

**DERİNDERE VE ÇELTİKLİ SAHALARINDA (BİSMİL
DOĞU'SU, DİYARBAKIR) DADAŞ FORMASYONU'NUN
KİL MİNERALOGİSİ, İNORGANİK VE ORGANİK
JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

Jeoloji Mühendisi Ümit IŞIK

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Dicle BAL AKKOCA

HAZİRAN-2013

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

**DERİNDERE VE ÇELTİKLİ SAHALARINDA (BİSMİL DOĞU'SU,
DİYARBAKIR) DADAŞ FORMASYONU'NUN KİL MİNERALOGİSİ,
İNORGANİK VE ORGANİK JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisi Ümit IŞIK

(092116101)

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Programı: Maden Yatakları ve Jeokimya

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Dicle BAL AKKOCA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04.06.2013

HAZİRAN-2013

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

**DERİNDERE VE ÇELTİKLİ SAHALARINDA (BİSMİL DOĞU'SU, DİYARBAKIR)
DADAŞ FORMASYONU'NUN KİL MİNERALOGİSİ, İNORGANİK VE ORGANİK
JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisi Ümit IŞIK

(092116101)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04.06.2013
Tezin Savunulduğu Tarih: 28.06.2013**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Dicle BAL AKKOCA (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Ahmet SAĞIROĞLU (F.Ü)

Prof. Dr.Kadir SARIİZ (OGÜ)

HAZİRAN-2013

ÖNSÖZ

Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Yatakları ve Jeokimya Bilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmada, TPAO tarafından, Derindere ve Çeltikli Sahalarında (Bismil Doğu'su, Diyarbakır) açılan Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş olan Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin tüm kayaç mineralojisi, kil mineralojisi, inorganik ve organik jeokimyasal özellikleri incelenerek hidrokarbon kaynak kayası olabilme özellikleri belirlenip, bu kuyularda şeyl gazı veya kaya gazı üretebilme olanaklarının belirlenmeye çalışılması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın gerçekleşmesinde; danışmanlığımı üstlenerek tez çalışmamı yönlendiren ve yardımını esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç.Dr. Dicle Bal AKKOCA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından FÜBAP-MF.11.09 no'lu proje ile desteklenen bu yüksek lisans çalışmasında, araştırmayı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörlüğü'ne ve Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP)'ne teşekkür ederim.

Analizlerin yorumlanmasında değerli görüşlerini benden esirgemeyen K.T.Ü Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği öğretim üyesi Doç.Dr. Reyhan Kara GÜLBAY hocama sonsuz şükranlarımı sunarım. Özellikle tezin son kısımlarının şekillenmesinde değerli görüşlerini esirgemeyen, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği öğretim üyesi Prof.Dr. M.Namık YALÇIN hocama teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin formata uygun yazılmasında değerli katkılarını gördüğüm öğrenciliğimin her döneminde maddi ve manevi tüm desteklerini üzerimde hissettiğim Batman Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Doç.Dr. Nevzat DAMLA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Gerek bu tez çalışması için numune temininde, gerekse organik jeokimyasal analizlerinde ve gerekse tüm meslek hayatım boyunca yetişmemde değerli katkısını inkâr edemediğim Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) kurumunun tüm mensuplarına şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Ümit IŞIK

ELAZIĞ-2013

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Coğrafi Konum	2
1.4. Önceki Çalışmalar	4
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
2.1. Büro Çalışmaları	7
2.2. Laboratuvar Çalışmaları	7
2.2.1. XRD Çözümleme Yöntemleri	7
2.2.1.1. Kil fraksiyonu çözümlemeleri.....	8
2.2.2. İnorganik Jeokimyasal İncelemeler	9
2.2.2.1. ICP-AES ve ICP-MS yöntemleri	9
2.2.3. Organik Jeokimyasal İncelemeler	10
2.2.3.1. Piroliz ve toplam organik karbon (TOK) (Rock-Eval) analizleri	10
3. STRATİGRAFI.....	12
3.1. Dadaş Formasyonu	16
3.1.1. Ad ve Yayılım.....	16
3.1.2. Litoloji	16
3.1.3. Kalınlık	17
3.1.4. Alt ve Üst Sınır	17
3.1.5. Fosil İçeriği ve Yaş	18
3.1.6. Ortam.....	18
4. KİL MİNERALojİSİ	19
4.1. Tüm Kayaç X –Işınları Difraktogram (XRD) Tanımlamaları	19
4.2. Kil Fraksiyonu X –Işınları Difraktogram (XRD) Tanımlamaları	22
4.3. İllit Mineralinin Kristalinite Değerlendirmeleri.....	23
5. İNORGANİK JEOKİMYA.....	26
5.1. Derindere–1 Sondaj Kuyusunda Kesilmiş Kesinti Şeyl Örneklerinin İnorganik Jeokimyasal Özellikleri	26
5.1.1. Major Oksit Elementler	26
5.1.2. İz Elementler	29
5.1.3. Nadir Toprak Elementleri	33
5.2. Çeltikli–1 Sondaj Kuyusunda Kesilmiş, Kesinti Şeyl Örneklerinin İnorganik Jeokimyasal Özellikleri	36
5.2.1. Major Oksit Elementler	36
5.2.2. İz Elementler	38

5.2.3.	Nadir Toprak Elementleri.....	42
5.3.	Her İki Sondaj Kuyusuna Ait İnorganik Jeokimyasal Verilerin Karşılaştırılması	45
6.	ORGANİK JEOKİMYA.....	46
6.1.	Giriş	46
6.2.	Piroliz ve Toplam Organik Karbon (TOK) (Rock-Eval) Analizleri	46
6.3.	Organik Madde Miktarı.....	48
6.4.	Organik Madde Tipi	49
6.5.	Organik Madde Olgunluğu	51
6.6.	Hidrokarbon Potansiyeli	52
6.7.	Derindere–1 Sondaj Kuyusunda Kesilmiş Dadaş Formasyonu’na Ait Kesinti Şeyl Örneklerinin Organik Jeokimyasal Özellikleri	53
6.7.1.	Organik Madde Miktarı.....	53
6.7.2.	Organik Madde Tipi	56
6.7.3.	Organik Madde Olgunluğu	58
6.7.4.	Hidrokarbon Potansiyeli	60
6.8.	Çeltikli–1 Sondaj Kuyusunda Kesilmiş Dadaş Formasyonu’na Ait Kesinti Şeyl Örneklerinin Organik Jeokimyasal Özellikleri	60
6.8.1.	Organik Madde Miktarı.....	60
6.8.2.	Organik Madde Tipi	63
6.8.3.	Organik Madde Olgunluğu	65
6.8.4.	Hidrokarbon Potansiyeli	67
7.	TOK VE İZ ELEMENTLER ARASINDAKİ İLİŞKİ.....	68
8.	DERİNDERE–1 VE ÇELTİKLİ–1 SONDAJ KUYULARINDA KESİLMİŞ DADAŞ FORMASYONUN’DAN ŞEYL GAZI (KAYA GAZI) ÜRETEBİLMEK İÇİN BAZI PARAMETRELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	70
9.	SONUÇLAR.....	74
	KAYNAKLAR	77
	ÖZGEÇMİŞ.....	82

ÖZET

Bu çalışmada TPAO tarafından Derindere ve Çeltikli Sahalarında (Bismil Doğu'su, Diyarbakır) açılan Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş olan Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin tüm kayaç mineralojisi, kil mineralojisi, inorganik ve organik jeokimyasal özellikleri incelenerek bu birimin hidrokarbon kaynak kayası olabilme özellikleri belirlenip, bu kuyularda şeyl gazı veya kaya gazı üretebilmek için bazı parametreler irdelenmeye çalışılmıştır.

İnceleme konusu olan Derindere ve Çeltikli sahaları Diyarbakır ili sınırlarında olup (Bismil ilçesi sınırlarında), Batman iline daha yakındır. İnceleme alanında Ordovisiyen-Oligosen aralığında bir çok birim mevcut olup bunlar Geç Miyosen yaşlı Şelmo Formasyonu tarafından örtülmektedir. Çalışma konusunu oluşturan Alt Siluriyen-Alt Devoniyen yaşlı Dadaş Formasyonu, sık denizel bol organik malzemeli kumlu-siltli karbonat, marn aralanması ve şeyllerden oluşur.

Örnekler X-ışınları analiz yöntemi ile incelenmiş ve tüm kayaç ve kil fraksiyon mineralleri tespit edilmiştir. Tüm kayaç analiz sonuçlarına göre feldispat, dolomit, kalsit, kuvars, killer her iki sahada en yaygın minerallerdir. Kil fraksiyon analizinde illit hakim mineral olup kaolinit ve illit-smektit bulunmaktadır. İllit kristalinite değerleri her iki sahada diyajenetik zonu belirtmektedir.

Jeokimyasal incelemelerde korelasyon analizleri sülfid, silikat ve oksit element birlikteliklerini ortaya koymuştur. Her iki sahada örneklerin tümünün şeyl jeokimyasına uyduğu görülmüştür. Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin inorganik jeokimyasal verileri incelendiğinde her iki sondaj kuyusunda kesilmiş olan örnekler birbirinin yanıl devamı niteliğindedir. Bununla birlikte major oksit, iz element ve nadir toprak elementleri bazı seviyelerin 250–300 m'lik bir kot farkıyla Derindere-1 ile Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş kesinti örneklerin inorganik jeokimyasal açıdan benzer olduğu görülmektedir. Bu benzerlik nadir toprak elementlerinin Kuzey Amerika Şeylleri'ne (NASC) normalize diyagramında da görülmektedir.

Her iki sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin TOK değerlerine bakıldığında örneklerin organik maddece “orta zenginlikte” olduğu, organik madde miktarının istifin tabanına doğru artarak en bol miktara ulaştığı ve üst seviyelerde organik madde miktarının azaldığı ve minimuma düştüğü gözlenmektedir.

Her iki sondaj verilerinde S_2 -TOK, H_I - O_I ve H_I - T_{max} kerojen sınıflama grafiklerinde örneklerin çoğunluğu Tip III, az bir kısmı da Tip II kerojen alanında yer almaktadır. Kesinti şeyl örnekleri için S_2/S_3 Kerojen Tipi oranına göre istifin genel olarak petrol-gaz (karışık) türetebilecek özellikteki bir kerojeni işaret ettiği görülmüştür.

Sondaj kuyuları genel olarak ele alındığında TOK artışına paralel olarak U, V, Ni, Cu, Ag, Mo, Sb, Cd ve Se gibi bazı iz elementlerin ortamda zenginleştiği görülmüştür.

Kuvars+kalsit gibi kırılabilirliği arttıran minerallerin miktarı, T_{max} (olgunlaşma) ve Toplam Organik Karbon (TOK) miktarının arttığı Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'nun 3020 ile 3050 metreleri arası, diğer seviyelere göre daha çatlatılabilir, Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'nun 2760 ile 2790 metreleri arası, diğer seviyelere göre daha çatlatılabilir olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Dadaş Formasyonu, illit kristalinite indeksi, TOK, kerojen, şeyl gazı.

SUMMARY

CLAY MINERALOGY, INORGANIC AND ORGANIC GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF DADAŞ FORMATION OF ÇELTİKLİ AND DERİNDERE AREA (THE EAST OF BİSMİL, DİYARBAKIR)

In this study, mineralogy, clay mineralogy, inorganic and organic geochemical characteristics and the hydrocarbon source rock characteristics for shale gas or rock gas of Dadaş Formation are examined.

The study area is located at Derindere and Çeltikli area which is the border of Diyarbakır city, and closer Batman. A lot of units in the study area is available, range from the Ordovician-Oligocene, which covered by Upper Miocene aged Şelmo Formation. Lower Silurian-Lower Devonian aged Dadaş Formation which composed the study subject is formed by shallow marine sandy-silty carbonate and marl sheyl alternation with high organic material.

The samples which were taken along sections were analysed by X-ray analysis method and whole rock and clay fraction minerals were determined. According to whole rock analysis results, feldspar, dolomite, calcite, quartz, clays are the common minerals in the studying area. In clay fraction analysis, illite is found as a dominant mineral, and it is accompanied by the other clay minerals kaolinite, serpentine, and smectite-illite. Illite crystallinity values indicate diagenetic zone in the two area. Inorganic geochemical data from analyzed samples of Derindere-1 and Çeltikli-1 areas of Dadaş Formation show that each borehole is a continuation of each other. Major oxide, rare earth elements and trace elements in some of the levels of Çeltikli-1 and Derindere-1 drilling holes are similar with a 250-300 m code difference. The normalized diagram of rare earths to the North American Shales (NASC) is also showed this similarity.

Each of the two areas, Dadaş Formation shale samples are 'middle rich' according to the value of organic matter TOK, which is the most abundant amount increased amount of organic matter reaches the end of the sequence, and at the upper levels decreased and the minimum is observed.

S₂-TOC, and HI-Tmax of HI-OI kerogen classification charts show that the majority of the samples are in Type III, at least one part is at the Type II kerogen in the each of the two areas. Average rate of S₂/S₃ Kerogen Type for shale samples was calculated and showed that in general, oil and gas (mixed) kerogen characteristics were pointed out.

In drilling holes, the general increase as U, V, Ni, Cu, Ag, Mo, Sb, Cd and Se were enriched with the enriched of TOC values.

Considering the higher amount of quartz + calcite minerals, Tmax (maturation), and Total Organic Carbon (TOC), between 3020 and 3050. meters levels could be crack in Derindere-1 borehole, 2760 and 2790 meters levels could be crack in Çeltikli-1 borehole compared to the other levels.

Key Words : Dadaş Formation, illite cristallinity index, TOC, kerogen, shale gas.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası	3
Şekil 2.	İnceleme alanının jeolojik ve sondaj lokasyon haritası	14
Şekil 3.	Derindere ve Çeltikli sahalarının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.	15
Şekil 4.	Dadaş Formasyonu'nun hipostratotipi.....	18
Şekil 5.	Derindere-1 sondaj kuyusuna ait 2880. metre'deki örneğe ait tüm kayaç X- ışınları difraktogram (XRD) çekimleri	20
Şekil 6.	Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait 2650. metre'deki örneğe ait tüm kayaç X-ışınları difraktogram (XRD) çekimleri	21
Şekil 7.	Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait 2650. m'den alınan örneğin XRD-kil fraksiyonu difraktogram çekimleri	23
Şekil 8.	Derindere-1 sondaj kuyusuna ait kesinti örneklerin Pettijohn ve diğ. (1972) diyagramındaki dağılımı	28
Şekil 9.	Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerine ait nadir toprak elementlerinin (REE) Kuzey Amerikan Şeylleri (NASC) normalize diyagramı	35
Şekil 10.	Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait kesinti örneklerin Pettijohn ve diğ. (1972) diyagramındaki dağılımı	38
Şekil 11.	Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerine ait nadir toprak elementlerinin (REE) Kuzey Amerikan Şeylleri'ne (NASC) normalize diyagramı	44
Şekil 12.	Rock-Eval cihazı tarafından analiz edilen organik fraksiyonlar	48
Şekil 13.	Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin Toplam Organik Karbon (TOK) değerlerinin örnek sayısına göre (%) dağılım grafiği	54
Şekil 14.	S ₂ -TOK kerojen sınıflama diyagramında Derindere-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin dağılımı	56
Şekil 15.	Derindere-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin Hİ-Oİ kerojen sınıflama grafiğindeki dağılımı.....	57
Şekil 16.	Derindere-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin Hİ-T _{max} kerojen sınıflama grafiğindeki dağılımı.....	58
Şekil 17.	Derindere-1 sondaj kuyusuna ait sondaj logu ve bu kuyudan alınmış kesinti şeyl örneklerinin TOK ve T _{max} değerlerinin derinliğe bağlı değişim grafiği.	59
Şekil 18.	Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin Toplam Organik Karbon (TOK) değerlerinin örnek sayısına göre (%) dağılım grafiği.....	61

Şekil 19.	S ₂ -TOK kerojen sınıflama diyagramında Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin dağılımı.....	63
Şekil 20.	Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin Hİ-Oİ kerojen sınıflama grafiğindeki dağılımı	64
Şekil 21.	Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin Hİ-T _{max} kerojen sınıflama grafiğindeki dağılımı	65
Şekil 22.	Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait sondaj logu ve bu kuyudan alınmış kesinti şeyl örneklerinin TOK ve T _{max} değerlerinin derinliğe bağlı değişim grafiği.	66
Şekil 23.	Bazı İz elementlerle Toplam Organik Karbon (TOK) arasındaki korelasyonlar	69
Şekil 24.	Şeyl (kaya) gazı üretiminde kullanılan yatay sondaj ve suyla çatlatma (hydrofracturing) teknolojisinin şematik gösterimi	71
Şekil 25.	Derindere-1 sondaj kuyusuna ait bazı çatlatma parametrelerinin derinliğe göre değişim grafikleri.	72
Şekil 26.	Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait bazı çatlatma parametrelerinin derinliğe göre değişim grafikleri.	73

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.	Derindere-1 sondaj kuyusuna ait Dadaş Formasyonu'nun tüm kayaç mineral % oranları	21
Tablo 2.	Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait Dadaş Formasyonu'nun tüm kayaç mineral % oranları	22
Tablo 3.	İllit Kristalinite İndeksi (IC).....	24
Tablo 4.	Keskinlik Oranı İndeksi (SR).....	24
Tablo 5.	Deyoner ve Segonzac (1970)'e göre zonların yaklaşık karşılık geldiği sıcaklık (gömülme) aralıkları	24
Tablo 6.	Kil fraksiyonu tüm kayaç çekimden itibaren Derindere-1 ve Çeltikli-1 kuyusuna ait 19 adet kesinti şeyl örneklerinin illit, Kübler (IC) kristalinite indeksleri ve Weaver (SR) keskinlik oranı verilmiştir.	25
Tablo 7.	Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin Majör (Ana) oksit elementleri ve istatistiksel parametreleri.	27
Tablo 8.	Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin Majör (Ana) oksit elementleri arasındaki korelasyon katsayılarını gösteren tablo	28
Tablo 9.	Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş, kesinti şeyl örneklerinin iz element içeriği	30
Tablo 10.	Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin iz elementleri arasındaki korelasyon katsayıları	32
Tablo 11.	Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin nadir toprak elementleri içerikleri	34
Tablo 12.	Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin nadir toprak elementlerinin korelasyon analizi	35
Tablo 13.	Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerine ait Majör (Ana) oksit elementleri ve istatistiksel parametreleri	36
Tablo 14.	Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş, kesinti şeyl örneklerinin Majör (Ana) elementler arasındaki korelasyon katsayılarını gösteren tablo	37
Tablo 15.	Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin iz element içeriği	40
Tablo 16.	Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerine ait iz elementler arasındaki korelasyon katsayılarını gösteren tablo	41
Tablo 17.	Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin nadir toprak elementleri içerikleri	43
Tablo 18.	Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin nadir toprak elementleri içeriklerinin korelasyon analizi	44

Tablo 19.	Toplam organik karbon içeriği (TOK, % ağırlık) ve sınır değerleri	49
Tablo 20.	Tmax değerlerinin temsil ettiği olgunlaşma değerleri.....	52
Tablo 21.	Potansiyel Ürün (PÜ) değerleri kullanılarak kaynak kaya potansiyeli sınıflamaları	53
Tablo 22.	Derindere–1 sondaj kuyusunda kesilmiş, kesinti şeyl örneklerinin Piroliz/TOK analiz sonuçları ve bu sonuçlardan elde edilen parametreler.....	55
Tablo 23.	Çeltikli–1 sondaj kuyusunda kesilmiş, kesinti şeyl örneklerinin Piroliz/TOK analiz sonuçları ve bu sonuçlardan elde edilen parametreler.....	62
Tablo 24.	Bazı iz elementlerle Toplam Organik Karbon (TOK) arasındaki korelasyonları gösteren tablo.....	68

SEMBOLLER DİZİNİ

C	: Karbon
CO ₂	: Karbondioksit
DST	: Drill Stem Test (Formasyon Testi)
FID	: Flame Ionisation Detector (Alev İyonizasyon Dedektörü)
H	: Hidrojen
Hİ	: Hidrojen İndeksi
HK	: Hidrokarbon
I-S	: İllit-Smektit
K	: Kaolinit
KK	: Kalıntı Karbon
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
NASC	: Kuzey Amerikan Şeylleri
O	: Oksijen
Oİ	: Oksijen İndeksi
PÜ	: Potansiyel Ürün
REE	: Nadir Toprak Elementleri
S ₁	: Serbest Hidrokarbon
S ₂	: Kerojenin ısısal parçalanmasıyla açığa çıkan hidrokarbon miktarı
S ₃	: Kerojenin ısısal parçalanmasıyla açığa çıkan karbondioksit miktarı
SR	: İllit kristalinitesi keskinlik oranı (Sharpness Ratio).
TOK	:Toplam Organik Karbon
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
Tmax	: S ₂ pikinin maksimuma ulaştığı noktadaki sıcaklık değeri
Üİ	:Üretim İndeksi
XRD	: X-Ray Diffraction
IC	: Kübler İllit Kristalinite İndeksi
ICP-AES	: Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Türkiye her yıl milyarlarca dolar enerji ithalatı yapmaktadır. Cari açığın yarıdan fazlası petrol ve gaz ithalatından kaynaklandığı bilinen bir gerçek olup, enerjide dışa bağımlı bir ülke konumundadır. Bilindiği gibi, ülkemizde ekonomik değerde petrol ve doğal gaz üretimi yapılan iki bölge vardır. Bunların en önemlisi Güneydoğu Anadolu Bölgesi, diğeri ise Trakya Havzası'dır. Bu bölgelerde üretilen petrol ve doğal gazın ülkemizin ihtiyaçlarını karşılayamaması, artan enerji gereksiniminin karşılanabilmesi için yeni alternatif kaynakların bulunmasını zorunlu kılmıştır. Son zamanlarda artan bilimsel ve teknolojik gelişmeler, hidrokarbon kökenli maddelerin aranmasında ve üretiminde de kendini göstermiştir. Özellikle organik jeokimya bilimindeki gelişmeler, yeni araştırmalara olanak sağlamış ve jeolojik devirler boyunca petrol ve doğalgaz türetmiş, belli özelliklere sahip organik maddece zengin kaynak (ana) kayaların aranmasında önemli bir yer tutmuştur. Bu çalışmalarla, kesinlik derecesi değişmekle birlikte, petrol ve gaz rezervleri belirli bazı kaynak kayaçlarla ilişkilendirilebilmekte ve kaynak kayaçların petrol ve/veya gaz üretmeye başladığı zamanlar belirlenebilmektedir. Son yıllarda petrol ve doğal gazın alternatifi olarak söz edilen şeyl gazı veya kaya gazı, dünyanın ve ülkemizin gündemini meşgul etmeyi başarmıştır. Shale Gas olarak bilinen şeyl gazı veya kaya gazı, yeterince derine gömülerek gaz oluşturma aşamasına (olgunluğuna) ulaşmış kaynak (ana) kayaların bünyesinde hapsolmuş gaz olarak tanımlanmaktadır. Şeyl gazı, başta A.B.D, Polonya ve Kanada olmak üzere, diğer bazı ülkeler çeşitli operasyonlarla kaya gazı üretimine hız vermeye başlamıştır. Dünya enerji piyasalarının dengesini değiştirecek bir kaynak olacağı analistler tarafından vurgulanan kaya gazı, Türkiye'de önemli rezervlerinin olduğu Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO), Maden Tetkik ve Arama (MTA) ve birçok özel kuruluş tarafından yapılan sondajlar sayesinde belirlenmiştir. Nitekim, Türkiye'de TPAO ve ABD SHELL petrol şirketi ortaklığıyla Diyarbakır İlinin Silvan ilçesi yakınlarında Sarıbuğday sahasında (Sarıbuğday-1) kaya gazı, araması başlatmıştır.

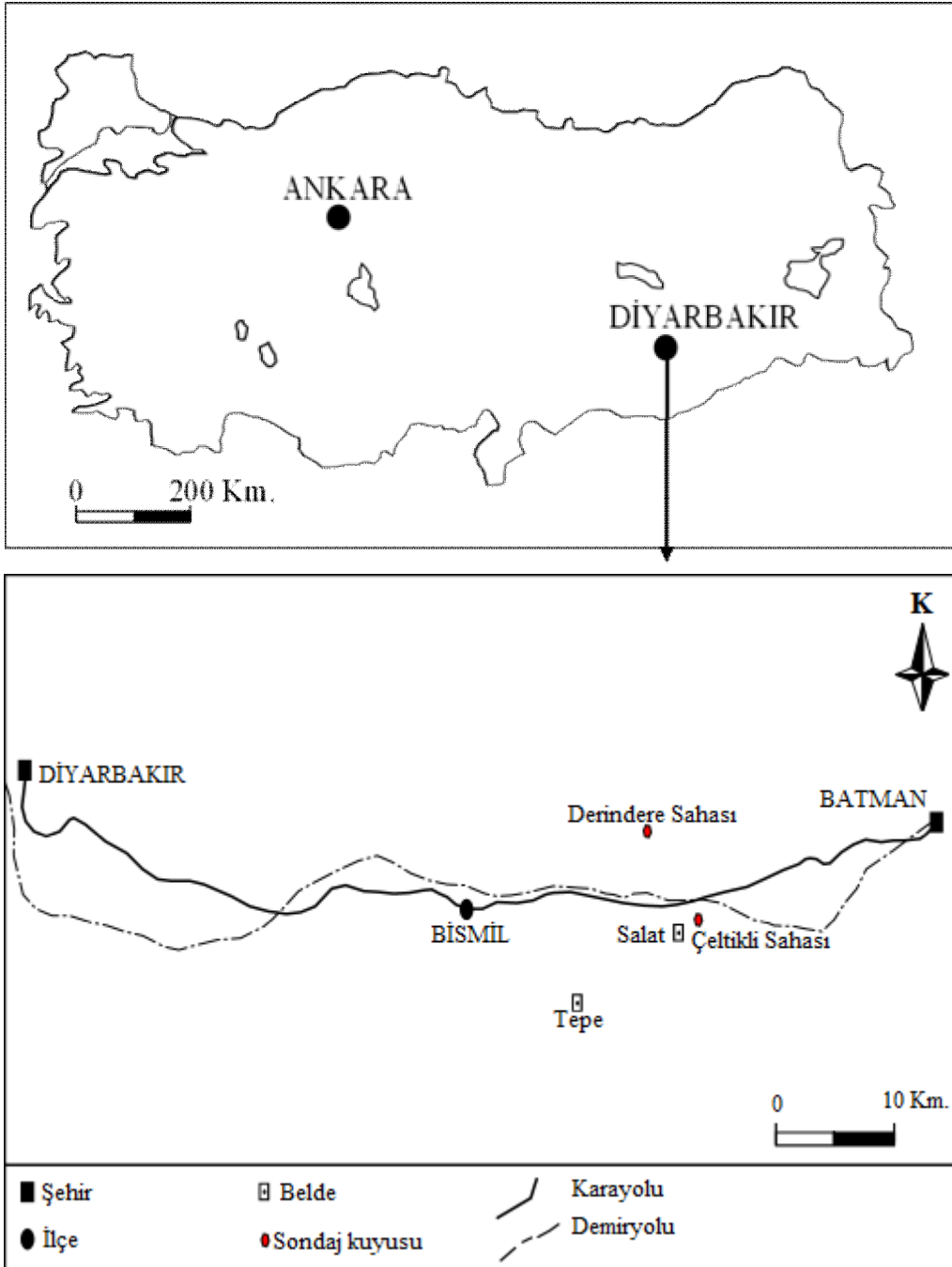
1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada TPAO tarafından Derindere ve Çeltikli Sahalarında (Bismil Doğu'su, Diyarbakır) açılan Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş olan Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin tüm kayaç mineralojisi, kil mineralojisi, inorganik ve organik jeokimyasal özellikleri incelenerek bu birimin hidrokarbon kaynak kayası olabilme özellikleri belirlenip, bu kuyularda şeyl gazı veya kaya gazı üretebilmek için bazı parametreler irdelenmeye çalışılmıştır.

1.3. Coğrafi Konum

Bu çalışmaya konu olan Derindere ve Çeltikli sahaları Diyarbakır (Bismil ilçesi sınırlarında) ili sınırlarında olup, Batman iline daha yakındır. Derindere sahasında açılmış Derindere-1 kuyusu Batman İlinin yaklaşık 25 km batısında, 1/25000 ölçekli M 45-b1 paftasında, Enlem (N) : 37°52'59''.34 Boylam (E): 40°50'12''.65 'te yer almaktadır. Çeltikli sahasında açılmış Çeltikli-1 kuyusu ise Batman İlinin yaklaşık 20 km güneybatısında, 1/25000 ölçekli M 45-b3 paftasında, Enlem (N) : 37°50'17''.64 - Boylam (E): 40°53'23''.32 'de yer almaktadır.

Çalışma alanları aşırı bir engebeye sahip olmayan bir topografyaya sahiptir. Bitki örtüsü yok denebilecek kadar azdır. Çalışma alanına yakın bölgelerde Salat Çayı ve Dicle Nehri akmaktadır. Bölge karasal bir iklime sahip olup, yöre ekonomisi tarım ve hayvancılığa bağlıdır. İnceleme alanlarına yakın, Diyarbakır-Batman karayolu geçmekte olup, inceleme konusu sondaj kuyularına ulaşım stabilize yollarla sağlanmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

1.4. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın çevresinde birçok araştırmacı tarafından değişik amaçlı jeolojik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır:

Balkaş ve diğ. (1984), “Güneydoğu Anadolu’da Kaynak Kayaların Petrol Türüm Kapasiteleri Yönü ile Jeokimyasal Değerlendirmesi” isimli çalışmalarında, Güneydoğu Anadolu’da sondalanmış 62 kuyu ve ölçülen 4 stratigrafik kesitinden seçilen intervallerin petrol kaynak kayası kapasitelerinin değerlendirmelerini incelemiştir. Araştırmacılar Güneydoğu Anadolu’da petrol türüm kapasiteleri ile kaynak kayaların dağılımını gösteren bir harita yaparak kaynak kaya potansiyeli ve jeotermal diyajenez haritalarının oluşturduğu, organik madde miktarı ve niteliği ile olgunlaşma derecesi yönlerinden uygun koşullar sunan alanlar, her birim özelinde ayrı ayrı belirlenerek tek bir temel harita üzerine işaretlemişlerdir.

