

**GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ DADAŞ
FORMASYONU'NUN ORGANİK VE İNORGANİK
JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

**ORGANIC AND INORGANIC GEOCHEMICAL
CHARACTERISTICS OF DADAŞ FORMATION IN THE
SOUTHEASTERN ANATOLIA REGION**

YAĞMUR İNAL EMİROĞLU

PROF. DR. ABİDİN TEMEL

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
DOKTORA TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2020

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

11/12/2020

YAĞMUR İNAL EMİROĞLU

YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir.
- ☐ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

11/12/2020

YAĞMUR İNAL EMİROĞLU

ÖZET

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ DADAŞ FORMASYONU'NUN ORGANİK VE İNORGANİK JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

YAĞMUR İNAL EMİROĞLU

Doktora, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Abidin TEMEL

Aralık 2020, 328 sayfa

Şeyl petrol ve şeyl gaz rezervuarları tüm dünyada önemli bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda Dadaş Formasyonu'nun hem kaynak hem de rezervuar kaya statüsüne sahip olabileceği araştırılmaktadır. Bu çalışmada Dadaş Formasyonu'ndan Çat, Çermik/Korudağ, Diyarbakır ve Bismil civarında toplam beş lokasyonda yüzey ve kuyu örnekleri (kırıntı ve karot) alınmıştır. Örneklerin mineralojik bileşimini kil, kuvars, mika ve feldispat ile az miktarda kalsit, dolomit ve pirit oluşturmaktadır. İnce kesit çalışmalarında kırıntılı doku gözlenen şeyllerde hakim litoloji kilce zengin silisli çamurtaşı, silisçe zengin killi çamurtaşı ve karışık killi çamurtaşıdır. XRD kil fraksiyonu analizi sonuçlarına göre örnekler başlıca illit, kaolinit ile az miktarda klorit içermektedir. İllit kristalinite (IC_{CIS}), Keskinlik Oranı (SR) ve Klorit Kristalinite (ChC) değerleri “sığ diyajenetik zon-düşük ankizon” ve “metamorfizma başlangıcı”na işaret etmektedir. Dadaş Formasyonu'nun Kırılgenlik Faktörü (BI), Young/Elastisite Modülü (E_K) ve Sertlik (H_K) değerleri sırasıyla %28-56, 40-56 GPa ve 0.85-2.28 GPa arasında hesaplanmıştır. Yüksek silika içeriğiyle Çat ÖSK'sı hidrolik çatlatmaya uygun görünmektedir. Örnekler %0.73-7.51 arasında Toplam Organik Karbon (TOK) içeriği ile ekonomik şeyl petrol ve şeyl gaz potansiyeline sahip seviyelere işaret etmektedir. Rock-Eval piroliz parametrelerine göre yüzey örnekleri hidrokarbon dönüşümünün yüksek oranda gerçekleştiği (TR, %92.41-%99.58) “Tip IV kerojen

ve gaz penceresi”nde, kuyu örnekleri ise “Tip II kerojen ve petrol penceresi”nde yer almaktadır. Bugünkü HI (mg HC/g TOK) değeri üzerinde mineral matriks etkisi, S₂ ve TOK içeriği regresyon denklemi ve graptolit kavkılarında SEM-EDAX analizi ile değerlendirilmiştir. Graptolit kavkılarında C, O elementlerine ek olarak mineral matriks ile ilişkili Al, Si, Mg, Ca, Fe, S elementleri saptanmıştır. Termal olgunluk azaldıkça C element yüzde miktarı (%86.63’e kadar) yükselmektedir ve matriks ile ilişkili element miktarında yüksek miktarda düşüş yaşanmaktadır. Dadaş Formasyonu’nun organik madde bileşenlerini; amorf organik madde (AOM), palinomorf ve zooklastlar oluşturmaktadır. Graptolitler Aroniyen-Telisiyen yaş aralığını temsil etmektedir. Palinomorflar ise Geç Ruddaniyen-Erken Venlok çökelim yaşına işaret etmektedir. Dadaş Formasyonu’nda hem taneseli hem de taneseli olmayan graptolit morfolojisi saptanmıştır. Graptolit reflektansı (GR) bireflektans ve random değerleri %0.72 ile %2.59 (%VRE_{gr}≈0.69-2.05) arasında değişmektedir ve “petrol penceresi” ile “kuru gaz penceresi” arasındadır. %VRE_{Tmax} değerleri ise yüzey örneklerinin düşük S₂ değerleri nedeniyle %VRE_{gr} değerlerine göre daha yüksek değerlerde (%2.01-%3.28) hesaplanmıştır. Graptolitlere ait Raman spektroskopisi D bandı (1350.46-1358.76 cm⁻¹) değerleri termal olgunluk ile ters orantılıdır. G-D bant ayrımı ile %GR değerleri arasında pozitif korelasyon saptanmıştır. Farklı termal olgunluktaki Dadaş Formasyonu örneklerinde Cıva Porozimetresi (MCIP), Rock-Eval piroliz bazlı hesaplanan organik porozite (Ø_{org}), SEM ve FIB-SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. MCIP analizinde gözenek çapı 3 nm-10 µm arasında değişmektedir ve mezopor hakimdir. Ø_{org} değerleri kerojen içinde ortalama miktarı %5.26 ile %35.71 arasındayken, şeyl içindeki miktarı ise %0.28 ile %1.18 arasında değişmektedir. Ø_{org} değerleri termal olgunluk arttıkça yükselmektedir. SEM ve FIB-SEM analizine göre hakim gözenek tipi interP gözeneklerdir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre Dadaş Formasyonu bölgede kuzeybatıdan güneydoğuya doğru aşırı olgun, olgun ve erken olgun olmak üzere gruplandırılmıştır ve her olgunlukta intraP organik madde gözenekleri gözlenmiştir. Yüzey örnekleri %VRE değerleri ile şeyl gaz, kuyu örnekleri ise OSI değerlerine göre şeyl petrol üretimi için yeterli olgunluğa sahiptir. Bu çalışma, Dadaş Formasyonu’nun ankonvansiyonel kaynak kaya karakteristiklerinin anlaşılmasına ve değerlendirilmesine katkıda bulunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Dadaş Formasyonu, Siluriyen, Termal Olgunluk, Graptolit, Şeyl Petrol, Şeyl Gaz, Organik, İnorganik.

ABSTRACT

ORGANIC AND INORGANIC GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF DADAŞ FORMATION IN THE SOUTHEASTERN ANATOLIA REGION

YAĞMUR İNAL EMİROĞLU

Doctor of Philosophy, Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Abidin TEMEL

December 2020, 328 pages

Shale oil and shale gas reservoirs have become an important energy source all over the world. Dadas Formation has a double role as source rock and reservoir rock in recent studies. Outcrop and well samples (cuttings and core) were taken from formation at five locations in around Çat, Çermik/Korudağ, Diyarbakır and Bismil. The mineralogical composition of shales is clay, quartz, mica and feldspar minerals and small amounts dolomite, calcite and pyrite minerals. The predominant lithology in shales identified to have detrital texture according to thin section studies is clay-rich siliceous mudstone, silica-rich clayey mudstone and mixed argillaceous mudstone. XRD clay diffraction analysis shows that samples mainly contain illite, kaolinite and minor chlorite. According to Illite crystallinity (IC_{CIS}), Sharpness Ratio (SR) and Chlorite crystallinity (ChC) values, the samples are in “early diagenetic zone-low anchizone” and “onset of metamorphism”. Brittleness index (BI), Young’s/Elastic Modulus (E_K) and Hardness (H_K) values of the Dadaş Formation vary between 28-56%, 40-56 GPa and 0.85-2.28 GPa, respectively, and the highest values were determined in Çat ÖSK. Dadaş Formation has a economic shale oil and shale gas potential with Total Organic Carbon (TOC) content between 0.73% and 7.51%. Rock-Eval pyrolysis analysis results show that surface samples are found in “Type IV and gas window” where hydrocarbon conversion occurs at a high rate (TR, 92.41-99.58%), while well

samples are located in “Type II kerogen and oil window”. The mineral matrix effect causing lower values than present day HI (mg HC/g TOC) values were evaluated by regression equation of S_2 and TOC content and SEM-EDAX analysis in graptolite periderm. The results detected in graptolite periderm with C, O associated with the mineral matrix the element Al, Si, Mg, Ca, Fe, S elements are determined. As the thermal maturity of shale decreases, the percentage of C element (up to 86.63%) increases and there is a considerable decrease in the amount of elements associated with the matrix. Organic material components of Dadaş Formation; amorf organic matter (AOM), palynomorphs and zooclasts. The graptolites observed in the samples are Aronian-Telychian represents the age range. Palynomorphs indicate the Late Ruddanian-Early Venlock depositional age of the formation. Both granular and non-granular graptolite morphology has been detected in Dadaş Formation. The bireflection and random values of graptolite reflectance (GR) range from 0.72% to 2.59% ($VRE_{gr} \approx 0.69-2.05\%$), indicating thermal maturity between the “oil window” and the “dry gas window”. The calculated VRE_{Tmax} values were found to be higher (2.01-3.28%) than VRE_{gr} values due to low S_2 values in surface samples. Raman spectroscopy of graptolites D band values (1350.46-1358.76 cm^{-1}) have a negative correlation with thermal maturity level. On the other hand, G-D band separation and %GR values have a positive correlation. MCIP, Rock-Eval based organic porosity ($\emptyset_{org}$), SEM and FIB-SEM analyzed were performed on Dadaş Formation with different thermal maturity. According to the MCIP results, the pore diameter of the samples varies between 3 nm-10 μm and the mesopore is dominant. $\emptyset_{org}$ values were calculated with Rock-Eval pyrolysis parameters, as the percentage in kerogen and shale. While $\emptyset_{org}$ values are between 5.26% and 35.71% on average in kerogen, in shale varies between 0.28% and 1.18%. $\emptyset_{org}$ values increase as thermal maturity increases. The dominant pore type are interP pores determined via SEM and FIB-SEM analysis. According to all analysis results obtained from the samples taken in this study, Dadaş Formation is grouped from northwest to southeast in the region as overmature, mature and early mature and intraP organic matter pores were observed in each thermal maturity. As a result, well samples based on OSI values could possibly have shale oil potential and outcrop samples may have shale gas potential with %VRE values. The results

obtained in this study will contribute to the understanding and evaluation of the unconventional resource characteristics of Dadaş Formation.

Keywords:Dadas Formation, Silurian, Thermal Maturity, Graptolite, Shale Oil, Shale Gas, Organic, Inorganic.

TEŞEKKÜR

Bilgisini ve tecrübelerini tüm öğrencilerinden esirgemeyen ve lisansüstü eğitimim süresince bana destek veren çok değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Abidin TEMEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez İzleme Komitesi'nde bulunan değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Halim MUTLU'ya ve Doç. Dr. Elif VAROL MURATÇAY'a teşekkür ederim. Tez jürimde bulunan ve çok değerli görüşlerini benimle paylaşan Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı DEMİREL ve Sayın Prof. Dr. Aynur BÜYÜKUTKU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmaları sırasında TPAO Genel Müdürlüğü Arama Daire Başkanlığı, TPAO Adıyaman Bölge Müdürlüğü imkânlarından faydalanılmıştır. Sayın Dr. Yılmaz GÜNAY arazi çalışmalarına eşlik etmiş, deneyimlerini paylaşmış ve sonsuz yardımlarını esirgememiştir. Sayın Dr. Remzi AKSU büro çalışmalarında destek olmuşlardır. Arazi çalışmalarında desteğini esirgemeyen Sayın Yüksek Mühendis Bulut TORTOPOĞLU'na teşekkür ederim. Kuyu örneklerini benimle paylaşarak tez çalışmasına büyük katkılar sunan Çalık Petrol Arama Üretim Sanayi ve Ticaret A. Ş. ve Güney Yıldızı Petrol Üretim Sondaj Müth. Ve Ticaret A.Ş. şirketlerinin desteği ve izni için çok teşekkür ederim. Rock-Eval piroliz analizi çalışmaları için TPAO Genel Müdürlüğü Araştırma Daire Başkanlığı'na teşekkür ederim. Cıva Porozimetresi analizi için ODTÜ Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'na, XRD tüm kayaç analizi, Raman Spektroskopisi, SEM ve FIB-SEM çalışmaları için Bilkent Üniversitesi UNAM (Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi)'ne, FIB-SEM çalışması için Sabancı Üniversitesi SUNUM (Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi)'ne ve Sayın Doç. Dr. Meltem SEZEN'e teşekkür ederim. Palinomorf çalışmaları sırasında bilgi birikimleri ile beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Zühtü BATI ve Sayın Dr. Recep Hayrettin SANCA'ya çok teşekkür ederim. Organik petrografi çalışmaları sırasında tezimin gelişimine yaptıkları katkılardan dolayı Sayın Prof. Dr. Ali İhsan KARAYİĞİT'e çok teşekkür ederim. İnce kesit çalışmaları için Hacettepe Üniversitesi İnce Kesit Laboratuvarı'na teşekkür ederim. AFM (Atomik Kuvvet Mikroskobu) analizi denemelerine yardımcı olan Sayın Yunus Emre BÜLBÜL'e teşekkür ederim. Rock-Eval kaynaklı organik porozite hesaplamalarında sabırla bana yardımcı olan Sayın Dr. Zhuoheng Chen'e çok teşekkür ederim. Graptolit yaş değerlendirmelerinde görüşlerini paylaşan Dr. Jörg Maletz'e ve Prof. Dr. Jan Zaasiewicz'e teşekkür ederim.

Zor zamanlarımda bana destek olan sevgili arkadaşım Yüksek Mühendis Zeynep DİNÇER KIRMAN'a çok teşekkür ederim. Her zaman desteğini hissettiren sevgili arkadaşlarım Dr. Güllü Deniz KÜLAHCI, Öğr. Gör. Dr. Esra KILIÇ, Dr. Burcu KAHRAMAN'a sevgi ve teşekkürlerimi sunarım. Hayatımda bana varlıklarıyla güç veren eşim Hüseyin Serdar EMİROĞLU'na, anneme, babama, ağabeyime, Emre Cem ve Fatma EMİROĞLU'na teşekkür ederim. Son olarak bu tez çalışması için beni yüreklendiren, maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen sevgili rahmetli kayınpederim Hasan EMİROĞLU'na en içten duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xx
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı.....	3
1.3. Önceki Çalışmalar.....	4
2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ	13
2.1. Giriş.....	13
2.2. Bölgesel Jeoloji	13
2.3. Çalışma Alanının Stratigrafisi.....	19
2.3.1. Güneydoğu Anadolu Otoktonu	19
2.3.2. Allokon Birimler.....	29
3. ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ.....	38
3.1. Arazi Çalışmaları.....	38
3.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	38
3.2.1. XRD Tüm Kayaç Analizi	38
3.2.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi	39
3.2.3. Mikroskop Çalışmaları	40
3.2.4. Rock-Eval Piroliz Analizi.....	41
3.2.5. Palinolojik Çalışmalar	42
3.2.6. Optik Organik Petrografik Çalışmalar	43
3.2.7. Raman Spektroskopisi.....	43

3.2.8. Cıva Porozimetre (MCIP)	44
3.2.9. SEM-EDAX Analizi	45
3.2.10. FIB-SEM Analizi	45
4. MİNERALOGİK ÇALIŞMALAR	47
4.1. Giriş	47
4.2. Çat Ölçülü Stratigrafik Kesiti	48
4.2.1. XRD Tüm Kayaç Analizi Sonuçları	48
4.2.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi Sonuçları	50
4.2.3. İnce Kesit Çalışmaları	51
4.3. Çermik Ölçülü Stratigrafik Kesiti	55
4.3.1. XRD Tüm Kayaç Analizi Sonuçları	55
4.3.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi Sonuçları	57
4.3.3. İnce Kesit Çalışmaları	58
4.4. Diyarbakır-1 Kuyu Örnekleri	61
4.4.1. XRD Tüm Kayaç Analizi Sonuçları	61
4.4.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi Sonuçları	62
4.4.3. İnce Kesit Çalışmaları	63
4.5. Bismil-2 Kuyu Örnekleri	64
4.5.1. XRD Tüm Kayaç Analizi Sonuçları	64
4.5.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi Sonuçları	66
4.5.3. İnce Kesit Çalışmaları	67
4.6. Bismil-1 Kuyu Örnekleri	67
4.6.1. XRD Tüm Kayaç Analizi Sonuçları	67
4.6.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi Sonuçları	69
4.6.3. İnce Kesit Çalışmaları	70
5. TOK ve ROCK-EVAL PİROLİZ ANALİZİ	73
5.1. Giriş	73

5.2. Çat Ölçülü Stratigrafik Kesiti Örneklerinin TOK ve Rock-Eval Piroliz Analizi Sonuçları.....	78
5.3. Çermik Ölçülü Stratigrafik Kesiti Örneklerinin TOK ve Rock-Eval Piroliz Analizi Sonuçları	79
5.4. Diyarbakır-1 Kuyu Örneklerinin TOK ve Rock-Eval Piroliz Analizi Sonuçları	81
5.5. Bismil-2 Kuyu Örneklerinin TOK ve Rock-Eval Piroliz Analizi Sonuçları	83
5.6. Bismil-1 Kuyu Örneklerinin TOK ve Rock-Eval Piroliz Analizi Sonuçları	85
5.7. Mineral Matriks Etkisi	86
5.7.1. Rock-Eval S ₂ ve TOK İçeriğinin Regresyon Analizi	86
5.7.2. Graptolitlerde SEM-EDAX Analizi	90
5.8. İlkse Parametrelerin Hesaplaması	95
5.8.1. İlkse Hidrojen İndeksi (Hl ₀).....	95
5.8.2. Transformasyon oranı (TR)	100
5.8.3. Boyutsuz S ₂ /DL ve TOK ₀ /DL değerleri.....	104
6. GRAPTOLİTLER VE PALİNOLOJİK ÇALIŞMALAR.....	108
6.1. Giriş	108
6.2. Graptolit Değerlendirmeleri	108
6.3. Siluriyen Palinolojisi	113
6.3.1. Çat ÖSK	114
6.3.2. Çermik ÖSK.....	115
6.3.3. Diyarbakır-1 Kuyu Örnekleri	116
6.3.4. Bismil-2 Kuyu Örnekleri	117
6.3.5. Bismil-1 Kuyu Örnekleri	118
7. TERMAL OLGUNLUK ÇALIŞMALARI.....	120
7.1. Giriş	120
7.2. Kristalinite Çalışmaları	121
7.2.1. Çat ÖSK	123

7.2.2. Çermik ÖSK.....	123
7.2.3. Diyarbakır-1 Kuyu Örnekleri	124
7.2.4. Bismil-2 Kuyu Örnekleri	125
7.2.5. Bismil-1 Kuyu Örnekleri	126
7.3. Rock-Eval Tmax ile Vitrit Reflektansı Eşdeğeri Dönüşümü.....	127
7.3.1. Çat ÖSK	128
7.3.2. Çermik ÖSK.....	129
7.3.3. Diyarbakır-1 Kuyu Örnekleri	130
7.3.4. Bismil-2 Kuyu Örnekleri	131
7.3.5. Bismil-1 Kuyu Örnekleri	132
7.4. Optik Organik Petrografik Çalışmalar.....	133
7.4.1. Çat ÖSK	137
7.4.2. Çermik ÖSK.....	140
7.4.3. Diyarbakır-1 Kuyu Örnekleri	142
7.4.4. Bismil-2 Kuyu Örnekleri	145
7.4.5. Bismil-1 Kuyu Örnekleri	149
7.5. Graptolitlerin Raman Spektroskopisi.....	153
8. POROZİTE ÇALIŞMALARI.....	159
8.1. Giriş	159
8.2. Cıva Porozimetresi Analizi	160
8.3. Organik Porozite Hesaplaması (Rock-Eval Verileri ile)	168
8.4. Görsel Porozite Çalışmaları	180
8.4.1. SEM Çalışmaları.....	185
8.4.2. FIB-SEM Çalışmaları	192
9. TARTIŞMA	196
9.1. Mineral Kırılma Faktörü Değerlendirmeleri.....	196
9.2. Dadaş Formasyonu'nun TOK, Rock-Eval Piroliz Analiz Sonuçlarının Değerlendirmeleri.....	204

9.3. Mineral Matriks Etkisi Değerlendirmeleri	213
9.4. Dadaş Formasyonu'nun Yaşlandırmaya Yönelik Değerlendirmesi	214
9.5. Palinofasiyes Değerlendirmeleri.....	219
9.6. Rock-Eval piroliz Tmax ile Kristalinite İlişkisi.....	222
9.7. Termal Olgunluğun Raman Spektroskopisi ile İncelenmesi	224
9.8. Porozite Değerlendirmeleri	227
10. SONUÇLAR	233
KAYNAKLAR.....	240
EKLER	280
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen ve hesaplanan parametreler (Jarvie ve Baker, 1984; Peters ve Cassa, 1994; Behar ve ark., 2001).	42
Çizelge 4.1.	Çat ÖSK örneklerinin XRD tüm kayaç yüzde bolluk mineral dağılımları.	49
Çizelge 4.2.	Çat ÖSK örneklerinin XRD kil fraksiyonu yüzde bolluk mineral dağılımları.	51
Çizelge 4.3.	Çermik ÖSK örneklerinin XRD tüm kayaç yüzde bolluk mineral dağılımları.	55
Çizelge 4.4.	Çermik ÖSK örneklerinin XRD kil fraksiyonu yüzde bolluk mineral dağılımları.	58
Çizelge 4.5.	Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin XRD tüm kayaç yüzde bolluk mineral dağılımları.	61
Çizelge 4.6.	Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin XRD kil fraksiyonu yüzde bolluk mineral dağılımları.	63
Çizelge 4.7.	Bismil-2 kuyu örneklerinin XRD tüm kayaç yüzde bolluk mineral dağılımları.	66
Çizelge 4.8.	Bismil-2 kuyu örneklerinin XRD kil fraksiyonu yüzde bolluk mineral dağılımları.	66
Çizelge 4.9.	Bismil-1 kuyu örneklerinin XRD tüm kayaç yüzde bolluk mineral dağılımları.	68
Çizelge 4.10.	Bismil-1 kuyu örneklerinin XRD kil fraksiyonu yüzde bolluk mineral dağılımları.	70
Çizelge 5.1.	Kerojen tipleri (Tissot ve ark., 1974; Hunt, 1979; Waples, 1985; Peters ve Cassa, 1994; Vandenbroucke, 2003; McCarthy ve ark., 2011).	74
Çizelge 5.2.	TOK içeriğine göre petrol potansiyeli.	75
Çizelge 5.3.	S ₁ ve S ₂ değerlerine göre petrol potansiyeli.	76
Çizelge 5.4.	Tmax değerlerinin işaret ettiği termal olgunluk dereceleri.	76
Çizelge 5.5.	HI değerinin işaret ettiği kerojen tipi ve türeyen hidrokarbon tipi sınır değerleri.	77

Çizelge 5.6.	PI (Üretim İndeksi) değerlerine göre petrol potansiyeli.....	77
Çizelge 5.7.	QI (S_2/S_3) değerinin işaret ettiği kerojen tipi ve türeyen hidrokarbon tipi sınır değerleri.	78
Çizelge 5.8.	Çat ÖSK örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametre verileri.....	78
Çizelge 5.9.	Çat ÖSK örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametrelerden hesaplanan parametre verileri.	79
Çizelge 5.10.	Çermik ÖSK örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametre verileri.....	80
Çizelge 5.11.	Çermik ÖSK örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametrelerden hesaplanan parametre verileri.	80
Çizelge 5.12.	Diyarbakır-1 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametre verileri.	82
Çizelge 5.13.	Diyarbakır-1 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametrelerden hesaplanan parametre verileri.	82
Çizelge 5.14.	Bismil-2 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametre verileri.	84
Çizelge 5.15.	Bismil-2 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametrelerden hesaplanan parametre verileri.	84
Çizelge 5.16.	Bismil-1 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametre verileri.	85
Çizelge 5.17.	Bismil-1 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametrelerden hesaplanan parametre verileri.	85
Çizelge 5.18.	Dadaş Formasyonu'nun S_2 -TOK grafiklerinin regresyon denklemleri.	88
Çizelge 5.19.	Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'ye göre hesaplanan HI_o değerleri.....	98
Çizelge 5.20.	TR (%) aralığının karşılık geldiği pencere (Jarvie, 2004).....	101
Çizelge 5.21.	Eşitlik 3'e ve 4'e göre hesaplanan Transformasyon Oranı (%) değerleri.	102
Çizelge 5.22.	S_2/DL ve TOK_o/DL değerleri.	105

Çizelge 7.1.	Weaver indeksi (SR) değerlerine karşılık gelen metamorfizma derecesi.	122
Çizelge 7.2.	İllit kristalinite (IC) değerlerine karşılık gelen metamorfizma derecesi.	122
Çizelge 7.3.	Klorit kristalinite (ChC)) değerlerine karşılık gelen metamorfizma derecesi.....	123
Çizelge 7.4.	Çat ÖSK örneklerinin illit kristalinite (IC) ve keskinlik oranı (SR) değerleri.	123
Çizelge 7.5.	Çermik ÖSK örneklerinin illit kristalinite (IC) ve keskinlik oranı (SR) değerleri.	124
Çizelge 7.6.	Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin klorit kristalinite (ChC), illit kristalinite (IC) ve keskinlik oranı (SR) değerleri.	125
Çizelge 7.7.	Bismil-2 kuyu örneklerinin illit kristalinite (IC) ve keskinlik oranı (SR) değerleri.	126
Çizelge 7.8.	Bismil-1 kuyu örneklerinin illit kristalinite (IC) ve keskinlik oranı (SR) değerleri.	127
Çizelge 7.9.	%VR ve %VRE _{Tmax} sınır değer aralıkları.	128
Çizelge 7.10.	Çat ÖSK Dadaş Formasyonu'nun hesaplanan %VRE _{Tmax} değerleri.....	129
Çizelge 7.11.	Çermik ÖSK Dadaş Formasyonu'nun hesaplanan %VRE _{Tmax} değerleri.....	130
Çizelge 7.12.	Diyarbakır-1 kuyu örnekleri Dadaş Formasyonu'nun hesaplanan %VRE _{Tmax} değerleri.....	131
Çizelge 7.13.	Bismil-2 kuyu örnekleri Dadaş Formasyonu'nun hesaplanan %VRE _{Tmax} değerleri.	132
Çizelge 7.14.	Bismil-1 kuyu örnekleri Dadaş Formasyonu'nun hesaplanan %VRE _{Tmax} değerleri.	133
Çizelge 7.15.	Petrol ve gaz üretimi için beklenen %VR sınır değer aralıkları (Dow, 1977; Senftle ve Landis, 1991; Dembicki, 2009).	137
Çizelge 7.16.	Kerojen tiplerine göre hidrokarbon üretiminin başladığı %VR değerleri (Tissot, 1984; Petersen ve Hickey, 1987; Sweeney ve ark., 1987; Tissot ve ark., 1987; Dembicki, 2009).....	137

Çizelge 7.17. Çat ÖSK örneklerinin %GR _{max} , %GR _{min} ve hesaplanan %VRE _{gr} değerleri.	138
Çizelge 7.18. Çermik ÖSK örneklerinin %GR _{max} ve %GR _{min} ve hesaplanan %VRE _{gr} değerleri.....	141
Çizelge 7.19. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin %GR _r ve hesaplanan %VRE _{gr} değerleri.....	144
Çizelge 7.20. Bismil-2 kuyu örneklerinin %GR _r ve hesaplanan %VRE _{gr} değerleri.....	146
Çizelge 7.21. Bismil-1 kuyu örneklerinin %GR _r ve hesaplanan %VRE _{gr} değerleri.....	150
Çizelge 7.22. Dadaş Formasyonu graptolitlerinin Raman spektrometresi sonuçları.	156
Çizelge 8.1. MCIP analizi interpartikül, intrapartikül ve toplam porozite sonuçları.	161
Çizelge 8.2. Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin Kuchinskiy (2013) hesaplamasına göre Çat ve Çermik ÖSK örneklerinin organik porozite değerleri.	171
Çizelge 8.3. Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin Chen ve Jiang (2016) hesaplamasına göre organik porozite değerleri.	178
Çizelge 9.1. Dadaş Formasyonu'nun BI (Kırılganlık Faktörü), E (Young Modülü) ve H (Sertlik) değerleri.	200
Çizelge 9.2. Dünyada bilinen şeyl gaz rezervuarlarına ait E ve H değerleri (Kumar ve ark., 2012; Miskimins, 2012; Rezaee, 2015).	203

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Çalışma alanı yer bulduru haritası.	3
Şekil 1.2.	Ordovisiyen, Siluriyen ve Devoniyen yaşlı kaynak kayalar için dünyadan örnekler (Peters ve ark., 2005'ten alınmıştır).	7
Şekil 1.3.	Dünya birincil enerji kaynakları (Nakicenovic ve ark., 1998; Salvador, 2005).	8
Şekil 2.1.	a) Orta Doğu'nun plaka tektonik haritası (Sismik aktiviteye dayalı plakalar arası yakınsama bölgesi verileri Mc Kenzie ve ark., 1970; Ben Avraham ve Nur, 1976; De Jong, 1982; Hempton, 1987 kaynakları aracılığıyla Alsharhan and Nairn, 1997 tarafından hazırlanmıştır). b) Temel sedimanter basenleri ve GDA'daki Siluriyen yaşlı şeylleri gösteren Türkiye haritası (Stampfli ve ark., 2001; Poisson ve ark., 2003; Robertson ve ark., 2003; Gerdes ve ark., 2010; Ghienne ve ark., 2010; Şen ve Kozlu, 2020'den alınmıştır). ...	17
Şekil 2.2.	Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait basitleştirilmiş tektonik birlikler haritası (Şenel, 2003; Keskin, 2011'den alınmıştır). ...	18
Şekil 2.3.	Güneydoğu Anadolu bölgesi otokton birimlerin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Yılmaz ve Duran, 1997'den alınmıştır).	20
Şekil 2.4.	Diyarbakır Grubu'nun en alt bölümü Dadaş Formasyonu'na ait stratigrafik kesit (Bozdoğan ve ark., 1988 ve Yılmaz ve Duran, 1997'den alınmıştır).	23
Şekil 2.5.	Çermik ilçesi Korudağ Mahallesi civarında Mardin grubu kireçtaşı blokları (Bakış Yönü: K).	27
Şekil 2.6.	Çat ÖSK'sinin yer aldığı bölgenin jeolojik haritası (1:25000 ölçekli MTA Malatya L41-c3 paftasından ve 1:100000 ölçekli MTA Malatya-İ27 paftasından değiştirilerek alınmıştır).	32
Şekil 2.7.	Çat ÖSK'sinin ölçüldüğü arazi fotoğrafları. a) Çat ÖSK'si genel görünüm (Bakış Yönü: KB), b) C-17 numaralı örneğin	

	genel görünümü (Bakış Yönü: KB), c) Kesitin üst seviyesi (Bakış Yönü: GD).....	33
Şekil 2.8.	Çermik ÖSK'sının yer aldığı bölgenin jeolojik haritası (1:25000 ölçekli MTA Elazığ L42-d3, Elazığ L42-c4 paftasından ve 1:100000 ölçekli MTA Elazığ-L42 paftasından değiştirilerek alınmıştır).	34
Şekil 2.9.	Çermik ÖSK'sının ölçüldüğü arazi fotoğrafları. a) Çermik ÖSK'sı genel görünüm, b) Tektonik etkilere maruz kalan kıvrımlı yapılar (Bakış Yönü: KD), c) Kesitin orta seviyeleri genel görünüm (Bakış Yönü: KD), d) K-4 numaralı örneğe ait genel görünüm, e) K-35 numaralı örneğe ait genel görünüm.....	35
Şekil 2.10.	Bismil-1 kuyu örnekleri. a) B-1-2 numaralı örneğin genel görüntüsü, b) B-1-3 numaralı örneğin genel görüntüsü.	36
Şekil 2.11.	Çat ÖSK, Çermik ÖSK, Diyarbakır-1, Bismil-2 ve Bismil-1 kuyuları stratigrafik kesitleri. (Ölçek farklılığına dikkat ediniz).	37
Şekil 3.1.	XRD difraktogramında 10 Å ve 10.5 Å şiddetindeki illit pikinden keskinlik oranı hesaplaması (Weaver, 1960).	39
Şekil 3.2.	Çamurtaşının tipik XRD difraktogram illit pik profili ve Kübler İndeksi hesaplaması (Merriman ve Peacor, 1999).	40
Şekil 3.3.	Raman saçılımları.....	44
Şekil 4.1.	Organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero-Diaz ve ark., 2012, 2013).....	48
Şekil 4.2.	Çat ÖSK örneklerinin organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero- Diaz ve ark., 2012, 2013).....	50
Şekil 4.3.	Tabakalanmaya paralel hazırlanan C-3 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. (a) I. Nikol (4x objektif), b) II. nikol (4x objektif)) (KM: Kil Minerali, M: Mika minerali, Q: Kuvars).	52
Şekil 4.4.	Tabakalanmaya paralel hazırlanan C-24 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x objektif), b) II. Nikol (4x objektif), c) I. Nikol, organik madde (20x objektif), d) II. Nikol, organik madde (20x objektif), e)	

	Şekil 4.6.c'nin SEM görüntüsü, f) Pirit mineralleri (KM: Kil Minerali, K: Kalsit, M: Mika minerali, Q: Kuvars, OM: Organik Madde, P: Pirit).....	53
Şekil 4.5.	Tabakalanmaya dik hazırlanan C-17 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x objektif), b) II. Nikol (4x objektif), c) I. Nikol (10x Objektif), d) II. Nikol (10x objektif), e) ve f) Şekil 4.7.c'nin SEM görüntüsü. (KM: Kil Minerali, Q: Kuvars).	54
Şekil 4.6.	Çermik ÖSK örneklerinin organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero-Diaz ve ark., 2012, 2013).....	57
Şekil 4.7.	Tabakalanmaya paralel hazırlanan K-23 ve K-35 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x objektif), b) II. Nikol (4x objektif), c) I. Nikol (4x objektif), d) II. Nikol (4x objektif). (KM: Kil Minerali, M: Mika Minerali, Q: Kuvars, K: Kalsit).	59
Şekil 4.8.	Tabakalanmaya dik hazırlanan K-12 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x objektif), b) II. Nikol (4x objektif), c) I. Nikol (20x objektif), d) II. Nikol (20x objektif), e) ve f) SEM görüntüsü. (KM: Kil Minerali, M: Mika Minerali, Q: Kuvars).....	60
Şekil 4.9.	Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero-Diaz ve ark., 2012, 2013).....	62
Şekil 4.10.	Tabakalanmaya paralel hazırlanan D-1-5 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x objektif), b) II. Nikol (4x objektif)) (KM: Kil Minerali, M: Mika Minerali.	64
Şekil 4.11.	Bismil-2 kuyu örneklerinin organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero-Diaz ve ark., 2012, 2013).....	65
Şekil 4.12.	Tabakalanmaya paralel hazırlanan B-2-13 numaralı Dadaş Formasyonu ince kesitinde gözlenen mineral. a) I. Nikol (10x objektif), b) II. Nikol (10x objektif). (KM: Kil Minerali).....	67
Şekil 4.13.	Bismil-1 kuyu örneklerinin organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero-Diaz ve ark., 2012, 2013).....	69
Şekil 4.14.	Tabakalanmaya paralel hazırlanan B-1-1 numaralı ince kesit Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x	

	objektif), b) II. Nikol (4x objektif), c) SEM görüntüsü. (KM: Kil Minerali, A: Apatit).....	71
Şekil 4.15.	Tabakalanmaya dik hazırlanan B-1-4 numaralı ince kesit Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. (a)TP, I. Nikol (10x objektif), b) TD genel görünüm, I. Nikol (10x objektif), c) I. Nikol, d), e) ve f) SEM görüntüsü) (TP: Tabakalanmaya paralel, TD: Tabakalanmaya dik, KM: Kil Minerali, D: Dolomit, Q: Kuvars, F: Feldispat, P: Pirit, OM: Organik Madde).....	72
Şekil 5.1.	Kerojen evriminin temel basamakları (Tissot ve ark., 1974).	74
Şekil 5.2.	a), b), c), d), e) Dadaş Formasyonu'nun S ₂ -TOK grafikleri. f) S ₂ -TOK grafiğine göre kerojen tipleri (Langford ve Blanc-Valleron, 1990; Tobey ve Campbell, 2016).	89
Şekil 5.3.	Çat ÖSK, C-17 numaralı örnekte gözlenen graptolit kavkısının SEM görüntüsü ve EDAX element yüzde ağırlıkları (P: Pirit).	92
Şekil 5.4.	Çermik ÖSK, K-12 numaralı örnekte gözlenen graptolit kavkısının SEM görüntüsü ve EDAX element yüzde ağırlıkları.	93
Şekil 5.5.	Bismil-1 kuyusu, B-1-4 numaralı örnekte gözlenen graptolit kavkısının SEM görüntüsü ve EDAX element yüzde ağırlıkları.	94
Şekil 5.6.	S ₁ değerlerine karşılık TOK içeriği ile veri kalitesi değerlendirmesi.	96
Şekil 5.7.	Dadaş Formasyonu şeyl örneklerine ait HI değerlerine karşılık Tmax değerleri tarafından hidrokarbon üretim potansiyeline işaret eden uygun ampirik modeli eğrisi.	99
Şekil 5.8.	Dadaş Formasyonu şeylleri için ampirik modelden türeyen hidrokarbon transformasyon oranı (TR) modeli.....	104
Şekil 5.9.	Dadaş Formasyonu'nun boyutsuz S ₂ (S _{2DL}) ve boyutsuz TOK (TOK _{DL}) grafiği.	107
Şekil 6.1.	Graptolit rhabdosome yapısı (Moore, 1955; Link, 1986; Clarkson, 1981 ve Bustin ve ark., 1989'dan alınmıştır).	109
Şekil 6.2.	Çat ÖSK'sında C-3 ve C-17 numaralı örneklerde gözlenen tabakalanmaya paralel (tanesele olmayan/nongranular) graptolit fosiline ait görüntüler.	110

Şekil 6.3.	Çermik ÖSK'sında K-12 numaralı örnekte gözlenen tabakalanmaya paralel (tanesel olmayan/nongranular) graptolit fosiline ait görüntüler.	111
Şekil 6.4.	Bismil güneyi Bismil-1 kuyu örnekleri B-1-1, B-1-4 numaralı örnekte tabakalanmaya paralel gözlenen (tanesel/granular graptolit) fosillere ait görüntüler ve B-1-3 numaralı örnekte gözlenen krinoyid? fosil izleri.	112
Şekil 6.5.	C-17 numaralı Dadaş Formasyonu'na ait genel mikrofasiyes görünümü. (AOM: Amorf organik madde, P: Pirit).	114
Şekil 6.6.	K-12 numaralı Dadaş Formasyonu'na ait genel mikrofasiyes görünümü (AOM: Amorf organik madde).	116
Şekil 6.7.	D-5 numaralı Dadaş Formasyonu'na ait genel mikrofasiyes görünümü (AOM: Amorf organik madde, A: Akritark, MS: Megaspor, P: Pirit).	117
Şekil 6.8.	B-2-9 numaralı Dadaş Formasyonu'na ait genel mikrofasiyes görünümü (AOM: Amorf organik madde, A: Akritark, P: Pirit).	118
Şekil 6.9.	B-1-4 numaralı Dadaş Formasyonu'na ait genel mikrofasiyes görünümü (AOM: Amorf organik madde).	119
Şekil 7.1.	Graptolitlerin temel reflektans eksenlerini gösteren şema (Bustin ve ark., 1989 ve Kilby, 1991'den alınmıştır).	135
Şekil 7.2.	D-5 numaralı örnekte gözlenen vitrinit benzeri parçanın optik mikroskop görüntüsü (yağlı 50x objektif).	136
Şekil 7.3.	C-17 numaralı yüzey örneği tanesol olmayan graptolitlerin optik mikroskop görüntüsü ve %GR _{max} histogram diyagramı (yağlı 20x objektif; %GR ölçümleri, 50x objektif ile okunmuştur).	138
Şekil 7.4.	C-17 numaralı yüzey örneği tanesol olmayan graptolit parçalarına ait SEM görüntüsü (Q: Kuvars).	139
Şekil 7.5.	Çat ÖSK'sında anizotropi gözlenen ve tanesol olmayan graptolitlerin optik mikroskop görüntüsü (yağlı 50x objektif).	139
Şekil 7.6.	K-12 numaralı yüzey örneği tanesol olmayan graptolit parçalarına ait optik mikroskop görüntüsü ve %GR _{max}	

	histogram diyagramı (yağlı 20x objektif; %GR ölçümleri, 50x objektif ile okunmuştur).	140
Şekil 7.7.	K-12 numaralı yüzey örneği taneseli olmayan graptolit parçalarına ait SEM görüntüsü (Q: Kuvars).	141
Şekil 7.8.	Çermik ÖSK örneklerinde anizotropi gözlenen ve taneseli olmayan graptolit parçalarına ait optik mikroskop görüntüsü (K-12 numaralı örnek, yağlı 50x objektif ve K-23 numaralı örnek, yağlı 20x objektif).	142
Şekil 7.9.	D-5 numaralı kırıntı kuyu örneğinde taneseli olmayan graptolit ve katı bitüm optik mikroskop görüntüsü ile histogram diyagramı (yağlı 50x objektif, %GR ölçümleri 50x objektif ile okunmuştur).	143
Şekil 7.10.	D-18 numaralı kırıntı kuyu örneği taneseli olmayan graptolit parçalarına ait SEM görüntüsü (F: Feldispat, Kl: Klorit, P: Pirit, Q: Kuvars).	144
Şekil 7.11.	Diyarbakır-1 kuyusu örneklerinde gözlenen Tasmanites? (a, b ve c) ve Megaspore (d, e ve f) formlarına ait optik mikroskop (yağlı 50x objektif) ve SEM görüntüsü.	145
Şekil 7.12.	B-2-9 numaralı kırıntı kuyu örneğinin taneseli graptolit optik mikroskop görüntüsü ile histogram diyagramı (yağlı 20x objektif, %GR ölçümleri, 50x objektif ile okunmuştur).	147
Şekil 7.13.	B-2-9 numaralı kırıntı kuyu örneği taneseli graptolit parçalarına ait SEM görüntüsü (F: Feldispat, Kl: Klorit, P: Pirit, Q: Kuvars).	147
Şekil 7.14.	Bismil-2 kuyusu örneklerinde gözlenen tasmanites? (a, b ve c) ve megaspore (d, e ve f) formlarının optik mikroskop (yağlı 50x objektif) ve SEM görüntüleri.	148
Şekil 7.15.	Bismil-2 kuyu örneklerinde gözlenen katı bitüm optik mikroskop (yağlı 50x objektif) ve SEM görüntüsü.	149
Şekil 7.16.	B-1-4 numaralı karot kuyu örneğinin taneseli graptolit parçasına ait optik mikroskop görüntüsü ile histogram diyagramı (yağlı 20x objektif, %GR ölçümleri, 50x objektif ile okunmuştur).	151

Şekil 7.17.	B-1-4 numaralı kuyu örneği tanesal graptolit parçalarına ait SEM görüntüsü (D: Dolomit, KB: Katı bitüm, P: Pirit, Q: Kuvars).	152
Şekil 7.18.	Bismil-1 kuyu örneklerinde gözlenen katı bitüm ve graptolit parçasının optik mikroskop ve floresans görüntüsü (yağlı 50x objektif).	153
Şekil 7.19.	a) Bir graptolit kavkısının temsili Raman spektrumu (excitation line $\lambda_0=514$ nm, Morga ve Pawlyta, 2018'den alınmıştır). b) B-1-3 numaralı örneğe ait graptolit kavkısının Raman spektrumu (excitation line $\lambda_0=532$ nm).	155
Şekil 7.20.	Dadaş Formasyonu graptolit kavkılarında gözlenen Raman kaymaları (Çat yüzey örnekleri: C; Çermik yüzey örnekleri: K; Bismil-1 kuyu örnekleri: B-1).	157
Şekil 7.21.	D, G bandı ve G-D bant ayrımı değerlerine karşılık GR (%) değerleri.	158
Şekil 8.1.	Çat ÖSK toplam porozite (%) değerlerine karşılık TOK değerleri grafiği.	161
Şekil 8.2.	Çat ÖSK örneklerinin gözenek büyüklük dağılımı (PSD).	162
Şekil 8.3.	Çermik ÖSK toplam porozite (%) değerlerine karşılık TOK değerleri grafiği.	163
Şekil 8.4.	Çermik ÖSK örneklerinin gözenek büyüklük dağılımı (PSD).	164
Şekil 8.5.	Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin toplam porozite (%) değerlerine karşılık TOK değerleri grafiği.	165
Şekil 8.6.	Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin gözenek büyüklük dağılımı (PSD).	166
Şekil 8.7.	Bismil-1 kuyu örneklerinin toplam porozite (%) değerlerine karşılık TOK değerleri grafiği.	167
Şekil 8.8.	Bismil-1 kuyu örneklerinin gözenek büyüklük dağılımı (PSD).	168
Şekil 8.9.	Kuchinskiy (2013) organik porozite değerlerinin bugünkü TOK (% ağırlıkça) değerleri ile ilişkisi.	175
Şekil 8.10.	Kuchinskiy (2013) eşitliğine göre hesaplanan $\emptyset_{org}$ değerlerinin T_{max} (°C) değerleri ile ilişkisi.	176

Şekil 8.11.	Chen ve Jiang (2016) organik porozite değerlerinin TOK (% ağırlıkça) değerleri ile ilişkisi.	179
Şekil 8.12.	Chen ve Jiang (2016) organik porozite değerlerinin Tmax (°C) değerleri ile ilişkisi.....	179
Şekil 8.13.	Şeyl petrol ve şeyl gaz sistemlerinde gözenek büyüklük sınıflaması (Choquette and Pray, 1970; Rouquerol ve ark., 1994; Loucks ve ark., 2012).....	181
Şekil 8.14.	Gözenek (Por) tipleri sınıflaması (Loucks ve ark., 2012'den alınmıştır).....	182
Şekil 8.15.	Gözeneklerde gözlenen değişikliklerin olgunluk ve hidrokarbon oluşumu ile ilişkisini gösteren diyagram (Mastalerz ve ark., 2013'den alınmıştır).....	183
Şekil 8.16.	Genelleştirilmiş çamurtaşının gömülme aşamaları ve bu aşamalara göre gözenek tipi oluşumu ile ilişkisi ve bolluğu (Loucks ve ark., 2012'den alınmıştır).	184
Şekil 8.17.	Dünyada bilinen efektif gözenek dağılımına sahip bazı şeyl gaz sistemleri (Loucks ve ark., 2012'den alınmıştır).	185
Şekil 8.18.	B-1-4 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin mekanik parlatma ile TP hazırlanmış parlatma briketine ait SEM görüntüleri. a) Genel görünüm. b) Kil minerallerinde gözlenen interpartikül gözenekler, c) Parlatma işlemi sırasında aşınmış framboyidal pirit ve masif pirit minerali, d) Aşınma yüzeyindeki yükseklik farkından dolayı EDAX alınamayan minerale ait kompleks intrapartikül gözenekler, e) Parlatma çözeltisi ile dolmuş framboyidal pirit boşlukları, f) Kil mineraline ait interP gözenekler.	187
Şekil 8.19.	B-1-4 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin taze kırılmış yüzeyine ait SEM görüntüleri. a) İllit mineralinde gözlenen interP gözenekler, b) Framboyidal pirit mineralleri arasında gözlenen interkristalin intraP gözenekler, c) Kil minerallerinde interP gözenekler, d) Pirit framboyidleri arasında gözlenen interP gözenekler, e) Kuvars minerali tanesi etrafında gözlenen interP gözenekler, f) Kil mineralleri arasında gözlenen interP gözenekler.	188

Şekil 8.20.	C-17 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin taze kırılmış yüzeyine ait SEM görüntüleri. a) İllit minerallerinde gözlenen interP gözenekler, b) Kil mineralleri ile pirit mineralleri arasında gözlenen interP gözenekler ile intraP gözenekler, c) Graptolit kavkısı yüzeyinde gözlenen pirit mineralleri arasında gözlenen interP gözenekler, d) Mineral matriks içinde gözlenen interP ve intraP gözenekler, e) Graptolit kavkısı yüzeyinde gözlenen organik madde intraP gözenekler.	190
Şekil 8.21.	K-12 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin taze kırılmış yüzeyine ait SEM görüntüleri. a) Kil Mineralleri ile feldispat mineralleri taneleri arasında gözlenen interP gözenekler, b), c) Mineral matriks içinde gözlenen interP gözenekler, d) Mineral taneleri arasında gözlenen interP gözenekler ve Si-oksit bileşimine sahip tanelere ait intraP gözenekler.	191
Şekil 8.22.	B-1-1 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin tabakalanmaya paralel FIB-SEM görüntüleri. a) İyon ışınması yapılacak lokasyonun karbon bant ile işaretlenmesi, b) Kesilen yüzeyin temizlendikten sonraki görüntüsü, c) Genel görünüm, d) İnterP ve İnterP matriks gözenekleri, e) Kil mineralleri içindeki intraP gözenekleri.	193
Şekil 8.23.	B-1-4 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin tabakalanmaya dik FIB-SEM görüntüsü.....	194
Şekil 9.1.	Kuvars ve kil minerali yüzde bolluk miktarının TOK içeriği ile ilişkisi.	198
Şekil 9.2.	Dadaş Formasyonu'nun Young modülü (E) değerlerine karşılık sertlik (H) değerleri.	202
Şekil 9.3.	Dadaş Formasyonu'nun tüm lokasyonlardaki mineralojik bileşimi (Tan ve ark., 2014; Hazra ve ark., 2016). (Kuvars grubu mineraller; kuvars, feldispat, apatit, pirit, kil grubu mineraller; kil ve mika, karbonat grubu; kalsit, dolomit, ankerit ve siderit minerallerinden oluşmaktadır).	204

Şekil 9.4.	Dadaş Formasyonu örnek gruplarına ait S_1 değerlerine karşılık TOK (% ağırlıkça) içeriği grafiği (Hunt, 1996).	206
Şekil 9.5.	Dadaş Formasyonu'nun S_2 değerlerine karşılık TOK (% ağırlıkça) içeriği logaritmik grafiği (Dembicki, 2009).	207
Şekil 9.6.	Dadaş Formasyonu örnek gruplarına ait HI değerlerine karşılık OI değerleri grafiği (Van Krevelen kerojen tip sınır değerleri, Peters (1986)'dan alınmıştır).	208
Şekil 9.7.	Dadaş Formasyonu şeyl örnek gruplarına ait HI değerlerine karşılık Tmax değerleri grafiği (Espitalie ve ark., 1984; Stanley ve ark., 1992).	210
Şekil 9.8.	Dadaş Formasyonu'na ait şeyl örnekler gruplarına ait PI değerlerine karşılık Tmax ($^{\circ}\text{C}$) değerleri grafiği (Sınır değerleri, Peters (1986)'dan alınmıştır).	211
Şekil 9.9.	Dadaş Formasyonu'nun petrol geçiş etkisini gösteren serbest hidrokarbon içeriği (S_1) değerlerine karşılık TOK içeriği grafiği (Jarvie, 2012b).	212
Şekil 9.10.	Bu çalışma kapsamında graptolitlerin, palinomorfların işaret ettiği Dadaş Formasyonu'nun çökelim yaşını gösteren çizelge (Kronostratigrafik çizelge verileri, Cohen ve ark. (2018)'den; hot şeyl seviyeleri, Lüning ve ark. (2000, 2003)'den alınmıştır).	216
Şekil 9.11.	Dadaş Formasyonu'nun APP üçgen diyagramı (IV alan ile II alan örtüşmektedir. Organik madde bileşenlerine göre şelf ve basen arasındaki taşınma yollarını A'dan E'ye doğru gösterilmektedir) (Tyson (1993, 1995)) (Tyson diyagramının güncellenen ortam yorumları, Roncaglia ve ark. (2006; 2015)'ten alınmıştır).	221
Şekil 9.12.	Dadaş Formasyonu'nun kristalinite zonunu ve termal olgunluğunu gösteren KI (Kübler İndeksi)-Tmax grafiği.	223
Şekil 9.13.	Farklı termal olgunluk derecesindeki Dadaş Formasyonu graptolit kavkılarına ait 7 örneğin Raman spektrumu.	224
Şekil 9.14.	Graptolit, vitrinit, inertinit, bitümen ve Dadaş graptolit kavkılarının reflektans değerlerinin G-D değerleri ile ilişkisi (Reflektans değerleri Luo ve ark., 2020'den alınmıştır).	226

Şekil 9.15.	a) D bandı değerlerine karşılık Rock-Eval piroliz S_1 pik değerleri. b) G bandı değerlerine karşılık Rock-Eval piroliz S_2 pik değerleri.....	227
Şekil 9.16.	Gözenek tipleri sınıflaması üçgen diyagram (Loucks ve ark., 2012'den alınmıştır).....	229

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Å	Angstrom
α	Alfa
Al	Aliminyum
β	Beta
$^{\circ}\Delta 2\theta$	Derece Delta İki Teta
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
CO ₂	Karbondioksit
Cu	Bakır
$^{\circ}$	Derece
E	Elastisite/Young Modülü
Fe	Demir
Ga ⁺	Galyum İyonu
GPa	Gigapaskal
H _k	Sertlik
cm, m, km	Santimetre, Metre, Kilometre
cm ³	Santimetre Küp
K	Potasyum
kV	Kilovolt
ρ_k	Kerojen Yoğunluğu
mA	Miliamper
Mg	Magnezyum
N	Azot
O	Oksijen
$\emptyset_{org}$	Organik Porozite
S	Kükürt
Si	Silisyum
QI	S ₂ /S ₃
ppm	Milyonda bir
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece

s/dk	saniye/dakika
ρ_b	Şeyl Yoğunluğu
θ	Teta
%	Yüzde
ZnCl ₂	Çinko Klorür

Kısaltmalar

AAPG	Amerika Petrol Jeologları Derneği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
AOM	Amorf Organik Madde
B	Batı
B _{ie}	Bitümen İndeksi
BI	Kırılma Oranı
BIB	Geniş iyon ışıması
Bkz.	Bakınız
BSE	Geri Saçılmış Elektron
ChC	Klorit Kristalinitesi
CIS	Kristalinite İndeks Standartı
CL	Katodoluminesans
D	Doğu
EDAX	Enerji Dağılımı X-Işını Spektrometresi
FIB	Odaklanmış İyon Işımı
GDA	Güneydoğu Anadolu
GR	Graptolit Reflektansı/Yansıması
GR _{max}	Maksimum Graptolit Reflektansı/Yansıması
GR _{min}	Minimum Graptolit Reflektansı/Yansıması
GR _r	Random Graptolit Reflektansı/Yansıması
HC	Hidrokarbon
HCl	Hidroklorik Asit
HF	Hidroflorik Asit
HI, HI _o	Hidrojen İndeksi, İlk Hidrojen İndeksi
HÜ	Hacettepe Üniversitesi
intraP	intrapartikül gözenekler

interP	interpartikül gözenekler
IC/KI	İllit Kristalinite/Kübler İndeks
K	Kuzey
KB	Kuzeybatı
KD	Kuzeydoğu
μ FTIR	Mikro Fourer Dönüşümlü Kızıl Ötesi
m, km	Metre, Kilometre
mg, g	Miligram, Gram
MCIP	Cıva Porozimetresi
MI	Göç İndeksi
MTA	Maden Tetkik Arama
my	Milyon yıl
nm, μ m, mm	Nanometre, Mikrometre, Milimetre
NMR	Nükleer Manyetik Rezonans
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
OSI	Petrol Doygunluk İndeksi
ÖSK	Ölçülü Stratigrafik Kesit
PSD	Gözenek Büyüklük Dağılımı
SE, SEI	İkincil Elektron
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu,
SiC	Silikon Karbit
SR	Keskinlik Oranı
SUNUM	Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi
TOK, TOK _{DL}	Toplam Organik Karbon, Boyutsuz Toplam Organik Karbon
TD	Tabakalanmaya dik
TP	Tabakalanmaya paralel
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TR	Dönüşüm Oranı
UNAM	Uluslararası Nanoteknoloji Araştırma Merkezi
vb.	ve benzeri
ve ark.,	ve arkadaşları
VR	Vitrinit Reflektansı/Yansıması
VRE	Vitrinit Reflektansı Eşdeğeri

XRD

X-Işını Difraktometresi

XRF

X-Işını Floresans Spektrometresi

1. GİRİŞ

Hidrokarbon kaynakları, önemli enerji kaynaklarından biridir. Dünya'da, enerji ihtiyacında sürekli artış gözlenirken, sınırlı miktardaki yenilenemez enerji kaynaklarının her geçen gün tükenmekte olduğu bilinmektedir. Bu durum, alternatif enerji kaynaklarının keşfedilmesine yönelik çalışmaların sayısına ivme kazandırmıştır. Dünya'da ankonvansiyonel enerji kaynakları ile ilgili yaşanan gelişmeler, yeni çalışma platformlarının gelişmesine olanak tanımıştır. Ankonvansiyonel sistemlere olan ilgi ve talebin artması ile potansiyele sahip olduğu düşünülen kaynakların karakteristiklerinin belirlenmesi ve hesaplanması önem kazanmıştır (Katz ve Arango, 2018).

Tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi, ülkemizin de enerji ihtiyacını karşılayabilecek alternatif enerji kaynaklarına ihtiyacı vardır. Bu çalışma, ülkemizde gerçekleştirilen konvansiyonel ve ankonvansiyonel kaynak arama çalışmalarına katkı sağlayacaktır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Organik maddece zengin şeyl, günümüzde hem şeyl petrol hem de şeyl gaz sistemlerinde rezervuar kaya niteliğinde değerlendirmeye alınmaktadır (Passey ve ark., 2010; Jarvie, 2012a, 2012b). Ankonvansiyonel bir sistemde rezervuarda olması beklenen özellikler, dünyada farklı basenlerde farklı zamanlarda çökelen kaynak kayalardan elde edilen veriler ile oluşturulmaktadır. Bu sebeple teorik ve deneysel birçok yöneme başvurulmaktadır.

Bir kaynak kayanın potansiyelinin belirlenebilmesi için kullanılan en yaygın yöntem Rock-Eval piroliz analizidir (Espitalie ve ark., 1977; Jarvie ve Baker, 1984; Peters, 1986). Analiz sonuçları bugünkü değerleri yansıtmaktadır. Bir rezervuar kaya olarak ise şeylin sahip olduğu organik maddenin tipi ve ilksel hidrokarbon değerlerinin belirlenmesi ayrıca önem taşımaktadır (Jarvie, 2004; Justwan ve Dahl, 2005; 2012a; 2012b; Chen ve ark., 2016).

Verimli bir şeyl gaz ve bir şeyl petrol sistemi için; Toplam Organik Karbon (TOK) (% , ağırlıkça) içeriği ve termal olgunluk derecesinin saptanması oldukça önemlidir (Jarvie, 2004, 2012a, 2012b; Passey ve ark., 2010). Şeyl içindeki

petrolün ve gazın birincil depolama alanı olarak kabul edilen organik porozitenin meydana gelmesinde ise kerojen tipinin hidrokarbon üretim kinetikleri üzerindeki etkisi vurgulanmaktadır (Chen ve Jiang, 2016). Bu parametrelere ek olarak, mineralojik, mikro ve nano boyutlu yapısal ve mekaniksel özelliklerinin de önemine işaret edilmektedir (Loucks ve ark., 2009; Eliyahu ve ark., 2015; Chen ve ark., 2016). Şeyl örneğinin mineralojik bileşiminin dolaylı biçimde organik maddenin termal olgunluğunu etkilediği (Hartkopf-Fröder ve ark., 2015) ve buna ek olarak üretim faaliyetlerini doğrudan etkilediği vurgulanmaktadır (Jarvie ve ark., 2007; Wang ve Gale, 2009; Kumar ve ark., 2012; Eliyahu ve ark., 2015). Şeylin sahip olduğu gözenekliliğin (matriks porozite ve organik porozite) miktarının ve gözenek morfolojisinin tespit edilmesi de önem taşımaktadır (Ji ve ark., 2019).

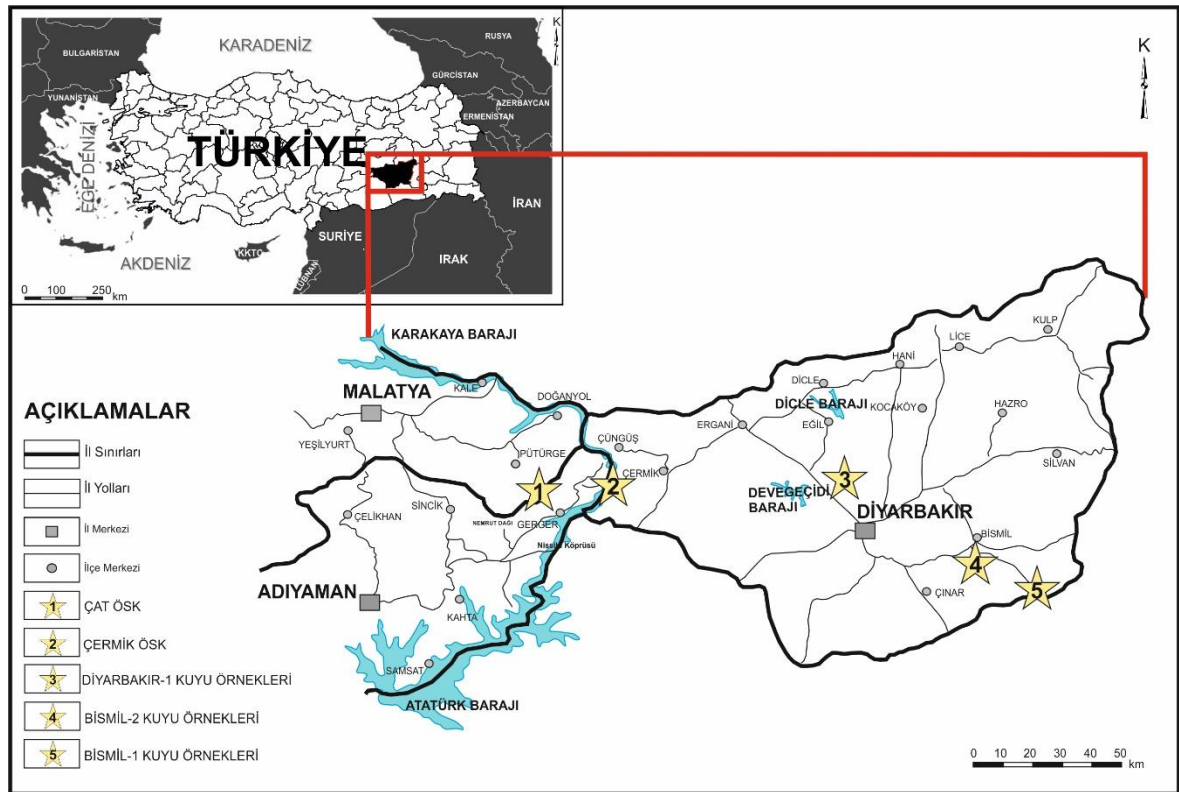
Bu bilgiler doğrultusunda ülkemizde bu özellikleri taşıyabilecek formasyonlar göz önünde bulundurulmuştur. Bugüne kadar Türkiye’de muhtemel şeyl gaz potansiyeline sahip sahalarda yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır (Aydemir, 2012; Öztürk ve ark., 2016; Şen ve Kozlu, 2020). EIA (United States the Energy Information Administration) tarafından 2013 yılında yayınlanan raporda Türkiye’de şeyl petrol ve şeyl gaz kaynağı açısından kazanılabilir potansiyel kayaçların varlığına işaret edilmiştir. Bunlar, Trakya Baseni’nde yer alan Mezardere ve Hamitabat Formasyonu ile Güneydoğu Anadolu Baseni’nde yer alan, Dadaş Formasyonu’dur. Güneydoğu Anadolu (GDA) Basenin’de çökelen ve 12000 km²’lik bir alanı kapsayan Dadaş Formasyonu “iyi kaynak kaya potansiyeline” sahip bir kaynak kayadır (Aydemir, 2012; EIA, 2013; Şen ve Kozlu, 2020). Dadaş Formasyonu, GDA Baseninde Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından açılan kuyulardaki litolojik özelliklerine ve organik madde içeriğine göre gayri resmi biçimde Dadaş I, II ve III olmak üzere üç seviyeye ayrılmıştır (Yılmaz ve Duran, 1997). Muhtemel şeyl petrol ve şeyl gaz potansiyeline sahip olduğu düşünülen, Dadaş Formasyonu’nun ankonvansiyonel kaynak karakteristiklerinin ortaya konması oldukça önem taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda; Dadaş Formasyonu’ndan toplam beş lokasyonda yüzey (Çat ve Çermik) ve kuyu örnekleri (Bismil güneyi, Bismil güneydoğusu ve Diyarbakır ili merkezi kuzeybatısı) olmak üzere toplam 88 adet örnek alınmıştır. Bu kapsamda

gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlar ile değerlendirmeler ve yorumlamalar yapılmıştır.

1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Diyarbakır ve Malatya il sınırları içinde yer almaktadır. Yüzey, karot ve kırıntı olmak üzere 5 lokasyonda Dadaş Formasyonu şeylleri örneklenmiştir.

Diyarbakır il merkezinin 70 km kuzeybatısında Çermik ilçesi Korudağ Mahallesi ile Malatya il merkezinin 55 km güneydoğusu Pütürge ilçesi Nohutlu Mahallesi'nde toplam 2 adet stratigrafik kesit ölçülmüştür. Bu çalışma kapsamında alınan kuyu örnekleri, Diyarbakır il merkezinin 15 km kuzeybatısı ile 40 km güneydoğusunda Bismil ilçesi güneybatısı ve güneydoğusunda örneklenmiştir. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

(www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/root/haritalar.aspx adresinden referans alınarak çizilmiştir).

1.3. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanının tektonik açıdan önemi, çeşitli bilim alanları için çalışmaya imkân vermektedir. Bölgede tektonik, paleontolojik, sismik çalışmalara ek olarak jeotermal kaynaklar ile ilgili olmak üzere birçok alanda bilimsel çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde, literatür araştırmaları sırasında ulaşılabilen, Dadaş Formasyonu ve tez çalışmasının konusu ile ilgili önceki çalışmalara değinilecektir.

Araştırmacılar, Paleozoyik süresince, şimdiki Arap Plakasının kuzey bölgesinin, Gondvana'nın kuzey kenarını temsil eden bölümlerden biri olduğunu ifade etmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981 p.204; Beydoun, 1991 p.viii). Bu bölge, dünyanın keşfedilmiş petrol ve gaz rezervlerinin de büyük bir yüzdesini oluşturmaktadır (Husseini, 1991; Beydoun, 1998a, 1998b).

Dünya'nın hidrokarbon açısından zenginliğinin, yüksek oranda Mesozoyik dönemi çökellerine ait olduğu belirtilmektedir (Tolun, 1962; Ulmishek ve Klemme, 1990; Beydoun, 1998b, 1991). Ancak, Orta Doğu'da ve Türkiye'nin güneydoğusunda iyi korunan Paleozoyik yaşlı kaynak kayalar (Beydoun, 1991) petrol ve gaz rezervinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır (Alsharhan ve Nairn, 1997). Bu nedenle birçok araştırmacı, organik madde açısından zengin ve önemli miktarda petrol rezervine sahip olan kaynak kaya çalışmalarına Türkiye Güneydoğu Anadolu Bölgesini de dahil etmişlerdir (Ala ve Moss, 1979; Beydoun, 1991; Alsharhan ve Nairn, 1997; Peters, 2005). Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki hidrokarbon kaynak kaya potansiyeli çalışmaları Paleozoyik (Soylu ve ark., 2012; Kozlu ve ark., 2012; Bahtiyar ve ark., 2013) ve Kretase (Sarı ve Bahtiyar, 1999; Demirel ve ark., 2001, 2004; Yalçın Erik ve Özçelik, 2007) yaşlı formasyonlar üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Özdemir ve Ünlügenç (2013), Diyarbakır il merkezinin kuzeybatısında Ergani ilçesi civarında açılan kuyularda yaptıkları incelemeler sonucunda, bölgedeki kaynak kayanın "Dadaş Formasyonu" ve rezervuar kaya niteliği taşıyan formasyonun ise "Bedinan Formasyonu" olduğunu belirtmektedirler. Dadaş Formasyonu, bölgede en iyi potansiyele sahip kaynak kaya olarak ifade edilmektedir (Güzel ve ark., 2011; Şen ve Kozlu, 2020).

Klemme ve Ulmishek (1991) tarafından dünyada keşfedilmiş petrol ve gaz rezervleri altı stratigrafik zaman aralığına ayrılmaktadır. Dadaş Formasyonu bu stratigrafik zaman aralıklarında Siluriyen dönemi çökeliğini temsil etmektedir. Siluriyen döneminde çökelen formasyonların petrol ve gaz potansiyeli, dünya rezervinin %9'unu oluşturmaktadır (Klemme ve Ulmishek, 1991). Organik madde açısından zengin Siluriyen yaşlı bu şeyller, Gondvana'nın kuzey kenarında geniş bir alanda çökelmişlerdir (Beydoun, 1991; Klemme ve Ulmishek, 1991; Alsharhan ve Nairn, 1997; Peters ve ark., 2005). Kuzey Afrika ve özellikle Arap Yarımadası'nda petrol üretiminde önemli rol oynayan Alt Siluriyen yaşlı organik madde açısından zengin şeyller, dünyada "hot şeyl" olarak bilinmektedir (Lüning ve ark., 2000). Günümüzde birçok basende Siluriyen yaşlı şeyllerin geç olgunluk aşamasında olması, düşük HI değerlerine neden olmaktadır (Creaney ve Passey, 1993; Wignall ve Maynard, 1993). Lüning ve ark. (2000)'e göre Siluriyen yaşlı şeyllerin toplam kalınlığı 700 ile 1000 m arasında değişiklik göstermektedir. Fakat hot şeyl bu kalınlığın ortalama 30 m'den az kısmını temsil etmektedir. Bu durum anoksik ortam koşulları ile açıklanabilir. Buna ek olarak, Lüning ve ark. (2003)'de Siluriyen döneminde hot şeyl seviyesinin karşılık geldiği iki çökelim aralığına işaret etmektedirler. Lüning ve ark. (2000, 2003) hot şeyl-1 seviyesinin Erken Ruddaniyen (graptolit yaş verisi), hot şeyl-2 seviyesinin ise Telisiyen (palinomorflar yaş verisi) zamanında çökelindiğini belirtmektedirler. Orta Doğu'daki ve Kuzey Afrika'daki bu hot şeylin Türkiye'deki karşılığının Dadaş Formasyonu olduğu düşünülmektedir (Aydemir, 2012; Şen ve Kozlu, 2020).

Türkiye'de Siluriyen yaşlı formasyonlar ise Kozlu ve ark. (2012) tarafından "Kuzeybatı Anadolu İstanbul-Zonguldak Tektonik Birlikleri, Toroslar-Anatolidler ve Güneydoğu Anadolu Otoktonu" olmak üzere üç bölgeye yayılmaktadır. Bu üç bölge, tektonik ve paleocoğrafik olarak birbirlerinden farklı jeolojik tarihe sahiptirler (Lakova ve Göncüoğlu, 2005; Yalçın ve Yılmaz, 2010). KB Anadolu'da Siluriyen yaşlı birimler; Zonguldak-Çamdağ bölgesinde Fındıklı Formasyonu (Göncüoğlu ve Sachanski, 2003; Lakova ve Göncüoğlu 2005) ve İstanbul tektonik birliği içinde Dolayoba Formasyonu (Yalçın ve Yılmaz, 2010) olarak tanımlanmışlardır. Toroslarda gözlenen Siluriyen yaşlı birimler, Batı Toroslar'da Kemer Kesme Boğazı kesiti (Ghiene ve ark., 2010; Kozlu ve ark., 2012); Orta Toroslar'da Ovacık-Hırmanlı kesiti (Husseini, 1991; Varol ve Demirel, 2020);

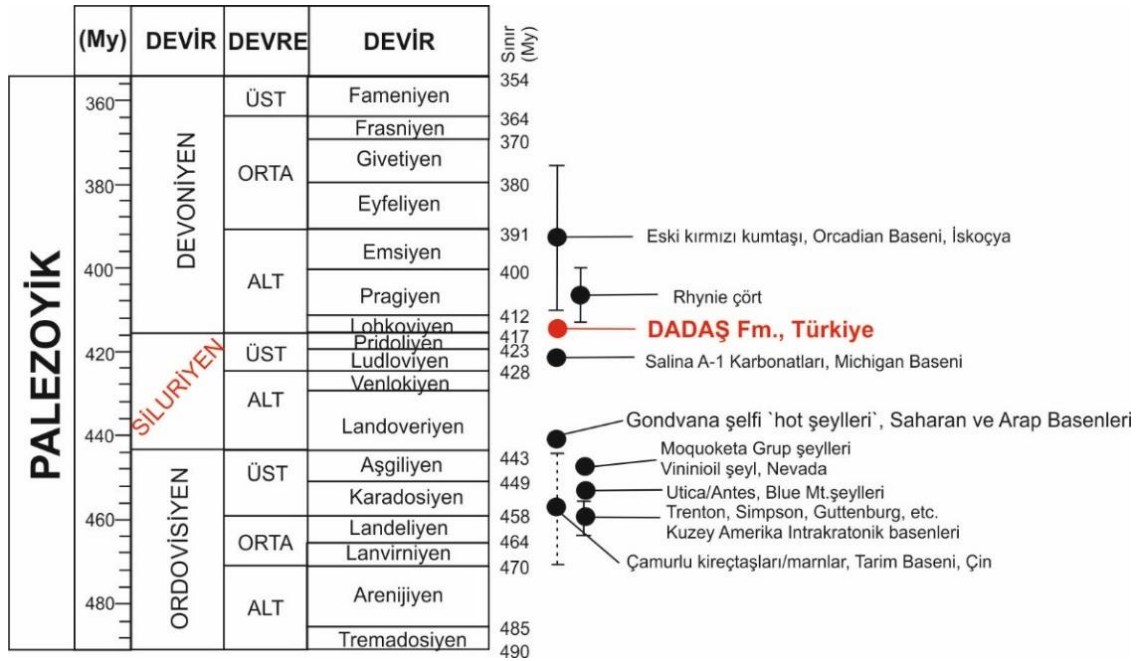
Doğu Toroslar Değirmentaş-Halevikdere kesiti (Halıyayla, Puşçutepe, Yukarıyayla Formasyonları (Göncüoğlu ve Kozlu, 2000)) olarak tespit edilmiştir. Orta Toroslar'da Akyaka kesiti'nde (Varol ve ark., 2006) ve KB Anadolu'da Fındıklı Formasyonu'nda (Sachanski ve ark., 2010) ilk kez Telisiyen yaşlı graptolit fosilleri tespit edilmiştir.

