektedir. Ayrıca, incelenen örneklerin çoğunun CPI değerlerinin 1'den büyük (tek tercihli) ya da 1'den küçük (çift tercihli) olması da örneklerin ısısız olarak olgunlaşmamış olduğuna işaret etmektedir. Buna göre incelenen örneklerin genel anlamda olgunlaşmamış safhada olduğu belirlenmiştir.

Bölgeye ait örnekler Pr/Ph –CPI (Akinlua ve Smith 2009) Pr/Ph –CPI (Akinlua vd. 2007'den değiştirilerek) diyagramlarında değerlendirildiğinde incelenen örneklerin çoğunlukla daha yükseltgen alanda yer aldığı ve çeşitli olgunlaşma seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tekirler bölgesine ait bitümlü şeyl örneklerinin Pr/nC17 - Ph/nC18 (Petersen vd. 2001) diyagramındaki konumlarına göre, örneklerin çoğunlukla indirgen ortamda depolandığı, Tip I kerojenden oluştuğu ve olgunlaşmamış seviyede olduğu belirlenmiştir. Ayrıca örneklerin, bu diyagramlar üzerinde aynı alanda, birbirine yakın olarak yer alması bunların kökensel olarak ilişkili olduğunu, başka bir deyişle aynı kaynak kayadan türediklerinin bir göstergesi olduğu belirlenmiştir.

İnce Tabaka Kromatografi İncelemeleri:

Örneklerdeki % doymuş HC miktarları 9,88 - 44,93 arasında, % aromatik HC miktarı 5,00 - 22,55, % polar miktarı ise 50,07 – 76,96 arasında değişmektedir. Buna göre, örneklerin % polar bileşen miktarlarının yanında daha düşük miktarlarda % doymuş hidrokarbon miktarlarına sahip olması örneklerin petrolerinin ağır petroler sınıfına girdiğini göstermektedir.

Köşelerinde aromatik hidrokarbonlar, doymuş hidrokarbonlar ve polar (asfalten+resin) bileşenlerin %100 oranında yer aldığı üçgen diyagramda örneklerin düştüğü alan, dünyadaki birçok petrolün içinde yer aldığı ve normal petroler olarak adlandırılan, kesik çizgilerle sınırlandırılmış alanın dışında yer almaktadır. Buna göre incelenen örneklerin polar'larca zengin olduğu, mevcut olgunlaşma derecesinin düşük olduğu belirlenmiştir.

Duraylı İzotop İncelemeleri:

İncelenen 2 adet örnekten TK 8 nolu örnek  $-35,11 \delta^{13}\text{C}$ , TK 38 nolu örnek ise  $-34,06 \delta^{13}\text{C}$  değerine sahip olup, bu değerler çeşitli araştırmacıların belirlemiş olduğu aralıklara göre değerlendirildiğinde; Hoefs'e (1997) göre sedimanter organik materyal petrol ve kömür, Bordenave'a (1993) göre tatlı su plankton, ökaryotik alg, gölsel SOM aralıklarını, Schidlowski vd. (1983) ve Degens'e (1989) göre genç denizel sediman organik maddesi, lipidler, C3 bitkiler, CAM bitkileri, ökaryotik alg, anoksijenik/fotosentetik bakteri, metanojenik bakteri aralıklarını işaret etmektedir. Çeşitli araştırmacıların parametreleri neticesinde incelenen örneklerin farklı  $\delta^{13}\text{C}$  aralıklarını işaret ettiği belirlenmiştir. Burada  $\delta^{13}\text{C}$  tek başına net bir organik madde köken yorumunu azaltmaktadır. Bu nedenle piroliz analizi sonucunda belirlenen organik madde tipi olan çoğunlukla Tip I kerojen tipi göz önüne alınarak yorumlama yapılabilir. Bunun sonucunda  $\delta^{13}\text{C}$  aralıkları açısından denizel/gölsel organik madde, ökaryotik alg, denizel sedimanter materyal, C3 bitkiler şeklinde sınırlandırılabilir.

Tüm bu belirlemeler doğrultusunda;

Hedeflendiği gibi incelenen bitümlü şeyl örneklerinin içermiş olduğu organik madde miktarı, türü, olgunlaşmaları, kaynak kaya litolojileri ve çökelim ortamları tespit edilerek organik kayaçların organik fasiyesleri ve hidrokarbon türüm potansiyeli belirlenmiştir. Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar ile yakın bir gelecekte petrole alternatif bir hammadde kaynağı olan bitümlü şeyllerin kullanım açısından ileri teknolojilerin gelişmesine ortam hazırlayacağı, gelecek çalışmalara da ışık tutacağı kanısına varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Abdüsselamoğlu, S. 1956. Göynük, Mudurnu ve Beydili bölgesinin jeolojisi. MTA, Rapor No: 2391.
- Akarsu, İ. 1974. Göynük, Gölpaazarı, Bolu, Nallıhan, Beypazarı yöresi ile geniş çevresinde bitümlü şeyllerin jeolojik etüd incelemesi. TPAO Araştırma Merkezi, Rapor No: 898.
- Akinlua, A. and Smith, R.M. 2009. High temperature steam extraction for the determination of aliphatic hydrocarbon in petroleum source rock. *Chromatographia*, Vol. 69; pp. 1333–1339.
- Akinlua, A., Torto, N. and Ajayi, T. R. 2007. Oils in the NW Niger delta: aromatic hydrocarbons content and infrared spectroscopic characterization. *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 30; Number 1; pp. 91-100.
- Akkuş, İ., Sümer, A., Şengüler, İ., Taka, M., Pekatan, R. ve Işık, A. 1982. Beypazarı Çayırhan yöresinin jeoloji ve bitümlü şeyl olanakları. MTA, Rapor No: 7837.
- Algeo, T.J. and Maynard, J.B. 2004. Trace–element behavior and redox facies in core shales of upper Pennsylvanian Kansas-Type Cyclothems. *Chemical Geology*, Vol 206; pp. 289 – 318.
- Altın, D. ve Koçyiğit, A. 1992. Kuzeybatı Anadolu güneyinin Jura-Erken Kretase'deki paleocoğrafik evrimi. *Türkiye Yerbilimleri Dergisi*, 1, 1-9.
- Altınlı, İ.E. 1973. Orta Sakarya Jeolojisi: 50. Yıl Yer Bilimleri Kong. Tebliği, Ankara, s. 159-191.
- Altunsoy, M. ve Özçelik O. 1993. Organik fasiyesler. Cumhuriyet Üniv. Müh. Fak. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, s. 34-39.
- Anonymous. 2012. NASA karbon çevrimi, 2012. Web Sitesi: <http://www.disc.sci.gsfc.nasa.gov>. Erişim Tarihi: 05.04.2012
- Arnaboldi, M. and Meyers, P.A. 2003. Geochemical evidence for paleoclimatic variations during deposition of two Pliocene sapropels from the Vrica section, Calabria. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, Vol. 190; pp. 257–271.
- Arthur, M.A. and Sageman, B.B. 1994. Marine black shales: depositional mechanisms and environments of ancient deposits. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 22; pp. 499–551.
- Aziz, A. 1976. Beypazarı, Yeni Çayırhan ve Karaköy arasındaki sahanın jeolojisi ve bitümlü şeyl olanakları. MTA, Rapor No:5732.
- Bailey, N.J.L., Burwood, R. and Harriman, G.E. 1990. Application of pyrolysate carbon isotope and biomarker technology to organic facies definition an oil correlation problems in North Sea Basins. *Organic Geochemistry*, Vol. 16; pp. 1157-1172.
- Barker, C. 1979. Organic geochemistry in petroleum exploration. AAPG Continuing Education Course Notes Series, 10, 159 p.
- Batten, D.J. 1980. Use of transmitted light microscopy of sedimentary organic matter for evaluation of hydrocarbon source potential: Proceedings of the IV International Palynological Conference, Lucknow (1976-1977), Vol. 2; pp. 589-594.