Korucu ve diğ. (1992), “Kayayolu-Boliş Ruhsatı Değerlendirme Raporu” isimli çalışmalarında, bölgedeki açılan kuyuları değerlendirmiştir. Araştırmacılara göre bölgede genelinde rezervuar ve kaynak kaya özelliği ile önemli olan Karaboğaz Formasyonu değerlendirme alanının güneyinde yer almakta, kuzeye doğru sıfırlanmaktadır. Ayrıca son yapılan Mardin üstü zaman haritalarına göre değerlendirme alanında Mardin Gurubu için test edilebilecek başka bir yapı görülmediğini belirtmiştir.

İztan (1993), “GDA X., XI ve XII. Bölgelerde Dadaş, Bedinan ve Telbesmi Formasyonları’nın Kaynak Kaya Potansiyelleri ve Petrol-Kaynak Kaya Deneştirilmesi” isimli çalışmada, Fırat Nehri ve Diyarbakır ili arasında 26 adet kuyuda Paleozoik birimlerin değerlendirmesi yapılabilmektedir. Bu değerlendirme ile Paleozoik (Dadaş ve Bedinan Formasyonları) ve daha yaşlı (Prekambriyen-Telbasmi Formasyonu) birimlerin kaynak kaya potansiyellerinin belirlenmesi, kaynak kaya potansiyelleri ve maksimum petrol türüm alanları belirlenen birim veya birimlerin bölgedeki petrol ve emarelerle (show) korelasyonlarının yapılması, muhtemel göç yönlerinin ortaya konulmasını amaçlamıştır.

Yılmaz ve Duran (1997), “Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allohton Birimler Stratigrafisi Adlama Sözlüğü” isimli çalışmalarında, Güneydoğu Anadolu’da adlanmış olan otokton ve allohton litostratigrafik birimlerle ilgili olarak kapsamlı bir “Stratigrafi Sözlüğü (Lexicon)” hazırlamışlardır. Hazırlanan kitabın, uluslararası

stratigrafi adlama kurallarına uyumlu olup Hedberg (1976)'nın "Uluslararası Stratigrafi Kılavuzu" temel almışlardır. Bu çalışmada, Petrol İşleri Genel Müdürlüğü, MTA Genel Müdürlüğü, TPAO Genel Müdürlüğü ve Üniversite arşivleri ile yerli-yabancı bültenlerde yayınlanmış olan yayınlar çerçevesinde 553 adet teknik rapor ve yayın incelenmiş, 498 adet ölçülmüş stratigrafik kesit değerlendirilmiştir. Böylece geniş kapsamlı bir sözlük hazırlanarak bir litostratigrafik birim tanımının yeterli olabilmesi için mutlaka şu bilgileri içermesi gerektiğini vurgulamışlardır. Bunlar, litostratigrafik adı, tip lakolitesindeki tanımı, bölgesel özellikleri, kökeni, jeolojik yaşı, oluşum ortamıdır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Prekambriyenden güncele kadar değişen çeşitli sedimanter çökeller grup, formasyon ve üye aşamasında tanımlamışlardır. Bu birimlerin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde kuzey ve güney hattı boyunca stratigrafisi ve korelasyonları şekillerle anlatılmış ve ayrıca inceleme alanı batıda Amanoslar, doğuda İran, güneyde Suriye ve Irak, kuzeyde ise, Miyosen bindirmesi ile sınırlamışlardır.

Gümüş (1998), "Güneydoğu Anadolu Paleozoik Projesi" isimli çalışmasında, bölgede açılan kuyulardan da faydalanarak, bölgenin genel Paleozoik stratigrafisini ortaya koymuştur. Ayrıca bazı sahaların Paleozoik birimlerinin, açılan kuyular tarafından test edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Çalışılan alandaki Paleozoik birimlerinin de geniş kapsamlı olarak test edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Körpe (1998), "Kayayolu-Kastel-Didan-Karaali Alanları Kantitatif Basen Değerlendirmesi" isimli çalışmasında, adı geçen alanları tek bir çatı altında toplayarak genel bir basen değerlendirme yapmıştır. Bu çalışmayla geniş bir alanın hidrokarbon türüm ve migrasyon tarihçesini ortaya çıkarmayı amaçlamıştır.

Tosunkara (1998), "Kayayolu Sahası Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanığı Değerlendirilmesi" isimli çalışmasında, sahada önce açılmış kuyuları da değerlendirerek yeni açılacak kuyular için ışık tutmuştur. Bölgenin arama tarihçesinden başlayarak incelemelerde bulunmuş, sahadaki hazne kayalar ve poroziteleri hakkında da yorumlar yapmaktadır.

Altunkaynak (2001), "Kayayolu Sahasının Petrol Potansiyeli" isimli çalışmasında, Kayayolu ve yakın çevresindeki sahaların hidrokarbon potansiyelleri araştırılmıştır. Sahada açılan kuyularda kesilmiş birimlerin fiziksel, kimyasal, petrografik ve stratigrafik özelliklerini kırıntı ve karot örneklerinin analizi ve kuyu loglar sayesinde ortaya koymuştur. Ayrıca hazne ve kaynak kaya niteliğindeki birimler ortaya konulmuştur. Kuyulardaki petrol potansiyelleri DST yardımı ile tespit edilmiştir.

Öncü ve diğ. (2001), “Kayayolu Sahası Değerlendirme Raporu” isimli çalışmalarında, mevcut verilere ilave olarak elde edilen sismik verilerin birlikte değerlendirilmesi ile sahada ekonomik hidrokarbon potansiyelinin olup olmadığını saptamaya çalışmışlardır. Bu çalışmada bu soruna yönelik olarak hem Kayayolu kuyuları tek tek, hem de saha jeolojik olarak yeniden değerlendirilmiştir. Aynı zamanda olası yeni kuyunun tespiti yapılmıştır.

İztan (2003), “Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin Jeokimyasal Değerlendirmesi” isimli çalışmasında, 1982 yılından beri yapılan tüm jeokimyasal çalışmaları ve sonuçlarını özet olarak sunmuştur. Bu çalışmada bölgedeki yaklaşık tüm kuyular incelenmiş, Prekambriyen’den Miyosen’e kadar kuyularda kesilen tüm birimler analiz edilmiştir. Bu birimler arasında özellikle beş birim en yoğun olarak çalışılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda Üst Silüriyen-Alt Devoniyen yaşlı Dadaş Formasyonu ile Kretase yaşlı Karaboğaz (Derdere Sfer, Karababa A) Formasyonları’nın yüksek kaynak kaya potansiyeli taşıdıkları saptanmıştır.

İztan (2004), “Güneydoğu Anadolu X. ve XI. Bölgeler Paleozoik Birimlerin (Dadaş, Bedinan) Jeokimyasal Değerlendirmesi” isimli çalışmasında, X. ve XI. bölgelerdeki Paleozoik birimlere (Dadaş ve Bedinan Formasyonları) kadar inen tüm sondaj kuyularındaki jeokimyasal veriler gözden geçirilmiş, TPAO verileri ile yabancı şirketlerce yazılan raporlarda yer alan veriler karşılaştırılarak, aralarındaki uyum kontrol edilmiş, yeni analiz sonuçları ile bölgeye ait önceki veriler birlikte değerlendirilen, doğru veriler bu çalışma kapsamında kullanılmıştır.

Bozkaya ve diğ. (2009), “ Hazro (Diyarbakır) Bölgesi Paleozoik-Alt Mesozoyik Yaşlı Sedimanter İstifin Mineralojisi” isimli çalışmalarında, Hazro bölgesinde yüzeylenen Arap Platformu’na ait Güneydoğu Anadolu Otoktonu Paleozoik-Alt Mesozoyik yaşlı kayaların olgunlaşma derecelerinin belirlenmesi ve Toros kuşağındaki otokton birlikle benzerlik ve/veya farklılıklarının denestirilmesi, sonuçta diyajenez derecelerinin ayırtlanarak petrol olgunlaşma zonlarının tanımlanmasına yönelik bazı inorganik verilerin analizleri yapıp yorumlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin tüm kayaç mineralojisi, kil mineralojisi, inorganik ve organik jeokimyasal incelenmelerinin yapıldığı bu çalışmada büro ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

2.1. Büro Çalışmaları

İnceleme alanındaki kuyulara ait jeolojik ve stratigrafik bilgiler TPAO Batman Bölge Müdürlüğü arşivlerindeki raporlardan temin edilmiş olup, sahaya ait jeolojik ve lokasyon haritaları Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Arama Gurubu ve Maden Tetkik ve Arama (MTA) tarafından hazırlanmış 1/250.000 ve 1/500.000'lik jeolojik haritalardan yararlanarak çizilmiştir.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Batman Bölge Müdürlüğü numune arşivinden alınan Derindere ve Çeltikli sahalarında açılan Derindere-1 ve Çeltikli-1 kuyuda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örnekleri derlenilmiş ve çeşitli analizlere tabi tutulmuştur. Bu analizlere aşağıda değinilmiştir.

2.2.1. XRD Çözümleme Yöntemleri

Derindere -1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait 19 adet kesinti şeyl örneklerinin XRD tüm kayaç difraktogramlarının çekiminde 250 µm mertebesinde öğütülen toz örnekler K.T.Ü Fen Fakültesi Fizik Bölümün'de yapılan XRD analizlerinde Rigaku D/Max-IIIC difraktometresinde CuK_α ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$, 35 keV, 30 mA) ışıını kullanarak elde edilmiştir. Tüm ölçümler oda sıcaklığında, $0^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$ aralığında $3^\circ/\text{dak.}$ tarama hızında ve $0,02^\circ$ 'lik örnekleme aralığında yapılmıştır. Difraktogramlar Uluslararası Difraksiyon Veri Merkezinin (ICDD) 2004 yılı toz difraksiyon verilerinden ve ASTM (American Society for Testing and Materials) (1972) kartlarına göre

gerçekleştirilmiş ve her mineralin karakteristik pik şiddeti değerlendirilmiş, Gündoğdu (1982) katsayılarına göre mineral yüzdeleri hesaplanmıştır.

2.2.1.1. Kil fraksiyonu çözümlemeleri

Tüm kayaç mineral yüzdeleri belirlendikten sonra Çeltikli-1 sondaj kuyusunun 2650. metresinden alınan örneğin kil mineralojisi belirlenmiştir. Normal, etilen glikol ve ısıl çekimleri Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Philips marka X-Işınları aleti ile yapılmış ve çekimlerde CuK α tüp, Ni filtre, 40 KV, 18 mA akım, 20/dk goniometre hızı, 2 cm/dk kağıt hızı kullanılmıştır. Kil fraksiyonu çekimlerinde kullanılan işlemler aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Kil fraksiyonunun tüm kayaç içerisindeki diğer minerallerden ayrılmasını sağlamak için Moore ve Reynolds (1989), Gündoğdu ve Yılmaz (1984) tarafından önerilen kimyasal çözme, santrifüjleme-dekantasyon-yıkama ve sedimantasyon-sifonlama santrifüjleme işlemleri uygulanmıştır. Bu uygulamaya başlamadan önce kayaca kırma ve öğütme işlemleri uygulanmıştır. Öğütme işleminden sonra 20–30 gr örnek 1 litrelik behere alınmış ve üzerine 100 ml saf su eklenerek aşağıdaki işlem sırası takip edilmiştir.

Kimyasal çözme: Kil ayırma işlemi yapılırken kil dışı minerallerin kimyasal çözme yolu ile atılması işlemine denir. Karbonat minerallerinin atılması için 1N'lik asetik asit kullanılır. 1–10 gr arasında 10 μ öğütülmüş örnek (tane boyu) 100 ml'lik behere koyulur ve daha sonra üzerine 40 ml 1N'lik asetik asit eklenir ve 30 dakika bekletilir. Örnek santrifüj tüplerine alınır ve 2000 devirde 5 dakika süre ile santrifüjlenir ve sıvı ile örnek ayrılır. Bu işleme karbonatlar atılıncaya, bir başka ifade ile CO₂ gaz çıkışı duruncaya kadar devam edilir (More ve Reynolds, 1989). Öğütme işleminde tane boyunun 10 μ 'nin altına düşmemesine özen gösterilmiştir. Öğütme işleminden sonra 20–30 gr örnek 1 litrelik behere alınmış ve üzerine 100 ml saf su eklenerek aşağıdaki işlem sırası takip edilmiştir.

Organik maddenin atılması: H₂O₂ (hidrojen peroksit) ile oksidasyon vasıtası ile sağlanır. Karbonatların atılması işlemi uygulanmış ve minimum miktardaki saf su ile 100 ml'lik behere alınmış olan örnek üzerine %30'luk H₂O₂ 'dan 5 ml eklenir ve ara sıra karıştırılarak örnek bekletilir. Bu işleme örnekte organik maddeden kaynaklanan koyu renk gidene kadar devam edilir. Örnek santrifüj tüpüne alınır ve 2000 devirde 5–10 dakika süre

ile santrifüjlenerek örnek ile asitin ayrılması sağlanır ve asitli sıvı atılır (Moore ve Reynolds, 1989).

Kararlı süspansiyon elde edilmesi: Yıkama-dekantasyon-santrifüjleme işlemlerinden oluşur. Asitleme işleminin ardından örnek saf su ile birlikte behere alınır ve karıştırılır. Daha sonra dinlenmeye bırakılır. Bu işleme dekantasyon denilir. Dekantasyon sonucunda kil ve kil dışı malzeme beherin dibine çöker ve üstte yabancı katyon ve anyonları (örneğin Ca, Mg ve Cl gibi) içeren berrak kısım atılır. Bu işlemin daha hızlı yapılabilmesi için santrifüjlemeden yararlanılabilir. Kilin süspansiyonda kalmasını sağlayan bazı özellikleri vardır. Bunlar; kilin ağırlığı (yer çekimi etkisi) ve suyun kaldırma kuvveti, kilin yüzey yükünün değeridir. Kilin yüksek yüzey yüküne sahip olması durumunda topaklanma olmaz ve çökme yavaş olarak gerçekleşir. Kilin bu özelliğinden yararlanılarak saf su ile karıştırılır ve kum ve silt boyundaki materyal kilden daha hızlı çökeceğinden üstte kalan killi kısım alınır ve altta kalan kısım atılır. Sedimentasyon olarak tanımlanan bu işlem birkaç kez tekrarlanır. İstenilen kil boyutu malzeme alınır.

XRD kil fraksiyonu (KF) çözümlemeleri için cam lam üzerine sıvama ile yönlendirilmiş örnekler hazırlanmış ve hazırlanan bu örneklerin normal (N), fırınlı (F) ve etilen glikollü (EG) difraktogram çekimleri yapılmıştır. Normal çekimler doğrudan lamla yapılan çekimlerdir. Fırınlı çekimlerde, yönlendirilmiş örnekler 300 ve 550 °C fırında 4 saat süre ile bırakılmış ve daha sonra XRD çekimine tabi tutulmuştur. EG çekiminde ise kil minerallerinin şişmesi sağlanmıştır. Bu amaçla lama sıvanmış örnek etilen glikol buharı bulunan desikatörde 12 saat süre ile bekletildikten sonra XRD çekimi yapılmıştır.

2.2.2. İnorganik Jeokimyasal İncelemeler

2.2.2.1. ICP-AES ve ICP-MS yöntemleri

Bu yöntemle, Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş Dadaş Formasyon'una ait 20 kesinti şeyl örneklerinin ana, iz ve nadir toprak element analizleri gerçekleştirilmiştir. Örnekleri analize hazırlama ve analiz (asitle çözme ve filtreleme) işlemleri ACME Analytical Laboratories Ltd. (Kanada) analitik kimya laboratuvarında yaptırılmıştır.

Örneklerin ana element analizleri İndüktif Eşleşmiş Plazma (Inductively Coupled plasma) Atomik Emisyon Spektrometre (ICP-AES) yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemde, bir numunede bulunan elementler atomlaştırma denilen işlemle buhar halinde atomlarına dönüştürülür ve daha sonra buhar içindeki atomik türlerin emisyon ölçümü yapılır (Thompson ve Walsh, 1983). Ana element analizleri için 0.2 gr örnek 1.5 LiBO 'de eritilmiş ve %5'lik 100 ml HNO içinde çözündürülmüştür. Cihaza standartlar okutulduktan sonra örnekler analiz edilmiştir. İz ve nadir toprak element (REE) analizleri ise İndüktif Eşleşmiş Plazma, Kütle Spektrometre (ICP-MS) yöntemiyle 0.25 gr toz örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin esasında analiz edilecek numuneler atomlaştırılır ve iyonlaştırılır ve kütle/yük oranına göre ayrılan iyonların sayımı ile veri elde edilir (Jenner vd., 1990). Örnekler, karbon içeriklerinin uçurulması için 200 °C'de 100 ml HClO-HNO-HCl-HF çözeltisinde gaz çıkışı sonlanıncaya kadar bekletilmişlerdir. Metalleri çözmek amacıyla 10 ml kral suyu (HNO+HCl) ile sulandırılarak seyreltildikten ve filtre edildikten sonra analiz edilmişlerdir.

2.2.3. Organik Jeokimyasal İncelemeler

2.2.3.1. Piroliz ve toplam organik karbon (TOK) (Rock-Eval) analizleri

Petrol aramacılığında kaynak kaya karakterizasyonu ve petrol türetme potansiyeli ile ilgili çalışmalarda kullanılan temel yöntem piroliz analizidir. Bu analiz kaynak kayaların petrol potansiyelini, olgunluğunu, organik madde tipini, kinetik parametrelerini belirlemek amacı ile kullanılan en hızlı ve ekonomik tekniktir. Rock Eval-6 piroliz cihazı Fransız “Vinci Technologies” firması tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemle, Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş Dadaş Formasyon'una ait 37 adet kesinti şeyl örneği Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Araştırma Merkezi Jeokimya Laboratuvarında Piroliz ve TOK analizi yapılmıştır. Piroliz analizi yapılacak kayaç örnekleri (kırıntı, karot ve toprak vb.) öncelikle pens yardımı ile temizlenir, içinde yer alan yabancı maddeler uzaklaştırılır, ardından mıknaş kullanılarak sondaj sırasında karışmış olabilecek metallerin giderilmesi sağlanır. Temizlik işlemi tamamlanan kayaç örnekleri öğütülerek toz haline getirilir. Öğütülen örneklerden yaklaşık 60 mg (± 3 mg) tartılır ve Rock Eval cihazları için özel tasarlanmış yarı geçirgen krozelerin içerisine aktarılır ve numuneler Rock Eval-6 cihazına yerleştirilir.

Cihaz oksidasyon ve piroliz olmak üzere iki bölümden oluşur. Piroliz bölümünde FID (Alev İyonlaşma), oksidasyon bölümünde ise IRCeII (Infrared) dedektör bulunmaktadır. Her iki bölümde taşıyıcı gaz olarak yüksek saflıkta azot kullanılmaktadır. Oksidasyon bölümünde kuru hava ve FID’de ise hidrojen ve hava kullanılmaktadır. Piroliz işleminde örnek 300 °C’de 3 dakika tutulduktan sonra sıcaklık dakikada 25 °C arttırılarak 650 °C’ye ulaşılır. Oksidasyon işleminde ise örnek 400 °C’de 3 dakika tutulur ve dakikada 25 °C arttırılarak 850 °C’ye ulaşılır. 850 °C’de 5 dakika tutularak işlem tamamlanır. Analiz süresi yaklaşık 90 dakikadır.

3. STRATİGRAFI

Çalışma alanı Geç Miyosen yaşlı Şelmo Formasyonu'nun kırıntıları tarafından örtülmektedir (Şekil 2). Çalışma alanının stratigrafisi yüzey verilerinden daha çok incelenen kuyu verilerinden faydalanarak değerlendirilmiştir. Bölgede ölçülen ve elde edilebilen her türlü ölçülmüş stratigrafik kesit (ÖKS) değerlendirmeye alınmış, yeraltı jeolojisi çalışmaları da göz önünde bulundurulmuştur.

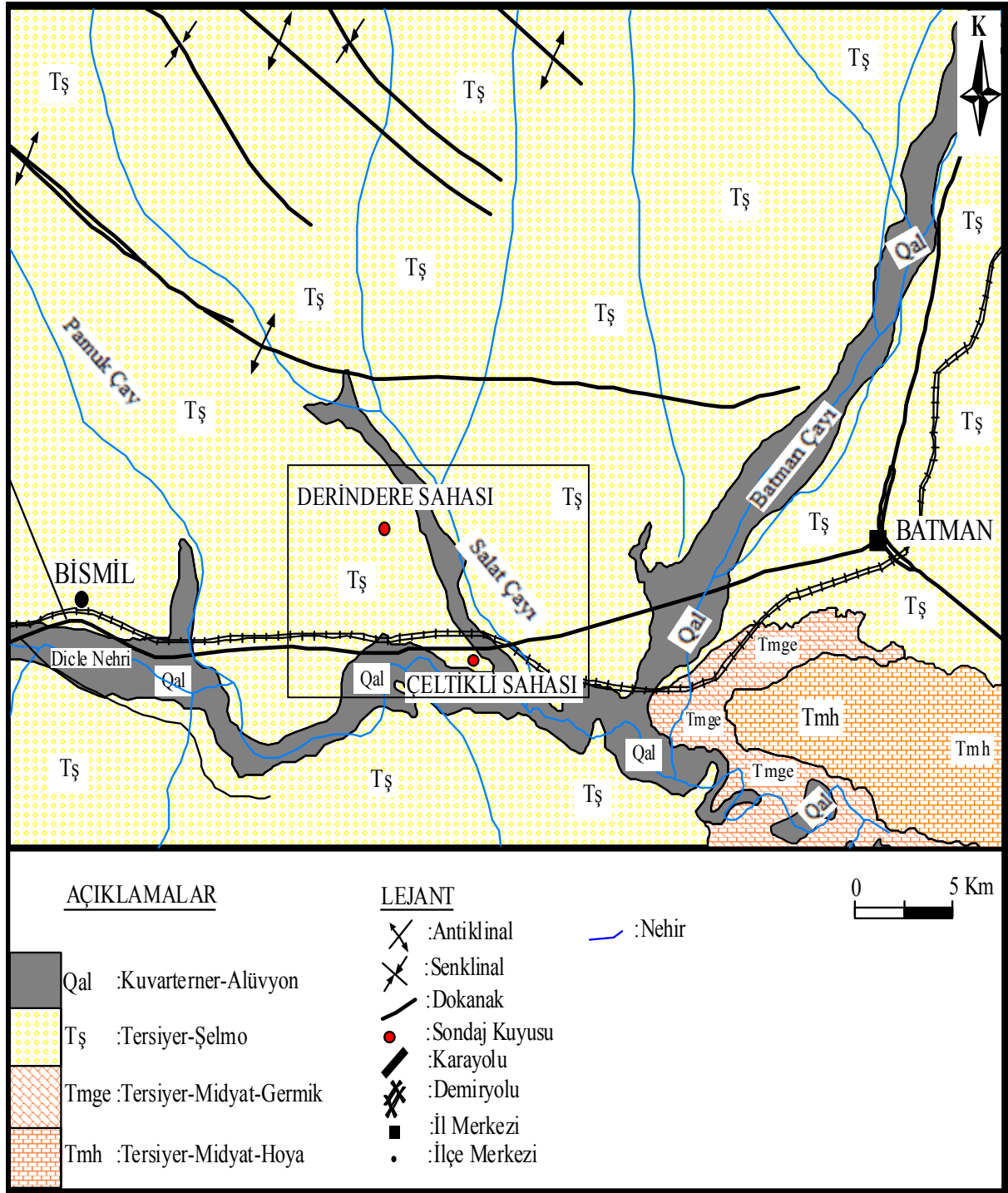
Kuyularda kesilen istif farklı ortamlarda çökelmiş kaya birimlerinin bir arada bulunduğunu göstermektedir. Kuyular genel olarak ele alındıktan sonra kuyularda ortak kesilen birimler alttan üste doğru sıralanmış olup, kuyularda formasyonların kalınlıkları ayrı ayrı yazılarak bu doğrultuda stratigrafik kesit hazırlanmıştır (Şekil 3).

Çalışma alanındaki en yaşlı birim Orta Geç Ordovisiyen yaşlı kırıntılı birimlerden oluşan Bedinan Formasyonu'dur. Dadaş Formasyonu Bedinan Formasyonu üzerine açısız uyumsuzlukla gelmektedir. Formasyon, Alt Silüriyen–Alt Devoniyen yaş aralığına sahip olup, genelde kırıntılı birimlerden oluşmaktadır. Dadaş Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Erken Devoniyen yaşlı Hazro Formasyonu dördü klastik biri de karbonatlardan oluşan beş fasiyes birliğine ayrılmaktadır. Kayayolu Formasyonu Orta-Geç Devoniyen yaşlı olup, klastik ve karbonatlardan oluşur. Hazro Formasyonunu uyumlu olarak üzerler. Kaş Formasyonu Üst Permiyen yaş aralığına sahip olup, genelde kırıntılı birimlerden oluşmaktadır. Bu birim Kayayolu Formasyonu üzerine açısız uyumsuzlukla gelmektedir. Yine Üst Permiyen yaşlı Gomanibrik Formasyonu ise Kaş Formasyonunu uyumlu olarak örtmektedir. Başlıca karbonat ve klastiklerden oluşan Gomanibrik Formasyonunu da açısız uyumsuzlukla üzerleyen Alt Triyas yaşlı Uludere Formasyonu'nun hâkim litolojisi ise kumtaşı ve şeylerden oluşmaktadır. Şeyl ve dolomitten oluşan Aptiyen-Albiyen yaşlı, Areban Formasyonu Uludere Formasyonunu açısız uyumsuzlukla örtmektedir. Hakim litolojisi dolomitten oluşan, Albiyen-Senomaniyen yaşlı Sabunsuyu Formasyonu, Areban Formasyonunu uyumlu olarak örter. Kireçtaşı ve dolomitten oluşan Derdere Formasyonu Sabunsuyu Formasyonu üzerine açısız uyumsuzlukla gelmekte olup, paleontolojik inceleme neticesinde yaşı Senomaniyen olarak belirlenmiştir. Derdere Formasyonu üzerine açısız uyumsuzlukla gelen Üst Konyasiyen-(?)-Alt Kampaniyen yaşlı Karababa Formasyonu'nun hakim litolojisi kireçtaşı ve dolomitten oluşmaktadır. Karababa Formasyonunu açısız uyumsuzlukla örten, Alt-Orta Kampaniyen yaşlı Sayındere

Formasyonu ise başlıca killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Üst Kampaniyen-Alt Maestrihtiyen yaşlı olan Bozova Formasyonu hâkim olduğu litoloji başlıca kırıntılardan oluşmakta olup üzerine geldiği, Sayındere Formasyonu ile uyumludur. Hakim olduğu şeyl litolojisi ile Alt-Orta Maestrihtiyen yaşlı Kıradağ Formasyonu, Bozova Formasyonunu açısal uyumsuzlukla örtmektedir. Orta-Üst Maestrihtiyen yaşlı Garzan Formasyonu karbonatları Kıradağ Formasyonunu uyumlu olarak gelmektedir. Garzan Formasyonu'nu uyumlu olarak örten Alt Germav Formasyonu'nun hakim litolojisi şeyl ve marndır. Bu formasyonun yaşı Orta Maestrihtiyen'dir. Karbonatlardan oluşan Üst Maestrihtiyen-Orta Paleosen yaşlı Sinan Formasyonu'nun alt üyesi, Germav Formasyonu'nu uyumlu olarak örter. Orta Paleosen yaşlı Sinan Formasyonu'nun üst üyesi, Üst Maestrihtiyen yaşlı alt üyesini açısal uyumsuzlukla örtmektedir. Üst Paleosen yaşlı hakim litolojisi kireçtaşı ve dolomit olan Becirman Formasyonu Sinan Formasyonu'nun üst üyesini açısal uyumsuzlukla örtmektedir. Karasal klastiklerden oluşan ve yaşı Üst Paleosen olan Gercüş Formasyonu Becirman Formasyonu'nu uyumlu olarak örtmektedir.

Karbonatlardan oluşan Hoya Formasyonu Eosen yaşlı olup tabanındaki Gercüş Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Germik Formasyonu ise Oligosen yaşında olup Hoya Formasyonu ile uyumludur ve evaporitlerden oluşmaktadır. Miyosen yaşında klastiklerden oluşan Şelmo Formasyonu ise sahadaki en genç birimi oluşturmakta ve Germik Formasyonu'nu uyumsuz olarak örtmektedir.

Bu çalışmada Diyarbakır Grubu'na ait olan Alt Silüriyen-Alt Devoniyen yaşlı, bu teze konu olan Dadaş Formasyonu ayrıntılı olarak irdelenmiştir.



Şekil 2. İnceleme alanının jeolojik ve sondaj lokasyon haritası

YAŞ	GRUP	FM.	LİTOLOJİ	KLN. (METRE)	AÇIKLAMALAR
TERSIYER	MAYD.	SILVAN	ŞELMO	136-184	Kumtaşı, Çakıltası, Şeyl
		MİDYAT	GERMİK	248-456	Jips, Kireçtaşı, Dolomit
			HOYA	184-223	Kireçtaşı, Dolomit
		ŞIRNAK	GERCÜŞ	178-230	Kumtaşı, Şeyl
			BECİRMAN	41-48	Kireçtaşı, Dolomit
			Ü.SİNAN	286-332	Dolomit
			A.SİNAN	202-305	Kireçtaşı, Dolomit
			A.GERMAN	145-168	Şeyl, Marn
			GARZAN	69-79	Killi Kireçtaşı
			K.DAĞ	66-69	Şeyl
BOZOVA	79-127		Kumtaşı, Şeyl, Marn		
KRETASE	ÜST	S.DERE	54-89	Killi Kireçtaşı	
		K.BABA	35-50	Kireçtaşı, Dolomit	
		DERDERE	105-117	Kireçtaşı, Dolomit	
		S.SUYU	259-265	Dolomit	
		ARERAN	5	Şeyl, Dolomit	
		ULUDERE	35-65	Kumtaşı, Şeyl	
		G.İBRİK	82-160	Kireçtaşı, Kumtaşı, Şeyl	
		K.S.	10-50	Şeyl, Dolomit	
		K.YÖLÜ	0-34	Şeyl, Dolomit, Anhidrit	
		HAZRO	85-140	Kumtaşı, Şeyl, Dolomit	
DEVON.	ORTA-ÜST	DADAŞ	177-194	Şeyl	
		BEDİNAN	53-462	Kumtaşı, Şeyl	

Şekil 3. Derindere ve Çeltikli sahalarının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Ölçeksizdir).