GDA'da birimler, otokton ve allokton olmak üzere iki grupta incelenmişlerdir (Yılmaz ve Duran, 1997). Güneydoğu Anadolu Otoktonu'nda Diyarbakır Grubu'nun en alt bölümünü Dadaş Formasyonu oluşturmaktadır (Yılmaz ve Duran, 1997). Dadaş Formasyonu bölgede Çermik-Korudağ, (MTA, 1986; Keskin, 2011), Çat (Kozlu ve ark., 2012) ve Hazro (Bozdoğan ve ark., 1996; Alsharhan ve Nairn, 1997; Sütçü, 2008; Soylu ve ark., 2012) civarında yüzeylemektedir. Dadaş Formasyonu, ilk kez Kellogg ve Kayar (1959; Kellogg, 1960) tarafından Diyarbakır ili Hazro ilçesi Dadaş köyünün kuzeydoğusunda Uzuncaseki (eski adıyla Hacertum) Dağı'nda ölçülen ölçülü stratigrafik kesitinde "Dadaş Formasyonu" adı ile tanımlanmıştır (Yılmaz ve Duran, 1997; Keskin, 2011). Dadaş Formasyonu, litolojik ve organik madde içeriğine göre gayri resmi olarak alttan üste doğru üç üyeye ayrılmaktadır (Yılmaz ve Duran, 1997). Dadaş Formasyonu, organik açıdan zengin, anoksik ve düşük enerjili açık deniz sedimanları ile başlamaktadır ve yüksek enerjili sığ deniz sedimanları ile bitmektedir (Bozdoğan ve ark., 1996; Steemans ve ark., 1996). Formasyonun tanımlandığı Hazro bölgesinde, Dadaş III üyesinin tamamı ile Dadaş II üyesinin üst kesimi yüzeylemektedir (Yılmaz ve Duran, 1997; Kranendonck, 2004).

Erken Paleozoyik boyunca organik madde kaynağını denizel fitoplanktonlar, bakteriler ve algler oluşturmaktadır (Tissot ve Welte, 1984). Erken Paleozoyik çökelleri arasında biyostratigrafik korelasyon için önemli fosil gruplarının başlıcaları; graptolit, kitinoza, brakyapod, konodont, akritark fosilleridir (Delobroye ve Vecoli, 2010). Dadaş Formasyonu'na Erkmen ve Bozdoğan tarafından 1979 yılında içerdiği arkitark fosilleri ile Landoveri-Ludlov yaşı verilmiştir (Erkmen ve Bozdoğan, 1979). Ardından Dadaş Formasyonu'nun, içerdiği fosil grupları ve sporlar üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda yaşının "Alt Siluriyen-Alt Devoniyen" aralığında olduğu kabul edilmiştir (Bozdoğan, 1982; Karabulut ve ark., 1982; Bozdoğan ve ark., 1987, 1988, 1996; Çoruh ve ark.,

1997; Yılmaz ve Duran, 1997). Oktay ve Wellman tarafından 2019 yılında gerçekleştirilen çalışmada Bedinan ve Dadaş Formasyonu palinomorfları araştırılmıştır. Kitinozoa ve akritark formları ile çalışılan örneklerin kuyu örnekleri (Dadaş I seviyesi) olması örneklerde güvenilir Landoveri (Aroniyen-Telisiyen) yaşı saptanmasına imkan vermiştir. Landoveri serileri açık denizi ifade etmektedir (Kozlu ve ark., 2012).

Peters (2005), Gondvana'nın kuzey kenarının, Siluriyen dönemi boyunca graptolitli mükemmel kaynak kayaların çökelişi için çok uygun koşullara sahip olduğunu belirtmektedir. Araştırmacı, dünyadaki önemli anoksik dönemlerden biri olan Siluriyen dönemi şeyl sınıflamasına Dadaş Formasyonu'nu da dahil etmiştir. (Şekil 1.2). Bahsi geçen çalışmada, Suriye Tanf Formasyonu'nun eşleniği olduğu belirtilen formasyonun ortalama TOK içeriğinin %3,5 ve ısısal açıdan olgunlaşmanın az olduğu bölgelerde HI değerinin ortalama 450 mg HC/g TOK değerine sahip olduğundan bahsedilmiştir.

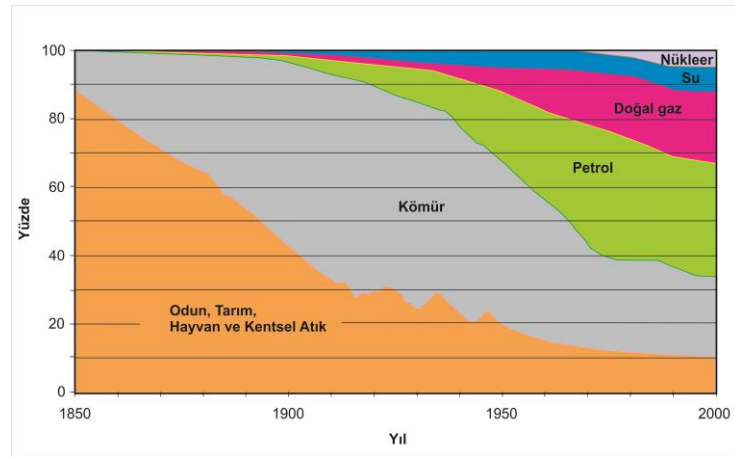


Şekil 1.2. Ordovisiyen, Siluriyen ve Devoniyen yaşlı kaynak kayalar için dünyadan örnekler (Peters ve ark., 2005'ten alınmıştır).

Türkiye'de ilk petrol arama çalışmaları, 1887 yılında İskenderun civarında başlamıştır (Kavak, 2013). İlk petrol kuyusunun, 1934 yılında Mardin dolaylarında açıldığı belirtilmiştir (Lokman, 1963). İlk petrol ise MTA tarafından 1940 yılında Güneydoğu Anadolu Raman dağında bulunduğu ifade edilmektedir (Kavak,

2013). İlk ticari petrol keşfi ise 1951 yılında Garzan bölgesinde yapılmıştır (Alsharhan ve Nairn, 1997). Bölgede gerçekleştirilen petrol arama çalışmalarında, Bazdivan, Birne, Gerçüş, Kermav, Hermis, Kerbent, Kıtmıs, Mardin, Raman bölgelerinde petrol izlerine rastlanıldığı söylenmektedir (Tolun, 1962). Kozlu ve ark. (2012) tarafından “Diyarbakır iline bağlı Batman ve Bismil ilçelerinde açılan kuyularda ise hot şeyl kesildiği” belirtilmektedir.

Petrol yakın geçmişe kadar (1850-2000 yılları arasında) dünyada birincil enerji kaynakları arasında yer almaktadır (Nakicenovic ve ark., 1998; Salvador, 2005) (Şekil 1.3). Şekil 1.3’te görüldüğü üzere 19. yüzyılın sonlarına doğru (1960 yılının sonlarında) petrol en temel enerji kaynağı durumundadır (Salvador, 2005). Günümüze kadar fosil yakıtlar ülkelerin ekonomik düzeyini en çok etkileyen kaynaklardan biri olmuştur.



Şekil 1.3. Dünya birincil enerji kaynakları (Nakicenovic ve ark., 1998; Salvador, 2005).

Her geçen gün artan enerji ihtiyacı, yeni enerji kaynağı arayışına ve yeni yöntemlerin gelişmesine neden olmaktadır. Araştırmacı Ken Milam, 2013 yılında AAPG raportörü ile gerçekleştirdiği görüşmede, artan enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için geleneksel olmayan kaynaklara yönelik yapılan ilk çalışmalardan birinin, “şeyl gaz” elde etmek için, Fredonia, New York’ta 1821 yılında gerçekleştirildiğini belirtmiştir (Milam, 2013). Şeyl gazın yanı sıra basen merkezli gaz (basin-centered gas), sıkı kum gazı (tight sand gas), kömür kökenli gazlar (coal bed methane), petrollü şeyl (oil shale) vb. doğal gaz üretimi yapılan geleneksel olmayan kaynaklardır.

Bugüne kadar yapılan araştırmalar ve faaliyetler sonucunda, “şeyl gaz” enerji kaynağını; hidrokarbon oluşumu, olgunlaşması ve sonrasındaki süreçler süresince organik maddece zengin şeyli terk etmeyen doğal gaz oluşumu olarak tanımlamak mümkündür. İlk defa 1930 yılında yatay sondaj uygulanmış ve ilk hidrolik çatlatma 1947 yılında Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’de gerçekleştirilmiştir (Khyade, 2016). Bu çalışma ile ABD’nde 2000 yılının sonlarına doğru toplam gaz üretiminin ancak %1.6’sının sağlanmış olduğu görülmüştür (Wang ve Krupnick, 2013). Ancak şeyl gaz, günümüzde kullanılan güncel enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Günümüzde sadece kaynak kaya olarak bilinen şeylden doğalgaz üretimi oldukça artmıştır. Dünyada 2015 yılında günlük şeyl gaz üretimi yaklaşık 342 milyon metreküptür ve 2040 yılında bu miktarın 554 milyon metreküp olacağı tahmin edilmektedir (EIA, 2016). Bu durum ABD’de şeyl gaz üretimi yapılan kaynak kayaların sahip olduğu yaş aralığı, jeokimyasal özellikler ve benzeri karakteristikler kullanılarak, dünyada hidrokarbon türeten ve/veya türetmiş ana kayaları yeniden gözden geçirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Şeyl gaz potansiyelinin belirlenmesine yönelik yapılan araştırmalar, yeni çalışma alanlarının açılmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışmalar makro, mikro ve nano düzeyde şeylin incelenmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

EIA tarafından 2011 yılında 14 ülkenin muhtemel şeyl gaz potansiyeline işaret eden önceki çalışmalar derlenmiştir. Bahsi geçen çalışmada, muhtemel şeyl gaz potansiyeline sahip kaynaklardan biri de Dadaş Formasyonu’dur. 2013 yılında yayınlanan EIA raporuna göre ise 41 ülkede keşfedilmiş toplam 137 formasyondan biri olarak Dadaş Formasyonu’nun elde edilen istatistiksel verilerine göre ortalama düzeyde şeyl gaz potansiyeline sahip olabileceğine işaret edilmiştir. Bugüne kadar sınırlı sayıdaki önceki çalışmalarda Dadaş Formasyonu şeyli ile özellikle ABD’nde önemli miktarda şeyl gaz üretiminin yapıldığı bir kaynak kaya olan Barnett şeyli (Jarvie ve ark., 2007) arasındaki jeokimyasal ilişkinin (benzerliklerin ve farklılıkların) ortaya konulması hedeflenmiştir (Çorbacioğlu ve ark., 2009; Aydemir, 2012; Öztürk ve ark., 2016; Yıldız, 2016, Şen ve Kozlu, 2020).

Bu kapsamda Dadaş Formasyonu’nun hidrokarbon kaynak kaya, şeyl gaz ve şeyl petrol potansiyeli ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kharnendock (2004)

doktora tez çalışması kapsamında Geç Siluriyen ile Erken Devoniyen zaman aralığında Gondvana'nın kuzey kenarının jeo- /biodinamik evrimini ortaya koymayı amaçlamıştır. Bahsedilen çalışma, Siluriyen/Devoniyen zaman aralığında oluşan sedimanter sekansı açıklamayı hedefleyen bir projenin parçasıdır. Bu kapsamda Hazro civarında yüzeyleyen alanda örnekleme yapılmıştır. Örnekler Dadaş II ve III grubunu başka bir deyişle Siluriyen/Devoniyen sınırını temsil etmektedir. Yüzey ve kuyu örneklerinin mineralojik, organik jeokimyasal karakteristiklerinin yanı sıra iz ve nadir toprak element değişimlerini, moleküler bileşimini ve sedimantolojik özelliklerini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Hazro civarında Dadaş Formasyonu'nun tüm örnek tiplerinde (yüzey ve kuyu) benzer değerlerde, düşük TOK içeriğine ve termal olgunluğa (yaklaşık T_{max} 430°C, R_{max} %0.53) sahip olduğunu tespit edilmiştir. Bozkaya ve ark. (2011) Hazro ve Mardin-Derik bölgesinde Dadaş Formasyonu'nun mineralojik bileşiminin kuvars, feldispat, kaolinit ve illit minerallerinden oluştuğunu belirtmektedirler. Buna ek olarak, araştırmacılar kil mineralleri ile vitrinit reflektans değerlerinin yüksek dereceli diyajenetik koşullara işaret etmekte olduğunu ileri sürmektedirler. Tetiker ve ark. (2012) ise Mardin civarında bulunan Prekambriyen-Alt Paleozoyik yaşlı Güneydoğu Anadolu Otoktonuna ait formasyonları dokusal ve mineralojik olarak incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre bu birimlerin diyajenez ortamı “düşük dereceli diyajenez” olarak saptanmıştır. Araştırmacılar bu durumu, sedimanter birimlerin ilksel halinin büyük ölçüde korunmasının bir sonucu olarak açıklamışlardır.

Kharnendock (2004)'ün organik jeokimyasal analiz sonuçlarına benzer biçimde, Öztürk ve ark. (2016) Dadaş Formasyonu'nun yüzeylediği Korudağ ve Hazro civarında ölçülen stratigrafik kesitlerden alınan şeyl örnekleri üzerinde TOK, mineralojik özellikleri, organik jeokimyasal karakteristikleri ve moleküler bileşiminin belirlenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma, araştırmacının 2013 yılındaki yüksek lisans tez çalışmasının devamı niteliğini taşımaktadır (Öztürk, 2013). Analiz sonuçlarına göre, Hazro civarından alınan örneklerin termal olgunluğunun (petrol penceresi) ve TOK içeriğinin düşük değerlere ulaştığını belirtmişlerdir. Bu nedenle, şeyl gaz potansiyeli taşımadığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar bir diğer çalışma alanı, Korudağ Antiklinali'nden alınan örneklerin şeyl gaz potansiyeli kriterlerine göre yeterli organik zenginliğe

ve aşırı termal olgunluğa sahip olduğunu, ancak düşük kırılgenlik indeksi değerleri nedeniyle şeyl gaz üretim koşullarına uygun olmadığı görüşüne varmışlardır. Aydemir (2012), Dadaş Formasyonu ile Barnett şeylinin benzer çökelim ortamına ve organik zenginliğe sahip olduğunu ancak daha yüksek oranda petrol penceresinde bulunan Dadaş Formasyonu'nun aksine, Barnett şeylinin daha çok gaz eğilimli zon aralığından bulunduğunu belirtmiştir. Yıldız (2016) Dadaş Formasyonu (Tip II kerojen, TOK %3-7 ve kırılgen vb.) ile dünyadaki ankonvansiyonel kaynakların benzer jeokimyasal özelliklere sahip olduğunu belirtmiştir. Topçu (2013), yüksek lisans tezi kapsamında, bölgede açılan kuyu verilerini kullanarak, Dadaş Formasyonu'nun tahmini şeyl gaz rezervini hesaplamaya çalışmıştır. Araştırmacının ön gördüğü teknik ile elde edilebilir gaz miktarı 376 milyar metreküp'dür.

Şen ve Kozlu (2020) tarafından Dadaş Formasyonu'nun üretilebilir şeyl petrol potansiyeli üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Rock-Eval piroliz Tmax değeri kullanılarak %VRE (vitrit refleksansı eşdeğeri) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre %0.58 ile %1.30 VRE ve "erken olgun-kondanse/ıslak gaz penceresi" arasında değişen termal olgunluklara sahip olduğunu belirtmişlerdir. Örneklerin şeyl petrol potansiyelini belirlemek için petrol doygunluk indeksi (OSI) değerleri araştırılmıştır (OSI>100 mg HC/g TOK). Buna göre minimum %0.80 VRE ve maksimum %1.10 VRE değerlerine sahip olan örneklerin üretilebilir petrol ve kondanse/ıslak gaz potansiyeli olabileceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmalara ek olarak, 2019 yılında TPAO tarafından Diyarbakır'daki, Mermer-1 sahasında 3500 m derinlikte açılan sondajda yapılan hidrolik çatlatma yöntemiyle Türkiye'de ilk kez şeyl petrol Dadaş Formasyonu'ndan üretilmiştir (www.ntv.com.tr).

Dadaş Formasyonu'nun termal olgunluğu bölgede çeşitlilik göstermektedir. Bu durum Aksu ve Günay tarafından 1993 yılında gerçekleştirdikleri çalışmalarda da özetlenmiştir. Aksu ve Günay (1993) Dadaş Formasyonu'nun Miyosen yaşlı allokonlarla örtülü olan alanlarda aşırı olgun, nap cephesinin önünde gaz ve Korudağ-Sason hattının güney alanlarında petrol penceresinde olduğunu belirtmişlerdir. Ardından, Günay ve Aksu (1993) Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde otokton istifeye ait yüzey ve kuyu örneklerini kullanarak, otokton istifin petrol

potansiyelinin, bölgedeki allohton birimlerin kalınlığının azaldığı bölgelerde muhtemel hidrokarbon potansiyeline sahip olabileceğini öne sürmüşlerdir.

Önceki çalışmalar doğrultusunda Dadaş Formasyonu'nun, mineralojik, hidrokarbon potansiyeli, termal olgunluğu, organik madde tipi ve gözenek tipleri bu çalışmada çeşitli yöntemlerle araştırılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

2.1. Giriş

Paleozoyik süresince, Arap Plakası'nın Gondvana'nın kuzey kenarını temsil eden bölümlerden biri olduğu bilinmektedir (Şengör and Yılmaz, 1981). Bu durum, Güneydoğu Anadolu bölgesindeki Paleozoyik yaşlı birimler ile Orta Doğu bölgesindeki birimler arasındaki ilişkinin belirlenmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır ancak bu durum günümüzde devam eden ayrı bir tartışma konusudur.

Güneydoğu Anadolu Baseni Türkiye'nin güneydoğusunda yer almaktadır. Bu bölge Fanerozoik dönem içerisinde organik açıdan zengin kaynak kaya seviyeleri içermektedir. Bölgede petrol üretim faaliyetlerinin yapıldığı ham petrolün en önemli kaynağının Dadaş Formasyonu şeyline ait olduğu bilinmektedir. Çalışma alanına ait stratigrafik birimlere ve bölgenin jeolojik evrimine ait özet bilgilerin önceki çalışmalardan derlendiği bu bölümde, Dadaş Formasyonu Güneydoğu otokton birimleri arasında yer almaktadır.

Bu bölümde Güneydoğu Anadolu Otokton istifindeki birimlerin formasyon isimleri, dokanak ilişkileri ve açıklamalar için TPAO Genel Müdürlüğü, Araştırma Merkezi Grubu Başkanlığı Eğitim yayınlarından, Yılmaz ve Duran tarafından 1997 yılında yayınlanan "*Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allokon Birimler Stratigrafi Adlandırma Sözlüğü (Lexicon)*" isimli kitaptan yararlanılmıştır. Bu bölüm ulaşılabilen ilgili önceki çalışmalar ile birlikte derlenmiştir.

2.2. Bölgesel Jeoloji

Orta Doğu'nun Fanerozoik döneminin büyük bir bölümü süresince Afrika Plakası'nın bir parçası olduğu ve Erken Mesozoyik dönemde Neotetis Okyanusu'nun açılmaya başlaması ile ayrılmaya başladığı belirtilmektedir. Bunun sonucunda İran'ın ayrıldığını ve devamında Geç Tersiyer boyunca Hint Okyanusu yayılımı ile gelişen yükselim sonucunda Aden Körfezi'nin şekillenip, Kızıl Deniz'in oluşmaya başladığı söylenmektedir (Beydoun, 1988; Şekil 2.1 a).

Erken Paleozoyik dönemde Siluriyen yaşlı şeyller Gondvana'nın kuzeyini temsil etmektedir (Beydoun, 1991). Geç Ordovisiyen buzullaşması 0.5-1.0 milyon yıl (my) sürmüştür (Brenchley ve ark., 1994; Lüning ve ark., 2000). Buzullaşma

depolanma sürecini etkilemiştir ve Kuzey Gondwana şelfinde güçlü paleorölyef gelişimi ile sonuçlanmıştır. Geç Ordovisiyen boyunca, Gondwana'nın kuzey bölümünün Güney kutbuna yakın konumda bulunduğu söylenmektedir (Caputa ve Crowell, 1985; Scotese ve Barrett, 1990; Daziel, 1997; Mac Niocaill ve ark., 1997; Smith, 1997; Grunow, 1999; Lüning ve ark., 2000). Geç Ordovisiyen buzullaşmasının pik yapmasından sonra Hirnansiye süresinde (Brenchley ve ark., 1994) buzların erimesi, östatik deniz seviyesinde yükselmeyle sonuçlanmıştır. Geç Ordovisiyen süresi boyunca etki alanı geniş güneye doğru başlayan bir transgresyonla ilk olarak çok hızlı bir şekilde Siluriyen (Ruddaniyen) yaşlı graptolitli şeyller çökelmişlerdir. Bu süreç, Kuzey Afrika'da ve Orta Doğu'da petrol ve gaz potansiyelinin bu kadar zengin ve verimli olmasını açıklamaktadır (Alsharhan ve Nairn, 1997; Beydoun, 1998a). Organik maddece zengin bu çökeller oldukça geniş bir alanda yayılım gösteren Ordovisiyen buzullarının erimesiyle yükselen deniz seviyesi sonucunda oluşan anoksik ortamın bir sonucudur. Lüning ve ark. (2000, 2003) bu şeyllerin Gondwana'da yanal devamlılık göstermediğini belirtmektedir. Organik madde açısından zengin Ruddaniyen şeyllerinin aksine, dünyanın birçok bölgesinde Ruddaniyen sonrası şeyllerinin fakir organik madde içeriği ile düşük petrol üretme potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir.

Çalışma alanı gelişen tüm süreçlerden etkilenmiştir. Alsharhan ve Nairn (1997)'ye göre Güneydoğu Anadolu Baseni Paleozoyik ve Mesozoyik dönemlerinde bu bölgede duraysız bir platform niteliği göstermektedir. Bu durum bölgede yoğun tektonik deformasyonlara neden olmuştur. Önceki çalışmalarda araştırmacılara göre bölge, çoğunlukla iki büyük tektonik sürecin (Üst Kretase ve Miyosen sonu) gelişimi sonucunda şekillenmiştir (Ketin, 1966a; Yürür ve Chorowicz, 1998). Bölgede daha yaşlı K-G yönlü sıkışma ve bununla birlikte doğrultu atımlı ve D-B yönlü açılmanın etkin bir tektonizmanın hakim olduğu belirtilmektedir.

Yılmaz ve ark. (1984) yılında gerçekleştirdikleri çalışmada Güneydoğu Anadolu orojenik kuşağını yaklaşık doğu-batı gidişle, güneyde "arap platformu" ve kuzeyde "orojenik kuşak" olmak üzere iki zona ayırmışlardır. Bahsedilen orojenik kuşağı kendi içinde farklı istif içeriğine ve farklı yapısal özelliklere göre "ekay zon"

ve “nap alanı” olarak iki temel bölüme ayırmışlardır. Ekay zonunun, Güneydoğu Anadolu orojenik kuşağında naplarla Arap platformu arasında sıkıştırılmış ve dilimlenmiş birimlerden oluştuğunu belirtmişlerdir. Arap platformunun başlıca Üst Kretase ve Miyosen nap yerleşmelerine bağlı gelişmiş iki ana deformasyondan etkilendiğini ileri sürmüşlerdir. Alt Miyosen döneminde naplar ve bunun güney cephesini oluşturan ekay zonunun bir bütün halinde güneye doğru ilerleyerek Arap platformu üzerine bindirme ile geldiğini belirtmişlerdir.

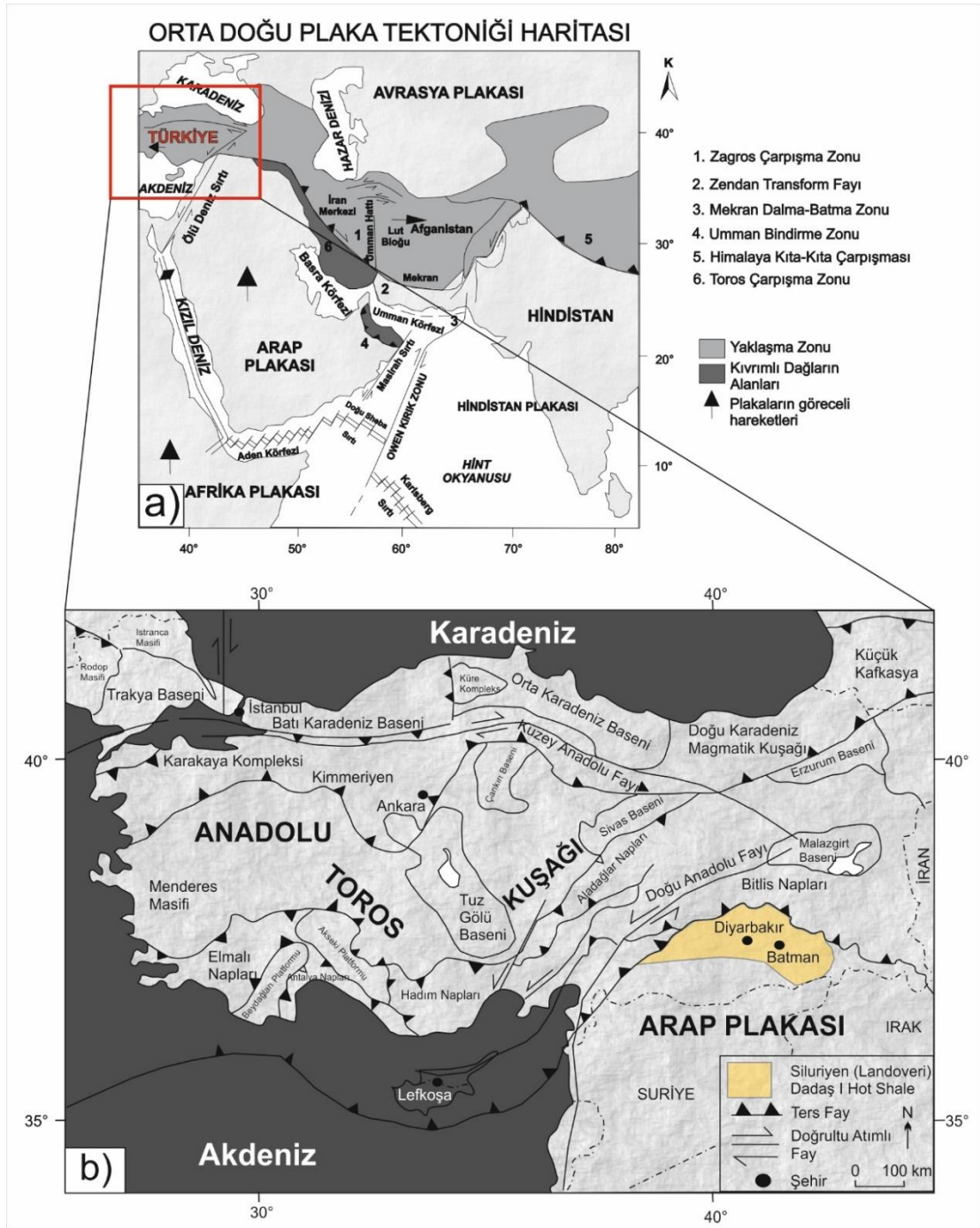
Başka bir deyişle, Keskin (2011)’e göre bölgeye Üst Kampaniyen-Alt Maastrichtiyen zamanında Arap Plakası ile Anadolu plakasının çarpışması neticesinde Koçali-Karadut napları yerleşmiştir. Miyosen sonlarında, Anadolu-Torid platformu ile Neotetis Okyanusu’nun kuzey kolundan kaynaklanan napların bölgeye yerleşmesi sonucu bölge etkilenmiş, kıvrılmış, kırılmış ve kendi içinde ekaylanmıştır. Bahsi geçen jeolojik süreçler sonucunda kuzeyden güneye bindirmeler, KD-GB doğrultulu ters ve normal faylar ile büyük bir çoğunluğu D-B ve KD-GB gidişli antiklinaller ve senklinaller gelişmiştir. Bölgede gözlenen yaygın allokon birimlerin varlığı, Yılmaz ve Duran (1997) tarafından “Üst Kretase ve Miyosen döneminde etkin olan sıkışma tektonizması” ile açıklanmaktadır. Muehlberger (1981)’e göre Ölü Deniz Fay Zonu üzerinde de gelişen tektonik yapılar Anadolu ve Arap levhaları arasındaki ilk kıta-kıta çarpışması sonucu gelişmiştir.

Gelişen süreçler sonrasında GDA bölgesi “Batıda Amanoslar, doğuda İran, güneyde Suriye ve Irak, kuzeyde Miyosen bindirmesi” ile sınırlanmıştır (Yılmaz ve Duran, 1997) (Şekil 2.1.b). Güneydoğu Anadolu bölgesine ait basitleştirilmiş tektonik birlikler haritası Şenel (2003)’den ve Keskin (2011)’den alınmıştır (Şekil 2.2). Ketin (1966a) GDA bölgesinin stratigrafik ve tektonik özelliklerinin Mardin-Derik yükseliminde, Hazro Antiklinal’inde ve doğuda Büyük Zap ırmağı vadisinde gözlenmektedir. Araştırmacı bölgeyi doğu ve batı bölümleri olmak üzere sınıflamıştır. Her iki bölümde jeolojik ve tektonik süreçlerin farklı geliştiğine işaret edilmektedir. Doğuda çoğunlukla devamlılığı olan, konkordan seriler gözlenirken, batı bölümünde transgresyonlar nedeniyle ayırt edici uyumsuzluklar gözlenmektedir.

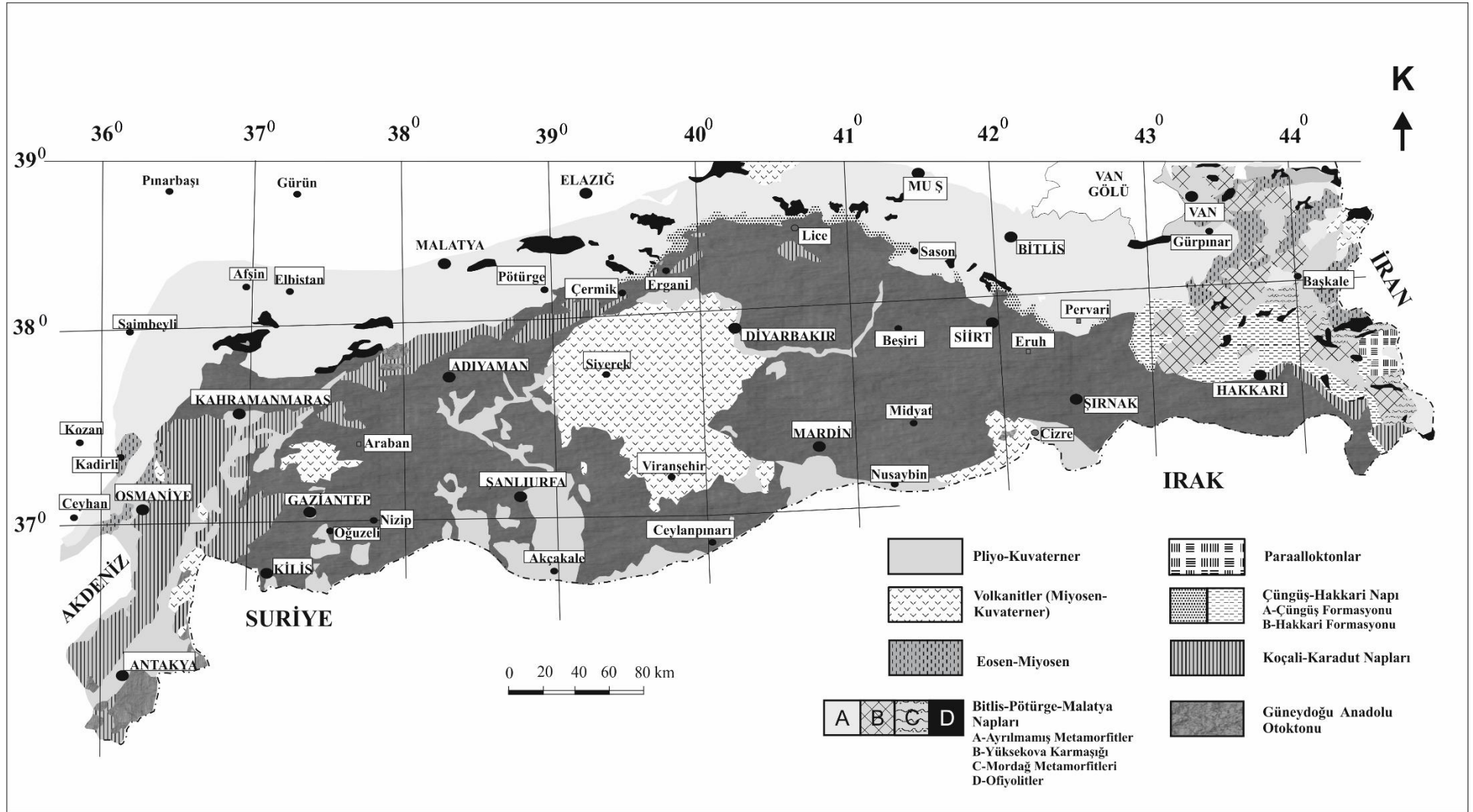
Perinçek ve Özkaya (1981) çalışmalarında bölge stratigrafisini güneyden kuzeye doğru üç ana kuşakta incelemiştir. Bunlar, “Güneyde otokton Arabistan levhası şelf istifleri, kuzeyde allohton Maden-Bitlis kuşağı sürüklenim dilimleri, daha kuzeyde Palu-Keban sürüklenim dilimleri”dir. Göncüoğlu ve ark. (1997) Arap Platformunun, Güneydoğu Anadolu Otoktonu olarak adlandırıldığını ve özellikle Toros Dağları sisteminin en güneyini oluşturan Amanoslar bölgesinde Paleozoyik istifin geniş bir yayılım gösterdiğini belirtmişlerdir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki sedimantasyon Yılmaz ve Duran (1997)’e göre ise genel olarak üç tektonik olay ile şekillenmiştir. Bunlardan ilki Kambriyen-Alt Kretase sürecinde deniz yüzeyi değişimlerine neden olan epirojenik hareketler, ikincisi Üst Kretase sıkışma rejimi ve sürüklenimi, üçüncüsü ise Miyosen sıkışma rejimi ve sürüklenimleri olarak ifade edilmiştir. Neojen döneminde ise Neotetis’in kapanma süreci tamamlanmıştır.

Türkiye’nin güneydoğusunda Siluriyen dönemi boyunca çökelen birimlerin, Hirnansiyen buzul dönemini sonrası deniz seviyesinin yükselmesi ile gelişen transgresyonun bir sonucu olduğu bilinmektedir (Kozlu ve ark., 2012). Bu dönemde çökelen Dadaş Formasyonu’nun Dadaş I üyesi bölgede belirli bir alanda yayılım göstermektedir (Şen ve Kozlu, 2020) (Şekil 2.1.b). Bu çalışma kapsamında alınan örnekler bu yayılım alanı sınırlarında yer almaktadır. Fakat alınan örnekler üzerinde yapılan değerlendirmelerin örneklerin Ruddaniyen yaşlı Dadaş I (hot şeyl) seviyesini temsil etmediği sonucuna varılmıştır. Dadaş II ve Dadaş III üyesi yayılımı, Dadaş I için (Şekil 2.1.b’de) belirtilen alanın içinde sırasıyla istifin üst seviyelerine doğru azalmaktadır (Dr. Yılmaz Günay, 2015 sözlü görüşme).



Şekil 2. 1. a) Orta Doğu'nun plaka tektonik haritası (Sismik aktiviteye dayalı plakalar arası yakınsama bölgesi verileri Mc Kenzie ve ark., 1970; Ben Avraham ve Nur, 1976; De Jong, 1982; Hempton, 1987 kaynakları aracılığıyla Alsharhan and Nairn, 1997 tarafından hazırlanmıştır). b) Temel sedimanter basenleri ve GDA'daki Siluriyen yaşlı şeyilleri gösteren Türkiye haritası (Stampfli ve ark., 2001; Poisson ve ark., 2003; Robertson ve ark., 2003; Gerdes ve ark., 2010; Ghienne ve ark., 2010; Şen ve Kozlu, 2020'den alınmıştır).



Şekil 2. 2. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait basitleştirilmiş tektonik birlikler haritası (Şenel, 2003; Keskin, 2011'den alınmıştır).

2.3. Çalışma Alanının Stratigrafisi

GDA bölgesinde birimler; otokton ve allokton olmak üzere iki gruba ayrılmıştır (Yılmaz ve Duran, 1997; Keskin, 2011). Çalışma alanının stratigrafisi otokton ve allokton birimler olmak üzere iki bölüm halinde özetlenmiştir. Prekambriyen yaşlı kayalarla başlayıp, Kuvaterner yaşlı kayalarla biten otokton birimlerine ait genelleştirilmiş stratigrafi kesiti Şekil 2.3'te Yılmaz ve Duran (1997)'den alınarak sunulmuştur.

2.3.1. Güneydoğu Anadolu Otoktonu

Güneydoğu Anadolu Otoktonu, Arap plakasının kuzey uzantısını oluşturmaktadır (Keskin, 2011) ve Paleozoyik-Kuvaterner yaşlı çökellerden oluşmaktadır (Yılmaz, 1983; Sütçü, 2008; Kaymakçı ve ark., 2010; Keskin, 2011; Tetiker ve ark., 2012). Otokton istifte tanımlanan formasyonlar, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik olmak üzere üç başlık halinde aşağıda verilmiştir.

2.3.1.1. Güneydoğu Anadolu Otokton İstifinde Paleozoyik Birimler

Güneydoğu Anadolu Otokton istifinde Paleozoyik zaman aralığında çökelen kayalar Yılmaz ve Duran (1997) tarafından Derik, Habur, Diyarbakır, Zap ve Tanin Grubu olmak üzere beş gruba ayrılmıştır.

Güneydoğu Anadolu Otoktonu, Derik Grubu'nun en alt formasyonu olan Prekambriyen yaşlı (Ketin, 1964, 1966b; Bozdoğan, 1982b) Telbesmi Formasyonu ile başlamaktadır. Telbesmi Formasyonu genelde ince tabakalı kumtaşı, silttaşı ve şeyl ardalanmasından oluşmaktadır. Formasyonun alt dokanak ilişkisi Güneydoğu Anadolu bölgesinde görülmemektedir. Üst dokanak ilişkisi ise tartışma konusudur. Ketin (1966b) ve Atan (1969) Sadan Formasyonu ile açılı dokanağa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Telbesmi Formasyonu üzerinde Sadan Formasyonu yer almaktadır. İlk kez Taylor (1955) tarafından Mardin ili Derik ilçesi Sadan-Sosink köyleri civarında tanımlanmıştır. Ketin (1964) tarafından da Derik-Bedinan civarında "Sadan Formasyonu" adı ile bugünkü kullanıldığı şekilde tarif edilmiştir. Formasyon çakıltası, kumtaşı litolojilerinden oluşmaktadır ve üstte Koruk Formasyonu ile uyumlu bir dokanağa sahiptir (Perinçek, 1990).

Y A Ş	GRUP	FORMASYON	LİTOLOJİ
S E N O Z O Y İ K	KUVATERNER	ALÜVYON	
		ŞELMO	
	NEOJEN	SILVAN	LİCE
			FIRAT
	MİYÖSEN	ALT	KAPIKAYA
	OLİGOSEN	ÜST	
	EÖSEN	ÜST	
M E S O Z O Y İ K	PALEÖSEN	ÜST	
	ORTA	ALT	
	KRETASE	ÜST	
	JURA	ÜST	
	TRİYAS	ÜST	
P A L E O Z O Y İ K	PERMİYEN	ÜST	
	KARBONİFER	ALT	
	DEVONİYEN	ÜST	
	SİLÜRİYEN	ÜST	
	ORDOVİSİYEN	ÜST	
P R E K A M B R İ Y E N	KAMBRIYEN	ÜST	
	ORTA	ALT	
	PREKAMBRIYEN	ÜST	
	ORTA	ALT	
	PREKAMBRIYEN	ÜST	

Şekil 2. 3. Güneydoğu Anadolu bölgesi otokton birimlerin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Yılmaz ve Duran, 1997'den alınmıştır).

Beydoun (1991)'e göre Güneydoğu Anadolu bölgesinde yüzeyleyen Sadan-Sosink Formasyonu'nun Erken Kambriyen ve/veya Orta Kambriyen döneminde çökelen önemli karbonat çökeli bölümlerini oluşturmaktadır. Koruk Formasyonu (Orta Kambriyen Monod ve ark., 1979; Bozdoğan, 1982b) kireçtaşı, dolomit araldanmasından oluşmaktadır. Koruk Formasyonu yüzeylediği lokasyonlarda üstte Sosink Formasyonu (Orta-Üst Kambriyen) ile tedrici geçişlidir (Bozdoğan, 1982b; Yılmaz ve ark., 1984). Sosink Formasyonu Derik Grubu'nun en üst formasyonudur. Formasyon şeyl, marn, silttaşı, kumlu ve fosilli kireçtaşı araldanması ile başlamaktadır. Ardından formasyonda karbonat miktarı azalmaktadır ve kumtaşı ve şeyl araldanması ile devam edip sonlanmaktadır (Aksu, 1980; Yılmaz ve Duran, 1997).

Habur Grubu, Seydişehir Formasyonu (Alt Ordovisiyen) ve Bedinan Formasyonu (Orta-Üst Ordovisiyen) ile tanımlanmıştır (Yılmaz ve Duran, 1997). Seydişehir Formasyonu'nun litolojik özellikleri, kumtaşı, silttaşı ve şeyl araldanması olarak belirtilmiştir. Formasyonu'nun yaşı Alt Ordovisiyen'dir (Monod ve ark., 1979; Bayçelebi ve ark., 1984). Bedinan Formasyonu ise temelde şeyl ve bazı seviyelerde şeyl-silttaşı araldanmasından oluşmaktadır (Yılmaz ve Duran, 1997). Kumlu seviyeler içeren şeyl seviyeleri nedeniyle mükemmel rezervuar kaya olarak nitelendirilmektedir (Alsharhan and Nairn, 1997). Bedinan Formasyonu alttan üste doğru gayri resmi olarak 4 seviyeye ayrılmıştır. Bedinan I üyesi, koyu gri renkli şeyllerden, Bedinan II üyesi gri, koyu kahve renkli silttaşlarından, Bedinan III üyesi beyaz renkli kumtaşlarından ve Bedinan IV üyesi ise kumtaşı, silttaşı ve şeyllerden oluşmaktadır. Bölgede Bedinan Formasyonu'nun alt dokanağının yüzeylemediği belirtilmiştir (Kellogg, 1960c). Formasyonun 431-678 m arasında değişen kalınlıklara sahip olduğu söylenmektedir (Ketin, 1964; Bayçelebi ve ark., 1984; Amoco, 1985; Yılmaz ve Duran, 1997). Bedinan Formasyonu'nun yaşı Orta-Üst Ordovisiyen'dir (Bayçelebi ve ark., 1984; Bozdoğan ve ark., 1994).

Habur Grubu'nu, Alt Silüriyen-Üst Devoniyen zaman aralığında çökelmiş olan Diyarbakır Grubu formasyonlarının üzerlediği belirtilmiştir. Alttan üste doğru "Dadaş Formasyonu", "Hazro Formasyonu", "Kayayolu Formasyonu" olarak üç ayrı formasyonla tanımlanmıştır. Dadaş Formasyonu, bu çalışmanın konusunu

oluşturmaktadır. Dadaş formasyonu Erken Paleozoyik dönemde Gondvana'nın kuzey kenarında çökelmiş Siluriyen yaşlı bir kaynak kayadır (Peters, 2005). İlk kez Kellogg ve Kayar (1959; Kellogg, 1960) tarafında Diyarbakır ili Hazro ilçesi civarında tanımlanmıştır. Erkmen ve Bozdoğan tarafından 1979 yılında Dadaş Formasyonu'nun yaşı akritark palinomorflarına göre Üst Landoveri-Ludlov olarak verilmiştir. Günümüzde formasyonun kabul gören yaşı Alt Siluriyen-Alt Devoniyen'dir (Bozdoğan ve ark., 1987; 1988). Formasyon GDA bölgesinde 12000 km²'lik bir alanda yayılım göstermektedir (Güzel ve ark., 2011; EIA, 2013). Formasyon gayri resmi olarak litolojik özelliklerine göre Dadaş I, Dadaş II ve Dadaş III üç üyeye ayrılmıştır (Bozdoğan ve ark., 1987, 1988) (Şekil 2.4). Dadaş I, karbonat ara tabakaları içeren koyu renkli şeyllerden oluşmaktadır. Dadaş II, kumtaşı ara bantlı, organik madde açısından zengin koyu renkli şeyllerden ve Dadaş III ise şeyl, kumtaşı, dolomit ve marn litolojilerinden oluşmaktadır (Keskin, 2011). Araştırmacılara göre her seviye kendi içinde üst seviyelerine doğru sığlaşan bir özellik göstermektedir. Bölgede Dadaş I seviyesinin tamamının ve Dadaş II seviyesinin alt kısımlarının hiçbir lokasyonda yüzeylemediği belirtilmektedir (Yılmaz ve Duran, 1997). Hazro yükseliminde Dadaş III'ün tamamı ile Dadaş II'nin üst kesimi yüzeylemektedir (Yılmaz ve Duran, 1997; Kranendock, 2004). Dadaş Formasyonu'nun 1:100000 ölçekli Elazığ-L42, Malatya-i27 ve Muş-L45 paftalarında yüzeylemektedir. Formasyonun üst dokanağı Hazro Formasyonu ile uyumludur. Diyarbakır ili Çüngüş ilçesi Derdere köyü yakınlarındaki Korudağ civarında Mardin Grubu'nun karbonatları ("Sabunsuyu Formasyonu" Tuna, 1973; Pasin ve ark., 1982; Yılmaz ve Duran, 1997) formasyonun üzerine açısız diskordansla gelmektedir (Perinçek, 1979; Aksu, 1980; Keskin, 2011). Fakat bu bir tartışma konusudur. Kozlu ve ark. (2012)'ye göre bu bölgede dokanaklar tektonik ilişkilidir. Bu bölgede hem bir çökelmemezlik dönemi olabileceği düşünülmektedir hem de tektonik bir bindirme söz konusudur (Dr. Yılmaz Günay ve Dr. Remzi Aksu, sözlü görüşme 2015). Bölgede mostra kalınlıklarına ve kuyu verilerine göre batı-kuzeybatı yönüne gidildikçe Dadaş Formasyonu'nun kalınlığı artmaktadır (Karabulut ve ark., 1993).

Bölgede açılan kuyularda Dadaş Formasyonu Hazro Formasyonu ile uyumlu ve altta ise Ordovisiyen yaşlı Bedinan Formasyonu ile uyumsuz bir dokanağa sahiptir (Yılmaz ve Duran, 1997; Keskin, 2011).

Yaş	Grup	Formasyon	Kalınlık (m)	Litoloji	Açıklamalar
ALT SİLURİYEN-ALT DEVONİYEN	DİYARBAKIR	D A D A Ş	267.50		Silttaşı-Şeyl: Gri, yeşilimsi gri, kahve renkli Şeyl: Koyu gri, yer yer kahve renkli ve dolomit ara bantlı Kireçtaşı: Kirli beyaz, yer yer kahvems renkli Şeyl: Gri, koyu gri, kahve renkli.

Şekil 2. 4. Diyarbakır Grubu'nun en alt bölümü Dadaş Formasyonu'na ait stratigrafik kesit (Bozdoğan ve ark., 1988 ve Yılmaz ve Duran, 1997'den alınmıştır).

Hazro Formasyonu, Alt Devoniyen yaşlıdır (Bozdoğan ve ark., 1987; 1988; Yılmaz ve Duran, 1997; Bozkaya ve ark., 2011). Yalnızca Hazro bölgesinde Hazro Antiklinali'nde yüzeylemektedir (Bozkaya ve ark., 2011). "Alt, orta ve üst" olmak üzere üç farklı litolojik seviyeye ayrılmıştır (Lebküchner, 1976). Alt ve orta bölümler daha çok dolomitik marnlardan oluşurken, üst bölüm marn-kumtaşı-dolomit ardalanmasından oluşmaktadır (Bozkaya ve ark., 2011). Hazro Formasyonu'nda petrol sızıntıları içeren kumtaşı seviyeleri gözlenmektedir (Alsharhan ve Nairn, 1997; Bozkaya ve ark., 2011). Formasyonun alt dokanağı, Dadaş Formasyonu ile tedrici geçişli ve uyumlu gözlenirken, üst dokanağı ise keskin bir geçişle Kayayolu dolomitleri ile uyumsuzdur (Yılmaz ve Duran, 1997). Göncüoğlu ve Kozlu (2000) bölgesel Alt Devoniyen uyumsuzluklarını Paleotetis Okyanusu'nun kapanma süreciyle ilişkilendirmişlerdir.

Bunlara ek olarak, Hazro ilçesi civarında, Permien yaşlı birimlerde gözlenen kömürlü seviyeler "Hazro kömürleri" adıyla bilinmektedir ve çeşitli araştırmacılar

tarafından çalışılmıştır (Ağralı ve Akyol, 1967; Lebküchner, 1976; Kavak ve Toprak, 2013). Diyarbakır Grubu'nun en üst bölümünde yer alan Kayayolu Formasyonu, Güneydoğu Anadolu bölgesinde yüzey vermemektedir ve ilk kez TPAO tarafından açılan kuyularda Bozdoğan ve ark. (1987) tarafından isimlendirilmiştir (Yılmaz ve Duran, 1987). Araştırmacılar tarafından litolojik özellikleri, şeyl-dolomit ardalanması olarak tarif edilmiştir.

Bir diğer grup ise Zap Grubu'dur. Bu grup alttan üste doğru; dolomit ve kuvars-kumtaşlarından oluşan Yığınlı Formasyonu, kireçtaşı, kumtaşı ve şeyl litolojilerinden oluşan Köprülü Formasyonu ve son olarak resifal kireçtaşlarından oluşan Belek Formasyonu ile tanımlanmışlardır. Yığınlı Formasyonu, Habur Grubu ile uyumsuz, Köprülü Formasyonu ile uyumlu dokanağa sahiptir (Aksu, 1980). Bölgede kalınlığı 3 m ile 306 m arasında değişiklik göstermektedir (Açıkbaş ve ark., 1981). Formasyonun yaşı Üst Devoniyen'dir (Perinçek, 1989; 1990; Yılmaz ve Duran, 1997). Köprülü Formasyonu'nunda hakim litoloji kireçtaşı ve şeyllerden oluşmaktadır (Açıkbaş ve ark., 1978; Yılmaz, 1984). Yaşı ise Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaş aralığındadır (Köylüoğlu ve Erten, 1985; Yılmaz ve Duran, 1997). Belek Formasyonu sığ deniz koşullarında çökelmiştir ve yaşı Alt Karbonifer'dir (Köylüoğlu ve Erten, 1985; Yılmaz ve Duran, 1997).

Araştırmacılar, Paleozoyik birimlerin sonunu temsil eden grubu Tanin Grubu çökelleri olarak tanımlamışlardır. Tanin Grubu, altta kumtaşı ve kırıntıların hakim olduğu Kaş Formasyonu ile karbonatları ve kırıntıların temsil eden Gomanibrik Formasyonu'ndan oluşmaktadır. Kaş Formasyonu ilk kez Bozdoğan ve ark. (1987) tarafından Diyarbakır ili Hazro ilçesinin 6 km batısındaki Dadaş köyünün Kaş Mahallesi'nde tanımlanmıştır. Hazro civarında formasyonun kalınlığı 32-80 m arasında değişiklik göstermektedir (Kellogg, 1960a; Ketin, 1964; Perinçek, 1979; Aksu, 1980). Gomanibrik Formasyonu altta Kaş Formasyonu ile uyumlu dokanağa sahiptir. Bozdoğan ve ark. (1988) Hazro civarında Gomanibrik Formasyonu üç seviyeye ayırmıştır. Formasyon'un yaşı Üst Permiyen'dir (Bozdoğan ve ark., 1988).

2.3.1.2. Güneydoğu Anadolu Otokton İstifinde Mesozoyik Birimler

Güneydoğu Anadolu Otokton istifinde Mesozoyik dönem çökelleri Yılmaz ve Duran (1997) tarafından alttan üste doğru sırasıyla; Çığlı, Cudi, Mardin, Adıyaman ve Şırnak Grubu olmak üzere 5 gruba ayrılmıştır.

Çığlı Grubu'na ait tüm birimlerin Alt Triyas yaşlı olduğu söylenmektedir. Grubun en alt üyesi Yoncalı Formasyonu'nun tabanının bölgede yüzeylenmediği belirtilmektedir. Yoncalı Formasyonu'nun, Uludere Formasyonu ile uyumlu dokanağa sahiptir (Perinçek, 1980b; Yılmaz ve Duran, 1997). Uludere Formasyonu'nun kalınlığının yaklaşık 171 m olduğuna dikkat çekilmiştir. Uzungeçit Formasyonu, Çığlı Grubu'nun en üst formasyonu olduğunu ve çeşitli kalınlıklarda kireçtaşı seviyeleri içeren bir litolojinin hakim olduğu belirtilmiştir.

Cudi Grubu formasyonlarının yaşı, Yılmaz ve Duran (1997)'ye göre, Orta/Üst Triyas–Alt Kretase yaş aralığındadır. Bu grup araştırmacılar tarafından yüzeyde gözlenen ve gözlenemeyen iki farklı gruba ayrılmıştır. Yüzeyde gözlenemeyen formasyonlar, alttan üste sırasıyla; ; Bakük, Girmeli, Çamurlu, Telhasan, Dinçer, Kozluca ve Yolaçan Formasyonları olarak ifade edilmiştir. Yüzeyde gözlenen formasyonlar ise Çanaklı ve Latdağı Formasyonu olarak iki formasyon ile tanımlanmıştır. Çanaklı Formasyonu, kireçtaşı ve dolomit seviyeleri ile ayırt edilmiştir. Latdağı Formasyonu'nun ise sadece dolomitlerden oluştuğu söylenmektedir.

Mardin Grubu, ilk kez Schmidt (1935a) tarafından Mardin bölgesinde oldukça kalın kireçtaşları ile karakterize olan Mardin kireçtaşları olarak tanımlanmıştır. Günümüzde adlandırılması Tuna (1973) ile Sungur (1973) tarafından Aptiyen-Turoniye yaşlı karbonatlar için Mardin Grubu olarak yapılmıştır. Mardin Grubu'nun kalınlığı bölgede oldukça değişkenlik göstermektedir (Yılmaz ve Duran, 1997). En altta klastik litolojiye sahip Areban Formasyonu'ndan sonra karbonatlı seviyelerle zengin Sabunsuyu Formasyonu, Derdere Formasyonu ve en üstte Karababa Formasyonu ile tanımlanmışlardır (Keskin, 2011). Areban Formasyonu'nun GDA bölgesinde kalınlığının ve yayılımının değişkenlik ve düzensizlik gösterdiği belirtilmiştir. Yaşı Aptiyen-Albiyen'dir (Sinanoğlu ve Erkmen, 1980; Erenler, 1989). Sabunsuyu Formasyonu altta Areban Formasyonu ve üstte Derdere Formasyonu ile uyumlu dokanağa sahiptir.

Sabunsuyu Formasyonu'nun Diyarbakır ili Çüngüş ilçesinin Derdere köyü civarına Korudağ bölgesinde, altta Dadaş Formasyonu ile uyumsuz dokanağa sahiptir (Tuna, 1973; Pasin ve ark., 1982; Yılmaz ve Duran, 1997; Keskin, 2011). Korudağ Antiklinali'nde formasyonun kalınlığı 305-400 m'dir (Perinçek, 1979; Pasin ve ark., 1982). Yaşı Albiyen-Senomaniyen'dir (Erenler, 1980). Derdere Formasyonu, ilk kez Diyarbakır ili Çüngüş ilçesinin Derdere köyü civarına Korudağ Antiklinali'nde Handfield ve ark. (1959) tarafından tanımlanmıştır. Yaşı Senomaniyen'dir (Erenler, 1989; Yılmaz ve Duran, 1997). Karababa Formasyonu, mostra verdiği bölgelerde ve kesildiği kuyularda Karababa A, Karababa B ve Karababa C olmak üzere üç seviyede tanımlanmışlardır. Formasyon altta Derdere Formasyonu, üstte ise Karaboğaz Formasyonu ile uyumsuz dokanağa sahiptir (Tuna, 1973; Aksu, 1980; Pasin ve ark., 1982). Bryant (1960) ise Karababa Formasyonu'nun Diyarbakır ili Çüngüş ilçesinin Derdere köyü Korudağ civarında Karaboğaz Formasyonu ile uyumlu dokanağa sahip olduğunu belirtmiştir. Yaşı Üst Koniasiyen-(?) Alt Kampaniyen'dir (Erenler, 1989; Çoruh, 1981; 1991).

Arazi çalışmaları sırasında Çermik ilçesi Korudağ Mahallesi civarından Dadaş Formasyonu ile uyumsuz dokanağa sahip olduğu belirtilen Mardin Grubu karbonatlarına ait fotoğraf Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2. 5. Çermik ilçesi Korudağ Mahallesi civarında Mardin grubu kireçtaşı blokları (Bakış Yönü: K).

Adıyaman Grubu, Karaboğaz, Ortabağ, Sayındere, Beloka Formasyonları ile tanımlanmıştır. Karaboğaz Formasyonu'nun litolojik özelliklerinde, karbonat bakımından zengin ve yer yer fosfatlı kireçtaşı, çört ve kiltası seviyelerinin hakim olduğu belirtilmiştir. Günümüzde kullanılan tanımlama Handfield ve ark. (1959) tarafından Korudağ civarında yapılmıştır. Yaşı Orta Kampaniyen'dir (Güven ve ark., 1991a; Çoruh, 1991). Ortabağ Formasyonu'nda hakim litoloji kireçtaşı, marn ve şeyl ardalıdır (Perinçek, 1980a) ve yaşı Orta Kampaniyen'dir (Güven ve ark., 1991). Sayındere Formasyonu'nun kalınlığı kesildiği kuyu verilerine göre 30-250 m arasında değişmektedir ve derin deniz koşullarını yansıtmaktadır (Güven ve ark., 1991a). Sayındere Formasyonu'nun yaşı Üst Kampaniyen'dir (Çoruh, 1991; Güven ve ark., 1991a). Beloka Formasyonu kumlu beyaz, krem renkli üst seviyeleri ise çörtlü kireçtaşlarından oluşmaktadır. Yaşı Orta-Üst Kampaniyen'dir (Güven ve ark., 1991a).

Şırnak Grubu formasyonlarının GDA bölgesinde oldukça geniş bir alanda yayılım gösterdiğine dikkat çekilmiştir (Yılmaz ve Duran, 1997). Toplamda on üç formasyon ile tanımlanmışlardır. Formasyonların Üst Kretase-Paleosen yaş

aralığında çökeldiği söylenmektedir. Mesozoyik dönemde çökelen formasyonlar alttan üste sırasıyla; Kastel, Bozova, Kıradağ, Terbüzek, Besni, Haydarlı, Garzan, Germav alt üyesi, Üçkiraz, Sinan alt üyesi ve Antak Formasyonlarıdır.

2.3.1.3. Güneydoğu Anadolu Otokton İstifinde Senozoyik Birimler

Güneydoğu Anadolu Otokton istifinde Senozoyik dönem çökelleri araştırmacılar tarafından beş gruba ayrılmıştır (Yılmaz ve Duran, 1997). Alttan üste doğru sırasıyla; Şırnak, Midyat, Silvan Grupları ve Kuvaterner yaşlı birimleri ile tanımlanmıştır.

Senozoyik dönemde Şırnak Grubu formasyonları, Germav üst üyesi, Sinan üst üyesi, Belveren, Becirman, Antak, Kayaköy Formasyonları olarak gruplanmıştır. Bu formasyonların yaşı Paleosen olarak verilmiştir.

Midyat Grubu, Alt Eosen-Orta Eosen/(?) Oligosen yaş aralığındaki toplam altı formasyondan oluşmaktadır. Grubun en altta klastik litolojiye sahip Gercüş Formasyonu ile başlamakta olduğu belirtilmiştir. Grup karbonatlı seviyelerinin hakim olduğu Kavalköy, Hoya, Gaziantep, Havillati, Germik Formasyonları ile devam edip sonlanmaktadır. Gercüş Formasyonu ilk kez Maxson (1936) tarafından tanımlanmıştır. Formasyonun bölgede kolaylıkla ayırt edilebilen tipik renge ve fiziksel özelliklere sahip olduğuna işaret edilmiştir. Çakıltası, kumtaşı, marn, silttaşı ve killi kireçtaşı litolojilerinden oluşmaktadır (Güven ve ark., 1991). Gercüş ve Kavalköy Formasyonu'nun yaşı Alt Eosen'dir (Duran ve ark., 1988). Hoya Formasyonu bölgede genel olarak kireçtaşı, dolomit litolojisine sahiptir ve bu durum hazne kaya potansiyeli açısından önem taşımaktadır (Perinçek, 1979). Hoya Formasyonu Alt Eosen-Alt Oligosen yaşlıdır (Duran ve ark., 1988). Gaziantep Formasyonu'nun bölgede tipik tebeşirli görünümü ve yumuşak topoğrafyaya neden olması ile karakteristik bir yapıda olduğu söylenmektedir (Yılmaz ve Duran, 1997). Yaşı Alt Eosen-Üst Oligosen'dir (Duran ve ark., 1988). Havillatti Formasyonu, Hakkari ili civarında yüzeylemektedir ve çok ince tabakalı görünümüyle kolayca ayırt edilebilmektedir (Perinçek, 1990). Yaşı Orta-Üst Eosen'dir (Duran ve ark., 1988). Yılmaz ve Duran (1997) Germik Formasyonu'nun, bölgede Kapıkaya Formasyonu ile karıştırıldığına dikkat çekmişlerdir. Formasyon dolomit, şeyl, jips litolojilerine sahiptir ve yaşı Orta Eosen-Oligosen'dir (Duran ve ark., 1988).

Miyosen yaşı (Açıkbaş ve ark., 1981; Duran ve ark., 1988, 1989; Batı, 1991, Yılmaz ve Duran, 1997) Silvan Grubu formasyonları alttan üste sırasıyla, Kapıkaya, Fırat ve Lice Formasyonları ile tanımlamışlardır. GDA bölgesinde bu formasyonların yüzeyletiği alanlarda Şelmo Formasyonu ile uyumsuz olarak örtüldüğü belirtilmiştir. İlk kez Siirt-Batman civarında Bolgi (1961) tarafından Şelmo Formasyonu olarak adlandırılan birim, GDA bölgesinde oldukça geniş bir alanda yayılım göstermektedir (Tuna, 1973). Şelmo Formasyonu'nu, çakıltası, kumtaşı, silttaşı, şeyl ve marn ardalanması ile tanımlamışlardır. Yaklaşık kalınlığı 455.53 m olarak verilmiştir. Araştırmacılar, bu formasyonun Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşı olduğunu belirtmişlerdir (Çemen ve ark., 1990; Yılmaz ve Duran, 1997).

2.3.2. Allohton Birimler

Güneydoğu Anadolu bölgesinde Allohton birimleri Yılmaz ve Duran (1997) çalışmasında, Bitlis civarında tanımlanan Bitlis Metamorfikleri, Hezan Grubu, Koçali Karmaşığı, Karadut Karmaşığı, Yüksekova Karmaşığı, Guleman Grubu, Hakkari Karmaşığı, Maden Karmaşığı ve Çüngüş Formasyonu olarak dokuz başlıkta incelemişlerdir.

Bitlis Metamorfikleri, metamorfik fasiyes ve litolojik fasiyeslerine göre alt ve üst olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır (Yılmaz ve Duran, 1997). Bu birliği oluşturan kaya toplulukları gözlü gnays, iki mikalı granat gnays, biyotit gnays, amfibolit, kuvars, albit, biyotit, granat şist ve muskovit şist olduğu belirtilmektedir. Perinçek (1990) Bitlis Metamorfikleri'ni Toros orojenik kuşağının orta tektonik dilinimi oluşturduğunu söylemektedir. Bitlis Metamorfikleri'nin yaşı Devoniyen-Kretase yaş aralığına işaret etmektedir (Açıkbaş ve ark., 1981; Göncüoğlu ve Turhan, 1984). Göncüoğlu ve Turhan (1984) Bitlis Zonu'nun Paleozoyik stratigrafisinin Güneydoğu Anadolu Otoktonu ile aynı olduğu ve Neotetis Okyanusu'nun kapanması sırasında Arap Levhası'nın deformasyona uğramış ve metamorfizma geçirmiş bölümü olarak ifade etmektedir.

Hezan Grubu, Diyarbakır ili Hazro ilçesi kuzeybatısındaki Hezan civarında tanımlanmıştır ve dokuz ayrı formasyondan oluşmaktadır (Perinçek, 1979). Bunlar; Kilisedağ, Hezankilise, Hezan, Verarecelicoke, Nenyas, Karamekan,

Hacı, Kuran, Licek, Karadut Formasyonlarıdır. Hezan Grubu ile altında ve üstündeki birimler arasında tektonik ilişki gözlenmektedir (Yılmaz ve Duran, 1997). Hezan Grubu'nun yaşı Orta Triyas-Alt Kretase yaşlıdır (Atalay ve Bayram, 1987; Yılmaz ve Duran, 1997). Hezan Grubu karbonatları Günay (1986) tarafından yaş eşitliğine göre Arap platformundaki Cudi Grubu karbonatlarının eşdeğeri olarak yorumlanmıştır (Yılmaz ve Duran, 1997).

Koçali Karmaşığı alttan üste doğru serpantin, kireçtaşı, çört, radyolarit, dolomitik kireçtaşı, dolomit ve kireçtaşı-radyolarit ardalanması ile devam etmektedir ve karmaşık serpantin ve kireçtaşı ile sonlanmaktadır (Yılmaz ve Duran, 1997). Koçali Karmaşığı'nın Diyarbakır ili Korudağ-Çermik-Çüngüş civarı ve Hazro yükseliminin kuzey kanadı altındaki Karadut Karmaşığı ile ilişkisi tektoniktir (Perinçek, 1979). Koçali Karmaşığı'nın ortamı derin deniz koşullarını yansıtmaktadır (Perinçek, 1978b; Yılmaz ve Duran, 1997) ve yaşı Üst Jura-Alt Kretase olarak belirlenmiştir (Perinçek, 1990; Yılmaz ve Duran, 1997).

Karadut Karmaşığı Diyarbakır ili Çermik ilçesinin kuzeydoğusundaki Kevan köyü civarında 1:25000 ölçekli L43-d1 haritası sınırlarında açılan Kevan-1 kuyusunda kesilmiştir (Yılmaz ve Duran, 1997). Bu kuyuda altta Sayındere Formasyonu ile tektonik ilişkili olduğu söylenmektedir. Formasyon, şeyl ve kireçtaşı litolojilerinden oluşmaktadır. Karadut Karmaşığı'nın yaşı Senomaniyen-Alt Turoniyen (Üst Kretase)'dir (Perinçek, 1979).

Yüksekova Karmaşığı ilk kez Hakkari ili Yüksekova ilçesi civarında Özkaya (1977) tarafından tanımlanmıştır. Bu birim Yüksekova ilçesinin doğu ve güneydoğusunda ortalama 2500 m kalınlığa ulaşmaktadır (Özkaya, 1977). Yüksekova Karmaşığı, volkaniklerle başlayıp şeyl, granodiyorit, volkanik, kireçtaşı, şeyl ve yine volkanik birimler ile sonlanmaktadır (Perinçek, 1990). Yaşı Koniasiyen-Kampaniyen'dir (Perinçek, 1989; 1990).

Guleman Grubu'nda ultrabazik kayalar (piroksenit, dünit, harzburgit) hakimdir (Perinçek, 1979; Yılmaz ve Duran, 1997). Tektonik bölgelere yakın olduğu lokasyonlarda serpantinleşmiştir. Yaşı Kampaniyen-Alt Maastrichtiyen'dir (Perinçek, 1989, 1990).

Hakkari Karmaşığı, Hakkari ili civarında tanımlanmıştır. Kalınlığı 2000 m'yi bulan karmaşık Urşe Formasyonu ve Durankaya Karmaşığı'ndan oluşmaktadır (Yılmaz ve Duran, 1997). Hakkari Karmaşığı'nın yaşının Eosen olduğu belirtilmektedir (Perinçek, 1989, 1990).

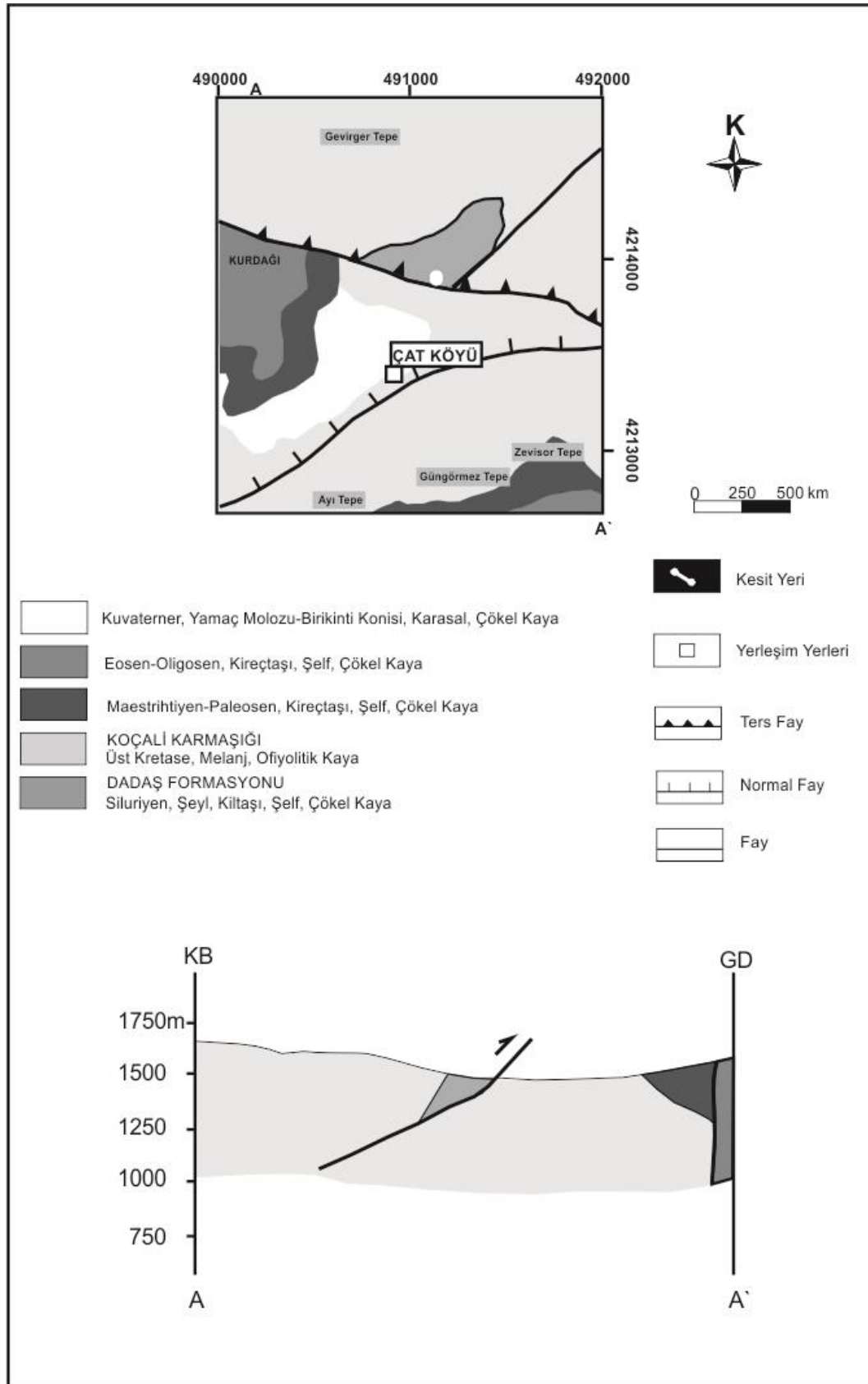
Maden Karmaşığı'nın kalınlığı 750-1000 m arasında değişmektedir (Yılmaz ve Duran, 1997). Maden Karmaşığı çeşitli araştırmacılar tarafından belirtildiği üzere Ceftan, Arbo, Melefan, Kardere, Narlıdere, Çelikhan, Hürmer, Sason Formasyonlarından oluşmaktadır. Maden Karmaşığı'nın yaşı Alt-Orta Eosen'dir (Perinçek, 1989, 1990).

Çüngüş Formasyonu, Diyarbakır ili Çüngüş ilçesi dolayında şeyl, marn ve kumtaşı aralanmasından oluşmaktadır (Yılmaz ve Duran, 1997). Litolojik olarak Silvan Grubu Lice Formasyonu'na benzer özelliklere benzemektedir. Yaşı Eosen-Miyosen'dir (Açıkbaş ve ark., 1981; Perinçek, 1989, 1990).

2.4. Ölçülü Stratigrafik Kesitler ve Kuyu Örnekleri

Bu çalışma kapsamında Güneydoğu Anadolu bölgesinde Dadaş Formasyonu'ndan, Çat ÖSK ve Çermik/Korudağ ÖSK olmak üzere iki adet ölçülü stratigrafik kesit ölçülmüştür. Buna ek olarak, iki adet kırıntı ve bir adet karot olmak üzere üç kuyudan örnek alınmıştır. Dadaş Formasyonu'ndan toplam 88 adet şeyl örneği alınmıştır.

Çat ÖSK, Malatya il merkezinin 55 km güneydoğusundan Pütürge İlçesi Nohutlu Mahallesi Çat köyünün kuzeyinde ölçülmüştür. Çat ÖSK 1:100000 ölçekli Malatya i-27 ve 1:25000 ölçekli Malatya L 41-c3 paftalarında yer almaktadır (Şekil 2.6). Malatya L41-c3 paftasında Dadaş Formasyonu'nun bulunduğu alan Üst Kretase yaşlı ve ofiyolitik bir kaya olarak tanımlanmıştır. Göz ardı edilen bu durumun nedeni, bu bölgede Dadaş Formasyonu'nun büyük bölümünün örtülü olmasıdır. Bu çalışmada kısıtlı koşullar altında örtülü olan formasyondan kesit ölçümü oldukça sınırlı fakat güvenilir bir alanda yapılmıştır (Şekil 2.7). Kesitin toplam kalınlığı 3 m'dir. Toplam 11 örnek alınmıştır (Şekil 2.11).