- Behrens, A., Wilkes, H., Schaeffer, P., Clegg, H. and Albrecht, A. 1998. Molecular characterization of organic matter in sediments from the Keg River formation (Elk Point Group), Western Canada Sedimentary Basin, *Organic Geochemistry*, Vol. 29; pp. 1905-1920.
- Beseme, P. 1967. Kabalar senklinalinin (Göynük-Bolu) genel ve uygulamalı jeolojik etüdü: MTA, Rapor No:4629.
- Bordenave, M.L. 1993. *Applied petroleum geochemistry*. Éditions Technip, 524 p., Paris.
- Bourbonniere, R.A. and Meyers, P.A. 1996. Sedimentary geolipid records of historical changes in the watersheds and productivities of lakes Ontario and Erie. *Limnology and Oceanography*, Vol. 41; pp. 352-359.
- Bray, E.E. and Evans, E.D. 1961. Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 22; pp. 2±15.
- Brumsack, H.J. 2006. The trace metal content of recent organic carbon-rich sediments: implications for Cretaceous black shale formation. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, Vol. 232; pp. 344–361.
- Caplan, M.L. and Bustin, R.M. 1998. Paleooceanographic controls on geochemical characteristics of organic-rich Exshaw mudrocks: role of enhanced primary productivity. *Organic Geochemistry*, Vol. 30; pp. 161–188.
- Chung, H.M., Rooney, M.A., Toon, M.B. and Claypool, G.E. 1992. Carbon isotopic composition of marine crude oils: *AAPG Bulletin*, v. 76, pp. 1000– 1007.
- Clementz, D.M. 1979. Effect of oil and bitumen saturation on source-rock pyrolysis: *AAPG Bulletin*, Vol. 63; pp. 2227-2232.
- Deines, P. 1980. The isotopic composition of reduced organic carbon. In: *Handbook of environmental isotope geochemistry*, eds. Fritz, P., Fontes, J.C., Elsevier, 546.
- Degens, E.T. 1989. *Perspectives on biogeochemistry*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 423.
- De Laune, R.D. 1986. The use of  $\delta^{13}\text{C}$  signature of C-3 and C-4 plants in determining past depositional environments in rapidly accreting marshes of the Mississippi River deltaic plain, Louisiana, U.S.A. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, Vol. 59; 315-320.
- Demirkol, C. 1977. Üzümlü-Tuzaklı (Bilecik) dolayının jeolojisi. *TJK Bülteni*, Cilt 20; s. 9-16.
- Didyk, B. M., Simoneit, B.R.T., Brassel, S.C. and Englington, G. 1978. Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*, Vol. 272; pp. 216-222.
- Dow, W.G. 1977. Petroleum source bed on continental slopes and rises. *AAPG Continuing Education Course Notes Serşes*, Vol. 5; pp. D1-D37.
- Durand, B. 1980. *Kerogen: Insoluble organic matter from sedimentary rocks*. Editions Technip, 519 p, Paris.
- Durand, B. and Parette, M. 1983. Oil potential of coals, a geochemical approach, in: *Petroleum Geochemistry and Exploration of Europe* (J. Brooks, ed.), Blackwell Scientific, Oxford, pp. 255-265.
- Dyni, J.R. 2003. Geology and resources of some world oil-shale deposits. *Oil Shale*, Vol. 20, pp. 193-252.
- Ebukanson, E. J. and Kinghorn, R.R.F. 1985. *W. Petr. Geol.*, Vol. 8; pp. 435-462.