3.1. Dadaş Formasyonu

3.1.1. Ad ve Yayılım

Birim ilk kez Kellogg (1960) tarafından Diyarbakır ili, Hazro ilçesi dolayında ölçülen Hacertumdağ yüzey kesitinde “Dadaş Formasyonu” olarak tanımlanmıştır. Dadaş Formasyonu’nun tip kesit yeri Diyarbakır ili, Hazro ilçesi, Dadaş köyünün 1,5–2 km kadar doğu-kuzeydoğusunda yer almaktadır. Diyarbakır Grubu’nun en alt formasyonudur. Güneydoğu Anadolu’da açılmış olan kuyularda, Dadaş Formasyonu alttan üste doğru “Dadaş-I Üyesi”, “Dadaş-II Üyesi” ve “Dadaş-III Üyesi” şeklinde gayri resmi olarak üç üyeye ayrılmaktadır (Bozdoğan ve diğ., 1988). “Dadaş-I Üyesi”nin tamamı ile “Dadaş-II Üyesi”nin alt kısımları Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin hiç bir yerinde mostra vermemektedir. Dadaş Formasyonu; Diyarbakır ili Çüngüş ilçesi Derdere Köyü’nün hemen güneyindeki Korudağ Antiklinali’nin çekirdeği ile Hazro yükselimi dışında hiç bir yerde mostra vermemektedir.

3.1.2. Litoloji

Genelde tipik bir regresif istif özelliğine sahip birimin her üyesi kendi içinde yukarı doğru sıkışan bir özellik sunar. Hazro yükseliminde Dadaş-III üyesinin tamamı ile Dadaş-II Üyesi’nin üst kesimleri yüzeylenmektedir. Bedinan Formasyonu’nun aşınmış tavan topoğrafyası üzerindeki çukur alanlarının ani deniz basması sonucu dolması ile oluşan Dadaş-I Üyesi, çökelimine kirli beyaz, koyu kahve renkli, tebeşirli, piritli, stilolitli, yer yer kumlu ve siltli ince kireçtaşı mercekli, yeşilimsi, siyahımsı gri renkli, mikalı, bol organik malzemeli, iri sporlu şeyllerle başlayıp, üste doğru kumlu, kavkı parçalı, yer yer biyomikrit tipindeki kalın tabakalı kireçtaşları ile devam eder. Çukur alanların dolması ile kısmen düzgün bir topoğrafya kazanan alanda Dadaş-II Üyesi çökelimine transgresif olarak başlamaktadır. Koyu kahve, kirli beyaz renkli, tebeşirli, kumlu, fosfatlı, dalga rippilli ince kireçtaşı bant ve laminalarını içeren yeşilimsi gri, kahve renkli, bol organik malzemeli, bol mikro planktonlu, mikalı, brakiyopod kavkılı, krinoyid saplı, pirit yumrulu şeyler ile başlayan üye, yukarıya doğru yeknesak bir biçimde devam eder. Daha geniş yayılıma sahip üye içinde karbonat çimentolu kumtaşı mercekleri ile silttaşı ara bant ve

laminaları gözlenir. Tipik regresif özelliğini sunan Dadaş-III Üyesi ise, şeyler ile başlar ve üste doğru kireçtaşı ara bantlı şeylerle, silttaşı, kumtaşı ve nihayet dolomitlere geçiş gösterir. Kireçtaşları beyaz, açık gri renkli, çok ince-ince kuvars elemanlı, dolomit çimentolu, kil matriksli, düzensiz kil lamina ve mercekli, dalga ripıllı, glokonitli, fosfatlı, anhidrit yama ve mercekli, brakiyopod kavkılı ve biyotürbasyonludur. Şeyller ise, grimsi yeşil, siyahımsı gri renkli, karbonatsız, mega sporlu, yer yer çakıltası bantlı, paralel ve düzensiz dalga laminalı, kavkı parçalı, fosfat nodüllü ve yer yer biyotürbasyonludur. En üst kesimdeki siyahımsı gri renkli şeyler ise, dolomitik ve marn ara bantlı, bol küçük brakiyopod fosillidir.

Bu teze konu olan Dadaş Formasyonu'nda, çalıştığımız kuyularda litolojik olarak üye mertebesinde herhangi bir ayrıma gidilmemiştir.

3.1.3. Kalınlık

İnceleme alanında Dadaş Formasyonu yüzeyde mostra vermemektedir. Bu formasyon sadece kuyularda kesilmektedir. Stratotipinde, Dadaş Formasyonu'nun taban kesimleri "Dadaş-I üyesi" mostra vermediğinden, bu birim için bölgeye yakın olan Kayayolu sahasında açılan Kayayolu-2 kuyusu hipostratotip olarak önerilmiştir. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (1979) tarafından açılan Kayayolu-2 kuyusunda, 3340.50–3608 metreler arasında 267.50 m kalınlıkta kesilen Dadaş Formasyonu sırasıyla "Dadaş-I üyesi" 62 m, "Dadaş-II üyesi" 169 m ve "Dadaş-III üyesi" ise 36.50 m kalınlıklarda kesilmektedir (Şekil 4). Dadaş Formasyonu, çalışma alanlarımızdan; Derindere ve Çeltikli sahalarında açılmış Derindere-1 kuyusunda, 2880–3074 metreler arasında kesilmiş olup, bu birimin 194 metre kalınlıkta kesilmiştir. Çeltikli-1 kuyusunda ise 2620–2797 metreler arasında kesilen bu birim, 177 metre kalınlıkta kesilmiştir.

3.1.4. Alt ve Üst Sınır

Derindere ve Çeltikli sahalarında açılmış kuyularda (Derindere-1 ve Çeltikli-1) kesilmiş Dadaş Formasyonu'nun, alt dokanağı Bedinan Formasyonu ile uyumsuz, Üst dokanağı ise, Hazro Formasyonu ile uyumludur.

3.1.5. Fosil İçeriği ve Yaş

Bozdoğan, (1982a), Karabulut ve diğ., (1982) ve Bozdoğan ve diğ., (1987 ve 1988) tarafından yaşı Alt Silüriyen-Alt Devonyen (Alt Gedinniyen) olarak belirlenmiştir. Birim bol miktarda, brakiyopod kavkıları ve krinoyid sapıları içermektedir.

ORTAÜST ORDOVİSYEN	ALT SİLÜRİYEN-ALT DEVONİYEN				YAŞ	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
HABUR	D İ Y A R B A K İ R				GRUP			
BEDİNAN	D	A	D	A	Ş			FORMASYON
								I
		62,00	169,00	36,50				ŞEYL: Gri,yeşilimsi gri renkli KUMTAŞI: Beyaz renkli,yer yer asfalt dolgulu
				267,50				ŞEYL: Gri,yeşilimsi gri,kahve renkli. SİLT TAŞI: Gri,grimsi beyaz renkli. KİREÇTAŞI: Kirlili beyaz, yer yer kahvems renkli.
								KİREÇTAŞI: Kirlili beyaz, yer yer kahvems renkli. ŞEYL: Gri, koyu gri, yeşilimsi gri, kahve renkli, yer yer grimsi beyaz, gri renkli silttaşı bantlı.
								ŞEYL: Koyu gri,kahvems renkli. KUMTAŞI: Beyaz renkli. SİLT TAŞI: Koyu gri, kahvems renkli.

Şekil 4. Dadaş Formasyonu'nun hipostratotipi (Kayayolu-2 kuyusu; Bozdoğan ve diğ., 1988'den faydalanarak hazırlanmıştır).

3.1.6. Ortam

Birim, sığ deniz-kıyı yakını-dalga-gel/git ortamında çökelmiştir (Erten, 1983; Bozdoğan ve diğ., 1988).

4. KİL MİNERALOGİSİ

Petrol jeolojisi çalışmalarında vitrinit maseralinin olmadığı durumlarda, bazı kil minerallerine (illit ve klorit) bakılarak kaynak kayaların yaklaşık termal olgunlaşması hakkında bilgi edinilir. Bununla beraber potansiyel kaynak kayaların hidrokarbon üretim-korunum zamanlarına ilişkin yaklaşımda bulunulabilir. Bu kapsamda, Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait 19 adet kesinti şeyl örneklerinin tüm kayaç difraktogram (XRD) çekimleri ile beraber 1 adet temsili örneğin de kil fraksiyonu çözümlemesi yapılarak, organik maddenin ısısal olgunluğunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.1. Tüm Kayaç X –Işınları Difraktogram (XRD) Tanımlamaları

Tüm kayaç çözümlemelerinde feldispat; 3.20 A° ve 3.22 A°, dolomit; 2,88 A°, kalsit; 3.02 A° ve kuvars; 3.33 A°'daki pikleri ile tanınmıştır (Şekil 5 ve Şekil 6). Bu minerallerin tanımlanmasında yardımcı olan diğer pikler aşağıda verilmiştir.

Mika: 10.02, 5.02, 4.48, 4.29, 3.89, 3.74, 2.87

Feldispat: 4.02, 3.77–3.74, 3.66–3.61, 3.21, 3.20, 3.16

Dolomit: 2.19, 2.01, 1.80

Kalsit: 2.29, 2.10, 1.88

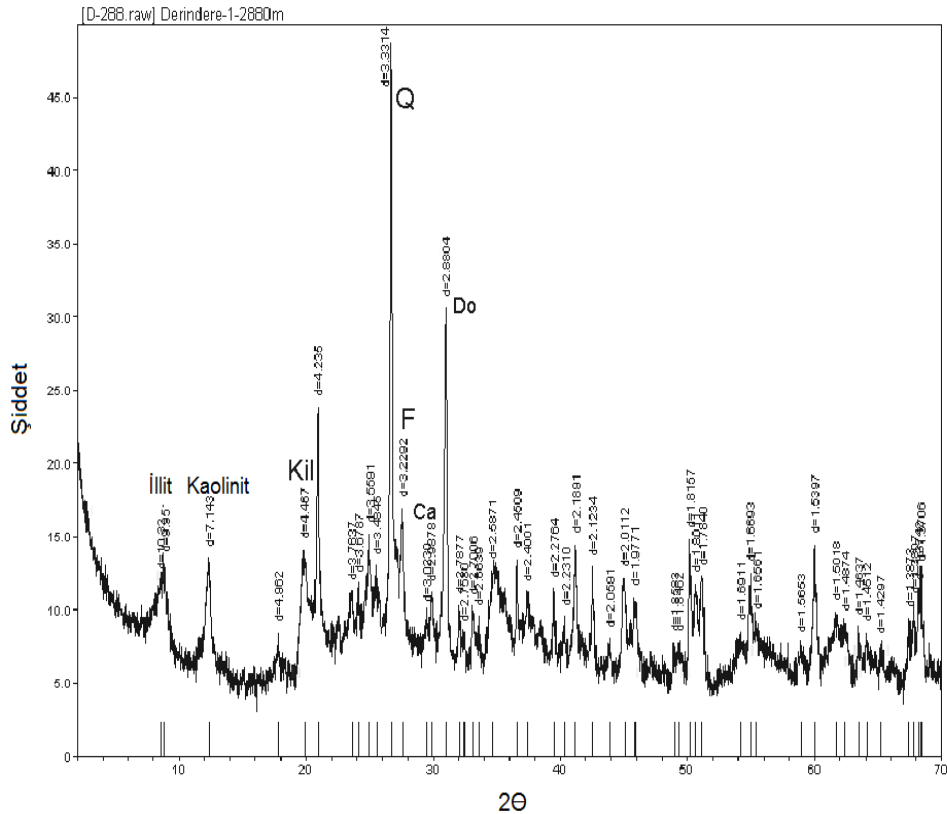
Kuvars: 4.26, 2.46, 2.28, 2.24, 2.13, 1.98, 1.82 A° (Karakaya, 2006).

Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş 19 adet kesinti şeyl örneklerinin tüm kayaç difraktogram (XRD) çekimleri, yarı-kantitatif mineral yüzdeleri Gündoğdu (1982)'ye göre hesaplanmış, Tablo 1 ve Tablo 2 'de verilmiştir.

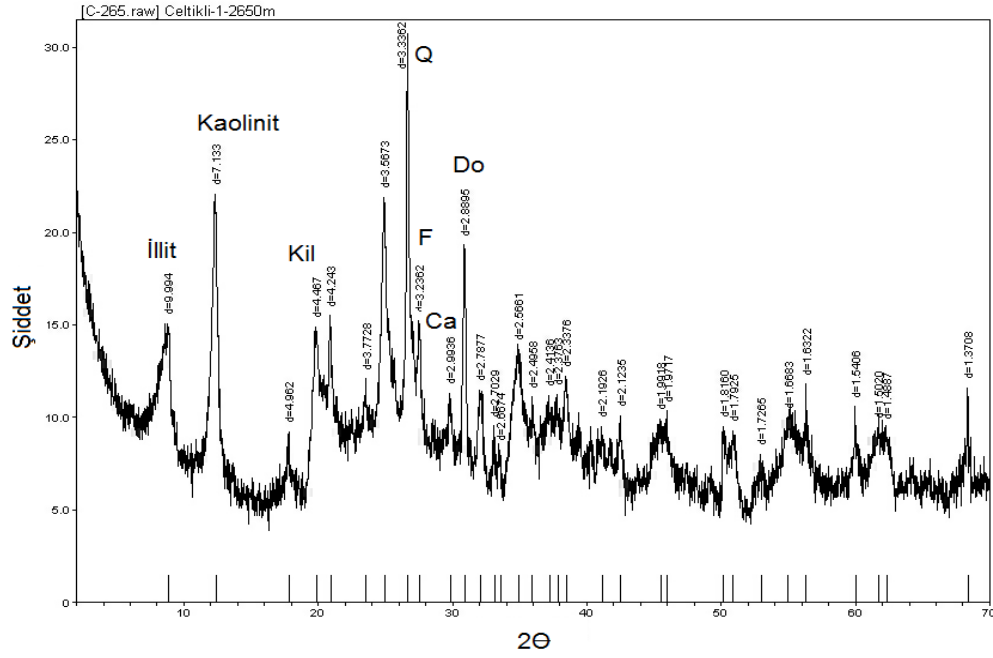
Derindere-1 sondaj kuyusundan alınan örneklerde aritmetik ortalama esas alındığında mineral bollukları sırasıyla kil, feldispat, kalsit, dolomit ve kuvars mineralleri olduğu görülmektedir. Örneklerde kil %49 ile %79, feldispat %7 ile %19, kalsit %3 ile %15, dolomit %4 ile %8, kuvars %3 ile %10 arasında değişmektedir. Minerallere ait varyasyon katsayılarının ($V = S/X \times 100$) kil, feldispat ve dolomitte düşük olması bu örneklerin mineral bileşimlerinin benzerliğini yansıtmaktadır. Kuvars minerali varyasyon katsayısının yüksek olması 3020 m'deki kuvars oranının %10 oranında olmasından kaynaklanmaktadır. Kalsit mineralinin varyasyon katsayısının yüksek olması ise 3000,

3010 ve 3020. m’lerde kalsit miktarındaki yükseklikten kaynaklanmaktadır. Diğer örnekler şeyl olarak, bu üç örnek ise karbonatlı şeyl olarak isimlendirilmiştir.

Çeltikli–1 sondaj kuyusundan alınan örneklerde aritmetik ortalama esas alındığında mineral bollukları sırasıyla kil, feldispat, dolomit, kalsit ve kuvars mineralleri olduğu görülmektedir. Örneklerde kil %40 ile %88, feldispat %5 ile %13, dolomit %5 ile %14, kalsit %2 ile %24, kuvars %3 ile %9 arasında değişmektedir. Minerallere ait varyasyon katsayılarının kil, feldispat, kuvars ve dolomitte düşük olması bu örneklerin mineral bileşimlerinin benzerliğini yansıtmaktadır. Kalsit minerali varyasyon katsayısının yüksek olması kalsit mineralinin 2730, 2740 ve 2760 m’lerde yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Bu üç örnek karbonatlı şeyl olarak isimlendirilmiştir. Ayrıca 2630. metredeki dolomit oranının yüksek olmasından dolayı bu örneğin de karbonatlı şeyl olarak, diğer örnekler şeyl olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 5. Derindere–1 sondaj kuyusuna ait 2880. metre’deki örneğe ait tüm kayaç X- ışınları difraktogram (XRD) çekimleri (Q: Kuvars, Ca: Kalsit, F: Feldispat, Do: Dolomit).



Şekil 6. Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait 2650. metre'deki örneğe ait tüm kayaç X-ışınları difraktogram (XRD) çekimleri (Q: Kuvars, Ca: Kalsit, F: Feldispat, Do: Dolomit).

Tablo 1. Derindere-1 sondaj kuyusuna ait Dadaş Formasyonu'nun tüm kayaç mineral % oranları

Sondaj Sahası	Derinlik	Kayaç Adı	Kil	Feldispat	Kuars	Kalsit	Dolomit
Derindere	2880 m	Şeyl	79	7	4	3	7
Derindere	2900 m	Şeyl	79	9	4	3	5
Derindere	2910 m	Şeyl	71	10	8	3	8
Derindere	2940 m	Şeyl	74	12	4	3	7
Derindere	2960 m	Şeyl	75	15	3	3	4
Derindere	3000 m	Karbonatlı Şeyl	68	8	3	15	6
Derindere	3010 m	Karbonatlı Şeyl	71	8	3	11	7
Derindere	3020 m	Karbonatlı Şeyl	49	19	10	15	7
Derindere	3050 m	Şeyl	79	10	3	3	5
Min.			49	7	3	3	4
Max.			79	19	10	15	8
Ortalama			71.66	10.88	4.66	6.55	6.22
Standart Sapma			9.39	3.88	2.54	5.45	1.30
Varyasyon Katsayısı			13.10	35.69	54.63	83.24	20.92

Tablo 2. Çeltikli–1 sondaj kuyusuna ait Dadaş Formasyonu’nun tüm kayaç mineral % oranları

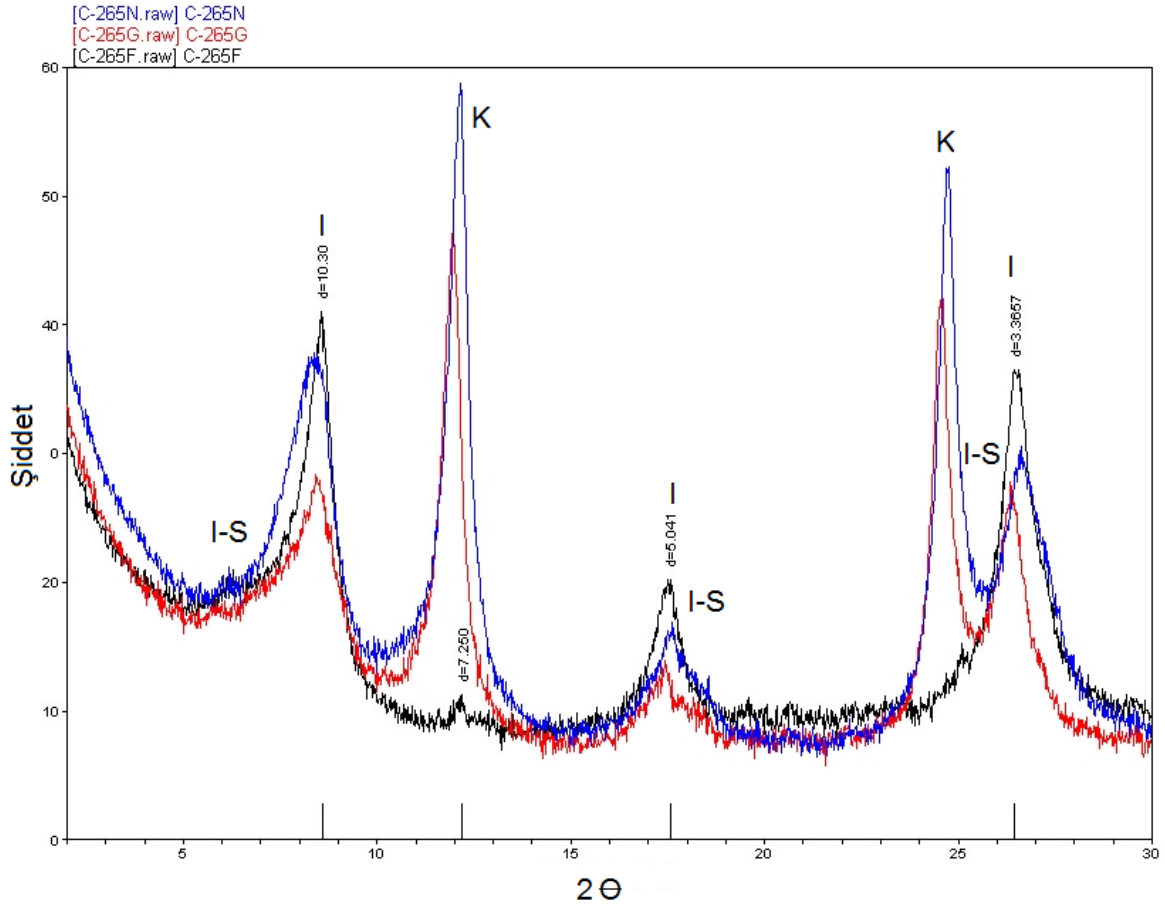
Sondaj Sahası	Derinlik	Kayaç Adı	Kil	Feldispat	Kuvars	Kalsit	Dolomit
Çeltikli	2630 m	Karbonatlı Şeyl	75	8	5	2	10
Çeltikli	2650 m	Şeyl	81	5	4	2	8
Çeltikli	2660 m	Şeyl	80	10	3	2	5
Çeltikli	2670 m	Şeyl	83	7	4	-	6
Çeltikli	2690 m	Şeyl	80	8	3	4	5
Çeltikli	2710 m	Şeyl	80	9	3	3	5
Çeltikli	2730 m	Karbonatlı Şeyl	71	8	3	10	8
Çeltikli	2740 m	Karbonatlı Şeyl	75	7	3	9	6
Çeltikli	2760 m	Karbonatlı Şeyl	40	13	9	24	14
Çeltikli	2790 m	Şeyl	88	-	6	-	6
Min.			40	5	3	2	5
Max.			88	13	9	24	14
Ortalama			75.3	7.5	4.3	5.6	7.3
Standart Sapma			13.26	3.37	1.94	7.30	2.86
Varyasyon Katsayısı			17.61	44.99	45.26	130.46	39.30

4.2. Kil Fraksiyonu X –Işınları Difraktogram (XRD) Tanımlamaları

Çeltikli–1 sondaj kuyusuna ait 2650 m’deki örneğin kil fraksiyonu çözümlmelerinde normal çekimdeki karmaşık tabakalı illit-smektit (I-S) 12–12.5Å (002) pikleri, 5 Å (005), 3.43 Å (0.07) pikleri ile tanımlanmıştır. Bu pikler glikollü çekimde 13.5 Å (002), 5.4 Å (004), 3.43 Å (0.07) piklerine kaymıştır. Isıl çekimde 4.8- 5Å (004), 3.38 Å (0.08) piklerine kaymıştır (Şekil 7).

İllit minerali 10 Å (001), 5.03 Å (002), 3.35 Å (003) pikleri ile tanımlanmıştır. Bu pikler normal ve glikollü çekimlerde değişim gözlenmemiştir.

Kaolinit minerali 7.25Å (001), 3.57Å (002) pikleri ile tanımlanmıştır. Bu piklerde normal ve glikollü çekimlerde değişim gözlenmemiştir.



Şekil 7. Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait 2650. m'den alınan örneğin XRD-kil fraksiyonu difraktogram çekimleri K: Kaolinit, I: illit, I-S: illit-smektit.(Ç265N:Normal Çekim, Ç265G:Glikollü Çekim, Ç-265F:Fırınlı Çekim)

4.3. İllit Mineralinin Kristalinite Değerlendirmeleri

Petrol jeolojisi çalışmalarında illit kristalinitesi (IC) (Kübler, 1967a,b, 1969; Kübler ve Jaboyedoff, 2000) değerlerinin hesaplanması, organik madde içeren kayaçların maruz kaldığı metamorfizma derecesinin, yani ısısal tarihçenin aydınlatılmasında geniş uygulama alanına sahiptir. IC, kil difraksiyon deseninde (001) illit pikinin yarı uzunluğunun genişliğidir (10 Å). Petrol jeolojisi uygulamalarında, organik maddenin ısısal olgunluğunun belirlenmesinde kullanılan bir diğer parametre ise Weaver (1960) tarafından önerilen illit kristalinitesi keskinlik oranıdır (sharpness ratio, SR). Bu da kil difraksiyon deseninde 10 Å pikinin boyunun, 10.5 Å pikinin boyuna oranıdır $SR = h(10 \text{ Å}) / h(10.5 \text{ Å})$.

Kayaçların eriştikleri maksimum ısısal olgunluk derecesinin belirlenmesi için önerilen sınır değerler tablo 3 ve tablo 4’te görülmektedir. Çizelgede kullanılan “ankizon” terimi, diyajenez ve metamorfizma arasındaki zon (200 – 350 °C) işaret etmektedir (Dunoyer de Segonzac, 1970). “Diyajenetik zon” terimi ise 200 °C’nin altındaki sıcaklığı ifade etmekte olup (Dunoyer de Segonzac, 1970) petrol jeolojisi terminolojisindeki diyajenez ile karıştırılmamalıdır (Tablo 5).

Tablo 3. İllit Kristalinite İndeksi (IC) (Kübler,1968)

> 0.42	DİYAJENETİK ZON
0.42–0.25	ANKİZON
< 0.25	EPİZON

Tablo 4. Keskinlik Oranı İndeksi (SR) (Weaver,1960)

< 2.3	DİYAJENETİK ZON
2.3–12.1	ANKİZON
> 12.1	EPİZON

Tablo 5. Deyoner ve Segonzac (1970)’e göre zonların yaklaşık karşılık geldiği sıcaklık (gömülme) aralıkları

DİYAJENETİK ZON < 200 °C (<i>diyajenez-katajenez</i>)
ANKİZON 200–350 °C (<i>metajenez</i>)
EPİZON > 350 °C (<i>metamorfizma</i>) (Dunayer de Segonzac, 1970)

Tablo 6. Kil fraksiyonu tüm kayaç çekimden itibaren Derindere-1 ve Çeltikli-1 kuyusuna ait 19 adet kesinti şeyl örneklerinin illit, Kübler (IC) (1968) kristalinite indeksleri ve Weaver (SR) (1960) keskinlik oranı verilmiştir.

Sondaj Kuyusu Adı	Derinlik (m)	IC	Olgunluk Değeri	SR	Olgunluk Değeri
Derindere-1	2880	0.9	Diyajenetik Zon	1.5	Diyajenetik Zon
Derindere-1	2900	1.0	Diyajenetik Zon	1.9	Diyajenetik Zon
Derindere-1	2910	0.9	Diyajenetik Zon	1.8	Diyajenetik Zon
Derindere-1	2940	1.2	Diyajenetik Zon	1.3	Diyajenetik Zon
Derindere-1	2960	0.7	Diyajenetik Zon	1.6	Diyajenetik Zon
Derindere-1	3000	1.0	Diyajenetik Zon	1.4	Diyajenetik Zon
Derindere-1	3010	1.3	Diyajenetik Zon	1.7	Diyajenetik Zon
Derindere-1	3020	1.4	Diyajenetik Zon	1.5	Diyajenetik Zon
Derindere-1	3050	1.6	Diyajenetik Zon	1.4	Diyajenetik Zon
Çeltikli-1	2630	0.5	Diyajenetik Zon	1.6	Diyajenetik Zon
Çeltikli-1	2650	1.2	Diyajenetik Zon	1.1	Diyajenetik Zon
Çeltikli-1	2660	1.0	Diyajenetik Zon	1.4	Diyajenetik Zon
Çeltikli-1	2670	1.8	Diyajenetik Zon	2.1	Diyajenetik Zon
Çeltikli-1	2690	0.9	Diyajenetik Zon	2.0	Diyajenetik Zon
Çeltikli-1	2710	0.7	Diyajenetik Zon	1.4	Diyajenetik Zon
Çeltikli-1	2730	0.8	Diyajenetik Zon	1.2	Diyajenetik Zon
Çeltikli-1	2740	0.9	Diyajenetik Zon	2.0	Diyajenetik Zon
Çeltikli-1	2760	0.8	Diyajenetik Zon	1.7	Diyajenetik Zon
Çeltikli-1	2790	1.0	Diyajenetik Zon	1.4	Diyajenetik Zon

Tablo 6’da verilen her iki kuyuya ait kesinti şeyl örneklerinin Kübler indeksi (IC) değerleri 0.5–1.8 arasındadır. Bu değerlere göre, Derindere-1 ve Çeltikli-1 kuyusundan kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait kesinti şeyl örneklerinin tümünün diyajenetik zona denk geldiği belirlenmiştir.

Örneklerin Weaver indeksine göre keskinlik oranı (SR), 1.1–2.1 arasındadır. Bu değerlere göre, Derindere-1 ve Çeltikli-1 kuyusundan kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait kesinti şeyl örneklerinin tümünün diyajenetik zona denk geldiği belirlenmiştir.

Dunayer ve Segonzac (1970)’in sıcaklık indeksine göre (Tablo 5), örnekler ait sıcaklıklar genel olarak $< 200^{\circ}\text{C}$ nin altındadır. Bu sonuçlara bakılarak örneklerin genel anlamda, erken olgun örnekler olduğu söylenebilir.

5. İNORGANİK JEOKİMYA

Son yıllarda organik maddece zengin şeyllerin major, iz ve nadir toprak elementleri bakımından incelenilmesi önem arz eden bir konu haline gelmiştir (McCann, 1991; Mc Lennan ve diğ., 1993; Garver ve diğ., 1994; Nesbit ve Young, 1982, Rahman, 2003b). Özellikle duraylı jeokimyasal karakteristik gösterdiklerinden nadir toprak elementleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu bölümde Derindere–1 ve Çeltikli–1 sondaj kuyularında kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait 20 adet kesinti şeyl örneklerinin major, iz ve nadir toprak elementleri incelenerek, korelasyon analizleri ile elementlerin birbirlerine göre dağılımları ortaya çıkarılmış ve bazı diyagramlar vasıtasıyla şeyl örnekleri, dünyadaki benzer oluşumları ile jeokimyasal olarak kıyaslanmıştır.

5.1. Derindere–1 Sondaj Kuyusunda Kesilmiş Kesinti Şeyl Örneklerinin İnorganik Jeokimyasal Özellikleri

5.1.1. Major Oksit Elementler

Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait kesinti şeyl örneklerinin derinliğine bağlı, major oksit değerleri tablo 7’de verilmektedir. SiO_2 %33.12–%48.90, Al_2O_3 %12.01–%23.13, Fe_2O_3 %4.76–%11.63, MgO %1.82–%4.76, CaO %1.24–%19.05, Na_2O %0.33–%0.51, K_2O %2.73–%4.37, TiO_2 %0.62–%0.92, P_2O_5 % 0.16–%0.20, MnO %0.05–%0.20, C_2O_3 %0.01–%0.02 ve LOI %10.80–%20.80 arasında bulunmaktadır.