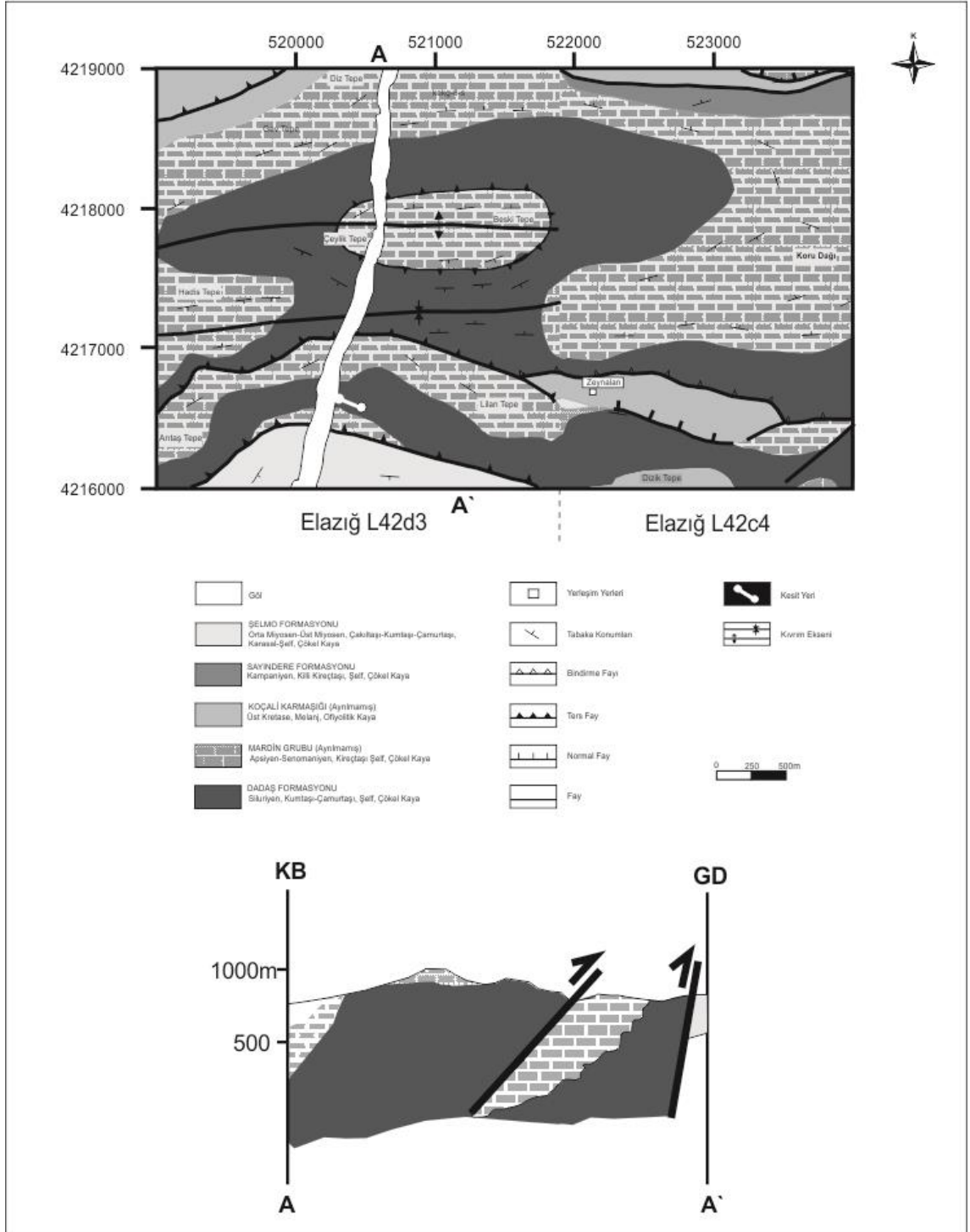
Şekil 2. 6. Çat ÖSK'sının yer aldığı bölgenin jeolojik haritası (1:25000 ölçekli MTA Malatya L41-c3 paftasından ve 1:100000 ölçekli MTA Malatya-İ27 paftasından değiştirilerek alınmıştır).



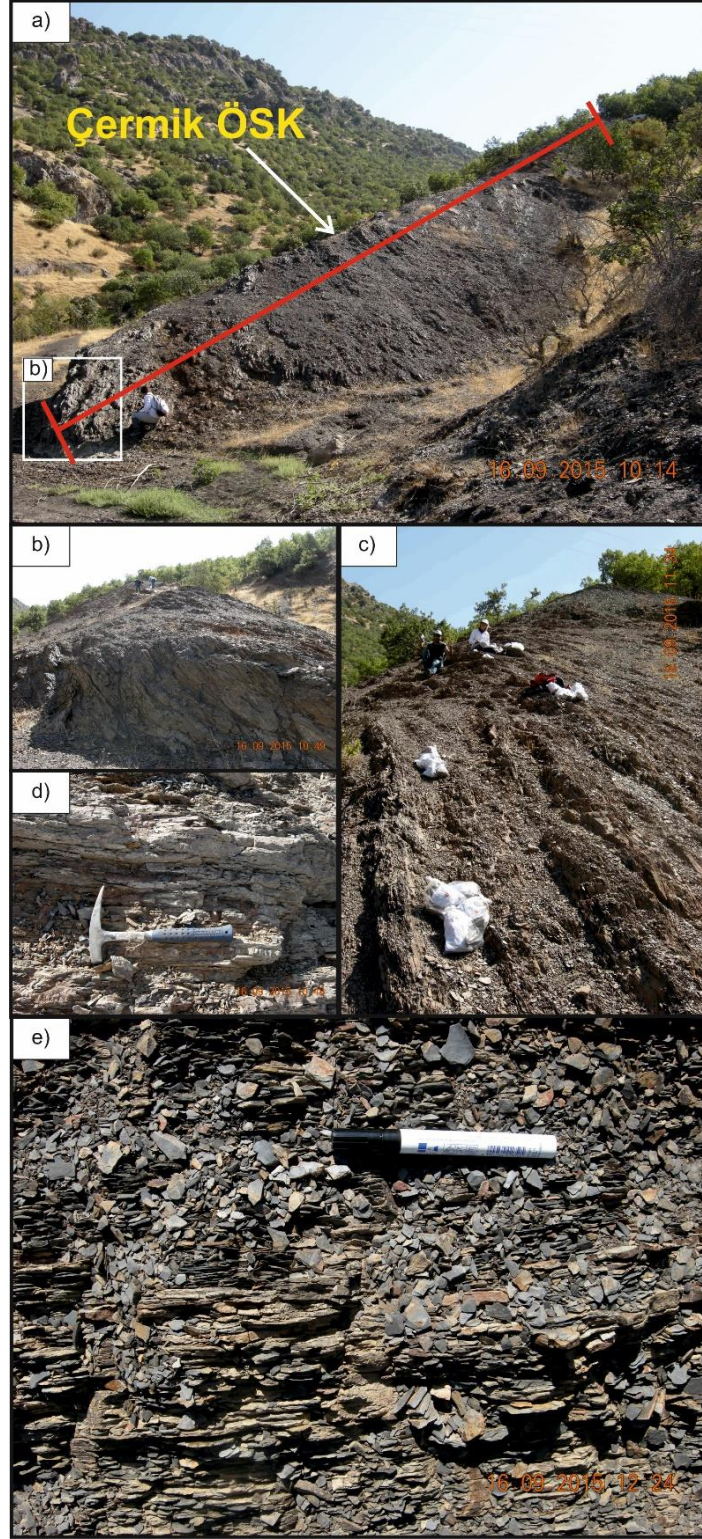
Şekil 2. 7. Çat ÖSK'sının ölçüldüğü arazi fotoğrafları. a) Çat ÖSK'sı genel görünüm (Bakış Yönü: KB), b) C-17 numaralı örneğin genel görünümü (Bakış Yönü: KB), c) Kesitin üst seviyesi (Bakış Yönü: GD).

Çermik ÖSK, Diyarbakır il merkezinin 70 km kuzeybatısında Çermik ilçesi Korudağ Mahallesiinde Korudağ Antiklinali'nin güneybatısında ölçülmüştür. Bu bölgede yüzeylemekte olan en yaşlı kayaçların Güneydoğu Anadolu otoktonuna ait Paleozoyik yaşlı çökeller olduğu belirtilmektedir (Keskin, 2011). Çermik ÖSK ve Dadaş Formasyonu'nun gözlemlendiği alanlar 1:100000 ölçekli Elazığ L42 paftasında ve 1:25000 ölçekli Elazığ L 42-d3 ve Elazığ L 42c4 paftasında yer

almaktadır (Şekil 2.8). Kesitin toplam kalınlığı 39 m'dir ve toplamda 39 adet yüzey örneği alınmıştır (Şekil 2.9; Şekil 2.11).

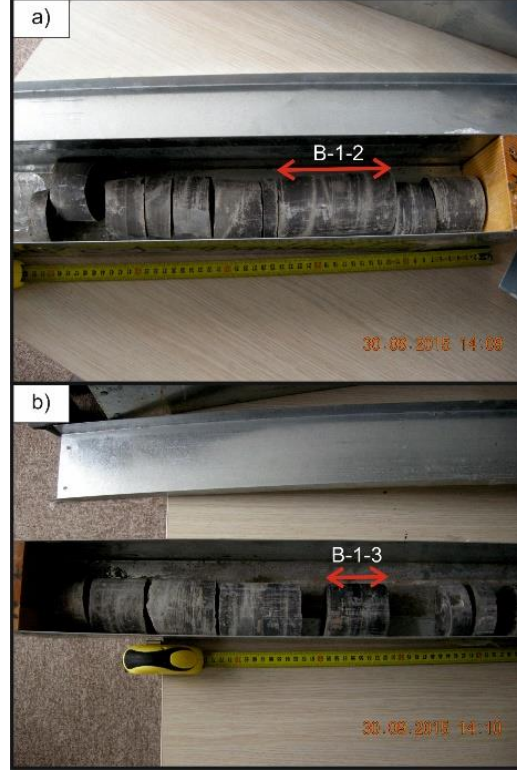


Şekil 2. 8. Çermik ÖSK'sının yer aldığı bölgenin jeolojik haritası (1:25000 ölçekli MTA Elazığ L42-d3, Elazığ L42-c4 paftasından ve 1:100000 ölçekli MTA Elazığ-L42 paftasından değiştirilerek alınmıştır).



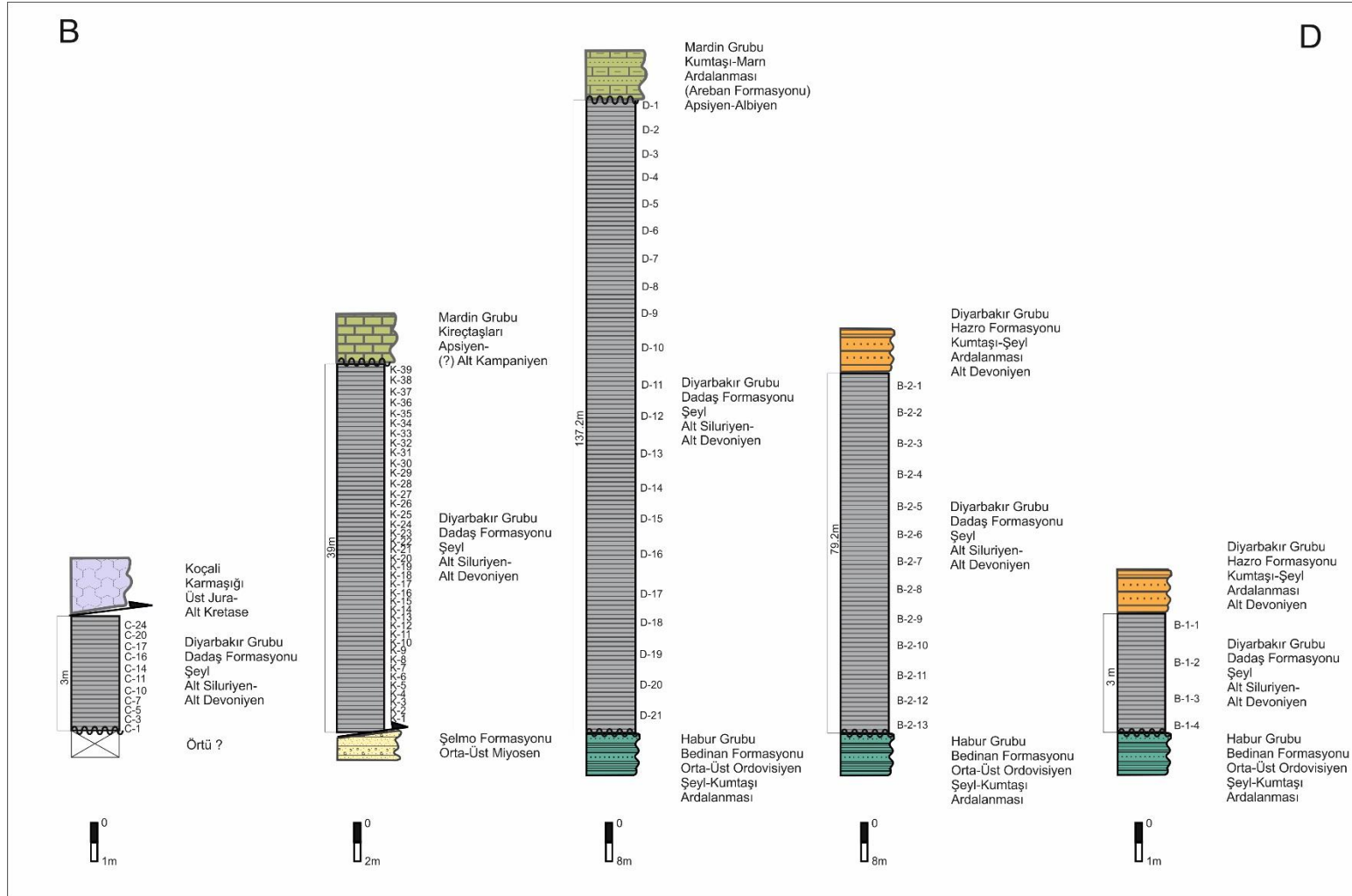
Şekil 2. 9. Çermik ÖSK'sının ölçüldüğü arazi fotoğrafları. a) Çermik ÖSK'sı genel görünüm, b) Tektonik etkilere maruz kalan kıvrımlı yapılar (Bakış Yönü: KD), c) Kesitin orta seviyeleri genel görünüm (Bakış Yönü: KD), d) K-4 numaralı örneğe ait genel görünüm, e) K-35 numaralı örneğe ait genel görünüm.

Bu çalışma kapsamında Diyarbakır il merkezinin 15 km kuzeybatısında Diyarbakır-1 kırıntı kuyu örnekleri, Diyarbakır il merkezinin 40 km güneydoğusunda Bismil ilçesi güneyi civarında Bismil-2 kırıntı kuyu örnekleri ile Bismil-1 karot kuyu örnekleri alınmıştır (Şekil 2.10). Kuyulara ait detaylı bilgiler bilgi gizliliği nedeniyle paylaşılmamıştır.



Şekil 2. 10. Bismil-1 kuyu örnekleri. a) B-1-2 numaralı örneğin genel görüntüsü, b) B-1-3 numaralı örneğin genel görüntüsü.

Çat ÖSK, Çermik ÖSK ile kuyu örneklerine ait stratigrafik kesitler Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2. 11. Çat ÖSK, Çermik ÖSK, Diyarbakır-1, Bismil-2 ve Bismil-1 kuyuları stratigrafik kesitleri. (Ölçek farklılığına dikkat ediniz).

3. ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

3.1. Arazi Çalışmaları

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Dadaş Formasyonu'nun yüzeylediği alanlardan örnek alınması, yüzeylemeyen alanlarda ise kuyu örneklerinin alınması amaçlanmıştır. Çat ve Çermik-Korudağ Antiklinali civarında iki adet ölçülü stratigrafik kesit ölçülmüştür. Çat bölgesinde formasyonun en iyi gözlendiği yer seçilmiştir. Bölgede güvenilir örneklemenin yapılabileceği çalışma alanı kısıtlı olduğundan sınırlı bir alandan örnek alınmıştır. Çermik ilçesi Korudağ Antiklinali civarında yüzeyleyen Dadaş Formasyonu için Korudağ Antiklinali'nin güneyinde, iyi şekilde gözlendiği bir lokasyon seçilmiştir. Arazi çalışmalarının gerçekleştirildiği alanlarda 1/25000 ölçekli Malatya L 41-c3, Elazığ L 42-d3, Elazığ L 42-c4 paftalarından yararlanılmıştır.

Toplamda beş farklı lokasyondan örnek alınmıştır. Çat ÖSK'sından 11 adet, Çermik ÖSK'sından 39 adet, Diyarbakır-1 kuyusundan 21 adet, Bismil-2 kuyusundan 13 adet, Bismil-1 kuyusundan 4 adet şeyl örneği alınmıştır.

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Bu çalışmada arazi çalışmaları sırasında alınan yüzey örnekleri ve kuyu örnekleri üzerinde gerçekleştirilen analizlerin laboratuvar yöntemleri ve uygulanan metotlar hakkında bilgi verilmiştir.

3.2.1. XRD Tüm Kayaç Analizi

Tez çalışması kapsamında alınan toplam 88 adet kayaç numunesinin mineralojik bileşiminin saptanması için XRD tüm kayaç analizi yapılmıştır. XRD analizi için örnekler, yaklaşık 250 µm büyüklüğünde elde, agat havanda öğütülmüştür. Örnekler H.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü XRD Laboratuvarı'nda Rigaku DMAX 2200 PC marka cihazda analiz edilmiştir. Difraktogram çekimi sırasında CuKα tüp, 40 kV, 40 mA akım, 2°/dk çekim hızı kullanılmıştır. 5-50° arasında 2θ aralığında çekim yapılmıştır.

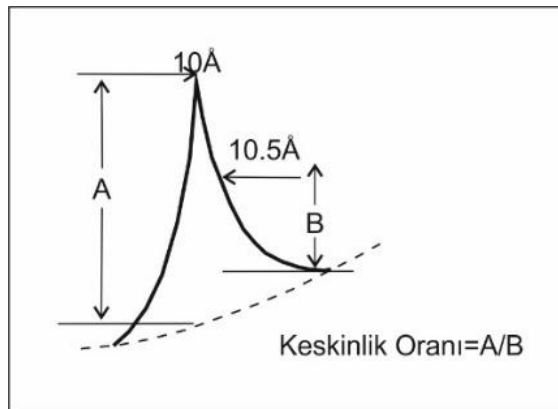
Minerallerin yarı nicel yüzde bolluk oranlarına ait hesaplamalar Gündoğdu (1982) ve Temel ve Gündoğdu (1996) çalışmalarından referans alınmıştır.

3.2.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi

XRD kil fraksiyonu analizi H.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü XRD Laboratuvarı'nda 57 adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Örnekleri analize hazırlamak için yaklaşık 250 µm büyüklüğünde elde, agat havanda öğütülmüştür. Saf su ile yıkanmıştır. Yaklaşık 60-70° derecede etüvde kurutulmuştur. Eppendorf Centrifuge 5810 marka santrifüj cihazında kil ayırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Örnekler damlalıkla lameller üzerine damlatılıp, etüvde yaklaşık 60-70°C'de kurutulmuştur. Rigaku DMAX 2200 PC marka cihazda normal, glükollü ve fırınlanmış olarak, CuKα tüp, 40 kV, Ni filtre, 18 mA akım, 2°/dk çekim hızı kullanılmıştır. 2-30° 2θ aralığında çekimler yapılmıştır.

XRD kil fraksiyonunda okunan illit ve klorit pikleri şeylin metamorfizma derecesi ile ilgili bilgi verebilmektedir (Weaver, 1960; Kübler, 1967; Arkai, 1991; Kisch, 1991). Tez çalışması kapsamında kullanılan teknikler, Keskinlik Oranı, Kübler İndeksi, Klorit Kristalinite İndeksidir. Kristalinite değerleri Jade 7 programı kullanılarak elde edilmiştir.

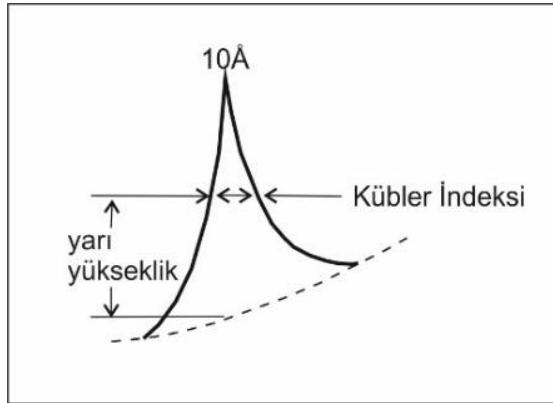
Keskinlik Oranı (SR-Sharpness Ratio veya Weaver indeksi), XRD difraktogram deseninde 10 Å şiddetindeki illit minerali piki yüksekliğinin/uzunluğunun, 10.5 Å şiddetindeki pikinin yüksekliğine oranı ile hesaplanan bir tekniktir (Weaver, 1960) (Şekil 3.1).



Şekil 3. 1. XRD difraktogramında 10 Å ve 10.5 Å şiddetindeki illit pikinden keskinlik oranı hesaplaması (Weaver, 1960).

Illit kristalinitesi (IC) veya Kübler indeksi (KI), XRD difraktogram deseninde 10 Å şiddetinde gözlenen illit minerali pik şiddetinin yarı uzunluğunun (FWHM)

santimetre cinsinden genişliği ölçülerek hesaplanan bir tekniktir (Kübler, 1967; 1968) (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2. Çamurtaşının tipik XRD difraktogram illit pik profili ve Kübler İndeksi hesaplaması (Merriman ve Peacor, 1999).

Çeşitli araştırmacılara göre illitin tek boyutlu difraktogram verisi kısıtlı bilgiye neden olmaktadır. Bu nedenle IC değerlerinin kalibrasyon edilmesi gerekmektedir. (Warr ve Rice, 1994; Guggenheim ve ark., 2002; Warr ve Ferreiro Mahlmann, 2015; Warr ve Cox, 2016). Bu kalibrasyonun yapılabilmesi için Kristalinite İndeks Standartı (CIS) oluşturulmuştur. Kalibrasyon için oluşturulan doğrusal bir denklemle yeniden hesaplanmaktadır (Warr ve Rice, 1994). IC_{Hacettepe} değerlerinden IC_{CIS} değerlerinin yeniden hesaplanması için kullanılan doğrusal denklem aşağıda verilmiştir. Oluşturulan eşitliğin korelasyon katsayısı (R²) oldukça yüksek güvenilirliğe sahiptir (0.993).

$$IC_{CIS} = 1.33 \times IC_{Hacettepe} - 0.03$$

Klorit kristalinite (ChC-Arkai İndeks) indeksi ise XRD difraktogram deseninde klorit mineralinin 14 Å veya 7 Å pik şiddetinin yarı uzunluğunun (FWHM) santimetre cinsinden genişliği ölçülerek hesaplanan bir tekniktir (Arkai ve ark., 1995). Tez çalışmasında kristalinite değerinin hesaplanması için klorit mineralinin 7 Å pik şiddeti tercih edilmiştir.

3.2.3. Mikroskop Çalışmaları

Kırıntı örnekler binoküler mikroskop altında ayıklanmıştır. Örneklerde makroskopik boyutlarda gözlenen graptolitlerin fotoğrafları binoküler mikroskop ile görüntülenmiştir ve fotoğraflanmıştır.

İnce kesit çalışmaları için seçilen örnekler tabakalanmaya paralel ve dik olmak üzere Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır. Hazırlanan ince kesitler Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mikroskop Laboratuvarı'nda fotoğraflanmıştır.

3.2.4. Rock-Eval Piroliz Analizi

Rock-Eval piroliz analizi organik jeokimya uzmanları tarafından hidrokarbon kaynak kaya potansiyelinin belirlenebilmesi için kullanılan en yaygın yöntemdir (Durand, 2003; Kvenvolden, 2008). Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen veriler için öngörülen sınır değer aralıkları ve grafikleri, geçmiş yıllarda petrol jeokimyası üzerinde çalışan bazı araştırmacılar (Van Krevelen, 1961; Espitalie ve ark., 1977; Hunt, 1979; Durand, 1980 vb.) tarafından geliştirilmiştir. Espitalie tarafından 1977 yılında, 1970'li yılların ortalarında geliştirilip kullanılmaya başlanan Rock-Eval piroliz cihazı hakkında bir çalışma yöntemi yayınlanmıştır. Bu yöntem, kaynak kaya karakterizasyonu ve hesaplamaları için petrol jeokimyası çalışmalarında bir standart haline gelmiştir ve günümüzde de kullanılmaktadır (Dembicki, 2016).

Bu çalışma kapsamında, Rock-Eval piroliz analizi Türkiye Petrolleri Araştırma ve Geliştirme Merkezi Birimi'nde Rock-Eval 6 (RE-6) cihazında IFP 160000 standardında gerçekleştirilmiştir. Uygulanan metot, Lafargue ve ark. (1998)'den ve Behar ve ark. (2001)'den alınmıştır. Cihaz programında ısınma, piroliz ve oksidasyon işlemleri için 100°C'den ile başlamaktadır. Karasal kökenli organik maddenin tespit edilebilmesi için 850°C'ye kadar ulaşmaktadır. Rock-Eval piroliz analizi ile elde edilen parametreler, ölçülen ve hesaplanan parametreler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Parametrelere ait açıklamalar özetlenerek Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Kırıntı örnekler, geçmiş yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda, yıkandıktan sonra oda sıcaklığında kurutulup ardından plastik torbalarda bekletilmiştir (Jarvie ve Baker, 1984). Bu işlem, örnek üzerindeki uçucu bileşenleri ve gazları kayba uğratmamak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak, bekleme süresine göre bu oranın değişmekte olduğu saptanmıştır (Jarvie ve Baker, 1984). Bu nedenle, bu çalışma kapsamında örneklenen kırıntı (A ve P örnek grupları) örnekleri,

binoküler mikroskopta seçilmiş ve sonrasında TP Ar-Ge Laboratuvarı'nda içindeki hafif hidrokarbonların kayba uğramaması için doğrudan analize tabi tutulmuştur. TOK ve Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen yukarıdaki parametrelere ait detaylı bilgiler ve sınır değerleri Bölüm 5'te verilmiştir.

Çizelge 3. 1. Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen ve hesaplanan parametreler (Jarvie ve Baker, 1984; Peters ve Cassa, 1994; Behar ve ark., 2001).

	Parametreler	Anlamı
Ölçülen	TOK (% ağırlık)	(PC+RC), yüzde ağırlıkça toplam organik karbon miktarı
	S ₁ (mg HC/g kayaç)	Serbest hidrokarbon miktarı
	S ₂ (mg HC/g kayaç)	Dönüştürülebilir hidrokarbon miktarı
	S ₃ (mg CO ₂ /g kayaç)	Kerojenin termal parçalanması sonucu ortaya çıkan CO ₂ miktarı
	Tmax (°C)	S ₂ pik şiddetinin tepe noktasında ölçülen sıcaklık değeri
Hesaplanan	HI (mg HC/g TOK)	(S ₂ /TOK)×100, Kerojen içindeki hidrojen miktarı
	OI (mg CO ₂ /g kayaç)	(S ₃ /TOK)×100, Kerojen içindeki oksijen miktarı
	PI	[S ₁ /(S ₁ +S ₂)], Üretim İndeksi
	RC (% ağırlıkça)	TOK-[0.082(S ₁ +S ₂)/10], Artık Karbon
	PC (% ağırlıkça)	Pirolitik Karbon
	MINC (% ağırlıkça)	Mineral Karbon
	QI	S ₂ /S ₃ , Kerojen Kalitesi (Clementz ve ark. 1979; Peters, 1986)
	MI (mg HC/g TOK)	S ₁ /TOK, Göç İndeksi (Jarvie ve Baker, 1984)
	PV veya SPI (ppm)	(S ₁ +S ₂) Potansiyel Verim veya Kaynak Potansiyel İndeksi

3.2.5. Palinolojik Çalışmalar

Palinolojik değerlendirmeler için TOK (% ağırlıkça) içeriği yüksek ve makroskopik büyüklükte graptolit fosili gözlenen örnekler seçilmiştir. Örnekler, standart palinolojik metotlar kullanılarak ayrılmıştır (Batı, 2015). Örnekler agat havan yardımıyla 2 mm boyutta öğütülmüşlerdir. Örneklerdeki fosilleri, şeylin matriksinden (karbonatlardan ve silikatlardan) arındırmak için örnekler sırasıyla HCl ve HF asite maruz bırakılmıştır. Elde edilen organik madde kalıntıları ile hala ortamda bulunan mineral kalıntılarını ayırmak için özgül ağırlığı 2.0 gr/cm³ olan çinko klorür (ZnCl₂) kullanılmıştır. Örnekler her işlem sonrasında saf su ile yıkanmıştır. İşlemler sonrasında geriye kalan organik madde, jelatinli gliserin damlatılmış lamel üzerine damlatılmıştır. Lamel ile kapatılan örnek Zeiss Axio Imager M1 mikroskobunda 20x ve 40x objektiflerinde sırasıyla mikrofasiyes ve

palinomorfları incelemek için kullanılmıştır. Kronostratigrafik zaman aralıklarına ait sayısal yaş ve dönem, devre ve çağ isimleri 2018 yılında Uluslararası Stratigrafi Komisyonu tarafından Türkçe hazırlanan çizelge referans alınmıştır (Cohen ve ark., 2018).

3.2.6. Optik Organik Petrografik Çalışmalar

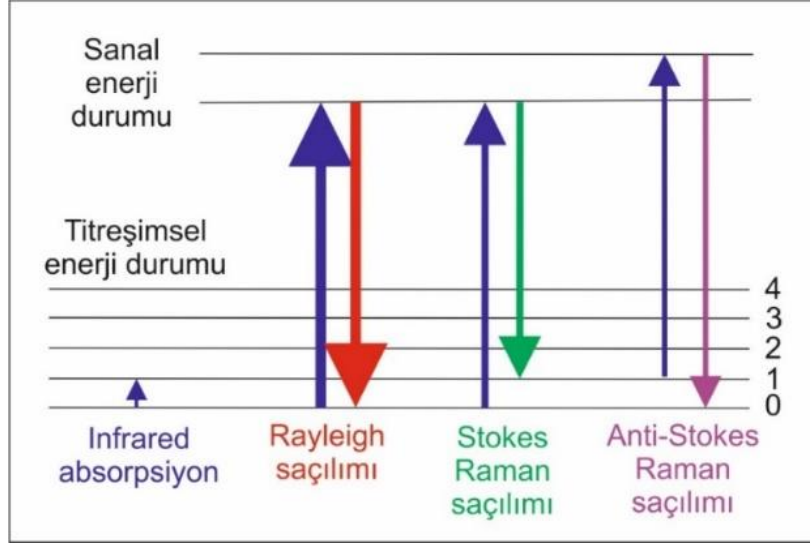
Dadaş Formasyonu'nun organik petrografik açıdan incelenmesi için batıdan doğuya doğru her lokasyonu temsil eden iki adet şeyl örneği, TOK (% , ağırlıkça) içeriğine göre seçilmiştir. Organik petrografik çalışmalar H.Ü. Kömür Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Tabakalanmaya dik konumda hazırlanan parça örnekler, epoksi ve resin ile parlatılmaya hazır briketler haline getirilmiştir. Stach (1982) ve Prof. Dr. Ali İhsan Karayığit önerileri referans alınarak briketler 4 aşamada parlatılmıştır.

Parlatma briketleri, Leica DM 4000 tip mikroskobunda 20x ve 50x yağlı (oil immersion) objektifleri ile incelenmiştir. Yansıtma ölçümleri için dört kalibrasyon standardı kullanılmıştır. Yansıtma değerleri için kullanılan standartlar; Saphir, %0,596 Ro; Yttrium-Aluminium-Garnet, %0,903 Ro, Gadolinium-Gallium-Garnet, %1,719 Ro; Strontium-Titanat, %5,40 Ro 'dur.

3.2.7. Raman Spektroskopisi

Raman spektroskopisi analizi, Bilkent Üniversitesi UNAM laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Analize ilişkin metot bilgileri UNAM tarafından sağlanmıştır. Raman spektroskopisi, kristal ve moleküler titreşimler hakkında bilgi sağlayan, titreşimsel spektroskopik bir teknik olarak bilinmektedir (<https://www.nanophoton.net/raman/raman-spectroscopy.html>) (Şekil 3.3).

“Raman saçılımı, karbon atomlarının tespiti için kimyasal bantların simetrisi ve moleküler titreşimlerinin bir fonksiyonudur.” (Khatibi ve ark., 2018). Örnek, monokromatik ışık kaynağı ile aydınlatılmaktadır. Bu aydınlatma bir Raman kayması yaratmaktadır. Ölçüm sırasında örnek üzerindeki moleküler titreşimlerin enerjileri ile fotonların enerjisi yer değiştirmektedir (Wang ve ark., 1990; Khatibi ve ark., 2018).



Şekil 3. 3. Raman saçılımları

(http://en.wikipedia.org/wiki/File:Raman_energy_levels.svg).

Raman ölçümleri tabakalanmaya paralel makroskopik boyutlardaki graptolit kalıntıları üzerinde yapılmıştır. Örnekler doğal yapıya zarar vermemek ve yalancı termal olgunluk artışına neden olmamak için parlatılmamıştır. Silisyum karbür zımpara ile örnek zemini yataya sıfır hale getirildikten sonra cihaza yerleştirilmiştir. Raman kayması (excitation line $\lambda_0=532$ nm) 20s birikiminde ölçülmüştür. Cihaz kalibrasyonu için silikon standart kullanılmıştır. Ölçümler doğrudan yapılmıştır. Her bir örnekte 5 farklı graptolit parçası üzerinde 10 ile 20 arasında ölçüm alınmıştır. Wltec spektrumunda okunan değerler, Origin 8 Pro yazılımında yeniden (curve-fitting) çizilmiştir.

3.2.8. Cıva Porozimetresi (MCIP)

Cıva Porozimetresi (MCIP veya MIP) analizi, ODTÜ Merkez Laboratuvarı ARGE Eğitim ve Ölçme Merkezi, Yüzey ve Gözenek Karakterizasyon Laboratuvarı (YGL)'nda Quantachrome Corporation, Poremaster 60 cihazında gerçekleştirilmiştir. Analize ait metotlar ODTÜ Merkez Laboratuvarı'ndan alınarak verilmiştir.

Cıvalı porozimetreler, tepkimeye girmeyen, ıslatımsız bir sıvının yeterli basınç uygulanmadıkça küçük gözeneklere giremeyeceği fiziksel prensibine göre çalışmaktadır. Uygulanan basınç ile gözenek çapı arasındaki ilişki, aşağıda verilen Washburn denklemi (Washburn, 1921) ile elde edilmektedir. Cıva

intrüzyon verilerinden gözenek boyutu veya hacim dağılımlarının oluşturulmasında yararlanılır.

$$D = \frac{(-4\gamma\cos\theta)}{P}$$

P: Uygulanan basınç

D: gözenek çapı

Y: Cıvanın yüzey gerilimi (480 dyne/cm)

Θ: Cıva ile gözenek duvarı arasındaki kontak açısıdır (genellikle 140°)

Bu çalışma kapsamında, Dadaş Formasyonu parça örneklerine, 4nm ile 10 µm arası gözeneklerinin belirlenebilmesi için yüksek basınç analizi (0-55000 psia) uygulanmıştır.

3.2.9. SEM-EDAX Analizi

SEM cihazında incekesit, kırılmış parça örnek ve parlatma briketleri incelenmiştir. Bu çalışmada H.Ü. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Laboratuvarı ve UNAM Laboratuvar'ında bulunan Taramalı Elektron Mikroskobu kullanılmıştır. Örnekler önce iletken karbon bantlarla SEM stubına/tutucusuna yerleştirilmiştir. Örnekler kaplama cihazında analiz ihtiyacına göre karbon (C), altın (Au) ve palladyum (Pd) ile kaplanmıştır. Örneklerin kaplamaları UNAM Laboratuvar'ın Precision Etching and Coating System (PECS) cihazında yapılmıştır. Görüntüleme ise UNAM Laboratuvar'ında FEI Quanta 200 FEG cihazında örneğin topoğrafyasının tespit edilebilmesi için SE/SEI (secondary electrons) detektörleri tercih edilmiştir. Analiz sırasında 5 kV akselerasyon voltajı (acceleration voltage) kullanılmıştır.

3.2.10. FIB-SEM Analizi

Örnekler yaklaşık olarak 50 mm² boyutunda Silikon Karbit (SiC) US#360, Grain size 30µm de yüzeyi mümkün olan derecede rölyefsiz hale getirilmiştir. Analiz sırasında iletkenliğin sağlanması için SEM stubına yerleştirilen örnek, palladyum ile kaplanmıştır. FIB-SEM analizi, UNAM Laboratuvar'ında FEI marka ve Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (SUNUM) JIB 4601 MultiBeam FIB-SEM marka sistemler kullanılmıştır. Örnek 30 kv Ga⁺ ışması ile

kesilmiştir. Görüntüleme 2 kV hızında (accelerating voltage) ve 4 mm uzaklıkta görüntülenmiştir.

4. MİNERALojİK ÇALIŞMALAR

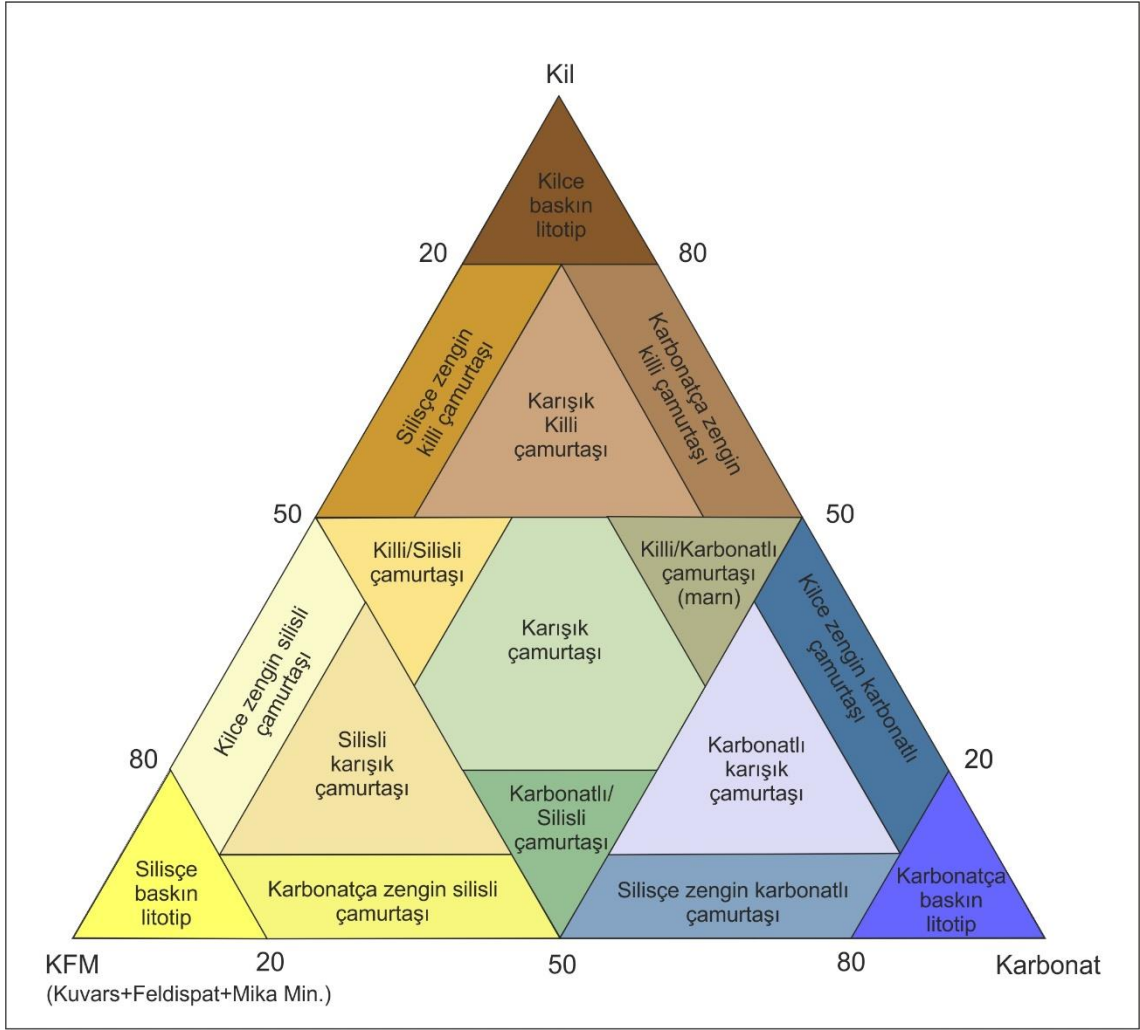
4.1. Giriş

Sedimanter kayaçların tanımlamaları, mineralojik ve petrografik incelemeler ile yapılmaktadır. Bir kaynak kayanın, Rock-Eval piroliz parametrelerinde ve TOK içeriğinde olduğu gibi, mineralojik bileşiminde bir stratigrafik kesit boyunca aynı yüzde bolluk oranına sahip olmadığına işaret edilmektedir (Tobey ve Campbell, 2016). Allix ve ark. (2010)'a göre ortalama bir şeyl litolojisinde %60 oranında kil minerali gözlenmesi beklenir.

Bu çalışma kapsamında Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin mineralojik bileşimlerinin saptanabilmesi için XRD (X Işınları Difraktogramı) tüm kayaç ve kil fraksiyonu ile mikroskop çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Toplam 88 adet örnek üzerinde XRD tüm kayaç analizi ve 57 adet örnek üzerinde XRD kil fraksiyonu analizi yapılmıştır. Dadaş Formasyonu'nun mineralojik özellikleri, ince kesit ve SEM-EDAX çalışmaları ile desteklenmiştir. Optik mikroskop çalışmalarında tanımlanamayan minerallerin, SEM-EDAX analizi ile tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Örneklerin litolojisinin belirlenebilmesi için, Gamero-Diaz ve ark. (2012, 2013)'ün organik çamurtaşlarını sınıflandırdıkları sCore üçgen diyagramı ile mineral yüzde bolluk oranları kullanılmıştır (Şekil 4.1). Araştırmacılar, dünyada bilinen şeyl gaz sistemlerini birbirinden ayırt etmek için, kuyu loglarından elde edilen mineralojik bileşimler ile 16 organik çamurtaşı litofasiyesine işaret etmişlerdir.

Tez çalışmasının mineralojik çalışmalar bölümünde elde edilen sonuçlar, hidrolik çatlama yöntemi ile üretim yapılan şeyl petrol ve şeyl gaz rezervuarının kırılgenlik faktörü ile doğrudan ilişkili olduğundan önemlidir.



Şekil 4. 1. Organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero-Diaz ve ark., 2012, 2013).

4.2. Çat Ölçülü Stratigrafik Kesiti

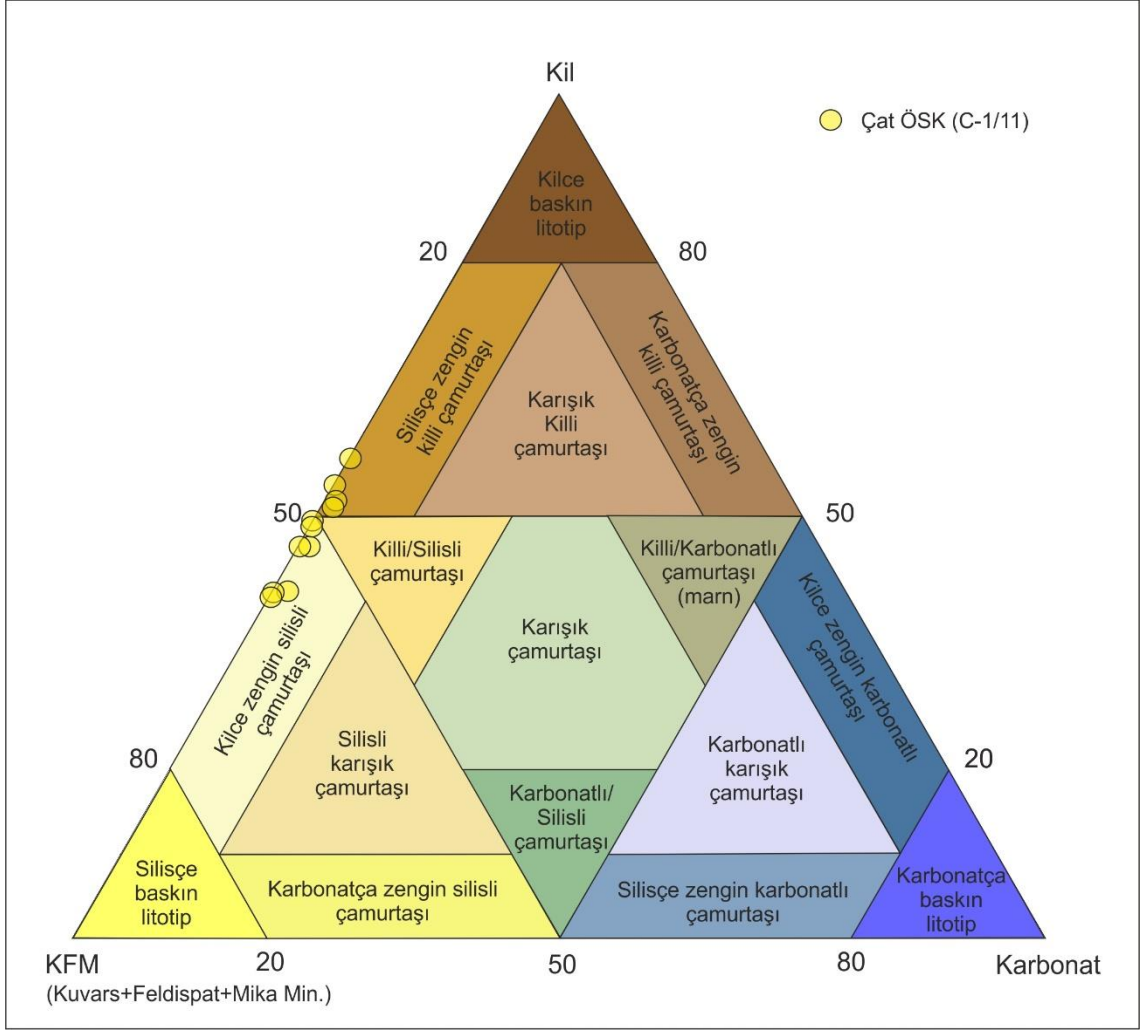
4.2.1. XRD Tüm Kayaç Analizi Sonuçları

Çat ÖSK'sında toplam 11 adet Dadaş Formasyonu örneği üzerinde XRD tüm kayaç analizi yapılmıştır. Örneklerde tespit edilen mineraller yüzde bolluk sırasına göre; kil, kuvars, mika ve feldispat mineralleridir. Kalsit minerali C-14, 17, 20, 24 numaralı örneklerde eser miktarda gözlenmiştir. C-3 numaralı örneğe ait difraktogram deseni Ek Şekil 1'de verilmiştir. Çat ÖSK örneklerinde tanımlanan mineraller ve mineral yüzde bolluk oranları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4. 1. Çat ÖSK örneklerinin XRD tüm kayaç yüzde bolluk mineral dağılımları.

Örnek Adı	Mika Min. (%)	Kil Min. (%)	Kuvars (%)	Feldispat (%)	Kalsit (%)
C-1	18.4	41.1	37.1	3.4	-
C-3	16.6	46.5	33.8	3.1	-
C-5	27.1	40.5	29.0	3.4	-
C-7	10.9	57.0	29.4	2.7	-
C-10	12.0	53.8	32.2	2.0	-
C-11	13.2	49.3	35.4	2.2	-
C-14	16.7	46.6	33.7	2.1	0.9
C-16	13.1	49.0	35.7	2.2	-
C-17	9.2	51.5	37.2	1.1	1.0
C-20	6.1	41.3	49.7	1.5	1.4
C-24	7.0	51.9	37.8	2.3	1.1
Max.	27.1	57.0	49.7	3.4	1.4
Min.	6.1	40.5	29.0	1.1	0.9
Ortalama	13.7	48.1	35.5	2.4	1.1

Çat ÖSK'sında XRD tüm kayaç analiz sonuçlarına göre karbonat minerali miktarı oldukça düşüktür. Örnekler, Gamero-Diaz ve ark. (2012, 2013) sınıflamasında ortalama %35,53 kuvars içeriği ile kilce zengin silisli çamurtaşı ve silisçe zengin killi çamurtaşı litolojisine işaret etmektedir (Şekil 4.2). Allix ve ark. (2010)'a göre Çat ÖSK Dadaş Formasyonu örneklerinin ortalama bir şeyl litolojisine sahiptir. Fakat karbonat mineralleri açısından fakir olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada en yüksek silis içeriği Çat ÖSK örneklerinde saptanmıştır.



Şekil 4. 2. Çat ÖSK örneklerinin organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero-Diaz ve ark., 2012, 2013).

4.2.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi Sonuçları

XRD kil fraksiyonu analizi sonucunda Çat ÖSK'sında ortalama %22.20 illit ve ortalama %77.80 kaolinit minerali tespit edilmiştir (Çizelge 4.2). C-17 numaralı örneğin normal, glükollü ve fırınlanmış difraktogram deseni Ek Şekil 2'de verilmiştir. Çat ÖSK örnekleri, çalışma alanındaki diğer örneklerle göre daha düşük illit minerali içeriğine karşılık yüksek kaolinit minerali içermektedir. Tespit edilen kil minerali yüzde bolluk oranları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4. 2. Çat ÖSK örneklerinin XRD kil fraksiyonu yüzde bolluk mineral dağılımları.

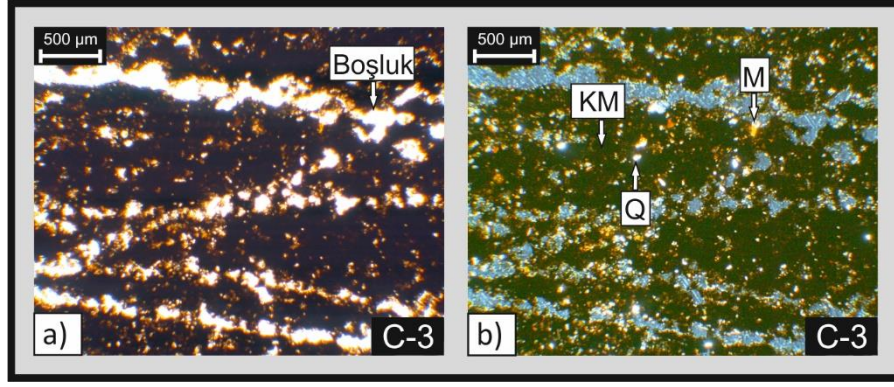
Örnek Adı	İllit (%)	Kaolinit (%)
C-3	21.1	79.0
C-7	19.1	81.0
C-17	10.2	89.8
C-24	38.5	61.5
Max.	38.5	89.8
Min.	10.2	61.5
Ortalama	22.2	77.8

4.2.3. İnce Kesit Çalışmaları

Çat ÖSK'sında, C-3 ve C-24 numaralı örneklerin tabakalanmaya paralel ve C-17 numaralı örneğin ise tabakalanmaya dik ince kesitleri hazırlanmıştır. Örneklerde yüksek miktarda kil minerali ve kuvars gözlenmektedir. Bu minerallere ek olarak, oldukça küçük boyutlarda (μm) feldispat minerali ve muskovit minerali tespit edilmiştir.

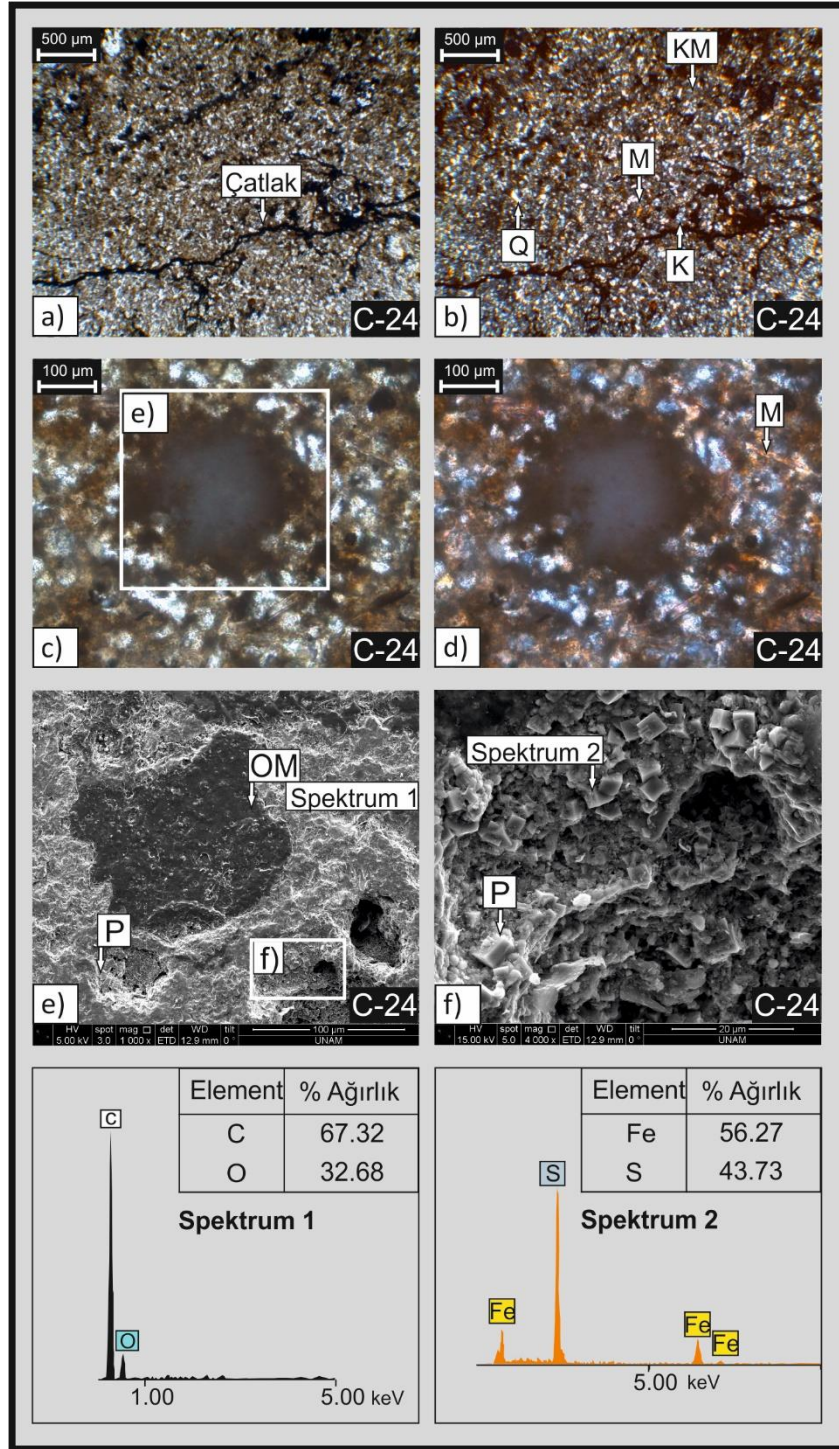
İnce kesit çalışmaları ile Çat ÖSK örneklerinin kırıntılı dokuya sahip olduğu saptanmıştır. Sedimanter kayaçların yüzey koşullarında alterasyona uğraması sonucu oksitlenmeler oluşabilmektedir (Bordenave, 1993). Çat ÖSK örneklerindeki oksitlenmeler makro ve mikro ölçekte koyu kırmızı kahve tonlarında ayırt edilebilmektedir (Dr. Öğretim Üyesi Erdal ŞEN, sözlü görüşme 2017). Altın aydınlatmalı mikroskopta izotrop özelliğe sahip minerallerin kimyasal bileşimini tayin etmek için SEM-EDAX analizi yapılmıştır.

Tabakalanmaya paralel hazırlanan C-3 ve C-24 numaralı örnekler için ince kesit görüntüleri ve SEM-EDAX analizi Şekil 4.3'te ve Şekil 4.4'te verilmiştir. Mekanik parlatma işlemi, tabakalanmaya paralel hazırlanan ince kesitlerde boşluklar oluşmasına neden olmuştur. Bu nedenle, parlatma işlemi kısıtlı uygulanmıştır.

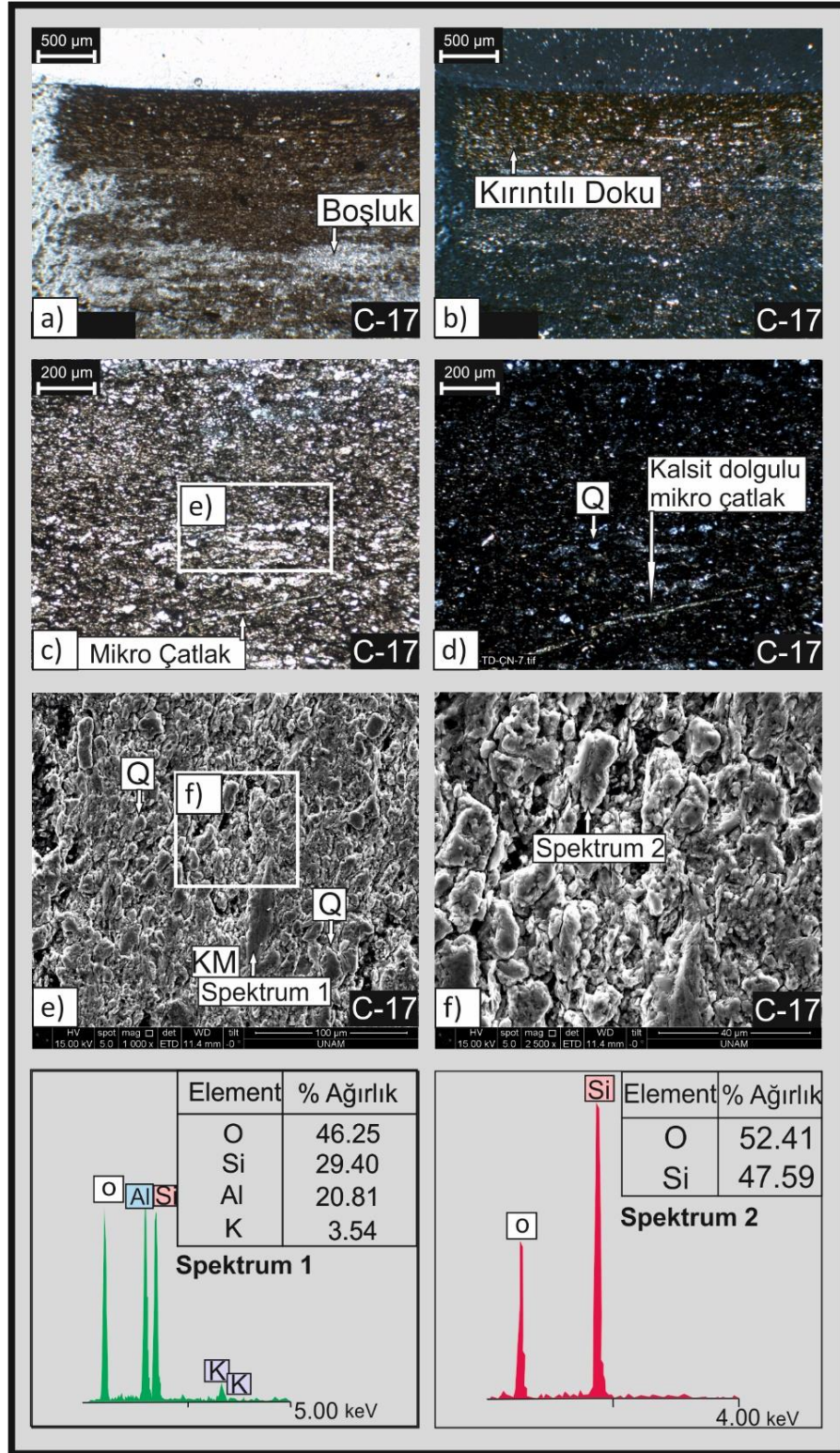


Şekil 4. 3. Tabakalanmaya paralel hazırlanan C-3 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. (a) I. Nikol (4x objektif), b) II. nikol (4x objektif)) (KM: Kil Minerali, M: Mika minerali, Q: Kuvars).

Tabakalanmaya dik hazırlanan C-17 numaralı örneğin ince kesit ve SEM-EDAX analizi görüntüleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Optik mikroskop çalışmalarında tespit edilen mineraller ile XRD tüm kayaç analizinde tespit edilen mineraller birbirleriyle uyumludur.



Şekil 4. 4. Tabakalanmaya paralel hazırlanan C-24 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x objektif), b) II. Nikol (4x objektif), c) I. Nikol, organik madde (20x objektif), d) II. Nikol, organik madde (20x objektif), e) Şekil 4.6.c'nin SEM görüntüsü, f) Pirit mineralleri (KM: Kil Minerali, K: Kalsit, M: Mika minerali, Q: Kuvars, OM: Organik Madde, P: Pirit).



Şekil 4. 5. Tabakalanmaya dik hazırlanan C-17 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x objektif), b) II. Nikol (4x objektif), c) I. Nikol (10x Objektif), d) II. Nikol (10x objektif), e) ve f) Şekil 4.7.c'nin SEM görüntüsü. (KM: Kil Minerali, Q: Kuvars).

4.3. Çermik Ölçülü Stratigrafik Kesiti

4.3.1. XRD Tüm Kayaç Analizi Sonuçları

Çermik ÖSK'sında toplam 39 adet Dadaş Formasyonu örneğinde XRD tüm kayaç analizi yapılmıştır. Örneklerde hakim mineral, kil mineralidir. Örneklerin tümünde tespit edilen diğer mineraller yüzde bolluk miktarına göre sırasıyla, kuvars, mika ve feldispat mineralleridir. Bu minerallere ek olarak, eser miktarda kalsit, dolomit ve pirit mineralleri tespit edilmiştir. Çermik ÖSK örneklerinde tanımlanan mineraller ve mineral yüzde bolluk oranları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

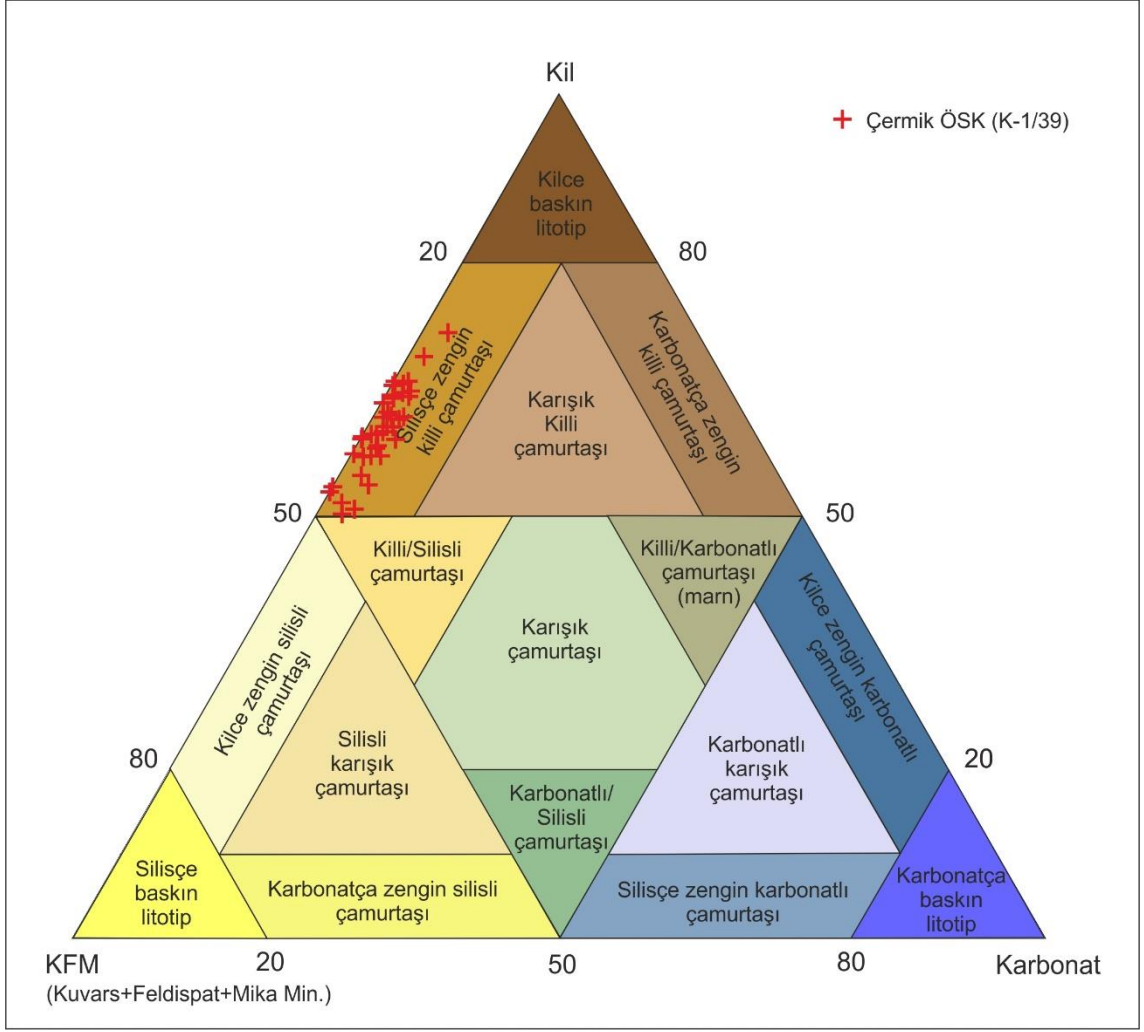
Çermik bölgesinde yüzeyleyen Dadaş Formasyonu, Gamero-Diaz ve ark. (2012, 2013) sınıflamasına göre silisçe zengin killi çamurtaşı litolojisine sahiptir (Şekil 4.6). Kil minerali yüzde miktarı ortalama % 60.16'dır. Bu bölgede yüzeyleyen Dadaş Formasyonu'nun silis ve karbonat miktarı diğer bölgelere göre daha düşük miktarlarda tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 3. Çermik ÖSK örneklerinin XRD tüm kayaç yüzde bolluk mineral dağılımları.

Örnek Adı	Mika Min. (%)	Kil Min. (%)	Kuvars (%)	Feldispat (%)	Kalsit (%)	Dolomit (%)	Pirit (%)
K-1	10.8	60.6	21.9	4.7	0.8	1.2	-
K-2	11.8	71.0	9.2	4.1	1.3	1.3	1.3
K-3	12.7	61.7	18.6	4.7	0.5	1.0	0.8
K-4	11.6	61.9	18.8	6.9	0.8	-	-
K-5	17.1	64.0	15.2	2.8	0.9	-	-
K-6	17.9	65.6	12.9	2.4	1.2	-	-
K-7	13.5	53.0	27.7	5.9	-	-	-
K-8	12.8	65.6	14.7	6.8	-	-	-
K-9	14.9	58.3	14.7	6.9	1.5	2.0	1.7
K-10	14.7	65.8	14.8	4.1	-	-	0.7
K-11	13.3	59.5	21.3	5.9	-	-	-
K-12	22.6	57.4	11.8	4.5	0.7	1.6	1.4
K-13	13.6	54.8	22.0	7.4	0.9	1.3	-
K-14	16.3	59.4	16.2	3.5	1.4	1.3	1.9
K-15	23.1	57.6	14.3	5.0	-	-	-
K-16	13.3	63.8	15.2	4.7	0.9	1.2	1.1
K-17	12.8	57.3	20.4	7.6	1.2	0.8	-
K-18	9.7	64.9	19.3	4.2	0.6	1.5	-
K-19	9.6	57.4	25.6	6.4	1.1	-	-
K-20	11.1	61.9	14.6	9.6	1.5	1.4	-

Çizelge 4.3. devam ediyor.

Örnek Adı	Mika Min. (%)	Kil Min. (%)	Kuvars (%)	Feldispat (%)	Kalsit (%)	Dolomit (%)	Pirit (%)
K-21	9.0	53.5	13.3	24.2	-	-	-
K-22	17.4	51.9	23.3	5.8	1.6	-	-
K-23	16.6	58.4	19.0	4.7	-	-	1.3
K-24	16.9	59.5	18.8	4.8	-	-	-
K-25	12.9	50.4	26.2	8.0	1.1	1.5	-
K-26	16.5	60.2	16.7	4.6	0.9	1.0	-
K-27	11.9	63.7	19.2	4.1	-	1.1	-
K-28	17.7	51.1	20.4	7.5	1.7	1.6	-
K-29	12.7	61.5	17.1	5.8	1.7	1.3	-
K-30	14.4	53.9	19.2	9.0	1.6	1.8	-
K-31	15.1	63.6	15.2	6.1	-	-	-
K-32	11.6	57.4	18.7	9.2	1.6	1.4	-
K-33	14.7	69.1	11.4	3.3	1.5	-	-
K-34	9.0	65.7	18.3	5.6	-	1.4	-
K-35	16.0	59.7	21.4	2.0	0.9	-	-
K-36	11.9	62.4	16.0	8.4	-	1.2	-
K-37	10.4	58.1	21.1	8.4	-	2.0	-
K-38	14.4	64.7	14.5	4.9	-	1.4	-
K-39	13.3	59.8	21.7	4.0	-	1.2	-
Max.	23.1	71.0	27.7	24.2	1.7	2.0	1.9
Min.	9.0	50.4	9.2	2.4	0.5	0.8	0.7
Ortalama	14.1	60.0	17.8	6.2	1.2	1.3	1.3



Şekil 4. 6. Çermik ÖSK örneklerinin organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero-Diaz ve ark., 2012, 2013).

4.3.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi Sonuçları

Çermik ÖSK örneklerinde XRD kil fraksiyonu analizi sonucunda ortalama %50.58 illit, %49.42 kaolinit mineralleri tespit edilmiştir. Örneklerin ortalama bir şeyl litolojisinde beklenen kil mineral yüzdesine (yaklaşık %60, Allix ve ark., 2010) sahip olduğu görülmektedir. Tespit edilen kil minerali yüzde bolluk oranları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

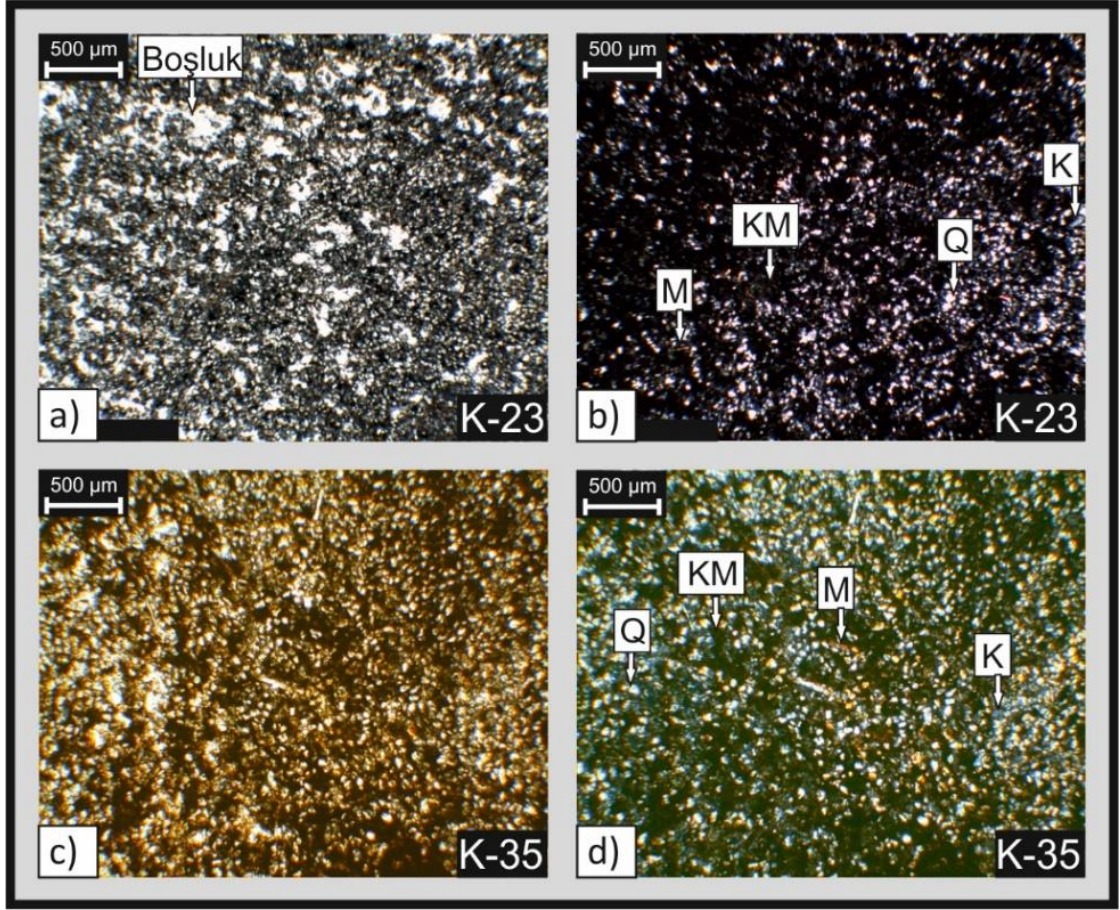
Çizelge 4. 4. Çermik ÖSK örneklerinin XRD kil fraksiyonu yüzde bolluk mineral dağılımları.

Örnek Adı	İllit (%)	Kaolinit (%)
K-1	59.6	40.4
K-4	80.6	19.4
K-6	42.9	57.1
K-9	52.2	47.8
K-12	44.2	55.8
K-14	48.1	51.9
K-17	45.1	54.9
K-19	43.9	56.1
K-23	45.6	54.4
K-26	44.7	55.3
K-29	53.9	46.2
K-32	44.4	55.6
K-35	45.5	54.6
K-38	52.5	47.5
K-39	55.6	44.4
Max.	80.6	57.1
Min.	42.9	19.4
Ortalama	50.6	49.4

4.3.3. İnce Kesit Çalışmaları

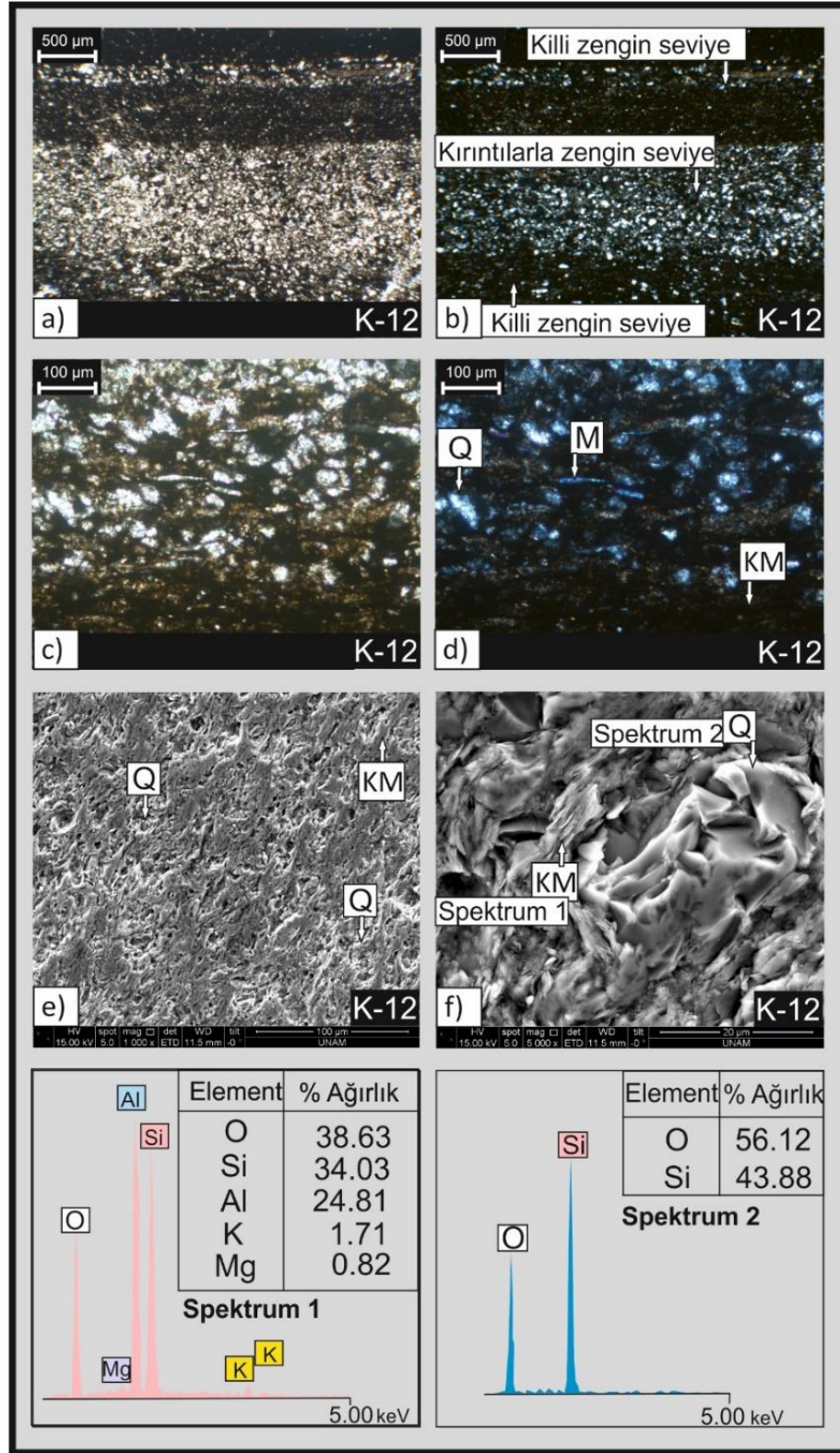
Çermik ÖSK'sında K-23 ve K-35 numaralı örneklerin tabakalanmaya paralel, K-12 numaralı örneğin ise tabakalanmaya paralel ve dik ince kesitleri hazırlanmıştır. Çermik ÖSK örnekleri makroskopik boyutlarda ipeksi bir parlaklığa sahiptir. Bu bölgedeki ince kesit çalışmalarında Dadaş Formasyonu'nda yönlenmeler gözlenmiştir. Bu durum örneklerin geçirdiği metamorfizmanın etkilerinin bir sonucudur (Dr. Öğretim Üyesi Erdal ŞEN, sözlü görüşme, 2017).