- English, J.M., Fowler, M., Johnston, S.T., Mihalynuk, M.G. and Wight, K.L. 2004. The thermal maturity in the Central Whitehorse Trough, Northwest British Columbia, Resource Development and Geosciences Branch, British Columbia Ministry of Energy and Mines, pp.79-85.
- Eroskay, O. 1965. Paşalar Boğazı Gölüzarısı sahasının jeolojisi. İstanbul Univ. Fen Fak. Mecm. Seri B., XXX (3-4); s. 135-170.
- Espitalié, J., Deroo, G. and Marquis, F. 1985. La pyrolyse rock-eval et ses applications, Première Partie. Rev. Inst. Fr. Pet., Vol. 40; pp. 563-579.
- Éspitalié, J., Deroo, G. and Marquis, F. 1986. La pyrolyse rock-eval et ses applications. Troisième partie, Rev Inst. Fr. Pét., Vol. 41; pp. 73-89.
- Éspitalié J., Madec, M., Tissot, J., Menning, J. and Leplat, P. 1977. Source rock characterization method for petroleum exploration. Proc. 9th Annual Offshore Technology Conf., Vol. 3; 439-448.
- Espitalié, J., Marquis, F. and Barsony, I. 1984. Geochemical logging. In: Analytical pyrolysis: techniques and applications, Voorhees, K.J. (Eds.). London: Butterworth & Guildford, pp. 276-304.
- Fontugne, M.R. and Calvert, S.E. 1992. Late pleistocene variability of the carbon isotopic composition of organic matter in the eastern Mediterranean: monitor of changes in carbon source and atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. Paleoceanography, Vol. 7; pp. 1-20.
- Fuex, A.N. 1977. The use of stable carbon isotopes in hydrocarbon exploration. Journal Geochemistry Exploration, Vol. 7; pp. 155-188.
- Galimov, E.M. 1973. Carbon isotopes in oil and gas geology. Nedra Press, Moscow. Transl. NASA TT F-682, Washington, DC.
- Galimov, E.M. 1980. <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C in kerogens. In: Kerogen, eds. Durand, B., Édition Technip, 519 p., Paris.
- Galimov, E.M. 1986. The isotopic method of identifying oil-source beds applied to several regions of the USSR. International Geology Review, Vol. 28; pp. 600-618.
- 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.
- Ghori, K.A.K. 2002. Modeling the hydrocarbon generative history of the Officer Basin, Western Australia, PESA Journal, Number 29; pp. 29-42.
- Göktunalı, K. 1963. Beypazarı linyitlerinin jeolojik etüdüleri hakkında rapor. MTA Raporu No:3391 (Yayımlanmamış).
- Gözler, M.Z., Cevher, F. ve Küçükayman, A. 1985. Eskişehir civarının jeolojisi ve sıcak su kaynakları. MTA Dergisi, Cilt 40; s. 40-50.
- Granit, S., Şener, M. 1987. Sarıcakaya, Eskişehir ve Çamalan Beydili Ankara bölgesinin jeolojisi. MTA, Rapor No: 8400.
- Gülbay, R.K. ve Korkmaz, S. 2005. Kuzeybatı Anadolu'daki bitümlü şeyllerin organik jeokimyasal özellikleri ve çökelme ortamları. Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 48, Sayı 2, s. 21-41.
- Hatch, J.R. and Leventhal, J.S. 1992. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A. Chemical Geology, Vol. 99; pp. 65-82.



- Heper, İ.G. 2001. Çamalan Formasyonunun (Beydili-Nallıhan) jeolojisi ve organik jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi. Ankara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Hillaire-Marcel, C. 1986. Isotopes and food. In: Handbook of environmental isotope geochemistry, eds. Fritz, P., Fontes, J.C., Elsevier, 546 p.
- Hoefs, J. 1997. Stable isotope geochemistry, 4th. Edition, Springer, Berlin Heidelberg New York, 201 p.
- Hutton, A.C. 1991. Classification, organic petrography and geochemistry of oil shale. Eastern Oil Shale Symp. Univ. Kentucky, Institute for Mining and Minerals Research, Lexington, pp. 163-172.
- Hunt, J. M. 1995. Petroleum geochemistry and geology. W.H.Freeman and Company, New York. 743 p.
- Hunt, J. M. 1996. Petroleum geochemistry and geology (second edition), W.H.Freeman and Company, New York, 743p.
- Jackson, K.S, Hawkins, P.L. and Bennet, A.J.R. 1985. Regional facies and geochemical evaluation of southern Denison Trough. APEA Jour.,Vol. 20; pp. 143-158.
- Jarvie, D.M. 1991. Factors affecting rock-eval derived kinetic parameters: Chemical Geology, Vol. 93; 79-99.
- Jarvie, D. M. and Lundell, L.L. 2001. In C. M. Isaacs, & J. Rullkotter (Eds.), Amount, type, and kinetics of thermal transformation of organic matter in the Miocene Monterey Formation (pp. 268–295). The Monterey Formation: From rocks to molecules, New York: Columbia University Press.
- Johannes, J., Kruusement, K., Palu, V., Veski, R. and Bojesen, J.A. 2006. Evaluation of oil potential of Estonian shales and biomass samples using rock-eval analyzer. Oil Shale, Vol. 23, Number 2; pp. 110-118.
- Jones, R.W. 1984. Comparison of carbonate and shale source rocks. In: Palacas, J. (Ed.), Petroleum Geochemistry and Source Potential of Carbonate Rocks: AAPG Stud. Geol., p. 18.
- Jones, R.W. 1987. Organic facies, In: Advances in petroleum geochemistry. Brooks, J. And Welte, D. (eds), Academic Press, Vol. 2; pp. 1-91, London.
- Jones, R.W. and Demaison, G.J. 1982. In "Proceedings of the second ASCOPE conference and exhibition, Manila": (Saldivar-Sali, A, Ed.); pp. 51-68.
- Jones, B. and Manning, D.A.C. 1994. Comparison of geological indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. Chemical Geology, Vol. 111; pp. 111-129.
- Kalafatçioğlu, A. ve Uysallı, H. 1964. Beypazarı-Nallıhan-Seben civarının jeolojisi. MTA dergisi, Cilt 62; s. 1-11.
- Katz, B.J. 2005. Controlling factors on source rock development-a review of productivity, preservation, and sedimentation rate. In: The deposition of organic-carbon-rich sediments: models, mechanisms, and consequences, Harris, N.B. (Eds.). SEPM 282; pp. 7-16.
- Kholodov, V.N. and Nedumov, R.I. 1991. Geochemical criteria of the hydrogen sulfide contamination in waters of ancient basins. International Geology Review, Vol. 33; pp. 1136-1144.
- Kibici, Y. 1990. Sarıcakaya (Eskişehir) volkanitlerinin petrolojisi ve kökensel yorumu. Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 33; s. 69-77.
- Kimura, H. and Watanabe, Y. 2001. Oceanic anoxia at the Precambrian-Cambrian boundary. Geology, Vol. 21; pp. 995-998.