2910, 2940, 2960, 2970 m’ler arası Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , TiO_2 ve Cr_2O_3 değerleri nispi olarak artmaktadır. CaO elementinin varyasyon katsayısının yüksek olması bazı seviyelerdeki karbonat mineralleri oranının yüksekliğini yansıtır. Gerçekten 3000, 3010 ve 3020 m’lerde CaO oranı diğer örneklerle göre yüksek orandadır. Diğer major oksit elementlerde, varyasyon katsayısının düşük olması örneklerin jeokimyasal bileşimlerinin benzer olduğunu gösterir.

Tablo 7. Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin Majör (Ana) oksit elementleri ve istatistiksel parametreleri.

Derinlik	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	LOI	Toplam
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2880 m	48.90	15.68	6.92	4.76	4.94	0.36	4.37	0.67	0.16	0.05	0.012	13.0	99.78
2910 m	46.06	22.34	10.61	2.33	1.78	0.43	4.16	0.92	0.17	0.11	0.019	10.9	99.83
2940 m	45.67	23.13	10.85	2.22	1.24	0.41	3.94	0.90	0.17	0.15	0.018	11.1	99.84
2960 m	44.81	21.10	11.26	2.84	2.51	0.49	3.68	0.85	0.19	0.19	0.019	11.9	99.79
2970 m	45.68	22.09	11.54	2.55	1.68	0.39	3.77	0.90	0.19	0.20	0.018	10.8	99.81
3000 m	33.12	14.37	8.74	2.57	16.96	0.33	2.73	0.62	0.17	0.16	0.014	20.0	99.77
3010 m	36.45	14.24	7.12	2.50	15.65	0.35	3.10	0.69	0.19	0.11	0.013	19.3	99.76
3020 m	37.24	12.01	4.76	1.82	19.05	0.47	2.80	0.63	0.19	0.06	0.011	20.8	99.81
3050 m	46.20	21.32	9.12	2.34	2.87	0.44	3.88	0.92	0.19	0.14	0.016	12.4	99.78
3060 m	43.33	17.53	11.63	2.78	5.30	0.51	3.77	0.85	0.20	0.15	0.022	13.6	99.62
Min.	33.12	12.01	4.76	1.82	1.24	0.33	2.73	0.62	0.16	0.05	0.01	10.80	
Max.	48.90	23.13	11.63	4.76	19.05	0.51	4.37	0.92	0.20	0.20	0.02	20.80	
Arit.Ort.	42.75	18.38	9.26	2.67	7.20	0.42	3.62	0.80	0.18	0.13	0.02	14.38	
St. Sapma	5.22	4.08	2.35	0.79	7.09	0.06	0.56	0.13	0.01	0.05	0.00	4.02	
Varyasyon Katsayısı	12.21	22.20	25.41	29.56	98.45	14.61	15.43	15.90	7.23	37.76	22.12	27.94	

Majör oksit elementler arasındaki korelasyon katsayılarına göre (Tablo 8);

SiO₂-K₂O silikat fazı,

Al₂O₃-Fe₂O₃ ve TiO₂ silikat fazı,

Fe₂O₃-TiO₂, MnO ve Cr₂O₃ silikat fazı,

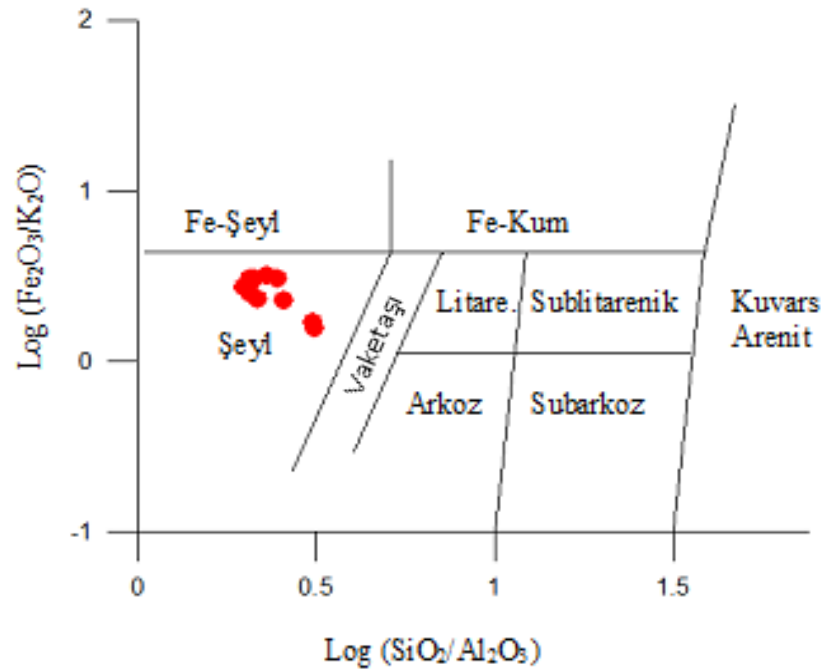
TiO₂- Cr₂O₃ silikat fazına ait element birliktelikleri pozitif korelasyon göstermektedir ($r>0.80$).

Bununla birlikte CaO elementi SiO₂, Al₂O₃, K₂O ve TiO₂ ile negatif korelasyon göstermektedir ($r>-0.80$). CaO, karbonat minerallerinden kalsitin artışına bağlı olup, bu negatif korelasyonlar karbonat silikat ayrılığını yansıtır.

Tablo 8. Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin Majör (Ana) oksit elementleri arasındaki korelasyon katsayılarını gösteren tablo ($P < 0.05$ güvenirlilikte, $r > 0.80$ anlamlı korelasyonlar işaretlenmiştir).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
SiO ₂	1.00										
Al ₂ O ₃	0.71	1.00									
Fe ₂ O ₃	0.45	0.81	1.00								
MgO	0.43	-0.13	-0.09	1.00							
CaO	-0.91	-0.91	-0.76	-0.23	1.00						
Na ₂ O	0.29	0.24	0.30	-0.29	-0.30	1.00					
K ₂ O	0.96	0.68	0.47	0.51	-0.89	0.17	1.00				
TiO ₂	0.69	0.94	0.80	-0.24	-0.87	0.44	0.65	1.00			
P ₂ O ₅	-0.18	-0.04	0.16	-0.47	0.10	0.60	-0.31	0.21	1.00		
MnO	0.04	0.59	0.82	-0.31	-0.40	0.14	-0.01	0.55	0.37	1.00	
Cr ₂ O ₃	0.43	0.72	0.94	-0.17	-0.70	0.55	0.45	0.80	0.32	0.68	1.00

Pettijohn ve diğ. (1972) diyagramına göre Derindere-1 sondaj kuyusuna ait kesinti örneklerin tümünün şeyl alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Derindere-1 sondaj kuyusuna ait kesinti örneklerin Pettijohn ve diğ. (1972) diyagramındaki dağılımı

5.1.2. İz Elementler

Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örnekleri, derinliğine bağlı olarak iz element değerleri tablo 9'de verilmektedir. Ni 43 ppm- 94 ppm, Sc 11 ppm -21 ppm, Ba 288 ppm-1441 ppm, Be 1 ppm-4 ppm, Co 13.2 ppm -23.7 ppm, Cs 4.3 ppm -8.1 ppm, Ga 15.2 ppm -33.1 ppm, Hf, 2.0 ppm -3.9 ppm, Nb 12.1 ppm-20.3 ppm, Rb 93.7 ppm-179.9 ppm, Sn 2.0 ppm-6.0 ppm, Sr 152.6 ppm-502.4 ppm, Ta 0.8 ppm-1.4 ppm, Th 9.05 ppm-14.9 ppm, U 2.2 ppm-7.7 ppm, V 119 ppm-373 ppm, W 1.1 ppm-24.7 ppm, Zr 81.5 ppm-144.0 ppm, Y 28.1 ppm-37.4 ppm, Mo 0.7 ppm-9.4 ppm, Cu 27.8 ppm-105.2 ppm, Pb 7.2 ppm-16.1 ppm, Zn 55 ppm-194 ppm, Ni 25.6 ppm-81.3 ppm, As 3.4 ppm-14.3 ppm, Bi 0.1 ppm-0.3 ppm, Hg 0.04 ppm-0.33 ppm, Ag < 1 ppm-0.6 ppm, Tl 0.2 ppm- 0.9 ppm, Se < 5 ppm-3.4 ppm arasında değişmektedir.

2910, 2940, 2960, 2970 m'ler arası Ni, Sc, Co, Ga, Nb, Rb, Th, 3050. m'de Zn, As ve Cd yüksek iken 3060. metrede Ba, Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, As, Cd Sb, Bi, Ag ve Se yüksektir. Bu elementlerin yüksek olması bu seviyelerde daha yüksek miktarlarda detritik kırıntı olduğu 3060. m'de sülfid fazı olduğu söylenebilir.

Tablo 9. Derindere–1 sondaj kuyusunda kesilmiş, kesinti şeyl örneklerinin iz element içeriği

Derinlik	Ni	Sc	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	Mo	Cu	Pb	Zn	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm
2880 m	43	14	407	2	20.0	4.5	20.4	3.9	14.8	107.9	5.0	158.9	1.1	13.4	3.4	119	1.9	144.0	28.1	1.3	27.9	7.4	82	3.4	0.2	<0.1	0.1	<0.1	<0.5	0.33	0.2	<0.5
2910 m	54	20	363	2	23.3	6.8	29.0	2.9	17.5	147.7	5.0	154.9	1.2	14.4	2.2	156	2.5	103.5	33.7	1.8	34.7	12.9	58	8.5	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.5	0.21	0.2	<0.5
2940 m	54	21	339	3	23.7	8.0	33.1	2.3	17.6	179.9	4.0	156.5	1.3	14.6	2.3	152	1.8	84.2	34.3	0.7	27.8	7.9	55	7.2	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.5	0.06	0.2	<0.5
2960 m	54	19	446	3	23.7	7.8	28.5	2.4	17.1	163.0	5.0	152.6	1.1	14.8	2.5	157	2.5	91.7	33.7	3.0	57.4	7.5	62	8.9	<0.1	0.1	0.3	<0.1	<0.5	0.09	0.2	<0.5
2970 m	51	20	392	4	23.2	8.0	30.8	2.7	17.6	174.7	6.0	158.4	1.2	14.9	2.5	157	2.2	90.2	35.8	1.9	48.4	7.2	63	8.9	<0.1	0.1	0.3	<0.1	<0.5	0.04	0.2	<0.5
3000 m	43	13	439	1	17.7	5.3	19.3	2.0	12.1	115.0	4.0	425.7	0.8	10.5	3.7	145	22.6	81.5	29.7	3.7	46.8	12.9	86	14.3	0.7	0.3	0.2	0.2	<0.5	0.09	0.6	1.1
3010 m	50	13	351	1	15.4	5.1	18.4	2.8	13.8	114.4	4.0	502.4	0.9	10.1	4.3	177	1.7	99.4	32.2	2.4	32.9	8.1	81	9.3	0.9	0.3	0.1	0.2	<0.5	0.08	0.6	1.5
3020 m	55	11	288	<1	13.2	4.3	15.2	3.4	13.0	93.7	2.0	368.3	1.0	9.5	7.7	179	1.1	132.6	33.5	5.2	36.2	9.1	120	10.3	1.3	0.7	0.1	0.3	<0.5	0.17	0.9	1.7
3050 m	49	19	425	2	22.4	8.1	28.7	3.0	19.4	168.7	4.0	165.5	1.1	14.7	4.1	240	2.0	110.9	37.4	3.0	35.6	9.0	145	10.1	2.1	0.3	0.2	0.2	<0.5	0.06	0.5	1.5
3060 m	94	18	1441	2	22.9	7.6	24.4	3.3	20.3	147.5	6.0	186.7	1.4	12.5	7.5	373	24.7	129.4	36.0	9.4	105.2	16.1	194	13.4	2.8	0.9	0.2	0.6	<0.5	0.14	0.3	3.4

İz elementler arasındaki korelasyon katsayıları tablo 10'da verilmektedir. Buna göre pozitif korelasyon ($r > 0.80$) gösteren elementler aşağıdaki fazları yansıtır:

Ni- Ba,V, Mo, Cu, Ag ve Se sülfid
Sc-Be, Co, Cs, Ga, Nb, Rb, Th, silikat
Ba-V, Mo, Cu, Ag, Se sülfid-oksit
Be-Ga, Rb, Th silikat
Co-Cs, Ga, Nb, Rb, Th silikat
Cs- Ga, Nb, Rb, Bi silikat-sülfid
Ga-Rb,Th silikat
Hf-Zr silikat
Nb-Rb,Ta silikat
Rb-Th silikat
U- Mo, Zn, Cd, Sb, Ag, Se sülfid
V- Pb, Sülfid
Mo- Cu, Zn, Cd, Sb, Ag, Se sülfid
Cu-Ag sülfid
Pb-Cd, Sb, Ag, Se sülfid
Cd-Sb, Ag,Se sülfid
Sb-Ag,Se sülfid
Ag-Se sülfid fazları görülmektedir.

Bunun yanında negatif korelasyon gösteren; Sc-Sr silikat-karbonat ayrılığını,Co-Sr karbonat –sülfid, ve Sr-Th karbonat-silikat ayrılığını gösteren fazlardır.

Tablo 10. Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin iz elementleri arasındaki korelasyon katsayıları ($P < 0.05$ güvenilirlikte, $r > 0.80$ anlamlı korelasyonlar işaretlenmiştir).

	Ni	Sc	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	Mo	Cu	Pb	Zn	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Hg	Tl	Se
Ni	1.00																														
Sc	0.23	1.00																													
Ba	0.92	0.15	1.00																												
Be	0.06	0.80	0.00	1.00																											
Co	0.25	0.95	0.28	0.79	1.00																										
Cs	0.34	0.93	0.28	0.75	0.87	1.00																									
Ga	0.09	0.98	0.02	0.83	0.92	0.91	1.00																								
Hf	0.22	-0.29	0.22	-0.19	-0.21	-0.39	-0.37	1.00																							
Nb	0.59	0.84	0.53	0.60	0.83	0.86	0.76	0.10	1.00																						
Rb	0.18	0.96	0.11	0.82	0.88	0.98	0.97	-0.42	0.80	1.00																					
Sn	0.37	0.59	0.52	0.62	0.74	0.54	0.53	0.01	0.60	0.51	1.00																				
Sr	-0.21	-0.80	-0.18	-0.76	-0.87	-0.67	-0.77	-0.19	-0.77	-0.69	-0.56	1.00																			
Ta	0.67	0.73	0.54	0.62	0.73	0.66	0.66	0.24	0.86	0.63	0.55	-0.79	1.00																		
Th	-0.01	0.91	-0.01	0.84	0.93	0.79	0.92	-0.10	0.75	0.85	0.60	-0.91	0.63	1.00																	
U	0.59	-0.55	0.53	-0.55	-0.54	-0.36	-0.63	0.48	-0.08	-0.51	-0.34	0.37	0.01	-0.65	1.00																
V	0.90	0.15	0.89	-0.10	0.17	0.35	0.02	0.24	0.60	0.17	0.27	-0.10	0.49	-0.06	0.66	1.00															
W	0.55	-0.14	0.74	-0.28	0.02	0.01	-0.21	-0.19	0.04	-0.13	0.28	0.20	0.03	-0.31	0.40	0.57	1.00														
Zr	0.30	-0.40	0.32	-0.33	-0.28	-0.45	-0.48	0.97	0.04	-0.51	-0.09	-0.11	0.19	-0.22	0.63	0.33	-0.02	1.00													
Y	0.49	0.62	0.30	0.42	0.44	0.77	0.57	-0.10	0.77	0.69	0.16	-0.38	0.56	0.41	0.15	0.59	-0.07	-0.15	1.00												
Mo	0.83	-0.21	0.84	-0.31	-0.14	0.00	-0.34	0.24	0.22	-0.20	0.08	0.14	0.22	-0.39	0.85	0.86	0.71	0.40	0.29	1.00											
Cu	0.88	0.16	0.93	0.10	0.28	0.34	0.04	0.04	0.47	0.16	0.52	-0.15	0.45	-0.01	0.49	0.82	0.74	0.15	0.36	0.86	1.00										
Pb	0.66	0.00	0.72	-0.37	0.08	0.04	-0.13	-0.01	0.21	-0.11	0.22	0.07	0.21	-0.23	0.44	0.65	0.82	0.13	0.11	0.72	0.67	1.00									
Zn	0.70	-0.17	0.76	-0.34	-0.11	0.04	-0.28	0.44	0.35	-0.14	0.01	0.03	0.24	-0.26	0.82	0.90	0.54	0.56	0.38	0.86	0.66	0.57	1.00								
As	0.43	-0.15	0.47	-0.35	-0.17	0.11	-0.21	-0.43	-0.01	-0.05	-0.07	0.42	-0.19	-0.42	0.47	0.56	0.76	-0.27	0.30	0.69	0.60	0.69	0.52	1.00							
Cd	0.67	-0.16	0.70	-0.39	-0.14	0.08	-0.26	0.32	0.35	-0.10	-0.06	0.13	0.18	-0.30	0.80	0.91	0.51	0.44	0.45	0.83	0.61	0.56	0.98	0.58	1.00						
Sb	0.74	-0.39	0.69	-0.47	-0.39	-0.18	-0.49	0.35	0.07	-0.36	-0.20	0.30	0.13	-0.57	0.97	0.79	0.56	0.50	0.26	0.93	0.65	0.61	0.87	0.62	0.85	1.00					
Bi	0.12	0.74	0.13	0.77	0.74	0.81	0.74	-0.57	0.52	0.79	0.57	-0.53	0.34	0.68	-0.47	0.05	0.10	-0.60	0.48	-0.05	0.35	0.00	-0.21	0.21	-0.32	1.00					
Ag	0.86	-0.21	0.86	-0.36	-0.17	-0.02	-0.34	0.30	0.25	-0.20	0.06	0.18	0.28	-0.42	0.87	0.91	0.69	0.44	0.30	0.96	0.80	0.71	0.90	0.63	0.88	0.95	-0.19	1.00			
Hg	-0.04	-0.34	0.03	-0.30	-0.16	-0.58	-0.40	0.74	-0.21	-0.57	0.02	-0.16	0.04	-0.11	0.14	-0.17	-0.07	0.75	-0.60	-0.01	-0.13	0.11	0.03	-0.50	-0.11	0.03	-0.55	0.00	1.00		
Tl	-0.13	-0.78	-0.19	-0.76	-0.89	-0.60	-0.76	0.06	-0.60	-0.66	-0.82	0.79	-0.65	-0.85	0.65	0.07	0.08	0.18	-0.08	0.32	-0.15	0.06	0.34	0.46	0.41	0.54	-0.55	0.32	-0.11	1.00	
Se	0.80	-0.24	0.81	-0.42	-0.22	-0.02	-0.36	0.30	0.24	-0.21	0.01	0.25	0.20	-0.44	0.87	0.92	0.63	0.43	0.34	0.93	0.74	0.66	0.93	0.63	0.94	0.94	-0.25	0.98	-0.06	0.39	1.00

5.1.3. Nadir Toprak Elementleri

La 35.3 ppm-51.2 ppm, Ce 64.1 ppm-100.5 ppm, Pr 7.97 ppm -11.88 ppm, Nd 30.5 ppm-44.6 ppm, Sm 5.96 ppm-8.58 ppm, Eu 1.29 ppm-1.92 ppm, Gd 5.20 ppm-7.19 ppm, Tb 0.79 ppm-1.07 ppm, Dy 4.76 ppm-6.25 ppm, Ho 0.92 ppm-1.22 ppm, Er 2.41 ppm-3.10 ppm, Tm 0.36 ppm-0.46 ppm, Yb 2.39 ppm-3.37 ppm ve Lu 0.34 ppm-0.43 ppm arasında değişmektedir.

2910–2970 metreler arasında La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu Nadir Toprak Elementlerinde bir artış söz konusu olup, genel itibariyle 3050. metrelerde maksimum artış görülmüştür. Dolayısıyla bu seviyelerde daha yüksek miktarlarda detritik kırıntı girdisi olduğu söylenebilir.

La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu nadir toprak elementlerinin kendi aralarında pozitif korelasyon göstermesi ($r>0.90$) bu elementlerin birlikteliğini yansıtmaktadır.

Örneklerin nadir toprak elementleri Kuzey Amerikan Şeylleri'ne (NASC verileri Haskin ve Frey, 1966; Gromet ve diğ. 1984'den alınmıştır) normalize diyagramı Şekil 9'da görülmektedir.

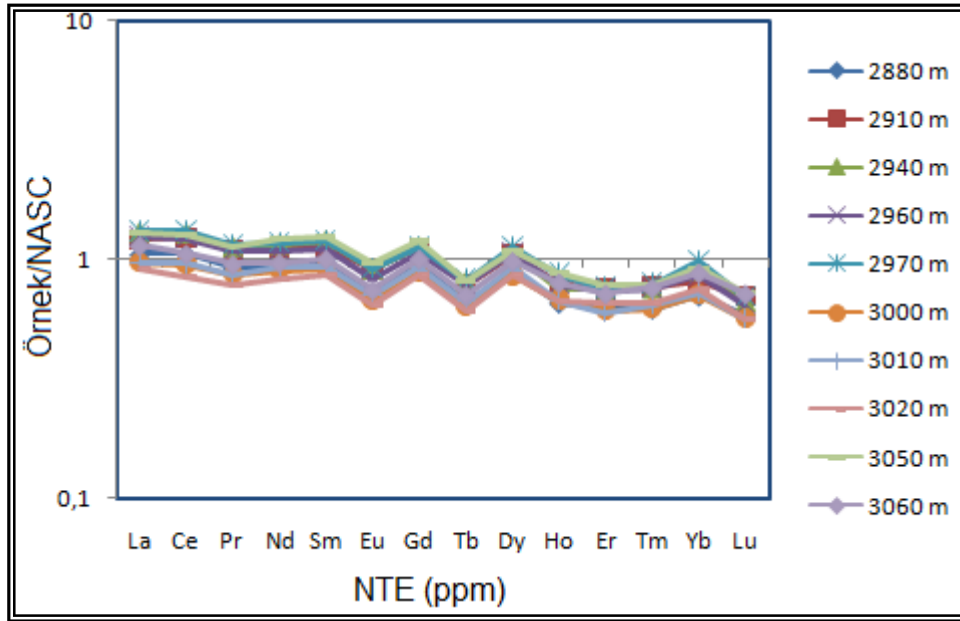
Tüm örneklerde ağır nadir toprak elementleri (HREE) düşüktür. Sadece 2910, 2970 ve 3050. m'lerde hafif nadir toprak elementlerinde (LREE) az oranda yükseklik mevcuttur. Bununla birlikte genel olarak Derindere-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin Kuzey Amerikan Şeylleri'ne benzer bir jeokimya sunduğu görülmüştür (Şekil 9).

Tablo 11. Derindere–1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin nadir toprak elementleri içerikleri

Derinlik	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
(m)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2880	40.8	80.2	9.52	33.8	7.00	1.40	5.80	0.85	4.89	0.92	2.51	0.36	2,39	0.35
2910	47.5	93.9	11.27	41.3	7.93	1.81	6.88	1.02	5.82	1.12	3.02	0.45	2,75	0.42
2940	50.8	97.9	11.63	42.9	8.45	1.82	6.91	1.05	5.96	1.05	2.99	0.44	3.06	0.40
2960	48.6	92.8	11.18	40.2	7.76	1.68	6.54	1.03	5.94	1.11	3.00	0.44	2.92	0.39
2970	51.2	100.5	11.88	43.5	8.37	1.84	6.96	1.07	6.25	1.22	3.05	0.46	3.37	0.42
3000	37.9	72.4	8.87	33.5	6.41	1.36	5.40	0.83	4.77	0.95	2.43	0.36	2.43	0.34
3010	38.0	73.4	8.97	34.4	6.51	1.42	5.67	0.86	5.15	0.94	2.41	0.38	2.48	0.34
3020	35.3	64.1	7.97	30.5	5.96	1.29	5.20	0.79	4.76	0.94	2.63	0.38	2.55	0.34
3050	50.1	96.1	11.64	44.6	8.58	1.92	7.19	1.05	6.01	1.21	3.10	0.45	3.11	0.43
3060	44.7	80.2	9.84	35.9	7.05	1.49	6.14	0.92	5.45	1.12	2.87	0.44	2.99	0.43

Tablo 12. Derindere–1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin nadir toprak elementlerinin korelasyon analizi

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
La	1.00													
Ce	0.98	1.00												
Pr	0.99	1.00	1.00											
Nd	0.96	0.97	0.98	1.00										
Sm	0.98	0.98	0.99	0.98	1.00									
Eu	0.95	0.96	0.97	0.99	0.98	1.00								
Gd	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00							
Tb	0.98	0.98	0.99	0.98	0.97	0.97	0.98	1.00						
Dy	0.96	0.95	0.96	0.96	0.93	0.95	0.96	0.99	1.00					
Ho	0.87	0.81	0.84	0.86	0.82	0.86	0.87	0.87	0.90	1.00				
Er	0.91	0.86	0.88	0.88	0.87	0.90	0.91	0.91	0.92	0.91	1.00			
Tm	0.90	0.84	0.87	0.87	0.84	0.88	0.90	0.91	0.94	0.94	0.96	1.00		
Yb	0.88	0.80	0.82	0.83	0.82	0.81	0.83	0.86	0.90	0.91	0.88	0.91	1.00	
Lu	0.86	0.79	0.82	0.81	0.81	0.82	0.87	0.83	0.84	0.93	0.91	0.94	0.85	1.00



Şekil 9. Derindere–1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerine ait nadir toprak elementlerinin (REE) Kuzey Amerikan Şeylleri (NASC) normalize diyagramı (NASC verileri Haskin ve Frey, 1966; Gromet ve diğ. 1984’den alınmıştır).

5.2. Çeltikli-1 Sondaj Kuyusunda Kesilmiş, Kesinti Şeyl Örneklerinin İnorganik Jeokimyasal Özellikleri

5.2.1. Major Oksit Elementler

Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş, kesinti şeyl örnekleri derinliğine bağlı major oksit değerleri tablo 13'te verilmektedir. SiO₂ %33.40–%59.29, Al₂O₃ %11.67–%22.82, Fe₂O₃ %4.94–%11.28, MgO %2.08–%4.62, CaO %1.46–%21.43, Na₂O %0.25–%0.42, K₂O %2.82–%4.54, TiO₂ %0.50–%0.91, P₂O₅ %0.14–%0.24, MnO %0.07–%0.18, C₂O₃ %0.01–%0.02 ve LOI %8.80–%22.20 arasında bulunmaktadır.

Tablo 13. Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerine ait Majör (Ana) oksit elementleri ve istatistiksel parametreleri

Derinlik (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	LOI	Toplam
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2630	59.29	12.60	7.27	2.44	4.73	0.29	3.37	0.50	0.14	0.07	0.012	8.8	99.52
2650	47.16	22.82	8.68	2.27	1.85	0.35	4.54	0.90	0.15	0.09	0.016	10.9	99.77
2660	46.26	21.83	9.55	2.49	2.31	0.31	4.43	0.90	0.20	0.16	0.020	11.3	99.79
2670	46.70	21.52	10.08	2.44	1.94	0.33	4.26	0.88	0.21	0.18	0.016	11.2	99.75
2690	45.84	22.20	11.28	2.30	1.46	0.31	4.25	0.91	0.19	0.18	0.019	10.8	99.80
2710	45.04	21.48	10.68	2.74	2.70	0.33	4.02	0.90	0.18	0.17	0.017	11.5	99.78
2730	39.13	15.94	6.96	3.01	12.26	0.25	3.68	0.74	0.18	0.12	0.013	17.5	99.77
2740	34.71	12.91	5.96	2.31	18.72	0.32	3.14	0.65	0.21	0.10	0.011	20.7	99.74
2760	33.40	11.67	4.94	2.08	21.43	0.38	2.82	0.58	0.18	0.08	0.010	22.2	99.73
2790	40.41	17.18	8.10	4.62	6.90	0.42	3.84	0.79	0.24	0.16	0.015	17.1	99.74
Min.	33.40	11.67	4.94	2.08	1.46	0.25	2.82	0.50	0.14	0.07	0.01	8.80	
Max.	59.29	22.82	11.28	4.62	21.43	0.42	4.54	0.91	0.24	0.18	0.02	22.20	
Arit.Ort	43.79	18.02	8.35	2.67	7.43	0.33	3.84	0.78	0.19	0.13	0.01	14.20	
St. Sap	7.42	4.47	2.08	0.73	7.45	0.05	0.58	0.15	0.03	0.04	0.00	4.74	
Varyasyon katsayısı	16.94	24.83	24.95	27.45	100.30	14.29	15.03	19.56	15.62	33.26	22.47	33.35	

2650–2710 m’ler arası Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 ve Cr_2O_3 değerleri nispi olarak artmaktadır. CaO elementinin varyasyon katsayısının yüksek olması bu karbonat oranı yüksekliğini yansıtır. Gerçekten 2730, 2740 ve 2760. m’lerde CaO oranı diğer örneklerle göre yüksek orandadır. Diğer major oksit elementlerde, varyasyon katsayısının düşük olması örneklerin jeokimyasal bileşimlerinin benzer olduğunu gösterir.

Major oksit elementler arasındaki korelasyon katsayılarına göre;

Al_2O_3 - Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 ve Cr_2O_3

Fe_2O_3 - K_2O , TiO_2 , MnO ve Cr_2O_3

K_2O - TiO_2 ve Cr_2O_3

TiO_2 - Cr_2O_3

ile pozitif korelasyon göstermesi ($r>0.80$) silikat fazını gösterir (Tablo 14).