İnce kesit çalışmalarında Çermik ÖSK örneklerinde kırıntılı doku gözlenmiştir (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8). Çermik ÖSK örneklerine ait dokusal özellikler bu çalışma kapsamında alınan diğer örneklerle göre daha küçük boyutlu (μm) kırıntılardan oluşmaktadır. Tabakalanmaya paralel hazırlanan K-35 numaralı örneğin, XRD tüm kayaç mineral yüzde bolluk oranı (%21.42) ile uyumlu biçimde yüksek miktarda kuvars minerali gözlenmektedir (Şekil 4.7 c ve d).



Şekil 4. 7. Tabakalanmaya paralel hazırlanan K-23 ve K-35 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x objektif), b) II. Nikol (4x objektif), c) I. Nikol (4x objektif), d) II. Nikol (4x objektif). (KM: Kil Minerali, M: Mika Minerali, Q: Kuvars, K: Kalsit).

Tabakalanmaya dik hazırlanan K-12 numaralı örneğin ince kesit ve SEM-EDAX analizi görüntüleri Şekil 4.12'de verilmiştir. Örneğin kırıntılarla zengin seviyesinin, kil minerali ve kuvars miktarı açısından zengin olduğu görülmektedir. İnce kesit çalışmaları sonucunda örneklerin XRD tüm kayaç analizi sonuçları ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4. 8. Tabakalanmaya dik hazırlanan K-12 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x objektif), b) II. Nikol (4x objektif), c) I. Nikol (20x objektif), d) II. Nikol (20x objektif), e) ve f) SEM görüntüsü. (KM: Kil Minerali, M: Mika Minerali, Q: Kuvars).

4.4. Diyarbakır-1 Kuyu Örnekleri

4.4.1. XRD Tüm Kayaç Analizi Sonuçları

Toplam 21 adet Diyarbakır-1 kırıntı kuyu örneği üzerinde XRD tüm kayaç analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda örneklerin tümünde kil ve mika minerali, kuvars, feldispat, karbonat mineralleri (kalsit ve dolomit) ve pirit minerali tanımlanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir.

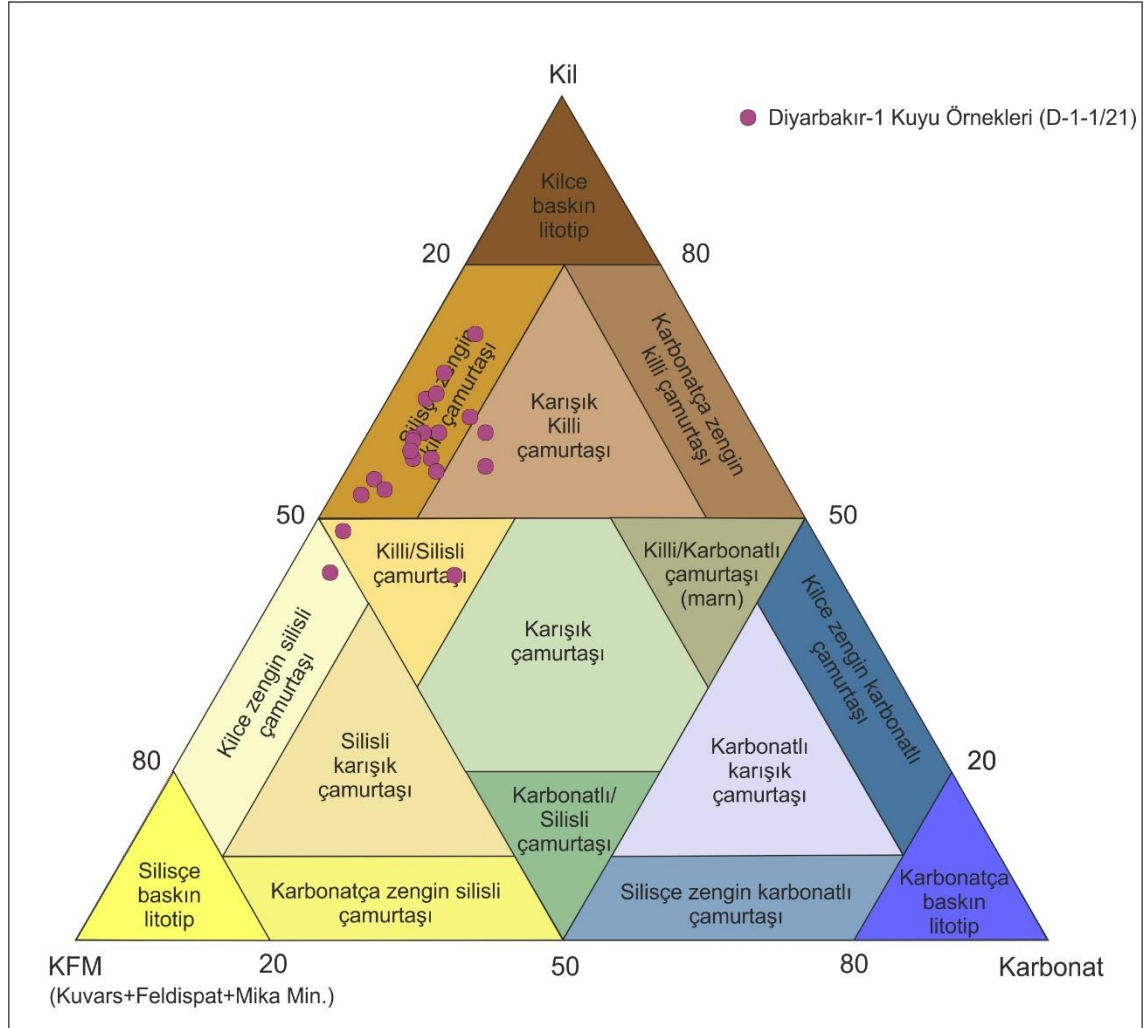
Gamero-Diaz ve ark. (2012, 2013) organik çamurtaşı sınıflamasında Diyarbakır-1 kuyu örneklerin silisçe zengin killi çamurtaşı litolojisine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.9). Diyarbakır-1 kuyusunun orta ve bitiş derinliklerinde toplam karbonat minerali miktarının kısmen daha yüksek olması nedeniyle kuyunun orta ve bitiş seviyelerinde silisçe ve karbonatça zengin karışık killi çamurtaşı litolojisine sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. 5. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin XRD tüm kayaç yüzde bolluk mineral dağılımları.

Örnek Adı	Mika Min. (%)	Kil Min. (%)	Kuvars (%)	Feldispat (%)	Kalsit (%)	Dolomit (%)	Pirit (%)
D-1	22.8	57.4	3.2	1.1	4.2	4.4	6.9
D-2	20.1	53.2	8.5	4.1	1.7	5.6	6.8
D-3	22.6	54.6	8.0	4.3	3.0	2.7	4.9
D-4	19.4	63.7	6.0	2.6	1.0	3.0	4.4
D-5	13.8	54.2	13.0	3.0	4.5	1.9	9.7
D-6	20.6	40.0	10.0	4.8	10.1	4.6	10.0
D-7	15.7	58.7	9.1	4.8	1.4	2.1	8.2
D-8	14.0	54.9	13.1	4.3	3.0	2.1	8.5
D-9	17.1	57.4	13.0	4.2	2.1	2.4	3.8
D-10	15.4	56.2	14.7	3.8	3.3	1.5	5.1
D-11	19.4	53.5	11.4	3.0	3.6	5.0	4.2
D-12	10.0	56.1	12.5	4.1	5.9	4.9	6.6
D-13	17.0	55.1	14.0	3.8	1.7	3.5	5.0
D-14	9.5	67.5	11.7	1.6	2.5	2.2	5.0
D-15	10.1	54.2	15.6	3.5	11.4	1.5	3.8
D-16	21.0	41.2	20.1	5.9	1.2	2.8	7.9
D-17	13.6	48.8	21.2	5.4	1.2	1.7	8.1
D-18	18.0	46.0	20.2	6.4	1.2	2.0	6.2
D-19	19.2	52.5	16.2	4.2	1.2	2.0	4.8
D-20	16.7	62.3	9.1	4.1	2.4	2.1	3.4
D-21	11.5	51.6	22.9	5.0	2.9	1.8	4.3

Çizelge 4. 5. devam ediyor.

Örnek Adı	Mika Min. (%)	Kil Min. (%)	Kuvars (%)	Feldispat (%)	Kalsit (%)	Dolomit (%)	Pirit (%)
Max.	22.8	67.5	22.9	6.4	11.4	5.6	10.0
Min.	9.5	40.0	3.2	1.1	1.0	1.5	3.4
Ortalama	16.5	54.2	13.0	4.0	3.3	2.8	6.1



Şekil 4. 9. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero-Diaz ve ark., 2012, 2013).

4.4.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi Sonuçları

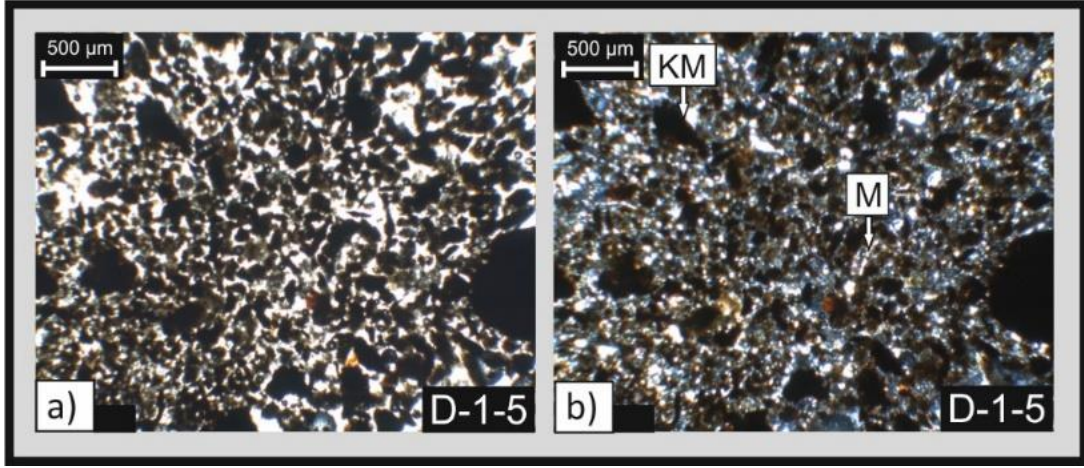
Diyarbakır-1 kuyu örneklerinde XRD kil fraksiyonu analizi sonucunda örneklerin tümünde illit ve kaolinit minerali tespit edilmiştir. Örneklerin bir bölümünde az miktarda klorit minerali gözlenmektedir. Tespit edilen kil minerali yüzde bolluk oranları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin XRD kil fraksiyonu yüzde bolluk mineral dağılımları.

Örnek Adı	Klorit (%)	İllit (%)	Kaolinit (%)
D-1	5.9	26.7	67.3
D-2		23.8	76.2
D-3	5.0	26.7	74.4
D-4		26.0	74.0
D-5		35.2	64.8
D-6		34.3	65.7
D-7		29.5	70.5
D-8	13.0	39.1	47.8
D-9		48.1	52.0
D-10		46.8	53.2
D-11	7.9	44.4	47.6
D-12	9.5	40.5	50.0
D-13	4.9	33.6	61.5
D-14	8.4	34.5	57.1
D-15	8.1	29.1	62.8
D-16		35.1	64.9
D-17		29.8	70.2
D-18		37.5	62.5
D-19		30.0	70.0
D-20		28.6	71.4
D-21		25.7	74.3
Max.	13.0	48.1	76.2
Min.	4.9	23.8	47.6
Ortalama	7.9	33.6	63.7

4.4.3. İnce Kesit Çalışmaları

Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin kırıntı kuyu örnek olması ince kesit çalışmalarında sınırlamalara neden olmaktadır. D-1-5 numaralı örneğe ait ince kesit görüntüleri Şekil 4.10'da verilmiştir. İnce kesit çalışmaları sonucunda yeterli parlatma yapılamadığından, kil minerali olduğu düşünülen koyu kahve renkli mineraller gözlenmektedir.



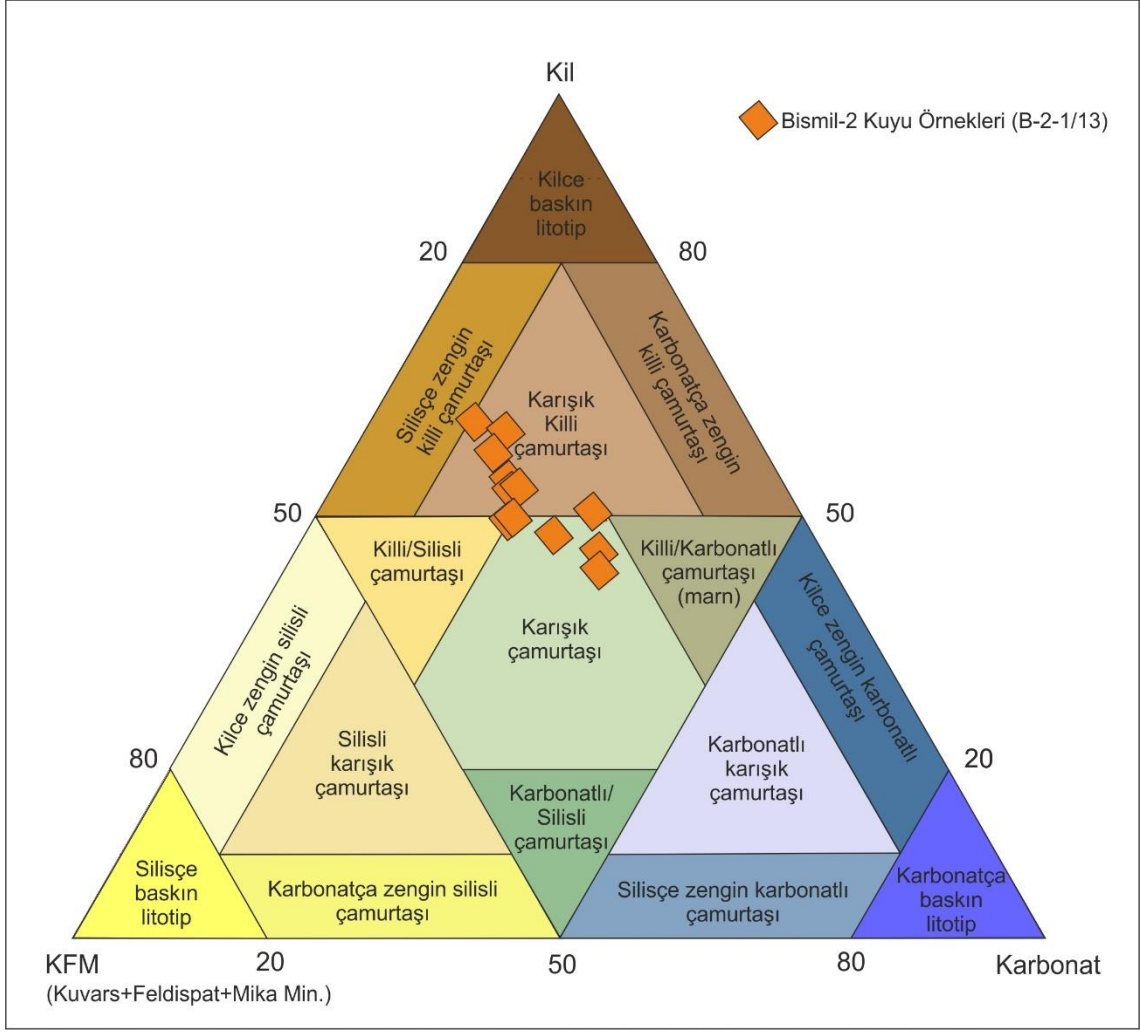
Şekil 4. 10. Tabakalanmaya paralel hazırlanan D-1-5 numaralı Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x objektif), b) II. Nikol (4x objektif)) (KM: Kil Minerali, M: Mika Minerali.

4.5. Bismil-2 Kuyu Örnekleri

4.5.1. XRD Tüm Kayaç Analizi Sonuçları

Bismil-2 kuyu örneklerinde XRD tüm kayaç analizi sonuçlarına göre ortalama %51.21 kil minerali tespit edilmiştir. Tanımlanan diğer mineraller, mika, kuvars, feldispat, kalsit, dolomit ve pirit mineralleridir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Bismil-2 kuyu örneklerinin ortalama kuvars içeriği miktarı %6.62'dir. Ortalama karbonat içeriği Dadaş Formasyonu'nun örneklediği diğer bölgelere göre oldukça yüksek değerlere sahiptir (ortalama kalsit minerali miktarı %14.87). Kuyunun başlangıç ve bitiş derinliklerinde en yüksek kalsit yüzde bolluk miktarı %25.57'ye ulaşmaktadır. Bir diğer karbonat minerali dolomit ise kalsite miktarına benzer biçimde kuyunun başlangıç ve bitiş seviyelerinde artış göstermektedir.



Şekil 4. 11. Bismil-2 kuyu örneklerinin organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero-Diaz ve ark., 2012, 2013).

Bismil-2 kuyu örnekleri ile diğer lokasyonlardan alınan örnekler arasında litolojik farklılıklar saptanmıştır. Örnek alınan diğer bölgelere göre Bismil-2 kuyu örneklerinin Gamero-Diaz ve ark. (2012, 2013) organik çamurtaşı sınıflamasına göre karışık killi çamurtaşı ve karışık çamurtaşı litolojisine sahiptir (Şekil 4. 11). Karbonat mineral miktarının yüksek olması hidrolik çatlatma ile üretilen ankonvansiyonel sistemler için oldukça önemlidir (Wang ve Gale, 2009). Diğer lokasyondaki örneklerle göre gözlenen litolojik farklılık, optik petrografik ve SEM çalışmaları ile desteklenmelidir. Çünkü kırıntı kuyu örneklerinin sondaj çamuru ve kuyuda yaşanan yıkıntılar sonucu kirlenebileceği bilinmektedir (Peters, 1986; Bordenave, 1993). Bu çalışmanın ilerleyen bölümlerinde bu durum değerlendirilmeye alınmıştır (Bkz. Bölüm 5.5; 6.3.4; 7.4.4).

Çizelge 4. 7. Bismil-2 kuyu örneklerinin XRD tüm kayaç yüzde bolluk mineral dağılımları.

Örnek Adı	Mika Min. (%)	Kil Min. (%)	Kuvars (%)	Feldispat (%)	Kalsit (%)	Dolomit (%)	Pirit (%)
B-2-1	13.3	43.2	7.1	3.3	23.2	8.9	1.1
B-2-2	13.2	44.3	6.5	2.9	25.6	4.8	2.8
B-2-3	9.9	49.5	8.0	2.7	15.0	13.4	1.4
B-2-4	13.2	51.8	6.5	7.8	12.2	5.8	2.8
B-2-5	17.4	48.7	6.7	5.7	14.8	4.7	2.0
B-2-6	13.9	59.8	8.0	6.1	7.9	2.9	1.4
B-2-7	17.9	52.9	6.4	3.5	15.2	3.3	0.7
B-2-8	13.7	59.1	6.5	5.0	11.7	2.8	1.2
B-2-9	18.7	48.4	4.9	5.3	15.7	4.4	2.7
B-2-10	16.3	52.2	5.7	4.9	13.6	5.5	1.7
B-2-11	16.0	56.3	7.0	4.0	8.4	6.1	2.1
B-2-12	14.1	52.5	7.0	6.4	9.8	7.5	2.6
B-2-13	16.1	47.1	5.6	4.6	20.3	4.9	1.4
Max.	18.7	59.8	8.0	7.8	25.6	13.4	2.8
Min.	9.9	43.2	4.9	2.7	7.9	2.8	0.7
Ortalama	14.90	51.21	6.62	4.78	14.87	5.77	1.85

4.5.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi Sonuçları

Bismil-2 kuyu örneklerinde ortalama yüzde kil minerali bolluk ortalama oranları %27.76 illit minerali ve %72.24 kaolinit mineralidir. Tespit edilen kil minerali yüzde bolluk oranları ise Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4. 8. Bismil-2 kuyu örneklerinin XRD kil fraksiyonu yüzde bolluk mineral dağılımları.

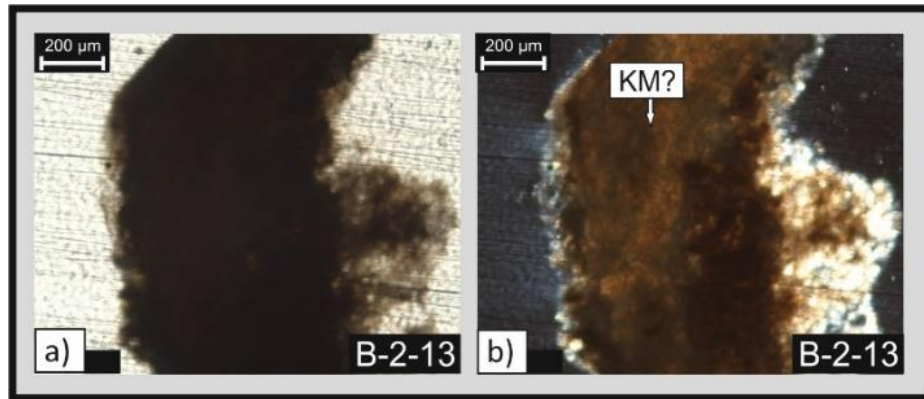
Örnek Adı	İllit (%)	Kaolinit (%)
B-2-1	23.9	76.1
B-2-2	17.5	82.5
B-2-3	25.9	74.1
B-2-4	27.1	72.9
B-2-5	26.3	73.7
B-2-6	29.3	70.8
B-2-7	27.7	72.3
B-2-8	28.5	71.5
B-2-9	29.1	70.9

Çizelge 4.8. devam ediyor.

Örnek Adı	İllit	Kaolinit
	(%)	(%)
B-2-10	28.7	71.3
B-2-11	28.4	71.6
B-2-12	34.7	65.3
B-2-13	33.8	66.2
Max.	34.7	82.5
Min.	17.5	65.3
Ortalama	27.8	72.2

4.5.3. İnce Kesit Çalışmaları

Bismil-2 kuyu örneklerinin kırıntı halinde olması nedeniyle ince kesit hazırlama aşamaları ve mikroskop incelemelerinde güçlükler yaratmıştır. B-2-13 numaralı örneğe ait ince kesit görüntüleri Şekil 4.12’de verilmiştir. İnce kesit çalışmasında kil minerali olduğu düşünülen koyu kahve renkli mineraller gözlenmiştir.



Şekil 4. 12. Tabakalanmaya paralel hazırlanan B-2-13 numaralı Dadaş Formasyonu ince kesitinde gözlenen mineral. a) I. Nikol (10x objektif), b) II. Nikol (10x objektif). (KM: Kil Minerali).

4.6. Bismil-1 Kuyu Örnekleri

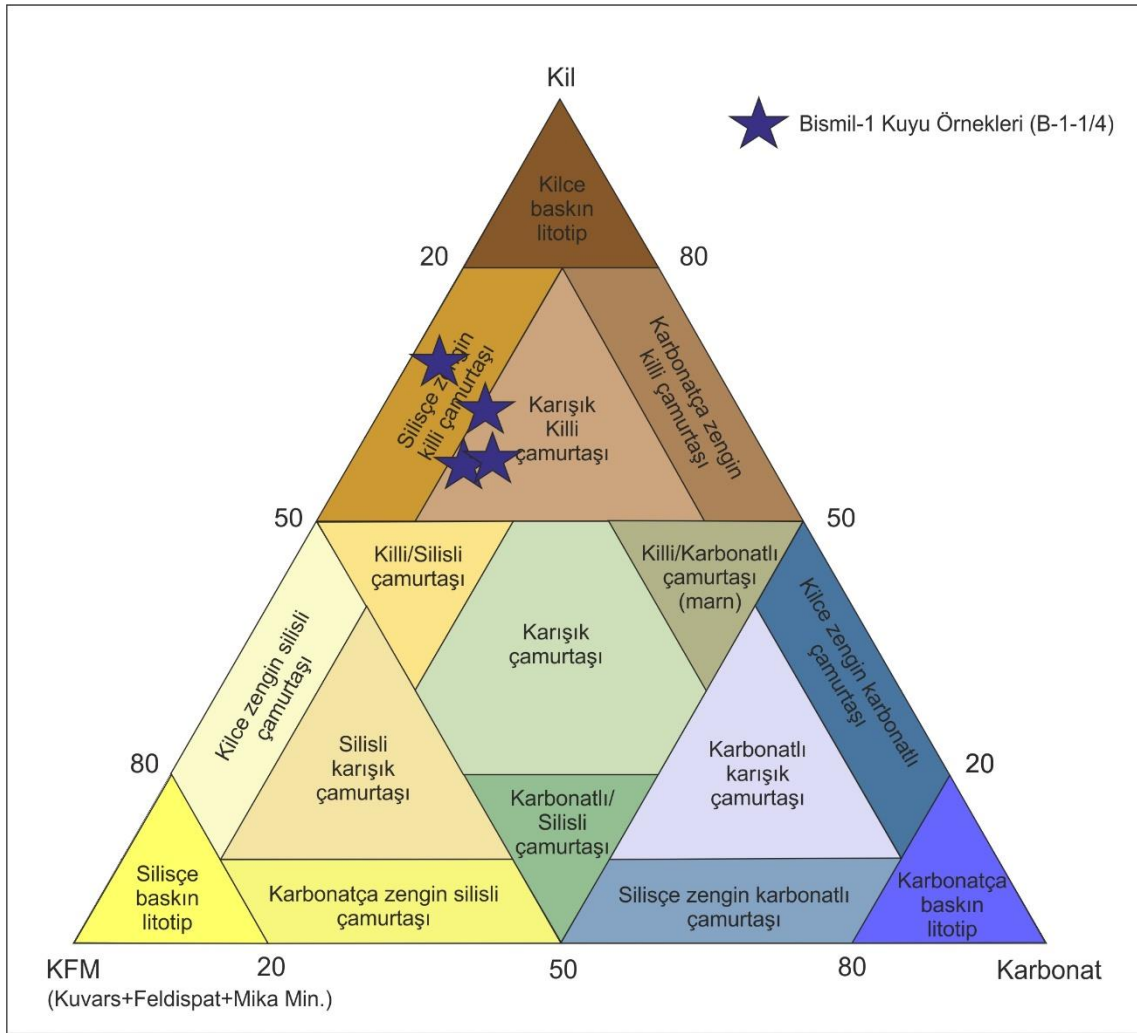
4.6.1. XRD Tüm Kayaç Analizi Sonuçları

Bismil-1 kuyu örneklerinin yüksek kil minerali içeriğine (ortalama %60.19) sahip olduğu tespit edilmiştir. Tanımlanabilen diğer mineraller, mika, kuvars, feldispat, kalsit, dolomit ve pirit mineralidir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9’da verilmiştir. Kırılgenliği yüksek dolomit minerali yüzde bolluk ortalama oranı %8.21’dir.

Bismil-1 kuyu örneklerinin yüzey örneklerine göre düşük silis içeriği ve yüksek dolomit minerali içeriği, Gamero-Diaz (2012, 2013) organik çamurtaşı sınıflamasında silisçe zengin killi çamurtaşı ve karışık killi çamurtaşı litolojisine işaret etmektedir (Şekil 4.13).

Çizelge 4. 9. Bismil-1 kuyu örneklerinin XRD tüm kayaç yüzde bolluk mineral dağılımları.

Örnek Adı	Mika Min. (%)	Kil Min. (%)	Kuvars (%)	Feldispat (%)	Kalsit (%)	Dolomit (%)	Pirit (%)
B-1-1	11.1	62.2	10.7	3.8	1.9	8.5	1.8
B-1-2	11.1	56.4	7.8	9.0	1.5	12.5	1.7
B-1-3	16.5	67.2	6.0	4.8	1.1	1.9	2.5
B-1-4	20.1	55.0	6.8	3.6	1.5	9.9	3.1
Max.	20.1	67.2	10.7	9.0	1.9	12.5	3.1
Min.	11.1	55.0	6.0	3.6	1.1	1.9	1.7
Ortalama	14.7	60.2	7.8	5.3	1.5	8.2	2.3



Şekil 4. 13. Bismil-1 kuyu örneklerinin organik çamurtaşı sınıflaması (Gamero-Diaz ve ark., 2012, 2013).

4.6.2. XRD Kil Fraksiyonu Analizi Sonuçları

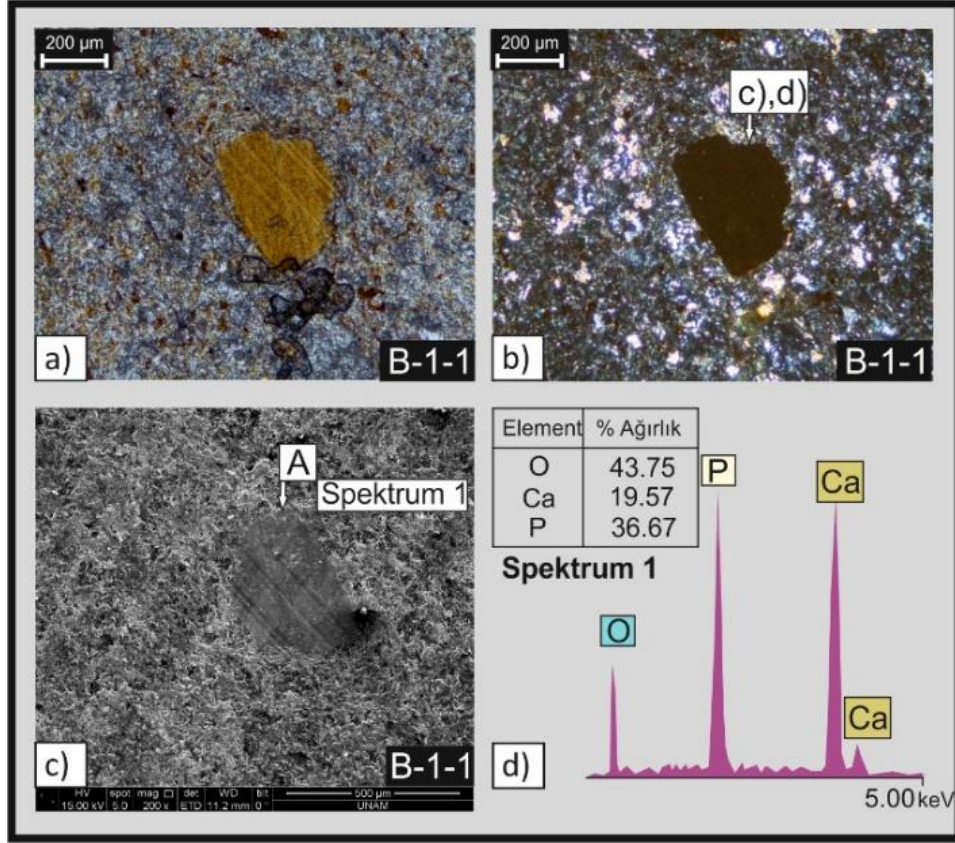
Bismil-1 kuyu örneklerinde tespit edilen kil mineralleri, klorit (ortalama %11.75), illit (ortalama %55.09) ve kaolinit (ortalama %33.17)'dir. Tespit edilen kil minerallerinin tüm örnekler için yüzde bolluk oranları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Örneklerin tümünde klorit, illit ve kaolinit minerali tespit edilmiştir.

Çizelge 4. 10. Bismil-1 kuyu örneklerinin XRD kil fraksiyonu yüzde bolluk mineral dağılımları.

Örnek Adı	Klorit (%)	İllit (%)	Kaolinit (%)
B-1-1	13.3	56.6	30.1
B-1-2	9.0	57.5	33.6
B-1-3	11.4	50.0	38.6
B-1-4	13.4	56.3	30.4
Max.	13.4	57.5	38.6
Min.	9.0	50.0	30.1
Ortalama	11.8	55.1	33.2

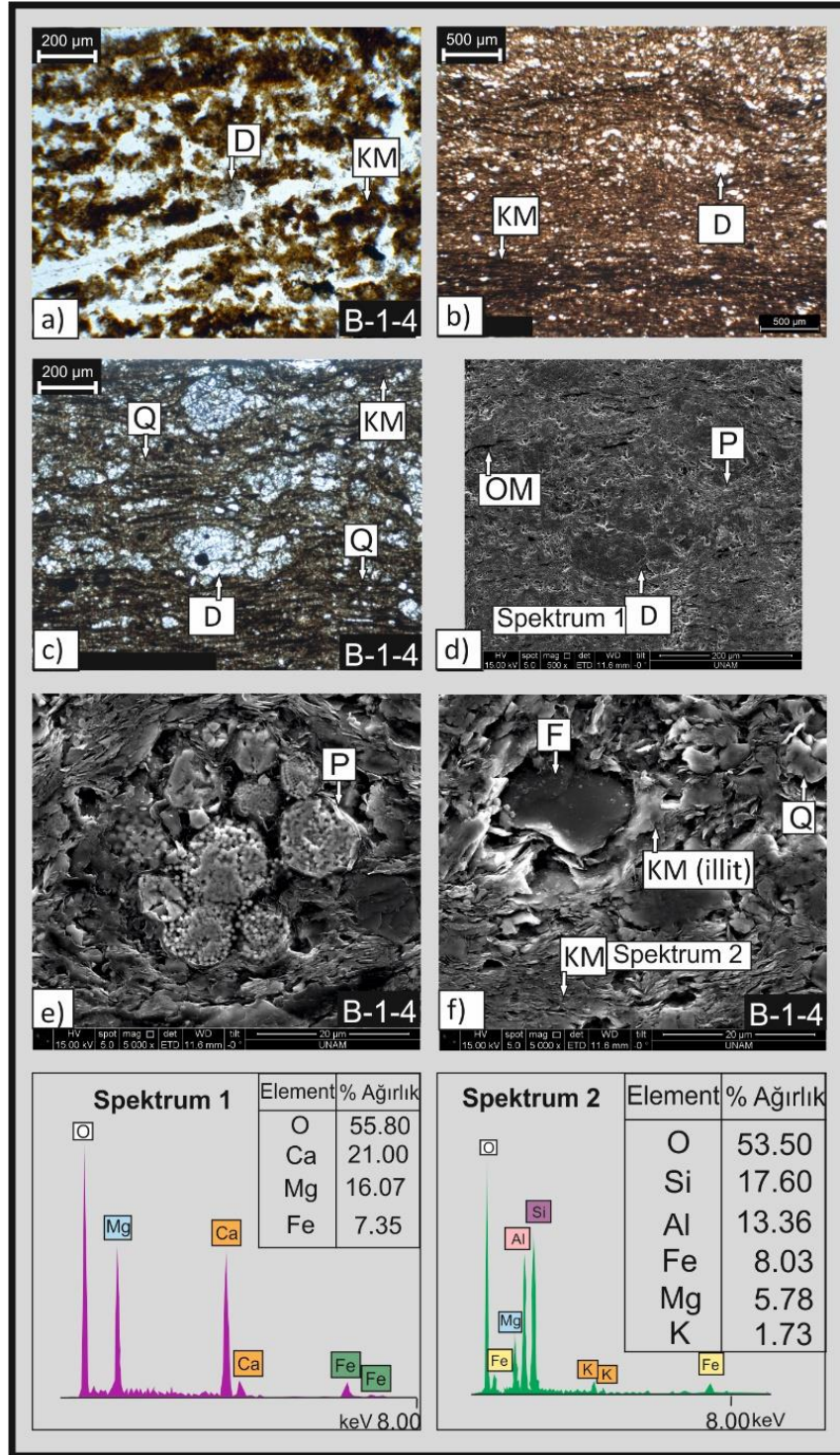
4.6.3. İnce Kesit Çalışmaları

İnce kesit çalışması için Bismil-1 kuyu örneklerinden B-1-1 numaralı örnek tabakalanmaya paralel, B-1-4 ise tabakalanmaya paralel ve dik hazırlanmıştır. B-1-1 numaralı örneğe ait ince kesitte, XRD tüm kayaç analizi ile uyumlu biçimde hakim litolojinin kil minerali olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.14 a ve b'de alttan aydınlatmalı mikroskopta tanımlanamayan mineralin, SEM-EDAX analizinde apatit minerali olduğu tespit edilmiştir. Apatit minerali B-1-4 numaralı örneğin SEM-EDAX çalışmalarında da gözlenmiştir.



Şekil 4. 14. Tabakalanmaya paralel hazırlanan B-1-1 numaralı ince kesit Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. a) I. Nikol (4x objektif), b) II. Nikol (4x objektif), c) SEM görüntüsü. (KM: Kil Minerali, A: Apatit).

B-1-4 numaralı örneğin kil mineralleri arasında, XRD tüm kayaç analiz çalışmalarıyla uyumlu biçimde dolomit minerali tespit edilmiştir (Şekil 4.15). XRD kil fraksiyonu analizi sonuçlarına benzer biçimde SEM-EDAX analizinde kaolinit ve illit mineraline ek olarak klorit minerali de gözlenmiştir.



Şekil 4. 15. Tabakalanmaya dik hazırlanan B-1-4 numaralı ince kesit Dadaş Formasyonu'nda gözlenen mineraller. (a)TP, I. Nikol (10x objektif), b) TD genel görünüm, I. Nikol (10x objektif), c) I. Nikol, d), e) ve f) SEM görüntüsü (TP: Tabakalanmaya paralel, TD: Tabakalanmaya dik, KM: Kil Minerali, D: Dolomit, Q: Kuvars, F: Feldispat, P: Pirit, OM: Organik Madde).

5. TOK ve ROCK-EVAL PİROLİZ ANALİZİ

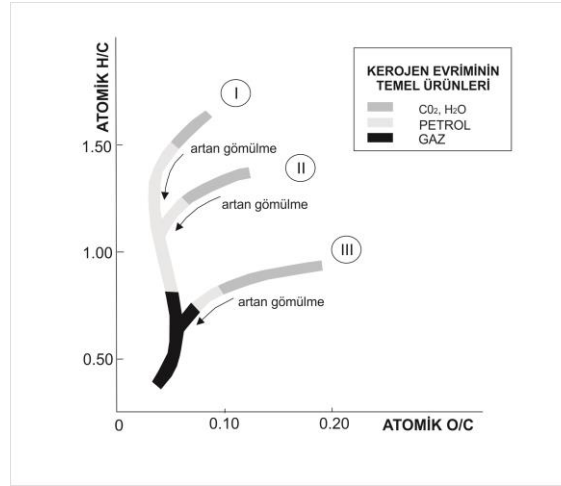
5.1. Giriş

Sedimanter kayaçlar, genellikle su, kerojen/bitümen, petrol ve/veya gaz dolu gözeneklerin bir arada bulunduğu, organik maddeden ve minerallerden meydana gelmektedirler (Peters ve Cassa, 1994). Hidrokarbon türetme kabiliyetine sahip olan veya taşınabilir miktarda hidrokarbon türetmiş olan bu kayaçlar “kaynak kaya” olarak anılmaktadır (Tissot ve Welte, 1984). Sedimanter kayacın bütünüleyici parçası olduğu kabul edilen çökel içindeki organik maddenin, görsel tetkik ve karşılaştırmalar vasıtasıyla hidrokarbon tipleri ve hidrokarbon potansiyeli belirlenebilmektedir (Staplin, 1969).

Dembicki (2016)’ye göre sedimanter kayaç içindeki organik madde iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan biri “bitümen”, diğeri ise “kerojen” olarak isimlendirilmektedir. Bitümen, organik maddenin organik çözücülerle çözülebilen kısmını ifade etmektedir (Björlykke, 2010). Vandenbroucke (2003) kerojen kelimesinin, ilk kez Crum-Brown (1912) tarafından mumsu (waxy) petrol üretilen İskoç petrollü şeyllerinin organik maddesini tanımlamak için kullanıldığını ifade etmiştir. Kerojen, petrol üretme yeteneğine sahip, asit ve organik çözücülerle çözünmeyen sedimanter organik maddedir (Durand, 1980; Tissot ve Welte, 1984; Vandenbroucke, 2003). Organik çözücülerle çözünmeyen, termal olarak altere olmuş ve katılaştırmış bitümeni ifade eden kısım “pirobitümen” olarak anılmaktadır (Hunt, 1979). Sedimanter kayaç içindeki organik madde, termal olgunluk yükseldikçe, önce petrole, ardından ıslak gaza ve son olarak kuru gaz ve pirobitümene dönüşmektedir (Peters ve Cassa, 1994).

Kerojen, çeşitli büyük moleküllerden oluşan, bir çeşit polimerdir (Björlykke, 2010). Kerojen bileşiminde bulunan temel elementler sırasıyla; C, H, N, O ve S’tür (Tissot ve Welte, 1984; Vandenbroucke, 2003). Kaynak kayanın petrol üretim kapasitesi, kerojenin bileşiminde bulunan hidrojen içeriği ile ilişkilidir (Hunt, 1996). Bu nedenle, önceki yıllarda elemental analiz (C, H ve O) çalışmaları ile hidrokarbon kaynak kaya potansiyeli belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan H/C ve O/C atomik oranları Şekil 5.1’de görüleceği üzere kömürlerin kömürleşme derecelerinin tespit edildiği Van Krevelen diyagramına (Van Krevelen, 1961, 1984) yerleştirilmektedir (Tissot ve ark., 1974).

Günümüzde daha hızlı sonuç vermesi ve maliyetinin düşük olması nedeniyle hidrokarbon kaynak kaya potansiyelini belirlemek için Rock-Eval piroliz analizi tercih edilmektedir. Rock-Eval piroliz parametrelerinden hesaplanan HI ve OI değerleri sırasıyla H/C ve O/C atomik oranları yerine kullanılmaktadır (Espitalie ve ark., 1977). Peters ve Cassa (1994)'e göre temel kerojen tipleri hem kömürler hem de sedimanter kayaçlar için tek kabul edilmiştir. Yazarların kerojen tiplerine ait tanımlamaları Çizelge 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5. 1. Kerojen evriminin temel basamakları (Tissot ve ark., 1974).

Çizelge 5. 1. Kerojen tipleri (Tissot ve ark., 1974; Hunt, 1979; Waples, 1985; Peters ve Cassa, 1994; Vandenbroucke, 2003; McCarthy ve ark., 2011).

Kerojen Tipleri	H/C (Atomik oran)	O/C (Atomik oran)	Maseral	Tipik Ortamı	Çökelme	Hidrokarbon Potansiyel Eğilimi
Tip I	≥1,5	<0,1	Alginit (Amorf)	Gölsel		Petrol
Tip II	1,2-1,5	Tip III ve IV göre düşük miktar	Eksinit (Liptinit)	Denizel		Petrol
Tip III	<1,0	≤0,3	Liptinit, Baskın Vitrit	Karasal		Gaz
Tip IV	0,5-0,6	≤0,3	İnertinit	Oksideolan kerojenlerin yeniden işlenmesiyle oluşur		Sınırlı Gaz (?)

Dadaş Formasyonu'nun Çermik-Korudağ ve Hazro lokasyonlarında yüzeyleyen bölümlerinin hidrokarbon kaynak kaya potansiyelini belirlemek için yapılan güncel çalışmalar Kranendock (2004), Aydemir (2012), Öztürk (2013; 2016) ve Şen ve Kozlu (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen ve hesaplanan parametreler kullanılarak, Çat, Çermik-Korudağ, Diyarbakır ve Bismil lokasyonlarında Dadaş Formasyonu'nun hidrokarbon kaynak kaya tanımlamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile Rock-Eval bazlı hesaplamalara ek olarak şeyl petrol ve şeyl gaz potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan orijinal parametrelerin (Jarvie ve ark., 2007; Chen ve Jiang, 2015) belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada TOK ve Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen ve hesaplanan parametrelerin yorumlanmasında sınır değer aralıklarının değerlendirilmesi için Jarvie ve Baker (1984), Peters (1986), Jarvie (1991), Peters ve Cassa (1994) çalışmaları referans alınmıştır (Çizelge 5.2; 5.3; 5.4; 5.5; 5.6; 5.7).

TOK içeriği ile bir kaynak kayanın hidrokarbon potansiyelinin belirlenebilmesi için gerekli değer aralıkları Çizelge 5.2'de verilmiştir. %2.00'den büyük TOK içeriğinin şeyl gaz üretimi için yeterli olduğuna işaret edilmektedir (Jarvie, 1991; 2004). Konvansiyonel ve ankonvansiyonel kaynak değerlendirmeleri için TOK içeriğini kuyu log verileri ile elde etmek de mümkündür (Wang ve ark., 2016).

Çizelge 5. 2. TOK içeriğine göre petrol potansiyeli.

	Jarvie (1991)	Peters ve Cassa (1994)
Petrol	TOK	TOK
Potansiyeli	(% ağırlıkça)	(% ağırlıkça)
Fakir	0.00-0.50	0.0-0.5
Zayıf	0.50-1.00	0.5-1.0
İyi	1.00-2.00	1.0-2.0
Çok İyi	2.00-5.00	2.0-4.0
Mükemmel	>5.00	>4.0

S₁ değeri kayaç içindeki serbest hidrokarbon miktarına ek olarak, örneklerdeki kirlenme hakkında da bilgi vermektedir (Hunt, 1996). Kaynak kaya, farklı

kaynaktan türemiş hidrokarbonlar ile kirlenebileceği gibi sondaj çamuru ve/veya yıkıntılar sonucu da kirlenebilmektedir.

Bir diğer önemli parametre ise S_2 'dir. S_2 değerinin yüksek ya da düşük olması, T_{max} ve HI $[(S_2/TOK) \times 100]$ parametrelerini doğrudan etkilemektedir. Yüksek S_2 pik değerleri, yüksek HI değerleri ile sonuçlanmaktadır ve Tip I, Tip II kerojene işaret etmektedir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5. 3. S_1 ve S_2 değerlerine göre petrol potansiyeli.

Peters ve Cassa (1994)		
Petrol Potansiyeli	S_1 (mg HC/g kayaç)	S_2 (mg HC/g kayaç)
Fakir	0.00-0.50	0.0-2.5
Zayıf	0.50-1.00	2.5-5.0
İyi	1.00-2.00	5.0-10.0
Çok İyi	2.00-4.00	10-20
Mükemmel	>4.00	>20

Çizelge 5. 4. T_{max} değerlerinin işaret ettiği termal olgunluk dereceleri.

Peters ve Cassa (1994)	
Termal Olgunluk Derecesi	T_{max} (°C)
Olgunlaşmamış	<435
Erken Olgun	435-445
İleri Olgun	445-450
Geç Olgun	450-470
Aşırı Olgun	>470

Çizelge 5. 5. HI değerinin işaret ettiği kerojen tipi ve türeyen hidrokarbon tipi sınır değerleri.

Peters ve Cassa (1994)		Peters (1986)	
Kerojen Tipi	HI (mg HC/g TOK)	Hidrokarbon Tipi	HI (mg HC/g TOK)
I	>600	Petrol	0-150
II	300-600	Gaz ve Petrol	150-300
II/III	200-300	Gaz	>300
III	50-200		
IV	<50		

PI değeri, termal olgunluk ile doğru orantılıdır. Serbest hidrokarbonların dönüşümünün bir göstergesidir. PI ve Tmax ile elde edilen termal olgunluk derecesinin, diğer jeokimyasal analizler ve optik çalışmalar ile desteklenmesi gerekmektedir (Bordenave, 1993).

Çizelge 5. 6. PI (Üretim İndeksi) değerlerine göre petrol potansiyeli.

Peters ve Cassa (1994)		Peters (1986)	
Termal Olgunluk Derecesi	PI	Termal Olgunluk Derecesi	PI
Olgunlaşmamış	<0.10	Petrol Penceresi Üstü	~0.10
Erken Olgun	0.10-0.15	Petrol Penceresi Altı	~0.40
İleri Olgun	0.25-0.40		
Geç Olgun	>0.40		
Aşırı Olgun	-		

QI (S_2/S_3) değerlerinin oranı, Peters ve Cassa (1994) tarafından kerojen tipinin belirlenmesine yönelik bir parametre niteliği taşımaktadır. Aynı zamanda QI değeri ile hidrokarbon tipi hakkında bilgi edinilebilmektedir.

Çizelge 5. 7. QI (S_2/S_3) değerinin işaret ettiği kerojen tipi ve türeyen hidrokarbon tipi sınır değerleri.

Peters ve Cassa (1994)		Peters (1986)	
Kerojen Tipi	QI	Hidrokarbon Tipi	QI
I	>15	Petrol	>5
II	10-15	Gaz ve Petrol	3-5
II/III	5-10	Gaz	0-3
III	1-5		
IV	<1		

5.2. Çat Ölçülü Stratigrafik Kesiti Örneklerinin TOK ve Rock-Eval Piroliz Analizi Sonuçları

Çat ÖSK örneklerine ait TOK ve Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametreler Çizelge 5.8’de verilmiştir. Çat yüzey örnekleri TOK değerleri, %2’den yüksek değer aralığında “çok iyi-mükemmel kaynak kaya” potansiyeline işaret etmektedir. Fakat oldukça düşük S_2 pik değerleri “zayıf kaynak kaya” potansiyeli sınır değerlerine karşılık gelmektedir. Tmax değerleri ısısal olarak aşırı olgunlaşmış kaynak kayayı belirtmektedir ve “gaz penceresi”nde yer almaktadır.

Çizelge 5. 8. Çat ÖSK örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametre verileri.

Örnek Adı	TOK ^a	S_1^b	S_2^b	S_3^c	Tmax ^d
C-3	3.05	0.03	0.62	1.32	484
C-7	3.60	0.04	1.01	0.57	506
C-17	3.63	0.04	0.95	0.73	509
C-24	4.06	0.07	1.68	0.60	593
Max.	4.06	0.07	1.68	1.32	593
Min.	3.05	0.03	0.62	0.57	484
Ortalama	3.59	0.05	1.07	0.81	523

^a:%ağırlıkça; ^b:mg HC/g kayaç; ^c:mg CO₂/g kayaç; ^d:°C

Ölçülen parametrelerden hesaplanan parametre değerleri Çizelge 5.9’da verilmiştir. Çat ÖSK örneklerinin HI, OI değerlerine göre kerojen tipi “Tip IV” olarak tespit edilmiştir. Tip IV kerojen tipi ve QI değeri, örneklerin “sınırlı gaz” eğilimine sahip olduğunu yansıtmaktadır. Yüksek Tmax değerleri ve Tip IV

kerojen tipi Jarvie ve Tobbey (1999)'a göre yeniden işlenmiş organik maddeye işaret etmektedir.

Çizelge 5. 9. Çat ÖSK örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametrelerden hesaplanan parametre verileri.

Örnek Adı	HI ^a	OI ^b	PI	RC ^c	PC ^c	MINC ^c	PV ^d	QI	MI
C-3	20	43	0.04	2.93	0.12	0.19	650	0.47	0.01
C-7	28	16	0.04	3.48	0.12	0.16	1050	1.77	0.01
C-17	26	20	0.04	3.51	0.12	0.18	990	1.30	0.01
C-24	41	15	0.04	3.87	0.19	0.11	1750	2.80	0.02
Max.	41	43	0.04	3.87	0.19	0.19	1750	2.8	0.02
Min.	20	15	0.04	2.93	0.12	0.11	650	0.47	0.01
Ortalama	28.75	23.50	0.04	3.45	0.14	0.16	1110	1.59	0.01

^a: mg HC/g TOK; ^b: mg CO₂/g TOK; ^c: %ağırlıkça; ^d: ppm, QI: S₂/S₃, MI: S₁/TOK

5.3. Çermik Ölçülü Stratigrafik Kesiti Örneklerinin TOK ve Rock-Eval Piroliz Analizi Sonuçları

Çermik ÖSK örneklerine ait TOK ve Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametreler Çizelge 5.10'da verilmiştir. Örneklerin TOK değerleri, %0,98 ile %4,04 arasında değişmektedir. TOK içeriğine göre “zayıf-çok iyi kaynak kaya” potansiyeline sahiptir. Örneklerin serbest hidrokarbon miktarı (S₁) ve dönüşebilir hidrokarbon miktarı (S₂) “zayıf kaynak kaya” potansiyeline işaret etmektedir. Düşük S₂ pik şiddeti (0.20 mg HC/g TOK) nedeniyle Tmax değerleri güvenilir kabul edilmemektedir (Peters, 1986). Tmax değerleri, termal açıdan aşırı olgun “gaz penceresi”nde yer almaktadır.

Çizelge 5.11'de ölçülen HI, OI ve Tmax değerlerine göre Tip IV kerojen tipine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kerojen tipi ve QI değerleri, Çermik ÖSK örneklerinin “sınırlı gaz türetme eğilimi”ne sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5. 10. Çermik ÖSK örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametre verileri.

Örnek Adı	TOK ^a	S ₁ ^b	S ₂ ^b	S ₃ ^c	Tmax ^d
K-1	1.41	0.00	0.11	1.20	516
K-4	2.19	0.02	0.58	0.34	567
K-6	2.06	0.01	0.20	0.82	595
K-9	1.78	0.01	0.26	0.60	593
K-12	3.04	0.01	0.59	0.70	582
K-14	1.64	0.01	0.13	0.92	524
K-17	2.60	0.01	0.54	0.38	579
K-19	1.50	0.01	0.35	0.22	567
K-23	2.31	0.01	0.19	1.41	526
K-26	1.99	0.01	0.18	0.94	596
K-29	4.04	0.01	0.46	1.12	596
K-32	1.82	0.01	0.23	0.68	595
K-35	2.18	0.01	0.30	0.74	579
K-38	1.87	0.01	0.21	0.88	593
K-39	0.98	0.00	0.05	1.44	552
Max.	4.04	0.02	0.59	1.44	596
Min.	0.98	0	0.05	0.22	516
Ortalama	2.09	0.01	0.29	0.83	571

^a:%ağırlıkça; ^b:mg HC/g kayaç; ^c:mg CO₂/g kayaç; ^d:°C

Çizelge 5. 11. Çermik ÖSK örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametrelerden hesaplanan parametre verileri.

Örnek Adı	HI ^a	OI ^b	PI	RC ^c	PC ^c	MINC ^c	PV ^d	QI	MI
K-1	8	85	0.04	1.35	0.06	0.15	110	0.09	0.00
K-4	26	16	0.03	2.12	0.07	0.09	600	1.71	0.01
K-6	10	40	0.05	2.01	0.05	0.15	210	0.24	0.00
K-9	15	34	0.04	1.72	0.06	0.10	270	0.43	0.01
K-12	19	23	0.02	2.95	0.09	0.12	600	0.84	0.00
K-14	8	56	0.04	1.59	0.05	0.13	140	0.14	0.01
K-17	21	15	0.02	2.52	0.08	0.10	550	1.42	0.00
K-19	23	15	0.03	1.45	0.05	0.07	360	1.59	0.01
K-23	8	61	0.05	2.24	0.07	0.18	200	0.13	0.00
K-26	9	47	0.03	1.93	0.06	0.13	190	0.19	0.01
K-29	11	28	0.03	3.94	0.10	0.19	470	0.41	0.00

Çizelge 5.11. devam ediyor.

Örnek Adı	HI ^a	OI ^b	PI	RC ^c	PC ^c	MINC ^c	PV ^d	QI	MI
K-32	13	37	0.04	1.77	0.05	0.10	240	0.34	0.01
K-35	14	34	0.02	2.11	0.07	0.11	310	0.41	0.00
K-38	11	47	0.04	1.80	0.07	0.11	220	0.24	0.01
K-39	5	147	0.05	0.93	0.05	0.19	50	0.03	0.00
Max.	26	147	0.05	3.94	0.10	0.19	600	1.71	0.01
Min.	5	15	0.02	0.93	0.05	0.07	50	0.03	0.00
Ortalama	13.40	45.67	0.04	2.03	0.07	0.13	301	0.55	0.00

^a: mg HC/g TOK; ^b: mg CO₂/g TOK; ^c: %ağırlıkça; ^d: ppm, QI: S₂/S₃, MI: S₁/TOK

5.4. Diyarbakır-1 Kuyu Örneklerinin TOK ve Rock-Eval Piroliz Analizi Sonuçları

Diyarbakır-1 kırıntı kuyu örneklerine ait TOK ve Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametreler Çizelge 5.12’de verilmiştir. TOK miktarı, %0.73 ile %7.51 arasında ortalama 2.82 (% ağırlıkça)’dır. Örneklerin TOK içeriğine göre “çok iyi-mükemmel kaynak kaya” potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. TOK içeriğinin yaklaşık %1.00 ve daha düşük değerlere sahip olduğu “zayıf kaynak kaya” potansiyeline işaret eden derinliklerin kuyunun başlangıç ve bitiş noktaları olduğu gözlenmektedir. TOK miktarına benzer biçimde Rock-Eval piroliz parametrelerinin tümünde kuyu derinliğine bağlı farklılıklar gözlenmiştir.

S₁ pik değerleri 0.35 ile 5.34 mg HC/g kayaç arasında değişmektedir ve “fakir-çok iyi kaynak kaya” niteliğine işaret etmektedir. S₂ pik değerleri, “çok iyi-mükemmel kaynak kaya” potansiyeli sınır değerleri arasındadır. Tmax değerleri ısısal olarak “olgun” kaynak kaya derecesinde olup, “petrol penceresi”nde yer almaktadır.

Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametrelere ait elde edilen sonuçlar Çizelge 5.13’de verilmiştir. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin HI değerleri 237-384 mg HC/g TOK miktarı arasında tespit edilmiştir. HI, OI ve Tmax değerlerine göre Tip II/III kerojen tipine işaret etmektedir. Benzer biçimde QI değerleri, örneklerin “ağırlıklı petrol türetme eğilimi”nde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5. 12. Diyarbakır-1 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametre verileri.

Örnek Adı	TOK ^a	S ₁ ^b	S ₂ ^b	S ₃ ^c	Tmax ^d
D-1	0.88	0.64	2.25	0.76	439
D-2	1.04	0.66	2.64	0.79	440
D-3	1.19	0.70	3.11	0.71	440
D-4	0.73	0.44	1.83	0.62	440
D-5	3.56	3.05	10.22	1.66	441
D-6	7.06	5.34	24.17	1.66	439
D-7	1.79	1.10	4.96	0.94	442
D-8	4.60	3.21	14.66	1.28	441
D-9	7.51	4.64	28.85	0.62	444
D-10	5.34	3.68	18.56	0.91	443
D-11	4.07	3.36	12.93	0.69	442
D-12	6.09	3.58	20.27	0.94	443
D-13	3.30	2.28	10.19	0.57	443
D-14	2.61	1.41	6.85	0.51	442
D-15	1.18	0.74	3.10	0.79	441
D-16	1.02	0.61	2.44	0.86	440
D-17	1.67	1.06	4.15	0.97	440
D-18	2.17	1.43	5.27	1.00	440
D-19	1.01	0.76	2.72	0.96	440
D-20	1.56	0.77	4.40	0.65	441
D-21	0.81	0.35	1.92	0.54	443
Max.	7.51	5.34	28.85	1.66	444
Min.	0.73	0.35	1.83	0.51	439
Ortalama	2.82	1.90	8.83	0.88	441

^a:%ağırlıkça; ^b:mg HC/g kayaç; ^c:mg CO₂/g kayaç; ^d:°C

Çizelge 5. 13. Diyarbakır-1 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametrelerden hesaplanan parametre verileri.

Örnek Adı	HI ^a	OI ^b	PI	RC ^c	PC ^c	MINC ^c	PV ^d	QI	MI
D-1	256	86	0.22	0.60	0.28	0.54	2890	2.96	0.73
D-2	254	76	0.20	0.72	0.32	0.70	3300	3.34	0.63
D-3	261	60	0.18	0.83	0.36	0.63	3810	4.38	0.59
D-4	251	85	0.19	0.51	0.22	0.55	2270	2.95	0.60
D-5	287	47	0.23	2.39	1.17	0.69	13270	6.16	0.86

Çizelge 5.13. devam ediyor.

Örnek Adı	HI ^a	OI ^b	PI	RC ^c	PC ^c	MINC ^c	PV ^d	QI	MI
D-6	342	24	0.18	4.54	2.52	1.68	29510	14.56	0.76
D-7	277	53	0.18	1.24	0.55	0.69	6060	5.28	0.61
D-8	319	28	0.18	3.06	1.54	0.77	17870	11.45	0.70
D-9	384	8	0.14	4.7	2.81	0.85	33490	46.53	0.62
D-10	348	17	0.17	3.45	1.89	0.77	22240	20.40	0.69
D-11	318	17	0.21	2.68	1.39	1.47	16290	18.74	0.83
D-12	333	15	0.15	4.07	2.02	1.4	23850	21.56	0.59
D-13	309	17	0.18	2.24	1.06	0.81	12470	17.88	0.69
D-14	262	20	0.17	1.9	0.71	0.61	8260	13.43	0.54
D-15	263	67	0.19	0.81	0.37	0.54	3840	3.92	0.63
D-16	239	84	0.2	0.72	0.3	0.4	3050	2.84	0.60
D-17	249	58	0.2	1.19	0.48	0.4	5210	4.28	0.63
D-18	243	46	0.21	1.56	0.61	0.46	6700	5.27	0.66
D-19	269	95	0.22	0.67	0.34	0.46	3480	2.83	0.75
D-20	282	42	0.15	1.09	0.47	0.75	5170	6.77	0.49
D-21	237	67	0.16	0.59	0.22	0.55	2270	3.56	0.43
Max.	384	95	0.23	4.70	2.81	1.68	33490	46.53	0.86
Min.	237	8	0.14	0.51	0.22	0.40	2270	2.83	0.43
Ortalama	284.9	48.19	0.186	1.884	0.93	0.75	10728.6	10.43	0.65

^a: mg HC/g TOK; ^b: mg CO₂/g TOK; ^c: %ağırlıkça; ^d: ppm, QI: S₂/S₃, MI: S₁/TOK

5.5. Bismil-2 Kuyu Örneklerinin TOK ve Rock-Eval Piroliz Analizi Sonuçları

Bismil-2 kırıntı kuyu örneklerinin TOK ve Rock-Eval piroliz analizinde hesaplanan ve ölçülen parametreler Çizelge 5.14 ve 5.15'te verilmiştir. TOK içeriği %0.76 ve %3.03 aralığında, ortalama %1.18'dir. TOK içeriğine göre örnekler “zayıf-çok iyi kaynak kaya” potansiyeline sahiptir. S₁ değerleri “iyi-çok iyi kaynak kaya” potansiyeli sınırlarında yer almaktadır. S₂ pik değerleri ise “fakir-zayıf kaynak kaya” potansiyeline işaret etmektedir. Tmax değerleri, ısısal açıdan “olgunlaşmamış” kaynak kaya derecesindedir. B-2-11 ve B-2-13 numaralı örnekler ise “erken olgunluğa” sahiptir.

HI, OI ve Tmax değerlerine göre kerojen tipi Tip II/III kerojendir. Örneklerin QI değerleri, B-2-9 ve B-2-13 numaralı örnekler (gaz ve petrol) haricinde çoğunlukla gaz türetme eğilimindedir.

Çizelge 5. 14. Bismil-2 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametre verileri.

Örnek Adı	TOK ^a	S ₁ ^b	S ₂ ^b	S ₃ ^c	Tmax ^d
B-2-1	0.94	3.32	1.84	1.42	415
B-2-2	0.94	2.30	1.84	1.91	428
B-2-3	0.98	2.04	2.25	1.89	406
B-2-4	0.77	1.88	1.61	1.72	397
B-2-5	1.07	2.83	2.46	1.68	409
B-2-6	0.76	1.59	1.66	1.56	408
B-2-7	1.13	3.89	2.36	1.42	423
B-2-8	0.99	2.57	2.50	1.70	410
B-2-9	3.03	3.28	5.54	1.66	433
B-2-10	0.94	3.33	2.67	1.37	410
B-2-11	1.20	3.07	2.32	1.22	438
B-2-12	0.99	1.86	1.94	1.26	434
B-2-13	1.56	2.70	4.26	1.09	440
Max.	3.03	3.89	5.54	1.91	440
Min.	0.76	1.59	1.61	1.09	397
Ortalama	1.18	2.67	2.56	1.53	419

^a:%ağırlıkça; ^b:mg HC/g kayaç; ^c:mg CO₂/g kayaç; ^d:°C

Çizelge 5. 15. Bismil-2 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametrelerden hesaplanan parametre verileri.

Örnek Adı	HI ^a	OI ^b	PI	RC ^c	PC ^c	MINC ^c	PV ^d	QI	MI
B-2-1	196	151	0.64	0.46	0.48	0.93	5160	1.30	3.53
B-2-2	196	203	0.56	0.52	0.42	0.94	4140	0.96	2.45
B-2-3	230	193	0.48	0.55	0.43	1.29	4290	1.19	2.08
B-2-4	209	223	0.54	0.42	0.35	1.30	3490	0.94	2.44
B-2-5	230	157	0.54	0.57	0.50	1.10	5290	1.46	2.64
B-2-6	218	205	0.49	0.43	0.33	1.08	3250	1.06	2.09
B-2-7	209	126	0.62	0.56	0.57	0.84	6250	1.66	3.44
B-2-8	253	172	0.51	0.50	0.49	1.06	5070	1.47	2.60
B-2-9	183	55	0.37	2.22	0.81	1.25	8820	3.34	1.08
B-2-10	284	146	0.56	0.39	0.55	1.60	6000	1.95	3.54
B-2-11	193	102	0.57	0.71	0.49	1.33	5390	1.90	2.56
B-2-12	196	127	0.49	0.63	0.36	1.45	3800	1.54	1.88
B-2-13	273	70	0.39	0.94	0.62	1.25	6960	3.91	1.73

Çizelge 5.15. devam ediyor.

Örnek Adı	HI ^a	OI ^b	PI	RC ^c	PC ^c	MINC ^c	PV ^d	QI	MI
Max.	284	223	0.64	2.22	0.81	1.60	8820	3.91	3.54
Min.	183	55	0.37	0.39	0.33	0.84	3250	0.94	1.08
Ortalama	230	122	0.49	0.96	0.55	1.29	5224	1.74	2.47

^a: mg HC/g TOK; ^b: mg CO₂/g TOK; ^c: %ağırlıkça; ^d: ppm, QI: S₂/S₃, MI: S₁/TOK

5.6. Bismil-1 Kuyu Örneklerinin TOK ve Rock-Eval Piroliz Analizi Sonuçları

Bismil-1 karot kuyu örneklerinin TOK ve Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen ve hesaplanan parametreleri Çizelge 5.16'da ve Çizelge 5.17'de verilmiştir. TOK içeriği "iyi-çok iyi kaynak kaya" potansiyelini göstermektedir. S₁ değerleri "zayıf-iyi kaynak kaya" potansiyeline işaret ederken, yüksek S₂ değerlerine göre "çok iyi-mükemmel kaynak kaya" potansiyeli sınır değerleri arasındadır.

Çizelge 5. 16. Bismil-1 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametre verileri.

Örnek Adı	TOK ^a	S ₁ ^b	S ₂ ^b	S ₃ ^c	Tmax ^d
B-1-1	2.81	1.67	13.36	0.07	437
B-1-2	2.21	0.84	9.73	0.18	436
B-1-3	2.90	1.30	14.77	0.05	434
B-1-4	4.49	1.59	25.40	0.15	435
Max.	4.49	1.67	25.4	0.18	437
Min.	2.21	0.84	9.73	0.05	434
Ortalama	3.10	1.35	15.82	0.11	436

^a:%ağırlıkça; ^b:mg HC/g kayaç; ^c:mg CO₂/g kayaç; ^d:°C

Çizelge 5. 17. Bismil-1 kuyu örneklerine ait TOK, Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen parametrelerden hesaplanan parametre verileri.

Örnek Adı	HI ^a	OI ^b	PI	RC ^c	PC ^c	MINC ^c	PY ^d	QI	MI
B-1-1	475	2	0.11	1.55	1.26	1.00	15030	191	0.59
B-1-2	440	8	0.08	1.32	0.89	2.06	10570	54	0.38
B-1-3	509	2	0.08	1.56	1.34	0.01	16070	295	0.45
B-1-4	566	3	0.06	2.24	2.25	1.73	26990	169	0.35
Max.	566	8	0.11	2.24	2.25	2.06	26990	295	0.59
Min.	440	2	0.06	1.32	0.89	0.01	10570	54	0.35
Ortalama	498	3.75	0.08	1.67	1.44	1.20	17165	177	0.44

^a: mg HC/g TOK; ^b: mg CO₂/g TOK; ^c: %ağırlıkça; ^d: ppm, QI: S₂/S₃, MI: S₁/TOK

Örneklerin yüksek HI, OI ve Tmax değerlerine göre Tip II kerojen içermekte olduğu saptanmıştır. Termal açıdan olgunlaşmamış ve erken olgun seviyede bulunduğu tespit edilmiştir. QI değeri, örneklerin petrol türetmeye eğilimli olduklarını göstermektedir.

5.7. Mineral Matriks Etkisi

Geçmişten günümüze TOK, Rock-Eval piroliz analizi sonucunda elde edilen sonuçların güvenilirliği çeşitli araştırmacılar tarafından tartışılmıştır (Espitalie ve ark., 1980; Katz, 1983; Dembicki, 2009). Şeyl mineral matriksinin, kerojen ile ilişkisi Rock-Eval piroliz analizi sırasında hidrokarbon tutunumuna neden olmaktadır ve bu durum bugünkü HI değerini etkilemektedir (Dahl ve ark. 2004). Hidrokarbonun adsorpsiyonundan sorumlu başlıca mineralin, kil mineralleri (özellikle illit minerali) olduğu düşünülmektedir (Espitalie ve ark., 1980).

Piroliz sırasında mineral matriksten gelen inorganik CO₂ (örneğin karbonat mineralleri) ise OI değerini etkilemektedir (Katz, 1983). S₃ değerinin yüksek değerlerde olmasının bir diğer sebebi ise Bordenave (1993)'e göre organik maddenin oksidasyona uğramasıdır. Araştırmacıya göre OI değerindeki artış, özellikle yüzey örneklerinde gözlenmektedir. Buna ek olarak, örneğin taze olmaması, örnek hazırlama aşamaları ve erken diyajenetik koşullar da sebep olarak gösterilmektedir (Peters, 1986).

Dadaş Formasyonu'nun mineral matriksi ile organik madde arasındaki ilişkinin etkilerinin araştırılması için S₂ ve TOK içeriğinin regresyon analizi yapılmıştır. Buna ek olarak, Dadaş Formasyonu'nun organik madde bileşenlerinden biri olan graptolitlerin (Bkz. Bölüm 6) kavkıları üzerinde SEM-EDAX analizi ile mineral matriksin etkileri araştırılmıştır.

5.7.1. Rock-Eval S₂ ve TOK İçeriğinin Regresyon Analizi

Bir stratigrafik istifte HI değerinin oldukça büyük miktarlarda değişkenlik gösterdiğine işaret edilmektedir (Tobey ve Campbell, 2016). Bu durum organik madde içeriği ile değişebileceği gibi mineral matriks etkisi ile de düşük hidrokarbon miktarını yansıtabilmektedir. Mineral matriks etkisinin hidrokarbonlar üzerindeki miktarını saptayabilmek için Langford ve Blanc-Valleron (1990) ve

Dahl ve ark. (2004), S_2 parametresine karşılık TOK içeriği grafiğinin regresyon analizini gerçekleştirmiştir.

Regresyon çizgisinin basit doğrusal denklemi " $y=ax+b$ " dir. Bu denklemde "y" bağımlı değişkeni; S_2 (mg HC/g kayaç) miktarını, "x" bağımsız değişkeni; TOK (% ağırlıkça) içeriğini, "b"; inert/ölü hidrokarbon miktarını ve "a" değeri ise HI değerini ifade etmektedir. Regresyon çizgisinin eğimi yaklaşık orijinal HI değerini vermektedir.

Langford ve Blanc-Valleron (1990) çalışmalarında " S_2 -TOK grafiğinin regresyon çizgisinin, orijinden geçmediğini ve x eksenini pozitif ekseninde kestiği noktada hidrokarbonların pirolizle kayaçtan serbest bırakılmadan önce bulunması gereken organik madde miktarını gösterdiğini" belirtmişlerdir.

Dadaş Formasyonu'nun mineral matriksi tarafından adsorplanan hidrokarbon miktarının etkilerini araştırmak amacıyla Rock-Eval S_2 parametresine karşılık TOK (% ağırlıkça) içeriğinin regresyon analizi SPSS programında yapılmıştır ve Pearson korelasyon faktörü ile %95 güven aralığı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, örnek alınan lokasyonlara göre Şekil 5.2'de ve Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çat ÖSK örneklerinin Rock-Eval piroliz HI değeri 20-41 mg HC/g TOK'dur. Orijinal HI değeri, regresyon denkleminde 102 mg HC/g TOK olarak hesaplanmıştır. Regresyon çizgisinin x eksenini kestiği nokta %2.54 TOK içeriğini göstermektedir. Çat ÖSK regresyon denklemine göre 1 gram kayacın adsorplama kapasitesinin 2.59 mg piroliz edilebilir hidrokarbona eşit olduğunu tespit edilmiştir.