- Koca, D. 2011. Nallıhan (Ankara, Türkiye) civarı bitümlü şeyllerinde organik madde ve iz element zenginleşmeleri. Ankara Üniversitesi, Doktora Tezi, 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. Geol., Vol. 49; pp. 301-316.
- Koralay, D.M. ve Sarı, A. 2007. Ağsaklar yöresindeki (Göynük/Bolu) bitümlü kayaçların organik jeokimyasal incelemesi. Selçuk Üni.Müh.-Mim.fak.Dergisi, 23(1-2); s. 33-45.
- Langford, F.F. and Blanc-Valleron, A. 1990. Interpreting rock-eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon. AAPG Bulletin, Vol. 74; pp. 799-804.
- Lewan, M.D. 1986. Stable carbon isotopes of amorphous kerogens from Phanerozoic sedimentary rocks. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 50; pp. 583-1591.
- Leventhal, J.S. 1998. Metal-rich black shales: formation, economic geology and environmental considerations, In: Shales and Mudstones II. Schieber, J., Zimmerle, W. And Sethi, P. (eds), Schweizebart'sche Verlagsbuchhandlung, pp. 255-282, Stuttgart.
- Lyons, T.W., Werne, J.P., Hollander, D.J. and Murray, R.W. 2003. Contrasting sulfur geochemistry and Fe/Al and Mo/Al ratios across the last oxic-to-anoxic transition in the Cariaco Basin, Venezuela. Chemical Geology, Vol. 195; pp. 131– 157.
- Maky, A. F. and Ramadan, M.A.M 2008. Nature of organic matter, thermal maturation and hydrocarbon potentiality of Khatatba formation at east Abu-gharadig basin, North Western Desert, Egypt, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 2, Number 2; pp.194-209.
- Maynard, J.B. 1981. Carbon isotopes as indicators of dispersal patterns in Devonian-Mississippian shales of the Appalachian Basin. Geology, Vol. 9; 262-265.
- Meriç, E. ve Şengüler, İ. 1986. Göynük (Bolu, KB Anadolu) çevresinde Üst Kretase-Paleosen stratigrafisi üzerine yeni görüşler. Jeoloji Müh., Cilt 29; s. 61-64.
- Merrill, R.K. 1991. Source and migration processes and evaluation techniques (R.K. Merrill, ed.), Oklahoma.
- Moldowan, J.M., Seifert, W.K. and Gallegos, E.J. 1985. Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, Vol. 69; pp. 1255-1268.
- 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); pp. 85-104.
- Nadkarni, R.A. 1983. Characterization of oil shales, analytical techniques, In: Geochemistry and Chemistry of oil shales. Miknis, F.P. and McKay, J.F. (eds), ACS Symposium Series 230, American Chemical Society, pp. 477-492, USA.
- Okay, A.I. 1984. Kuzeybatı Anadolu'da yer alan metamorfik kuşaklar: Türkiye Jeol. Kur., Ketin Sempozyumu, s. 83-93.
- Othman, R.S. 2003. Petroleum geology of Gunedah-Bowen-Surat basins, Northern New Wales (Stratigraphy, Organic Petrology and Organic Geochemistry), PhD Thesis(unpublished), University of New South Wales, 312p.

- Özçelik, O. 2002. Beypazarı (Ankara) Kuzeyinde Miyosen yaşlı bitümlü birimlerin organik jeokimyasal özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt 45, Sayı 1; s. 1-17.
- Palacas, J.G. 1984. Carbonate rocks as sources of petroleum: Geological and chemical characteristics and oil-source correlations. *Proceedings of the Eleventh World Petroleum Congress 1983*, London, Vol. 2; pp. 31-43.
- Pedersen, T.F. and Calvert, S.E. 1990. Anoxia vs. productivity: what controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rocks? *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 74; pp. 454-466.
- Peters, K.E. 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 70, Number 3; pp. 318-329.
- Peters, K.E. and Cassa, M.R. 1994. Applied source rock geochemistry, in L.B. Magoon and W.G. Dow, eds., *The petroleum system -- from source to trap: AAPG Memoir*, Vol. 60; pp. 93-120.
- Peters, K.E. and Moldowan, J.M. 1993. *The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Englewood Cliffs, N.J.:Prentice-Hall.
- Peters, K.E., Walters, C.C. and Moldowan, J.M. 2005. *The biomarker guide, second Edition, Volume II, biomarkers and isotopes in petroleum systems and earth history*. United Kingdom at the Cambridge University Press, 684 p.
- 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; pp. 135-154.
- Pitman, J.K., Franczyk, K.J. and Anders, D.E. 1987. Marine and Non marine Gas-Bearing Rocks in Upper Cretaceous Blackhawk and Nelsen Formations, Estern Unita Basin, Utah: Sedimentology, Diagenesis, and Source Rock Potential, *AAPG Bulletin*, Vol. 71, Number 1; pp. 76-94.
- Potter, P. E., Maynard J.B. and Depetris, P.J. 2005. *Mud and Mudstones*, Springer-Verlag, Berlin, 297 p.
- Pratt, L.M. and Threlked, C.N. 1984. Stratigraphic significance of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios in mid-Cretaceous rocks of the Western Interior, U.S.A., in: Stott, D.F. and Glass, D.J. (Eds.), *The Mesozoic of Middle North America*. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, Vol. 9; pp. 305-312.
- Prasolov, E.M. 1990. *Isotope geochemistry and the origins of natural gases*. Nedra Press, Leningrad, 127 p.
- Rimmer, S.M. 2004. Geochemical paleoredox indicators in the Devonian Mississippian black shales, Central Appalachian Basin (USA). *Chemical Geology*, Vol. 206; pp. 373-391.
- Ross, D.J.K. 2004. Sedimentology, geochemistry and gas shale potential of the early Jurassic Nordegg member, northeastern British Columbia. MsC Thesis, University of British Columbia.
- Rullkötter, J. 2006. Organic matter: The driving force for early diagenesis. In: Schulz, H.D., Zabel, M., *Marine Geochemistry*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2nd, 574 p.