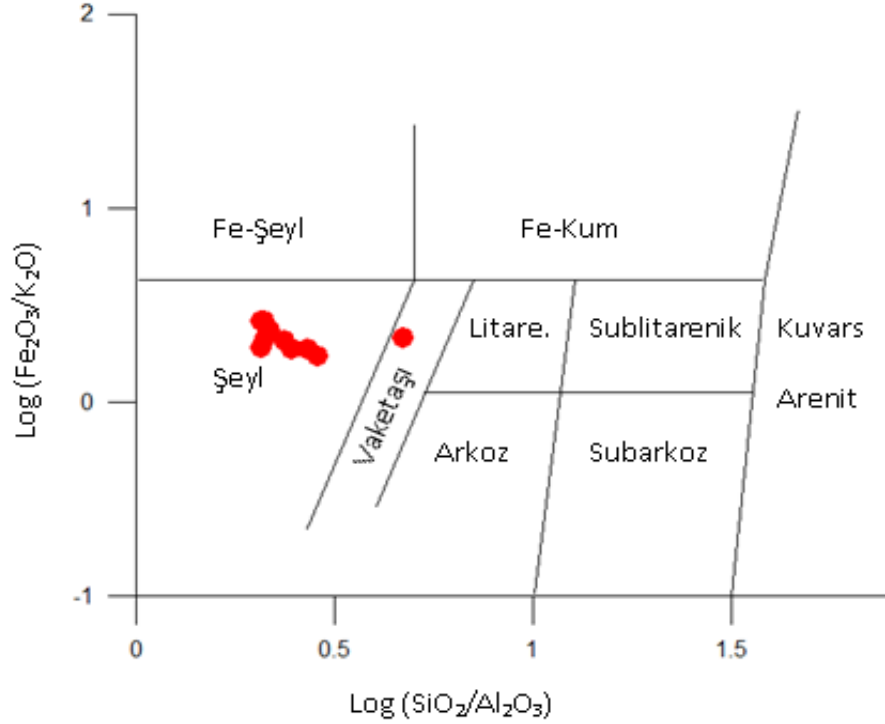
Bununla birlikte CaO elementi SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O ve Cr_2O_3 ile negatif korelasyon göstermektedir ($r>-0.80$).

CaO, karbonat minerallerinden kalsitin artışına bağlı olup, bu negatif korelasyonlar karbonat silikat ayrılığını yansıtır (Tablo 14).

Tablo 14. Çeltikli–1 sondaj kuyusunda kesilmiş, kesinti şeyl örneklerinin Majör (Ana) elementler arasındaki korelasyon katsayılarını gösteren tablo ($P< 0.05$ güvenilirlikte, $r>0.80$ anlamlı korelasyonlar işaretlenmiştir).

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO	Cr_2O_3
SiO_2	1.00										
Al_2O_3	0.30	1.00									
Fe_2O_3	0.47	0.90	1.00								
MgO	-0.11	-0.01	0.04	1.00							
CaO	-0.80	-0.83	-0.89	-0.10	1.00						
Na_2O	-0.32	-0.01	-0.10	0.43	0.12	1.00					
K_2O	0.43	0.96	0.85	0.08	-0.88	-0.08	1.00				
TiO_2	0.05	0.96	0.83	0.10	-0.68	0.06	0.90	1.00			
P_2O_5	-0.53	0.08	0.09	0.58	0.13	0.45	0.04	0.28	1.00		
MnO	0.02	0.70	0.81	0.32	-0.56	0.07	0.62	0.78	0.61	1.00	
Cr_2O_3	0.36	0.92	0.91	0.07	-0.83	-0.06	0.90	0.88	0.17	0.77	1.00

Pettijohn ve diğ. (1972) diyagramına göre 2630.m vaketaşı özelliğindeki örnek dışında Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait tüm kesinti örneklerin şeyl alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait kesinti örneklerin Pettijohn ve diğ. (1972) diyagramındaki dağılımı

5.2.2. İz Elementler

Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş, kesinti şeyl örneklerinin derinliğine bağlı iz element değerleri tablo 15’de verilmektedir. Ni 31 ppm- 62 ppm, Sc 11 ppm -20 ppm, Ba 413 ppm-3449 ppm, Be 1 ppm-5 ppm, Co 12.5 ppm -24.0 ppm, Cs 4.3 ppm-8.2 ppm, Ga 14.1 ppm-29.4 ppm, Hf 2.3 ppm-3.5 ppm, Nb 11.5 ppm–19.3 ppm, Rb 96.6 ppm–177.0 ppm, Sn 2.0 ppm–6.0 ppm, Sr 177.0 ppm–519.0 ppm, Ta 0.8 ppm-1.4 ppm, Th 8.5 ppm-15.0 ppm, U 1.9 ppm-6.8 ppm, V 93 ppm-217 ppm, W 1.2 ppm-2.9 ppm, Zr 92.9 ppm-142.7 ppm, Y 22.1 ppm-37.0 ppm, Mo 0.5 ppm-3.9 ppm, Cu 25.1 ppm-60.6 ppm, Pb 7.7 ppm-19.2 ppm, Zn 29 ppm-238 ppm, Ni 24.7 ppm-45.4 ppm, As 8.5 ppm-11.1 ppm, Bi 0.1 ppm-0.3 ppm, Hg 0.18 ppm-12.5 ppm, Ag < 1 ppm-0.3 ppm, Tl 0.2 ppm- 0.7 ppm, Se < 5 ppm-1.6 ppm arasında değişmektedir.

2630. m'de Ba ve Zr; 2650 ve 2660 m'lerde Zn; 2660 m' de Pb ; 2670-2690-2710 m'ler arası Rb ve Th; 2730-2740-2760 m'ler arası Cd, Sr ve U değerleri yüksektir. İz elementler arasındaki aşağıdaki pozitif korelasyon katsayıları ($r>0.80$) aşağıda verilmiştir:

Sc - Co, Cs, Ga, Nb, Rb, Ta, Th, Sc silikat fazı

Ba - Zr, Hg oksit

Co- Bi, Th, Ta, Ga, Nb sülfid-silikat

Cs- Ga, Nb, Rb, Ta, Th, Bi silikat

Hf- Zr silikat

Nb – Rb, Ta, Th, Y ve Bi silikat

Ta-Th, Bi silikat-sülfid

U- Sb, Mo, Ag, sülfid

V- Ni sülfid

Mo - Sb, Ag sülfid

Ni-Ag sülfid

Cd- Ag sülfid fazlarını ifade eder.

İz elementler arasındaki aşağıdaki negatif korelasyonlar ise ($r>0.80$) silikat-oksit-karbonat ayrılığını ortaya koymuştur.

Sc –Sr, Sb silikat-karbonat ayrılığı

Ba-Y- sülfat-silikat ayrılığını

Cs-Sr silikat-karbonat

Ga-Sr, Mo, Sb, silikat-karbonat

Nb-Zr silikat , Th-Zr silikat fazlarını ifade eder.

Tablo 15. Çeltikli–1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin iz element içeriği

Derinlik	Ni	Sc	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	Mo	Cu	Pb	Zn	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se
(m)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppm	ppm	ppm	
2630	32	11	3449	1	16.3	4.3	16.6	3.5	11.5	116.0	6.0	241.6	0.8	8.7	1.9	93	2.9	142.7	22.1	2.7	40.9	12.3	29	9.0	<0.1	0.2	0.1	<0.1	<0.5	12.05	0.2	<0.5
2650	51	20	664	2	23.8	8.2	29.2	2.8	18.2	169.3	5.0	191.6	1.4	13.5	2.1	141	1.7	96.3	32.2	0.6	29.0	13.6	238	8.7	0.4	<0.1	0.2	<0.1	<0.5	1.05	0.2	<0.5
2660	54	20	540	5	23.5	8.0	27.5	2.6	17.9	164.6	3.0	184.9	1.4	13.8	2.1	144	1.8	98.8	35.8	0.5	30.2	19.2	155	10.7	0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.5	0.51	0.2	<0.5
2670	54	19	790	2	22.8	7.7	28.7	2.9	18.1	173.0	5.0	209.0	1.3	14.1	2.3	142	1.8	99.7	35.9	0.5	31.8	10.2	74	8.5	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.5	0.38	0.2	<0.5
2690	41	20	473	3	24.0	8.0	29.4	2.9	18.4	177.0	5.0	186.5	1.4	14.9	2.3	164	2.3	92.9	34.1	0.6	37.9	9.5	86	8.8	<0.1	<0.1	0.3	<0.1	<0.5	0.30	0.3	<0.5
2710	38	20	605	4	24.0	8.2	28.0	2.3	19.3	174.1	4.0	178.8	1.3	15.0	2.4	156	1.9	94.1	35.3	0.7	35.7	9.8	88	8.9	0.2	<0.1	0.2	<0.1	<0.5	0.19	0.2	<0.5
2730	52	14	413	2	18.3	6.1	20.2	3.0	15.6	129.4	3.0	383.9	1.1	11.2	3.4	193	1.3	107.7	32.6	1.6	25.1	10.7	84	10.0	1.1	0.2	0.2	0.2	<0.5	0.25	0.7	1.2
2740	31	12	749	2	13.5	4.6	16.5	2.8	13.5	107.6	2.0	468.2	0.9	9.4	5.3	166	1.4	109.2	30.9	3.1	32.1	8.3	92	11.1	1.0	0.4	0.1	0.2	<0.5	0.31	0.7	1.4
2760	56	11	868	<1	12.5	4.3	14.1	3.3	12.3	96.6	2.0	519.0	0.8	8.5	5.6	138	1.2	116.4	29.9	2.7	28.3	7.7	77	8.6	0.9	0.5	0.1	0.2	<0.5	0.25	0.6	1.4
2790	62	17	583	<1	17.1	7.3	22.1	3.2	17.2	146.0	4.0	170.0	1.3	12.1	6.8	217	1.6	121.3	37.0	3.9	60.6	15.2	100	9.4	0.8	0.3	0.2	0.3	<0.5	0.18	0.3	1.6

Tablo 16. Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerine ait iz elementler arasındaki korelasyon katsayılarını gösteren tablo (P< 0.05 güvenirlkte, r>0.80 anlamlı korelasyonlar işaretlenmiştir).

	Ni	Sc	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	Mo	Cu	Pb	Zn	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Hg	Tl	Se
Ni	1.00																														
Sc	0.27	1.00																													
Ba	-0.48	-0.53	1.00																												
Be	-0.09	0.66	-0.40	1.00																											
Co	0.09	0.94	-0.32	0.69	1.00																										
Cs	0.34	0.99	-0.55	0.62	0.92	1.00																									
Ga	0.18	0.98	-0.44	0.63	0.97	0.97	1.00																								
Hf	0.12	-0.69	0.60	-0.84	-0.65	-0.67	-0.66	1.00																							
Nb	0.30	0.97	-0.64	0.62	0.89	0.98	0.94	-0.74	1.00																						
Rb	0.17	0.98	-0.39	0.61	0.97	0.97	0.99	-0.63	0.95	1.00																					
Sn	-0.17	0.35	0.50	-0.10	0.51	0.35	0.47	0.17	0.25	0.51	1.00																				
Sr	-0.11	-0.80	-0.01	-0.41	-0.81	-0.80	-0.80	0.32	-0.73	-0.85	-0.74	1.00																			
Ta	0.37	0.98	-0.58	0.60	0.89	0.99	0.95	-0.62	0.97	0.94	0.32	-0.78	1.00																		
Th	0.19	0.98	-0.53	0.68	0.94	0.97	0.97	-0.72	0.98	0.98	0.36	-0.77	0.94	1.00																	
U	0.32	-0.46	-0.25	-0.52	-0.73	-0.41	-0.59	0.34	-0.35	-0.57	-0.60	0.51	-0.36	-0.49	1.00																
V	0.44	0.20	-0.71	-0.02	-0.03	0.29	0.09	-0.18	0.38	0.12	-0.38	0.00	0.35	0.22	0.60	1.00															
W	-0.52	0.11	0.73	0.07	0.31	0.06	0.20	0.19	-0.03	0.26	0.82	-0.57	0.03	0.13	-0.60	-0.58	1.00														
Zr	-0.15	-0.78	0.81	-0.68	-0.71	-0.75	-0.76	0.83	-0.81	-0.71	0.13	0.26	-0.74	-0.80	0.32	-0.27	0.32	1.00													
Y	0.56	0.74	-0.87	0.48	0.52	0.77	0.64	-0.62	0.83	0.65	-0.21	-0.38	0.79	0.74	0.14	0.68	-0.46	-0.73	1.00												
Mo	-0.01	-0.74	0.31	-0.70	-0.88	-0.70	-0.81	0.64	-0.68	-0.77	-0.31	0.46	-0.65	-0.77	0.83	0.26	-0.17	0.77	-0.35	1.00											
Cu	0.13	0.06	0.18	-0.29	-0.10	0.10	-0.02	0.30	0.08	0.08	0.32	-0.44	0.13	0.03	0.44	0.37	0.30	0.41	0.14	0.55	1.00										
Pb	0.40	0.42	0.00	0.39	0.37	0.44	0.35	-0.11	0.33	0.36	0.18	-0.59	0.49	0.29	-0.18	0.06	0.17	0.02	0.26	-0.13	0.28	1.00									
Zn	0.34	0.55	-0.46	0.31	0.46	0.55	0.51	-0.43	0.49	0.42	-0.03	-0.28	0.58	0.40	-0.17	0.10	-0.29	-0.53	0.36	-0.40	-0.22	0.48	1.00								
As	-0.19	-0.20	-0.18	0.32	-0.26	-0.20	-0.26	-0.24	-0.16	-0.29	-0.59	0.29	-0.12	-0.22	0.23	0.29	-0.29	0.01	0.07	0.24	-0.11	0.29	0.08	1.00							
Cd	0.20	-0.59	-0.30	-0.48	-0.72	-0.51	-0.65	0.26	-0.43	-0.68	-0.72	0.75	-0.46	-0.58	0.78	0.57	-0.76	0.21	-0.02	0.63	-0.06	-0.32	-0.05	0.38	1.00						
Sb	0.05	-0.80	0.06	-0.59	-0.94	-0.79	-0.87	0.50	-0.74	-0.88	-0.67	0.83	-0.76	-0.82	0.84	0.14	-0.50	0.49	-0.31	0.81	0.08	-0.41	-0.31	0.20	0.75	1.00					
Bi	0.26	0.83	-0.54	0.47	0.80	0.85	0.83	-0.43	0.85	0.85	0.36	-0.66	0.87	0.87	-0.36	0.41	0.13	-0.67	0.66	-0.61	0.12	0.22	0.29	-0.22	-0.39	-0.70	1.00				
Ag	0.40	-0.43	-0.24	-0.53	-0.67	-0.35	-0.55	0.39	-0.29	-0.52	-0.52	0.41	-0.28	-0.45	0.94	0.72	-0.58	0.37	0.16	0.82	0.48	-0.05	-0.16	0.28	0.82	0.70	-0.25	1.00			
Hg	-0.49	-0.45	0.99	-0.33	-0.22	-0.47	-0.36	0.57	-0.57	-0.31	0.56	-0.10	-0.50	-0.46	-0.33	-0.68	0.78	0.77	-0.85	0.24	0.18	0.09	-0.40	-0.15	-0.33	-0.05	-0.44	-0.28	1.00		
Tl	-0.06	-0.66	-0.24	-0.34	-0.71	-0.63	-0.68	0.21	-0.53	-0.72	-0.76	0.90	-0.58	-0.60	0.58	0.37	-0.65	0.12	-0.15	0.46	-0.33	-0.52	-0.24	0.45	0.89	0.72	-0.39	0.58	-0.28	1.00	
Se	0.29	-0.58	-0.23	-0.54	-0.79	-0.52	-0.68	0.38	-0.44	-0.68	-0.67	0.64	-0.45	-0.59	0.96	0.61	-0.67	0.35	0.05	0.82	0.28	-0.22	-0.20	0.34	0.91	0.85	-0.40	0.96	-0.30	0.75	1.00

5.2.3. Nadir Toprak Elementleri

La 28.40 ppm-51.90, Ce 55.50 ppm- 98.50 ppm, Pr 6.64 ppm -11.97 ppm, Nd 25.10 ppm-44.80 ppm, Sm 4.78 ppm-8.46 ppm, Eu 0.99 ppm-1.86 ppm, Gd 4.52 ppm-7.34 ppm, Tb 0.68 ppm-1.33 ppm, Dy 3.98 ppm-6.40 ppm, Ho 0.80 ppm -1.23 ppm, Er 2.18 ppm-3.35 ppm, Tm 0.29 ppm-0.50 ppm, Yb 2.02 ppm-3.35 ppm ve Lu 0.27 ppm-0.45 ppm arasında değişmektedir.

2650-2710 metreler arasında La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu Nadir Toprak Elementlerinde bir artış söz konusudur. Dolayısıyla bu seviyelerde daha yüksek miktarlarda detritik kırıntı girdisi olduğu söylenebilir.

La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu Nadir Toprak Elementlerinin tümünde arasındaki pozitif korelasyon göstermesi ($r>0.90$) olduğu ortaya çıkarılmıştır.

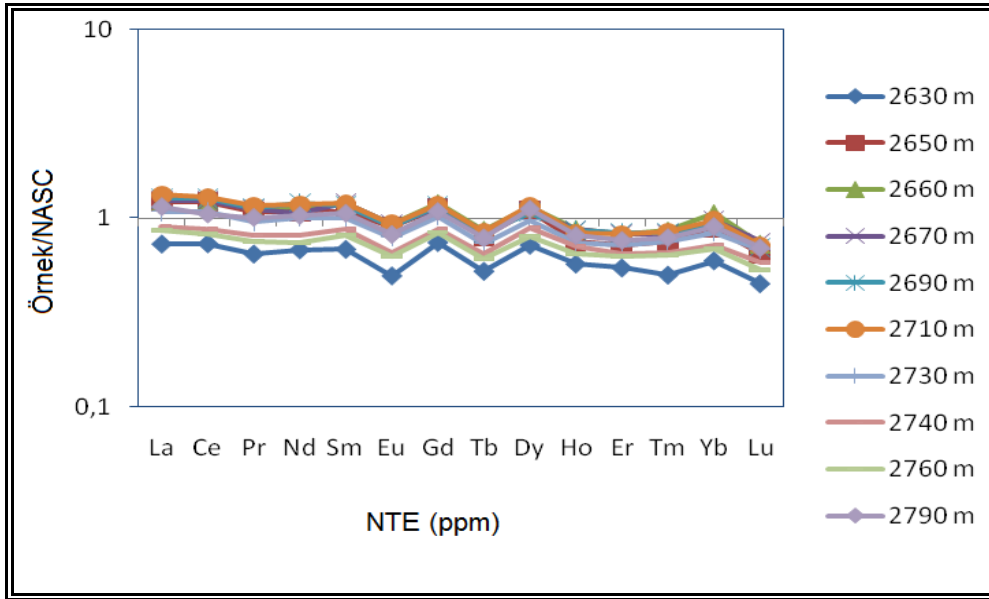
Örneklerin Nadir Toprak Elementleri, Kuzey Amerikan Şeylleri'ne (NASC değerleri Haskin ve Frey, 1966; Gromet ve diğ. 1984'den alınmıştır) normalize edildiğinde tüm örneklerde ağır nadir toprak elementleri düşüktür. Sadece 2650, 2790, 2710. m'lerde hafif nadir toprak elementlerinde yükseklik mevcuttur. Bununla birlikte genel olarak Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin Kuzey Amerikan Şeylleri'ne benzer bir jeokimya sunduğu görülmüştür (Şekil 11).

Tablo 17. Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin nadir toprak elementleri içerikleri

Derinlik	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
(m)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
2630	28.4	55.5	6.64	25.1	4.78	0.99	4.52	0.68	3.98	0.80	2.18	0.29	2.02	0.27
2650	47.9	92.8	11.21	40.2	7.67	1.82	6.94	1.04	6.11	1.06	2.87	0.44	3.05	0.39
2660	48.8	94.4	11.45	42.5	8.34	1.86	7.34	1.13	6.35	1.23	3.31	0.50	3.62	0.44
2670	48.7	94.8	11.54	39.7	8.46	1.86	6.99	1.09	6.04	1.22	3.31	0.48	3.34	0.45
2690	49.7	97.3	11.73	44.8	8.15	1.81	7.13	1.09	5.96	1.21	3.35	0.49	3.10	0.42
2710	51.9	98.5	11.97	43.6	8.35	1.86	7.18	1.10	6.40	1.16	3.29	0.49	3.32	0.43
2730	42.1	81.5	9.85	37.2	6.98	1.58	6.23	0.96	5.41	1.04	2.90	0.44	2.87	0.41
2740	35.1	66.8	8.33	30.2	6.15	1.31	5.29	0.84	4.90	0.99	2.61	0.38	2.45	0.35
2760	33.7	62.5	7.78	27.5	5.73	1.26	5.15	0.79	4.43	0.91	2.51	0.37	2.35	0.32
2790	45.2	80.6	10.47	38.5	7.48	1.65	6.66	1.03	6.23	1.14	3.07	0.46	3.09	0.42

Tablo 18. Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerinin nadir toprak elementleri içeriklerinin korelasyon analizi ($P < 0.05$ güvenirlikte, $r > 0.90$ anlamlı korelasyonlar işaretlenmiştir).

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
La	1.00													
Ce	0.99	1.00												
Pr	1.00	0.99	1.00											
Nd	0.98	0.98	0.98	1.00										
Sm	0.99	0.98	0.99	0.96	1.00									
Eu	0.99	0.98	0.99	0.97	0.99	1.00								
Gd	0.99	0.98	0.99	0.98	0.99	0.99	1.00							
Tb	0.99	0.97	0.99	0.97	0.99	0.99	1.00	1.00						
Dy	0.97	0.93	0.97	0.95	0.96	0.96	0.98	0.98	1.00					
Ho	0.93	0.92	0.94	0.93	0.97	0.94	0.95	0.97	0.93	1.00				
Er	0.95	0.94	0.96	0.95	0.98	0.95	0.96	0.97	0.92	0.99	1.00			
Tm	0.96	0.94	0.97	0.96	0.98	0.97	0.97	0.98	0.95	0.97	0.98	1.00		
Yb	0.95	0.93	0.95	0.93	0.97	0.96	0.97	0.98	0.96	0.96	0.95	0.96	1.00	
Lu	0.93	0.91	0.94	0.92	0.96	0.95	0.94	0.97	0.94	0.97	0.97	0.98	0.96	1.00



Şekil 11. Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş kesinti şeyl örneklerine ait nadir toprak elementlerinin (REE) Kuzey Amerikan Şeylleri'ne (NASC) normalize diyagramı (NASC verileri Haskin ve Frey, 1966; Gromet ve diğ. 1984'den alınmıştır).

5.3. Her İki Sondaj Kuyusuna Ait İnorganik Jeokimyasal Verilerin Karşılaştırılması

Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin inorganik jeokimyasal verileri incelendiğinde her iki sondaj kuyusunda kesilmiş olan örnekler birbirinin yanıl devamı niteliğindedir. Bununla birlikte major oksit, iz element ve nadir toprak elementleri bazı seviyelerin 250–300 m'lik bir kod farkıyla Derindere-1 ile Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş kesinti örneklerin inorganik jeokimyasal açıdan benzer olduğu görölmektedir. Bu benzerlik nadir toprak elementlerinin Kuzey Amerika Şeylleri'ne (NASC) normalize diyagramında da görölmektedir. Dadaş Formasyonu, Derindere-1 kuyusunun üst seviyelerindeki derinlikler ile Çeltikli-1 kuyusunun üst seviyelerindeki derinliklerde, hafif nadir toprak elementleri NASC değeriğine göre az oranda yüksek çıkmıştır.

6. ORGANİK JEOKİMYA

6.1. Giriş

Jeolojik devirler boyunca önemli miktarda petrol veya doğalgaz türetmiş ve organik maddece zengin gri, siyah renkli ince taneli çökeller petrol jeolojisinde kaynak kaya olarak adlandırılır. Son zamanlarda artan bilimsel ve teknolojik gelişmeler, hidrokarbon kökenli maddelerin aranmasında da kendini göstermiştir. Özellikle organik jeokimya bilimindeki gelişmeler, yeni araştırmalara olanak sağlamaktadır. Kesinlik derecesi değişmekle birlikte, petrol ve gaz rezervleri belirli bazı kaynak kayaçlarla ilişkilendirilebilmekte ve kaynak kayaçların petrol ve/veya gaz üretmeye başladığı zamanlar belirlenebilmektedir. Bu çalışmayla Derindere ve Çeltikli sahasında açılmış Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin Piroliz ve Toplam Organik Karbon (TOK) (Rock Eval) Analizi yapılmıştır. Bu analiz doğrultusunda Derindere ve Çeltikli sahalarında kesilmiş Dadaş Formasyonu'nun organik jeokimyasal özellikleri tespit edilerek organik madde miktarı, organik madde tipi, organik madde olgunluğu ve hidrokarbon potansiyelleri belirlenmeye çalışılmıştır.

6.2. Piroliz ve Toplam Organik Karbon (TOK) (Rock-Eval) Analizleri

Petrol aramacılığında kaynak kaya karakterizasyonu ve petrol türetme potansiyeli ile ilgili çalışmalarda kullanılan temel yöntem piroliz analizidir. Bu analiz kaynak kayaların petrol potansiyelini, olgunluğunu, organik madde tipini, kinetik parametrelerini belirlemek amacı ile kullanılan en hızlı ve ekonomik tekniktir. Rock Eval-6 piroliz cihazı Fransız “Vinci Technologies” firması tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemle, Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş Dadaş Formasyon'una ait 37 adet kesinti şeyl örneği Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Araştırma Merkezi Jeokimya Laboratuvarında Piroliz/TOK analizi yapılmıştır.

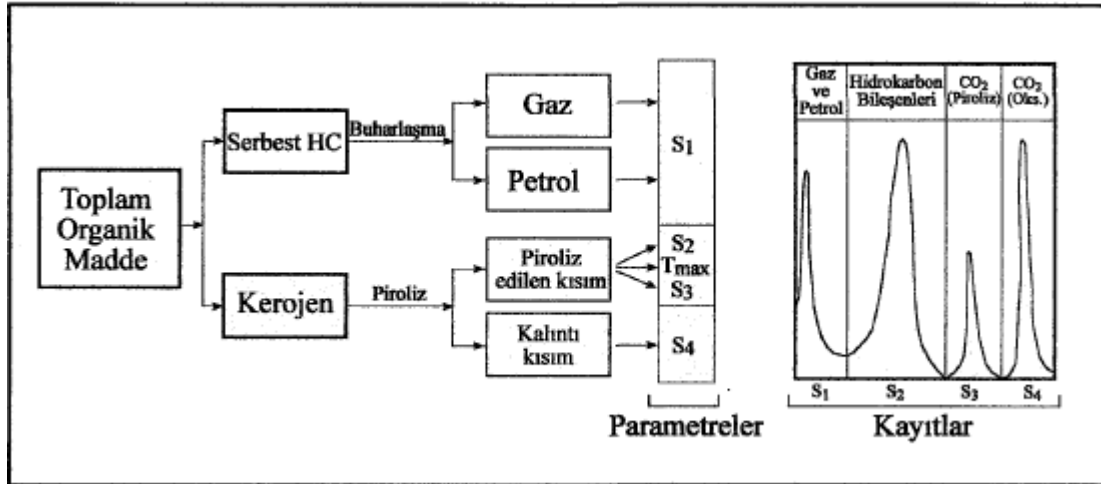
Piroliz analizi yapılacak kayaç örnekleri (kırıntı, karot ve toprak vb.) öncelikle pens yardımı ile temizlenir, içinde yer alan yabancı maddeler uzaklaştırılır, ardından

mıknatıs kullanılarak sondaj sırasında karışmış olabilecek metallerin giderilmesi sağlanır. Temizlik işlemi tamamlanan kayaç örnekleri öğütülerek toz haline getirilir. Öğütülen örneklerden yaklaşık 60 mg (± 3 mg) tartılır ve Rock Eval cihazları için özel tasarlanmış yarı geçirgen krozelerin içerisine aktarılır ve numuneler Rock Eval-6 cihazına yerleştirilir.

Cihaz oksidasyon ve piroliz olmak üzere iki bölümden oluşur. Piroliz bölümünde FID (Alev İyonlaşma), oksidasyon bölümünde ise IRCeII (Infrared) dedektör bulunmaktadır. Her iki bölümde taşıyıcı gaz olarak yüksek saflıkta azot kullanılmaktadır. Oksidasyon bölümünde kuru hava ve FID’de ise hidrojen ve hava kullanılmaktadır. Piroliz işleminde örnek 300 °C’de 3 dakika tutulduktan sonra sıcaklık dakikada 25 °C arttırılarak 650 °C’ye ulaşılır. Oksidasyon işleminde ise örnek 400 °C’de 3 dakika tutulur ve dakikada 25 °C arttırılarak 850 °C’ye ulaşılır. 850 °C’de 5 dakika tutularak işlem tamamlanır. Analiz süresi yaklaşık 90 dakikadır.

Piroliz (Rock-Eval) analizi ile sürecinde S_1 , S_2 , S_3 , S_4 ve Tmax değerleri ölçülmektedir (Şekil 12). S_1 ; 300 °C sıcaklığa kadar ortaya çıkan hidrokarbon miktarıdır ve kaya içerisinde serbest halde bulunan hidrokarbon bileşiklerini temsil etmektedir. S_2 ; 300 °C ile 600 °C sıcaklıklar arasında kaydedilmektedir ve kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan hidrokarbon miktarını temsil etmektedir. S_3 ; 300 °C ile 450 °C sıcaklıklar arasında kaydedilmektedir ve kerojenin ısısal parçalanmasından açığa çıkan CO₂’yi temsil etmektedir. S_2 kaydedildikten sonra geri kalan organik karbon (Cr), oksijen atmosferinde 600 °C’de oksidasyonla ölçülmekte ve elde edilen CO₂ S_4 olarak kaydedilmektedir. Tmax değeri, S_2 pikinin maksimuma ulaştığı noktadaki sıcaklığı temsil etmektedir ve organik maddenin olgunluğu hakkında bilgi vermektedir (Philp ve Galvez-Sinibaldi,1991; Bordenave vd.,1993).

S_1 , S_2 , S_3 , TOK değerleri kullanılarak kaya içerisindeki organik maddenin çeşitli özelliklerini yorumlamada kullanılan parametreler elde edilmektedir. S_2 değerinin TOK değerine bölünmesiyle Hidrojen İndeksi (HI) parametresi elde edilmektedir ve bu parametre organik maddenin hidrojen zenginliğini ifade etmektedir. S_3 değerinin TOK değerine bölünmesiyle Oksijen İndeksi (OI) parametresi elde edilmektedir ve bu parametre organik maddenin oksijen zenginliğini temsil etmektedir. S_1 değerinin, S_1 ile S_2 değerinin toplamına bölünmesiyle Üretim İndeksi (Üİ) $\{S_1/(S_1+S_2)\}$ parametresi elde edilmektedir. Üretim İndeksi değeri olgunlukla birlikte artmaktadır. Böylece bu parametre olgunluğun bir göstergesi olarak kullanılabilir (Philp ve Galvez-Sinibaldi,1991; Bordenave vd.,1993; Harput,1993).