Çermik ÖSK örneklerinin hidrokarbon tutunumunun, Çat ÖSK örneklerine benzer biçimde yüksek olması beklenmektedir. Çermik ÖSK yüzey örneklerinin x eksenini kestiği noktada TOK içeriği %0.32'dir. Rock-Eval pirolizinde hesaplanan HI değeri 5-26 mg HC/g TOK arasında değişmektedir ve ortalama 13.40 mg HC/g TOK'dur. Orijinal HI değeri, regresyon denkleminde 16 mg HC/g TOK olarak hesaplanmıştır. Beklenen mineral matriks etkisi gözlenememiştir. R^2 değeri (0.48), diğer denklemlere göre orta-düşük güvenilirliğe sahiptir. TOK içeriği (%0.98-4.04) ile ekonomik sınırın üzerinde organik madde içerdiği saptanmıştır.

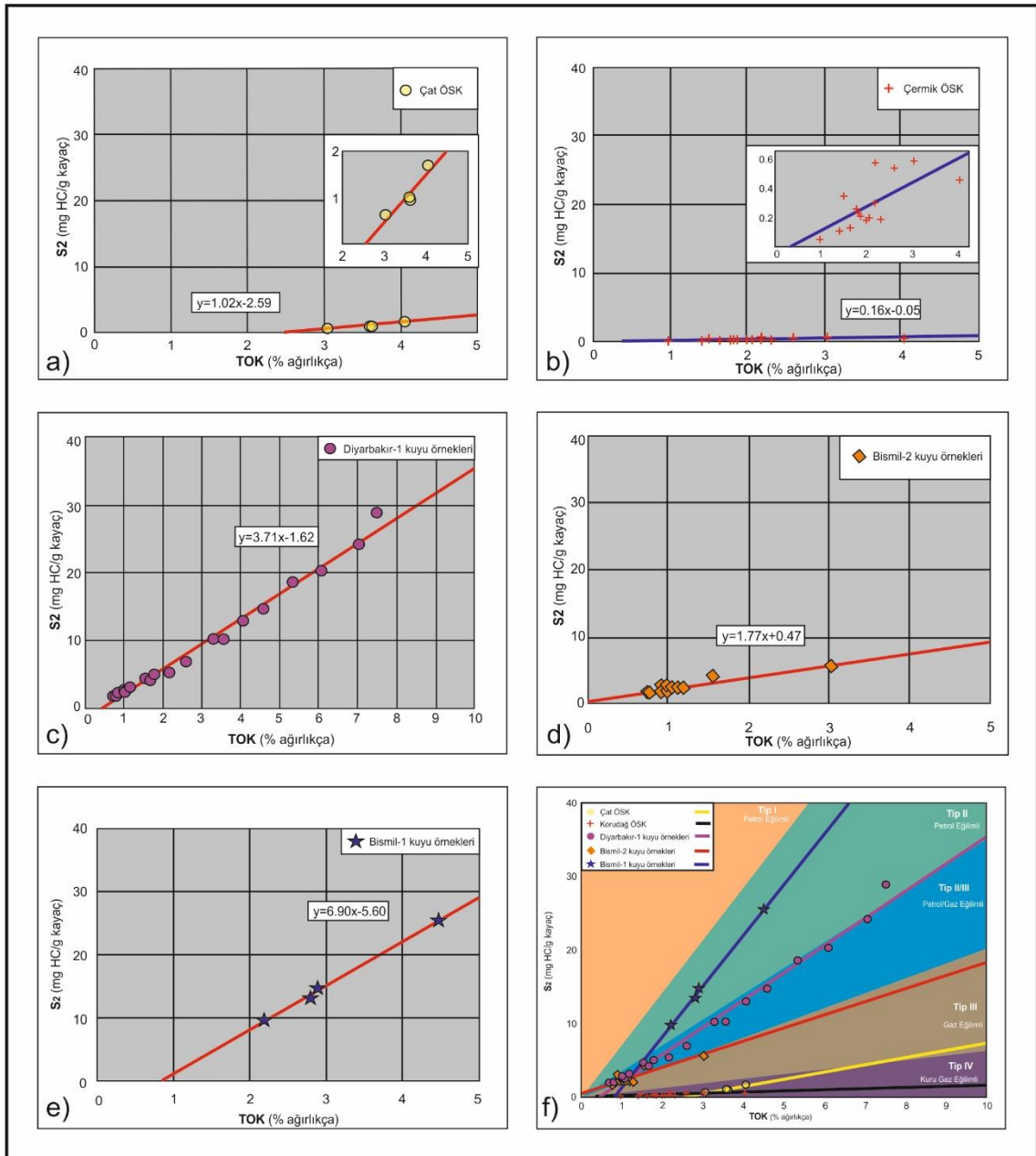
Buna rağmen S_2 değerleri çok düşüktür. Dembicki (2009) S_2 değerlerine karşılık TOK içeriğinin logaritmik grafik aralıklarına göre değerlendirildiğinde de zayıf kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.3). Oldukça düşük S_2 değerleri nedeniyle örneklerin veri kalitesi açısından güvenilirliğinin oldukça zayıf olduğu düşünülmektedir. Regresyon denklemine göre 1 gram kayacın adsorplama kapasitesinin 0.05 mg piroliz edilebilir hidrokarbona eşit olduğunu saptanmıştır.

Çizelge 5. 18. Dadaş Formasyonu'nun S_2 -TOK grafiklerinin regresyon denklemleri.

Örnek Adı	Örnek Tipi	Örnek Sayısı	Kalınlık (m)	S_2 -TOK Denklemi	R^2	x-Eksenini Kestiği Nokta (Organik Made Miktarı)
Çat ÖSK	Yüzey	4	1.29	$y=1.02x-2.59$	0.90	2.54
Çermik ÖSK	Yüzey	15	39	$y=0.16x-0.05$	0.48	0.32
Diyarbakır-1	Kırıntı	21	137.2	$y=3.71x-1.62$	0.99	0.44
Bismil-2	Kırıntı	13	79.2	$y=1.77x+0.47$	0.87	-0.27
Bismil-1	Karot	4	3	$y=6.90x-5.96$	0.99	0.86

Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin regresyon çizgisinin x eksenini kestiği nokta %0.44 TOK içeriğini göstermektedir. Orijinal HI değeri, regresyon denklemine göre 371 mg HC/g kayaç olarak hesaplanmıştır. Rock-Eval piroliz analizi sonucuna göre hesaplanan HI değeri ortalama 285 mg HC/g TOK'dur. Regresyon denklemine göre 1 gram kayacın adsorplama kapasitesinin 1.62 mg piroliz edilebilir hidrokarbona eşit olduğunu tespit edilmiştir.

Bismil-2 kuyu örneklerinin regresyon çizgisi x eksenini negatif eksende (%-0.27 TOK) kesmektedir. Rock-Eval piroliz analizi S_2 ve TOK içeriği ile hesaplanan HI değeri 183-284 (ortalama 221) mg HC/g TOK'dur. Fakat S_2 -TOK grafiği regresyon denkleminde hesaplanan orijinal HI değeri 177 mg HC/g TOK'dur. Bu değer, beklenen değerden daha düşük hesaplanmıştır. Bu durumun, Bismil-2 kırıntı kuyu örneklerindeki kirlilik ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Bkz. Bölüm 6.3.4 ve Bölüm 9.4).



Şekil 5. 2. a), b), c), d), e) Dadaş Formasyonu'nun S₂-TOK grafikleri. f) S₂-TOK grafiğine göre kerojen tipleri (Langford ve Blanc-Valleron, 1990; Tobey ve Campbell, 2016).

Bismil-1 kuyu örneklerinin Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen HI değeri, 440-566 mg HC/g TOK arasında değişmektedir ve ortalama 498 mg HC/g TOK'dur. S₂-TOK grafiği regresyon denkleminde orijinal HI değeri 690 mg HC/g TOK hesaplanmıştır. Regresyon denklemine göre 1 gram kayacın adsorplama kapasitesinin 5.96 mg piroliz edilebilir hidrokarbona eşit olduğunu tespit edilmiştir.

5.7.2. Graptolitlerde SEM-EDAX Analizi

Hidrokarbonlar üzerindeki mineral matriks etkisinin önemi bilinmektedir (Espitalie ve ark., 1980; Katz, 1983; Dahl ve ark., 2004; Hazra ve ark., 2016). Mineral matriksin hidrokarbon tutunumu (adsorpsiyonu) üzerindeki etkisi bir önceki bölümde tartışılmıştır. Organik maddenin mineral matriks ile yakın ilişkisinin ortaya konması amacı ile SEM-EDAX analiz yöntemi de kullanılmaktadır (Hazra ve ark., 2016). Hazra ve ark. (2016) organik madde üzerinden alınan spektrumlarda C ve O yüzde oranlarına ek olarak, düşük yüzde oranına sahip Al, Si, K, Ti, Na, S vb. elementler de tespit etmişlerdir. Şeyl örneklerindeki Al_2O_3 içeriği kil mineralleri ile ilişkilendirilmiştir. Örnekler hava koşullarına maruz kaldığında Al^{+3} ve Ti^{+4} gibi katyonlar bu süreçte oluşan mineraller içinde duraylıdır. Bahsedilen çalışmada XRF analizi ile tespit edilen yüksek miktardaki Al_2O_3 içeriği bu nedenle güçlü hava koşulları etkisi ile ilişkilendirilmektedir. Sonuç olarak, şeyl içindeki organik maddenin yüksek miktarda ilişki kurabileceği mineralin kil minerali olduğu açıktır (Peters, 1986; Katz, 1983; Espitalie ve ark., 1985; Dahl ve ark., 2004; Hazra ve ark., 2016).

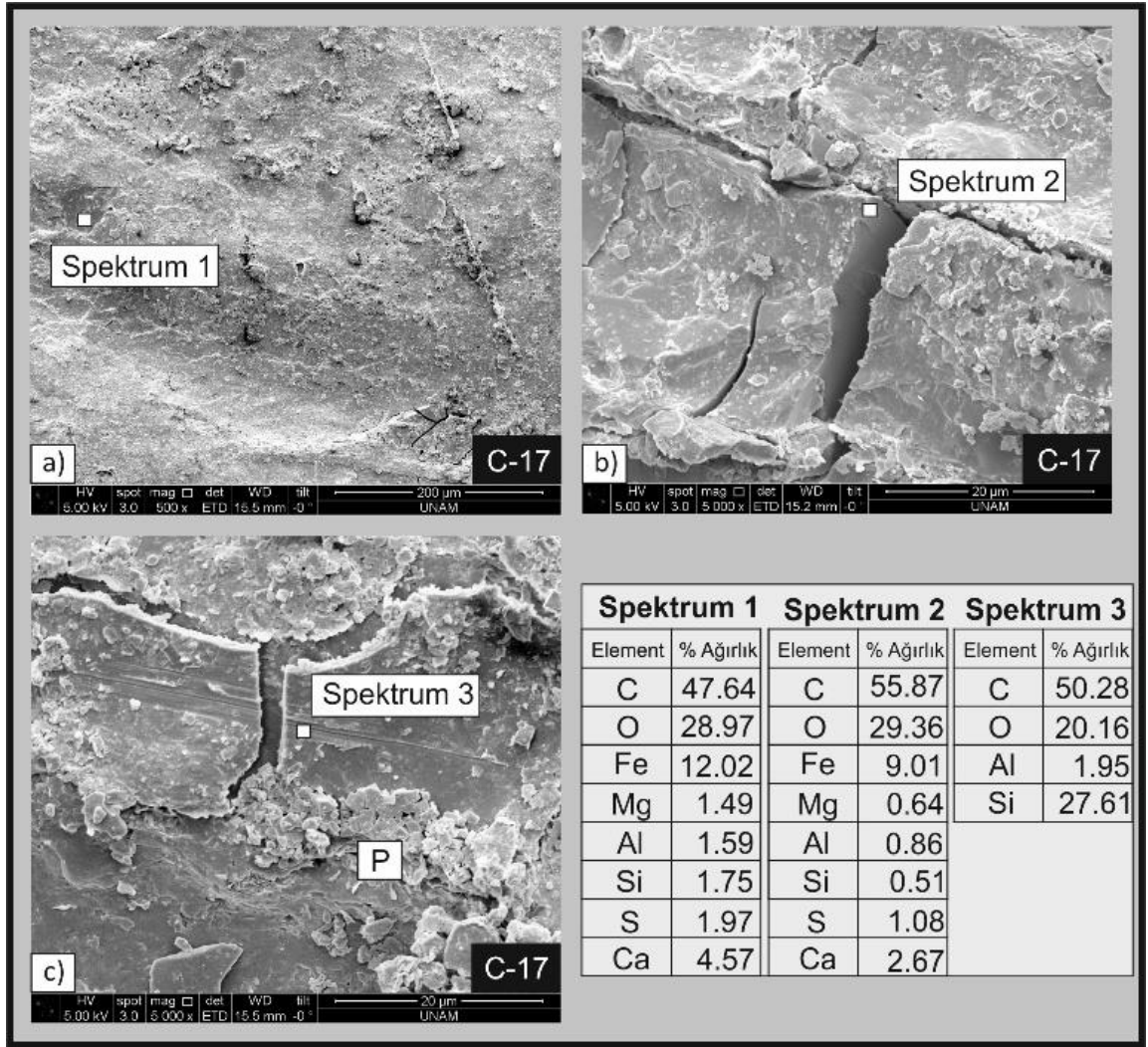
Organik madde ile yakın ilişki içinde olan bir diğer mineral ise pirit mineralidir. Graptolit kavkısının genellikle pirit minerali ile doldurulduğu bilinmektedir (Hutt, 1975). Loydell ve ark. (2004) tarafından diyajenetik süreçte graptolit kavkısında özşekilli pirit minerallerinin çökeldiğini belirtilmektedir. Araştırmacılar graptolit kavkısının ilerleyen süreçlerde kil mineralleri ile çevrili hale geldiğini söylemektedirler.

Buna ek olarak, Morga ve Kaminska (2018) graptolitlerin kimyasal bileşimini inceledikleri çalışmada düşük miktarda alifatik ve karboksil gruplarla birlikte baskın aromatik grupların varlığını tespit etmişlerdir. Bahsedilen çalışmada, VR değerlerinin %1.10-1.50 aralığındaki termal olgunluklarda graptolit kavkısının element yüzde bileşimleri bulunmuştur. Yaklaşık %85-90 kadarı karbon, %2.5-8.5 kadarı oksijen, yaklaşık %1.5-3 kadarı nitrojen ve/veya yaklaşık %3.0-4.5 hidrojen arasında element yüzde bileşimleri tayin etmişlerdir. Araştırmacılar graptolitlerin derinlik arttıkça yükselmesi beklenen termal olgunluğa bağlı olarak karbon miktarının arttığı ve oksijen miktarının düştüğünü belirtmektedirler.

Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler sonucunda Dadaş Formasyonu'nun organik madde bileşenlerinden birinin graptolit fosili olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Bölüm 6). Buna ek olarak, termal olgunluk seviyesinin belirlenebilmesi için optik özellikleri benzer vitrinit maserali yerine graptolit kullanılmıştır (Bkz. Bölüm 7.4). Bu kapsamda Dadaş Formasyonu'nda makro boyutlarda gözlenen graptolit kavkıları üzerinde mineral matriks ilişkisinin ve kimyasal yapısının tespit edilebilmesi için SEM-EDAX analizi yapılmıştır. Önceki çalışmalarda örnek hazırlama işleminin şeyl içindeki organik maddenin termal olgunluğunu yükseltebileceğinden bahsedilmektedir (Loucks ve ark., 2009; Katz ve Arango, 2018; Arango, 2019). Bu nedenle, kırılmış taze yüzey üzerindeki graptolit kavkıları üzerinde çalışılmıştır.

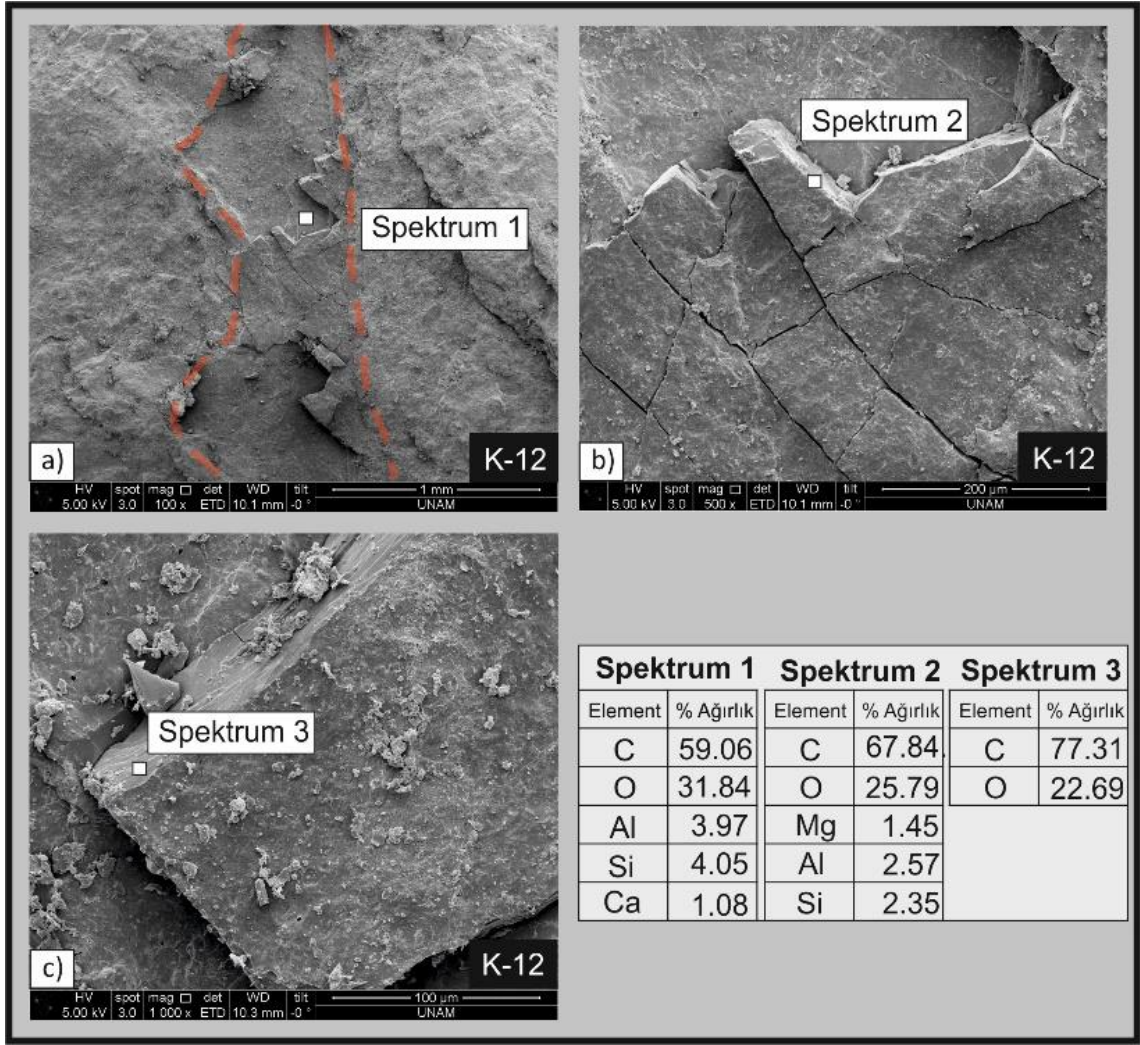
XRD tüm kayaç ve kil fraksiyonu analizi sonuçlarına göre Dadaş Formasyonu'nun kil minerali içeriği örnek alınan tüm lokasyonlarda yüksektir (minimum %39.95 ve maksimum %70.97). Tespit edilen kil mineralleri illit, kaolinit ve klorit (Diyarbakır-1 ve Bismil-1 kuyu örnekleri) mineralleridir. Saptanan kil minerallerinin bileşimindeki elementlerin graptolit kavkıları ile yüksek miktarda ilişkilide olabileceği düşünülmektedir.

Çat ÖSK örneklerinde gözlenen graptolit kavkısı miktarının fazla olması nedeniyle C-17 numaralı örnek analiz için seçilmiştir. Graptolit kavkısının SEM görüntüsü ve EDAX analiz sonuçları Şekil 5.3'te verilmiştir. Çeşitli büyütme alanları ile alınan EDAX analizi ile graptolit kavkısına ek olarak, Fe, Al, Mg, Si, S, Ca vb. element konsantrasyonları okunmuştur. Şekil 5.3'te görüleceği üzere büyütme arttıkça dedektörün daha hassas ölçüm yapması nedeniyle okunan C elementi % miktarı artmıştır. Elde edilen sonuçlara göre C-17 numaralı örnekte gözlenen graptolit kavkısının mineral matriks ile yakın ilişkiye sahip olduğu görülmektedir. Bu minerallerin başta kil mineralleri olmak üzere feldispat ve pirit minerali olduğu düşünülmüştür. Sonuç olarak, S₂-TOK grafiğinin regresyon analizinde tespit edilen hidrokarbon tutunumu miktarının en fazla Çat ÖSK örneklerinde olduğu tespit edilmiştir. C elementinin yüzde miktarı, Çermik ÖSK ve Bismil-1 graptolitlerine göre daha düşüktür. S₂-TOK grafiği regresyon analizinden elde edilen sonuçlar ile graptolit kavkıları üzerinde gerçekleştirilen SEM-EDAX analizinden elde edilen sonuçlar birbirini desteklemektedir.



Şekil 5. 3. Çat ÖSK, C-17 numaralı örnekte gözlenen graptolit kavkısının SEM görüntüsü ve EDAX element yüzde ağırlıkları (P: Pirit).

Çermik ÖSK örneklerinde graptolit kavkısı miktarının yüksek olması nedeniyle K-12 numaralı örnek SEM-EDAX analizi için seçilmiştir. Örnekte gözlenen graptolit kavkısının 100x büyütmede SEM görüntüsü Şekil 5.4.a'da verilmiştir. K-12 numaralı örnekte gözlenen graptolit kavkısının C elementinin yüzde miktarına ek olarak Al, Si, Mg ve Ca elementleri okunmuştur. Sonuç olarak, güvenilir olmayan S_2 değerleri nedeniyle S_2 -TOK grafiği regresyon analizinde beklenen mineral matriks etkisi gözlenmemiştir. Bu bölümde graptolit kavkılarında gerçekleştirilen SEM-EDAX analizi sonucunda okunan mineral matriks ilişkili elementler nedeniyle mineral matriks etkisinin mevcut olduğu saptanmıştır.



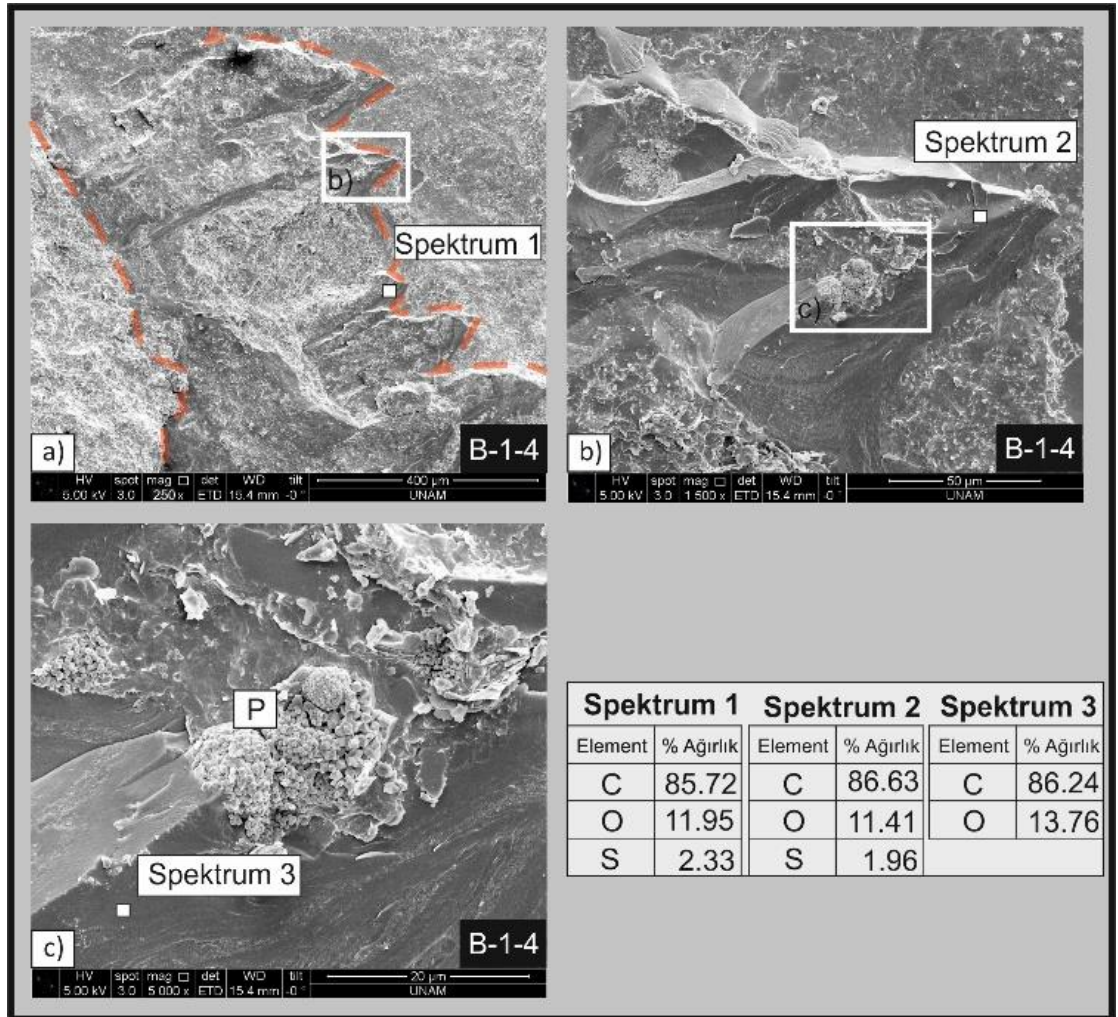
Şekil 5. 4. Çermik ÖSK, K-12 numaralı örnekte gözlenen graptolit kavkısının SEM görüntüsü ve EDAX element yüzde ağırlıkları.

Bismil-1 kuyusu B-1-4 numaralı örnekte gözlenen graptolit kavkısının SEM görüntüsü ve EDAX analizi sonuçları Şekil 5.5'te verilmiştir. Yüzey örneklerinin içeriğine göre kuyu örneğinde C elementinin yüzde ağırlıkça miktarının daha yüksek değerlere ve O elementinin yüzde ağırlıkça miktarının daha düşük değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. B-1-4 numaralı örnekteki graptolit kavkısının mineral ilişkisinin sadece pirit minerali çökeliminden geldiği gözlenmiştir.

C elementi miktarının yüksek, O elementi miktarının düşük olması Morga ve Kaminska (2018) tarafından bir kuyudaki termal olgunluğun ve derinliğin artışı ile ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada ise aynı formasyonun termal açıdan aşırı olgun yüzey örnekleri ile petrol penceresinde bulunan kuyu örneği karşılaştırılmıştır. Bir

kaynak kayanın içerdği organik madde bileşiminin yaklaşık %85'nin C elementi olduğu varsayılmaktadır (Jarvie ve ark., 2007). Dadaş Formasyonu'nun en yüksek C elementi miktarı (yaklaşık %86) ve en düşük O element miktarı (yaklaşık %11), termal olgunluğu erken olgun/petrol penceresinde bulunan Bismil-1 kuyu örneklerinde gözlenmiştir.

SEM çalışmaları sırasında graptolit üzerinde gelişen mikro boyutlu çatlaklar ve gözenekler gözlenmiştir. Çalışma sırasında büyütme artırıldığında daha kolay ayırt edilen temiz yüzeylerden alınan EDAX ölçümünde C elementinin yüzde ağırlık miktarında artış görülmüştür. Sonuç olarak, SEM-EDAX analizi çalışma prensibinin bir sonucu olarak büyütme ile doğru orantılı biçimde C elementinin yüzde miktarının arttığı da bu değerlendirme sırasında göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 5. 5. Bismil-1 kuyusu, B-1-4 numaralı örnekte gözlenen graptolit kavkısının SEM görüntüsü ve EDAX element yüzde ağırlıkları.

Örnek hazırlama işlemine ihtiyaç duyulmadan, graptolit kavkıları üzerinde gerçekleştirilen SEM-EDAX analizinin muhtemel hidrokarbon adsorpsiyonunun etkisi araştırılmıştır. Bu bölümde elde edilen sonuçlar, Dadaş Formasyonu'nun S₂-TOK grafiği regresyon analizinde tespit edilen hidrokarbon tutunumu sonuçlarını desteklemektedir.

5.8. İlkse Parametrelerin Hesaplaması

Ankonvansiyonel kaynak potansiyelinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda, kayacın henüz hidrokarbon dönüşümünün yaşamadığı, ilkse hali önem taşımaktadır (Peters ve ark., 2005; Jarvie ve ark., 2007; Chen ve Jiang, 2015). Rock-Eval piroliz analizi sonucunda elde edilen veriler potansiyel kayacın bugünkü değerleri hakkında bilgi vermektedir. Ancak araştırmacılar kaynak kayanın ilkse hidrokarbon miktarının bir rezervuar kaya olarak şeyl petrol ve şeyl gaz açısından potansiyeli hakkında bilgi verebilmesi nedeniyle ilkse/orijinal kerojen tipinin tespit edilmesinin önemine dikkat çekmektedirler (Jarvie, 2012a; 2012b).

Kerojen tipinin belirlenmesinde bugünkü HI değeri (HI_{pd}) kullanılmaktadır (Jones, 1984). HI_{pd} değeri, H/C atomik oranı yerine kullanılmaktadır (Espitalie ve ark., 1977). Bu amaç doğrultusunda, Dadaş Formasyonu'nun ilkse parametreleri hesaplamak için çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen hesaplama yöntemleri ve değerlendirmeler uygulanmıştır.

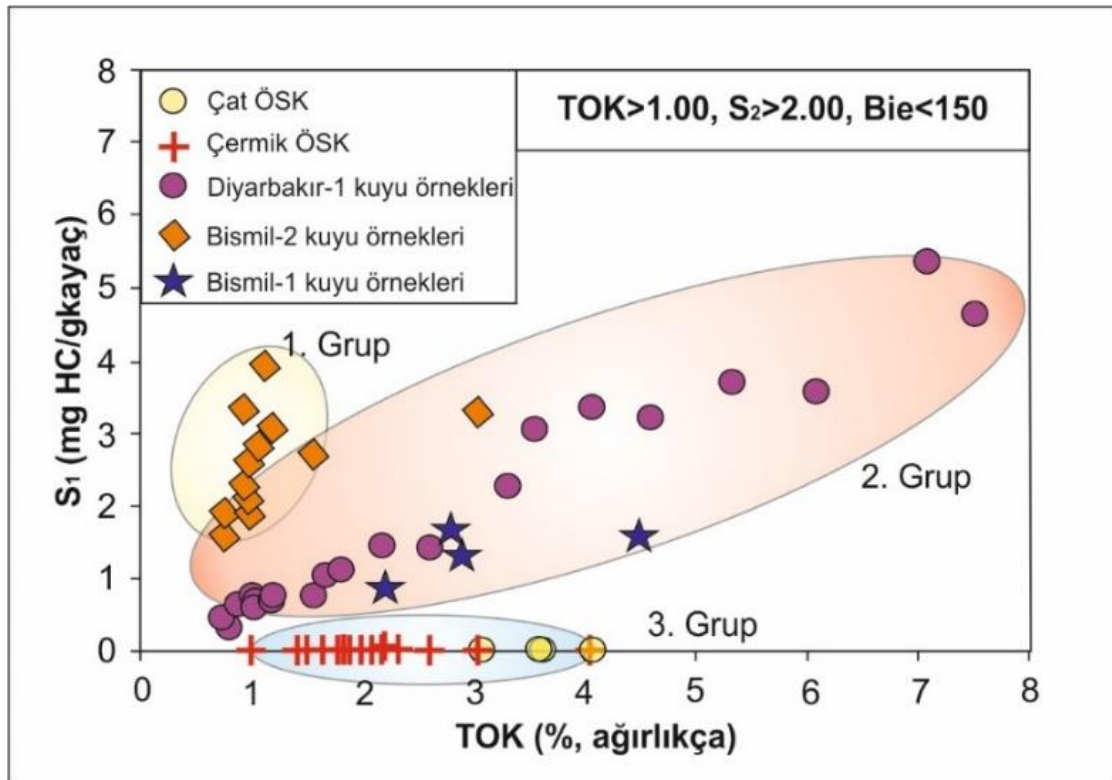
5.8.1. İlkse Hidrojen İndeksi (HI_o)

İlkse hidrokarbon indeksi (HI_o) değeri, ilkse kerojen tipini ifade ettiği için oldukça önemli bir parametredir. Buna ek olarak, HI_o değeri Rock-Eval bazlı hesaplanan organik porozitenin temel parametresidir (Kuchinskiy, 2013; Chen ve Jiang, 2016). HI_o değeri, Rock-Eval piroliz parametreleri kullanılarak veya görsel yöntemlerle kerojen tipinin belirlenmesi ile tespit edilebilmektedir.

Araştırmacılara göre HI_o değerinin hesaplanabilmesi için Rock-Eval piroliz analizi verilerinde güvenilir olmayan ve zayıf kaynak kaya potansiyeline sahip örneklerin eliminasyonunun yapılması gerekmektedir. Şekil 5.6'da görüleceği üzere Hunt (1996) tarafından önerilen S₁ değerlerine karşılık TOK içeriği grafiğinde örnekler üç gruba ayrılmıştır. İlk grup Bismil-2 grubu örnekleridir. Rock Eval piroliz analizi

ve palinolojik araştırmalar sonucunda ve Şekil 5.6'da görüleceği üzere yeterli termal olgunluğa ulaşmadığı gözlenen Bismil-2 kuyu örneklerinde bir kirlilik söz konusudur (Bkz. Bölüm 5; Bölüm 6.3.4). İkinci grup, Diyarbakır-1 ve Bismil-1 kuyu örneklerini kapsayan doğrusal bir alanda yer almaktadır. nc grup ise at ve ermik yüzey örneklerinden oluşmaktadır. Bu örneklerin oldukça düşük S_1 ve S_2 değerleri nedeniyle yüksek derecede dönüşüme uğradıkları ve zayıf kaynak kaya potansiyeline sahip oldukları tespit edilmiştir (Bkz. Bölüm 5) (Şekil 5.6).

Yapılan değerlendirmeler sonucunda Dadaş Formasyonu rnekleri için Rock Eval piroliz analizi sonuçları $TOK > 1.00$, $S_2 > 2$ mg HC/g kayaç, $B_{ie} < 150$ değer aralığında seçilmiştir.



Şekil 5. 6. S_1 değerlerine karşılık TOK içeriği ile veri kalitesi değerlendirmesi.

B_{ie} değeri, Chen ve Jiang (2016) tarafından bitumen indeksi (Espitalie ve ark., 1987) ve petrol doygunluk indeksi (Jarvie, 2012b) yerine kullanılmıştır. B_{ie} değeri, $B_{ie} = (S_1/TOK) \times 100$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. B_{ie} değeri, örnek petrol penceresi seviyesinde bulunduğu sırada maksimum değere ulaşmaktadır (Justwan ve Dahl, 2005).

HI_o değerini, Rock-Eval verilerinin uygun olmadığı durumlarda görsel organik petrografik inceleme aracılığıyla baskın organik madde tipinin tespit edilmesi ile de hesaplamak mümkündür (Peters ve ark., 2005; Jarvie ve ark., 2007). Ancak, tayin için kullanılacak olan kesitler, tek başına, heterojen yapıdaki şeyli tam olarak temsil etmeyecektir. Çok detaylı bir petrografik çalışmayı gerektirmektedir. Hatta tayin sırasında yüzde bolluğu net sonuç vermeyen farklı kerojen tiplerine de rastlamak mümkündür. Bu ve benzeri durumlarda göz ardı edilecek farklı kinetik enerjilere sahip çökelme dönemleri nedeniyle her zaman güvenilir sonuçlar vermeyebileceği göz ardı edilmemelidir. Aşağıda verilen eşitlik, HI_{o/J} değerinin hesaplanması için en çok kullanılan eşitliklerden biridir ve Jarvie ve ark. (2007) tarafından önerilmiştir (Eşitlik 1).

$$HI_o = \left(\frac{\% \text{Tip I}}{100} \times 750 \right) + \left(\frac{\% \text{Tip II}}{100} \times 450 \right) + \left(\frac{\% \text{Tip III}}{100} \times 125 \right) + \left(\frac{\% \text{Tip IV}}{100} \times 50 \right) \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Bu eşitliğe göre tamamı denizel kökenli olduğu bilinen şeyli rneklerinin HI_o değeri 450 mg HC/g TOK'dur. Ancak bu sonuç, tek tip kerojen içeren denizel kökenli kaynak kayaları için aynı değeri vermektir. Dadaş Formasyonu rnekleri bu çalışmada organik petrografik ve palinolojik açıdan değerlendirilmiştir (Bkz. Bölüm 6, Bölüm 7.4 ve Bölüm 9.5). Bu değerlendirme sonucunda at SK ve Diyarbakır-1 kuyu rneklerinin Tip II kerojene eşitlik eden Tip I kerojen (%30 Tip I, %70 Tip II) içerdiği tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler ermik SK ve Bismil-1 örneklerinde baskın kerojen tipinin Tip II kerojen (%5 Tip I, %95 Tip II) olduğunu göstermektedir. Bismil-2 rnekleri ise diğer örneklere göre az miktarda Tip I ve büyük oranda Tip II kerojen (%15 Tip I, %85 Tip II) içermektedir. Jarvie ve ark. (2007) tarafından nerilen Eşitlik 1'e de elde edilen HI_o değerleri izelge 5.19'de verilmiştir.

Rock-Eval piroliz analizi sonuçları güvenilir olduğunda ve/veya mikroskop çalışmaları için uygun olmadığı durumlarda HI_{o/CJ} değeri hesaplamaları için Chen ve Jiang (2015) tarafından nerilen Eşitlik 2'nin tercih edilmesi uygun görünmektedir. Kaynak kaya kinetikleri göz önünde bulundurularak, veri kalitesine uygun olarak elenmiş Dadaş rneklerinin, HI_o değeri ve organik maddenin hidrokarbon üretim potansiyeli kinetik özelliklerinin tespiti için Chen ve

Jiang (2015) tarafından önerilen aşağıdaki üssel eşitlik kullanılarak $HI_{0/CJ}$ değeri hesaplanmıştır.

$$HI = HI_0 \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{T_{max}}{\beta} \right)^\theta \right\} \right] + c \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Yukarıdaki eşitlikte; HI_0 , ilksel hidrojen indeksi değerini β ve θ bilinmeyen kerojen kinetiklerine ait parametrelerini temsil etmektedir. C , çok yüksek T_{max} değerlerinde ölçülen hidrojen indeksi için hatanın büyüklüğüne işaret eden bir sabittir. Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'ye göre hesaplanmış HI_0 değerleri Çizelge 5.19'de ve kırmızı uygun ampirik modeli eğrisi Şekil 5.7'de görülmektedir.

Çizelge 5. 19. Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'ye göre hesaplanan HI_0 değerleri.

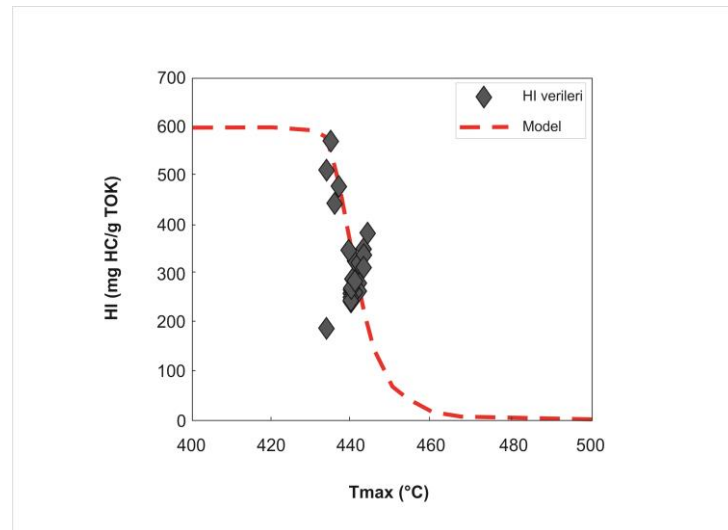
Örnek Adı	$HI_{0/J}$	$HI_{0/CJ}$
	(Jarvie ve ark., 2007)	(Chen ve Jiang, 2016)
C-3/24	540	-
K-1/39	465	-
D-1	540	389
D-2	540	344
D-3	540	344
D-4	540	344
D-5	540	301
D-6	540	389
D-7	540	261
D-8	540	301
D-9	540	192
D-10	540	224
D-11	540	261
D-12	540	224
D-13	540	224
D-14	540	261
D-15	540	301
D-16	540	344
D-17	540	344
D-18	540	344
D-19	540	344
D-20	540	301
D-21	540	224

Çizelge 5. 9. devam ediyor.

Örnek Adı	HI _{o/J} (Jarvie ve ark., 2007)	HI _{o/CJ} (Chen ve Jiang, 2016)
B-2-1/13	495	-
B-1-1	465	477
B-1-2	465	516
B-1-3	465	574
B-1-4	465	549

Çizelge 5.19’da görüldüğü üzere Eşitlik 1’de elde edilen değerler Eşitlik 2 sonuçlarına göre Bismil-1 kuyu örnekleri haricinde daha yüksektir. Bismil-1 kuyu örneklerinde Eşitlik 2 değerleri daha yüksek hesaplanmıştır. Bu durum Eşitlik 1’de kullanılan, optik çalışmalar aracılığıyla saptanan yüzde değerlerinin olması gerekenden daha düşük olması ile açıklanabilir.

Eşitlik 2’de ve Şekil 5.7’de Rock-Eval verilerine dayanarak elde edilen üstel fonksiyon hesaplaması sonucunda, Dadaş Formasyonu şeyllerinin hidrokarbon türetme potansiyelinin 600 mg HC/g TOK olduğu tespit edilmiştir. Bu değer Dadaş Formasyonu’nun Diyarbakır-1 ve Bismil-1 kuyu örneklerini temsil etmektedir.



Şekil 5. 7. Dadaş Formasyonu şeyl örneklerine ait HI değerlerine karşılık Tmax değerleri tarafından hidrokarbon üretim potansiyeline işaret eden uygun ampirik modeli eğrisi.

Dadaş Formasyonu şeyllerinin β parametre değerinin (439°C) petrol penceresi aralığına karşılık gelmesi, hidrokarbon dönüşümünün başladığı sıcaklığa işaret etmektedir. Tip II kerojenin, T_{max} sınır değerleri ($430\text{-}460^{\circ}\text{C}$) ile örtüşmektedir (Espitalie ve ark., 1977; Espitalie, 1982; Espitalie ve ark., 1984). Bu termal sıcaklık aralığı 300 ile 400°C 'de "*petrol penceresi*"ne karşılık gelmektedir (Jarvie and Baker, 1984). Denizel kökenli Tip II kerojen içeren kaynak kayanın, önemli petrol üretimi T_{max} yaklaşık 440°C 'de başlamaktadır (Peters ve Cassa, 1994). Dadaş Formasyonu şeyllerinin hidrokarbon üretiminin başlangıcı 439°C 'dir. Bu değer, Dadaş Formasyonu şeyllerinin S_2 pikinde hafif ve ağır moleküler ağırlıklı hidrokarbonlarının ısısal olarak açığa çıktığı dereceyi temsil etmektedir.

Wang ve ark. (2011) kerojenin tek maseral bileşimine sahip olması durumunda termal bozunma için aktivasyon enerjisinin dar bir dağılıma sahip olacağını, çeşitli organik maserallerden oluşması durumunda ise T_{max} değerinin geniş bir dağılım aralığında olabileceğini söylemişlerdir. θ parametre değeri, hidrokarbon üretim penceresinin genişliğinin yanı sıra daha çok kerojenin aktivasyon enerjisi ile ilişkilidir (Chen ve Jiang, 2015). Dadaş Formasyonu şeyllerinin kerojen aktivasyon enerjisinin yüksek negatif değerde (-90) olması termal bozunmanın gerçekleşebilmesi için dar dağılıma sahip aktivasyon enerjisine sahip olabileceğine ve oldukça yüksek oranda tek maseral bileşimine sahip olabileceğine işaret etmektedir. Buna ek olarak, termal olgunluğun bir fonksiyonu olarak organik maddenin parçalanma kinetiklerini yansıtan T_{max} değerlerinin, dar aralığa sahip olması da bunun bir göstergesidir (Bordenave ve ark., 1993).

5.8.2. Transformasyon oranı (TR)

Transformasyon/Dönüşüm oranı (TR), organik madde dönüşümünü ifade etmektedir (Jarvie ve ark., 2007). Bugüne kadar TR çeşitli araştırmacılar tarafından farklı eşitliklerle hesaplanmıştır (Justwan ve Dahl, 2005; Peters ve ark., 2005; Jarvie ve ark., 2007; Modica ve Lapierre, 2012). Organik maddenin dönüşümü sırasında, organik madde porozite miktarı ile derinlik artışı ve termal olgunluğun yükselmesi arasında yüksek oranda pozitif korelasyon görülmektedir (Jarvie ve ark., 2007; Modica ve Lapierre, 2012). Curtis ve ark. tarafından 2012 yılında gerçekleştirilen çalışmada Woodford şeylleriine ait farklı termal olgunluğa sahip şeyl örnekleri üzerinde yapılan incelemeler sonucunda vitrinit reflektans

değerlerinin, (petrol penceresi sınırı aralığında) %2'ye ulaştığı anda porozite değerlerinin en düşük miktarda olduğu hatta poroziteye rastlanmadığı tespit etmişlerdir. Bu nedenle de termal olgunluğun tek başına beklenen bir poroziteye işaret edemeyeceğine işaret etmişlerdir.

Özellikle ankonvansiyonel enerji kaynaklarının araştırılmasını hedef alan önceki çalışmalarda yaygın olarak, TR (%) değeri hesaplaması için Jarvie (2004) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır. Örneklerin bulunduğu pencere TR değerleri Çizelge 5.20'de görüldüğü üzere Jarvie (2004)'e göre sınıflandırılmaktadır.

$$T_R = \frac{(HI_0 - HI)}{HI_0} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 3})$$

Çizelge 5. 20. TR (%) aralığının karşılık geldiği pencere (Jarvie, 2004).

TR (%)	Pencere
0-50	Erken Petrol
50-80	Petrol ve Gaz karışık
80-90	Erken Gaz
>90	Erken Kuru Gaz

Hidrokarbon içindeki ortalama karbon miktarının yüzdesi %83,33'tür (Pelet, 1985). Bu miktar Jarvie (2004) tarafından önerilen TR değeri hesaplama eşitliğinde ihmal edilmiştir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında Justwan ve Dahl (2005) ve Chen ve Jiang (2016) tarafında önerilen eşitlik ile de TR (%) hesaplanmıştır.

$$T_R = \frac{1200}{HI_0} \frac{(HI_0 - HI)}{(1200 - HI)} \quad (\text{Eşitlik 4})$$

Dadaş Formasyonu şeylllerine ait, Eşitlik 3'e ve Eşitlik 4'e göre hesaplanan TR (%) Çizelge 5.8.4'te verilmiştir. Çizelge 21'de görüleceği üzere Jarvie (2004)'e göre Çat ve Çermik yüzey örnekleri "kuru gaz" penceresi"nde yer almaktadır. Yüzey örnekleri için her iki eşitliğe göre en düşük %92.41 ve en yüksek %99.58 oranında hidrokarbon dönüşümü tamamlanmıştır. TR oranı değerinin bir şeyl gaz

sistemi için %80'nin üzerinde olması beklenmektedir (Jarvie, 2004). Diyarbakır-1 kuyu örneklerinde Eşitlik 3'te daha düşük hidrokarbon dönüşümü değerleri elde edilmiştir. Jarvie (2004)'e göre Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin TR oranına göre “erken petrol” ve “karışık petrol/gaz” penceresinde yer almaktadır. Eşitlik 4'e göre Diyarbakır-1 kuyu örnekleri en düşük %52.94 ve en yüksek %75.39 TR değerleri aralığında “karışık petrol/gaz” penceresinde bulunmaktadır.

Çizelge 5. 21. Eşitlik 3'e ve 4'e göre hesaplanan Transformasyon Oranı (%) değerleri.

Örnek Adı	TR (%)	TR (%)
	(Jarvie, 2004)	(Chen ve Jiang, 2016)
C-3	96.30	98.31
C-7	94.81	97.61
C-17	95.19	97.79
C-24	92.41	96.46
K-1	98.28	99.33
K-4	94.41	97.79
K-6	97.85	99.16
K-9	96.77	98.73
K-12	95.91	98.39
K-14	98.28	99.33
K-17	95.48	98.22
K-19	95.05	98.05
K-23	98.28	99.33
K-26	98.06	99.24
K-29	97.63	99.07
K-32	97.20	98.90
K-35	96.99	98.82
K-38	97.63	99.07
K-39	98.92	99.58
D-1	57.33	72.88
D-2	57.67	73.15
D-3	56.50	72.20
D-4	58.17	73.55
D-5	52.17	68.57
D-6	43.00	60.14
D-7	53.83	69.99
D-8	46.83	63.79

Çizelge 5.21. devam ediyor.

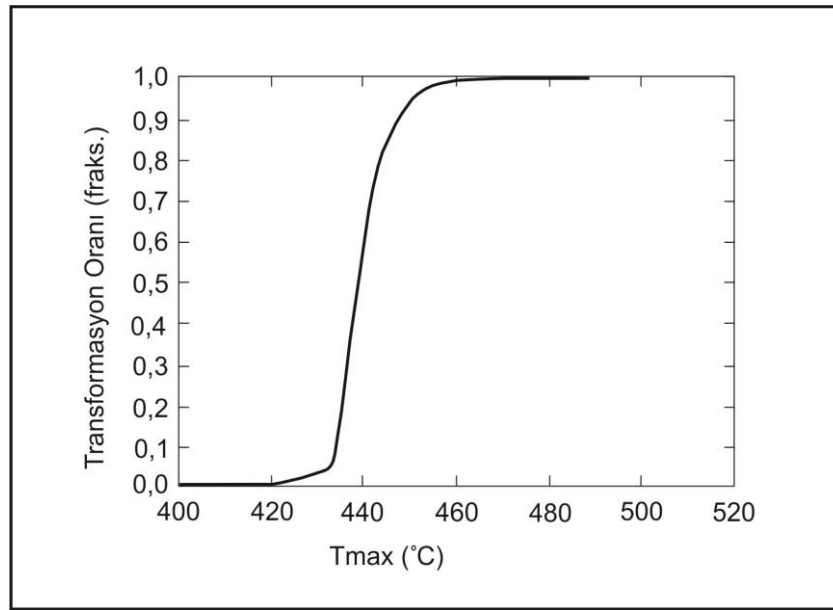
Örnek Adı	TR (%) (Jarvie, 2004)	TR (%) (Chen ve Jiang, 2016)
D-9	36.00	52.94
D-10	42.00	59.15
D-11	47.00	63.95
D-12	44.50	61.59
D-13	48.50	65.32
D-14	56.33	72.07
D-15	56.17	71.93
D-16	60.17	75.13
D-17	58.50	73.82
D-18	59.50	74.61
D-19	55.17	71.11
D-20	53.00	69.28
D-21	60.50	75.39
B-2-1	67.33	80.48
B-2-2	67.33	80.48
B-2-3	61.67	76.29
B-2-4	65.17	78.91
B-2-5	61.67	76.29
B-2-6	63.67	77.80
B-2-7	65.17	78.91
B-2-8	57.83	73.28
B-2-9	69.50	82.01
B-2-10	52.67	69.00
B-2-11	67.83	80.83
B-2-12	67.33	80.48
B-2-13	54.50	70.55
B-1-1	20.83	34.48
B-1-2	26.67	42.11
B-1-3	15.17	26.34
B-1-4	5.67	10.73

Bismil-1 kuyu örneklerinde hidrokarbon dönüşüm her iki eşitliğe göre %50'nin altında gerçekleşmiştir. Örneklerin “erken petrol” penceresinde yer aldığı görülmektedir. Bismil-2 kuyu örneklerinin TR değerleri ise “petrol ve gaz karışık” penceresine karşılık gelmektedir.

Yukarıdaki eşitliklere ek olarak, herhangi bir laboratuvar çalışmasına gerek duymadan, Rock-Eval verilerinden itibaren hesaplanan HI ve ölçülen Tmax

değerleri kullanılarak çizilen üstel bir model aracılığıyla hidrokarbon dönüşümünün oranının hesaplanabilmesi mümkündür (Şekil 5.8) (Chen ve Jiang, 2015).

Şekil 5.8’de göre Dadaş Formasyonu şeyllerinin sadece Rock-Eval verileri kullanılarak, hidrokarbon üretim geçmişinin modeli ile kinetik davranışlarını gözlemlenmektedir. Bölüm 5.8.1’de hidrokarbon üretim potansiyeline işaret eden uygun ampirik modeli eğrisine (Şekil 5.7) benzer biçimde hidrokarbon dönüşümünün 439°C’de başladığı görülmektedir.



Şekil 5. 8. Dadaş Formasyonu şeylleri için ampirik modelden türeyen hidrokarbon transformasyon oranı (TR) modeli.

5.8.3. Boyutsuz $S_{2/DL}$ ve $TOK_{0/DL}$ değerleri

Rock-Eval piroliz analizi parametrelerinden TOK ve S_2 değerleri kerojen tipinin belirlenmesi için kullanılan temel parametrelerdir (Espitalie ve ark., 1980; Langford ve Blanc-Valleron, 1990; Dahl ve ark., 2004). Bu iki parametreden hesaplanan HI değerine ($S_2/TOK \times 100$, mg HC/g TOK) karşılık Tmax değerleri grafiği ile de kerojen tipi belirlenmektedir (Bkz. Bölüm 5). Termal olgunluk derecesi ile oldukça etkilenen bu iki parametre Chen ve ark. (2016) tarafından şeyl gaz ve şeyl petrol potansiyeli değerlendirmeleri için boyutsuz (dimensionless, DL) değişkenler olarak yeniden değerlendirmeye alınmıştır.

Araştırmacılar, kerojenin çeşitli moleküler yapılarına sahip olduklarını ve farklı kaynaklardan geldiklerini belirtmektedirler (Tegelaar ve Noble, 1994; Vandenbroucke ve Largeau, 2007). Bu nedenle benzer üretim kapasitesine sahip organik maddelerin aynı hidrokarbon türetme kapasitesine sahip olmayabileceğine işaret edilmektedir.

Chen ve ark. (2016)'ya ait çalışmada henüz termal açıdan olgunlaşmanın henüz başlamadığı başka bir deyişle ilksel halini yansıtan orijinal TOK değeri (TOK_o , % ağırlıkça) ile S_{2o} değeri (mg HC/g kayaç) aşağıdaki eşitliklere göre yeniden hesaplanmıştır.

$$TOK_o = \frac{TOK}{1 - \alpha(TR)}$$

$$S_{2o} = \frac{HI_o \times TOK_o}{100}$$

Boyutsuz hesaplama ise aşağıdaki eşitliklerde Dadaş Formasyonu şeyl örnekleri için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.22'de verilmiştir.

$$TOK_{DL} = \frac{TOK}{TOK_o}$$

$$S_{2DL} = \frac{S_2}{S_{2o}}$$

Çizelge 5. 22. $S_{2/DL}$ ve $TOK_{o/DL}$ değerleri.

Örnek Adı	S_2 (mg HC/g kayaç)	S_{2o}	S_{2DL}	TOK	TOK_o (%, ağırlık)	TOK_{DL}
C-3	0.62	32.82	0.02	3.05	5.47	0.56
C-7	1.01	38.52	0.03	3.60	6.42	0.56
C-17	0.95	38.90	0.02	3.63	6.48	0.56
C-24	1.68	43.05	0.04	4.06	7.17	0.57
K-1	0.11	13.75	0.01	1.41	2.29	0.62
K-4	0.58	21.16	0.03	2.19	3.53	0.62
K-6	0.20	20.07	0.01	2.06	3.35	0.62
K-9	0.26	17.30	0.02	1.78	2.88	0.62
K-12	0.59	29.48	0.02	3.04	4.91	0.62
K-14	0.13	16.00	0.01	1.64	2.67	0.62
K-17	0.54	25.19	0.02	2.60	4.20	0.62

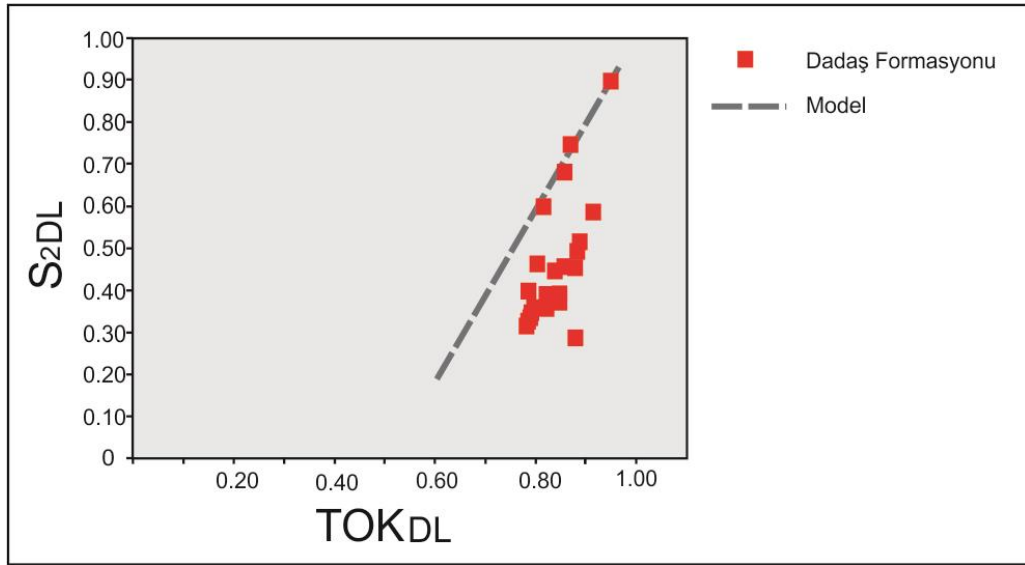
Çizelge 5.22. devam ediyor.

Örnek Adı	S ₂	S ₂₀	S _{2DL}	TOK	TOK _o	TOK _{DL}
	(mg HC/g kayaç)			(% , ağırlık)		
K-19	0.35	14.51	0.02	1.50	2.42	0.62
K-23	0.19	22.53	0.01	2.31	3.76	0.62
K-26	0.18	19.40	0.01	1.99	3.23	0.62
K-29	0.46	39.35	0.01	4.04	6.56	0.62
K-32	0.23	17.71	0.01	1.82	2.95	0.62
K-35	0.30	21.20	0.01	2.18	3.53	0.62
K-38	0.21	18.21	0.01	1.87	3.04	0.62
K-39	0.05	9.57	0.01	0.98	1.60	0.61
D-1	2.25	6.91	0.33	0.88	1.15	0.76
D-2	2.64	7.90	0.33	1.04	1.32	0.79
D-3	3.11	9.01	0.35	1.19	1.50	0.79
D-4	1.83	5.55	0.33	0.73	0.93	0.79
D-5	10.22	25.80	0.40	3.56	4.30	0.83
D-6	24.17	52.63	0.46	7.06	8.77	0.80
D-7	4.96	12.67	0.39	1.79	2.11	0.85
D-8	14.66	32.86	0.45	4.60	5.48	0.84
D-9	28.85	49.22	0.59	7.51	8.20	0.92
D-10	18.56	36.02	0.52	5.34	6.00	0.89
D-11	12.93	28.36	0.46	4.07	4.73	0.86
D-12	20.27	41.30	0.49	6.09	6.88	0.88
D-13	10.19	22.55	0.45	3.30	3.76	0.88
D-14	6.85	18.57	0.37	2.61	3.10	0.84
D-15	3.10	8.64	0.36	1.18	1.44	0.82
D-16	2.44	7.80	0.31	1.02	1.30	0.78
D-17	4.15	12.71	0.33	1.67	2.12	0.79
D-18	5.27	16.57	0.32	2.17	2.76	0.79
D-19	2.72	7.61	0.36	1.01	1.27	0.80
D-20	4.40	11.33	0.39	1.56	1.89	0.83
D-21	1.92	5.66	0.34	0.81	0.94	0.86
B-2-1	1.84	6.40	0.29	0.94	1.07	0.88
B-2-2	1.84	6.40	0.29	0.94	1.07	0.88
B-2-3	2.25	6.63	0.34	0.98	1.10	0.89
B-2-4	1.61	5.23	0.31	0.77	0.87	0.88
B-2-5	2.46	7.23	0.34	1.07	1.21	0.89
B-2-6	1.66	5.15	0.32	0.76	0.86	0.89
B-2-7	2.36	7.67	0.31	1.13	1.28	0.88
B-2-8	2.50	6.66	0.38	0.99	1.11	0.89
B-2-9	5.54	20.68	0.27	3.03	3.45	0.88
B-2-10	2.67	6.28	0.43	0.94	1.05	0.90
B-2-11	2.32	8.17	0.28	1.20	1.36	0.88
B-2-12	1.94	6.74	0.29	0.99	1.12	0.88
B-2-13	4.26	10.45	0.41	1.56	1.74	0.90

Çizelge 5.22. devam ediyor.

Örnek Adı	S ₂ (mg HC/g kayaç)	S ₂₀	S _{2DL}	TOK	TOK _o	TOK _{DL}
	(mg HC/g kayaç)			(% , ağırlık)		
B-1-1	13.36	19.54	0.68	2.81	3.26	0.86
B-1-2	9.73	16.19	0.60	2.21	2.70	0.82
B-1-3	14.77	19.91	0.74	2.90	3.32	0.87
B-1-4	25.40	28.33	0.90	4.49	4.72	0.95

Bu çalışmada Dadaş Formasyonu'na ait tüm örnekler için S_{2DL} değerlerine karşılık TOK_{DL} grafiği Şekil 5.9'da verilmiştir. Bu grafikte hesaplanan model ile örneklerin termal heterojenliği ortadan kaldırılmıştır. Hesaplanan modelin X eksenini kestiği nokta, S_{2DL} değeri 0 iken, toplam organik karbon içeriğinin %51'nin inert/ölü olduğunu ifade etmektedir. Bu durumda Dadaş Formasyonu kuyu örneklerinin aktif/dönüştürülebilir toplam organik karbon miktarı %49 anlamına gelmektedir.



Şekil 5. 9. Dadaş Formasyonu'nun boyutsuz S₂ (S_{2DL}) ve boyutsuz TOK (TOK_{DL}) grafiği.

6. GRAPTOLİTLER VE PALİNOLOJİK ÇALIŞMALAR

6.1. Giriş

Dadaş Formasyonu'nun organik madde bileşenleri, önceki çalışmalara göre, Paleozoyik dönem için belirleyici zooklastlardan ve palinomorflardan oluşmaktadır (Erkmen ve Bozdoğan, 1979; Goodarzi, 1984; Steemans ve ark., 1996; Kozlu ve ark., 2012; Sancay ve Dinç, 2012; Oktay ve Wellman, 2019).

Graptolitler ve palinolojik çalışmalar bölümünde, bu çalışmada alınan örneklerde gözlenen graptolitler ve palinomorflar kullanılarak, Dadaş Formasyonu'nun temsil ettiği seviyeleri (Dadaş I, II ve III; Çoruh ve ark. (1997); Yılmaz ve Duran (1997)) ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu amaçla gerçekleştirilen palinolojik çalışmalar, sistematik bir palinoloji çalışması amacı taşımamaktadır. Her bir bölgeyi temsil eden toplamda beş adet örnek ile sınırlı bir veri elde edilmiştir ve elde edilen sonuçlar, önceki çalışmalar ile birlikte değerlendirilmiştir.

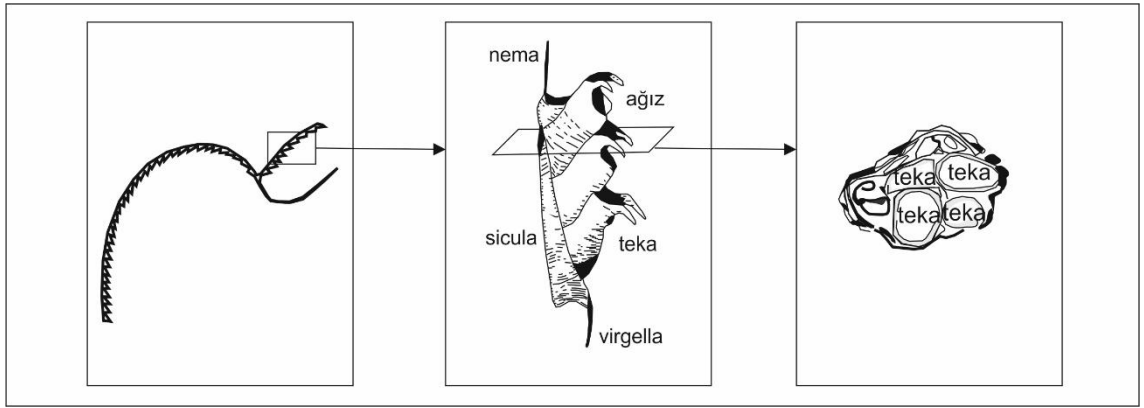
6.2. Graptolit Değerlendirmeleri

Graptolitler, koloni halinde denizel ortamda yaşayan omurgasız fosillerdir (Malinconico, 1992). Hemichordata şubesine ait bu fosil topluluklarının iskeleti "Rhabdosome" olarak adlandırılmıştır (Bustin ve ark., 1989; Malinconico, 1992) (Şekil 6.1). Maletz (2014b) tarafından altı yüzden fazla çeşidi bulunduğu belirtilen graptolit fosili ismini, Yunanca "graphos; yazılı" ve "lithos; kaya" kelimelerinden almıştır. Kayaç yüzeyinde gözlenen bu fosil, "Rock Writings" olarak da bilinmektedir (Bulman, 1970; Clarkson, 1981; Palmer ve Richards, 1991; Malinconico, 1992; Maletz, 2015). Maletz (2014a) graptolitleri, Orta Kambriyen-Alt Karbonifer (Mississippiyen) zaman aralığında yaşayan, Paleozoyik dönemin en önemli fosil gruplarından biri olarak ifade etmektedir. Tüm graptolitlerin planktonik bir yaşam biçimine sahip olduğu kabul edilmektedir (Maletz ve ark., 2014a). Graptolitli siyah şeyllerin şelf dışı, kıta yamacı ve besin girdisinin artış gösterdiği upwelling sınırına yakın okyanus tabanında depolandığı düşünülmektedir (Cooper ve ark., 2012; Hartkopf-Fröder ve ark., 2015).

Beş lokasyonda örneklenen Dadaş Formasyonu'nda makro ve mikro (Bkz. Bölüm 7.4) boyutlara sahip graptolit fosillerine rastlanılmıştır. Örneklerde gözlenen

fosillere ait görüntüler ve binoküler mikroskop görüntüleri Şekil 6.2, 6.3 ve 6.4'te verilmiştir. Graptolit fosil izlerine ek olarak, Şekil 6.4'te B-1-3 numaralı örnekte piritleşmiş bir fosil parçası (krinoyid?) gözlenmiştir.

Genellikle şeyl içinde graptolitlerin sadece kavkıları korunmaktadır (Yong ve ark., 2016). Luo ve ark. (2017)'ye göre termal olgunluk derecelerine göre graptolit fosil izlerinin renklerinde farklılıklar gözlenmiştir. Araştırmacıların gözlemlerine benzer biçimde, Dadaş Formasyonu'nda düşük termal olgunluğa sahip graptolit kavkıları siyah renkli gözlenirken (örneğin; Bismil-1 kuyu örnekleri, Şekil 6.4), yüksek termal olgunluklarda (örneğin; Çermik ve Çat ÖSK, Şekil 6.2 ve 6.3) gümüş tonları rene sahiptir.



Şekil 6. 1. Graptolit rhabdosome yapısı (Moore, 1955; Link, 1986; Clarkson, 1981 ve Bustin ve ark., 1989'dan alınmıştır).

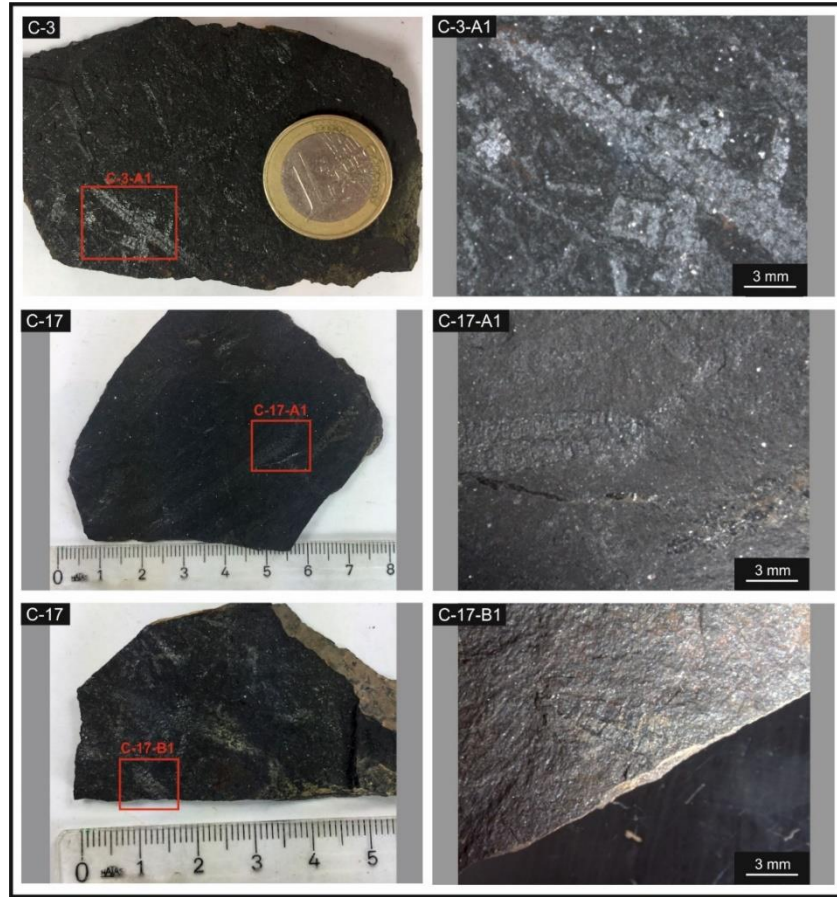
Bu çalışma kapsamında Dadaş Formasyonu örneklerinde gözlenen graptolit fosillerinin işaret ettiği yaş aralığının belirlenebilmesi için ilgili uzman araştırmacılardan görüş alınmıştır.

2017 yılında Dr. Jörg Maletz (Freie Universtat of Berlin) ile yapılan görüşmede, Dadaş Formasyonu'nda gözlenen graptolitlerin "tektonik süreçlerle deformasyona uğramış ve iyi korunamamış olduklarını ancak kesinlikle Aroniyen veya Telisiyen yaşından daha yaşlı olmadıkları" görüşünü belirtmiştir. Maletz, bu fosillerin kesinlikle Siluriyen döneminin temel tabakalarına ait olmadıklarını ve Ludlov veya Pridoli yaşlı da olamayacaklarını belirtmiştir. Örneklerin hem direnci yüksek ve düz monograptidlere hem de ince yapılı ve kavisli türde graptolitlere sahip olduğunu söylemiştir. Maletz, graptolitlerin işaret ettikleri çökelim yaşının

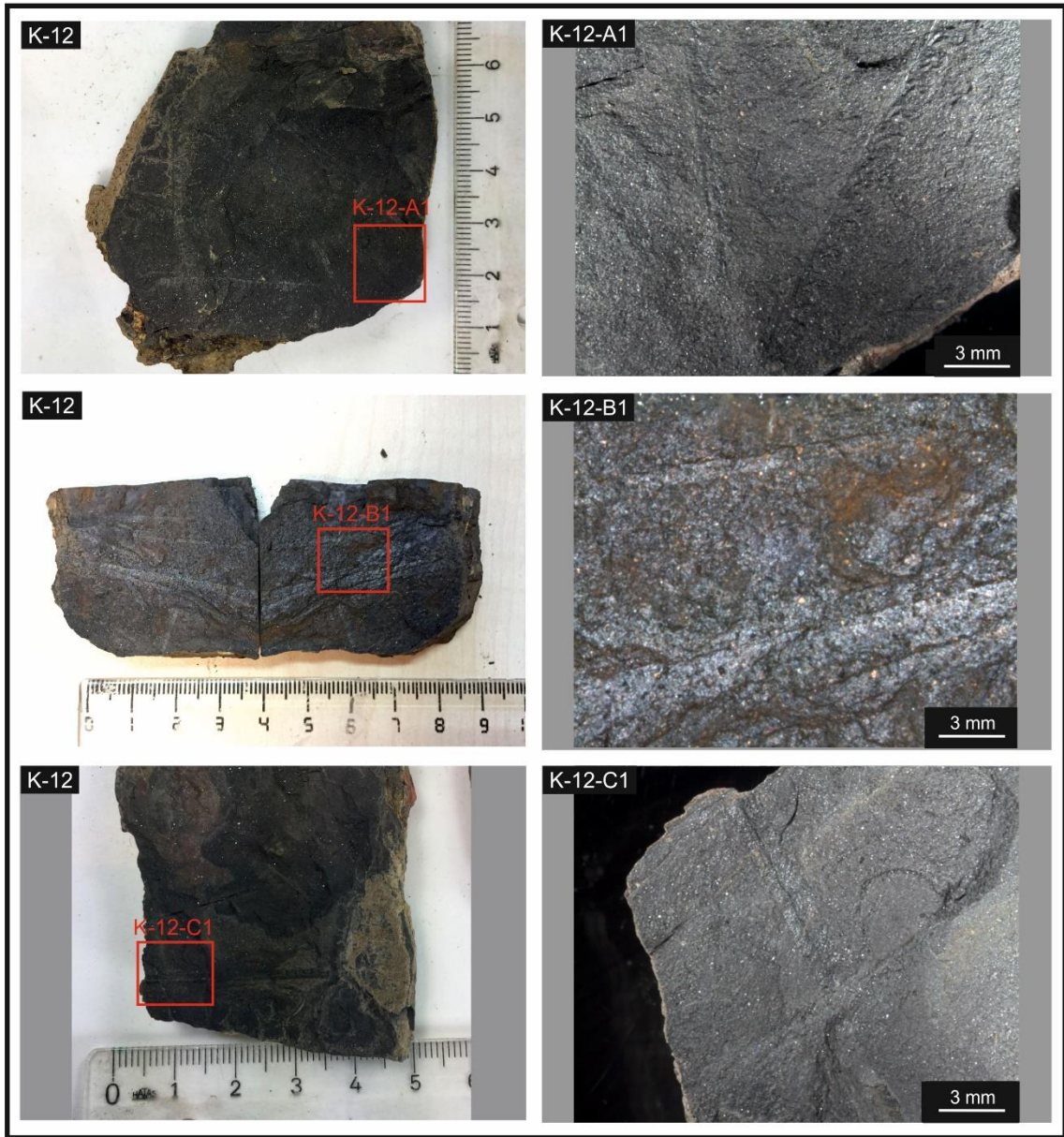
Geç Aroniyen veya Telisiyen'den daha yaşı olmadığını düşünmektedir. Fakat Venlok? (Şenvudiyen-Homeriyen) dönemi olma ihtimalinin de göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmiştir.