- Sackett, W.M. 1964. The depositional history and isotopic organic carbon composition of marine sediments. *Marine Geology*, Vol. 2; 173-185.
- Sackett, W.M. 1989. Stable isotope studies on organic matter in the marine environment. In: *Handbook of environmental isotope geochemistry*, eds. Fritz, P., Fontes, J.C., Elsevier, 546 p.
- Sageman, B.B., Murphy, A.E., Werne, J.P., Ver Straeten, C.A., Hollander, D.J. and Lyons, T.W. 2003. A tale of shales: the relative roles of production, decomposition, and dilution in the accumulation of organic-rich strata, Middle–Upper Devonian, Appalachian basin. *Chemical Geology*, Vol. 195, pp. 229–273.
- Saner, S. 1978. Orta Sakarya'daki Üst Kretase-Paleosen-Eosen çökeltme ilişkileri ve Anadolu'da petrol aramalarındaki önemi. *Türkiye 4. Petrol Kongresi*; s. 95-115.
- Saner, S. 1980. Mudurnu-Göynük havzasının Jura ve sonrası çökeltim nitelikleriyle paleocoğrafya yorumlanması. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, Cilt 23; s. 39-52.
- Sarı, A. 1999. Himmetoğlu formasyonu (Göynük-Bolu) bitümlü şeylllerinin organik jeokimyasal incelemesi. 1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu, s. 143-149, İzmir.
- Sarı, A. and Aliyev, S.A. 2005. Source rock evaluation of the lacustrine oil shale bearing deposits: Göynük/Bolu, Turkey. *Energy Sources*, Vol. 27, pp. 279-298.
- Sarı, A. and Aliyev, S.A. 2006. Organic geochemical characteristics of the Paleocene-Eocene Oil Shales in the Nallıhan Region, Ankara, Turkey. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol.53, pp.123-134.
- Sarı, A. ve Sonel, N. 2000. Gölsel bitümlü kayaçların organik jeokimyasal özellikleri ve ekonomik kullanım olanakları. *Yerbilimleri/Geosound Dergisi*, Vol. 37, pp. 55-72.
- Schidlowski, M., Hayes, J.M. and Kaplan, I.R. 1983. Isotopic inferences of ancient biochemistries: carbon, sulfur, hydrogen, and nitrogen. In: *Earth's earliest biosphere: its origin and evolution*, eds. By Shopf, J.W., Princeton University Press, 610.
- Schoell, M. 1988. Multiple origins of methane in the earth. *Chemical Geology*, 71, 1-10.
- Siyako, M. 1983. Beypazarı kömürlü Neojen havzası ve çevresinin jeolojisi. MTA Raporu, rapor no:7431.
- Sofer, Z. 1984. Stable carbon isotope composition of crude oils: application to source depositional environments and petroleum alteration. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol. 68; pp. 31-49.
- Stahl, W.J. 1977. Carbon and nitrogen isotopes in hydrocarbon research and exploration. *Chemical Geology*, Vol. 20; pp. 121-149.
- Stchepinsky, V. 1941. Beypazarı-Nallıhan-Bolu bölgesinin jeolojisi ve mineral zenginlikleri. MTA Rapor No: 1332.
- Stow, D.A.V., Huc, A.Y. and Bertrand, P. 2001. Depositional processes of black shales in deep water. *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 18; pp. 491-498.
- Şeker, H. ve Keskin, Y. 1991. Nallıhan, Mudurnu, Seben, Beypazarı arasında kalan bölgenin jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Araştırma Merkezi Rapor: 2907.
- Şener, M. 1993. Neojen yaşlı Himmetoğlu (Bolu-Göynük) bitümlü şeyl sahasının litostratigrafik ve tektonik özellikleri. *TJ Bülteni*, Cilt 36; s. 45-57.