Şekil 12. Rock-Eval cihazı tarafından analiz edilen organik fraksiyonlar

S_1 ile S_2 değerinin toplanmasıyla Potansiyel Ürün (S_1+S_2) parametresi elde edilmektedir. S_1 değeri kaya içerisinde var olan hidrokarbon miktarını, S_2 ise piroliz boyunca kerojenin ısısal parçalanmasından oluşan hidrokarbon miktarını temsil ettiği için S_1 ve S_2 'nin toplamı (Potansiyel Ürün) kayanın hidrokarbon potansiyeli hakkında bilgi vermektedir. S_2 'nin S_3 'e bölünmesiyle Kerojen Tipi İndeksi (S_2/S_3) elde edilmektedir ve bu parametre kayanın ne tür hidrokarbon türetebileceğini yorumlamada kullanılmaktadır.

6.3. Organik Madde Miktarı

Rack Eval-6 cihazıyla ölçülen bu parametre, oksidasyon kısmında 600 °C' de yanma sağlanarak oluşan CO_2 gazının FID (Flame Ionization Detector) dedektörüyle ölçülerek TOK yüzdeleri saptanmıştır. Kaya içerisindeki organik madde miktarı Toplam Organik Karbon (TOK) parametresi ile ifade edilmektedir. Toplam organik karbon miktarı, kaya içerisinde serbest halde bulunan hidrokarbonlara ve kerojene ilişkin organik karbonun toplamına eşittir (Tissot ve Welte, 1984; Barker, 1986; Jarvie, 1991).

Kaynak kaya içerisindeki organik madde miktarı; birincil biyolojik üretkenlik, fiziko-kimyasal koşullar, tane boyu, sedimantasyon hızı ve kaya cinsi olmak üzere beş ayrı faktöre bağlı olmaktadır. Tortuların çökeldiği ortam organizmalarca ne kadar zenginse kaynak kaya içerisindeki organik madde miktarı o kadar fazla olmaktadır. Organik maddenin bozulup yok olmaması için, ortamın anoksik ve asidik bir karaktere sahip olması gerekmektedir. Aksi takdirde organik madde bakteriler tarafından yok edilmektedir. Tane boyu küçüldükçe sedimanlar içerisindeki organik madde miktarı artmaktadır. Organik

madde miktarını denetleyen diğer bir faktör sedimantasyon hızı arttıkça organik madde korunma oranı da artmaktadır, fakat hızın çok fazla olduğu durumlarda sedimanlar içerisindeki organik madde seyrelmektedir. Orta hızlı (0.01-1m/1000 yıl) sedimantasyon organik maddenin korunması için idealdir. Ayrıca organik madde miktarı kaya cinsine de bağlı olarak değişmektedir. Kilitaşı ve çamurtaşları organik maddece zengin, karbonat kayaları orta ve silttaşı ise fakirdir. Bir kayanın kaynak kaya olabilmesi için içermesi gereken en az “Toplam Organik Karbon” miktarı şeyller için % 0.5, karbonatlı kayalar için % 0.3 olarak kabul edilmektedir (Tissot ve Welte,1984).

Toplam organik karbon içeriğine göre kaynak kaya potansiyeli veya zenginlik derecesi aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Tablo 19).

Tablo 19. Toplam organik karbon içeriği (TOK, % ağırlık) ve sınır değerleri (Tissot ve Welte,1984).

Toplam Organik Karbon (TOK, % ağırlık)	Kaynak Kaya Potansiyeli
0.1 – 0.5	Zayıf (kaynak kayaç olamaz)
0.5 – 1.0	Orta
1.0 – 2.0	İyi
2.0 – 10.0	Zengin

6.4. Organik Madde Tipi

Piroliz/TOK (Rock-Eval) analiz sonuçları kullanılarak kaya içerisindeki organik maddenin tipi tespit edilebilmektedir. Bu analizler sonucunda organik maddenin tipi, kerojen tipleri tespit edilerek belirlenmektedir. Kerojen tipleri genellikle üç sınıfta gruplandırılmıştır (Tissot ve Welte,1984; Jacobson,1991; Korkmaz,1990).

a) Tip I: Bu tip kerojenler oldukça yüksek atomik H/C oranına ve düşük atomik O/C oranına sahiptirler. Esas olarak algal lipidlerden ya da mikrobiyal aktivitelerle lipid oranı yükselmiş organik maddelerden oluşmaktadırlar. 600 °C ya da 650 °C’de piroliz edildiklerinde kerojenin büyük bir kısmı petrole dönüşmektedir. Bu tip kerojenlerin petrol ve gaz türetme potansiyelleri oldukça yüksektir. Tip I kerojenler sediman girdisinin yüksek olduğu göl ve denizel ortamlarda oluşmaktadırlar.

b) Tip II: Bu tip kerojenlerin atomik H/C oranları ve petrol türetme potansiyelleri Tip I’e göre daha düşüktür fakat yine de ekonomik açıdan önemli bitümlü şeyller oluşturabilmektedirler. Tip II kerojenler genellikle fitoplanktom, zooplanktom ve

mikroorganizmaların (bakteri) karışımından oluşan otokton organik maddelerin bulunduğu denizel sedimanlarda gözlenmektedir.

c) Tip III: Nispeten düşük atomik H/C oranına ve yüksek atomik O/C oranına sahiptirler. Genellikle derin gömüldüklerinde önemli miktarda gaz türetme potansiyeline sahiptirler fakat petrol türetme potansiyelleri zayıftır. Tip III kerojenler genellikle karasal kökenli yüksek bitkilerden oluşmaktadır.

TOK ve Rock-Eval analiz sonuçları kullanılarak kerojen sınıflama diyagramları geliştirilmiştir. Bu çalışmada şeyllerin içerdikleri organik madde tiplerini belirlemek için Langford ve Blanc-Valleron (1990) tarafından geliştirilen S₂-TOK, Mukhopadhyay vd. (1995) tarafından geliştirilen Hİ-Tmax ve Espitalie vd.(1997) tarafından geliştirilen Hİ-Oİ ve kerojen sınıflama diyagramları kullanılmıştır.

S₂'nin TOK değerlerine karşı çizildiği kerojen tipi sınıflama grafiğinde S₂-TOK ve Hidrojen İndeksi (Hİ) arasındaki ilişkiye dayanılarak üç tip kerojen ayırt edilmiştir.

Grafikte <200 mgHK/gTOK olan doğrunun altında kalan alan Tip III, 200–700 mg HK/g TOK olan doğrular arasında kalan alan Tip II ve >700 mg HK/g TOK olan doğrunun üzerinde kalan alan ise Tip I kerojen olarak tanımlanmıştır (Langford ve Blanc-Valleron, 1990). Espitalie vd., (1985)'ne göre çoğunlukla göl kökenli olan Tip I kerojenler piroliz sonucunda % 80, denizel kökenli olan Tip II kerojenler % 50–60 ve çoğunlukla karasal kökenli odunsu organik maddeden oluşan Tip III kerojenler en çok % 15–30 oranında hidrokarbon açığa çıkarılabilmektedirler.

Kerojen tipi Hİ ve Oİ tarafından da karakterize edilmektedir. Bu parametreler organik madde miktarından bağımsız olup, kerojenin elemental bileşim ile yakından ilişkilidir. Özellikle Hİ ile H/C oranı ve Oİ ile O/C oranı arasında çok güzel bir korelasyon söz konusudur. Dolayısıyla bu iki parametre kerojenin elemental bileşimine göre sınıflandığı Van Krevelen diyagramına uygulanabilmekte ve kerojen tipleri Hİ ve Oİ'ne göre tespit edilebilmektedir (Tissot ve Welte, 1984; Hunt, 1995).

Hİ'nin Tmax'a karşı çizildiği grafikler de kerojen tipini belirlemede kullanılmaktadır. Tmax değeri kerojenin olgunluğuyla olduğu kadar, kerojenin tipine göre de değişmektedir (Hunt,1995). Peters (1986) olgunlaşmamış örneklerin Tmax değerinin organik madde tipine göre değiştiğini fakat aşırı olgun örneklerde bu farklılığın belirsizleştiğini ifade etmiştir.

S₂/S₃ oranı kullanılarak kerojen tipi tespit edilebilmektedir. Merrill'e (1991) göre 5'den büyük bir oran petrol türetebilecek bir kerojeni, 3–5 arasındaki bir değer petrol-gaz

(karışık) türetebilecek bir kerojeni, 3'den düşük bir değer ise gaz türetebilecek bir kerojeni işaret etmektedir (Kara Gülbay, 2004).

6.5. Organik Madde Olgunluğu

Organik maddenin olgunluğu, tortul bir havzada çökmesinden itibaren ısı, basınç, gömülme ve zaman gibi çeşitli etkenler altında fizikokimyasal olarak değişime uğrayıp hidrokarbon bileşiklerini meydana getirmesi süreci olarak tanımlanmaktadır (Tissot ve Welte, 1984). Hidrokarbonlar kaynak kaya içerisindeki kerojenin ısısal etkiye maruz kalması sonucu oluşmaktadır (Yalçın vd., 1997). Organik maddenin ısısal gelişimi organik maddenin birçok fiziksel ve kimyasal özelliğini değiştirmektedir ve bu özellikler tespit edilerek organik maddenin olgunluğu ölçülebilmektedir (Tissot ve Welte, 1984).

Organik maddenin olgunluğunu tespit etmede en yaygın olarak kullanılan parametreler kerojenin optiksel testleri, kerojenin fizikokimyasal analizleri ve ekstrakt edilebilen bitümün kimyasal analizleridir. Bu bölümde kerojenin kimyasal analizden (Rock-Eval /TOK) elde edilen verilerle organik maddenin olgunluğu tartışılacaktır (Kara Gülbay, 2004).

Piroliz analizi sonucunda elde edilen Tmax ve Üretim İndeksi (Üİ) ($S_1 \{S_1+S_2\}$) değerlerinin organik maddenin ısısal gelişimi ile yakından ilgili olduğu saptanmıştır. Üretim İndeksi (Üİ) olgunlukla birlikte sürekli arttığı ve olgunluğu belirlemede kullanılabilecek yararlı bir parametre olduğu ifade edilmektedir (Tissot ve Welte, 1984; Waples, 1985). Tissot ve Welte (1984), Tmax ile Üİ arasında oldukça iyi bir korelasyon olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Bu analizde elde edilen Tmax değerlerinin temsil ettiği olgunlaşma değerleri tablo 20' de sunulmuştur (Peters ve Moldowan, 1993):

Tablo 20. Tmax değerlerinin temsil ettiği olgunlaşma değerleri (Peters ve Moldowan, 1993).

Tmax (°C)	Olgunlaşma Derecesi
<435	Olgunlaşmamış
435–445	Erken-orta olgun
445–460	Orta-ileri olgun
> 460	Aşırı olgun

Tmax değerine göre kaynak kaya olgunlukları sınıflandırılmış ve bu sınıflamada 435 °C–445 °C arasında yer alan bir Tmax değeri petrol türümüne giriş olgunluğunu, 445–450 °C arasında yer alan bir Tmax değeri petrol türümünün maksimum olduğu bir olgunluğu, 470 °C’den daha yüksek bir Tmax değeri ise petrol penceresinin bitimine denk gelen bir olgunluğu temsil etmektedir (Peters ve Moldowan,1993). Bu sınıflama dikkate alındığında 435 °C- 445 °C’den daha düşük Tmax değerinin olgunlaşmamış, 435–445 ile 470 °C arasındaki bir Tmax değerinin olgun ve 470 °C’den daha yüksek bir Tmax değerinin ise aşırı olgun bir kaynak kayayı işaret ettiği söylenebilmektedir. Üretim İndeksine göre olgunluk sınıflamasında 0.1’den küçük değerler olgunlaşmamış organik maddeyi, 0.15–0.3 arasındakiler petrol türetebilecek bir olgunluğu ve 0.3’ den yüksek değerler ise gaz türetebilir aşırı olgun organik maddeyi yansıtmaktadır (Merrill,1991; Kara Gülbay, 2004’ten).

6.6. Hidrokarbon Potansiyeli

S₁ miktarı, kaya içerisinde önceden oluşmuş fakat dışarıya atılmamış hidrokarbon miktarını, S₂ ise henüz hidrokarbona dönüşmemiş fakat kayanın pirolizi sonucunda hidrokarbona dönüşebilen organik madde miktarını temsil etmektedir. Dolayısıyla S₁ ile S₂ değerinin toplanmasıyla elde edilen Potansiyel Ürün parametresi kayanın hidrokarbon potansiyeli hakkında sağlıklı bilgi sağlamaktadır (Tissot ve Welte,1984). Potansiyel Ürün (PÜ) tam olgun bir kaynak kayadan türeyebilecek toplam hidrokarbon miktarına denk gelmektedir (Demaison ve Huizinga,1994; Ritts ve diğ.,1999).

Potansiyel Ürün (PÜ) değerleri kullanılarak kaynak kaya potansiyeli sınıflamaları yapılmıştır. Bu sınıflamalara göre kaynak kayalar; Potansiyel Ürün parametresi 2 mgHC/gkaya’dan düşük ise zayıf, 2–6 mgHC/gkaya arasında ise orta ve 6

mgHC/gkaya'dan yüksek ise çok iyi hidrokarbon potansiyeline sahip kaynak kaya olarak tanımlanmaktadır (Tissot ve Welte,1984; Merrill,1991). Bazı durumlarda Potansiyel Ürün (PÜ) parametresi 100 veya 200 mgHC/gkaya gibi yüksek değerlere sahip olabilmektedir. Bu kayalar bol miktarda Tip I ya da Tip II organik madde içermekte ve önemli derecede bir gömülme söz konusu ise mükemmel bir kaynak kaya, sık bir gömülme söz konusu ise mükemmel bir kaynak kaya, sık bir gömülme söz konusu ise şeyleri oluşturmaktadır (Tissot ve Welte,1984).

Tablo 21. Potansiyel Ürün (PÜ) değerleri kullanılarak kaynak kaya potansiyeli sınıflamaları (Tissot ve Welte, 1984; Merrill, 1991).

Potansiyel Ürün (PÜ)=S ₁ +S ₂ (mgHK/gkaya)	Kaynak Kaya Potansiyeli
<2 mgHK/gkaya	Zayıf hidrokarbon potansiyeli
2–6 mgHK/gkaya	Orta hidrokarbon potansiyeli
>6 mgHK/gkaya	İyi hidrokarbon potansiyeli

6.7. Derindere–1 Sondaj Kuyusunda Kesilmiş Dadaş Formasyonu'na Ait Kesinti Şeyl Örneklerinin Organik Jeokimyasal Özellikleri

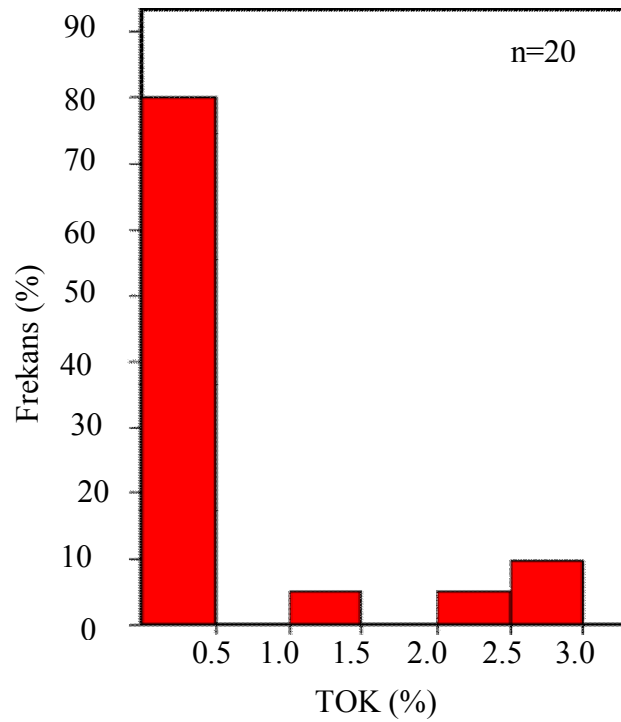
Bu bölümde TPAO tarafından Derindere Sahasında (Bismil Doğu'su, Diyarbakır) açılmış Derindere–1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örnekleri üzerinde çalışılmıştır. Bu kapsamda Derindere–1 kuyusundan alınan 20 adet örnek üzerinde Piroliz/TOK analizleri yapılmıştır (Tablo 22).

6.7.1. Organik Madde Miktarı

Derindere–1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin Toplam Organik Karbon (TOK) değerleri % 0.16 ile % 2.87 arasında değişmektedir. Ortalama TOK değeri ise % 0.68 olarak hesaplanmıştır. TOK değerinin örnek sayısına (%) göre dağılım (frekans dağılımı) grafiğinde örneklerin genellikle % 0–0.5 TOK değerleri arasında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 13). Bu sonuçlara göre 16 örnek zayıf (kaynak kayaç olamaz), 4 örneğin ise iyi-zengin kaynak kayaç olabilir, olduğu

sonucuna varılmıştır (Tissot ve Welte, 1984). Şeyl örneklerinin ortalama TOK değerine bakıldığında istifin genel olarak ‘orta kaynak kaya’ sınıfında olduğunu görülecektir.

Derindere–1 kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait sondaj logu için TOK değerlerinin derinliğe karşı çizildiği grafikte 2890–3032. metreler arasında yer alan örneklerin birbirine yakın TOK değerleri gösterdiği, 3050. metrede TOK değerinin maksimuma ulaştığı ve istifin 2880. metresinde yer alan örneğin minimum TOK değerine sahip olduğu gözlenmektedir (Şekil 17). Genel olarak istife bakıldığında kesinti şeyl örneklerinin organik maddece orta zenginlikte olduğu, organik madde miktarının istifin sonuna doğru artarak en bol miktara ulaştığı ve üst seviyelerde organik madde miktarının azaldığı ve minimuma düştüğü gözlenmektedir.



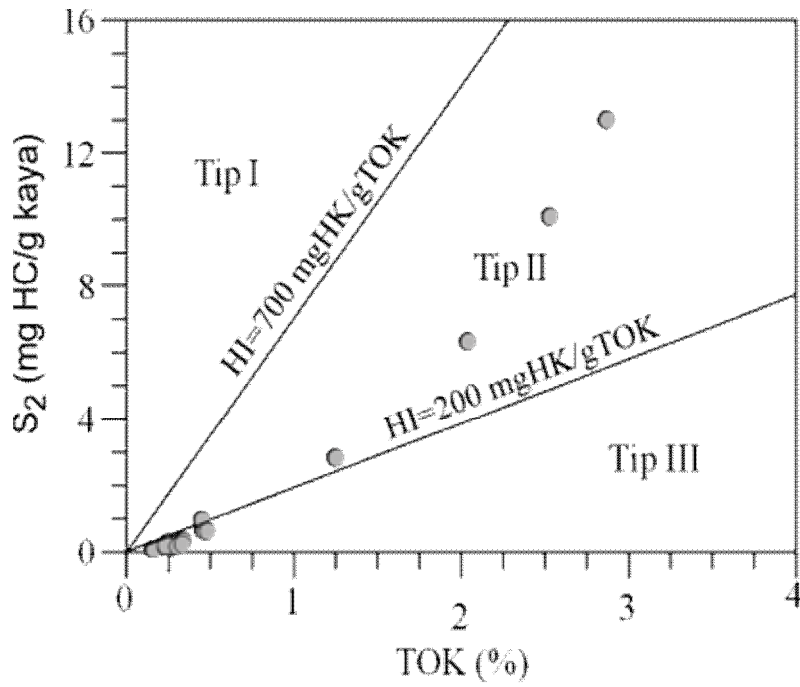
Şekil 13. Derindere–1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait kesinti şeyl örneklerinin Toplam Organik Karbon (TOK) değerlerinin örnek sayısına göre (%) dağılım grafiği (n:Örnek Sayısı).

Tablo 22. Derindere–1 sondaj kuyusunda kesilmiş, kesinti şeyl örneklerinin Piroliz/TOK analiz sonuçları ve bu sonuçlardan elde edilen parametreler

Derinlik (m)	TOK (%C)	S ₁ (mgHK/g)	S ₂ (mgHK/g)	S ₃ (mgHK/g)	Kerojen Tipi S ₂ /S ₃	(PÜ) S ₁ +S ₂ (mgHK/g)	T _{max} (°C)	Hİ S ₂ /TOK (mgHK/g)	Oİ S ₃ /TOK (mgHK/g)	Üİ S ₁ /(S ₁ +S ₂)	KK (%)
2880	0.16	0.04	0.08	0.32	0.25	0.12	429	50	200	0.30	0.13
2890	0.27	0.01	0.13	0.26	0.50	0.14	435	48	96	0.09	0.24
2900	0.25	0.10	0.29	0.09	3.22	0.39	436	116	36	0.25	0.20
2910	0.28	0.04	0.25	0.31	0.81	0.29	435	89	111	0.14	0.24
2920	0.34	0.03	0.35	0.31	1.13	0.38	436	103	91	0.07	0.29
2930	0.28	0.02	0.24	0.30	0.80	0.26	434	86	107	0.07	0.24
2940	0.27	0.02	0.19	0.31	0.61	0.21	434	70	115	0.11	0.23
2950	0.24	0.02	0.15	0.41	0.37	0.17	436	62	171	0.11	0.20
2960	0,28	0.04	0.19	0.44	0.43	0.23	435	68	157	0.16	0.23
2970	0.23	0.04	0.15	0.18	0.83	0.19	437	65	78	0.20	0.19
2980	0.23	0.04	0.22	0.42	0.52	0.26	436	96	183	0.16	0.18
2990	0.30	0.02	0.19	0.49	0.39	0.21	436	63	163	0.11	0.26
3000	0.46	0.05	0.66	0.29	2.28	0.71	437	143	63	0.07	0.38
3010	0.45	0.07	0.98	0.19	5.16	1.05	439	218	42	0.07	0.34
3020	0.48	0.05	0.64	0.39	1.64	0.69	438	133	81	0.08	0.40
3032	0.33	0.01	0.25	0.30	0.83	0.26	437	76	91	0.05	0.29
3040	1.25	0.18	2.84	0.30	9.47	3.02	439	227	24	0.06	0.97
3050	2.87	1.21	13.02	0.24	54.25	14.23	440	454	8	0.08	1.65
3060	2.53	0.57	10.09	0.45	22.42	10.66	437	399	18	0.05	1.61
3070	2.04	0.49	6.33	0.38	16.66	6.82	436	310	19	0.07	1.44
Ortalama	0.68	0.15	1.86	0.32	6.13	2.01	436.10	143.80	92.70	0.12	0.49

6.7.2. Organik Madde Tipi

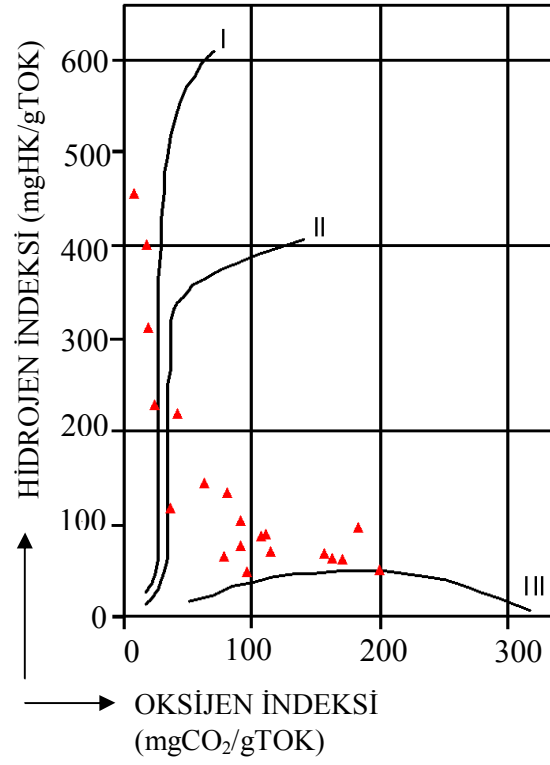
Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin organik madde tiplerinin tespit edilmesi amacıyla S_2 -TOK, $HI-OI$ ve $HI-T_{max}$ kerojen sınıflama grafikleri kullanılmıştır. S_2 -TOK grafiğinde (Langford ve Blanc-Valleron, 1990) örneklerin çoğunluğu Tip III, az bir kısmı da Tip II kerojen alanında yer almaktadır (Şekil 14).



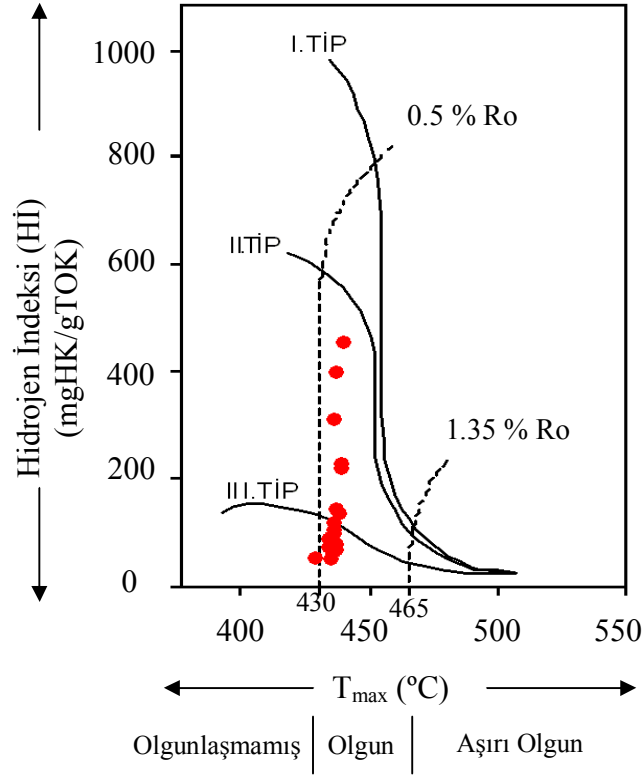
Şekil 14. S_2 -TOK kerojen sınıflama diyagramında (Langford ve Blanc-Valleron, 1990) Derindere-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin dağılımı

Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş olan Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örnekleri için Hidrojen İndeksi değerleri 48–454 mgHK/gTOK arasında değişmekte olup, ortalama değer 143.80 mgHK/gTOK olarak hesaplanmıştır. Genel olarak bu Hidrojen İndeksi değerleri organik madde tipinin gaz-petrol türümüne uygun olduğu belirlenmiştir. Oksijen İndeksi değerleri ise 8–200 mgHK/gTOK arasında değişmektedir. Ortalama Oİ değeri ise 92.70 mgHK/gTOK olarak hesaplanmıştır. $HI-OI$ kerojen tipi sınıflama grafiğinde de görüldüğü gibi kesinti şeyl örneklerinin çoğunluğu Tip III, az bir kısmı da Tip II kerojen alanında yer almaktadır (Şekil 15). $HI-T_{max}$ grafiğinde de kesinti şeyl

örneklerinin çoğunluğu Tip III, az bir kısmı da Tip II kerojen alanında yer aldığı görülmüştür (Şekil 16).



Şekil 15. Derindere-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin HI-Oİ kerojen sınıflama grafiğindeki (Espitalie vd.,1977) dağılımı



Şekil 16. Derindere-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin HI- T_{max} kerojen sınıflama grafiğindeki (Mukhopadhyay vd.,1995) dağılımı

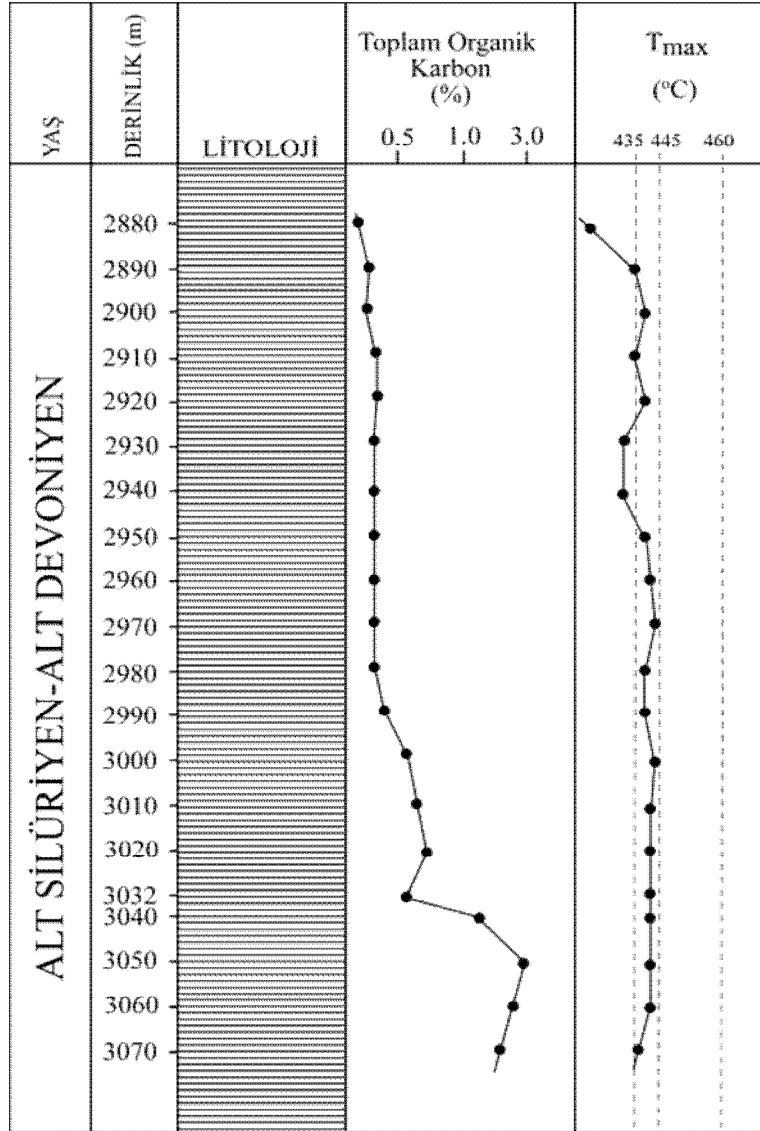
Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş, kesinti şeyl örnekleri için S_2/S_3 Kerojen Tipi oranı ortalama 6.13 mgHK/gkaya olarak hesaplanmış olup, bu değer Merrill (1991)'in sınıflamasına göre genel olarak istifin petrol-gaz (karışık) türetebilecek özellikteki bir kerojeni işaret ettiği görülmüştür.