Graptolitler ile ilgili benzer görüş, Prof. Dr. Jan Zalasiewicz (University of Leicester) tarafından desteklenmiştir. Zalasiewicz, graptolitlerin "Alt Siluriyen yaşı" olduklarını belirtmiştir.

Termal açıdan olgun örneklerdeki graptolit parçalarının iyi korunamaması yeterli tanımlama yapılmasını güçleştirmektedir. (Maletz, 2014a; 2014b). Bu sebeple, iyi korunamayan Dadaş graptolitlerinin tür tanımlaması yapılamamıştır.

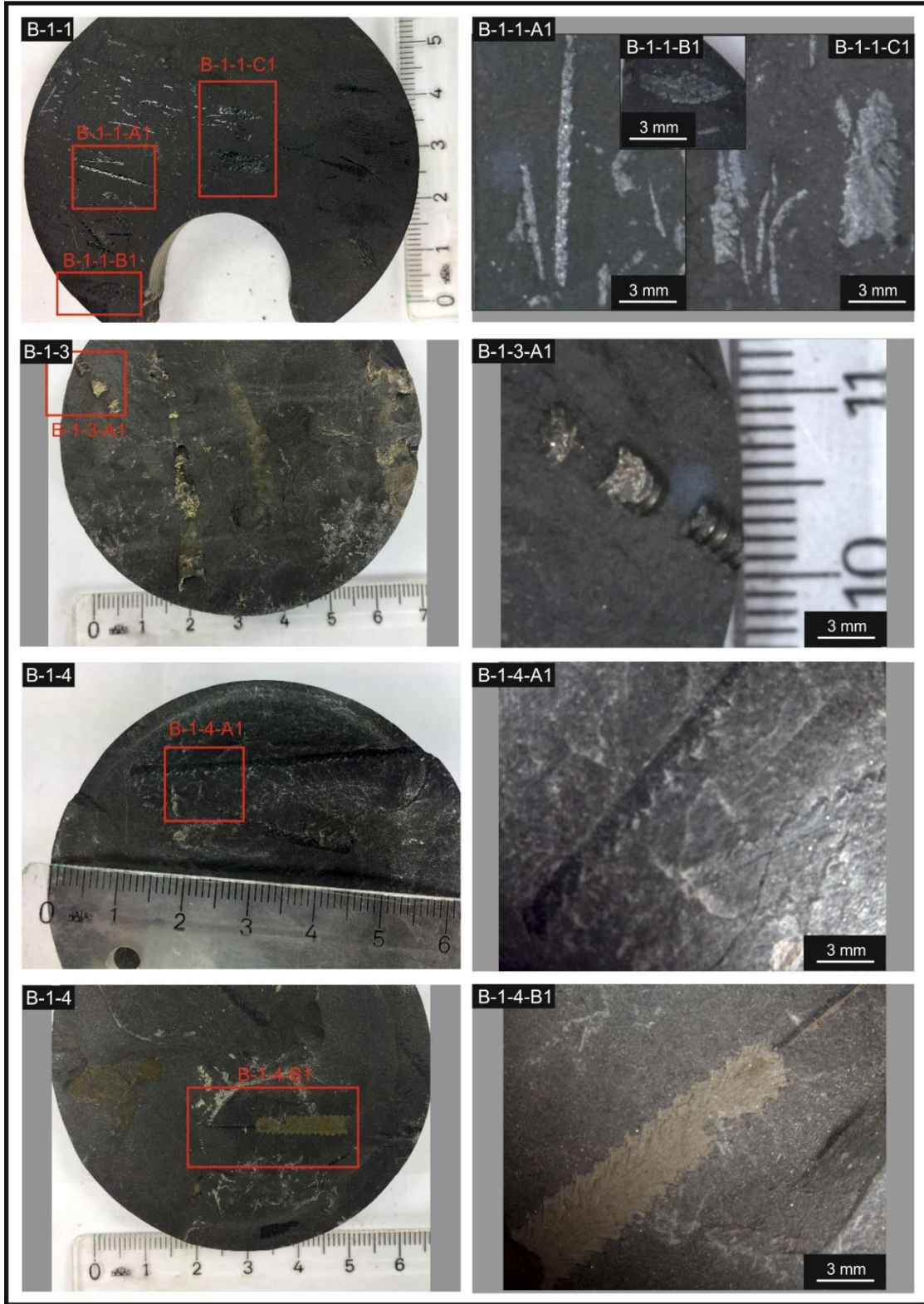


Şekil 6. 2. Çat ÖSK'sında C-3 ve C-17 numaralı örneklerde gözlenen tabakalanmaya paralel (tanesel olmayan/nongranular) graptolit fosiline ait görüntüler.



Şekil 6. 3. Çermik ÖSK'sında K-12 numaralı örnekte gözlenen tabakalanmaya paralel (tanesel olmayan/nongranular) graptolit fosiline ait görüntüler.

Bölüm 7.4'te optik organik petrografik çalışmalar sırasında graptolitler taneseli graptolitler ve taneseli olmayan graptolitler olmak üzere iki morfolojik grupta gözlenmiştir. Mikroskop görüntülerinde tayin edilen bu ayrımın, makroskopik boyutlarında herhangi bir farklılık göstermedikleri gözlenmiştir.



Şekil 6. 4. Bismil güneyi Bismil-1 kuyu örnekleri B-1-1, B-1-4 numaralı örnekte tabakalanmaya paralel gözlenen (tanesel/granular graptolit) fosillere ait görüntüler ve B-1-3 numaralı örnekte gözlenen krinoyid? fosil izleri.

6.3. Siluriyen Palinolojisi

Palinoloji bilimi, kitin yapılı kabukları ve mikroskopik boyutlara sahip organizmaları konu alan bir bilim dalıdır (Kaya, 2006). Palinoloji terimi ilk kez Combaz tarafından 1964 yılında kullanılmıştır (Tyson, 1993). Palinolojik çalışmalar ile sedimanların çökelim koşulları ve yaşı hakkında bilgi edinmek mümkündür.

Denizel sedimanlarda palinolojik çalışmalar, planktonik organizma kalıntılarından asite dirençli organik duvara sahip mikrofosiller veya palinomorflar üzerinde gerçekleştirilmektedir (Jansonius ve McGregor, 1996; de Vernal, 2014). Kerojen içindeki morfolojik bileşimlerin temel grupları, Tyson (1993), belirleyici bir şekle sahip palinomorf ve fitoklast ile belirli bir şekle sahip olmayan amorf organik madde (AOM) olarak üç gruba ayırmıştır. Palinomorflar ise sporomorf, fitoplankton ve zoomorf olmak üzere 3 alt gruba ayrılmaktadır (Tyson, 1995). Akritark ve kitinozoa gibi planktonik canlılar denizel ortama işaret eden palinomorflardır (Kaya ve ark., 2006).

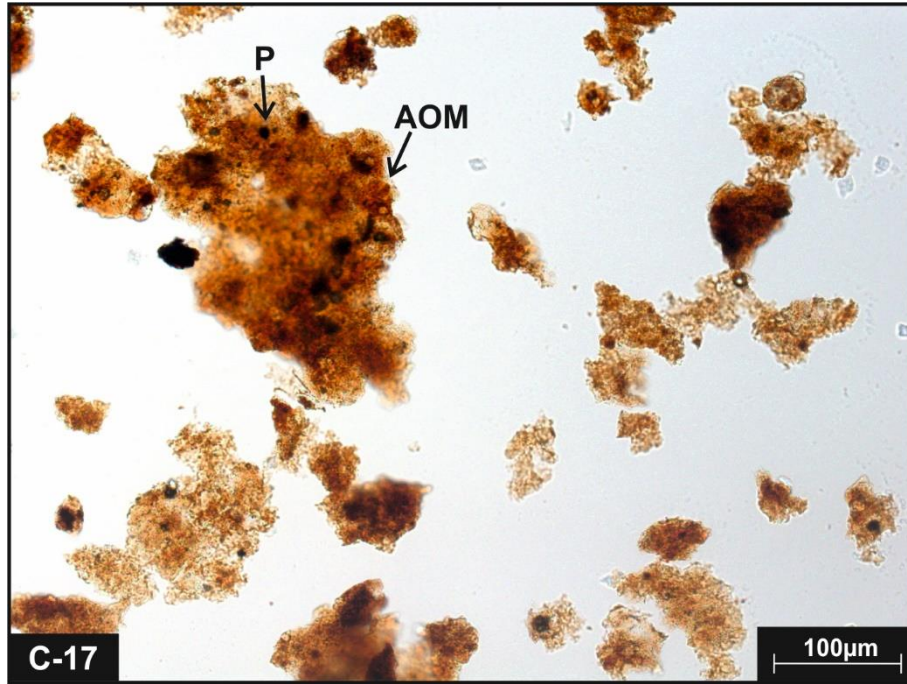
Bu tez çalışmasında alınan Dadaş Formasyonu örneklerinin mikrofasiyes karakteristiklerinin, önceki çalışmalar ile benzerliği ve karşılık geldiği seviye (Dadaş I, II, III) bu bölümde araştırılmıştır. Çat ve Çermik yüzey örnekleri, Diyarbakır-1 ve Bismil (B-1 ve B-2) kuyu örneklerini temsil eden birer örnek seçilmiştir. Her bir örnekten iki adet slayt hazırlanmıştır. Bu çalışma kapsamında Dadaş Formasyonu'nun, Rock-Eval piroliz analizi sonucunda şeyllerin Tip II ve Tip IV kerojen tipine sahip olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Bölüm 5). Bu bölümde kerojen tipi mikroskopik yöntemler ile desteklenmiştir. Örneklerde tanımlanan palinomorflara ait açıklamalar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Bu bölümünde tanımlanan palinomorflar ve mikrofosiller, 2018 yılında Sayın Doç. Dr. Zühtü Batı ve Sayın Dr. Recep Hayrettin Sancay'ın yorumlamalarıyla gerçekleştirilmiştir. Palinomorflar ve mikrofosiller açısından zengin olan seviyelerde Dadaş Formasyonu için stratigrafik anlamda önem taşıyan kitinozoa ve akritark palinomorfları değerlendirilmiştir ve tespit edilen formlar Ek Levha 1, 2, 3, 4, 5'te verilmiştir.

6.3.1. Çat ÖSK

Yüksek TOK içeriği (%3.63) ile bol miktarda graptolit fosil izlerinin gözlemlendiği C-17 numaralı Dadaş Formasyonu örneği palinolojik çalışma için seçilmiştir. Organik madde içeriği, yaklaşık %85-90 oranında petrol türetme potansiyeline sahip sucul kökenli AOMden oluşmaktadır. Örnekte yaygın palinomorf, akritark planktonudur. Ek olarak, az miktarda tanımlanamayan kitinozoa zoomorflarına rastlanılmıştır. *Armoricochitina nigerica* formunun Geç Ordovisyen'den taşındığı düşünülmüştür (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme).

C-17 numaralı örneğe ait genel mikrofasiyes görünümü Şekil 6.5'te verilmiştir. AOM rengi kıvıllı kahve ve koyu kahve tonlarındadır. Amorf organik madde ile gözlenen pirit mineralleri, çökelim ortamının anoksik koşullarda gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 6. 5. C-17 numaralı Dadaş Formasyonu'na ait genel mikrofasiyes görünümü. (AOM: Amorf organik madde, P: Pirit).

C-17 numaralı örneğin mikroskop incelemelerinde tanımlanan palinomorflara ait açıklamalar Ek Levha 1, Ek Levha 2 ve Ek Levha 5'te verilmiştir.

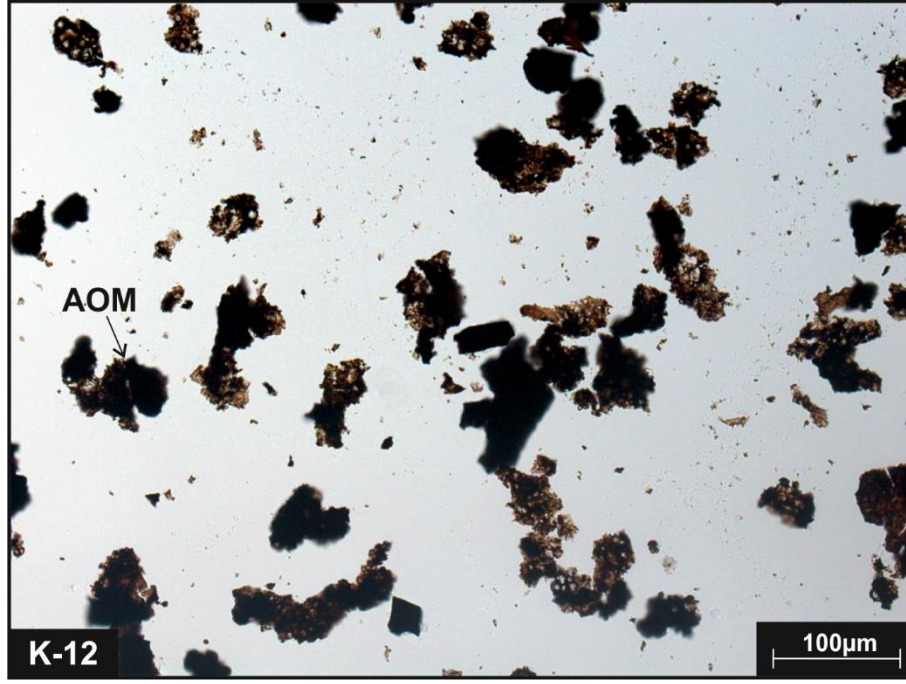
C-17 numaralı örnekte tanımlanan palinomorflara göre Çat bölgesinde yüzeyleyen Dadaş Formasyonu'nun çökelim yaşı, Geç Landoveri-Erken

Venlok'dur (Doç. Dr. Zühtü Batı ve Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme).

6.3.2. Çermik ÖSK

Yüksek TOK içeriği (%3.04) ile içerdği graptolit fosil izleri nedeniyle K-12 numaralı örnek palinolojik çalışma için bölgeyi temsilen seçilmiştir. Siluriyen formlarda yaygın gözlenen 2 adet palinomorf haricinde palinomorfa rastlanılmamıştır. Mikroskop incelemelerinde tanımlanamayan 2 adet akritark palinomorflarından birinin "*Cymbosphaeridium pilaris?*" olabileceği düşünülmüştür (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme). Termal açıdan aşırı olgunlaşmış amorf organik madde ile palinomorflar gizlenebilmektedir (Tyson, 1993, 1995). Floresans ışık altında renge sahip olan formların gözlenme ihtimali olabilmektedir. Fakat kitinozoa ve benzeri alifatik gruplarla fakir formların ayırt edilebilme olasılığı oldukça düşüktür (Bustin ve ark., 1989). Çermik-Korudağ bölgesinde kahve ve koyu kahve tonlarında amorf organik madde gözlenmiştir.

K-12 numaralı örneğe ait genel mikrofasiyes görüntüsü Şekil 6.6'da verilmiştir. K-12 numaralı örnekte gözlenen AOM'ye göre çökelim ortamı anoksik koşullara işaret etmektedir. Bu bölümde Çermik-Korudağ bölgesinde yüzeyleyen Dadaş Formasyonu'nda palinomorf gözlenememesi nedeniyle çökelim yaşı ile ilgili bilgi verilememiştir.



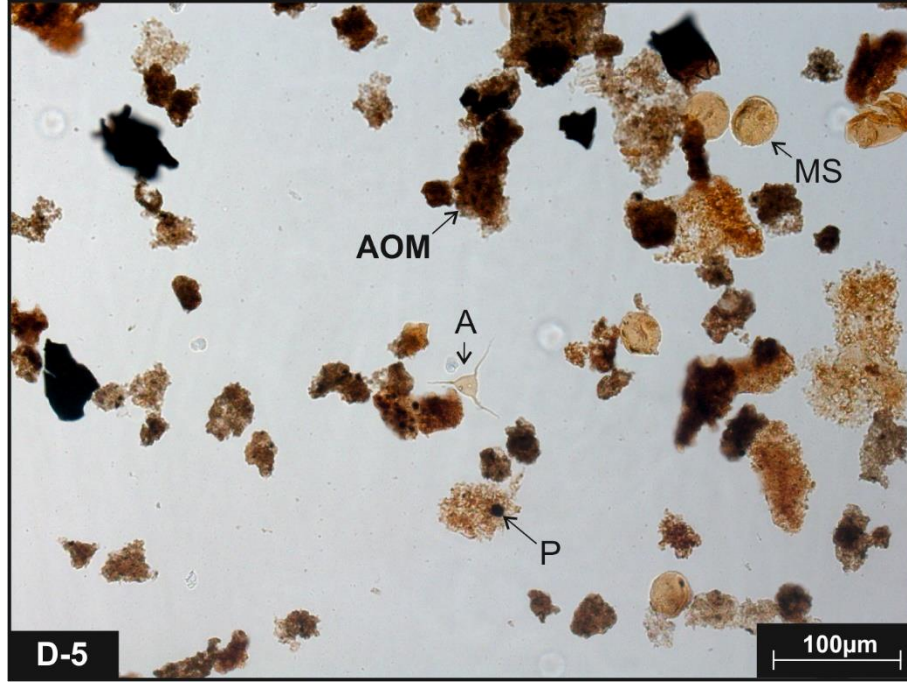
Şekil 6. 6. K-12 numaralı Dadaş Formasyonu'na ait genel mikrofasiyes görünümü (AOM: Amorf organik madde).

6.3.3. Diyarbakır-1 Kuyu Örnekleri

D-5 numaralı örnek, yüksek TOK içeriği (%3.56) nedeniyle bölgeyi temsilen incelenmiştir. Örneğin bol miktarda fosil ve organik madde içeriği tespit edilmiştir. Organik madde içeriğinin %85-90'lık bölümünü petrol türeme potansiyeline sahip sucul kökenli amorf organik maddeden oluşturmaktadır. Diğer bölgelere oranla, D-5 numaralı örnek yüksek miktarda kitinozoa zoomorfuna sahiptir. Tanımlanan kitinozoa ve akritark palinomorflarına ait açıklamalar Ek Levha 1, Ek Levha 3 ve Ek Levha 5'te verilmiştir. Tanımlanan diğer formlar tasmanites, skolekodont ve megaspordur.

Örneğe ait genel mikrofasiyes görünümü Şekil 6.7'de verilmiştir. Mikroskop çalışmaları sonucunda çökelme ortamı anoksik koşullara işaret etmektedir.

D-5 numaralı örneğin iki ayrı palinomorf topluluğuna sahip olduğu gözlenmiştir. İlk topluluk Erken Landoveri (Geç Ruddaniyen-Erken Telisiyen) yaş aralığındadır. İkinci topluluk ise Geç Landoveri (Geç Telisiyen-Erken Şenvudiyen) yaş aralığındadır (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme). Gözlenen AOM rengi, açık kahveden siyah kahve tonları arasında değişim göstermektedir.

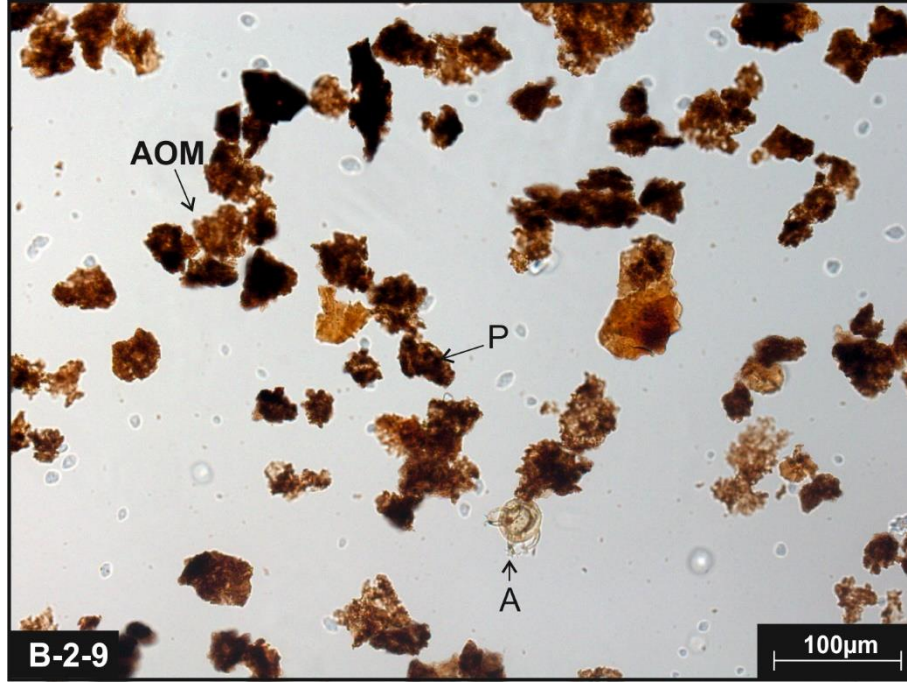


Şekil 6. 7. D-5 numaralı Dadaş Formasyonu'na ait genel mikrofasiyes görünümü (AOM: Amorf organik madde, A: Akritark, MS: Megaspor, P: Pirit).

6.3.4. Bismil-2 Kuyu Örnekleri

B-2-9 numaralı %3.03 TOK içeriğine sahip örnek üzerinde çalışma yapılmıştır. Örnekte yüksek oranda amorf organik madde gözlenmiştir. Çökelim ortamı anoksik koşullara işaret etmektedir. B-2-9 numaralı örneğe ait genel mikrofasiyes görüntüsü Şekil 6.8'de verilmiştir. AOM rengi turuncu, kızıl kahve ve koyu kahve tonlarındadır.

Rock-Eval piroliz analizi sonuçlarına göre kuyuda saptanan kirlilik, palinolojik çalışmalar sonucunda da desteklenmiştir. Yapılan tanımlamalar sırasında Siluriyen formlar ayırt edilmiştir. Tanımlanan palinomorflara ait açıklamalar Ek Levha 1, Ek Levha 4 ve Ek Levha 5'te verilmiştir. Bismil güneybatısı Bismil-2 kuyu örneğinde tanımlanan palinomorflara göre Dadaş Formasyonu'nun çökelim yaşı, Geç Siluriyen'dir (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme).

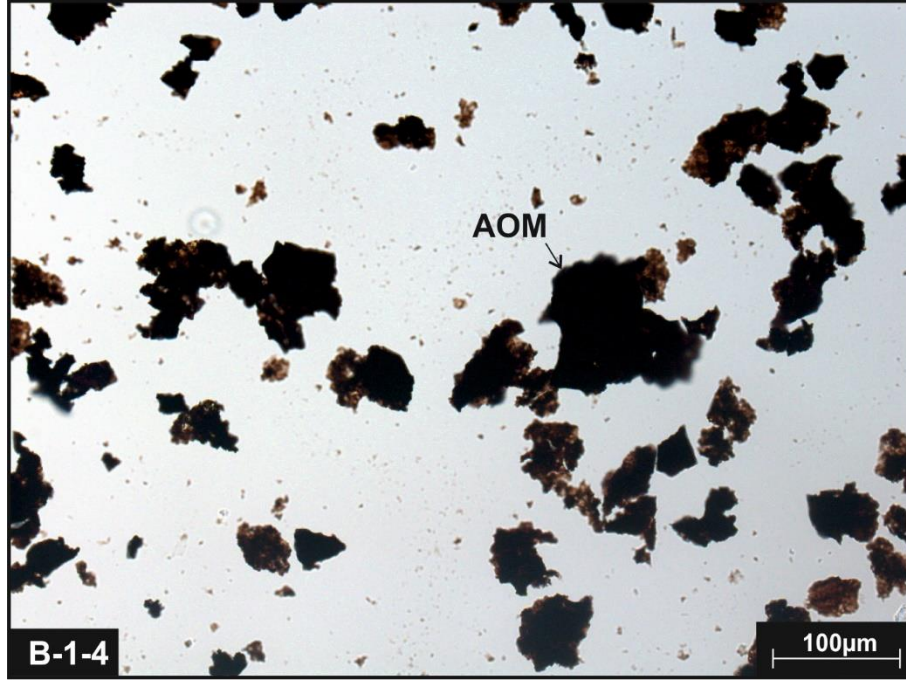


Şekil 6. 8. B-2-9 numaralı Dadaş Formasyonu'na ait genel mikrofasiyes görünümü (AOM: Amorf organik madde, A: Akritark, P: Pirit).

6.3.5. Bismil-1 Kuyu Örnekleri

Yüksek TOK içeriği (%4.49) ve bol miktarda graptolit fosil kavkılarının gözleendiği B-1-4 numaralı örnek bölgeyi temsilen seçilmiştir. B-1-4 numaralı örnekte herhangi bir palinomorf formuna rastlanılmamıştır. Organik madde içeriğinin yüksek miktarda amorf organik maddeden oluştuğu gözlenmiştir. B-1-4 numaralı örneğe ait genel mikrofasiyes görüntüsü Şekil 6.9'da verilmiştir.

Şekil 6.9'da görüleceği üzere AOM rengi koyu kahve siyah tonları arasında değişmektedir. Siluriyen yaşlı şeyllerde AOM genellikle graptolitlerden (Klemme ve Ulmishek, 1991) ve kitinozoalardan (Cole ve ark., 1994) oluşmaktadır. Bu durumda, mikroskop çalışmaları sırasında AOMden, palinomorfları ve zooklastları ayırt etmek güçleşmektedir. Mikrofasiyes rengi ile ilgili diğer bir yaklaşım ise siyah şeyl (black shale) olarak bilinen Siluriyen yaşlı şeylerin siyah renginin sadece yüksek TOK içeriğiyle ilişkili olmadığı, kısmen piritleşmenin de bu renge sebep olabileceğidir (Lüning ve ark., 2000). Bu seviyede palinomorf gözlenmemesinin, Dadaş Formasyonu'nun palinomorf bakımından steril seviyelerini temsil edebileceğini düşündürmektedir (Doç. Dr. Zühtü Batı ve Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme). Çökelim ortamı anoksik açık deniz koşullarını yansıtmaktadır (Tyson, 1993).



Şekil 6. 9. B-1-4 numaralı Dadaş Formasyonu'na ait genel mikrofasiyes görünümü (AOM: Amorf organik madde).

7. TERMAL OLGUNLUK ÇALIŞMALARI

7.1. Giriş

Bir kaynak kayanın termal olgunluğunu optik ve organik jeokimyasal parametreler kullanarak belirlemek mümkündür. Dünyada en çok kullanılan metot, vitrinit yansıtması/reflektansı (VR)'dır (Tissot ve Welte, 1984). Devoniyen öncesi sedimanlarda gözlenen vitrinit yoksunluğu, termal olgunluk derecesinin belirlenmesini güçleştirmektedir (Cole, 1994, Lüning ve ark., 2003). Yüksek karasal bitkilerin Üst Siluriyen dönemi sonrası gelişmiş olduğu bilinmektedir (Tissot ve Welte, 1984; Goodarzi ve ark., 1992; Rantitsch, 1995). Klemme ve Ulmishek (1991), dünyada Üst Siluriyen yaşlı denizel ve karasal karışık alanlarda da vitrinit gözlenebileceğine işaret etmektedirler. Termal olgunluk hakkında bilgi edinmek için, vitrinit benzeri optik karakteristiklere sahip zooklast, palinomorf, katı bitüm (solid bitumen) üzerinde ölçümler alınmaktadır (Bustin ve ark., 1989; Goodarzi ve ark., 1992; Cole, 1994; Petersen ve ark., 2013). Devoniyen öncesi sedimanlarda kullanılan diğer termal olgunluk parametrelerinden bazıları, palinomorflara ait alterasyon renk indeksleri (CAI, SCI vb.), IC (İllit kristalinite ya da Kübler İndeksi-KI), Rock-Eval piroliz Tmax parametresi, Raman ve μ FTIR spektroskopisi yöntemleridir (Hartkopf-Fröder ve ark. 2015). Termal olgunluğun belirlenmesi için bu parametreler birlikte kullanılmaktadır. Diğer metotlardan elde edilen değerler ile vitrinit reflektansı eşdeğerini (VRE) belirlemek mümkündür (Bertrand, 1990; Bertrand ve Malo, 2012; Petersen ve ark., 2013; İnan ve ark., 2016).

Tip IV kerojen içeren örneklerin, ilksel organik madde tipinin tespit edilebilmesi için maseral bileşimlerinin ve vitrinit reflektansı değerlerinin mikroskop çalışması ile detaylı incelenmesi gerektiği düşünülmektedir (Peters, 1986).

Ankonvansiyonel sistemlerde şeylin sahip olduğu gözenekliliğin, termal olgunluk seviyesi ile ilişkisi olduğu bilinmektedir (Loucks ve ark., 2009, 2012; Curtis ve ark., 2012).

Bu nedenle, bu çalışmada Dadaş Formasyonu'nun termal olgunluk seviyesi, kristalinite, VRE_{Tmax} , VRE_{GR} ve Raman spektroskopisi yöntemleri kullanılmıştır.

7.2. Kristalinite Çalışmaları

Kil mineralleri, bir kaynak kayanın termal olgunluğu hakkında bilgi verebilmektedir (Velde ve Lanson, 1993; Kübler ve Jaboyedoff, 2000; Dellisanti ve ark., 2010; Ferreira Mahlmann ve Frey, 2012; Ferreira Mahlmann ve ark., 2012). Simektit mineralinin illit mineraline dönüşümünün, şeyl diyajenezinde en önemli mineral reaksiyonu olduğu belirtilmektedir (Huang ve ark., 1993). Sıcaklık artışıyla ortamda gelişen mineralojik reaksiyonlar, Merriman ve Peacor (1999) tarafından dioktahedral ve trioktahedral olmak üzere iki grup kil minerali dönüşümü ile özetlenmiştir. Dioktahedral kil minerali dönüşümü, sırasıyla simektit, karışık katmanlı illit-simektit, illit, muskovit reaksiyonlarını içermektedir. Trioktahedral kil minerali dönüşümü ise sırasıyla simektit, karışık katmanlı klorit-simektit ve klorit reaksiyonlarını içermektedir. Denizel sedimanlarda katmanlar arasında baskın katyonun K^+ iyonu olduğu belirtilmektedir (Masuda ve ark., 1996; Merriman ve Peacor, 1999). İllitleşme süreci ortamdaki K^+ iyonu reaksiyonuna bağlı gelişirken (Huang ve ark., 1993), kloritleşme ortamdaki Mg^{2+} ve Fe^{2+} iyonlarının reaksiyonlarına bağlı gelişmektedir (Jahren ve Aagaard, 1989; Warr ve Cox, 2016). Bu nedenle karışık katmanlı simektit mineralinin, yüksek derecede metamorfizmaya uğramış bir kayada ihmal edilebilir miktarda bulunması ya da hiç gözlenmemesi beklenmektedir.

Termal olgunluk hakkında bilgi veren bir diğer yaklaşım ise kil minerallerinin kristalografik özelliklerinin kayaların ankizon ve epizon derecelerini yansıttıklarıdır (Warr ve Ferreira Mahlmann, 2015; Warr ve Cox, 2016). Kullanılan indeksler, Kübler indeksi (KI) veya İllit kristalinite (IC), Keskinlik oranı veya Waever indeksi (SR-Sharpness Ratio), Klorit kristalinite veya Arkai indeks (ChC) olarak bilinmektedir. Kristalinite değerleri ile kömürleşme derecesi, konodont alterasyon indeksi ve mineral fasiyesi arasında bir korelasyon olduğu belirtilmektedir (Arkai, 1991; Kübler ve Jaboyedoff, 2000).

Weaver indeksi değerinin işaret ettiği metamorfizma zon aralıkları Çizelge 7.1’de verilmiştir. Kübler İndeksi değerinin aksine, SR değeri metamorfizma derecesi (sıcaklık ve basınç) arttıkça illit pik şiddetinin keskinleşmesi nedeniyle yükselmektedir.

Çizelge 7. 1. Weaver indeksi (SR) değerlerine karşılık gelen metamorfizma derecesi.

Weaver (1960)	
Weaver indeksi	Metamorfizma Derecesi
2.3-1.8	Metamorfizma Geçirmemiş
2.3	Metamorfizma Geçirmemiş- Metamorfizma Başlangıcı
4.5	Metamorfizma Başlangıcı veya Zayıf Metamorfizma
6.3	Zayıf-Çok Düşük Metamorfizma
12.1	Düşük Dereceli Metamorfizma

Çizelge 7.2’de görüleceği üzere IC/KI değerinin işaret ettiği metamorfizma zon aralıkları Kübler ve Jaboyedoff (2000)’den alınmıştır. Metamorfizma arttıkça illit mineralinin pik şiddeti artmaktadır ve yarı uzunluğunun genişliği azalmaktadır. Uluslararası IC zon sınırları Kübler ve Jaboyedoff (2000)’den ve IC_{Hacettepe} değerlerinden hesaplanan IC_{CİS} değerlerinin karşılık geldiği zon sınırları ise Merriman ve Peacor (1999)’dan referans alınarak Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7. 2. İllit kristalinite (IC) değerlerine karşılık gelen metamorfizma derecesi.

Kübler ve Jaboyedoff (2000)		Merriman ve Peacor (1999)	
İllit Kristalinite (°Δ2θ)	Zon Sınırları	İllit Kristalinite (°Δ2θ)	Zon Sınırları
>0.42	Diyajenetik Zon	>1.00	Yüksek Diyajenetik Zon
0.42-0.25	Ankizon	1.00-0.42	Derin Diyajenetik Zon
<0.25	Epizon	0.42-0.30	Düşük Ankizon
		0.30-0.25	Yüksek Ankizon
		<0.25	Epizon

Klorit kristalinite değerlerinin karşılık geldiği metamorfizma derecesi ise Çizelge 7.3’de verilmiştir.

Çizelge 7. 3. Klorit kristalinite (ChC)) değerlerine karşılık gelen metamorfizma derecesi.

Arkai (1991)		
Klorit Kristalinite (001) ($^{\circ}\Delta 2\theta$)	Klorit Kristalinite (002) ($^{\circ}\Delta 2\theta$)	Zon Sınırları
>0.43	>0.33	Diyajenetik Zon
0.43-0.31	0.33-0.26	Ankizon
<0.31	<0.26	Epizon

7.2.1. Çat ÖSK

Çat ÖSK örneklerinin illit kristalinite ve keskinlik oranı değerleri Çizelge 7.4'te verilmiştir. IC değerleri “derin diyajenetik zon-düşük ankizon” sınırındadır. SR değerleri ise “metamorfizma başlangıç” derecesine işaret etmektedir.

Çizelge 7. 4. Çat ÖSK örneklerinin illit kristalinite (IC) ve keskinlik oranı (SR) değerleri.

Örnek Adı	IC ($^{\circ}\Delta 2\theta$)	Zon	SR	Metamorfizma Derecesi
C-3	0.55	Derin Diyajenetik Zon	1.82	Başlangıç
C-7	0.32	Düşük Ankizon	2.50	Başlangıç
C-17	0.36	Düşük Ankizon	3.17	Başlangıç
C-24	0.36	Düşük Ankizon	3.60	Başlangıç
Max.	0.55		3.60	
Min.	0.32		1.82	
Ortalama	0.40		2.77	

7.2.2. Çermik ÖSK

Çermik ÖSK örnekleri, IC ve keskinlik oranı değerleri Çizelge 7.5'te verilmiştir. IC değerleri, Çermik ÖSK örneklerinin “derin diyajenetik zon” sınırında olduğunu göstermektedir. SR değerleri ise “metamorfizma başlangıç” derecesine sahiptir.

Çizelge 7. 5. Çermik ÖSK örneklerinin illit kristalinite (IC) ve keskinlik oranı (SR) değerleri.

Örnek Adı	IC (°Δ2θ)	Zon	SR	Metamorfizma Derecesi
K-1	0.76	Derin Diyajenetik Zon	3.10	Başlangıç
K-4	0.76	Derin Diyajenetik Zon	3.17	Başlangıç
K-6	0.57	Derin Diyajenetik Zon	2.25	Başlangıç
K-9	0.69	Derin Diyajenetik Zon	3.35	Başlangıç
K-12	0.83	Derin Diyajenetik Zon	2.04	Başlangıç
K-14	0.80	Derin Diyajenetik Zon	2.36	Başlangıç
K-17	0.53	Derin Diyajenetik Zon	3.00	Başlangıç
K-19	0.67	Derin Diyajenetik Zon	2.73	Başlangıç
K-23	0.50	Derin Diyajenetik Zon	2.28	Başlangıç
K-26	0.52	Derin Diyajenetik Zon	2.25	Başlangıç
K-29	0.73	Derin Diyajenetik Zon	2.56	Başlangıç
K-32	0.46	Derin Diyajenetik Zon	2.25	Başlangıç
K-35	0.76	Derin Diyajenetik Zon	2.39	Başlangıç
K-38	0.76	Derin Diyajenetik Zon	2.29	Başlangıç
K-39	0.55	Derin Diyajenetik Zon	2.40	Başlangıç
Max.	0.83		3.35	
Min.	0.46		2.04	
Ortalama	0.66		2.56	

7.2.3. Diyarbakır-1 Kuyu Örnekleri

Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin illit kristalinite ve keskinlik oranı değerleri Çizelge 7.6'da verilmiştir. IC değerlerine göre örneklerin “yüksek-derin diyajenetik zon” sınırında yer aldığı saptanmıştır. SR değerleri, metamorfizma derecesinin “metamorfizma geçirmemiş-başlangıç” sınırları arasında yer aldığını göstermektedir. ChC değerleri, IC değerleri ile uyumlu “diyajenetik zon” a işaret etmektedir.

Çizelge 7. 6. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin klorit kristalinite (ChC), illit kristalinite (IC) ve keskinlik oranı (SR) değerleri.

Örnek Adı	ChC (002)(°Δ2θ)	Zon	IC (°Δ2θ)	Zon	SR	Metamorfizma Derecesi
D-1	0.50	Diyajenetik Zon	0.77	Derin Diyajenetik Zon	1.94	Başlangıç
D-2			0.71	Derin Diyajenetik Zon	2.27	Başlangıç
D-3	0.50	Diyajenetik Zon	0.82	Derin Diyajenetik Zon	1.67	Geçirmemiş
D-4			1.01	Sığ Diyajenetik Zon	1.94	Başlangıç
D-5			0.49	Derin Diyajenetik Zon	2.00	Başlangıç
D-6			0.52	Derin Diyajenetik Zon	2.00	Başlangıç
D-7			0.64	Derin Diyajenetik Zon	1.92	Başlangıç
D-8	0.45	Diyajenetik Zon	0.58	Derin Diyajenetik Zon	1.82	Başlangıç
D-9			0.79	Derin Diyajenetik Zon	2.10	Başlangıç
D-10			0.85	Derin Diyajenetik Zon	2.26	Başlangıç
D-11	0.47	Diyajenetik Zon	0.71	Derin Diyajenetik Zon	2.47	Başlangıç
D-12	0.49	Diyajenetik Zon	0.46	Derin Diyajenetik Zon	2.60	Başlangıç
D-13	0.47	Diyajenetik Zon	0.76	Derin Diyajenetik Zon	2.09	Başlangıç
D-14	0.49	Diyajenetik Zon	0.83	Derin Diyajenetik Zon	2.20	Başlangıç
D-15	0.49	Diyajenetik Zon	0.83	Derin Diyajenetik Zon	2.00	Başlangıç
D-16			0.51	Derin Diyajenetik Zon	2.57	Başlangıç
D-17			0.43	Derin Diyajenetik Zon	2.90	Başlangıç
D-18			0.42	Derin Diyajenetik Zon	2.80	Başlangıç
D-19			0.50	Derin Diyajenetik Zon	2.31	Başlangıç
D-20			0.66	Derin Diyajenetik Zon	1.82	Başlangıç
D-21			0.61	Derin Diyajenetik Zon	1.85	Başlangıç
Max.	0.50		1.01		2.90	
Min.	0.45		0.42		1.67	
Ortalama	0.48		0.66		2.17	

7.2.4. Bismil-2 Kuyu Örnekleri

Bismil-2 kuyu örneklerinin kristalinite değerleri, 1.00 °Δ2θ'ya yakın değerlerde gözlenmiştir. “Derin diyajenetik zon”un sığ diyajenetik zona yakın kısımlarına işaret etmektedir. Örnekler SR değerlerine göre metamorfizma geçirmemiş ya da başlangıç seviyesindedir.

Çizelge 7. 7. Bismil-2 kuyu örneklerinin illit kristalinite (IC) ve keskinlik oranı (SR) değerleri.

Örnek Adı	IC (°Δ2θ)	Zon	SR	Metamorfizma Derecesi
B-2-1	1.00	Derin Diyajenetik Zon	1.55	Geçirmemiş
B-2-2	0.99	Derin Diyajenetik Zon	1.68	Geçirmemiş
B-2-3	0.69	Derin Diyajenetik Zon	1.95	Başlangıç
B-2-4	0.76	Derin Diyajenetik Zon	2.04	Başlangıç
B-2-5	0.97	Derin Diyajenetik Zon	1.54	Geçirmemiş
B-2-6	0.83	Derin Diyajenetik Zon	1.80	Başlangıç
B-2-7	0.81	Derin Diyajenetik Zon	1.93	Başlangıç
B-2-8	1.03	Sığ Diyajenetik Zon	1.43	Geçirmemiş
B-2-9	0.76	Derin Diyajenetik Zon	1.92	Başlangıç
B-2-10	0.70	Derin Diyajenetik Zon	2.10	Başlangıç
B-2-11	0.86	Derin Diyajenetik Zon	1.78	Geçirmemiş
B-2-12	0.84	Derin Diyajenetik Zon	2.08	Başlangıç
B-2-13	0.77	Derin Diyajenetik Zon	2.11	Başlangıç
Max.	1.03		2.11	
Min.	0.69		1.43	
Ortalama	0.85		1.84	

7.2.5. Bismil-1 Kuyu Örnekleri

Bismil-1 kuyu örneklerinin klorit kristalinite, illit kristalinite ve keskinlik oranı değerleri Çizelge 7.8’ de verilmiştir. ChC değerleri “diyajenetik zon”, IC değerleri ise “derin diyajenetik zon”a işaret etmektedir. SR değerleri “metamorfizma başlangıcı”nda yer almaktadır.

Çizelge 7. 8. Bismil-1 kuyu örneklerinin illit kristalinite (IC) ve keskinlik oranı (SR) değerleri.

Örnek Adı	ChC (002) ($^{\circ}\Delta 2\theta$)	Zon	IC ($^{\circ}\Delta 2\theta$)	Zon	SR	Metamorfizma Derecesi
B-1-1	0.49	<i>Diyajenetik Zon</i>	0.62	<i>Derin Diyajenetik Zon</i>	3.08	<i>Başlangıç</i>
B-1-2	0.42	<i>Diyajenetik Zon</i>	0.57	<i>Derin Diyajenetik Zon</i>	3.40	<i>Başlangıç</i>
B-1-3	0.46	<i>Diyajenetik Zon</i>	0.66	<i>Derin Diyajenetik Zon</i>	2.83	<i>Başlangıç</i>
B-1-4	0.42	<i>Diyajenetik Zon</i>	0.60	<i>Derin Diyajenetik Zon</i>	3.05	<i>Başlangıç</i>
Max.	0.49		0.66		3.40	
Min.	0.42		0.57		2.83	
Ortalama	0.45		0.61		3.09	

7.3. Rock-Eval Tmax ile Vitrinit Reflektansı Eşdeğeri Dönüşümü

Termal olgunluk derecesinin belirlenebilmesi için kullanılan bir diğer parametre ise Rock-Eval Tmax parametresidir (Jarvie ve ark., 2001). Vitrinit maseralinin gözlenmediği Erken Paleozoyik yaşlı kayalarda ya da optik petrografik incelemelerin yapılamadığı durumlarda alternatif olarak kullanılabilir. Tmax parametresi ile yapılan değerlendirmelerde, aktivasyon enerjisinin, kayacın içerdiği organik maddenin kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmekte olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (Jarvie ve ark., 2001).

Tmax parametresi kullanılarak %VRE dönüşümünün hesaplanması mümkündür. Araştırmacılar tarafından önerilen eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$T_{max} = 63,03VR_r + 389,11 \text{ (Petersen, 2006)}$$

$$VR_{T_{max}} = 0,018T_{max} - 7,16 \text{ (Jarvie ve ark., 2007)}$$

Konvansiyonel sistemler için %VR sınır değer aralıkları Peters ve Cassa (1994)'den ve ankonvansiyonel sistemlerde beklenen %VRE_{Tmax} sınır değer aralıkları ise Jarvie (2004)'den referans alınmıştır (Çizelge 7.9).

Konvansiyonel sistemlerde bir kaynak kayanın petrol penceresinde bulunduğu işaret eden alt ve üst sınır değerleri %0,60-%1,40 aralığındadır (Peters, 1986). Ankonvansiyonel sistemlerde termal olgunluk değerinin %VR değerinin $\geq$ %1,00

olması beklenmektedir (Jarvie ve ark., 2007). Petersen ve ark. (2013)'e göre şeyl gaz sistemi için gerekli termal olgunluk %1.30 VR'den yüksek olmalıdır.

Çizelge 7. 9. %VR ve %VRE_{Tmax} sınır değer aralıkları.

Peters ve Cassa (1994)			Jarvie (2004)	
Termal Olgunluk Derecesi	Tmax (°C)	VR (%)	Termal Olgunluk Penceresi	VRE _{Tmax} (%)
Olgunlaşmamış	<435	0.20-0.60	Petrol Üretimini Başlangıcı	0.60
Erken Olgun	435-445	0.60-0.65	Zayıf Petrol Üretimi	0.90
İleri Olgun	445-450	0.65-0.90	Islak Gaz Üretimi	1.00
Geç Olgun	450-470	0.90-1.35	Kuru Gaz Üretimi	1.40
Aşırı Olgun	>470	>1.35	Sadece Kuru Gaz Zonu	2.10
			Rezervuar Tahribatı, CO ₂ riski	>2.10

Termal açıdan aşırı olgun örneklerde düşük S₂ piki (<0,2 mg HC/g TOK) nedeniyle güvenilir olmayan Tmax sonuçları ölçülebilmektedir (Peters, 1986). Dadaş Formasyonu'nun aşırı olgun yüzey örneklerinin (Çermik ÖSK) güvenilir olmayan Tmax sonuçları ile dönüştürülen %VRE_{Tmax} değerlerinin de gerçek termal olgunluk derecesini yansıtmayabileceği yapılan değerlendirilmelerde göz önünde bulundurulmalıdır.

Dadaş Formasyonu'nun yukarıdaki eşitliklerden elde edilen %VRE_{Tmax} değerleri aşağıdaki bölümlerde verilmiştir. Her iki eşitlikten elde edilen sonuçlar arasında önemli bir fark görülmemiştir.

7.3.1. Çat ÖSK

Çat ÖSK örneklerinin %VRE_{Tmax} değerleri Çizelge 7.10'da verilmiştir. Jarvie (2004)'e göre "kuru gaz üretimi"nde yer almaktadır. Çat ÖSK örneklerinin %VRE_{Tmax} değerleri şeyl gaz üretimi için az riske işaret etmektedir.

Çizelge 7. 10. Çat ÖSK Dadaş Formasyonu'nun hesaplanan %VRE_{Tmax} değerleri.

Örnek Adı	Tmax ^a	%VRE _{Tmax} ¹	%VRE _{Tmax} ²
C-3	484	1.55	1.51
C-7	506	1.95	1.85
C-17	509	2.00	1.90
C-24	593	3.51	3.23
Max.	593	3.51	3.23
Min.	484	1.55	1.51
Ortalama	523	2.25	2.12

^a = °C

¹= %VRE_{Tmax}=(0.018×Tmax)-7.16 (Jarvie ve ark., 2001)

²= %VRE_{Tmax}=(Tmax-389.11)/63.03 (Petersen, 2006)

7.3.2. Çermik ÖSK

Çermik ÖSK örneklerinin %VRE_{Tmax} değerleri Çizelge 7.11'de verilmiştir. Hesaplanan en düşük %VRE_{Tmax} değerinin >2.10'dan büyük olması Jarvie (2004)'e göre "sadece kuru gaz zonu"nu yansıtmaktadır. Yüksek %VRE_{Tmax} değerleri, rezervuar tahribatına işaret etmektedir. Bu termal olgunluk sınırında dikkat edilmesi gereken önemli bir risk faktörü hidrolik çatlatma sırasında ortamda bulunan CO₂ riskidir.

Aşırı olgun örneklerde düşük S₂ piki (<0,20 mg HC/g TOK, Peters, 1986 veya <0,50 mg HC/g TOK, Jarvie ve Tobey, 1991) nedeniyle güvenilir olmayan Tmax sonuçları ölçülmektedir. Çermik ÖSK örneklerinin düşük S₂ pik değerleri nedeniyle Tmax sonuçları güvenilir değildir. Bu nedenle %VRE_{Tmax} değerlerinin de gerçek termal olgunluk derecesini yansıtmayabileceğini göstermektedir. Aşırı olgun örneklerde %VRE_{Tmax} değerlerinin, optik petrografik çalışmalar sonucunda elde edilen %VRE_{gr} değerlerine göre daha yüksek termal olgunluk derecesine işaret ettiği gözlenmiştir (Bkz. Bölüm 7.4).

Çizelge 7. 11. Çermik ÖSK Dadaş Formasyonu'nun hesaplanan %VRE_{Tmax} değerleri.

Örnek Adı	Tmax ^a	%VRE _{Tmax} ¹	%VRE _{Tmax} ²
K-1	516	2.13	2.01
K-4	567	3.05	2.82
K-6	595	3.55	3.27
K-9	593	3.51	3.23
K-12	582	3.32	3.06
K-14	524	2.27	2.14
K-17	579	3.26	3.01
K-19	567	3.05	2.82
K-23	526	2.31	2.17
K-26	596	3.57	3.28
K-29	596	3.57	3.28
K-32	595	3.55	3.27
K-35	579	3.26	3.01
K-38	593	3.51	3.23
K-39	552	2.78	2.58
Max.	596	3.57	3.28
Min.	516	2.13	2.01
Ortalama	571	3.11	2.88

^a = °C

¹= %VRE_{Tmax}=(0.018×Tmax)-7.16 (Jarvie ve ark., 2001)

²= %VRE_{Tmax}=(Tmax-389.11)/63.03 (Petersen, 2006)

7.3.3. Diyarbakır-1 Kuyu Örnekleri

Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin %VRE_{Tmax} değerleri Çizelge 7.12'de verilmiştir. VRE_{Tmax} değerleri %0.74-%0.83 aralığında, “petrol penceresi”ne işaret etmektedir. Diyarbakır ilinin kuzeybatısında yer alan Dadaş Formasyonu'nun, şeyl gaz üretimi için gerekli termal olgunluk sınır değerine ($\geq 1,00\%VR$, Jarvie ve ark., 2007) sahip olmadığı görülmektedir.

Çizelge 7. 12. Diyarbakır-1 kuyu örnekleri Dadaş Formasyonu'nun hesaplanan %VRE_{Tmax} değerleri.

Örnek Adı	Tmax ^a	%VRE _{Tmax} ¹	%VRE _{Tmax} ²
D-1-1	439	0.74	0.79
D-1-2	440	0.76	0.81
D-1-3	440	0.76	0.81
D-1-4	440	0.76	0.81
D-1-5	441	0.78	0.82
D-1-6	439	0.74	0.79
D-1-7	442	0.80	0.84
D-1-8	441	0.78	0.82
D-1-9	444	0.83	0.87
D-1-10	443	0.81	0.85
D-1-11	442	0.80	0.84
D-1-12	443	0.81	0.85
D-1-13	443	0.81	0.85
D-1-14	442	0.80	0.84
D-1-15	441	0.78	0.82
D-1-16	440	0.76	0.81
D-1-17	440	0.76	0.81
D-1-18	440	0.76	0.81
D-1-19	440	0.76	0.81
D-1-20	441	0.78	0.82
D-1-21	443	0.81	0.85
Max.	444	0.83	0.87
Min.	439	0.74	0.79
Ortalama	441	0.78	0.83

^a = °C

¹= %VRE_{Tmax}=(0.018×Tmax)-7.16 (Jarvie ve ark., 2001)

²= %VRE_{Tmax}=(Tmax-389.11)/63.03 (Petersen, 2006)

7.3.4. Bismil-2 Kuyu Örnekleri

Bismil-2 kuyu örneklerinin %VRE_{Tmax} değerleri Çizelge 7.13'de verilmiştir. Bismil-2 kuyu örneklerinin kırıntı halinde olması nedeniyle kirlilik olduğu tespit edilmiştir (Bkz. Bölüm 5.5 ve 6.3.4). Bu durum, Rock-Eval piroliz parametreleri ile yapılan tüm değerlendirmeleri etkilemektedir. Optik petrografik çalışmalar sonucunda hesaplanan %VRE_{gr} değerleri ile benzer sonuçlar gösteren B-2-9, B-

2-11, B-2-12, B-2-13 numaralı örneklerin daha güvenilir T_{max} değerlerine sahip olabileceği düşünülmüştür. Örneklerin işaret ettiği $\%VRE_{T_{max}}$ değerlerine göre termal olgunluğu “petrol penceresi”nde yer almaktadır.

Diyarbakır ilinin Bismil ilçesinin güneyinde yer alan Dadaş Formasyonu’nun şeyl gaz üretimi için yeterli termal olgunluk sınır değerine ($\geq 1,00\%VR$, Jarvie ve ark., 2007) sahip değildir.

Çizelge 7. 13. Bismil-2 kuyu örnekleri Dadaş Formasyonu’nun hesaplanan $\%VRE_{T_{max}}$ değerleri.

Örnek Adı	T_{max}^a	$\%VRE_{T_{max}}^1$	$\%VRE_{T_{max}}^2$
B-2-1	415	0.31	0.41
B-2-2	428	0.54	0.62
B-2-3	406	0.15	0.27
B-2-4	397	-	0.13
B-2-5	409	0.20	0.32
B-2-6	408	0.18	0.30
B-2-7	423	0.45	0.54
B-2-8	410	0.22	0.33
B-2-9	433	0.63	0.70
B-2-10	410	0.22	0.33
B-2-11	438	0.72	0.78
B-2-12	434	0.65	0.71
B-2-13	440	0.76	0.81
Max.	440	0.76	0.81
Min.	397	0.15	0.13
Ortalama	419	0.42	0.48

^a = °C

¹ = $\%VRE_{T_{max}} = (0.018 \times T_{max}) - 7.16$ (Jarvie ve ark., 2001)

² = $\%VRE_{T_{max}} = (T_{max} - 389.11) / 63.03$ (Petersen, 2006)

7.3.5. Bismil-1 Kuyu Örnekleri

Bismil-1 kuyu örneklerinin $\%VRE_{T_{max}}$ değerleri Çizelge 7.14’te verilmiştir. Termal olgunluk seviyesi “petrol penceresi”nde yer almaktadır. Şeyl gaz üretimi için beklenen termal olgunluk seviyesine ($\geq 1,00\%VR$, Jarvie ve ark., 2007) ulaşamamıştır.

Çizelge 7. 14. Bismil-1 kuyu örnekleri Dadaş Formasyonu'nun hesaplanan %VRE_{Tmax} değerleri.

Örnek Adı	Tmax ^a	%VRE _{Tmax} ¹	%VRE _{Tmax} ²
B-1-1	437	0.71	0.76
B-1-2	436	0.69	0.74
B-1-3	434	0.65	0.71
B-1-4	435	0.67	0.73
Max.	437	0.71	0.76
Min.	434	0.65	0.71
Ortalama	436	0.68	0.74

^a = °C

¹= %VRE_{Tmax}=(0.018×Tmax)-7.16 (Jarvie ve ark., 2001)

²= %VRE_{Tmax}=(Tmax-389.11)/63.03 (Petersen, 2006)

7.4. Optik Organik Petrografik Çalışmalar

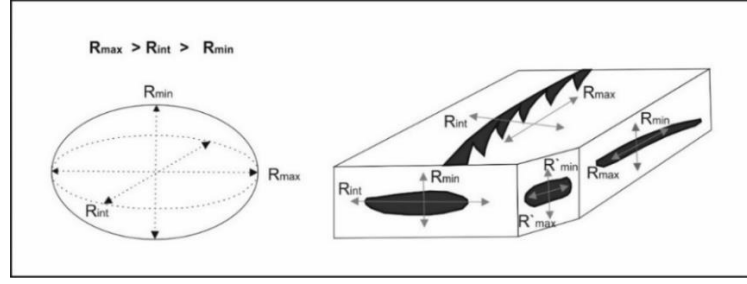
Bustin ve ark. (1989) "*Graptolitlerin sahip olduğu optik ve kimyasal karakteristiklerin, denizel kökenli kaynak kayalarda veya Üst Siluriyen yaşlı kayalarda, vitrinit ve palinomorf yoksunluğu durumunda organik maddenin termal olgunluğu hakkında bilgi sağlayan çok önemli bir indeks*" olduğunun önemine işaret etmişlerdir. 1958 yılından bu yana organik maddenin termal olgunluk derecesini saptamak için kullanılan VR'na (Teichmüller, 1958; Bertrand ve Heroux, 1982) alternatif bir yöntem olarak, Devoniyen dönemi öncesi sedimanlarda kullanılmak üzere ilk kez Kurylowicz (1976) tarafından graptolit yansıtması/reflektansı (GR) kullanılmıştır (Malinconico, 1992). Vitrinit yoksunluğu nedeniyle belirleyici optik özelliklere sahip graptolit yansıtma değerleri birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir (Goodarzi 1984; Bertrans and Heroux, 1987; Bustin ve ark., 1989; Petersen ve ark., 2013). Graptolit kavkısının kimyasal yapısının, vitrinit ile benzer özelliklere sahip olduğu düşünülmektedir (Morga ve Kaminska, 2018).

Graptolitler, taneseli (granular) ve taneseli olmayan (non-granular) olmak üzere iki morfolojide gözlenmektedirler (Goodarzi, 1984; Bustin ve ark., 1989; Petersen ve ark., 2013). Önceki çalışmalarda (Goodarzi, 1984; Link ve ark., 1990) graptolitlerin farklı morfolojiye sahip olmaları mineral matriks ile ilişkilendirilmektedir. Taneseli graptolitler genellikle karbonat matriksine sahip

kayaçlarda gözlenirken, tanesel olmayan graptolitler şeyl litolojisine sahip kayaçlarda gözlenmektedir (Goodarzi ve Norford., 1987; Petersen ve ark., 2013). Fakat bu durum Hartkopf-Fröder ve ark. (2015) tarafından, “*graptolitler öldükten hemen sonra veya gömülme sonrasında başlayan bakteriyel bozunma, iki tip graptolit morfolojisi oluşturmaktadır (Hoffknecht, 1991)*” şeklinde açıklanmaktadır. Tanesel yapıya sahip olanlar, gömülme sonrası graptolitin geriye kalan kısımlarını temsil etmektedirler (Riediger ve ark., 1989; Hartkopf-Fröder ve ark., 2015). Tanesel olmayan graptolitlere göre daha düşük reflektans ve daha zayıf anizotropi göstermektedirler (Hartkopf-Fröder ve ark., 2015). Tanesel olmayan graptolitlerde ise sert, kırılğan, yüksek reflektans ve güçlü anizotropi özellikleri gözlenmektedir (Goodarzi and Norford, 1987; Rantitsch, 1995; Petersen ve ark., 2013; Hartkopf-Fröder ve ark., 2015; Luo ve ark., 2016, 2017).

Graptolit reflektansı, kayacın tabakalanmaya paralel ve dik açılarından ölçülebilmektedir (Malinconico, 1992). Bu çalışmada makroskopik boyutta gözlenen graptolitlerin iyi korunamamış olması nedeniyle 10 adet örnekten tabakalanmaya dik konumda epoksi ve resin ile parlatma briketi hazırlanmıştır. GR ölçümünde, R_{max} , R_{min} ve R_{int} değerlerini gösteren şema, Bustin ve ark. (1989) ve Kilby (1991)’den referans alınmıştır ve Şekil 7.1’de verilmiştir. Link ve ark. (1990)’a göre GR ölçümlerinde en güvenilir parametre GR_{max} değerleridir. VR değerlerinde ölçülen eksen genellikle random ölçümlerini vermektedir. VR_{max} değerlerini, random değerlerden “ $\%VR_{max}=1,07\%VR_r-0,01$ ” eşitliğini kullanılarak hesaplamak mümkündür (Petersen, 2006). Vitrit reflektans eşdeğerleri (VRE) dönüşümünde kullanılan random graptolit reflektans değerleri (GR_r), standart sapma değerinin daha küçük olması nedeniyle, maksimum graptolit reflektans değerlerinden (GR_{max}) daha iyi sonuçlar vermektedir (Wang ve ark., 2019; Luo ve ark., 2020).

Tabaklanmaya dik hazırlanan örneklerin içindeki graptolit kavkılarından bireflektans ($GR'_{min}-GR_{max}$) ve GR_{random}/max ölçümleri alınmıştır. Bireflektans özelliği termal olgunluk ile ilişkilidir (Goodarzi ve Norford, 1987). Örnekler üzerinde 5 ile 50 arasında çekim yapılmıştır.



Şekil 7. 1. Graptolitlerin temel reflektans eksenlerini gösteren şema (Bustin ve ark., 1989 ve Kilby, 1991'den alınmıştır).

GR değerlerini, VRE_{gr} (vitrit reflektansı eşdeğeri) değerlerine dönüştürmek mümkündür (Bertrand, 1990; Cole, 1994; Bertrand ve Malo, 2012; Petersen ve ark., 2013; İnan ve ark., 2016). Önerilen eşitlikler yeterli sayıda örnek üzerinde istatistiksel değerlendirmeler sonucunda oluşturulmuş denklemlerdir. Dadaş Formasyonu graptolitlerinin bireklektans ve random değerlerini, $\%VRE_{gr}$ değerlerine dönüştürmek için kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$\%VRE_{gr} = 10^{\text{Log}10GRr/1,1} \times 10^{0,04/1,1} \text{ (Bertrand, 1990)}$$

$$\%VRE_{gr} = (0,9376 \times \%GRr) + 0,0278 \text{ (Bertrand and Malo, 2012)}$$

$$\%VRE_{gr} = 0.73 \times \%GR_{(\text{graptolit+vitrit benzeri parçalar})} + 0.16 \text{ (Petersen ve ark., 2013)}$$

$$\%VRE_{gr} = 0.80 \times \%GR \text{ (İnan ve ark., 2016)}$$

$$\%VRE_{gr} = (0.97 \times \%GR) - 0.20 \text{ (2.19<\%GR<3.5; Wang ve ark., 2019)}$$

$$\%VRE_{gr} = (0.99 \times \%GRr) + 0.88 \text{ (Luo ve ark., 2020)}$$

$$\%VRE_{gr} = (0.515 \times \%GR_{max}) + 0.506 \text{ (Luo ve ark., 2020)}$$

Petersen ve ark. (2013)'ün önerdiği eşitlikteki vitrit benzeri parçalar, gözenekli taneseli (granular) graptolit parçaları yerine kullanılmıştır. Araştırmacıların, $\%GR$ 'ye karşılık $\%GR_{(\text{vitrit benzeri parçalar})}$ fonksiyonu için elde ettikleri korelasyon faktörünün (0.97) oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Dadaş Formasyonu'nda gözlenen vitrit benzeri parçaya ait mikroskop görüntüsü Şekil 7.2'de verilmiştir. Bu parçalar, örnek içinde graptolit miktarının yeterli olmaması ya da uygun yüzeye sahip graptolitlerin az miktarda bulunması durumunda tercih edilebilir. Fakat bu çalışmada ölçüm yüzeyinin belirlenmesinde yaşanacak sıkıntılar ve

ölçülen organik madde parçasının güvenilirliğinin zayıf olması nedeniyle bu parçalardan ölçüm alınmamıştır.



Şekil 7. 2. D-5 numaralı örnekte gözlenen vitrinit benzeri parçanın optik mikroskop görüntüsü (yağlı 50x objektif).

Optik petrografik çalışmalar sırasında Dadaş Formasyonu'nda katı bitüm parçaları gözlenmiştir. Katı bitüm reflektans değerleri %0,20 ile %0,40 arasında değişmektedir (Prof. Dr. Ali İhsan Karayiğit, sözlü görüşme 2018). Katı bitüm, düzenli bir şekle sahip olmayan, gözenekli ve boşlukları dolduran ikincil bir organik madde bileşenidir (Mahlmann ve Le Bayon, 2016; Mastalerz ve ark., 2018). Bertrand and Heroux (1982)'ye göre katı bitümlerin reflektans değerleri, petrol penceresi sonundaki örnekler için olması gerekenden daha düşük sonuçlar vermektedir. Termal olgunluk arttıkça değişkenlik gösteren reflektans değerleri, standart sapmasının yüksek olmasıyla sonuçlanmaktadır ve düşük güvenilirliği nedeniyle de Bertrand and Heroux (1982) tarafından kullanılmamıştır. Benzer bir biçimde Petersen ve ark. (2013)'e göre farklı kaynaklardan türeyen katı bitüm, güvenilir bir termal olgunluk indikatörü değildir. Bu çalışmada da katı bitüm reflektans değerleri düşük güvenilirliği ve reflektans ölçümü için fiziki şartların uygun olmaması nedeniyle termal olgunluk parametresi olarak kullanılmamıştır.

Bölüm 7.3'te verilen Peters ve Cassa (1994) ve Jarvie (2004)'ten alınan %VR sınır değer aralıklarına ek olarak hidrokarbon üretimi için önemli sınır aralıkları ve kerojen tipleri Dembicki (2009)'dan alınmıştır (Çizelge 7.15 ve Çizelge 7.16).

Dembicki (2016), hidrokarbon üretiminin başlaması için kerojen tipinin ve TOK içeriği (% ağırlıkça) miktarının önemli olduğunu vurgulamaktadır. Çizelge 7.15'e göre hidrokarbon üretimi için başlangıç kabul edilen VR değeri %0,60'da başlamaktadır. Petrol üretiminin son bulup, gaz üretiminin başladığı VR değeri ise %1,35'tir.

Çizelge 7. 15. Petrol ve gaz üretimi için beklenen %VR sınır değer aralıkları (Dow, 1977; Senftle ve Landis, 1991; Dembicki, 2009).

Petrol Üretimi	VR (%)	Gaz Üretimi	VR (%)
Olgunlaşmamış	<0.60	Olgunlaşmamış	0.80
Erken Petrol Penceresi	0.60-0.80	Erken Gaz Penceresi	0.80-1.20
Petrol Penceresi	0.80-1.00	Gaz Penceresi	1.20-2.00
Geç Petrol Penceresi	1.00-1.35	Geç Gaz Penceresi	>2.00
Islak Gaz	1.35-2.00		
Kuru Gaz	>2.00		

Çizelge 7. 16. Kerojen tiplerine göre hidrokarbon üretiminin başladığı %VR değerleri (Tissot, 1984; Petersen ve Hickey, 1987; Sweeney ve ark., 1987; Tissot ve ark., 1987; Dembicki, 2009).

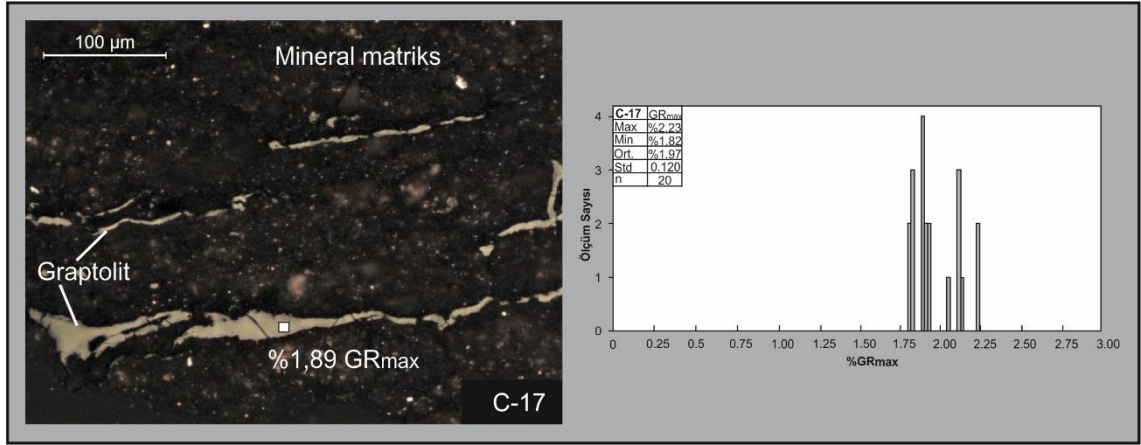
Kerojen	VR
Tipi	(%)
Tip I	0.70
Tip II	0.60
Tip IIS	0.45-0.50
Tip III	0.80

Bu bölümde Dadaş Formasyonu'nun %GR_{max}, %GR_{min}, %GR_r ve hesaplanan %VRE_{gr} değerleri çalışma alanı lokasyonlarına göre verilmiştir. Ölçüm sonuçları değerlendirilirken, kömür ve şeyl örneklerinin vitrinit reflektansı değerlerinin güvenilirliği sırasıyla karot, yüzey ve kırıntı örnek tiplerinde azalmakta olduğu göz önünde bulundurulmuştur (Cardott, 2012). Yüzey örnekleri atmosfer koşullarına maruz kalırken, kırıntı örnekler yıkıntılar sonucu kirlenmektedir.

7.4.1. Çat ÖSK

Çat ÖSK, C-3 ve C-17 numaralı örneklerde gözlenen graptolitlerden reflektans ölçümleri alınmıştır. XRD tüm kayaç sonuçlarına göre Çat ÖSK örnekleri kilce

zengin silisli/silisçe zengin çamurtaşı litolojisine sahiptir. Graptolitler şeyl litolojisinde gözlenen tanesol olmayan (non-granular) graptolit morfolojisi ile uyumludur (Şekil 7.3, 7.4). C-17 numaralı örneğin %GR_{max} histogram dağılım diyagramına göre organik maddenin yeniden işlenmiş (reworked) olabileceği düşünülmüştür. Termal olgunluk arttıkça vitrinit maseralinin kazandığı anizotropi özelliği (Teichmüller, 1982), Çat ÖSK graptolitlerinde tespit edilmiştir. Anizotropi gözlenen graptolitlere ait fotoğraflar Şekil 7.5'te verilmiştir. Anizotropi özelliği gösteren graptolitlerden alınan bireflektans değerleri (%GR_{max} ve %GR_{min}) değerleri Çizelge 7.17'de verilmiştir. %GR değerinin %VRE_{gr} dönüştürülmesi için önerilen eşitliklerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. 3. C-17 numaralı yüzey örneği tanesol olmayan graptolitlerin optik mikroskop görüntüsü ve %GR_{max} histogram diyagramı (yağlı 20x objektif; %GR ölçümleri, 50x objektif ile okunmuştur).

Çizelge 7. 17. Çat ÖSK örneklerinin %GR_{max}, %GR_{min} ve hesaplanan %VRE_{gr} değerleri.

Örnek Adı	%GR _{max} (Std.)	%GR _{min} (Std.)	%VRE _{gr} ¹	%VRE _{gr} ²	%VRE _{gr} ³	%VRE _{gr} ⁴	%VRE _{gr} ⁵
C-3	2.17 (0.073) n=14	0.94 (0.080) n=14	2.20	2.06	1.74	1.74	1.62
C-17	1.97 (0.120) n=20	0.95 (0.102) n=20	2.01	1.87	1.60	1.58	1.52

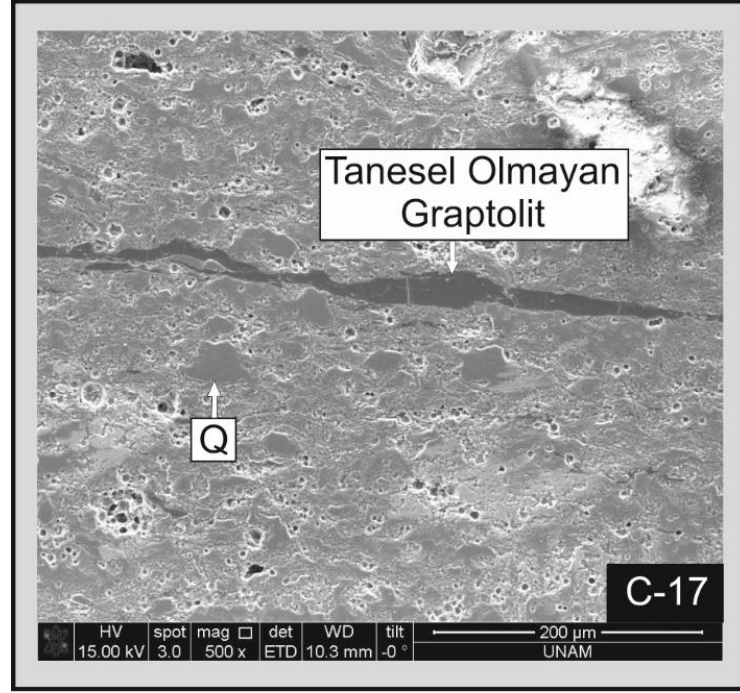
¹= %VRE_{gr}=(10^[(Log₁₀GR+0.04)/1.1]) (Bertrand, 1990)

²= %VRE_{gr}=(0.9376×%GR)+0.0278 (Bertrand ve Malo, 2012)

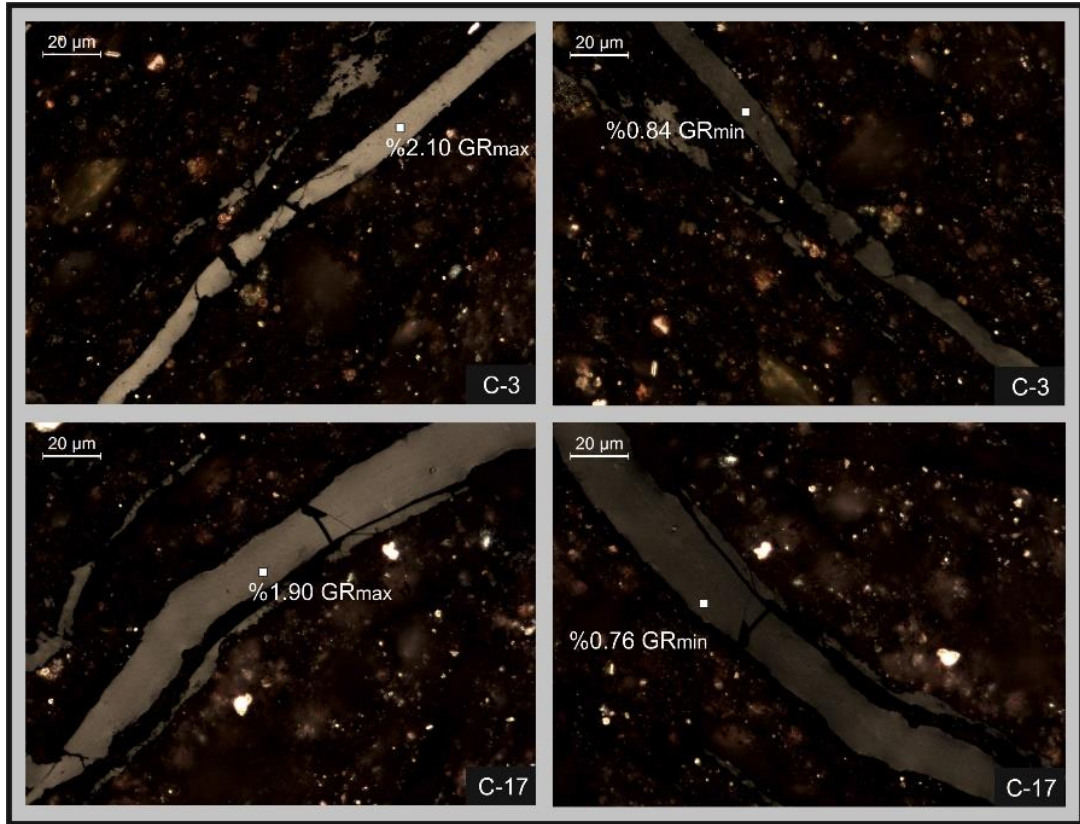
³= %VRE_{gr}=(0.73×%GR)+0.16 (Petersen ve ark., 2013)

⁴= %VRE_{gr}=(0.80×%GR) (İnan ve ark., 2016)

⁵= %VRE_{gr}=(0.515×%GR)+0.506 (Luo ve ark., 2020)



Şekil 7. 4. C-17 numaralı yüzey örneği taneseli olmayan graptolit parçalarına ait SEM görüntüsü (Q: Kuvars).