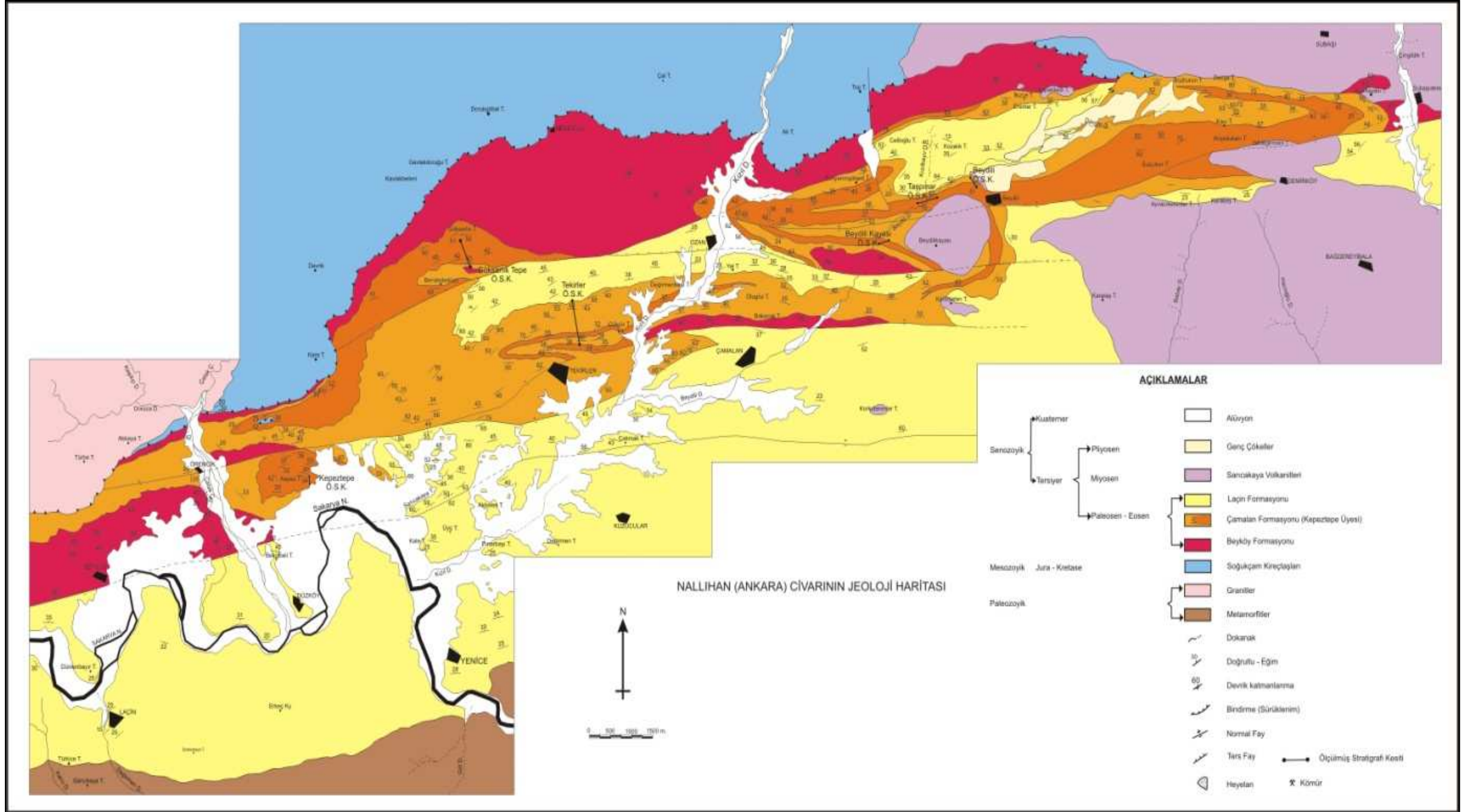
- Şener, M. ve Şengüler, İ. 1991. Beypazarı bitümlü marınlarınnın jeolojisi ve ekonomik kullanım alanları MTA Rapor No: 9202.
- Şener, M. ve Şengüler, İ. 1992. Hatıldığ (Bolu-Göynük) bitümlü şeyl sahasının jeolojisi ve teknolojik kullanımı. MTA Raporu, rapor no:9445.
- Şener, M. ve Şengüler, İ. 1998. Geological, mineralogical and geochemical characteristics of oil shale bearing deposits in the Hatıldığ oil shale field, Göynük, Turkey. Fuel, Vol. 77, Number 8; pp. 871-880.
- Şentürk, K. ve Karaköse, C. 1979. Orta Sakarya dolaylarının temel jeolojisi. MTA Raporu, rapor no:6642.
- Taka, M. ve Şener, M. 1988. Himmetoğlu (Göynük, Bolu) sahasının bitümlü şeyl olanakları ve sondajları, Rapor No: 8533, MTA, Ankara.
- Tissot, B.P. and Espitalié, J. 1975. L'évolution thermique de la matiére organique des sédiments: Applications d'une simulation mathématique, Rev. Inst. Fr. Pét., Vol. 30; pp. 743-777.
- Tissot, B. P. and Welte, D.H. 1978. Petroleum formation and occurrence, Springer – Verlag, Berlin.
- Tissot, B.P. and Welte, D.H. 1984. Petroleum formation and occurrence. Springer-Verlag, Berlin, 699 p.
- Tran, K.L. and Philippe, B. 1993. Oil and rock extract analysis, in: Applied petroleum geochemistry (M.L., Bordenave, eds.), Paris.
- Tribovillard, N., Algeo, T.J., Lyons, T. and Riboulleau, A. 2006. Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. Chemical Geology, Vol. 232; 12-32.
- Tyson, R.V. 1995. Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies. Chapman & Hall, London, 615 p.
- Varandas da Silva, L.S., Piovano, E.L., de Almedia Azevedo, D. and de Aquino Neto, F.R. 2008. Quntitative evaluation of sedimentary organic matter from laguna Mar Chiquita, Argentina. Organic Geochemistry, Vol. 39; pp. 450-464.
- Volkman, J.K. and Maxwell, J.R. 1986. Acyclic isoprenoids as biological markers. In: biological markers in the sedimentary record (R.B. Johns, ed.). Elsevier, New York; pp. 1-42.
- Waples, D.W. 1985. Geochemistry in petroleum exploration, International Human Resources Development Corp., Boston.
- Wehner, H. 1989. Organic-geochemical studies in the Visayan basin, Philippines. Gol. Jb., Vol. 70; pp. 317-348.
- Weizer, J. 1983. Trace elements and isotopes in sedimentary carbonates. In: Carbonates, mineralogy and chemistry (Review in Mineralogy), eds. Reeder, R.J., 394 p.
- Wignall, P.B. 1994. Black Shales. Clarendon Press, Oxford. 127 p.
- Yağmurlu, F., Helvacı, C., İnci, U. and Önal, M. 1990. Tectonic characteristics and structural evolution of the Beypazarı and Nallıhan Neogene basin, Central Anatolia. METU Journal of Pure and Applied Sciences, Vol. 21; 127-143.
- Yanılmaz , E., Taka, M., Şengüler, İ. ve Sümer, A. 1980. Göynük (Bolu) bitümlü şist sahası hakkında rapor. MTA Rapor No: 6993. 25 s. Ankara.
- Yen, T.F., Chilingarian G.V. 1976. Oil shale, Elsevier, Amsterdam, 292 p.
- Yeşiladalı-Bulkan, Ö., Yalçın, M. N. ve Mann, Ulrich. 2005. Himmetoğlu havzasındaki (Göynük-Bolu) kömür-bitümlü şeyl birlikteliğinin paleo-ortam koşulları. İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, Cilt 18 (1); s. 81-97.

Ziegler, K.G.J. 1939. Hırka (Beypazarı) ve Karaköy (Nallıhan) havalisindeki bitümlü şistler, , MTA, Rapor No: 984.