6.7.3. Organik Madde Olgunluğu

Derindere-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin T_{max} değerleri 429–440 °C arasında değişmekte olup, ortalama T_{max} değerleri 436.10 °C olarak hesaplanmıştır. T_{max} değerleri dikkate alınarak yapılan olgunluk sınıflamasına göre 6 adet kesinti şeyl örneğinin olgunlaşmamış özellikte, 14 adet örneğin ise petrol türümüne giriş, yani başlangıcına denk gelen bir olgunlukta olduğu belirlenmiştir. Genel olarak T_{max} değeri dikkate alındığında Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin olgunlaşmamış-erken olgun düzeyde olduğu sonucuna varılmaktadır (Peters ve Moldowan,1993). Yani petrol türümüne giriş veya başlangıcına denk geldiği görülecektir.

Üretim indeksi (Üİ) değerleri 0.05–0.30 arasında değişmekte olup, ortalama 0.12 olarak hesaplanmıştır. Üretim indeksi (Üİ) değerlerine bakıldığında 11 örnek olgunlaşmamış, 1 örnek gaz türetebilecek, 8 örnek petrol türetebilecek olgunlukta olduğu tespit edilmiştir (Merrill, 1991).

Olgunluğun derinliğe bağlı değişiminin tespit edilmesi amacıyla T_{max} değerleri sondaj logunda derinliğin fonksiyonu olarak çizilmiş ve T_{max} değerlerinin derinliğe bağlı hemen hemen düzenli bir değişim gösterdikleri, düzenli sayılabilecek bir dağılımın varlığı tespit edilmiştir (Şekil 17). İstifin tabana doğru T_{max} değerinde nisbi artış gözlenmiştir.



Şekil 17. Derindere-1 sondaj kuyusuna ait sondaj logu ve bu kuyudan alınmış kesinti şeyl örneklerinin TOK ve T_{max} değerlerinin derinliğe bağlı değişim grafiği.

6.7.4. Hidrokarbon Potansiyeli

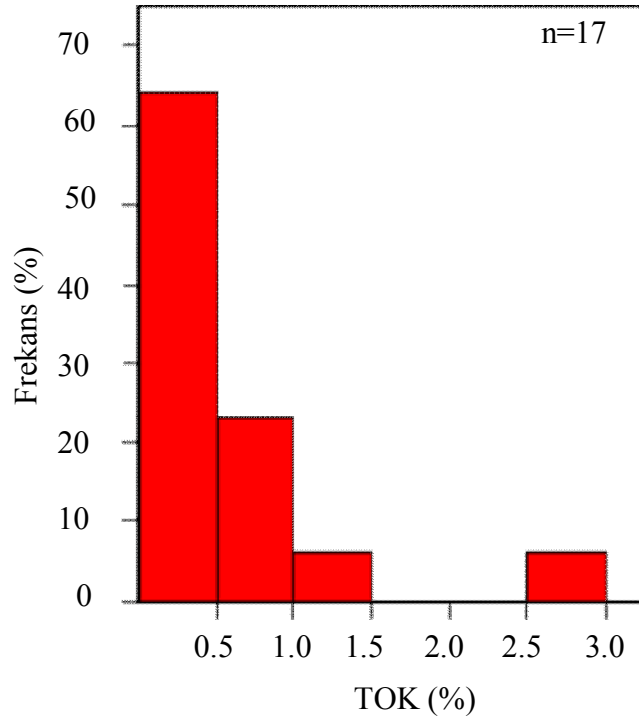
Derindere–1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin Potansiyel Ürün (PÜ) değerleri 0.12–14.23 mgHK/gkaya arasında değişmektedir. Ortalama Potansiyel Ürün (PÜ) değeri ise 2.01 mgHK/gkaya olarak hesaplanmıştır. Potansiyel Ürün (PÜ) değerleri Derindere–1 kuyusuna ait kesinti şeyl örnekleri için 16 adet örneğin zayıf hidrokarbon , 1 örneğin orta hidrokarbon potansiyeli ve geri kalan 3 örneğin ise iyi hidrokarbon potansiyeline sahip olduğunu işaret etmektedir (Tissot ve Welte, 1984; Merrill, 1991). Ortalama Potansiyel Ürün (PÜ) değerine bakıldığında İstifin genel olarak orta hidrokarbon potansiyeline sahip olduğu görülecektir.

6.8. Çeltikli–1 Sondaj Kuyusunda Kesilmiş Dadaş Formasyonu’na Ait Kesinti Şeyl Örneklerinin Organik Jeokimyasal Özellikleri

Bu bölümde TPAO tarafından Çeltikli Sahasında (Bismil Doğu’su, Diyarbakır) açılmış Çeltikli–1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait kesinti şeyl örnekleri üzerinde çalışılmıştır. Bu kapsamda Çeltikli–1 kuyusundan alınan 17 adet örnek üzerinde Piroliz/TOK analizleri yapılmıştır (Tablo 23).

6.8.1. Organik Madde Miktarı

Çeltikli–1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait kesinti şeyl örneklerinin Toplam Organik Karbon (TOK) değerleri % 0.16 ile % 2.61 arasında değişmektedir. Ortalama TOK değeri ise % 0.54 olarak hesaplanmıştır. TOK değerinin örnek sayısına (%) göre dağılım (frekans dağılımı) grafiğinde örneklerin genellikle % 0–0.5 TOK değerleri arasında yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 18). Bu sonuçlara bakıldığında 11 örnek zayıf (kaynak kayaç olamaz), 4 örnek orta, 1 örnek iyi, 1 örnek zengin kaynak kayaç olabilir sonucuna varılmıştır (Tissot ve Welte, 1984). Şeyl örneklerinin ortalama TOK değerlerine bakıldığında istifin genel olarak ‘orta kaynak kaya’ sınıfında olduğunu görülecektir.



Şekil 18. Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin Toplam Organik Karbon (TOK) değerlerinin örnek sayısına göre (%) dağılım grafiği (n:Örnek Sayısı)

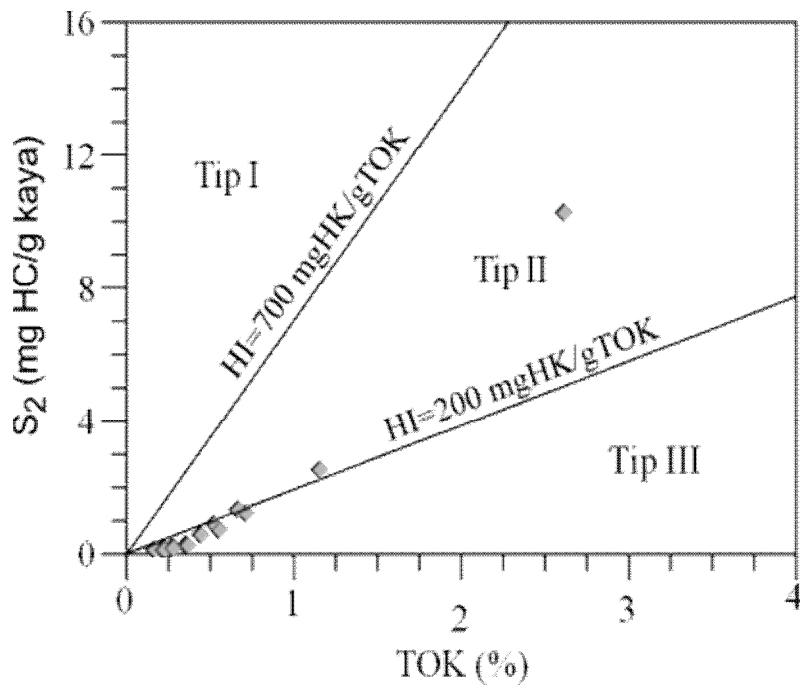
Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait sondaj logu için TOK değerlerinin derinliğe karşı çizildiği grafikte 2640–2770. metreler arasında yer alan örneklerin birbirine yakın TOK değerleri gösterdiği, 2790. metrede TOK değerinin maksimuma ulaştığı ve istifin 2630. metresinde yer alan örneğin minimum TOK değerine sahip olduğu gözlenmektedir (Şekil 22). Genel olarak istife bakıldığında kesinti şeyl örneklerinin organik maddece orta zenginlikte olduğu, organik madde miktarının istifin sonuna doğru artarak en bol miktara ulaştığı ve üst seviyelerde organik madde miktarının azaldığı ve minimuma düştüğü gözlenmektedir.

Tablo 23. Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş, kesinti şeyl örneklerinin Piroliz/TOK analiz sonuçları ve bu sonuçlardan elde edilen parametreler.

Derinlik (m)	TOK (%C)	S ₁ (mgHK/g)	S ₂ (mgHK/g)	S ₃ (mgHK/g)	Kerojen Tipi S ₂ /S ₃	(PÜ) S ₁ +S ₂ (mgHK/g)	T _{max} (°C)	Hİ S ₂ /TOK (mgHK/g)	Oİ S ₃ /TOK (mgHK/g)	Üİ S ₁ /(S ₁ +S ₂)	KK (%)
2630	0.16	0.02	0.15	0.85	0.18	0.17	427	94	531	0.14	0.11
2640	0.21	0.02	0.15	0.28	0.54	0.17	436	71	133	0.09	0.18
2650	0.35	0.01	0.28	0.23	1.22	0.29	435	80	66	0.05	0.31
2660	0.27	0.02	0.20	0.42	0.48	0.22	434	74	156	0.09	0.23
2670	0.23	0.02	0.15	0.27	0.56	0.17	433	65	117	0.12	0.20
2680	0.22	0.01	0.14	0.30	0.47	0.15	434	64	136	0.07	0.19
2690	0.27	0.03	0.21	0.34	0.62	0.24	436	78	126	0.11	0.22
2700	0.28	0.01	0.21	0.37	0.57	0.22	435	75	132	0.06	0.24
2710	0.27	0.02	0.19	0.26	0.73	0.21	436	70	96	0.08	0.23
2720	0.36	0.01	0.28	0.34	0.82	0.29	435	78	94	0.05	0.32
2730	0.66	0.06	1.35	0.29	4.66	1.41	435	205	44	0.04	0.52
2740	0.71	0.05	1.23	0.41	3.00	1.28	434	173	58	0.04	0.58
2750	0.44	0.04	0.59	0.34	1.74	0.63	436	134	77	0.06	0.37
2760	0.52	0.04	0.91	0.32	2.84	0.95	436	175	62	0.04	0.42
2770	0.55	0.04	0.73	0.29	2.52	0.77	437	133	53	0.06	0.46
2780	1.15	0.14	2.55	0.28	9.11	2.69	436	222	24	0.05	0.90
2790	2.61	0.43	10.27	0.36	28.53	10.7	436	393	14	0.04	1.68
Ortalama	0.54	0.06	1.15	0.35	3.45	1.21	434.76	128.47	112.88	0.07	0.42

6.8.2. Organik Madde Tipi

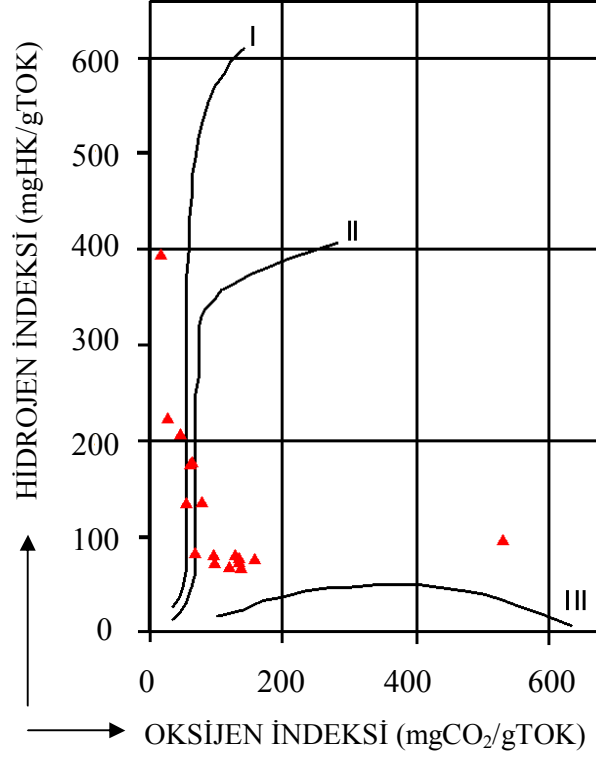
Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin organik madde tiplerinin tespit edilmesi amacıyla S_2 -TOK, H_I - O_I ve H_I - T_{max} kerojen sınıflama grafikleri kullanılmıştır. S_2 -TOK grafiğinde (Langford ve Blanc-Valleron, 1990) örneklerin çoğunluğu Tip III, az bir kısmı da Tip II kerojen alanında yer almaktadır (Şekil 19).



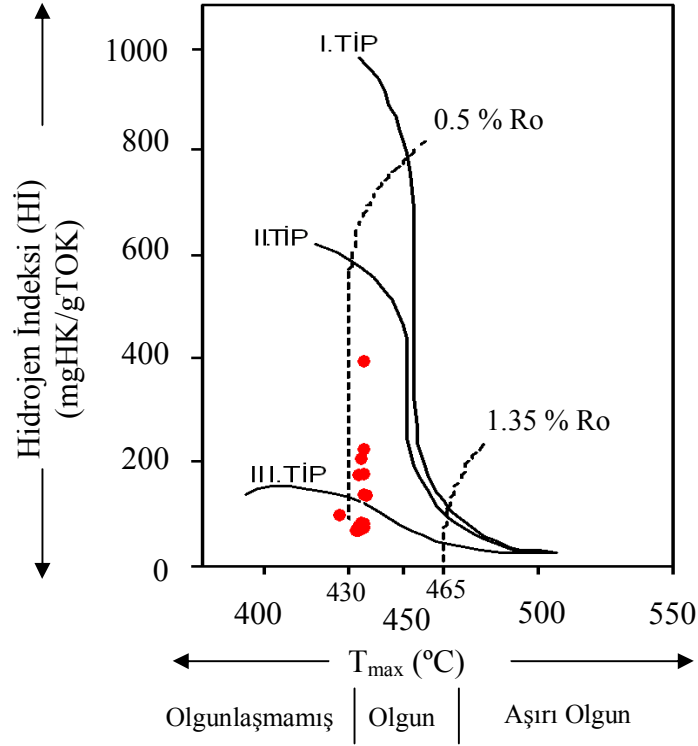
Şekil 19. S_2 -TOK kerojen sınıflama diyagramında (Langford ve Blanc-Valleron, 1990) Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin dağılımı

Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örnekleri için Hidrojen İndeksi değerleri 64–393 mgHK/gTOK arasında değişmekte olup, ortalama değer 128.47 mgHK/gTOK olarak hesaplanmıştır. Genel olarak bu H_I değerleri organik madde tipinin gaz-petrol türümüne uygun olduğu belirlenmiştir. O_I değerleri ise 14–531 mgHK/gTOK arasında değişmektedir. Ortalama O_I değeri ise 112.88 mgHK/gTOK olarak hesaplanmıştır. H_I - O_I kerojen tipi sınıflama grafiğinde de görüldüğü gibi kesinti şeyl örneklerinin çoğunluğunu Tip III, az bir kısmı da Tip II kerojen alanında

yer almaktadır (Şekil 20). $H\dot{I}-T_{max}$ grafiğinde de kesinti şeyl örneklerinin çoğunluğu Tip III, az bir kısmı da Tip II kerojen alanında yer aldığı görülmüştür (Şekil 21).



Şekil 20. Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin Hİ-Oİ kerojen sınıflama grafiğindeki (Espitalie vd.,1977) dağılımı



Şekil 21. Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin HI- T_{max} kerojen sınıflama grafiğindeki (Mukhopadhyay vd.,1995) dağılımı

Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örnekleri için S_2/S_3 Kerojen Tipi oranı ortalama 3.45 mgHK/gkaya olarak hesaplanmış olup, bu değer Merrill (1991)'in sınıflamasına göre petrol-gaz (karışık) türetebilecek bir kerojeni işaret ettiği görülmüştür.

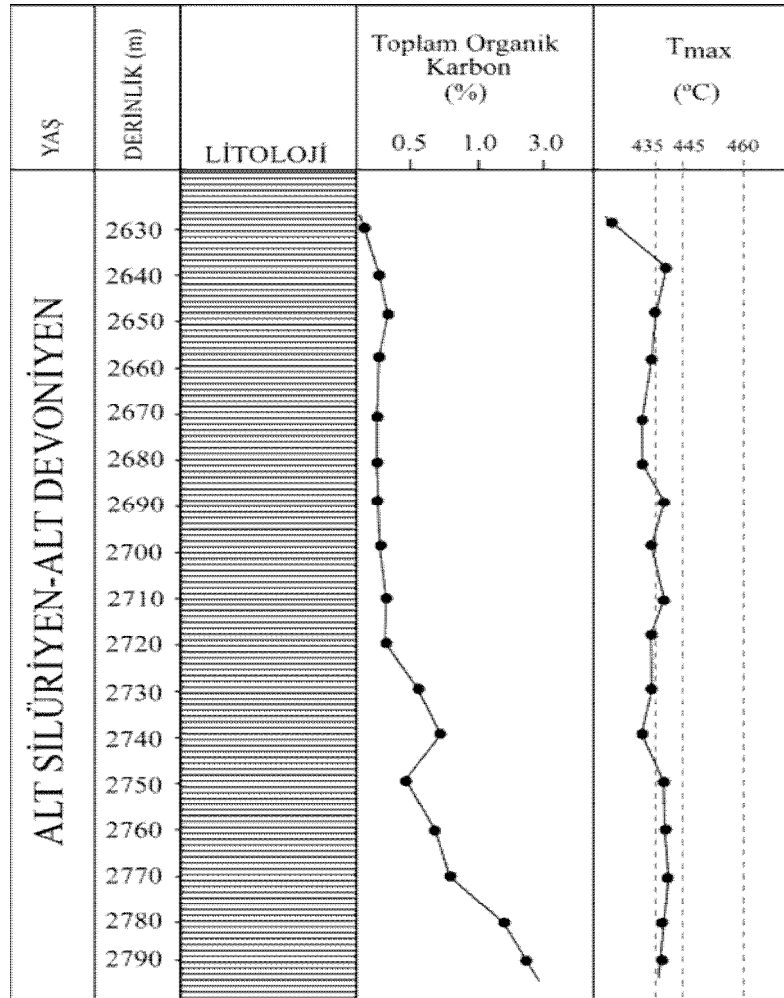
6.8.3. Organik Madde Olgunluğu

Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin T_{max} değerleri 427–437 °C arasında değişmekte olup, ortalama T_{max} değerleri 434.76 °C olarak hesaplanmıştır. T_{max} değerleri dikkate alınarak yapılan olgunluk sınıflamasına göre 5 adet kesinti şeyl örneğinin olgunlaşmamış özellikte, 12 adet örneğin ise petrol türümüne giriş, yani başlangıcına denk gelen bir olgunlukta olduğu belirlenmiştir. Genel olarak T_{max} değeri dikkate alındığında Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin olgunlaşmamış-erken olgun

düzeyde olduğu sonucuna varılmaktadır (Peters ve Moldowan,1993). Yani petrol türümüne giriş veya yani başlangıcına denk geldiği görülecektir.

Üretim indeksi (Üİ) değerleri 0.04–0.14 arasında değişmekte olup, ortalama 0.07 olarak hesaplanmıştır. Üretim indeksi (Üİ) değerlerine bakıldığında 14 örnek olgunlaşmamış, 3 örnek petrol türetebilecek olgunlukta olduğu tespit edilmiştir (Merrill,1991).

Olgunluğun derinliğe bağlı değişiminin tespit edilmesi amacıyla T_{max} değerleri sondaj logunda derinliğin fonksiyonu olarak çizilmiş ve T_{max} değerlerinin derinliğe bağlı hemen hemen düzenli bir değişim gösterdikleri, düzenli sayılabilecek bir dağılımın varlığı tespit edilmiştir (Şekil 22). İstifin tabanına doğru T_{max} değerinde nisbi artış gözlenmiştir.



Şekil 22. Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait sondaj logu ve bu kuyudan alınmış kesinti şeyl örneklerinin TOK ve T_{max} değerlerinin derinliğe bağlı değişim grafiği.

6.8.4. Hidrokarbon Potansiyeli

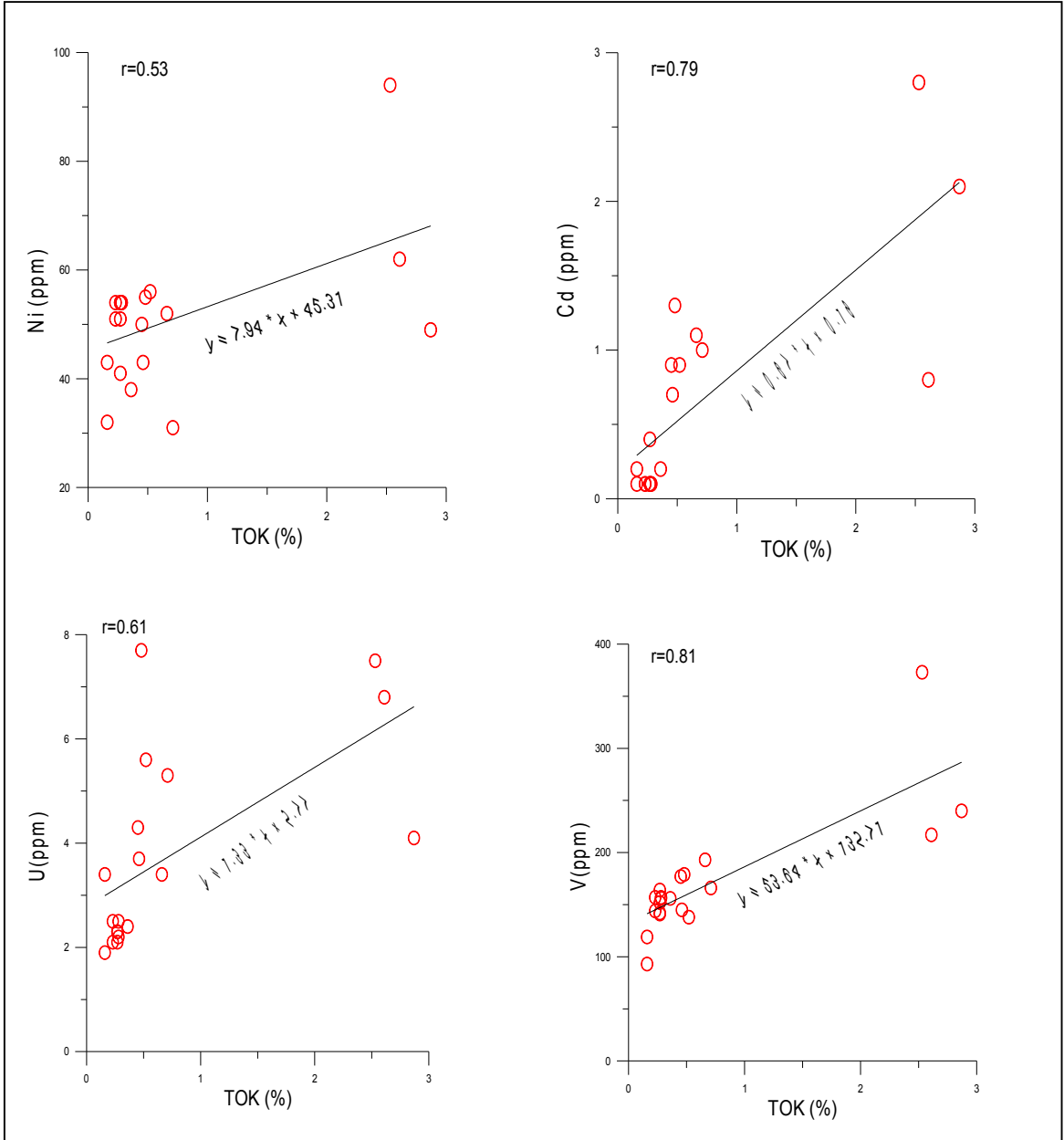
Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin Potansiyel Ürün (PÜ) değerleri 0.15–10.70 mgHK/gkaya arasında değişmektedir. Ortalama Potansiyel Ürün (PÜ) değeri ise 1.21 mgHK/gkaya olarak hesaplanmıştır. Bu Potansiyel Ürün (PÜ), değerleri Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örnekleri için 15 örneğin zayıf hidrokarbon, 1 örneğin orta ve 1 örneğin ise iyi hidrokarbon potansiyeline sahip olduğunu işaret etmektedir (Tissot ve Welte, 1984; Merrill, 1991). Ortalama Potansiyel Ürün (PÜ) değerlerine bakıldığında istifin genel olarak zayıf hidrokarbon potansiyeline sahip olduğunu görülecektir.

7. TOK VE İZ ELEMENTLER ARASINDAKİ İLİŞKİ

Kuyularımızda kesilen Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örnekleri, genel olarak TOK değerleri artışına paralel U, V, Ni, Cu, Ag, Mo, Sb, Cd ve Se gibi bazı iz elementleri oranlarında pozitif ($P < 0.05$ güvenirlikte, $r > 0.50$) korelasyon görülmüştür. Yani TOK artışına paralel olarak yukarıda saydığımız iz elementlerin ortamda zenginleştiği görülmüştür.

Tablo 24. Bazı iz elementlerle Toplam Organik Karbon (TOK) arasındaki korelasyonları gösteren tablo ($P < 0.05$ güvenirlikte, $r > 0.50$ anlamlı korelasyonlar işaretlenmiştir).

	Ni	Se	U	V	Cd	Ag	Cu	Mo	Sb	TOK
Ni	1.00									
Se	0.67	1.00								
U	0.50	0.87	1.00							
V	0.78	0.87	0.63	1.00						
Cd	0.57	0.93	0.76	0.86	1.00					
Ag	0.74	0.98	0.85	0.88	0.88	1.00				
Cu	0.71	0.67	0.48	0.76	0.53	0.76	1.00			
Mo	0.64	0.90	0.81	0.77	0.80	0.93	0.82	1.00		
Sb	0.57	0.93	0.90	0.68	0.84	0.91	0.57	0.90	1.00	
TOK	0.53	0.72	0.61	0.81	0.79	0,70	0,57	0,62	0,52	1.00



Şekil 23. Bazı İz elementlerle Toplam Organik Karbon (TOK) arasındaki korelasyonlar

8. DERİNDERE-1 VE ÇELTİKLİ-1 SONDAJ KUYULARINDA KESİLMİŞ DADAŞ FORMASYONUN'DAN ŞEYL GAZI (KAYA GAZI) ÜRETEBİLMEK İÇİN BAZI PARAMETRELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şeyl gazı veya kaya gazı, yeterince derine gömülerek gaz oluşturma aşamasına (olgunluğuna) ulaşmış, genellikle ince taneli kaynak (ana) kayaların bünyesinde hapsolmuş gaz olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir ifade ile konvansiyonel petrol sisteminde kaynak kayalar içinde oluşmuş ve ancak bir kısmı göç yoluyla ana kaynak kayayı terk eden gazın, kaynak kayanın bünyesinde kalan kısmıdır. Konvansiyonel olmayan (unconventional) yöntemle üretilen bu gazın, kaynak kayanın bünyesinde kalmasının nedeni, özellikle organik maddenin yüzeylerinde adropsiyon mekanizması yoluyla tutulması ve bunun yanı sıra küçük ve bağlantısız veya kötü bağlantılı gözeneklerde serbest gaz fazı halinde birikmesidir (Yalçın, 2012).

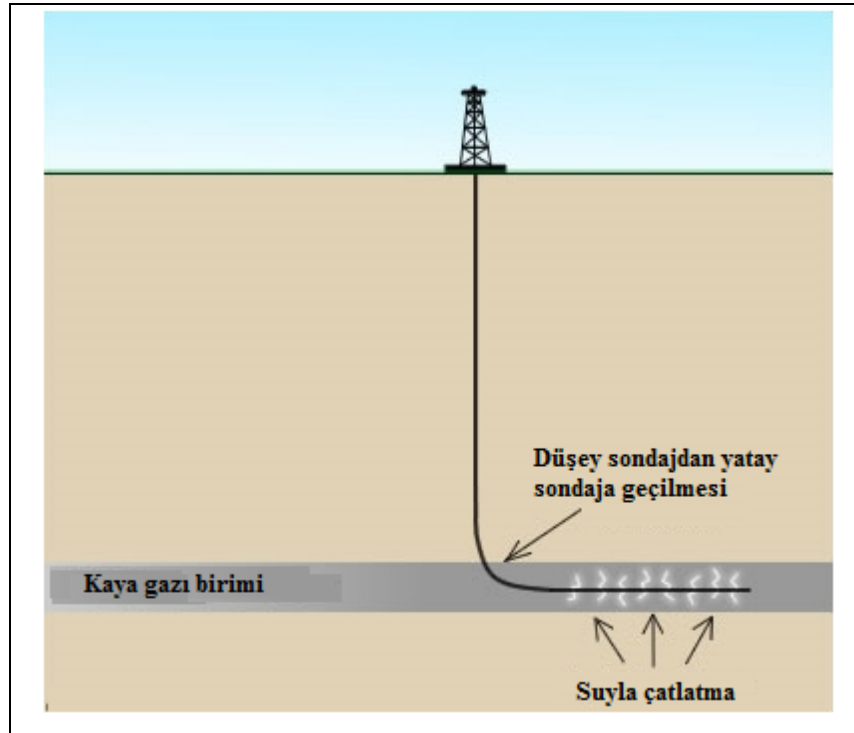
Kaynak kayaların bünyesinde biriken bu tür gazların varlığı çok uzun süredir bilinmektedir. Hatta 19. Yüzyılın başlarında çok sık kuyular yardımıyla şeyl türü ince taneli kayaçların bünyesindeki bu gazlardan yararlanılmıştır. Büyük ölçekli üretim ise ancak bu tür kayaların bünyesindeki gazın ekonomik olarak üretilmesine imkan sağlayan teknolojilerin 1990'larda geliştirilmesi sonucunda başlamıştır. Söz konusu teknolojiler “yatay sondaj (horizontal drilling)” ile “suyla çatlatmadır (hydrofracturing) ”. Kısacaca bu yöntem, öncelikle düşey açılan kuyuları vasıtasıyla bünyesinde gaz bulunan organik materyali yüksek kayalara ulaşılır. Daha sonra yatay veya eğik sondaj yardımıyla bu birim içerisinde olabildiğince uzun bir mesafe boyunca ilerlenir (Şekil 24). Yüksek basınçlı su kullanılarak gaz içeren bu kayalarda çatlaklar oluşturulur. Su ile çatlatma operasyonu, özel donanımlı ekipmanlardan yararlanır. Bu operasyonun başarılı bir şekilde yapılabilmesi için kayanın kırılğan-çatlatılabilir olması gereklidir. Bunun için de kayaların kırılğanlığını sağlayan kuvars ve kalsit gibi minerallerce zengin olması zorunludur (Yalçın, 2012). Kısacası şeyl gazı veya kaya gazı potansiyeli sadece belli özelliklere sahip kayalarda bulunur. Bu özellikler genel olarak:

- Kayalardaki Toplam Organik Karbon (TOK) miktarı % 2'den büyük olmalıdır.
- Kayalardaki organik madde gaz oluşturacak olgunluğa erişmiş olmalıdır.
- Öngörülen Vitrit Yansıması (Ro) değeri % 1.1'in üzerinde olmalıdır.