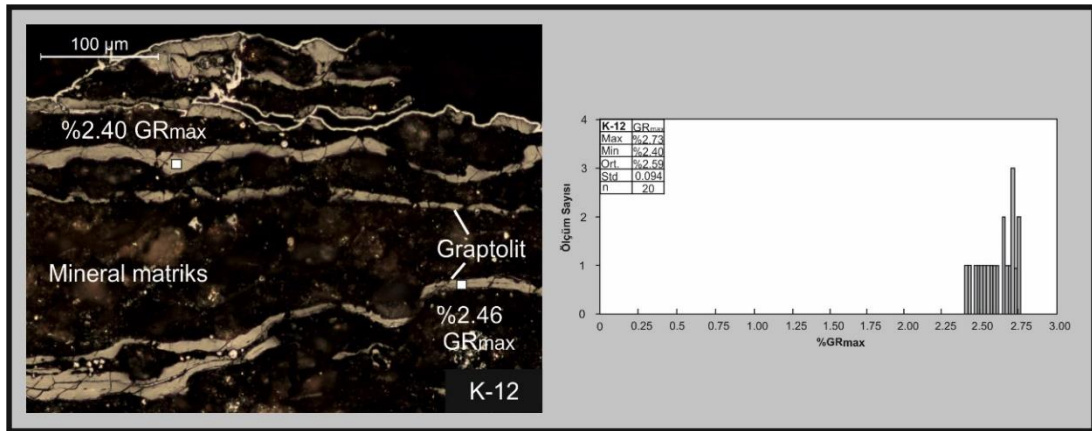


Şekil 7. 5. Çat ÖSK'sında anizotropi gözlenen ve taneseli olmayan graptolitlerin optik mikroskop görüntüsü (yağlı 50x objektif).

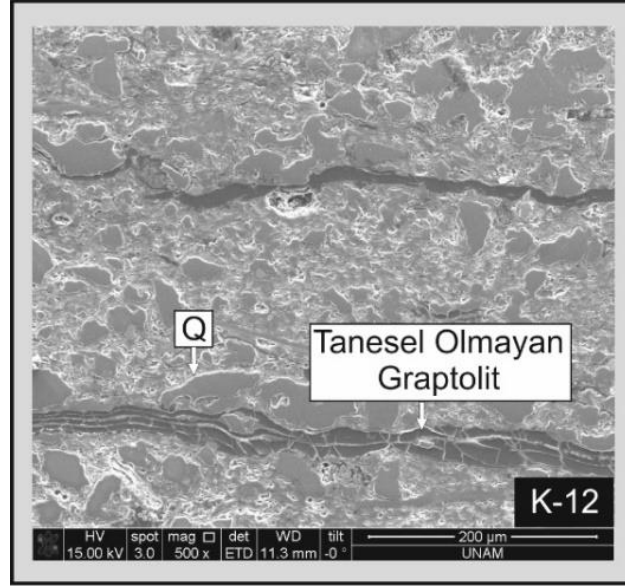
Bertrand (1990) ve Bertrand ve Malo (2012) eşitliğinden elde edilen $\%VRE_{gr}$ değerleri “kuru gaz penceresi”ne işaret etmektedir. Petersen ve ark. (2013) ve İnan ve ark. (2016) eşitliklerine göre ise Çat ÖSK örnekleri “ıslak gaz penceresi”nde yer almaktadır. Dembicki (2009)’a göre örnekler gaz üretimi için uygun olgunluktadır. Petersen ve ark. (2013)’e göre şeyl gaz sistemi için beklenen termal olgunluk derecesine sahiptir.

7.4.2. Çermik ÖSK

K-12 ve K-23 numaralı örneklerde gözlenen graptolitlerden reflektans ölçümleri alınmıştır. Örnekler, XRD tüm kayaç analizi sonuçlarına göre silisçe zengin killi çamurtaşı litolojisine sahiptir. Örneklerin litolojisi tanesel olmayan (non-granular) graptolit morfolojisi ile uyumludur. K-12 numaralı örneğin genel optik mikroskop görüntüsü ve histogram diyagramı Şekil 7.6’da verilmiştir. $\%GR_{max}$ histogram diyagramı, organik maddenin yeniden işlenmiş (reworked) olabileceğini göstermektedir. K-12 numaralı örnekte gözlenen tanesel olmayan graptolitlerin SEM görüntüsü Şekil 7.7’de görülmektedir.



Şekil 7. 6. K-12 numaralı yüzey örneği tanesel olmayan graptolit parçalarına ait optik mikroskop görüntüsü ve $\%GR_{max}$ histogram diyagramı (yağlı 20x objektif; $\%GR$ ölçümleri, 50x objektif ile okunmuştur).



Şekil 7. 7. K-12 numaralı yüzey örneği tanesol olmayan graptolit parçalarına ait SEM görüntüsü (Q: Kuvars).

Çermik ÖSK graptolitlerinin, yüksek termal olgunluğa işaret eden anizotropi özelliği nedeniyle K-12 ve K-23 numaralı örneklerde anizotropi gösteren tanesol olmayan graptolitlerden bireflektans ölçümleri alınmıştır (Çizelge 7.18) (Şekil 7.8).

Çizelge 7. 18. Çermik ÖSK örneklerinin %GRmax ve %GRmin ve hesaplanan %VRE_{gr} değerleri.

Örnek Adı	%GRmax (Std.)	%GRmin (Std.)	%VRE _{gr} ¹	%VRE _{gr} ²	%VRE _{gr} ³	%VRE _{gr} ⁴	%VRE _{gr} ⁵	%VRE _{gr} ⁶
K-12	2.59 (0.094)	0.85 (0.072)	2.58	2.46	2.05	2.07	1.90	1.84
	n=20	n=20						
K-23	2.36 (0.113)	0.84 (0.140)	2.37	2.24	1.88	1.89	1.71	1.72
	n=15	n=15						

¹= %VRE_{gr}=(10^[(Log₁₀ GRr+0.04)/1.1]) (Bertrand, 1990)

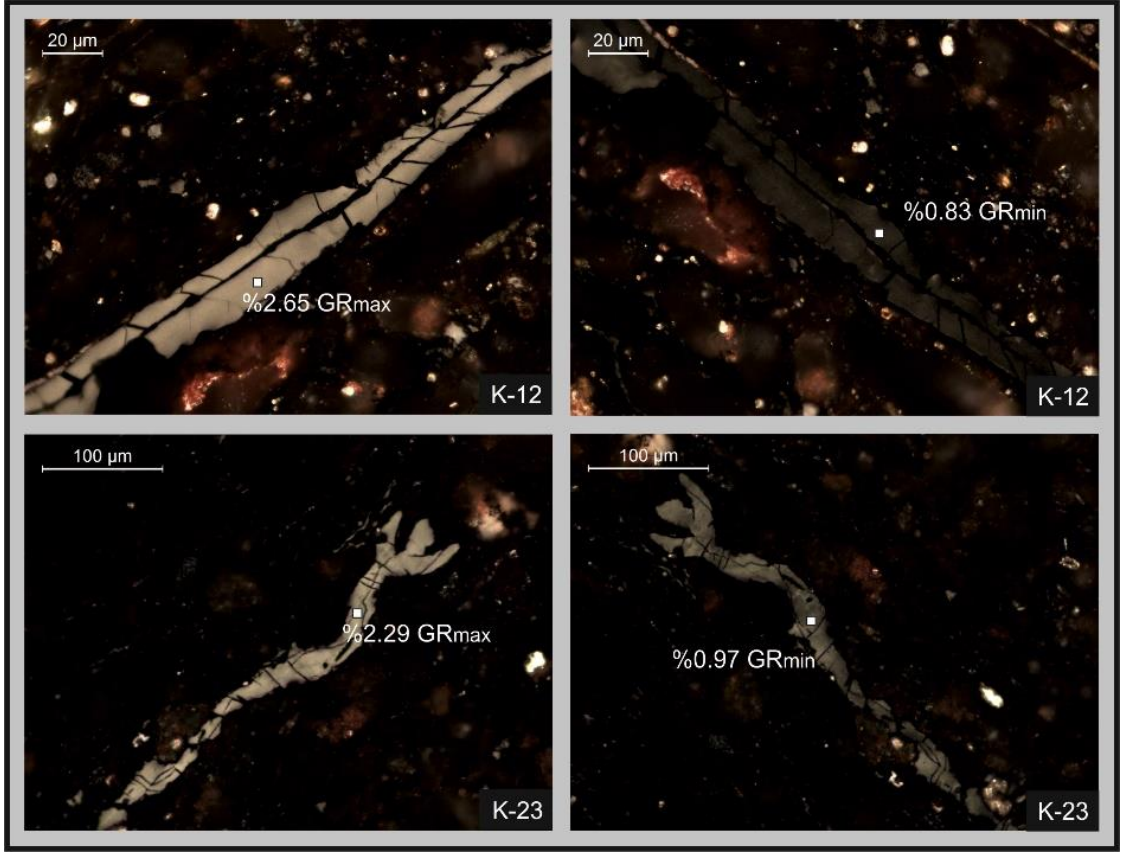
²= %VRE_{gr}=(0.9376×%GRr)+0.0278 (Bertrand ve Malo, 2012)

³= %VRE_{gr}=(0.73×%GR)+0.16 (Petersen ve ark., 2013)

⁴= %VRE_{gr}=(0.80×%GR) (İnan ve ark., 2016)

⁵= %VRE_{gr}=(0.97×%GR)-0.2 (%2.19<GRr<3.5) (Wang ve ark., 2019)

⁶= %VRE_{gr}=(0.515×%GR)+0.506 (Luo ve ark., 2020)



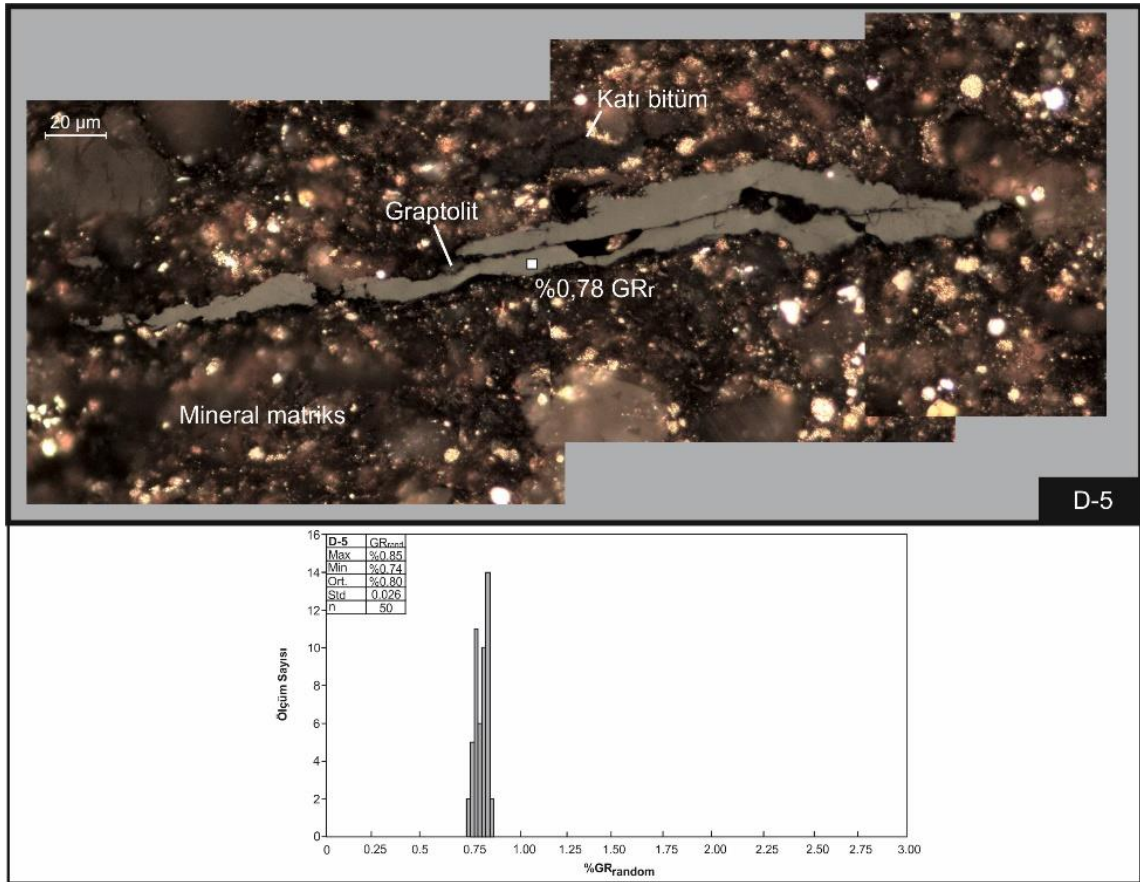
Şekil 7. 8. Çermik ÖSK örneklerinde anizotropi gözlenen ve tanesol olmayan graptolit parçalarına ait optik mikroskop görüntüsü (K-12 numaralı örnek, yağlı 50x objektif ve K-23 numaralı örnek, yağlı 20x objektif).

Bertrand (1990) ve Bertrand ve Malo (2012), Petersen ve ark. (2013) ve İnan ve ark. (2016) eşitliklerine göre örneklerin $\%VRE_{gr}$ değerleri, $\%2.00$ 'den büyüktür ve “kuru gaz penceresi” aralığına işaret etmektedir. Şeyl gaz sistemleri için $\%VR$ değerinin $\%2.10$ 'dan büyük olması rezervuar tahribatına ve CO_2 riskine işaret etmektedir (Jarvie ve ark., 2004). Wang ve ark. (2019) ve Luo ve ark. (2020) eşitliklerine göre örnekler “gaz penceresi”nde yer almaktadır.

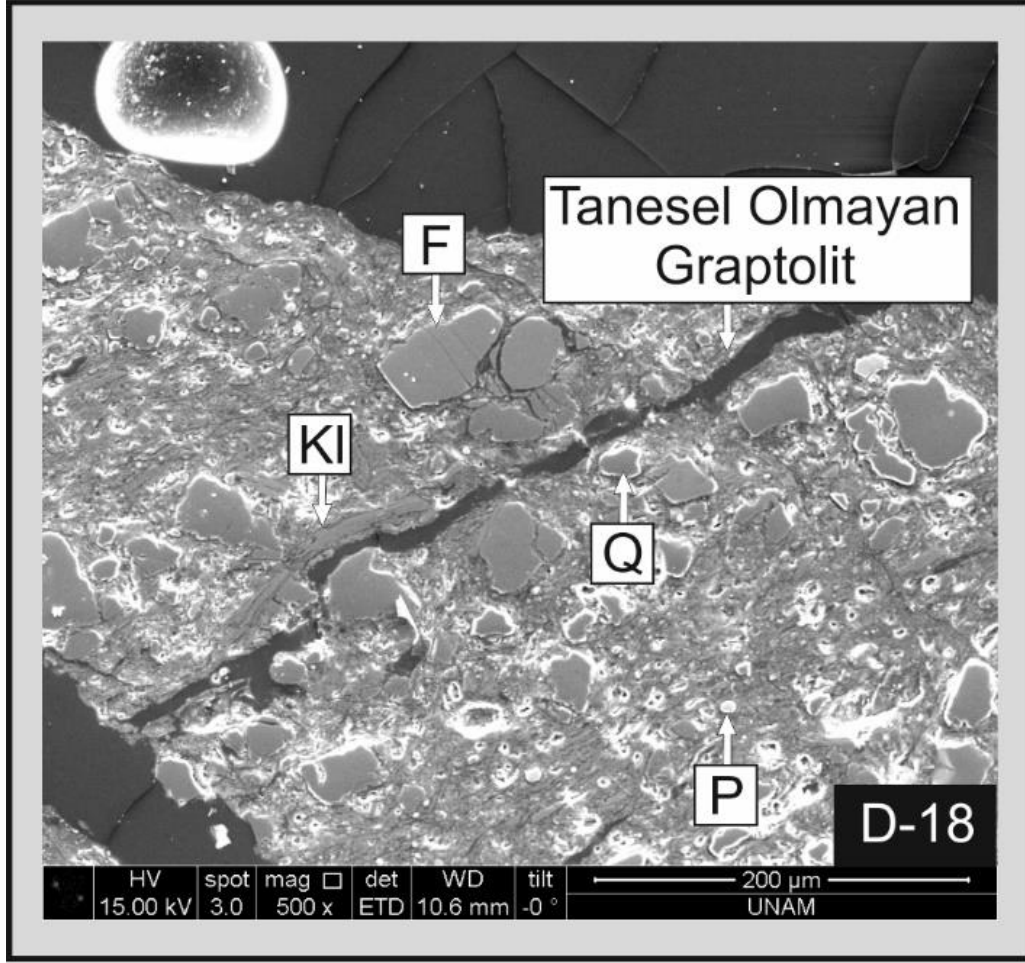
7.4.3. Diyarbakır-1 Kuyu Örnekleri

Diyarbakır-1 kuyu örnekleri, D-5 ve D-18 numaralı örneklerde gözlenen graptolitlerde $\%GR_r$ ölçümleri alınmıştır (Çizelge 7.19; Şekil 7.9). Örnekler, XRD tüm kayaç analizi sonuçlarına göre silisçe zengin killi çamurtaşı litolojisine sahiptir. Örneklerin litolojisi tanesol olmayan graptolit morfolojisi ile uyumludur. Tanesol olmayan graptolitlerin SEM görüntüsü Şekil 7.10'da verilmiştir.

Örneklerin termal olgunluğunun $\%1,00 \text{ VRE}_{gr}$ 'den düşük olması ile ilişkili olarak anizotropi gözlenmemiştir (Teichmüller, 1982). $\% \text{VRE}_{gr}$ dönüşümü için kullanılan eşitliklerden Bertrand (1990) ve Bertrand ve Malo (2012) ve Luo ve ark. (2020)'un işaret ettiği termal olgunluk petrol üretimi için “petrol penceresi”nde ve Dembicki (2009)' a göre gaz üretimi için “erken gaz penceresi”ndedir (Dembicki, 2009). Petersen ve ark. (2013) ve İnan ve ark. (2016) eşitliklerine göre örneklerin “erken petrol penceresi”nde olduğunu ancak gaz üretimi için ($<\%0.80 \text{ VR}$, olgunlaşmamış) yeterli olgunluğa ulaşmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 7. 9. D-5 numaralı kırıntı kuyu örneğinde taneselsel olmayan graptolit ve katı bitüm optik mikroskop görüntüsü ile histogram diyagramı (yağlı 50x objektif, $\% \text{GR}$ ölçümleri 50x objektif ile okunmuştur).



Şekil 7. 10. D-18 numaralı kırıntı kuyu örneği tanesol olmayan graptolit parçalarına ait SEM görüntüsü (F: Feldispat, KI: Klorit, P: Pirit, Q: Kuvars).

Çizelge 7. 19. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin %GRr ve hesaplanan %VRE_{gr} değerleri.

Örnek Adı	%GRr (Std.)	%VRE _{gr} ¹	%VRE _{gr} ²	%VRE _{gr} ³	%VRE _{gr} ⁴	%VRE _{gr} ⁵
D-5	0.80* (0.026)	0.89	0.78	0.74	0.64	0.87
n=50						
D-18	0.88* (0.030)	0.97	0.85	0.80	0.70	0.95
n=50						

* = %GRrandom değerlerini belirtmektedir.

¹= %VRE_{gr}=(10^[(Log₁₀GRr+0.04)/1.1]) (Bertrand, 1990)

²= %VRE_{gr}=(0.9376×%GRr)+0.0278 (Bertrand ve Malo, 2012)

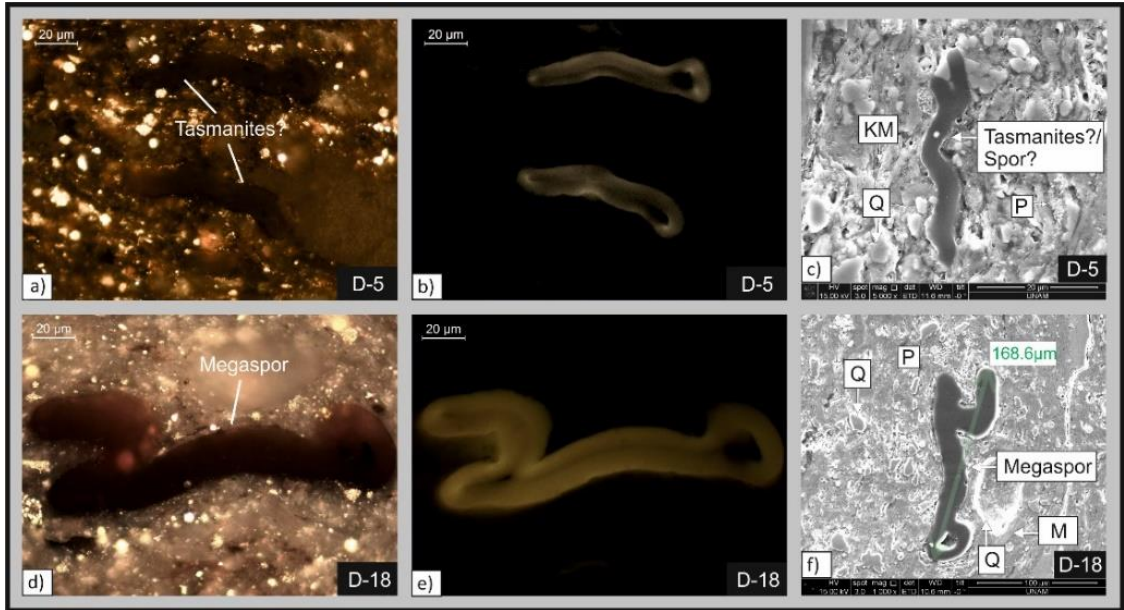
³= %VRE_{gr}=(0.73×%GR)+0.16 (Petersen ve ark., 2013)

⁴= %VRE_{gr}=(0.80×%GR) (İnan ve ark., 2016)

⁵= %VRE_{gr}=(0.99×%GR)+0.08 (Luo ve ark., 2020)

Diyarbakır-1 kuyu örneklerinde organik maddeye ek olarak, katı bitüm (solid bitümen) gözlenmiştir (Şekil 7.9). Örneklerin petrol penceresinde olması nedeniyle katı bitüm reflektans değerlerinin düşük miktarlarda gözlenmesi beklenmektedir (Bertrand and Heroux, 1982). D-5 ve D-18 numaralı örneklerde gözlenen katı bitümlerin ön görülen yaklaşık reflektans değeri %0.30'dur (Prof. Dr. Ali İhsan Karayığit sözlü görüşme, 2018).

Palinoloji çalışmaları sonucunda tespit edilen megaspor ve tasmanites? formları optik petrografi çalışmalarında da gözlenmiştir. Gözlenen formların yağlı objektif, floresans ve SEM görüntüsü Şekil 7.11'de verilmiştir.



Şekil 7. 11. Diyarbakır-1 kuyusu örneklerinde gözlenen Tasmanites? (a, b ve c) ve Megaspor (d, e ve f) formlarına ait optik mikroskop (yağlı 50x objektif) ve SEM görüntüsü.

7.4.4. Bismil-2 Kuyu Örnekleri

Bismil-2 kuyu örnekleri B-2-9 ve B-2-13 numaralı örnekler üzerinde optik petrografik çalışmalar yapılmıştır. Hazırlanan partlatma briketlerinde örneklerin sondaj çamuru tarafından kirlendiği tespit edilmiştir.

B-2-9 numaralı örnekte taneseli graptolit morfolojisi gözlenirken, B-2-13 numaralı örnekte taneseli olmayan graptolit gözlenmiştir (Şekil 7.12 ve Şekil 7.13). Önceki çalışmalarda graptolit morfolojisi kayaç matriksi ile ilişkilendirilmiştir (Goodarzi ve

Norford., 1987; Petersen ve ark., 2013). Örnekler, XRD tüm kayaç analizi sonuçlarına göre karışık killi çamurtaşı ve karışık çamurtaşı litolojisine sahiptir. B-2-9 ve B-2-13 numaralı örneklerin toplam karbonat miktarı sırasıyla %20.07 ve %25.25'tir. Sondaj çamuru tarafından kirlenen örneklerin XRD sonuçlarına göre (örnekler yerinde (in-situ) kabul edilirse) graptolit morfolojisinin kayaç matriksi ile arasında bir ilişki görülememiştir.

B-2-9 ve B-2-13 numaralı örneklerde ölçülen %GR_r ve hesaplanan %VRE_{gr} değerleri Çizelge 7.20'de verilmiştir. Hazırlanan örneklerin az miktarda graptolit içermesi, az sayıda ölçüm alınmasına neden olmuştur.

Çizelge 7. 20. Bismil-2 kuyu örneklerinin %GR_r ve hesaplanan %VRE_{gr} değerleri.

Örnek Adı	%GR _r (Std.)	%VRE _{gr} ¹	%VRE _{gr} ²	%VRE _{gr} ³	%VRE _{gr} ⁴	%VRE _{gr} ⁵
B-2-9	0.86* (0.005) n=5	0.95	0.83	0.79	0.69	0.93
B-2-13	0.83* (0.051) n=13	0.92	0.81	0.77	0.66	0.90

* = %GR_{random} değerlerini belirtmektedir.

¹= %VRE_{gr}=(10^[(Log₁₀GR_r+0.04)/1.1]) (Bertrand, 1990)

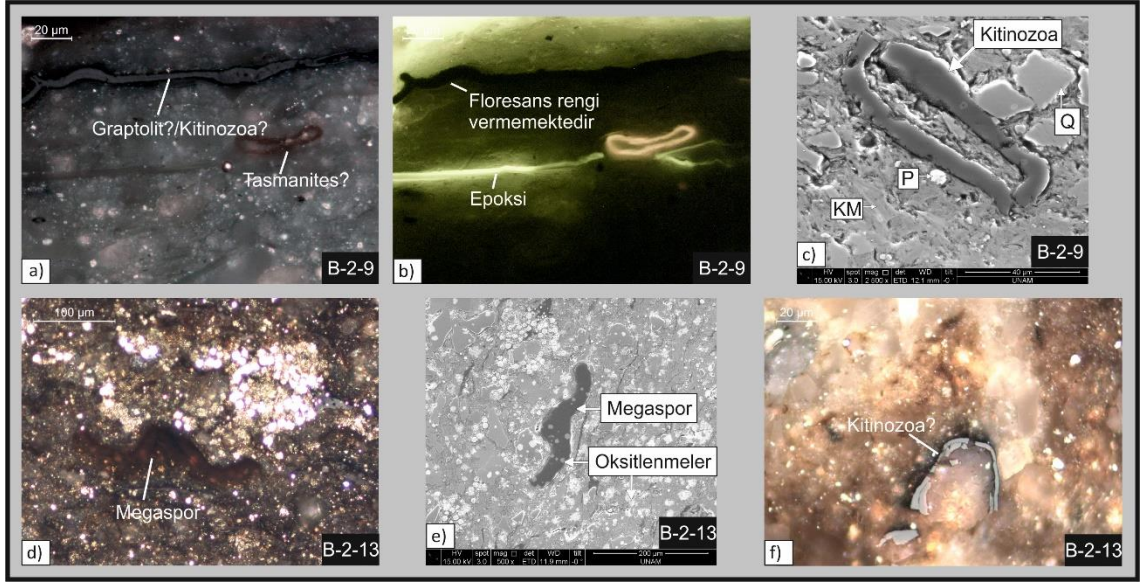
²= %VRE_{gr}=(0.9376×%GR_r)+0.0278 (Bertrand ve Malo, 2012)

³= %VRE_{gr}=(0.73×%GR_r)+0.16 (Petersen ve ark., 2013)

⁴= %VRE_{gr}=(0.80×%GR_r) (İnan ve ark., 2016)

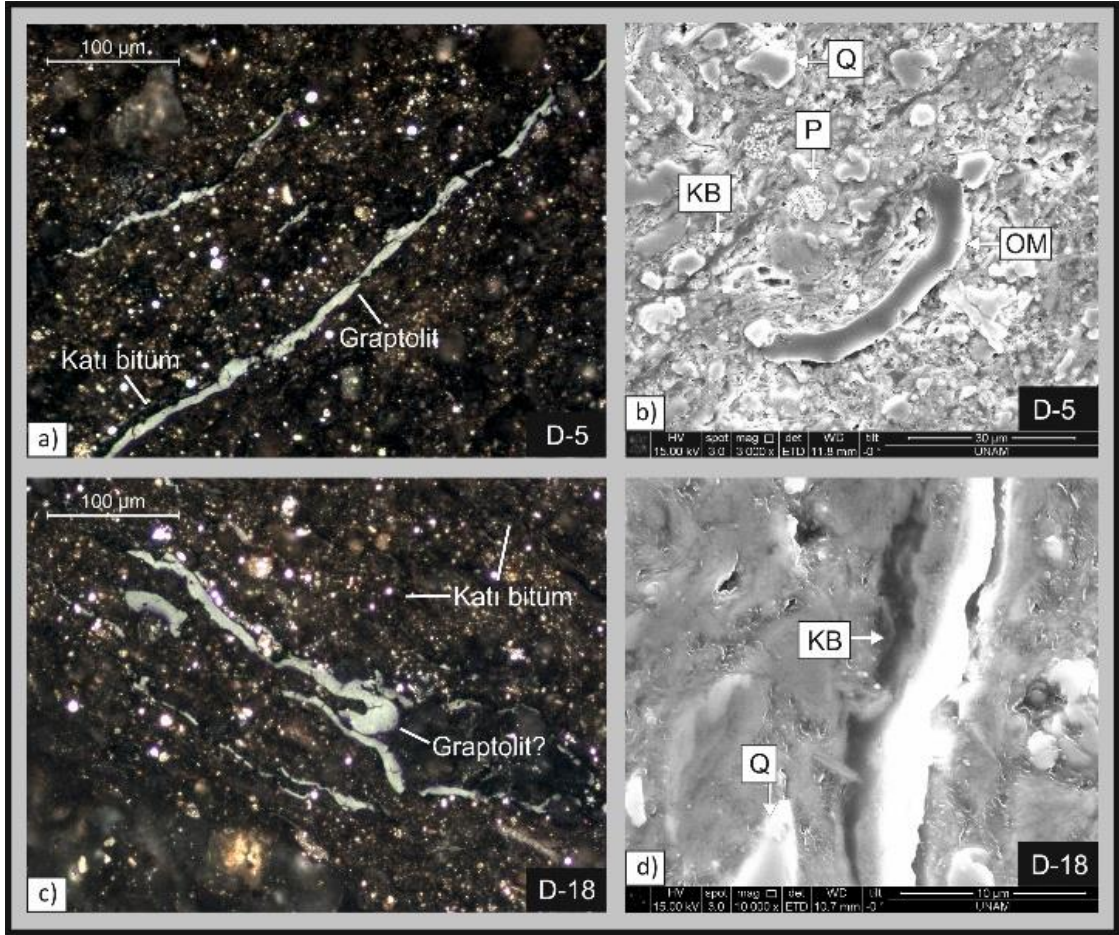
⁵= %VRE_{gr}=(0.99×%GR_r)+0.08 (Luo ve ark., 2020)

Örneklerin termal olgunluk seviyesinin <%1.00 VRE_{gr} olması nedeniyle graptolitlerde anizotropi gözlenmemiştir (Teichmüller, 1982). B-2-9 numaralı örneğe ait optik mikroskop görüntüsü ve histogram diyagramı Şekil 7.13'te verilmiştir. Bertrand (1990), Bertrand ve Malo (2012) ve Luo ve ark. (2020) eşitliklerine göre Bismil-2 kuyu örnekleri petrol üretimi için "petrol penceresi"nde, gaz üretimi için ise "erken gaz penceresi"nde yer almaktadır. Petersen ve ark. (2013) ve İnan ve ark. (2016) eşitliklerine göre Bismil-2 kuyu örnekleri petrol üretimi için "erken petrol penceresi" ve gaz üretimi için "olgunlaşmamış" düşük termal olgunluktadır (<%0.80 VR).



Şekil 7. 14. Bismil-2 kuyusu örneklerinde gözlenen tasmanites? (a, b ve c) ve megaspor (d, e ve f) formlarının optik mikroskop (yağlı 50x objektif) ve SEM görüntüleri.

Örneklerde organik madde bileşenlerine ek olarak katı bitüm gözlenmiştir (Şekil 7.15). Örneklerin petrol penceresinde olması nedeniyle katı bitüm reflektansı değerlerinin düşük değerlere sahip olması beklenmektedir (Bertrand and Heroux, 1982). Katı bitümlerin ön görülen yaklaşık reflektans değeri %0.40'dır (Prof. Dr. Ali İhsan Karayığit sözlü görüşme, 2018).



Şekil 7. 15. Bismil-2 kuyu örneklerinde gözlenen katı bitüm optik mikroskop (yağlı 50x objektif) ve SEM görüntüsü.

7.4.5. Bismil-1 Kuyu Örnekleri

B-1-1 ve B-1-4 numaralı örneklerde graptolit miktarı oldukça zengindir. Örneklerde tanesel graptolit morfolojisi gözlenmiştir (Şekil 7.16; Şekil 7.17). Bismil-1 kuyu örneklerinde %GR_r değerleri ve hesaplanan %VRE_{gr} değerleri Çizelge 7.21’de verilmiştir. Bertrand (1990), Bertrand ve Malo (2012) ve Luo ve ark. (2020) eşitliklerinden elde edilen VRE_{gr} değerleri, petrol üretimi için “petrol penceresi”ne, gaz üretimi için ise “erken gaz penceresi”ne karşılık gelmektedir. Petersen ve ark. (2013) ve İnan ve ark. (2016) eşitliklerine göre ise örneklerin petrol üretimi için “erken petrol penceresi” ve gaz üretimi için “olgunlaşmamış” düşük termal olgunluk (<%0.80 VR) derecesini belirtmektedir (Çizelge 7.21).

Çizelge 7. 21. Bismil-1 kuyu örneklerinin %GR_r ve hesaplanan %VRE_{gr} değerleri.

Örnek Adı	%GR _r (Std.)	%VRE _{gr} ¹	%VRE _{gr} ²	%VRE _{gr} ³	%VRE _{gr} ⁴	%VRE _{gr} ⁵
B-1-1	0.76* (0.027) n=50	0.85	0.74	0.71	0.61	0.83
B-1-4	0.72* (0.026) n=50	0.81	0.70	0.69	0.58	0.79

* = %GRrandom değerlerini belirtmektedir.

¹= %VRE_{gr}=(10^[(Log₁₀ GR_r+0.04)/1.1]) (Bertrand, 1990)

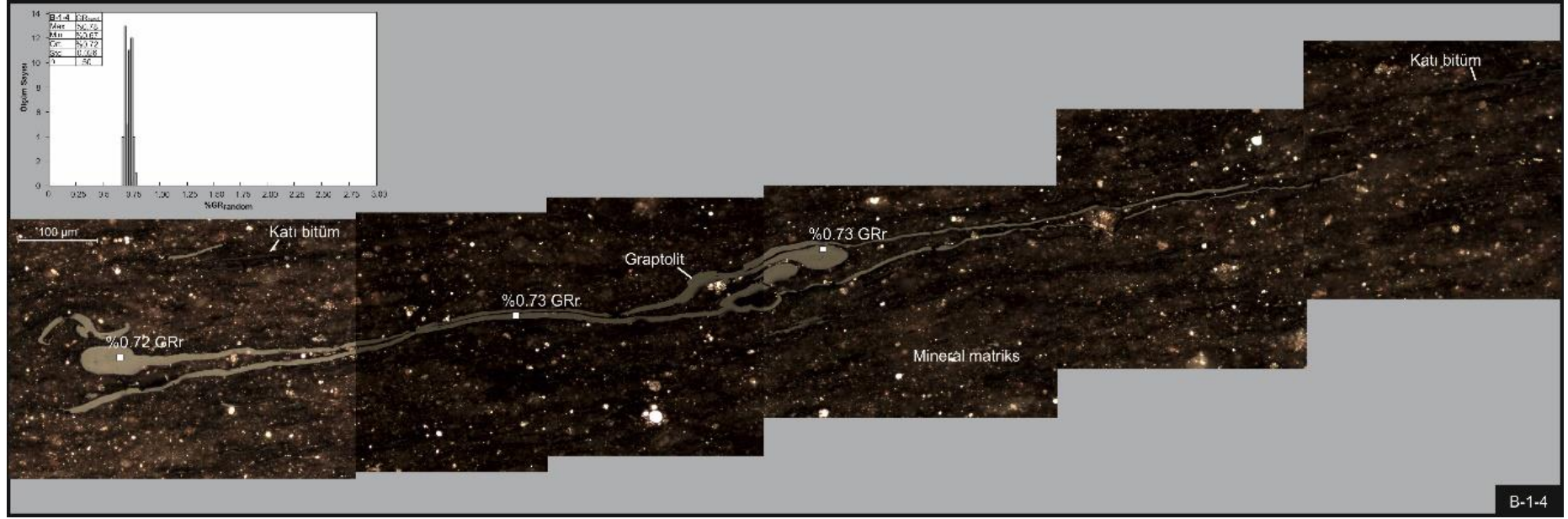
²= %VRE_{gr}=(0.9376×%GR_r)+0.0278 (Bertrand ve Malo, 2012)

³= %VRE_{gr}=(0.73×%GR)+0.16 (Petersen ve ark., 2013)

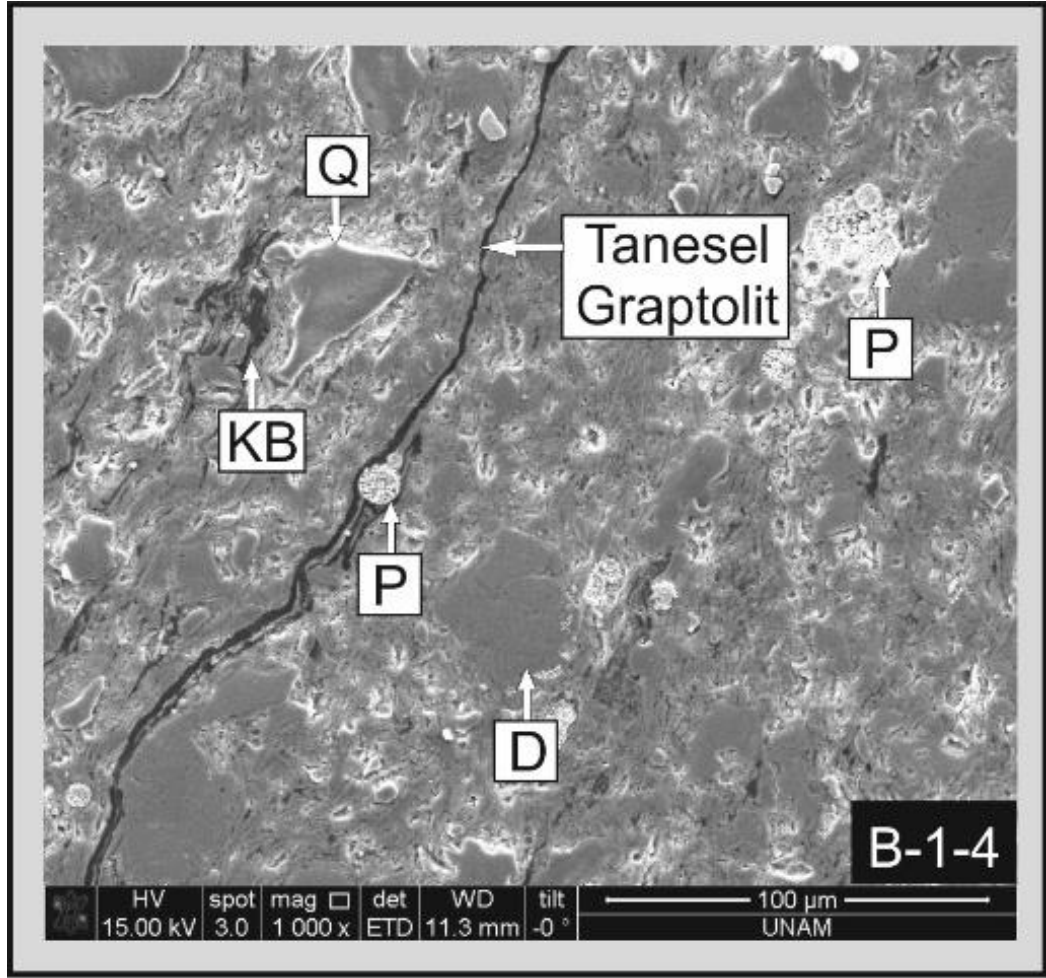
⁴= %VRE_{gr}=(0.80×%GR) (İnan ve ark., 2016)

⁵= %VRE_{gr}=(0.99×%GR)+0.08 (Luo ve ark., 2020)

Graptolitlerin düşük H içeriği nedeniyle floresans özelliğinin zayıf hatta bulunmadığı bilinmektedir (İnan ve ark., 2016; Schmidt Mumm ve İnan, 2016). Dadaş Formasyonu graptolit kavkısının floresans ışık altındaki görüntüsü Şekil 7.18'de verilmiştir.

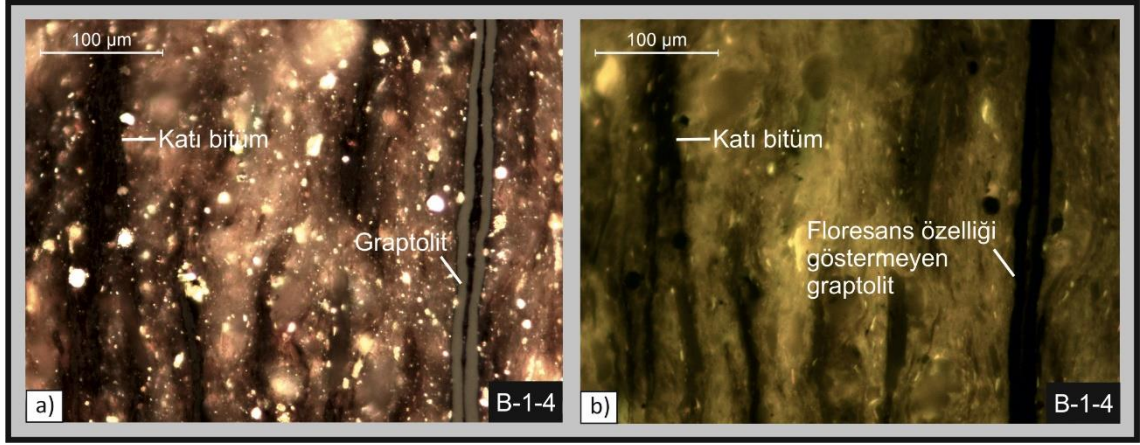


Şekil 7. 16. B-1-4 numaralı karot kuyu örneğinin tanesal graptolit parçasına ait optik mikroskop görüntüsü ile histogram diyagramı (yağlı 20x objektif, %GR ölçümleri, 50x objektif ile okunmuştur).



Şekil 7. 17. B-1-4 numaralı kuyu örneği tanesel graptolit parçalarına ait SEM görüntüsü (D: Dolomit, KB: Katı bitüm, P: Pirit, Q: Kuvars).

Bismil-1 kuyu örneklerinde organik madde bileşenlerine ek olarak katı bitüm gözlenmiştir (Şekil 7.19). Örneklerin petrol penceresinde olması nedeniyle katı bitüm reflektans değerleri düşük gözlenmektedir (Bertrand and Heroux, 1982). Katı bitümlerin ön görülen yaklaşık reflektans değeri %0.25'dir (Prof. Dr. Ali İhsan Karayığit sözlü görüşme, 2018).



Şekil 7. 18. Bismil-1 kuyu örneklerinde gözlenen katı bitüm ve graptolit parçasının optik mikroskop ve floresans görüntüsü (yağlı 50x objektif).

7.5. Graptolitlerin Raman Spektroskopisi

Organik maddenin termal olgunluğunu belirlemek için kullanılan yöntemlerden biri de Raman spektroskopisi yöntemidir. Bu yöntem hızlı sonuç vermesi, ekonomik olması ve çoğunlukla özel bir örnek hazırlama aşaması gerektirmediğinden tercih edilmektedir (Beyssac ve Lazzeri, 2012).

Karbonlu malzemeler üzerinde karbonun yapısı hakkında bilgi edinmek için Raman spektrometresi kullanılmaktadır (Ferrari ve Robertson, 2000; Reich ve Thomsen, 2004; Keown ve ark., 2007; Ammar ve ark., 2015; Khabiti ve ark., 2018). Buna ek olarak son yıllarda Raman spektrometresinden elde edilen değerler ile olgunluk arasındaki ilişkinin tespit edilmesine yönelik çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Kelemen ve Fang, 2001; Romero-Sarmiento ve ark., 2014; Schmidt Mumm ve İnan, 2016; Khatibi ve ark., 2018; Morga ve Pawlyta, 2018).

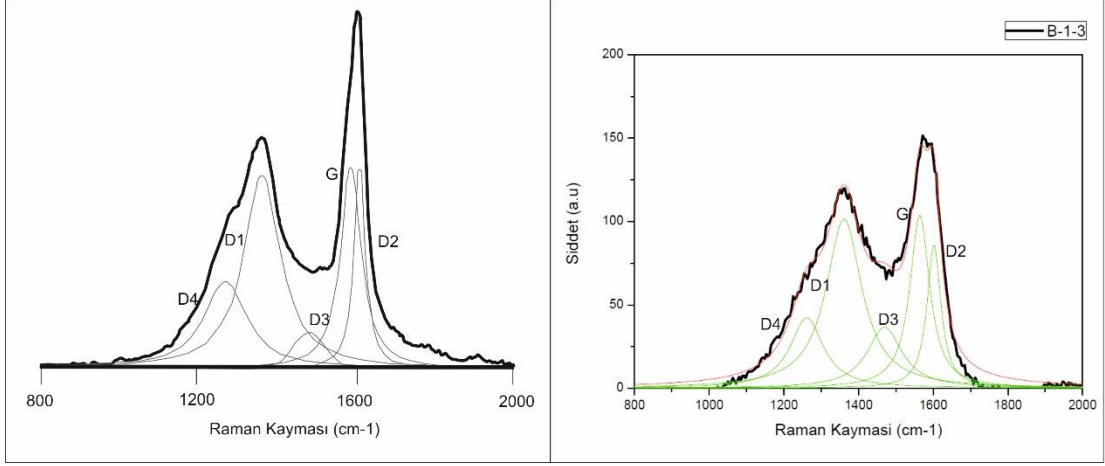
Beyssac ve Lazzeri (2012) şeyl içindeki karbonlu malzemenin başlangıçta hidrokarbonlar ile bağlantılı çeşitli makro boyutlarda moleküllere sahip olduğunu ifade etmektedir. Organik maddenin termal olgunluğu yükseldikçe aromatik halkalı yapılar artarken, H, O, N ve S içeriği indirgenmeye başlamaktadır (Tissot ve Welte, 1984). Metamorfizma sırasında kerojen içindeki hidrokarbonlar açığa çıkmaya başladığında, geriye kalan aromatik karbonlar grafitte dönüşmektedirler (Beyssac ve Lazzeri, 2012). Termal olgunluk arttıkça kerojenin moleküler

yapısındaki değişim Raman çıktılarında kolaylıkla ayırt edilmektedir (Emmanuel ve ark., 2016).

Graptolitlerin, alifatik gruplarla birlikte aromatik moleküllerin bir bileşimi oldukları bilinmektedir (Bustin ve ark., 1989). Ancak günümüzde graptolit kavkılarının mikroyapılarını detaylı bir şekilde ortaya koyan bir çalışma yapılmamıştır (Morga ve Pawlyta, 2018). Fakat H açısından fakir içerikteki graptolitlerin floresans özelliklerinin oldukça zayıf ya da hiç bulunmadığı bilinmektedir (İnan ve ark., 2016; Schmidt Mumm ve İnan, 2016) (Bkz. Bölüm 7.4.5, Şekil 7.19). Bu nedenle araştırmacılar tarafından graptolitlerin floresans özelliğinin bulunmayışı, olgunlukla ilişkili görülmemektedir.

Kerojenin Raman spektrometresi, majör ve minör bant değerleri vermektedir (Cesare ve Maineri, 1999). Minör bant değerleri üzerinde çalışmalar henüz devam etmektedir (Beyssac ve ark., 2003). Bu değerlerin zayıf düzene sahip karbonlara ait olduğu düşünülmektedir ve sırasıyla 1150, 1350, 1500, 1620 cm⁻¹ Raman kaymasında izlenmektedir. Sadezky ve ark. (2005)'e göre karbon bant değerleri D1, D2, D3, D4 ve G olmak üzere sırasıyla 1350, 1620, 1500, 1200 ve 1580 cm⁻¹ raman kaymalarında gözlenmektedir. Morga ve Pawlyta (2018) alışmasındaki graptolit kalıntısına ait major ve minör bant değerleri Şekil 7.19 a'da verilmiştir. Bu alışma kapsamında alınan B-1-3 numaralı örnekte gözlenen graptolite ait majör, minör bantları ile ilksel bant değerini gösteren Lorentzian ve Gaussian bant pozisyonları Şekil 7.19 b'de hesaplanmıştır.

Major bant değerleri, organik madde üzerinde iki temel bant değeri vermektedir. Bu bant değerleri, D (disorder graphite) ve G (graphite) bantları olarak tanımlanmıştır (Marshall ve ark., 2010; Schito ve ark., 2017; Morga ve Pawlyta, 2018). Bu çalışmada graptolit kavkılarına ait majör bant değerleri dikkate alınmıştır.



Şekil 7. 19. a) Bir graptolit kavkısının temsili Raman spektrumu (excitation line $\lambda_0=514$ nm, Morga ve Pawlyta, 2018'den alınmıştır). b) B-1-3 numaralı örneğe ait graptolit kavkısının Raman spektrumu (excitation line $\lambda_0=532$ nm).

Raman kaymasında grafitleşmeye işaret eden G bandı, çeşitli araştırmacılar tarafından çeşitli keskin piklerde tanımlanmıştır. Bu pik değeri, Beyssac ve Lazzeri (2012) tarafından 1580cm^{-1} , Morga ve Pawlyta (2018) tarafından 1590cm^{-1} ve Khatibi ve ark. (2018) tarafından 1600cm^{-1} Raman kaymasında okunmaktadır.

D bandı ise dar bir pik şiddetinde, atomların düzensiz olduğu bileşimleri temsil etmektedir. Raman kaymasında D bandı 1350cm^{-1} civarında gözlemlenmektedir (Beyssac ve Lazzeri 2012; Khatibi et al., 2018). Schmidt Mumm ve İnan (2016) D pikini 1320 ile 1360cm^{-1} aralığında değerlendirmişlerdir. D pikinin gözlenmediği durumlarda, 2700cm^{-1} raman kaymasında 2D bandı kullanılmaktadır (Beyssac ve Lazzeri, 2012).

Organik maddede gözlenen D ve G bantları, çeşitli araştırmacılar tarafından detaylı olarak araştırılmıştır. Khabiti ve ark. (2018)'e göre G bandı ile olgunluk arasında bir ilişki bulunmamaktadır. D bandı ise olgunluk parametreleri ile anlamlı ve negatif bir korelasyona sahiptir.

G-D bandının ayırım değeri de olgunluk değerlendirmeleri için önemli bir parametredir. G-D bant ayırım değeri arttıkça, olgunluk seviyesinin yükseldiği belirtilmektedir (Ostadhassan ve ark., 2018). Araştırmacılara göre, G-D bant

ayırım değeri, diğer parametrelere göre daha güvenilir olgunluk derecelerine işaret etmektedir (Liu ve ark., 2013; Schmidt Mumm ve İnan, 2016).

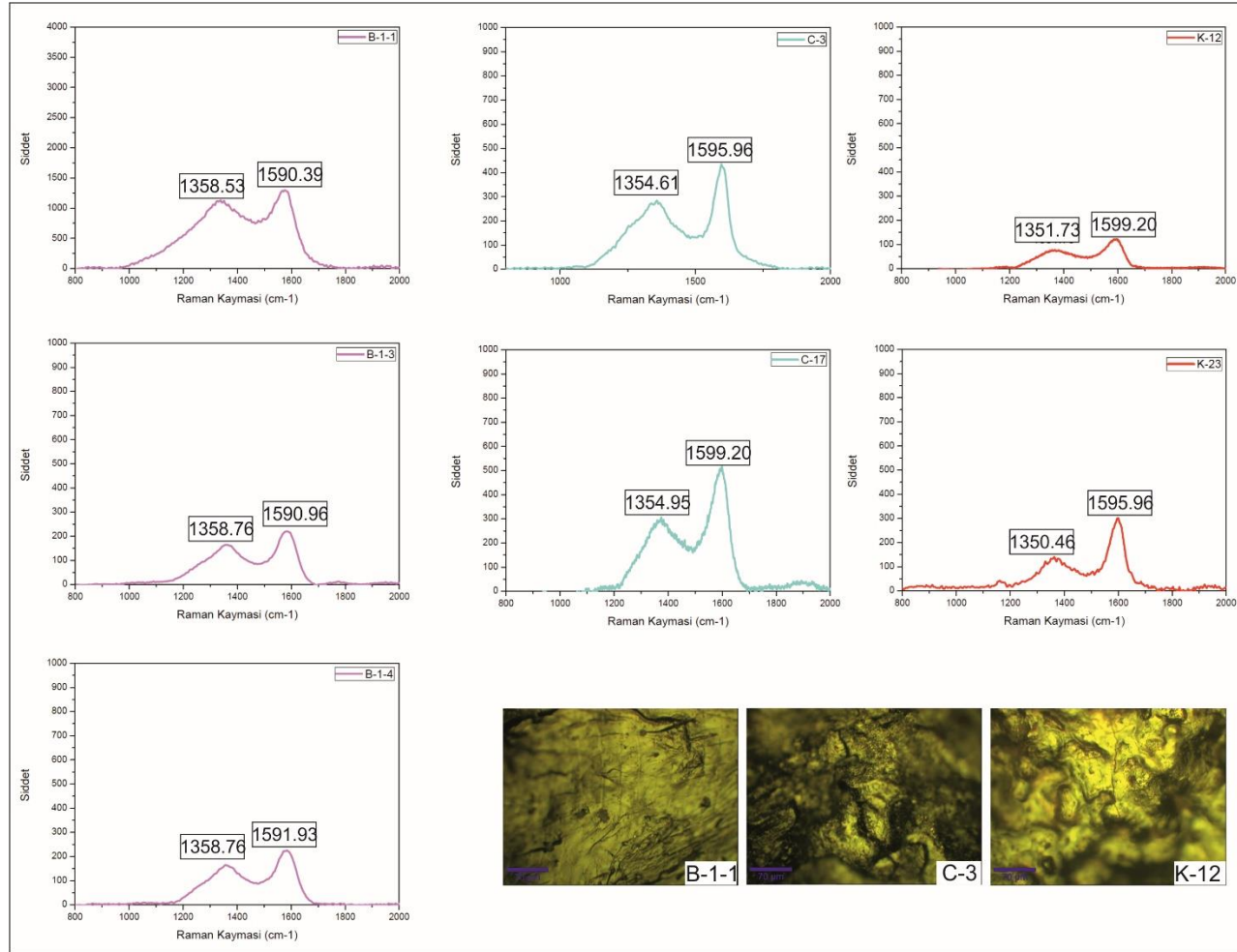
Bu çalışmada Çat ve Çermik ÖSK örnekleri ile Bismil-1 kuyu örneklerinde gözlenen makro büyüklükteki graptolitler üzerinde Raman spektroskopisi analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.20). D, G bandı ve G-D bant ayrımı değerleri Çizelge 7.22’de ve elde edilen Raman kayması grafikleri ile tipik graptolit kavkısı görüntüleri ise Şekil 7.20’de verilmiştir.

Dadaş Formasyonu graptolit kavkılarında okunan Raman kayması değerleri örneklerin termal olgunluğu hakkında bilgi vermektedir. Graptolitlerin Raman spektrometresi sonuçlarının D bandı değerleri, Çermik, Çat ve Bismil-1 kuyu örneklerinde olgunluk arttıkça düşmektedir. G-D bant ayrımı ise 231.86 ile 245.50 cm^{-1} aralığında değişmektedir.

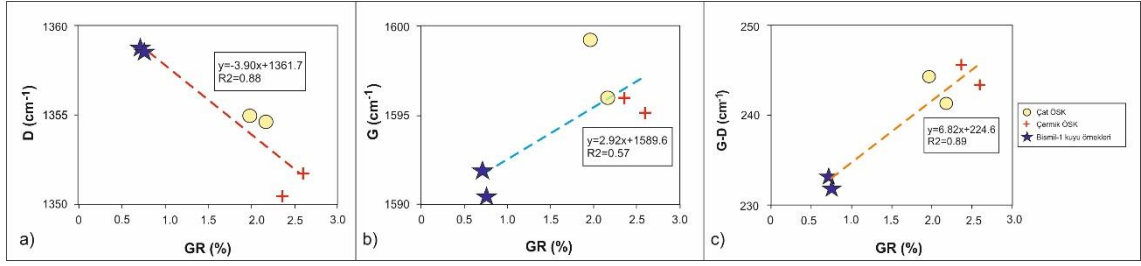
Çizelge 7. 22. Dadaş Formasyonu graptolitlerinin Raman spektrometresi sonuçları.

	Örnek	D bandı	G bandı	G-D
	Adı	(cm^{-1})	(cm^{-1})	(cm^{-1})
Termal Olgunluk Artıyor	B-1-1	1358.53	1590.39	231.86
	B-1-3	1358.76	1595.96	237.20
	B-1-4	1358.76	1591.93	233.17
	C-3	1354.61	1595.96	241.35
	C-17	1354.95	1599.20	244.25
	K-12	1351.73	1595.11	243.38
	K-23	1350.46	1595.96	245.50

Organik petrografik çalışmalar sonucunda elde edilen GR (%) değerlerine karşılık D ve G bant değerleri grafikleri Şekil 7.21’de verilmiştir. D bandı değerleri ile termal olgunluğun negatif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. G bandı değerlerinin önceki çalışmalarda örnekler için ayırt edici olmadığı belirtilmektedir. Dadaş Formasyonu örneklerinin G bandı değerlerinde yüksek güvenilirlikte anlamlı pozitif korelasyon tespit edilememiştir ($R^2=0.57$). G-D bant ayrımı ise GR (%) değerleri ile anlamlı pozitif korelasyona sahiptir (Şekil 7.21 c). Olgunluk arttıkça G-D bant ayrımı değerleri de artmıştır.



Şekil 7. 20. Dadaş Formasyonu graptolit kavkılarında gözlenen Raman kaymaları (Çat yüzey örnekleri: C; Çermik yüzey örnekleri: K; Bismil-1 kuyu örnekleri: B-1).



Şekil 7. 21. D, G bandı ve G-D bant ayrımı değerlerine karşılık GR (%) değerleri.

Yüksek D bandı değerleri ve düşük G-D bant ayrımı ile Bismil-1 kuyu örneklerinin, Çat ve Çermik örneklerine göre düşük termal olgunluğa sahip olduğu gözlenmektedir. Çat ÖSK ait graptolit kavkılarında ise Çermik örneklerine benzer biçimde daha düşük D bant değerleri gözlenmektedir. Graptolitlerde Raman spektrometresi sonuçlarına göre Dadaş Formasyonu örneklerinin termal olgunluğu birbirlerine göre değerlendirildiğinde düşükten yükseğe sırasıyla Bismil-1 kuyu örnekleri, Çat ve Çermik yüzey örnekleridir. Raman spektroskopisinden elde edilen sonuçlar, Bölüm 7’de elde edilen sonuçların tümüyle uyumludur.

8. POROZİTE ÇALIŞMALARI

8.1. Giriş

Şeyl petrol ve şeyl gaz sistemlerinin üretimini kontrol eden en önemli faktörler, şeylin porozite ve permeabilite değerleridir (Jarvie, 2012a). Termal olgunluk ile organik madde içinde miktarı artan gözeneklerin (Chen ve ark., 2016), diyajenetik süreçlerle gelişen mineraller ve matriks gözenekleri ile çatlaklar, hidrokarbon birikimi ve akışında önemli rol oynamaktadırlar (Curtis ve ark., 2012; Zhang ve ark., 2019).

Şeylin heterojen yapısı, ankonvansiyonel sistemlerin birbirinden bağımsız karakteristiklere sahip olmasına neden olmaktadır (Curtis ve ark., 2010, 2012). Bu nedenle araştırmacılar aynı şeylin farklı lokasyonlardaki mikro ve nano özelliklerinin değişkenliğine özellikle dikkat çekmişlerdir (Curtis ve ark., 2010, 2012; Passey ve ark., 2010; Romero-Sarmiento ve ark., 2014).

Şeylin mikro boyuttaki karakteristiklerinin belirlenebilmesi için kullanılan yöntemler doğrudan ve doğrudan olmayan yöntemler olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır (Sondergeld ve ark., 2010). Doğrudan sonuç veren yöntemler, şeylin çoğunlukla ilksel halinin korunduğu görsel porozite tayinini kapsayan yöntemlerdir. Görsel yöntemler ile şeyl içindeki nano ve mikro boyutlu gözeneklerin iki boyutlu gözlenmesi mümkün olmaktadır. Fakat bu yöntemler, örnek üzerinde çeşitli yapay dokulara sebep olabileceği gibi (Loucks ve ark., 2012) organik maddenin termal olgunluğunda da artışa neden olabilmektedir (Arango, 2019). Dolaylı porozite yöntemleri ise birbirleriyle bağlantılı gözenek boşluklarının sıvı veya gaz enjeksiyonu aracılığıyla ölçüldüğü analiz yöntemleridir. Bunlar; Cıva Porozimetresi (MCIP), Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) vb. gibi tekniklerdir. Bu yöntemler, şeyl içindeki por boyutlarını detaylı araştırmaya imkan verebilmesine rağmen şeylin mikroyapısı ile ilgili görsel bir detay sunmadığından ankonvansiyonel kaynak potansiyelini araştıran çalışmalarda tek başına yeterli görülmemektedir (Curtis ve ark., 2010).

Bu çalışmada Dadaş Formasyonu'nun porozite değerlendirmeleri, Rock-Eval kaynaklı organik porozite hesaplamaları, cıva porozimetresi ve SEM yöntemleri ile incelenmiştir.

8.2. Cıva Porozimetresi Analizi

Petrol endüstrisinde oldukça geleneksel bir yöntem olan Cıva Porozimetresi (MCIP-Mercury Injection Capillary Pressure) metodu, rezervuar kayaçların toplam porozite miktarını tayin etmek için kullanılmaktadır (Comisky ve ark., 2011). MCIP yöntemi ile özellikle gözenek büyüklük dağılımının (PSD) belirlenmesi, şeyl içindeki sıvı ve gaz depolanmasını ve akışını kontrol etmesi nedeniyle büyük önem taşımaktadır (Curtis ve ark., 2012; Zhang ve ark., 2019). Cıva porozimetresi, gözenek ve PSD belirlemek için kullanılan standart bir metottur (Josh ve ark. 2012; Wüst ve ark., 2013). Fakat yüksek basınç altında gerçekleştirilen MCIP, NMR (Nükleer Manyetik Rezonans, N₂ adsorpsiyonu vb. metotlar, şeyl içindeki doğal gözeneklerin tahribine neden olabilmektedir (Bustin ve ark., 2008; Zhang ve ark., 2017, 2019).

Şeyl petrol ve şeyl gaz rezervuarlarının porları/gözenekleri ve nano/mikro boyutlarında değişkenlik gösteren büyüklükleri oldukça geniş bir aralığa sahiptir (Anovitz ve Cole, 2015). Şeylin kırılğan yapıya sahip olması yüksek basınç altında doğal olmayan gözenek veya çatlaklara da neden olabilmektedir (Zhang ve ark., 2019). Fakat düşük basınç altında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen gözeneklerin boyutları makro gözenekleri kapsamaktadır. Yüksek basınç MCIP analizi ile şeyl içindeki 4 nm (0.004 µm) ile 10000 nm (10 µm) boyutlarında birbiriyle bağlantılı gözenekler tespit edilmektedir. Bu çalışma kapsamında 12 adet Dadaş Formasyonu örneğine ait MCIP sonuçları Çizelge 8.1’de verilmiştir.

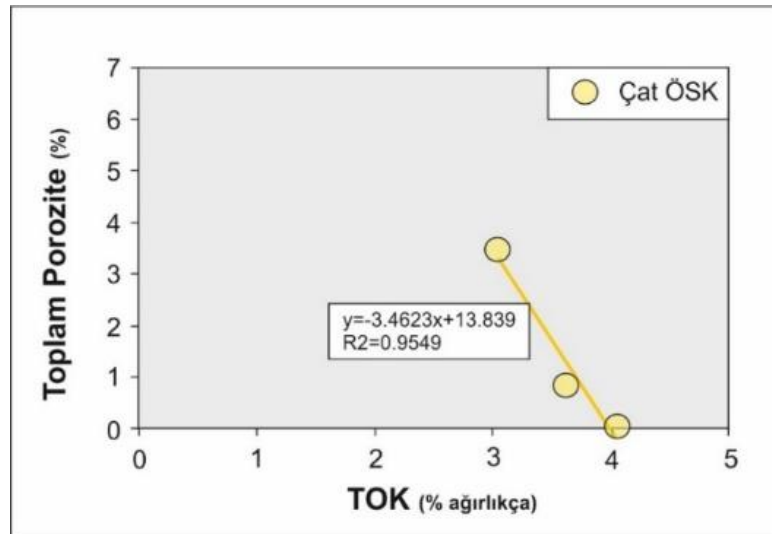
Önceki çalışmalarda şeyle ait gözenek boyutlarının büyüklüklerine göre gözenekler; 2 nm’den küçük mikropor, mezopor ve 50 nm’den büyük olanlar ise makropor olmak üzere sınıflandırılmıştır (Rouquerol ve ark., 1994). Büyük gözenekler serbest petrol için başlıca saklama alanı sağlarken, adsorbe petrol için küçük boyutlu gözenekler ana depolanma alanlarını oluşturmaktadır (Li ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2019). MCIP analizi ile PSD hacmi Dadaş Formasyonu şeyl örnekleri için incelenmiştir.

Önceki çalışmalarda şeylin sahip olduğu toplam porozite miktarı ile organik madde içeriği ile ilişkisi araştırılmıştır (Harris ve Dong, 2013; Cao ve ark., 2015). Bu çalışmada ise MCIP analizden elde edilen toplam porozite değerleri ile TOK (% , ağırlıkça) miktarı arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Çizelge 8. 1. MCIP analizi interpartikül, intrapartikül ve toplam porozite sonuçları.

Örnek Adı		TOK (%, ağırlıkça)	İntrapartikül (%)	İnterpartikül (%)	Toplam Porozite (%)
ÇAT	C-3	3.05	3.47	0.00	3.47
	C-17	3.63	0.83	0.00	0.83
	C-24	4.06	0.03	0.00	0.03
ÇERMİK	K-12	3.04	3.81	0.00	3.81
	K-23	2.31	2.30	0.24	2.54
	K-35	2.18	6.32	0.00	6.32
DİYAR-BAKIR-1	D-5	3.56	4.23	1.06	5.29
	D-9	7.51	3.34	0.08	3.42
	D-18	2.17	5.70	0.00	5.70
BİSMİL-1	B-1-1	2.81	0.93	0.00	0.93
	B-1-3	2.9	0.28	2.32	2.60
	B-1-4	4.49	0.09	0.00	0.09

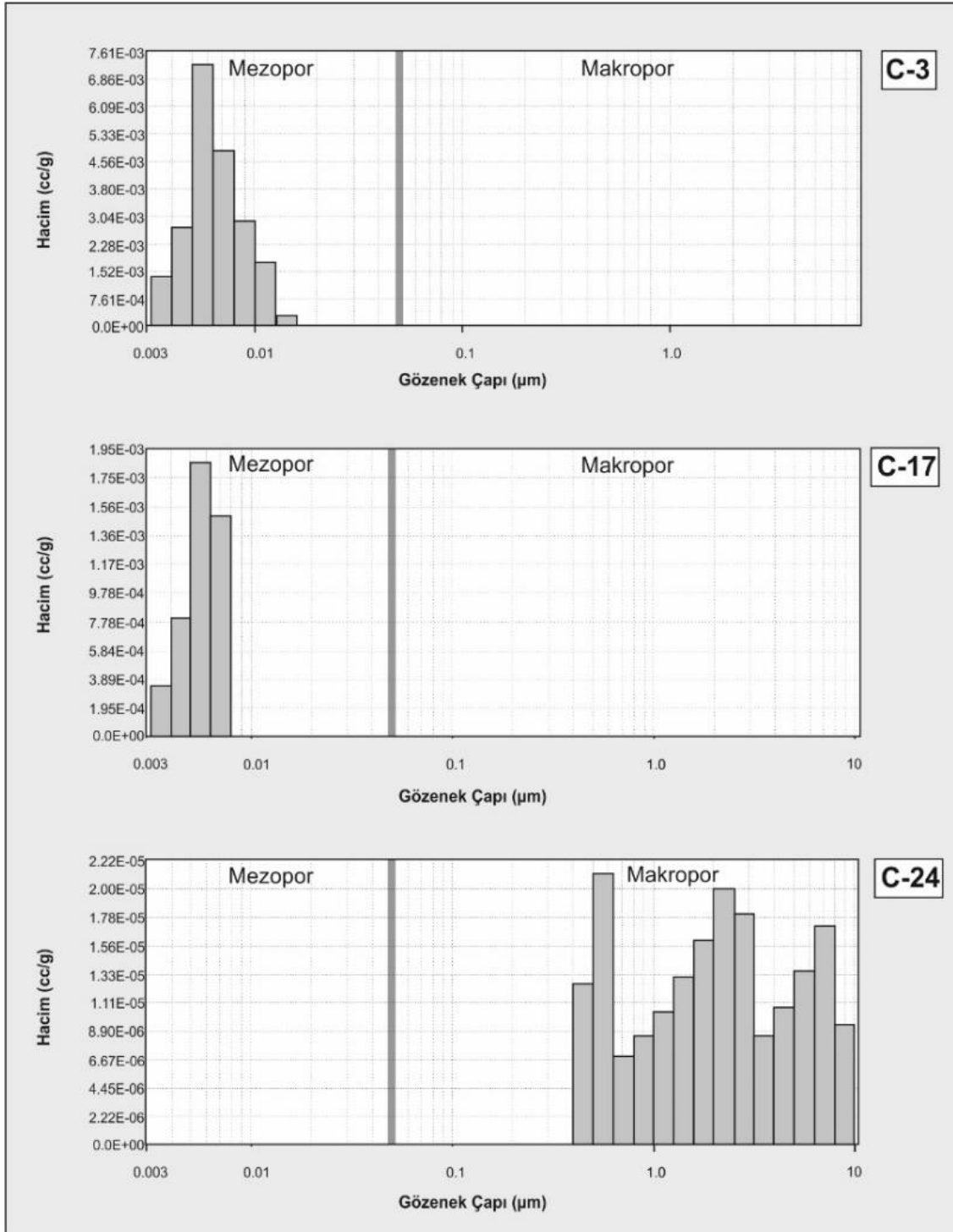
Çat ÖSK örneklerinin %intrapartikül sonuçlarına göre toplam porozite değeri elde edilmiştir. Çat ÖSK örneklerinin MCIP sonuçlarına karşılık TOK (% ağırlıkça) grafiği Şekil 8.1'de verilmiştir. Şekil 8.1'de görüleceği üzere yüzde porozite miktarı ile TOK miktarı arasında negatif bir korelasyon bulunmaktadır ($R^2=0.95$).



Şekil 8. 1. Çat ÖSK toplam porozite (%) değerlerine karşılık TOK değerleri grafiği.

Çat ÖSK örneklerinin yüksek basınç altında elde edilen PSD histogramları Şekil 8.2'de verilmiştir. C-3 numaralı örneğin gözenek çapları 3 nm ile 15 nm arasında değişmektedir. Çat ÖSK örnekleri içinde C-17 numaralı örnek en küçük boyutlarda gözenek çapına sahiptir. Gözenek çapının boyutları 3 nm ile 8 nm arasında değişmektedir. C-3 ve C-17 numaralı örneklerdeki gözenekler

mezoporlardan oluşmaktadır. C-24 numaralı örnekte ise oldukça düşük miktarda (%0.03) sadece makropor tespit edilmiştir.

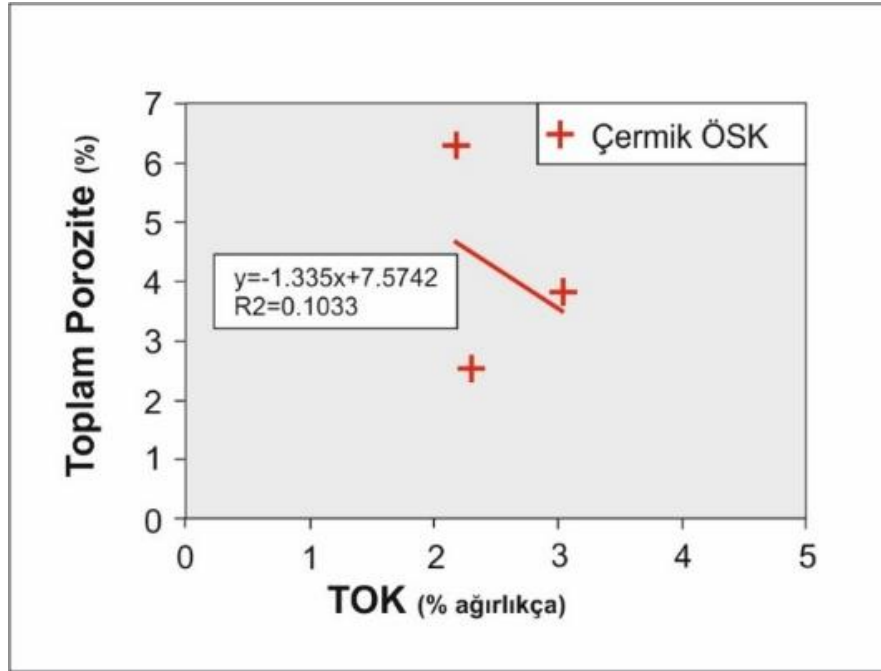


Şekil 8. 2. Çat ÖSK örneklerinin gözenek büyüklük dağılımı (PSD).