## **EKLER**

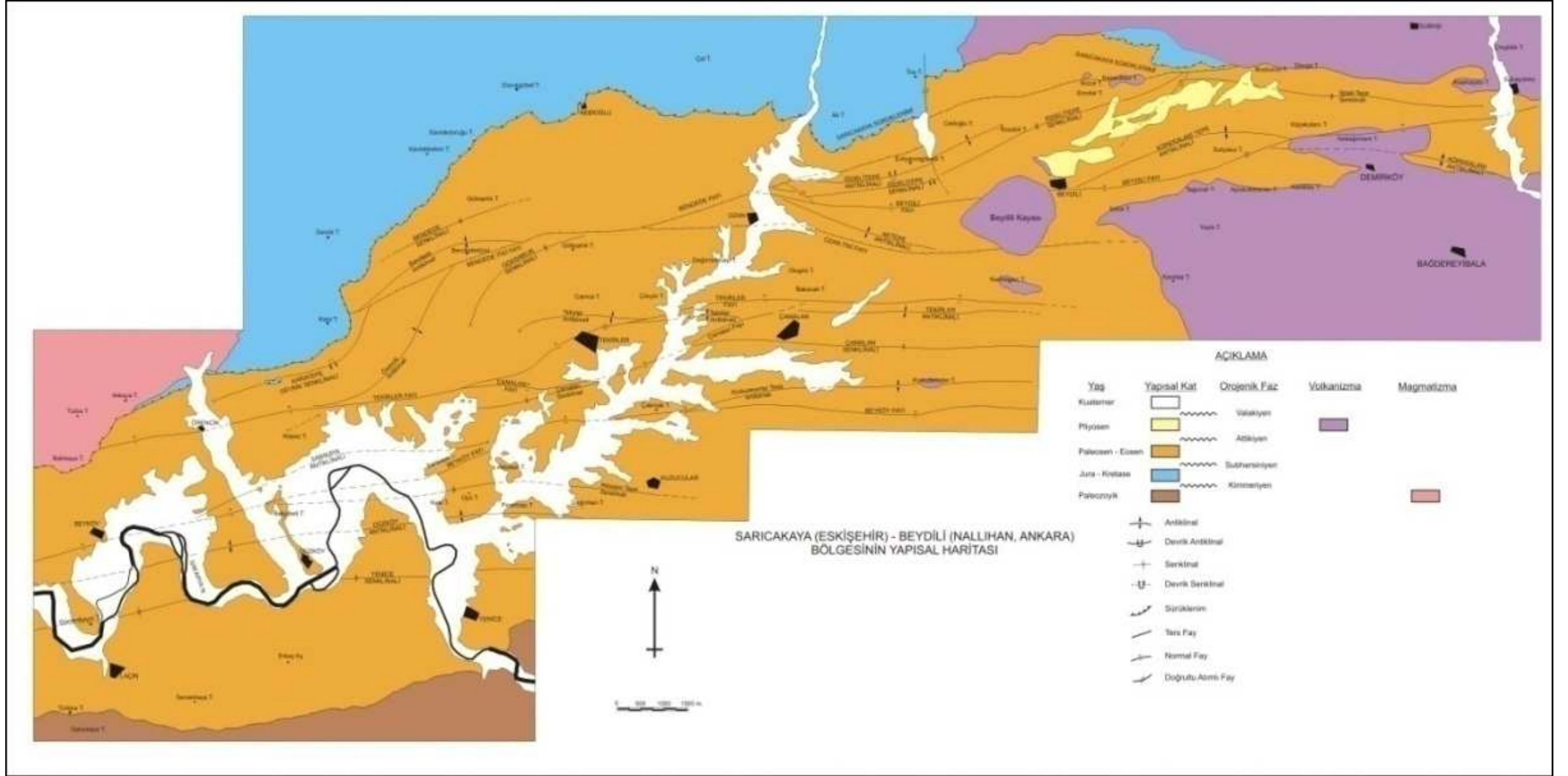
- EK 1 Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Granit ve Şener 1987)
- EK 2 Bölgenin yapısal haritası (Granit ve Şener 1987)
- EK 3 Çalışma alanında belirli yerlerden elde edilen enine kesitler (Granit ve Şener 1985)
- EK 4 Tekirler ölçülü stratigrafik kesiti

EK 1 Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Granit ve Şener 1987)