- Kayalar, olgunlaşmayı sağlayacak kadar yaşlı olmalı veya yeterince derine gömülmüş olmalıdır.
- Kayalardaki kil oranı mümkün oldukça düşük, kuvars ve kalsit gibi kırılgenlığı arttıran minerallerin oranı ise oldukça yüksek olmalıdır.
- Kaya içerisindeki stres dağılımı mümkün oldukça çift yönlü olmalıdır. Bu yönler dik olarak oluşturulacak yapay çatlaklar kanatlarda gelişmelidir.
- Kayaç içerisinde gaz oluşumuna bağlı normalden yüksek basınç (overpressure) zonu bulunmalıdır.

Kısacası, kaya gazı potansiyeli; yukarıdaki özellikleri taşıyan kayaların yeterli kalınlığa ve yayılıma sahip olduğu bölgelerde aranmaktadır (Yalçın, 2012).

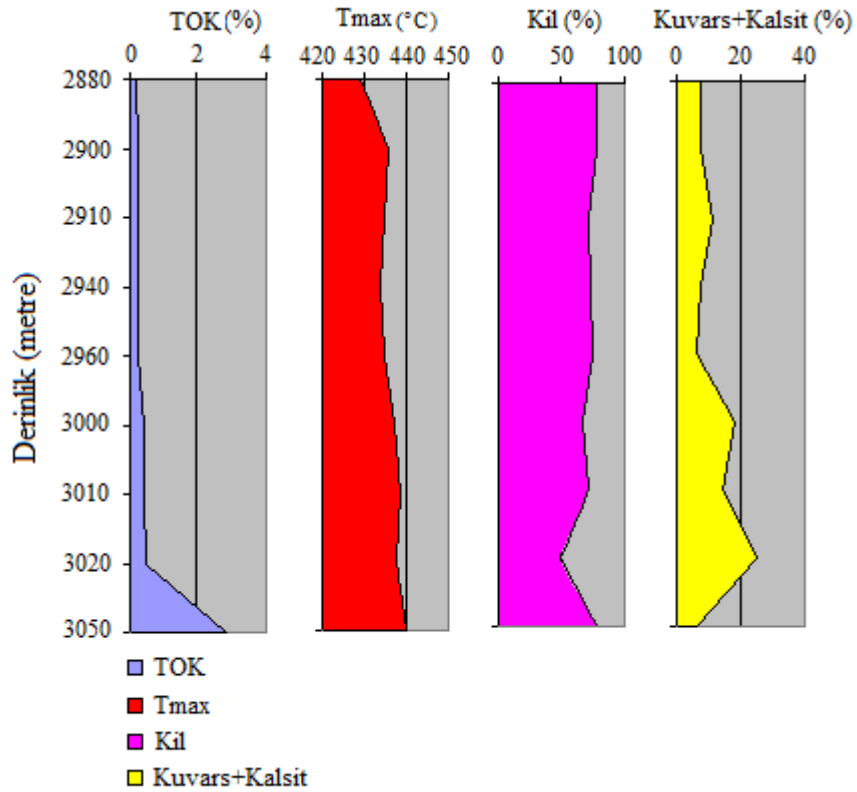
Çalışmamızda Çeltikli ve Derindere sahalarındaki kuyularda kesilen Dadaş Formasyonu'nun örneklerinden XRD, ICP ve Rock Eval analizleri ile tespit edilen bazı parametreleri kullanıp, bu birimin kaya gazı üretimi için uygun kriterlere sahip olup olmadığı tartışılmıştır.



Şekil 24. Şeyl (kaya) gazı üretiminde kullanılan yatay sondaj ve suyla çatlatma (hydrofracturing) teknolojisini şematik gösterimi

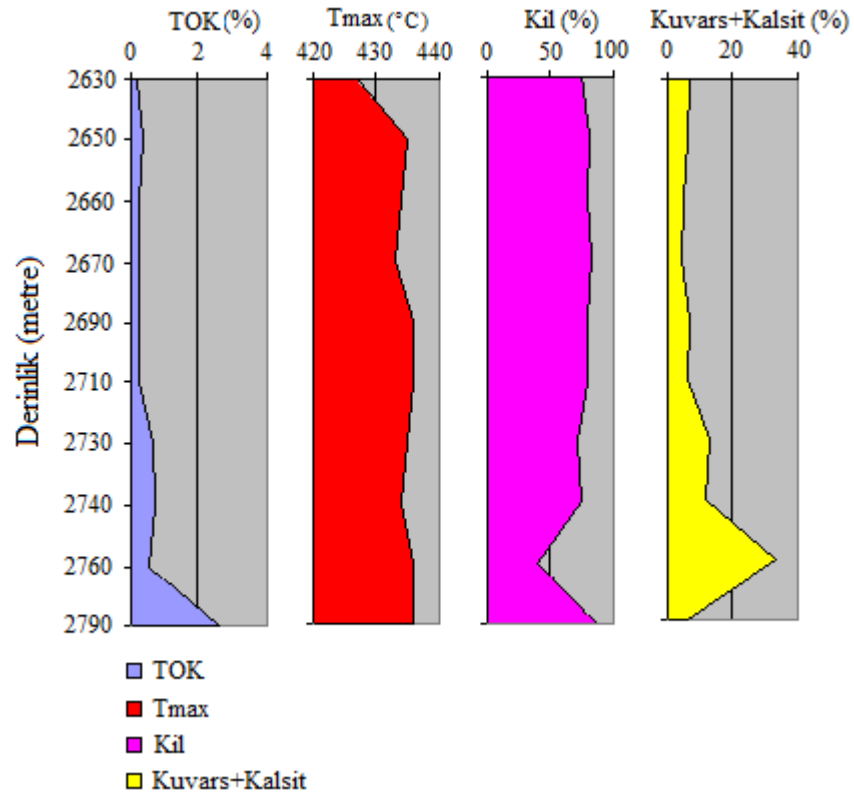
Yukarıda belirtilen kaya gazı elde etmek için gerekli olan bazı kriterler yeterli olmamakla beraber kaya gazı üretimi ve hidrolik çatlatma için fikir verebilecek ön

bulgulardır. Bu bağlamda sondaj kuyuları genel olarak ele alındığında Dadaş Formasyonu derinlere doğru gittikçe kil miktarının azaldığı, kuvars+kalsit gibi kırılabilirliği arttıran minerallerin bolluğunun arttığı ayrıca Tmax (olgunlaşma) ve Toplam Organik Karbon (TOK) miktarının da arttığı görülecektir (Şekil 25 ve 26). Bu veriler ele alındığında Derindere–1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu’nun 3020 ile 3050 metreleri arası, diğer seviyelere göre daha çatlatılabilir olduğu söylenebilir (Şekil 25).



Şekil 25. Derindere–1 sondaj kuyusuna ait bazı çatlatma parametrelerinin derinliğe göre değişim grafikleri.

Aynı şekilde Çeltikli–1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu’nun 2760 ile 2790 metreleri arası, diğer seviyelere göre daha çatlatılabilir olduğu söylenebilir (Şekil 26). Her iki kuyunun çatlatmaya müsait bu seviyelerinde organik madde miktarındaki artışın da olduğu düşünüldüğünde, bu seviyelerde şeyl gazı elde etmenin mümkün olabileceği belirlenmiştir.



Şekil 26. Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait bazı çatlatma parametrelerinin derinliğe göre değişim grafikleri.

9. SONUÇLAR

TPAO tarafından Derindere ve Çeltikli Sahalarında (Bismil Doğu'su, Diyarbakır) açılan Derindere-1 ve Çeltikli-1 sondaj kuyularında kesilmiş olan Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin tüm kayaç mineralojisi, kil mineralojisi, inorganik ve organik jeokimyasal özellikleri incelenerek bu birimin hidrokarbon kaynak kayası olabilme özellikleri belirlenip, bu kuyularda şeyl gazı veya kaya gazı üretebilmek için bazı parametreler irdelenmeye çalışıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Çalışma alanı Geç Miyosen yaşlı Şelmo Formasyonu'nun kırıntıları tarafından örtülmektedir.

Dadaş Formasyonu'nun tip kesit yeri Diyarbakır ili, Hazro ilçesi, Dadaş köyünün 1,5-2 km kadar doğu-kuzeydoğusunda yer almaktadır. Diyarbakır Grubu'nun en alt formasyonudur. Güneydoğu Anadolu'da açılmış olan kuyularda, Dadaş Formasyonu alttan üste doğru "Dadaş-I Üyesi", "Dadaş-II Üyesi" ve "Dadaş-III Üyesi" şeklinde gayri resmi olarak üç üyeye ayrılmaktadır. İnceleme alanında Dadaş Formasyonu yüzeyde mostra vermemektedir. Bu formasyon sadece kuyularda kesilmektedir. Derindere ve Çeltikli sahalarında açılmış kuyularda (Derindere-1 ve Çeltikli-1) kesilmiş Dadaş Formasyonu'nun, alt dokanağı Bedinan Formasyonu ile uyumsuz, Üst dokanağı ise, Hazro Formasyonu ile uyumludur. Yaşı Alt Silüriyen-Alt Devoniyen (Alt Gedinniyen)'dir. Birim bol miktarda, brakiyopod kavkıları ve krinoyid sapıları içermektedir ve sığ deniz-kıyı yakını-dalga-gel/git ortamında çökelmiştir (Erten,1983; Bozdoğan ve diğ., 1988).

Derindere-1 sondaj kuyusundan alınan örneklerde aritmetik ortalama esas alındığında mineral bollukları sırasıyla kil, feldispat, kalsit, dolomit ve kuvars mineralleri olduğu görülmektedir. Minerallere ait varyasyon katsayılarının ($V = S/X \times 100$) kil, feldispat ve dolomitte düşük olması bu örneklerin mineral bileşimlerinin benzerliğini yansıtmaktadır. Çeltikli-1 sondaj kuyusundan alınan örneklerde aritmetik ortalama esas alındığında mineral bollukları sırasıyla kil, feldispat, dolomit, kalsit ve kuvars mineralleri olduğu görülmektedir. Minerallere ait varyasyon katsayılarının kil, feldispat, kuvars ve dolomitte düşük olması bu örneklerin mineral bileşimlerinin benzerliğini yansıtmaktadır.

Her iki kuyuya ait kesinti şeyl örneklerinin Kübler indeksine (IC) göre illit kristalinite (IC) değerleri 0.5–1.8 arasındadır. Bu değerlere göre Derindere–1 ve Çeltikli–1 kuyusundan kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait kesinti şeyl örneklerinin tümünün diyajenetik zona denk geldiği belirlenmiştir. Örneklerin Weaver İndeksine (SR) göre keskinlik oranı (SR) değerleri ise 1.1–2.1 arasındadır. Bu değerlere göre Derindere–1 ve Çeltikli–1 kuyusundan kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait kesinti şeyl örneklerinin tümünün diyajenetik zona denk geldiği belirlenmiştir. Bu sonuçlara bakılarak örneklerin genel anlamda, erken olgun örnekler olduğu söylenebilir.

Jeokimyasal analiz sonuçları ile yapılan korelasyon analizleri ile silikat, sülfid ve karbonat fazları ortaya çıkarılmıştır. Her iki sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örneklerinin Kuzey Amerikan Şeylleri’ne benzer bir jeokimya sunduğu görülmüştür. Pettijohn ve diğ. (1972) diyagramındaki dağılımına göre her iki sondaj kuyusuna ait örnekler şeyl alnına düşmektedir.

Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait kesinti şeyl örneklerinin TOK değerlerine bakıldığında göre 16 örnek zayıf (kaynak kayaç olamaz), 4 örneğin ise iyi-zengin kaynak kayaç olabilir, olduğu sonucuna varılmıştır. Şeyl örneklerinin ortalama TOK değeri 0.68 olup, genel olarak istif bakıldığında kesinti şeyl örneklerinin organik maddece ‘orta zenginlikte’ olduğu, organik madde miktarının istifin tabanına doğru artarak en bol miktara ulaştığı ve üst seviyelerde organik madde miktarının azaldığı ve minimuma düştüğü gözlenmektedir. S_2 -TOK, H_I -OI ve H_I - T_{max} kerojen sınıflama grafiklerinde örneklerin çoğunluğu Tip III, az bir kısmı da Tip II kerojen alanında yer almaktadır. Kesinti şeyl örnekleri için S_2/S_3 Kerojen Tipi oranı ortalama 6.13 mgHK/gkaya olarak hesaplanmış olup bu değer, istifin genel olarak petrol-gaz (karışık) türetebilecek özellikteki bir kerojeni işaret ettiği görülmüştür. Genel olarak T_{max} değeri dikkate alındığında Derindere–1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu’na ait kesinti şeyl örneklerinin olgunlaşmamış-erken olgun düzeyde olduğu sonucuna varılmaktadır. Yani petrol türümüne giriş veya başlangıcına denk gelmektedir. Derindere–1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örnekleri için Üretim indeksi (Üİ) değerleri ile 11 örneğin olgunlaşmamış, 1 örneğin gaz türetebilecek ve 8 örneğin ise petrol türetebilecek olgunlukta olduğu tespit edilmiştir. Potansiyel Ürün (PÜ), değerleri Derindere–1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örnekleri için 16 adet örnek zayıf hidrokarbon, 1 örnek orta

hidrokarbon potansiyeli, geri kalan 3 örneğin ise iyi hidrokarbon potansiyeline sahip olduğunu işaret etmektedir.

Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin TOK değerlerine bakıldığında 11 örnek zayıf (kaynak kayaç olamaz), 4 örnek orta, 1 örnek iyi, 1 örnek zengin kaynak kayaç olabilir, olduğu sonucuna varılmıştır. Şeyl örneklerinin ortalama TOK değeri 0.54 olup, genel olarak istife bakıldığında kesinti şeyl örneklerinin 'orta kaynak kaya' sınıfında olduğu, organik madde miktarının istifin sonuna doğru artarak en bol miktara ulaştığı ve üst seviyelerde organik madde miktarının azaldığı ve minimuma düştüğü gözlenmektedir. S₂-TOK, Hİ-Oİ ve Hİ-T_{max} kerojen sınıflama grafiklerinde örneklerin çoğunluğu Tip III, az bir kısmı da Tip II kerojen alanında yer almaktadır. Kesinti şeyl örnekleri için S₂/S₃ Kerojen Tipi oranı ortalama 3.45 mgHK/gkaya olarak hesaplanmış olup bu değer, istifin genel olarak petrol-gaz (karışık) türetebilecek özellikteki bir kerojeni işaret ettiği görülmüştür. Genel olarak Tmax değeri dikkate alındığında Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örneklerinin olgunlaşmamış-erken olgun düzeyde olduğu sonucuna varılmaktadır. Yani petrol türümüne giriş veya başlangıcına denk gelmektedir. Çeltikli-1 sondaj kuyusuna ait kesinti şeyl örnekleri için Üretim indeksi (Üİ) değerleri ile 14 örnek olgunlaşmamış, 3 örnek petrol türetebilecek olgunlukta olduğu tespit edilmiştir. Potansiyel Ürün (PÜ), değerleri Çeltikli-1 kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'na ait kesinti şeyl örnekleri için 15 örnek zayıf hidrokarbon potansiyeline sahip, 1 örnek orta ve 1 örneğin ise iyi hidrokarbon potansiyeline sahip olduğunu işaret etmektedir.

Sondaj kuyuları genel olarak ele alındığında TOK artışına paralel olarak U, V, Ni, Cu, Ag, Mo, Sb, Cd ve Se gibi bazı iz elementlerin ortamda zenginleştiği görülmüştür.

Sondaj kuyuları genel olarak ele alındığında Dadaş Formasyonu, derinlere doğru gittikçe kil miktarının azaldığı, kuvars+kalsit gibi kırılabilirliği arttıran minerallerin bolluğunun arttığı ayrıca Tmax (olgunlaşma) ve Toplam Organik Karbon (TOK) miktarının da arttığı görülecektir. Bu veriler ele alındığında Derindere-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'nun 3020 ile 3050 metreleri arası, diğer seviyelere göre daha çatlatılabilir olduğu söylenebilir. Aynı şekilde Çeltikli-1 sondaj kuyusunda kesilmiş Dadaş Formasyonu'nun 2760 ile 2790 metreleri arası, diğer seviyelere göre daha çatlatılabilir olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Altunkaynak, M., 2001,** Kayayolu Sahasının Petrol Potansiyeli.Yüksek Lisans Tezi,Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 171 s (Yayınlanmamış).
- ASTM, 72,** Inorganic index to the powder diffraction file, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, Pennsylvania, 1432 p.
- Balkaş, Ö., Akkūlah, Z., Akçay, Y. ve Koraltay M., 1984,** Güneydoğu Anadolu'da Kaynak Kayaların Petrol Türüm Kapasiteleri Yönü ile Jeokimyasal Değerlendirmesi: T.P.A.O Arama Gurubu, Rapor No :1866/1-1866/2, c.I-II, 296 s.
- Barker, C., 1986.** Organic Geochemistry in Petroleum Exploration, AAPG Bulletin, 10, 39-41.
- Bordenave, M.L., Espitalie, J., Leplat, P., Oudin, J.L. and Vandenbroucke, M. 1993,** Screening Techniques for Source Rock Evaluation, In:Applied Petroleum Geochemistry (M.L., Bordenave, eds.), Paris.
- Bozdoğan, N., 1982a,** Güneydoğu Anadolu'da Hazro bölgesi Paleozoik istifinin palinostratigrafisi. TPAO Araştırma Merkezi,Rapor no. 409,16s.
- Bozdoğan, N., Bayçelebi, O. ve Willink, R., 1987,** Güneydoğu Anadolu Hazro Bölgesinde (X.Bölge kuzeyi) Paleozoyik stratigrafisi ve petrol üretkenliği: Türkiye 7.Petrol Kongresi, Jeoloji Bildirileri, s.117-130.
- Bozdoğan, N., Bayçelebi, O., ve Alişan, C., 1988,** Güneydoğu Anadolu X. ve XI. Bölgeler kuzeyindeki Ordovisiyen sonrası Paleozoik istifin stratigrafisi. TPAO Araştırma Merkezi, Rapor no.1280, 26s
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H. ve Kozlu, H., 2009,** Hazro (Diyarbakır) Bölgesi Paleozoyik –Alt Mesozoyik Yaşlı Sedimanter İstifin Mineralojisi: Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni c.21, sayı 1, s. 53-81.
- Demaison, G. and Huizinga, B.J., 1994,** Genetic Calsification of Petroleum Systems Using Tree Factors: Charge,Migration and Entrapment.In L.B.Magoon ve W.G. Dow,eds.The Petroleum Systems:From Source to Trap:AAPG Memoir 60, 7-80.
- Dunoyer de Segonzac, G., 1970,** The transformation of clay mineralsduring diagenesis and low grade methomorphism: a review, Sedimentology, 15, 281-346.
- Erten, T., 1983,** Hazro antiklinal alanında Dadaş Formasyonu ile Hazro ve Gomaniiirik Formasyonlarının sedimantolojisi,petrografik incelemesi ve ortamsal yorumu:TPAO araştırma Merkezi, Rapor no. 565,236 s.
- Espitalie, J., Deroo, G. ve Marquis F., 1985,** La pyrolyse Rock-Eval et ses applications : Revu de l'Institut Français du Petrole, 40, 139-1162.

- Espitalie, J., Madec, M. ve Tissot, B., 1977**, Source Rock Characterization, 9th Offshore Technology Conference, 439-444.
- Garver, J. I., Royce, P. R. and Scott, T. J., 1994**, The presence of ophiolites in tectonic highlands as determined by chromium and nickel anomalies in synorogenic shale: two examples from North America. *Russian Geol. Geophys.* **35**, 1–8.
- Gromet L.P., Dymek R.F., Haskin L.A. and Korotev R.L., 1984**, The “ North American Shale Composite”: its compilation, major and trace element characteristics. *Geochim.Cosmochim. Acta*, 48, 2469-2482.
- Gümüş, S., 1998**, Güneydoğu Anadolu Paleozoik Birimleri. TPAO Arama Grubu, Paleozoik Projesi, Ankara.
- Gündoğdu, N., 1982**, Neojen yaşlı sedimanter basenin jeolojik-mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi: Doktora tezi, H.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 386 s.
- Gündoğdu N. ve Yılmaz, O., 1984**, Kil Mineralojisi Yöntemleri, 1.Ulusal Kil Sempozyumu Bildirileri, Ç.Ü., 319-330.
- Harput, B., 1993**, Kaynak Kaya Değerlendirmesi, Petrol Jeologları için Organik Jeokimya (V.ř.Ediger ve C. Soylu, ed.), Ankara.
- Haskin M.A. and Frey F.A., 1966**, Dispersed and not-so-rare earths.*Science*, 152, 299-314.
- Hedberg, 1976**, International stratigraphic guide; a guide to stratigraphic classification terminology, and procedure: John Wiley and sons, New York, 200 p.
- Hunt, J.M., 1995**. Petroleum Geochemistry and Geology, New York.
- İztan, Y.H., 1993**, GDA X., XI ve XII Bölgelerde Dadaş, Bedinan ve Telbesmi Formasyonlarının Kaynak Kaya Potansiyelleri ve Petrol Kaynak Kaya Deneřtirmesi: TPAO Araştırma Merkezi, Rapor No: 3361, 339 s.
- İztan, Y.H., 2003**, GDA Bölgesi’nin Jeokimyasal Değerlendirilmesi:TPAO Arama Grubu, Rapor No: 4459, 85 s.
- İztan, Y.H., 2004**, Güneydoğu Anadolu X. ve XI.Bölgeler Paleozoyik Birimlerin (Dadaş,Bedinan) Jeokimyasal Değerlendirmesi: TPAO Araştırma Merkezi, Rapor No: 4539, 44 s.
- Jacobson, S.R., 1991**, Petroleum Source Rock ve Organic Facies.(Merrill, R.K., ed.),Source ve Migration Processesand Evaluation Techniques,Tulsa,American Association of Petroleum Geologists.
- Jarvie, D.M., 1991**, Total Organic Carbon (TOC) Analysis. Source ve Migration Processesand Evaluation Techniques,Tulsa,American Association of Petroleum Geologists.

- Jenner, G.A., Longerich, H.P., Jackson, S.E. and Freyer, B.J., 1990**, ICP-MS-a powerful tool for high precision trace element analyses in Earth sciences: evidence from analyses of selected U.S.G.S. reference samples. *Chemical Geology*, 83, 133-148.
- Kara Gülbay, R., 2004**, Kuzeybatı Anadolu' daki Bitümlü Şeylerin Organik Jeokimyasal Özellikleri, Çökelme Ortamları ve Hidrokarbon Potansiyeli. Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 208 s.
- Karabulut, A., Tezcan, Ü.Ş., Güven, A., Bozdoğan, N., Köylüoğlu, M., ve Balkaş, Ö., 1982**, Hazro antiklinali alanında (X.Bölge,Diyarbakır ili) Dadaş Formasyonu (Üst Silüriyen-Alt Devoniyen)ile Tanin Grubu'nun (Permien) stratigrafî, palinoloji, paleontoloji ve Hazro Formasyonu fasiyes analizi: TPAO Arama Grubu, Rapor no.1645, 127s.
- Karakaya, M.Ç., 2006**, Kil minerallerinin özellikleri ve tanımlama yöntemleri. 640s. Ankara.
- Kellogg, H.E., 1960**, Stratigraphic report, Hazro area,Petroleum District V, SE Turkey (American Overseas Petroleum (AMOSEAS) Report): Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu no:126 Rapor no. 1, 42s.
- Korkmaz, S., 1990**, Sivas Havzasında Ana Kaya Fasiyesi ve Petrol Oluşumunun Organik Jeokimyasal Yöntemlerle Araştırılması.Jeoloji Mühendisliği, s. 37,61-68.
- Korucu, M., US, E., Iravul, S., 1992**, Kayayolu-Boliş Ruhsatı Değerlendirme Raporu. TPAO Arama Grubu, Güneydoğu Anadolu Proje Grubu, Ankara.
- Körpe, L., 1998**. Kayayolu-Kastel-Didan-Karaali alanları Kantitatif Basen Değerlendirmesi. TPAO Arama Grubu ,Basen Analizi Müdürlüğü, Ankara.
- Kübler, B., 1967a**, La cristallinite de lillite et les zones tout a fait supérieures du métamorphisme. In Etages tectoniques.. Colloque de Neuchatel 1966, A la Baconniere. NeuchateL, Suisse, 105–121.
- Kübler, B., 1967b**, Anchimemamorphism et schistosite. Bull. Centre Rech. Pau - SNPA 1, 259 – 278,
- Kübler, B., 1968**, Evaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinite de finite. Bull, Centre Rech. Pau -SNPA 2, 385 -397.,
- Kübler, B., 1969**, Evaluation quantitative du metamorphisme par la cristallinite de l'illite. Bull. Centre Rech.Pau, SNPA 212, 385-397.
- Kübler, B., and Jaboyedoff., M. 2000**, Illite cristallinity.Eart and Plenatary Sciences, 331, 75-89.
- Langford, F.F. ve Blanc-Valleron, 1990**, Interpreting Rock-Eval Pyrolysis Data Using Graphs of Pyrozilable Hydrocarbons vs. Total Organic Carbon. AAPG Bulletin, 74, 799–804.

- McCann, T., 1991,** Petrological and geochemical determination of provenance in the southern Welsh Basin. *Developments in Sedimentary Provenance* (Morton, A. C., Todd, S. P. and Haughton P. D. W., eds.), Geol. Soc. Spec. Publi. **57**, 215–230.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. And Hanson, G. N., 1993,** Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments* (Johnsson, M. J. and Basu, A., eds.), Geol. Soc. Amer. Spec. Paper 284, 21–40.
- Merrill, R.K., 1991,** Source ve Migration Processesand Evaluation Techniques (Merrill, R.K., ed.), Oklahoma.
- Moore, D.M., and Reynolds, JR., 1989,** X-Ray Diffraction and the Identification and Analaysis of Clay Minerals, Oxford University Press, New York, 332 p.
- Mukhopadhyay, P.K., Wade, J.A., ve Kruge, M.A., 1995,** Organic Facies ve Maturation of Jurassic/Cretaceous Rocks, ve Possible Oil-Source Rock Corelation Based on Pyrolysis of Asphaltenes, Scotion Basin, Canada *Organic Geochemistry*, v. 22(1), 85-104.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M., 1982,** Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715– 717.
- Öncü, H., Yıldız, E.Z., ve Sakalhoğlu, S., 2001,** Kayayolu Sahası Değerlendirme Raporu: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 4186, 48s.
- Peters, K.E., 1986,** Guidelines for Evaluating Petroleum Source Rock Used Programmed Pyrolysis. *AAPG Bulletin*, 70, 318-329.
- Peters, K.E. and Moldovan, J.M., 1993,** *The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sedimentes*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Pettijohn F.J., Potter P.E. and Siever R., 1972,** *Sand and sandstones*. Springer-Verlag, New York.
- Philp, R.P. and Galvez-Sinibaldi, 1991,** Charectarization of Organic Matter by Various Pyrolysis Techniques. In, *Source ve Migration Processesand Evaluation Techniques* (Merrill, R.K., ed.), Oklahoma.
- Rahman, M. J. J. and Faupl, P., 2003b,** The composition of the subsurface Neogene shales of the Surma Group from the Sylhet Trough, Bengal Basin, Bangladesh. *Sedimentary geology of the Bengal Basin, Bangladesh, in relation to the Asia-Greater India collision and the evolution of the eastern Bay of Bengal*. *Sediment. Geol.* 155 (Alam, M. M. and Curray, J. R. eds.), 407–417, Elsevier Science.
- Ritts, B.D., Hanson, A.D., Zinniker, D. and Moldovan, J.M., 1999,** Lower-Middle Jurassic Nonmarine Source Rock and Petroleum System of the Northern Qaidam Basin, Nortwest China, *AAPG Bulletin*iv. 83, n.12, 1980-2005.

- Tissot, B.P. and Welte, D.H., 1984,** Petroleum Formation and Occurrence, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Germany.
- Tosunkara, A., 1998,** Kayayolu Sahası Jeolojisi ve Petrol Olanağı Değerlendirmesi. TPAO Arama Grubu, Güneydoğu Anadolu Projesi, Ankara.
- Yalçın, M.N., Littke, R. Ve Sachsenhofer, R.F., 1997,** Termal History of Sedimentary Basins. Petroleum ve Basin Evaluation (D.H. Welte, B.Horsfield, D.R. Baker, eds.) Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Yalçın, M.N., 2012,** Kaya Gazı (Shale Gas): Doğal Gaz Dergisi, Kasım-Aralık 2012, Sayı. 175, s.66-68. ISSN 1305-2055.
- Yılmaz, E., Duran, O., 1997,** Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allakton Birimler Stratigrafi Adlama Sözlüğü. TPAO Araştırma Merkezi Grubu Başkanlığı, Eğitim Yayınları No:31, Ankara, 460 s.
- Waples, D.W., 1985,** Geochemistry in Petroleum Exploration, Boston.
- Weaver, C.E., 1960,** Possible uses of clay minerals in search for oil, Bull.Am.Ass.Petrol.Geol. 44, 1505-1518.

ÖZGEÇMİŞ

28.11.1984 tarihinde Batman'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Batman'da tamamladı. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitime başladı. Şu an Batman ve Siirt İl'lerinde özel şirket yöneticisi ve saha mühendisi olarak çalışmakta olan Ümit IŞIK'ın Radyoaktivite ve Petrol Jeolojisi alanında çok sayıda ulusal ve uluslararası çalışmaları mevcuttur.