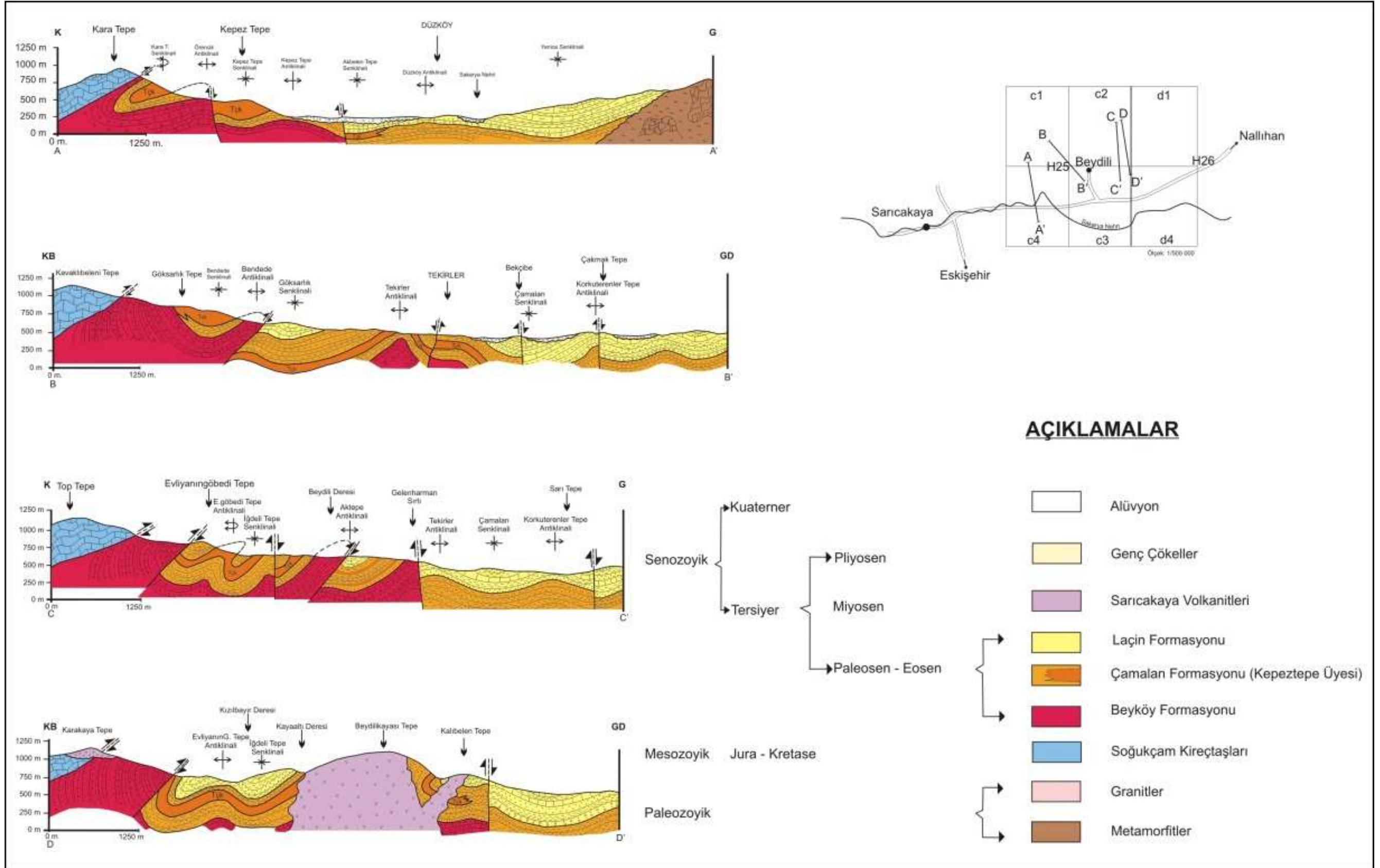




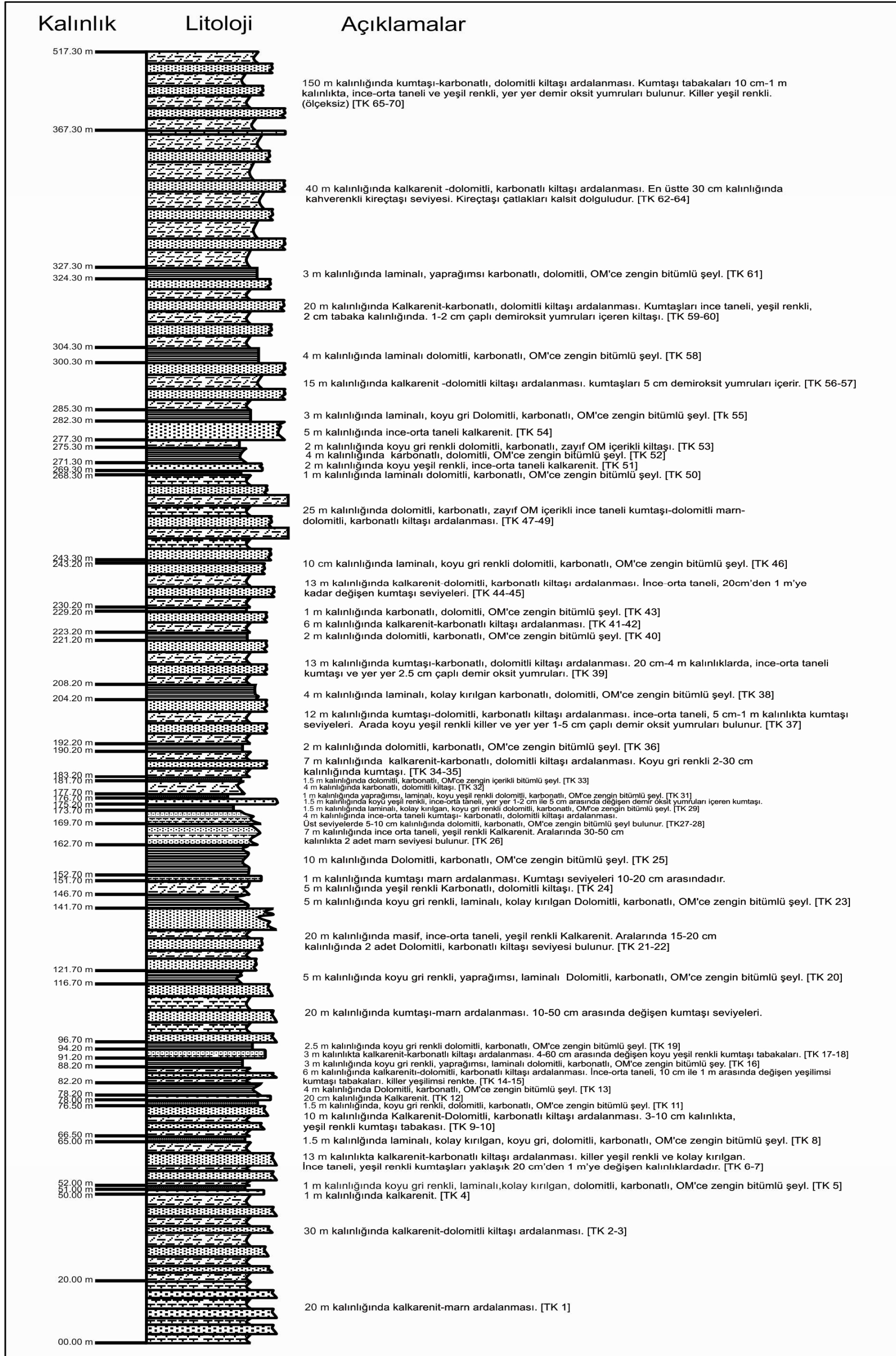
EK 2 Bölgenin yapısal haritası (Granit ve Şener 1987)



EK 3 Çalışma alanında belirli yerlerden elde edilen enine kesitler (Granit ve Şener 1985)



EK 4 Tekirler ölçülü stratigrafik kesiti



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeynep DÖNER

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi: 08.06.1985

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ankara Cumhuriyet Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı), (2003)

Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü (4+1 hazırlık), (2008)

Lisans : Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi, İşletme Bölümü, 2008 – halen

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2009 – Haziran 2012)

### Yayımları (SCI ve diğer)

#### *Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler:*

**Döner, Z.,** Sarı, A., Koca, D., 2012. Tekirler Civarı (Nallıhan/Ankara) Bitümlü Şeyllerinde Toplam Organik Karbon Zenginleşmeleri. V. Uluslararası Katılımlı Jeokimya Sempozyumu, 23-25 Mayıs 2012, Denizli.

**Döner, Z.,** Sarı, A., Koca, D., 2010. Şeyl Türü (Tekirler-Nallıhan/Ankara) Organik Jeokimyasal İncelemeleri. 35. Yıl Jeoloji Sempozyumu, 4-7 Ekim 2010, Konya.

***Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler:***

**Döner, Z.**, Sari, A., Koca, D., 2011. Organic Geochemical Analysis of Beydili Kayası (Nallıhan/Ankara) Bituminous Shales. 18<sup>th</sup> International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey (Ipetgas 2011), May 11<sup>th</sup> -13<sup>th</sup> 2011, Ankara, Turkey.

***Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler:***

Sari, A., **Döner, Z.**, Koca, D., Aliyev, S.A., 2012. Source Rock Characteristics of Eocene Bituminous Shales and the Effect of Redox Conditions on Source Rock Potential, Nallıhan (Ankara) Central Anatolian Basin. Energy Sources (in press).

Sari, A., Koca, D., **Döner, Z.**, Aliyev, S.A., 2012. Nature of Organic Matter, Thermal Maturation and Hydrocarbon Potential of the Çamalan Formation in Central Anatolian Basin, Nallıhan/Ankara, Turkey. Geochemistry International (hakemde).

***Deneyimler:***

Staj: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO), Ankara, 2007

Gönüllü Uluslararası Çalışma Kampı: Associazione Botteghe del Mondo, Tuttaunaltracosa (Fair Trade), Economia dele Ombre Festival Parma, İtalya, 2008

***Dereceler:***

Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Proje Yarışması 3.'lük derecesi, 2008 (*Bitirme Projesi Konusu: "Petrol ve Gaz Aranmasında Kullanılan Organik Petrografi Yöntemleri: Vitrinit, Graptolit, Bitumen ve Amorf Organik Madde Yansıma Değerleri"*)