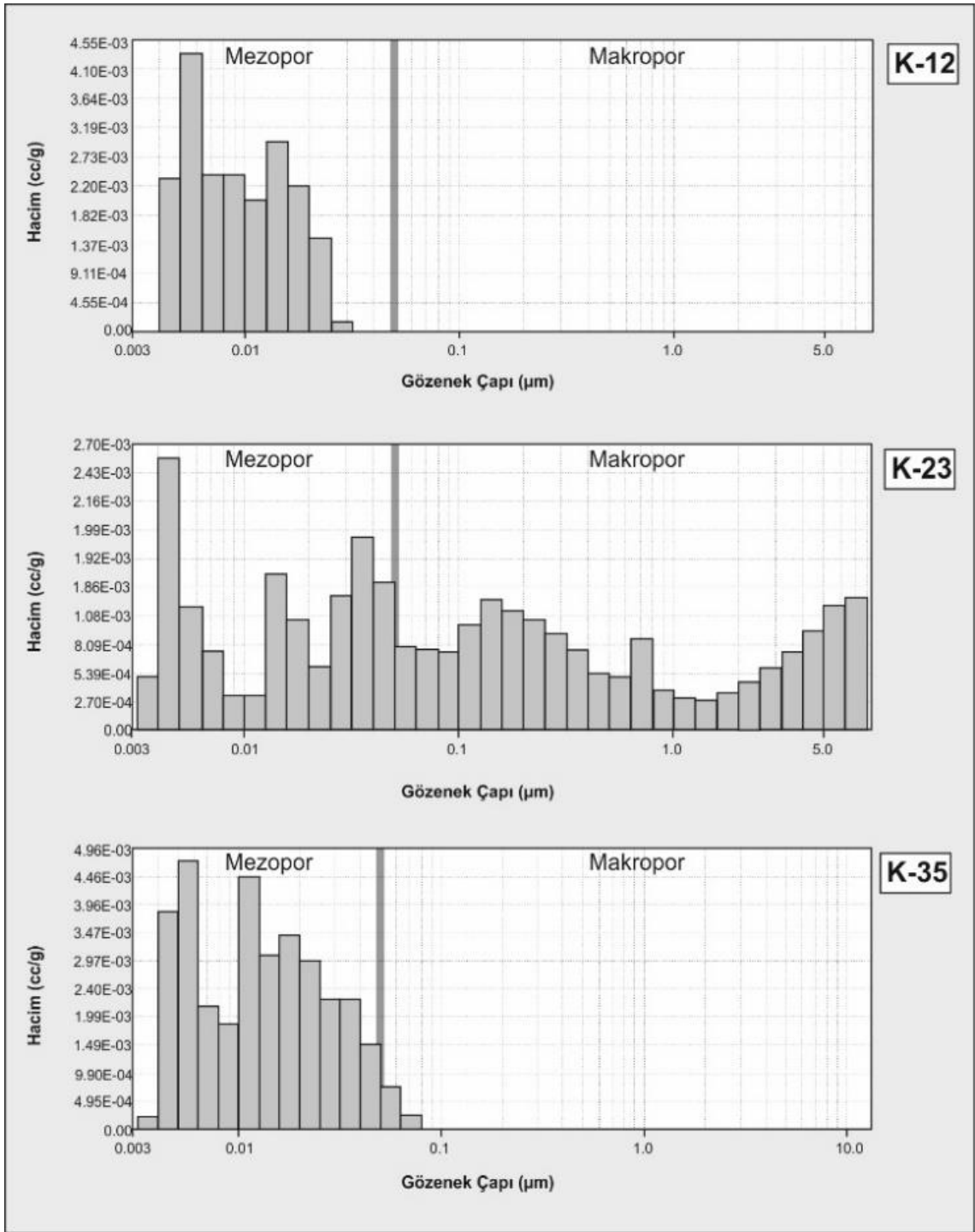
Çermik ÖSK örneklerinin K-23 numaralı örnek haricinde interpartikül porozitesine ulaşamamıştır. Toplam porozite miktarı %2.54-6.32 arasındadır. Çermik ÖSK

örneklerinin MCIP sonuçlarına karşılık TOK (% ağırlıkça) grafiği ve Şekil 8.v3'te verilmiştir. Şekil 8. 3'te görüleceği üzere yüzde porozite miktarı ile TOK miktarı arasında oldukça zayıf negatif bir korelasyon bulunmaktadır ($R^2=0.10$).

Çermik ÖSK örneklerinin PSD Şekil 8. 4'te verilmiştir. K-12 numaralı örnekte boyutları 4 nm ile 30 nm arasında değişen mezoporlar tespit edilmiştir. K-23 numaralı örneğin sahip olduğu gözenek büyüklükleri oldukça geniş bir aralıkta gözlenmektedir. Örnekte tespit edilen gözenek çapları 3 nm ile 8 µm arasında değişmektedir. K-23 numaralı örnekte mezoporların kısmen hakim olduğu görülmektedir. K-35 numaralı örnekte makroporlar oldukça az gözlenmiştir. Hakim gözenek büyüklüğü mezoporlardan oluşmaktadır ve gözenek çapları 3 nm ile 80 nm arasında değişmektedir.

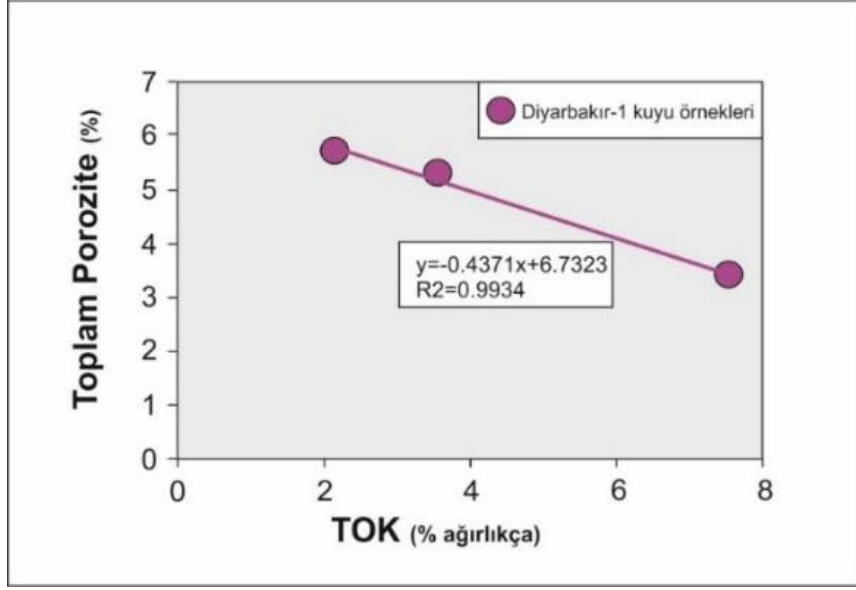


Şekil 8. 3. Çermik ÖSK toplam porozite (%) değerlerine karşılık TOK değerleri grafiği.



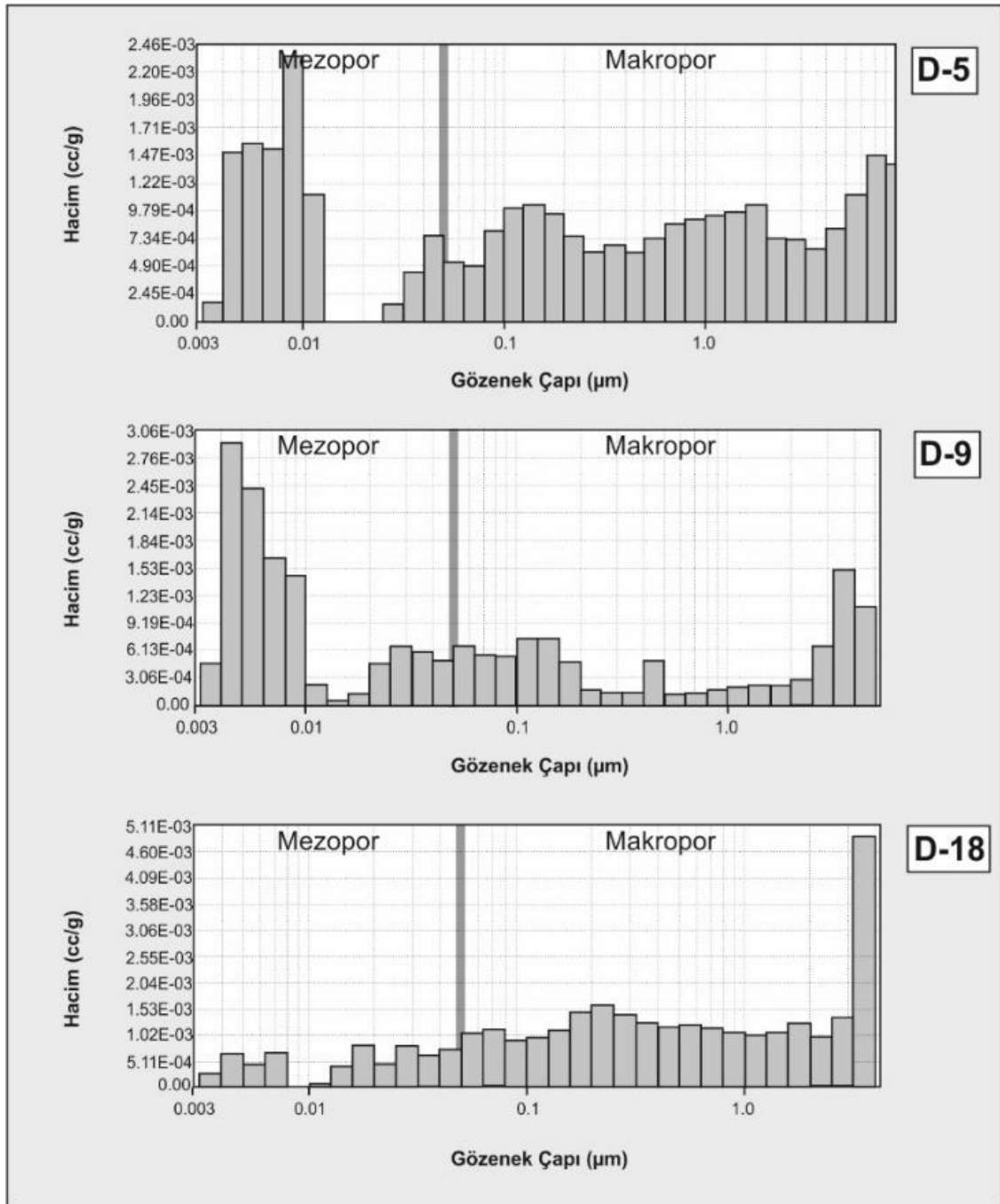
Şekil 8. 4. Çermik ÖSK örneklerinin gözenek büyüklük dağılımı (PSD).

Diyarbakır-1 kuyu örnekleri toplam porozite miktarı %3.24-5.70 arasındadır. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin MCIP sonuçlarına karşılık TOK (% ağırlıkça) grafiği Şekil 8. 5'te verilmiştir. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin yüzde porozite miktarı ile TOK miktarı arasında oldukça güçlü negatif bir korelasyon bulunmaktadır ($R^2=0.99$).



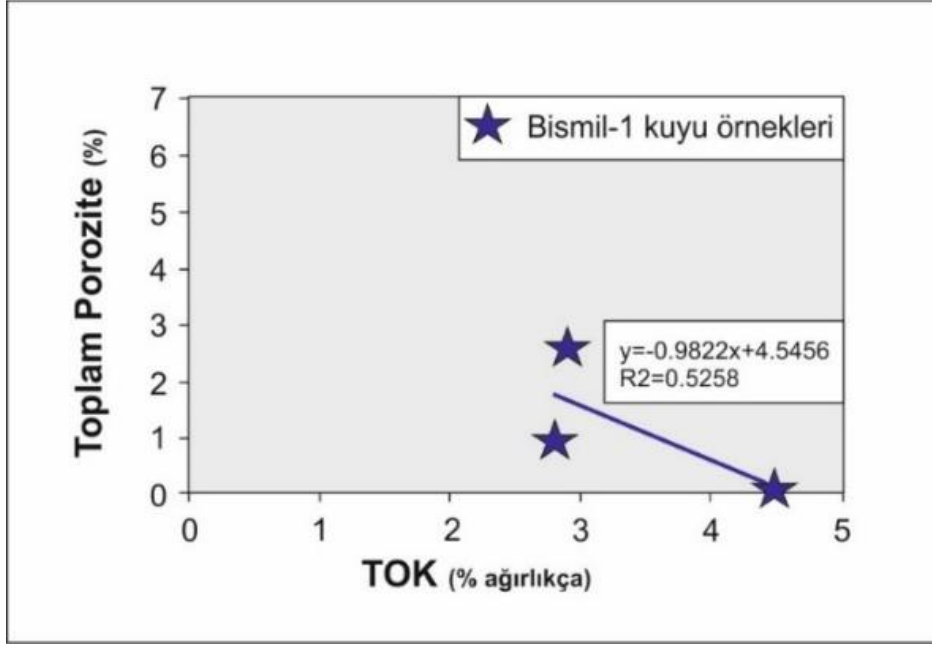
Şekil 8. 5. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin toplam porozite (%) değerlerine karşılık TOK değerleri grafiği.

Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin yüksek basınç altında elde edilen PSD histogramları Şekil 8.2.6'da verilmiştir. D-5 numaralı örneğin gözenek çapı 3 nm ile 9 μm arasında değişmektedir. D-9 ve D-18 numaralı örneklerde gözlenen gözenek boyutları ise 3 nm boyutları ile sırasıyla 5 μm ve 4 μm arasındadır. Örneklerin tümünde mezopor ve makropor gözlenmiştir.



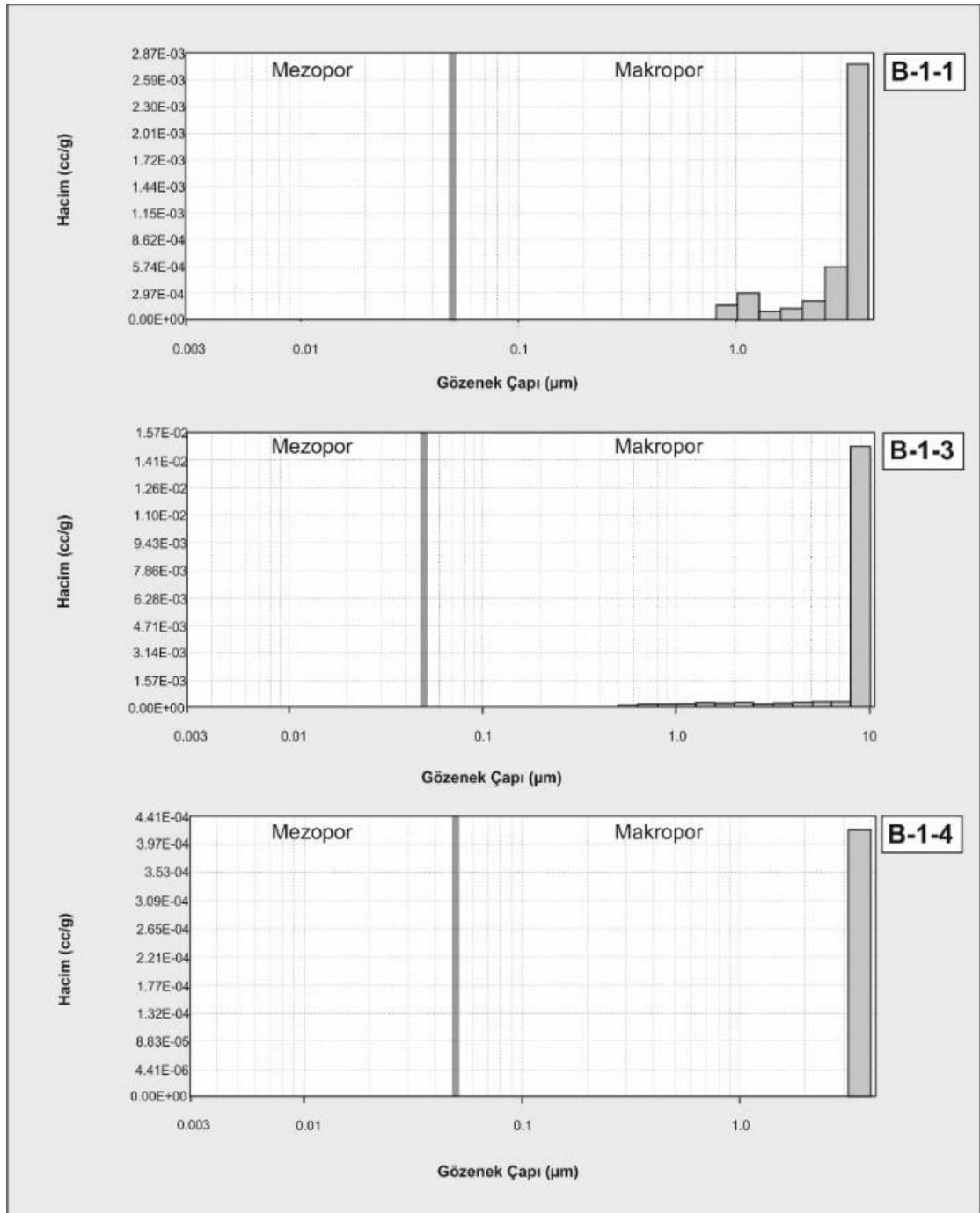
Şekil 8. 6. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin gözenek büyüklük dağılımı (PSD).

Bismil-1 kuyu örnekleri toplam porozite miktarı diğer lokasyonlara göre en düşük miktara sahiptir. Şekil 8. 7’de yüzde toplam porozite miktarına karşılık TOK (% ağırlıkça) grafiğinde görüleceği üzere negatif bir korelasyon bulunmaktadır ($R^2=0.53$).



Şekil 8. 7. Bismil-1 kuyu örneklerinin toplam porozite (%) değerlerine karşılık TOK değerleri grafiği.

Bismil-1 kuyu örneklerinin yüksek basınç altında elde edilen PSD histogramları Şekil 8.8’de verilmiştir. Örneklerde sadece makropor gözlenmiştir. B-1-1 numaralı örnekte gözlenen makroporlar 0.8 μm -4 μm arasında değişmektedir. B-1-3 numaralı örnekte 0.5 μm -10 μm arasında boyutlara sahip makroporlar tespit edilmiştir. Örnekte %2.32 interpartikül porozitesi saptanmıştır. Bu durumun nedeni, örnekte var olan ya da analiz sırasında meydana gelen mikro çatlak ile açıklanabilir. B-1-4 numaralı örnekte ise gözlenen makroporlar sadece 3 μm ve 4 μm arasında gözlenmiştir.



Şekil 8. 8.. Bismil-1 kuyu örneklerinin gözenek büyüklük dağılımı (PSD).

8.3. Organik Porozite Hesaplaması (Rock-Eval Verileri ile)

Kerojenin termal ayrışımı başka bir deyişle bozunumunun bir sonucu olarak organik maddece zengin şeyl içinde büyük miktarda nanometre boyutunda organik gözenekler açığa çıkmaktadır (Loucks ve ark., 2009, 2011, 2012; Chalmers ve ark., 2012; Curtis, 2013; Lu ve ark., 2015; Chen ve Jiang, 2016). Şeyl içindeki hidrokarbonun açığa çıkıp, hapsoldüğü bu gözenekler “organik porozite” olarak adlandırılmıştır.

Şeyl içindeki organik gözeneklerin, hidrokarbon sıvılarının hareketi açısından oldukça önemli bir role sahip olduğu kabul edilmektedir (Modica ve Lapierre, 2012). Araştırmacılar, hidrokarbon birikiminin ilk depolanma alanının organik gözenekler olduğu düşünmektedir. Kayaç matriksinin de hidrokarbon depolanmasını sağlayan gözeneklere sahip olabileceğine işaret edilmektedir (Curtis ve ark., 2012). Heterojen yapıdaki kaynak kayanın çeşitli dayanıma sahip mineraller içermesi organik porozite korunumu için ayrıca önem taşımaktadır (Fishman ve ark., 2012).

Organik poroziteyi ve büyüklük dağılımını kontrol eden faktörler, organik maddenin miktarı, kalitesi ve termal olgunluğu ile ilişkilendirilmiştir (Loucks ve ark., 2009, 2011, 2012; Ross ve Bustin, 2009, Bernard ve ark., 2012; Chalmers ve ark., 2012, Jarvie, 2012a, 2012b; Curtis, 2013; Lu ve ark., 2015; Chen ve Jiang, 2016). Organik porozitenin, termal olgunluk seviyesinin yükselmesi ve TOK miktarının zenginleşmesi ile arttığı gözlenmiştir (Curtis ve ark., 2012; Modica ve Lapierre, 2012; Wu ve ark., 2015, 2016, 2017; Chen ve Jiang, 2016).

Organik porozitenin hesaplanması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan biri de Rock-Eval piroliz verileri aracılığı ile organik porozite hesaplama yöntemidir. Bu bölümde, organik porozite değerlerinin teorik olarak hesaplanması ve elde edilen sonuçların yorumlanması için yararlanılan önceki çalışmalardan başlıcaları; Justwan ve Dahl (2005), Jarvie ve ark. (2007), Modica ve Lapierre (2012), Chen ve ark. (2015), Chen ve Jiang (2015, 2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmalardır.

Justwan ve Dahl (2005)'e göre potansiyele işaret eden bir kaynak kayanın haritalama çalışmasının yapılabilmesi ancak orijinal kaynak kaya özelliklerine ulaşıldığında mümkündür. Bu parametreleri yeniden hesaplanmanın ne kadar önemli olduğunu vurgulamak için Espitalie ve ark. (1987)'ye ait kaynak kaya kinetikleri ile ilgili tanımlamaları referans alarak, organik porozite hesaplaması için kendi metotlarını geliştirmişlerdir.

Peters ve ark. (2005) Rock-Eval piroliz verilerini kullanarak, öncelikle orijinal TOK içeriğini hesaplanmışlardır. Elde edilen verileri kullanarak, kendileri tarafından

geliştirdikleri organik porozite hesaplanma yöntemini önermişlerdir. Bu metot aynı zamanda PI değeri ile de ilgilidir.

Jarvie ve ark. (2007) ankonvansiyonel sistemler hakkında bilgi sağlamak amacı ile gerçekleştirdikleri çalışmada Missisipiye'nin yaşlı Barnett şeyline ait jeokimyasal karakteristiklerden bahsetmişlerdir. Bu özelliklerden biri de formasyona ait porozite değerleridir. Barnett şeylinin organik maddece zengin örnekleri için yaklaşık ortalama porozite değeri %5.5 olarak belirlenmiştir (Bowker, 2003). Formasyondaki kırık, çatlak ve faylanmanın yanı sıra mikro boyutlu porozite ve matriks porozitesinin oldukça önemli rol oynadığını vurgulamışlardır.

Araştırmacılar porozite ile termal olgunluk arasında pozitif bir korelasyon olduğunu ve bir şey gaz sistemini mükemmel kılan en önemli parametrenin düşük porozite ve düşük permeabilite olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Modica ve Lapierre (2012) termal olgunlaşmanın bir fonksiyonu olarak, kerojen içinde gelişen porozitenin basit bir modelini oluşturmuşlardır. Şeylin matriks porozitesinin de en az kerojen porozitesi kadar önemli olduğu belirtilmektedir. Derinlik arttıkça mineral matriks porozite değerinin azalıp, organik porozite değerinin ise artmakta olduğuna işaret etmişlerdir. Araştırmacılar, Tip II kerojen içeren denizel kökenli kaynak kayaçlardaki organik maddenin termal dönüşümü sonucunda ilksel organik karbon içeriğinin %50'sine kadar kayba uğrayabileceği (Vandenbroucke ve ark., 1983; Daly ve Edman, 1987; Baskin, 1997) görüşünü desteklemektedirler.

Kuchinskiy (2013) ölçülen porozite ile organik jeokimyasal parametreler (şimdiki hidrojen indeksi vb.) arasındaki ilişkiyi temel alan bir metot önermektedir. Bu alternatif yaklaşım, kaynak kayanın herhangi bir jeolojik sürecine ve diğer jeokimyasal karakteristiklerinin belirlenmesine ihtiyaç duymadan, şimdiki hidrojen indeksi değerini kullanarak, organik madde içindeki organik porozite miktarının hesaplamasının mümkün olabileceğine işaret etmektedir. Ancak, çalışmada kurulan eşitlikteki örnek sayısı yeterli değildir. Araştırmacı elde edilen organik porozite yüzdesinin, toplam porozite ve doyumluk gibi petrofiziksel parametreleri doğrulamak için kullanılabileceğini belirtmiştir.

Romero-Sarmiento ve ark. (2013) önceki yıllarda gerçekleştirilen görsel organik porozite hesaplamalarından elde edilen verilerin, kaynak kayaya ait yaklaşık porozite değerleri hakkında bilgi verebileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle bugüne kadar yapılan porozite çalışmalarına yeni yaklaşımlar getirerek, Missisipiye'nin yaşlı Barnett şeyline ait üç boyutlu basen modellemesi ile önerdikleri modellemeyi test etmişlerdir.

Yukarıda bahsedilen metotlardan elde edilen organik porozite değerlerinin güvenilirliği, yine araştırmacılar tarafından ihmal edilen faktörler nedeniyle tartışılmaktadır. Bu çalışma kapsamında Dadaş Formasyonu örneklerinin organik porozite değerlerini hesaplamak için Kuchinskiy (2013) ve Chen ve Jiang (2016) hesaplama yöntemleri referans alınmıştır. Bu metotlar kolay uygulanabilmesi ve ekstra maliyetinin olmaması sebebi ile tercih edilmiştir.

Kuchinskiy (2013), organik porozite hesaplaması aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır.

$$\emptyset_{org} = ((0.066 \times (HI_o - HI)) - 3.01)$$

Yukarıdaki eşitlikte kullanılan HI_o değeri ilksel hidrojen indeks değerini ve HI değeri ise bugünkü hidrojen indeks değerini ifade etmektedir. Kuchinskiy (2013) tarafından önerilen organik porozite hesaplamasından elde edilen tahmini sonuçlar Çizelge 8.2'de ve Çizelge 8.3'te verilmiştir. Dadaş Formasyonu örneklerinin her bir lokasyon için HI_o değerleri Jarvie ve ark. (2007) ve Chen ve Jiang (2016) eşitliklerine göre değerlendirmeye alınmıştır (Bkz. Bölüm 5.8.1).

Çizelge 8. 2. Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin Kuchinskiy (2013) hesaplamasına göre Çat ve Çermik ÖSK örneklerinin organik porozite değerleri.

Örnek Adı	HI^a	$HI_{o/J}$	$HI_{o/CJ}$	$\emptyset_{org}$	$\emptyset_{org}$	$\emptyset_{org}$
		(Jarvie ve ark., 2007)	(Chen ve Jiang, 2016)	$HI_{o/J}$	$HI_{o/CJ}$	600 ^b
C-3	20	540	-	31.31	-	35.27
C-7	28	540	-	30.78	-	34.74
C-17	26	540	-	30.91	-	34.87
C-24	41	540	-	29.92	-	33.88
K-1	8	465	-	27.15	-	36.06

Çizelge 8.2. devam ediyor.

Örnek Adı	HI ^a	HI _{o/J}	HI _{o/CJ}	Ø _{org}	Ø _{org}	Ø _{org}
		(Jarvie ve ark., 2007)	(Chen ve Jiang, 2016)	HI _{o/J}	HI _{o/CJ}	600 ^b
K-4	26	465	-	25.96	-	34.87
K-6	10	465	-	27.02	-	35.93
K-9	15	465	-	26.69	-	35.60
K-12	19	465	-	26.43	-	35.34
K-14	8	465	-	27.15	-	36.06
K-17	21	465	-	26.29	-	35.20
K-19	23	465	-	26.16	-	35.07
K-23	8	465	-	27.15	-	36.06
K-26	9	465	-	27.09	-	36.00
K-29	11	465	-	26.95	-	35.86
K-32	13	465	-	26.82	-	35.73
K-35	14	465	-	26.76	-	35.67
K-38	11	465	-	26.95	-	35.86
K-39	5	465	-	27.35	-	36.26
Max.	41	540	-	31.31		36.26
Min.	5	465	-	25.96		33.88
Ortalama	17	481	-	27.62		35.49

Çizelge 8. 3. Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin Kuchinskiy (2013) hesaplamasına göre Diyarbakır-1, Bismil-2 ve Bismil-2 kuyu örneklerinin organik porozite değerleri.

Örnek Adı	HI ^a	HI _{o/J}	HI _{o/CJ}	Ø _{org}	Ø _{org}	Ø _{org}
		(Jarvie ve ark., 2007)	(Chen ve Jiang, 2016)	HI _{o/J}	HI _{o/CJ}	600 ^b
D-1	256	540	389	15.73	5.79	19.69
D-2	254	540	344	15.87	2.95	19.83
D-3	261	540	344	15.40	2.49	19.36
D-4	251	540	344	16.06	3.15	20.02
D-5	287	540	301	13.69	-	17.65
D-6	342	540	389	10.06	0.11	14.02
D-7	277	540	261	14.35	-	18.31
D-8	319	540	301	11.58	-	15.54
D-9	384	540	192	7.29	-	11.25
D-10	348	540	224	9.66	-	13.62
D-11	318	540	261	11.64	-	15.60
D-12	333	540	224	10.65	-	14.61
D-13	309	540	224	12.24	-	16.20
D-14	262	540	261	15.34	-	19.30

Çizelge 8. 3. devam ediyor.

Örnek Adı	HI ^a	HI _{o/J} (Jarvie ve ark., 2007)	HI _{o/CJ} (Chen ve Jiang, 2016)	Ø _{org} HI _{o/J}	Ø _{org} HI _{o/CJ}	Ø _{org} 600 ^b
D-15	263	540	301	15.27	-	19.23
D-16	239	540	344	16.86	3.94	20.82
D-17	249	540	344	16.20	3.28	20.16
D-18	243	540	344	16.59	3.68	20.55
D-19	269	540	344	14.88	1.96	18.84
D-20	282	540	301	14.02	-	17.98
D-21	237	540	224	16.99	-	20.95
B-2-1	196	495	-	16.72	-	23.65
B-2-2	196	495	-	16.72	-	23.65
B-2-3	230	495	-	14.48	-	21.41
B-2-4	209	495	-	15.87	-	22.80
B-2-5	230	495	-	14.48	-	21.41
B-2-6	218	495	-	15.27	-	22.20
B-2-7	209	495	-	15.87	-	22.80
B-2-8	253	495	-	12.96	-	19.89
B-2-9	183	495	-	17.58	-	24.51
B-2-10	284	495	-	10.92	-	17.85
B-2-11	193	495	-	16.92	-	23.85
B-2-12	196	495	-	16.72	-	23.65
B-2-13	273	495	-	11.64	-	18.57
B-1-1	475	465	477	-	-	5.24
B-1-2	440	465	516	-	2.01	7.55
B-1-3	509	465	574	-	1.26	3.00
B-1-4	566	465	549	-	-	-
Max.	566	540	574	17.58	5.79	24.51
Min.	183	465	192	7.29	0.11	3.00
Ortalama	285	517	335	14	3	18

^a=Bugünkü hidrojen indeks

değeri

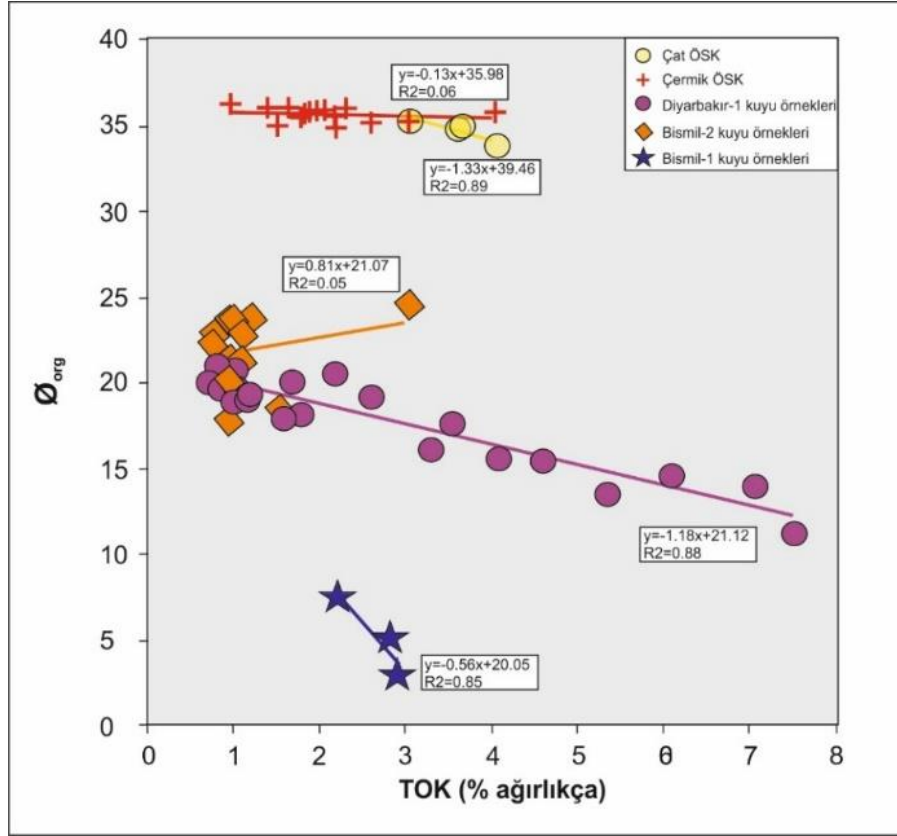
^b=Bölüm 5.9.1, Eşitlik 2'de tüm Dadaş Formasyonu için kabul edilen HI_o değeri

Her bir örnek için Çizelge 8.3.1'de HI_{o/J} ve HI_{o/CJ} değerlerinden hesaplanan organik porozite değerlerinde her zaman sonuç elde edilememiştir. Kuchinskiy (2013)'e ait eşitlikte sonuç elde edebilmek için HI_o ile HI değeri arasındaki fark ya da başka bir deyişle tüketilen hidrojen miktarı yaklaşık en az 45 mg HC/g TOK olmalıdır. Örneğin B-1-4 numaralı örneğin HI_{o/J}, HI_{o/CJ} ve 600 mg HC/g TOK değerine göre organik porozite değeri hesaplanamamıştır. Bu durum örneğin termal açıdan olgunluğunun düşük olması ile açıklanabilir. Buna karşılık, Çermik

yüzey örneklerinin termal açıdan aşırı olgun olması, hidrokarbon dönüşümünün çok büyük oranda gerçekleşmiş olabileceğini göstermektedir. Buna ek olarak, örneklerin yüksek oranda alterasyona uğramış olması da muhtemel görünmektedir. Bu nedenle yüzey örneklerinde de $HI_{o/CJ}$ değerleri hesaplanamamıştır (Bkz. Bölüm 5.8.1).

Kuchinskiy (2013) eşitliğine göre elde edilen organik porozite değeri kerojen hacmindeki yüzde miktarı ifade etmektedir. Organik porozite değerlerinin hem TOK içeriği hem de termal olgunluk ile doğru orantılı bir ilişkide bulunması beklenmektedir (Loucks ve ark., 2009, 2012; Kuchinskiy, 2013; Loucks ve Reed, 2014; Chen ve Jiang, 2016). Bu çalışmada ortalama $\emptyset_{org}$ değeri “aşırı olgun” Çat ÖSK’sında %34.69 ve Çermik ÖSK’sında %35.71 değerinde hesaplanmıştır. “Petrol penceresi”nde bulunan kuyu örneklerinin ise yüzey örneklerine göre daha düşük miktarlarda organik poroziteye sahip olduğu gözlenmiştir. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinde ortalama $\emptyset_{org}$ değeri %17.79’dur. Bismil-2 kuyu örneklerinde ortalama $\emptyset_{org}$ değeri %22.02’dir. “Erken olgunluğa” sahip olduğu saptanan Bismil-1 kuyu örneklerinde ise ortalama $\emptyset_{org}$ değeri %5.26 değerinde hesaplanmıştır.

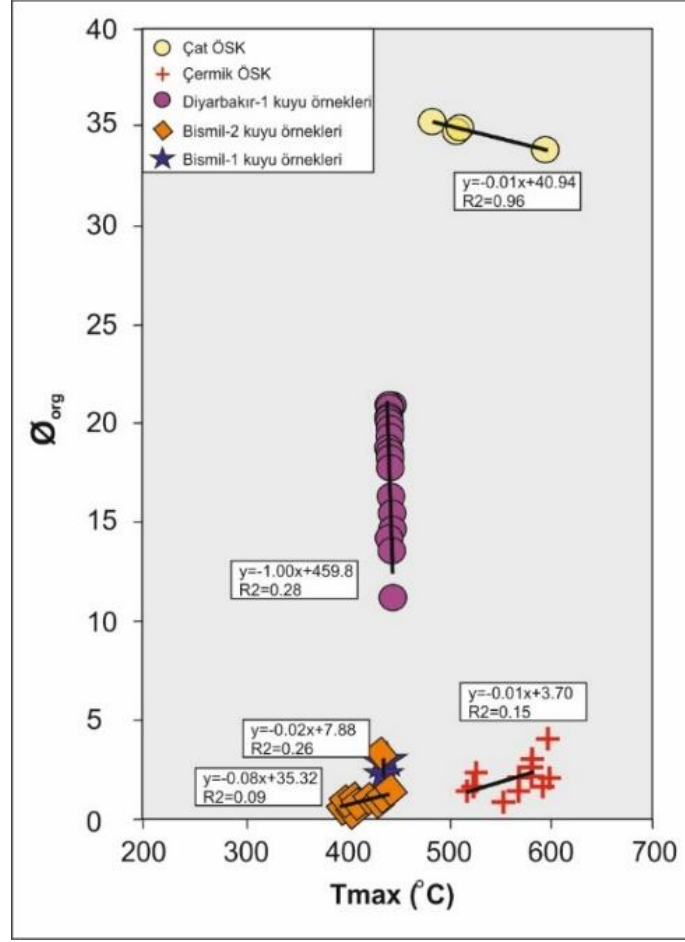
Şekil 8.9’da tahmini yüzde organik porozite değerlerine karşılık yüzde bugünkü TOK (%) değerlerine ait grafik verilmiştir. Şekil 8.9’da ve Şekil 8.10’da Dadaş Formasyonu örnekleri için HI_o değerleri, Chen ve Jiang (2016) üssel fonksiyonuna göre 600 mg HC/g TOK olarak kabul edildiğinde elde edilen organik porozite miktarı referans alınmıştır. Çat yüzey örnekleri, Bismil-1 ve Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin organik porozite ve TOK değerleri arasında anlamlı negatif korelasyon görülmektedir. Aşırı olgun Çermik ÖSK ve kirlenmiş Bismil-2 kuyu örneklerinin tahmini organik porozite değerleri ile bugünkü TOK değerleri arasında anlamlı bir ilişki görülmemektedir. Organik porozite ile TOK içeriği ve T_{max} değerleri arasındaki ilişkiye ait detaylı bilgi Bölüm 8.4’te ve Bölüm 9.8’de verilmiştir.



Şekil 8. 9. Kuchinskiy (2013) organik porozite değerlerinin bugünkü TOK (% ağırlıkça) değerleri ile ilişkisi.

Şekil 8.10'da $\varnothing_{org}$ değerlerine karşılık Tmax grafiği verilmiştir. Termal olgunluk derecesi yükseldikçe hidrokarbon dönüşümünün artması ve organik porozitenin yükselmesi beklenmektedir (Loucks ve ark., 2009). Fakat petrol penceresindeki Bismil-1 ve Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin Tmax değerleri arasında anlamlı bir pozitif korelasyon görülememiştir. Bismil-2 kuyu örnekleri ve Çermik ÖSK örnekleri ise anlamlı bir korelasyon bulunmamaktadır. Çat ÖSK örnekleri ise negatif anlamlı bir korelasyona sahiptir ($R^2=0.96$).

Bu çalışmada, örneklerin ilksel halinde denizel kökenli Tip II kerojen içerdiği göz önünde bulundurulduğunda en yüksek hidrokarbon dönüşümü (TR, % değerleri, Bkz. Bölüm 5.8) Çat ve Çermik yüzey örneklerinde yaşanmıştır. Petrol penceresindeki kuyu örneklerinin ise organik porozite değerleri daha düşük yüzdelerde elde edilmiştir.



Şekil 8. 10. Kuchinskiy (2013) eşitliğine göre hesaplanan Ø_{org} değerlerinin T_{max} ($^{\circ}\text{C}$) değerleri ile ilişkisi.

Organik porozite hesaplamalarından bir diğeri ise Chen ve Jiang (2016) tarafından önerilmiştir. Bu hesaplama hidrokarbon türetme kinetiklerine ve termal olgunluğa dayalı bir hesaplama metodudur. Chen ve Jiang (2016) tarafından geliştirilen yöntemde, Rock-Eval analitik süreçleri Behar ve ark. (2001)'den referans alınmıştır. Referans alınan bu metot, Modica ve Lapierre (2012) metoduna büyük ölçüde benzerlik göstermektedir ve dört aşamadan oluşmaktadır. Dadaş şeyline uygulanan organik porozite hesaplamaları için sırasıyla aşağıda verilen maddeler hesaplanmıştır (Modica ve Lapierre, 2012; Chen ve Jiang, 2016) (Bkz. Bölüm 5.8).

- Hidrokarbon transformasyon oranı “TR”
- Hidrokarbon atılım verimi “ f ”
- Orjinal/ilksel TOK içeriği “ TOK_0 ”
- Organik porozite “ Ø_{org} ”

Orjinal TOK (TOK_o) içeriğinin saptanması, organik porozite hesaplaması için oldukça önemlidir. Modica ve Lapierre (2012)'ye ait TOK_o içeriğinin hesaplanmasında kullanılan metot, organik gözenek sistemi içindeki kerojen kalıntıları ve ölçülen TOK değerinin serbest hidrokarbon formları içermesi nedeniyle, Chen ve Jiang (2016) tarafından revize edilmiştir. TR ve TOK_o değerleri Bölüm 5.8.3'te hesaplanmıştır.

Hidrokarbon atılım miktarı (ε) ve hidrokarbon atılım verimi (f) aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanmaktadır. Araştırmacılar, S_1 parametresinin etkin rol aldığı bu hesaplamada özellikle yüksek olgunluğa sahip örneklerde karşılaşılan bir probleme dikkat çekmektedir. Sondaj işlemi esnasında veya örnek hazırlama sürecinde büyük miktarda açığa çıkan gaz çıkışı nedeniyle yüksek değerler elde edilebileceğine de işaret etmektedirler.

$$\varepsilon = \frac{TR \times S_2}{1 - TR} - S_1$$

$$f = 1 - \frac{B_{ie}(1 - TR)}{HI \times TR}$$

Chen ve Jiang (2016)'ya göre Rock-Eval kaynaklı hesaplanan organik porozite aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmaktadır. Eşitlikte kullanılan her bir parametre hakkında ayrıntılı bilgi ve veri kalitesine göre seçilen örnekler Bölüm 5.8'de verilmiştir. Aşağıdaki eşitlikte " ρ_b " şeyl yoğunluğunu, " ρ_k " ise kerojen yoğunluğunu ifade etmektedir. "Y" sembolü ise hidrokarbon dönüşümü için kerojenin karbon eşdeğer kütlesi olan "1,2" değerini ifade etmektedir.

$$\varnothing_{org} = \gamma \left[TOK_o \alpha f T_R \left(1 - \frac{0,0833 TOK}{100} \right) \right] \frac{\rho_b}{\rho_k}$$

Bu eşitlikte kullanılan parametrelerden hesaplanan organik porozite değerleri Çizelge 8.3'de verilmiştir. Dadaş Formasyonu örneklerinin şeyl içindeki yüzde organik porozite değerleri %0.28 ile %5.26 arasında değişmektedir ve ortalama %2.16'dır.

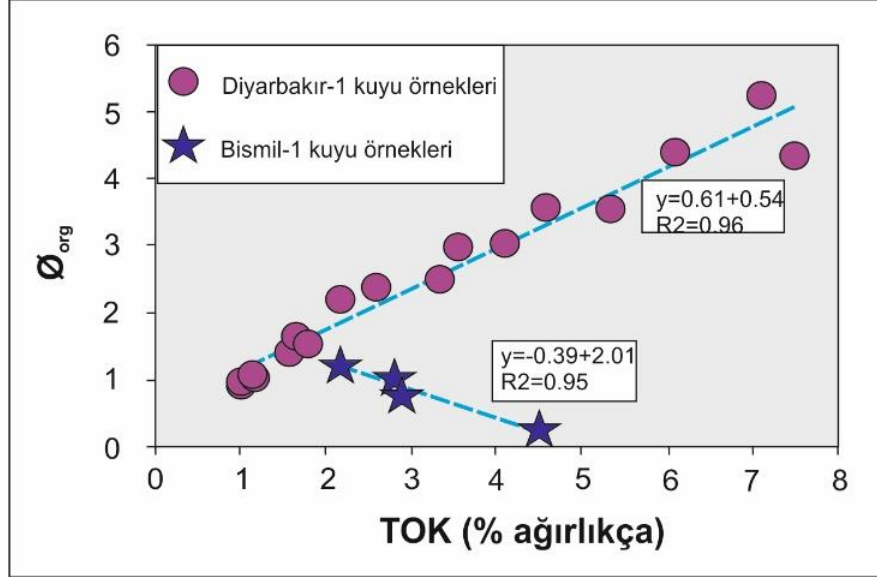
Çizelge 8. 3. Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin Chen ve Jiang (2016) hesaplamasına göre organik porozite değerleri.

Örnek Adı	TOK ^a	HI ^b	Bie ^c	TR ^d	TOKo ^a	ϵ	f	ϕ_{org}
D-2	1.04	254	63	73.15	1.32	6.53	0.91	1.03
D-3	1.19	261	59	72.20	1.50	7.38	0.91	1.16
D-5	3.56	287	86	68.57	4.30	19.24	0.86	2.98
D-6	7.06	342	76	60.14	8.77	31.13	0.85	5.26
D-7	1.79	277	61	69.99	2.11	10.47	0.90	1.57
D-8	4.60	319	70	63.79	5.48	22.62	0.88	3.58
D-9	7.51	384	62	52.94	8.20	27.82	0.86	4.35
D-10	5.34	348	69	59.15	6.00	23.20	0.86	3.59
D-11	4.07	318	83	63.95	4.73	19.57	0.85	3.02
D-12	6.09	333	59	61.59	6.88	28.93	0.89	4.41
D-13	3.30	309	69	65.32	3.76	16.91	0.88	2.54
D-14	2.61	262	54	72.07	3.10	16.26	0.92	2.41
D-15	1.18	263	63	71.93	1.44	7.20	0.91	1.10
D-16	1.02	239	60	75.13	1.30	6.76	0.92	1.05
D-17	1.67	249	63	73.82	2.12	10.64	0.91	1.67
D-18	2.17	243	66	74.61	2.76	14.05	0.91	2.20
D-19	1.01	269	75	71.11	1.27	5.93	0.89	0.94
D-20	1.56	282	49	69.28	1.89	9.15	0.92	1.42
B-1-1	2.81	475	59	34.48	3.26	5.36	0.76	1.00
B-1-2	2.21	440	38	42.11	2.70	6.24	0.88	1.18
B-1-3	2.90	509	45	26.34	3.32	3.98	0.75	0.77
B-1-4	4.49	566	35	10.73	4.72	1.46	0.48	0.28
Max.	7.51	566	86	75.13	8.77	31.13	0.92	5.26
Min.	1.01	239	35	10.73	1.27	1.46	0.48	0.28
Ortalama	3.14	329	62	60.56	3.68	13.67	0.86	2.16

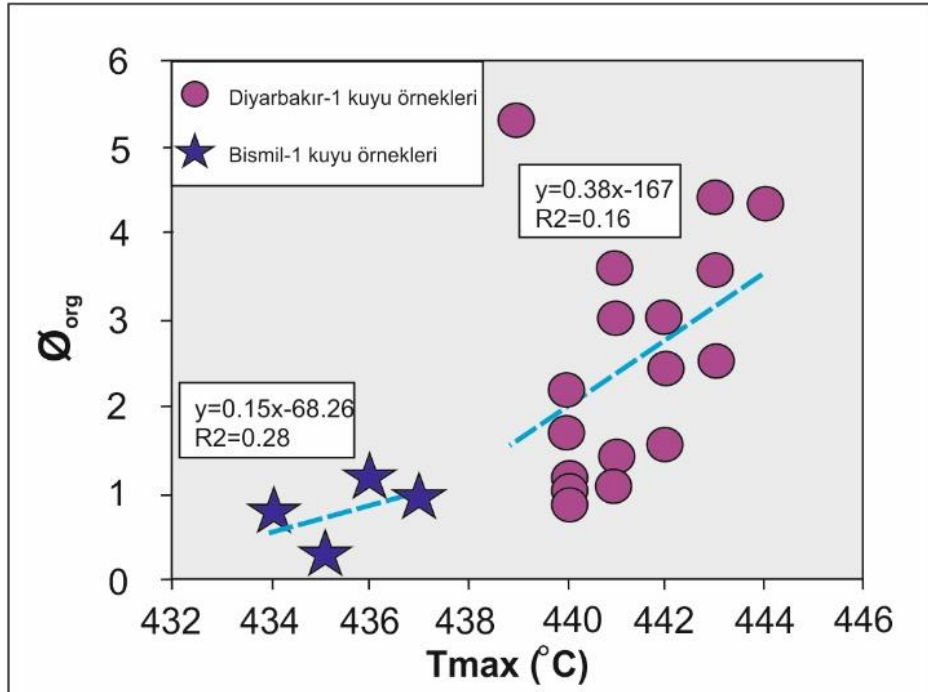
^a: % ağırlıkça; ^b:mg HC/g TOK; ^c: Petrol Doymuluk İndeksi (OSI, Jarvie, 2012b); ^d: %

Dadaş Formasyonu örneklerinin organik porozite değerlerinin bugünkü TOK (% ağırlıkça) ve Tmax (°C) değerleri arasındaki ilişki Şekil 8.11’de ve Şekil 8.12’de verilmiştir. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin organik porozite ve TOK içeriği arasında pozitif bir korelasyon bulunmaktadır ($R^2= 0.96$). Bismil-1 kuyu örneklerinin ise organik porozite ve TOK içeriği arasında yüksek negatif bir korelasyon görülmektedir ($R^2= 0.95$). Bismil-1 kuyu örneklerinin termal olgunluk seviyesi göz önünde bulundurulduğunda hidrokarbon dönüşüm oranının düşük oranda gerçekleştiği tespit edilmiştir (Bkz. Bölüm 5.8). Bu nedenle hesaplanan organik porozite değerleri de %0.28 ile %1.18 arasında değişmektedir.

Organik porozite arttıkça termal olgunluk seviyeside artması beklenmektedir (Loucks ve ark.,2009; Chen ve Jiang, 2016). Şekil 8.12’de ise organik porozite ile termal olgunluk arasında zayıf bir ilişki söz konusudur.



Şekil 8. 11. Chen ve Jiang (2016) organik porozite değerlerinin TOK (% ağırlıkça) değerleri ile ilişkisi.

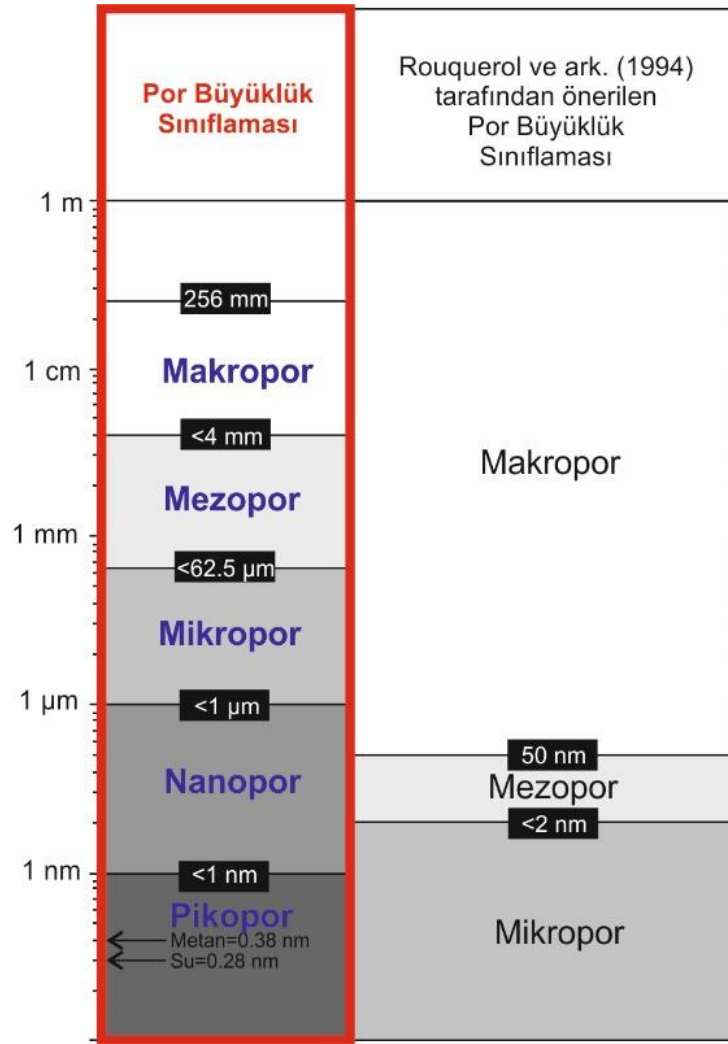


Şekil 8. 12. Chen ve Jiang (2016) organik porozite değerlerinin Tmax (°C) değerleri ile ilişkisi.

8.4. Görsel Porozite Çalışmaları

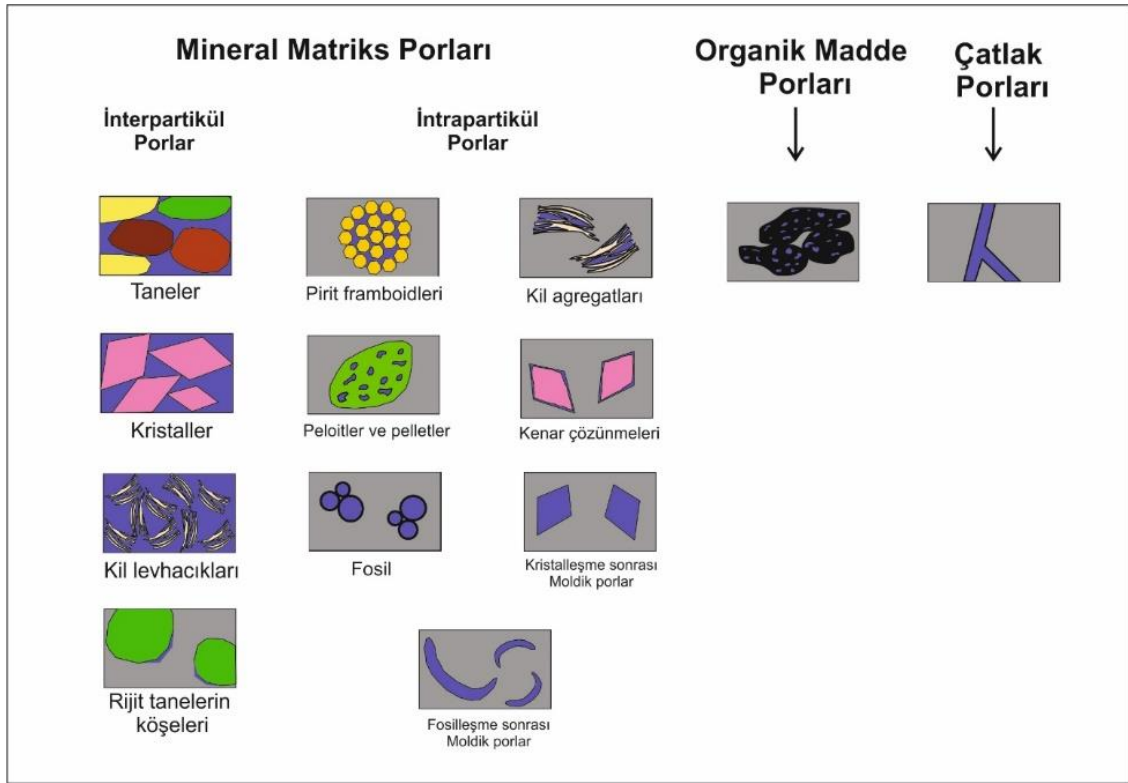
Sedimanter kayalar içindeki matriks ilişkili gözenek ağı, nanometre ile mikrometre boyutlarındaki gözeneklerden oluşmaktadır (Loucks ve ark., 2012). Bu gözenekler, mikrometre boyutunda çapa sahip olduğundan genellikle ışık mikroskopuyla görülemeyecek kadar küçüktür (Loucks ve ark., 2009).

Şeyl içindeki gözenek tiplerinin çeşitleri ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır (Desbois ve ark., 2009; Loucks ve ark., 2009, 2010, 2011, 2012; Curtis ve ark., 2010; Milner ve ark., 2010; Passey ve ark., 2010; Lu ve ark., 2011; Slatt ve O'neal, 2011; Huang ve ark., 2013; Sanei ve Ardakani, 2016; Mastalerz ve Schieber, 2017; Wu ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2020; Froute ve Kavscek, 2020). Şeyl içindeki gözenekler büyüklüklerine göre sınıflandırılmıştır. Şekil 8.13'de Rouquerol ve ark. (1994) tarafından çamurtaşları için önerilen gözenek büyüklük sınıflaması ile Loucks ve ark. (2012) tarafından önerilen şeyl petrol ve şeyl gaz sistemleri için önerilen gözenek büyüklük sınıflaması karşılaştırılmıştır.



Şekil 8. 13. Şeyl petrol ve şeyl gaz sistemlerinde gözenek büyüklük sınıflaması (Choquette and Pray, 1970; Rouquerol ve ark., 1994; Loucks ve ark., 2012).

Loucks ve ark. (2010, 2012) bir rezervuar kayaç olarak şeyl içindeki gözenekler görsel açıdan matriks ile ilişkisine göre sınıflandırmışlardır (Şekil 8.14). Bunlardan ilk ikisi, mineral matriksle ilişkilidir. Üçüncüsü ise organik maddeyle ilişkilidir. Çatlak gözenekleri bu sınıflamanın dışında tutulmuştur. Matriks ilişkili porlar, interpartikül (interP) ve intrapartikül (intraP) gözenekler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. İnterP gözenekler, partiküller ve kristaller arasında oluşan gözenek tipidir. İntraP gözenekler ise partiküllerin doğrudan içinde yer alan gözenek tipidir. Fishman ve ark. (2012) ise şeyl içindeki gözenekleri organik ve organik olmayan partikül gözenekler olarak sınıflandırılmıştır. Bir diğer çalışmada ise şeylin sahip olduğu nanoporlar organik gözenekler, inorganik gözenek ve mikro çatlaklar olmak üzere üç tipe ayrılmıştır (Zhou ve ark., 2016).

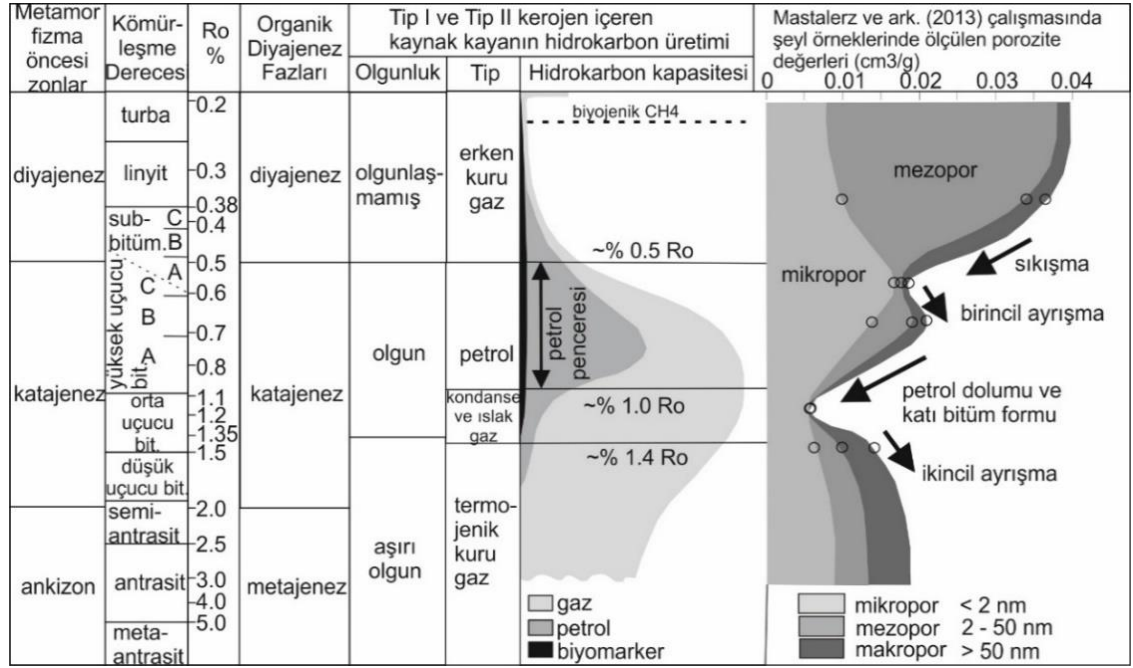


Şekil 8. 14. Gözenek (Por) tipleri sınıflaması (Loucks ve ark., 2012'den alınmıştır).

Organik madde gözenekleri, organik maddenin içinde bulunan, bir intraP gözenek tipidir. Bu gözenekler, hidrokarbon üretiminin bir sonucu olarak organik maddenin termal olgunluğu ile ilişkilidir (Loucks ve ark., 2009). Organik madde gözenekleri, genellikle düzensiz ve elipsoidal biçimde gözlenmektedirler (Loucks ve ark., 2010). Organik madde gözeneklerinin morfolojisi de önem taşımaktadır (Katz ve Arango, 2018). Organik madde taneleri içindeki gözeneklerin miktarı %40'dan fazla olabilmektedir (Lu ve ark., 2015). Organik madde gözenekleri, hidrokarbonun termal olgunlaşmasının başlangıcında kerojen içinde meydana gelmektedir. Önceki çalışmalarda, organik madde gözenekleri, efektif por sistemleri için çok önemli olduğu ve hatta baskın akış yolu oluşturabileceğine işaret edilmiştir (Loucks ve ark., 2009; Ambrose ve ark., 2010; Curtis ve ark., 2010; Loucks ve ark., 2012).

İnterP por tipi, genellikle birbiriyle ilişkili durumdadır. İntraP por tipine göre daha yüksek oranda efektif gözenek ağına sahip olma potansiyeli taşımaktadır. Loucks ve ark. (2012)'ye göre bir sedimanter kayaç başlangıçta hem interP ve intraP porlara sahiptir. Zamanla gömülmenin etkisiyle sahip olduğu gözenek hacmini

yaklaşık %88 oranında kaybedebilmektedir. Mastalerz ve ark. (2013) olgunluk ve hidrokarbon oluşumu ile gözeneklerde gözlenen değişiklikleri Şekil 8.15'te özetlemiştir. Olgunluk arttıkça gözeneklerin bazı seviyelerde azalabileceği ve ileri dönemlerde tekrar artışa geçebileceği görülmektedir. Şekil 8.16'da ise Loucks ve ark. (2012) tarafından bu değişim etkin gözenek tiplerinin diyajenez evreleri ve zamanla değişimini farklı bir biçimde özetleyerek ifade edilmiştir.

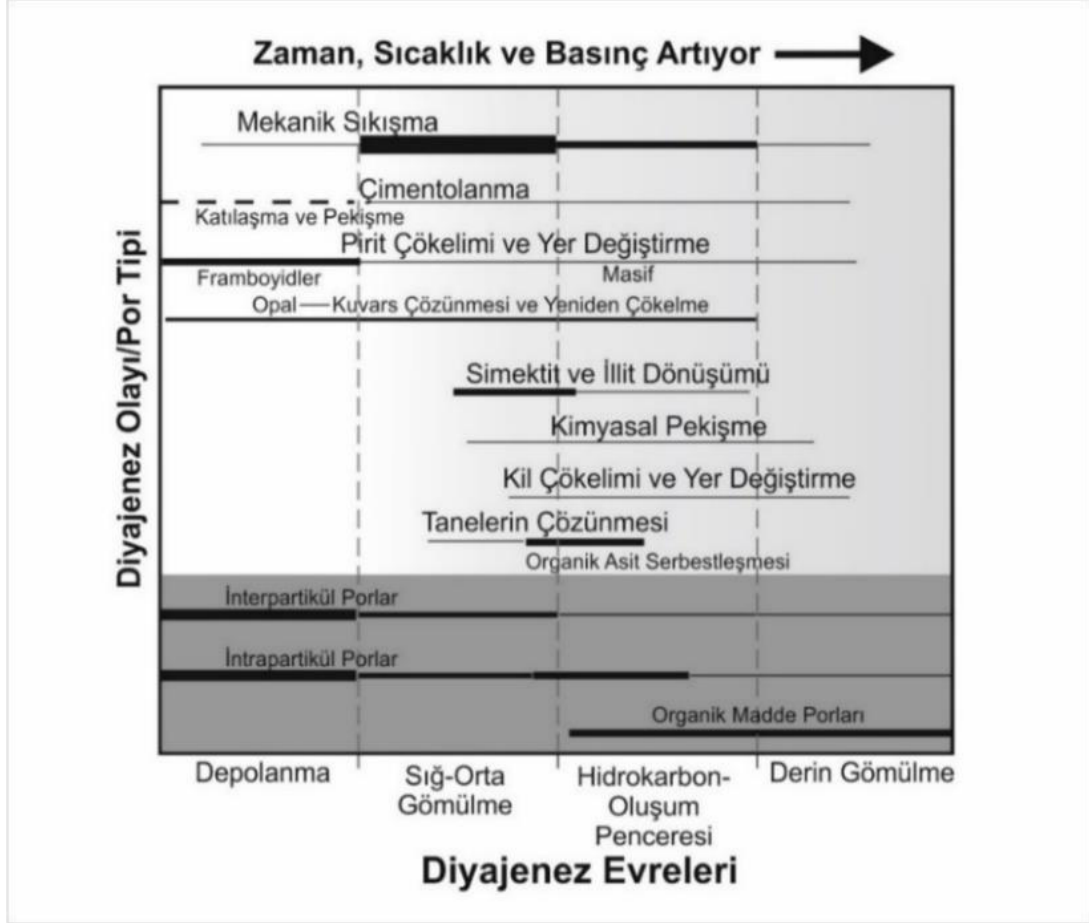


Şekil 8. 15. Gözeneklerde gözlenen değişikliklerin olgunluk ve hidrokarbon oluşumu ile ilişkisini gösteren diyagram (Mastalerz ve ark., 2013'den alınmıştır).

Loucks ve ark. (2010)'a göre organik madde ile ilişkisi olmayan (interP ve intraP) porlar, mekanik ve kimyasal etkilerle diyajenez koşulları tarafından kontrol edilmektedirler. Buna ek olarak, şeyl içindeki organik madde ve minerallerde gözlenen gözenekler, tektonik etkilerle ilişkili biçimde yönelme gösterebilmektedirler

Dünyada bilinen şeyl gaz sistemlerinin sahip olduğu gözenek tipleri Şekil 8.17'de verilmiştir. Şeyl gaz sistemleri için şeyllerde gözlenen hakim gözenek tipi çoğunlukla intraP organik madde gözenekleridir.

Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin görsel olarak gözenek tipinin tespit edilebilmesi için mekanik yöntemle hazırlanan parlatma briketi, taze kırılmış parça örnek üzerinde SEM ve FIB-SEM analizi yapılmıştır.



Şekil 8. 16. Genelleştirilmiş çamurtaşının gömülme aşamaları ve bu aşamalara göre gözenek tipi oluşumu ile ilişkisi ve bolluğu (Loucks ve ark., 2012'den alınmıştır).

Yaş	Birim Adı ve Lokasyon	Por Tipi ¹	Referans ²
Oligosen	Boom Kili Mol, Belçika	<i>InterP ve IntraP</i>	Desbois ve ark., 2009
Geç Kretase	Tuscaloosa Grubu Mississippi, Amerika	<i>IntraP ve OM</i>	Lu ve ark., 2011
Üst Kretase	Eagle Ford Formasyonu Güney Teksas, Amerika	<i>InterP ve IntraP baskın, daha az OM</i>	Loucks ve ark., 2010 MSRL Curtis ve ark., 2010
Geç Jura	Haynesville Formasyonu Doğu Teksas, Amerika	<i>InterP ve IntraP, az miktarda OM</i>	Milner ve ark., 2010 Curtis ve ark., 2010
Mississippiyen	Barnett Şeyli Fort Worth Baseni, Amerika	<i>OM baskın, pirit framboyidleri içinde intraP</i>	Loucks ve ark., 2009 Loucks ve ark., 2010 MSRL Curtis ve ark., 2010 Sondergeld ve ark., 2010
Mississippiyen	Fayetteville Şeyli Arkoma Baseni, Arkansas, Amerika	<i>IntraP ve OM</i>	Curtis ve ark., 2010
Devoniyen	Woodford Şeyli Permian Baseni, Kuzey Amerika	<i>OM baskın</i>	MSRL Curtis ve ark., 2010
Devoniyen	Marcellus Şeyli Kuzeydoğu Amerika	<i>OM baskın, daha az miktarda intraP</i>	Milner ve ark., 2010
Devoniyen	Horn River Şeyli Kanada	<i>OM baskın</i>	Milner ve ark., 2010
Devoniyen	Antrim Şeyli Michigan Baseni	<i>IntraP (mika min.)</i>	Hover ve ark., 1996

¹: InterP=interpartikül; intraP=intrapartikül; OM=organik madde

²: MSRL=Texas Üniversitesi, Tortul kayaç Sistem Araştırma Laboratuvarı

Şekil 8. 17. Dünyada bilinen efektif gözenek dağılımına sahip bazı şeyl gaz sistemleri (Loucks ve ark.,2012'den alınmıştır).

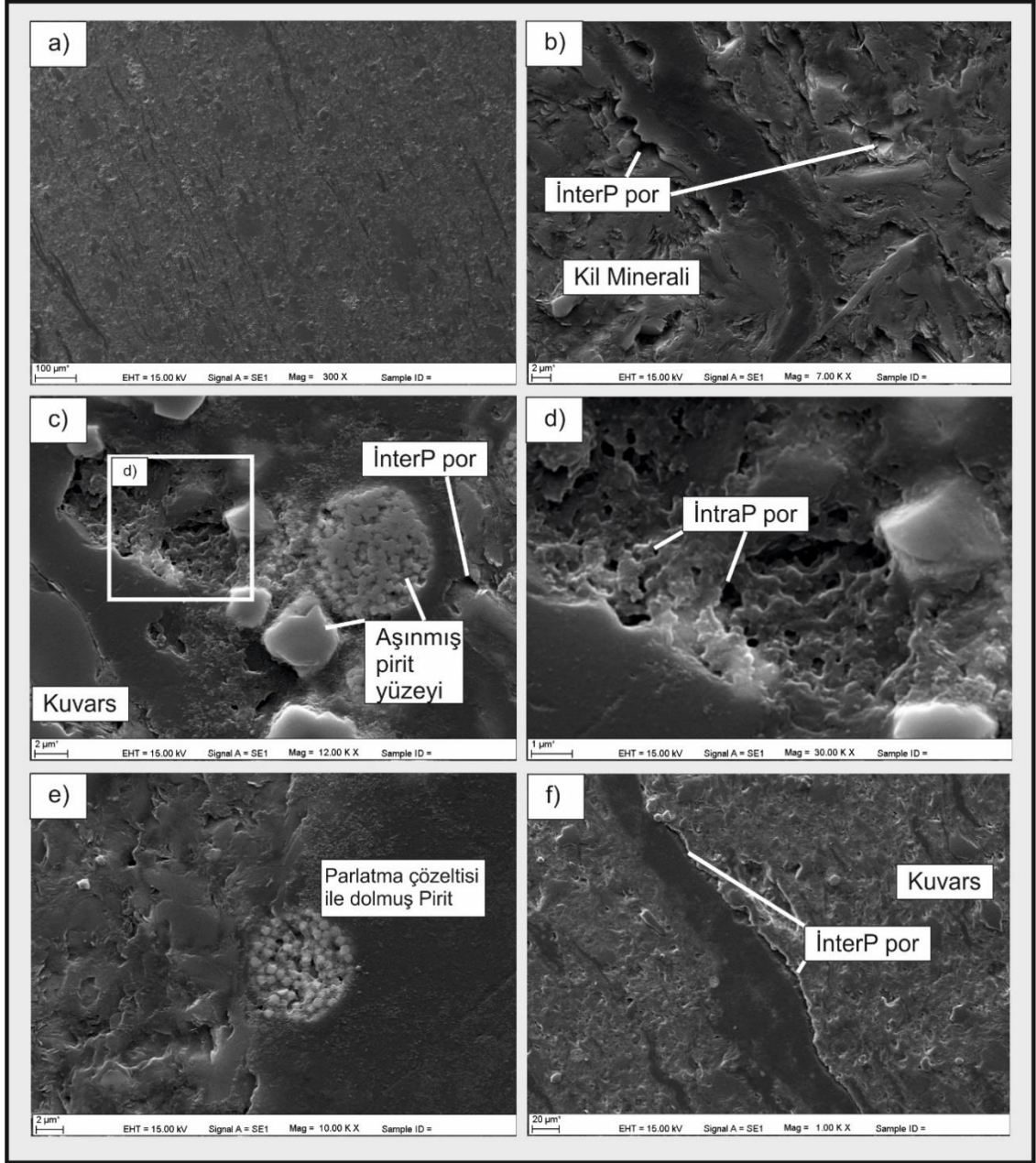
8.4.1. SEM Çalışmaları

Şeyl, iletken olmayan, farklı dayanıma sahip bileşimlerden oluşan, heterojen yapıya sahip kayalardır. Bu nedenle, klasik mekanik parlatma yöntemleri, farklı dayanıma sahip bu örnekler üzerinde topoğrafik olarak düzgün olmayan bir yüzey elde edilmesine neden olabilmektedir. Mekanik parlatma sırasında şeyl örneği yüzeyinden kopan, daha sert bileşene sahip olan parçalar, sertliği daha düşük yapıdaki bileşenler üzerinde yapay gözeneklerin oluşumuna sebep olmaktadır (Sondergeld ve ark., 2010). Buna ek olarak, epoksi resin ve sertleştirici ile hazırlanan parlatma briketinin üzerinde mekanik parlatma aşamaları sırasında kullanılan çözeltilerin kaldığı gözlenmiştir (Loucks ve ark., 2009) (Şekil 8.4.6. e).

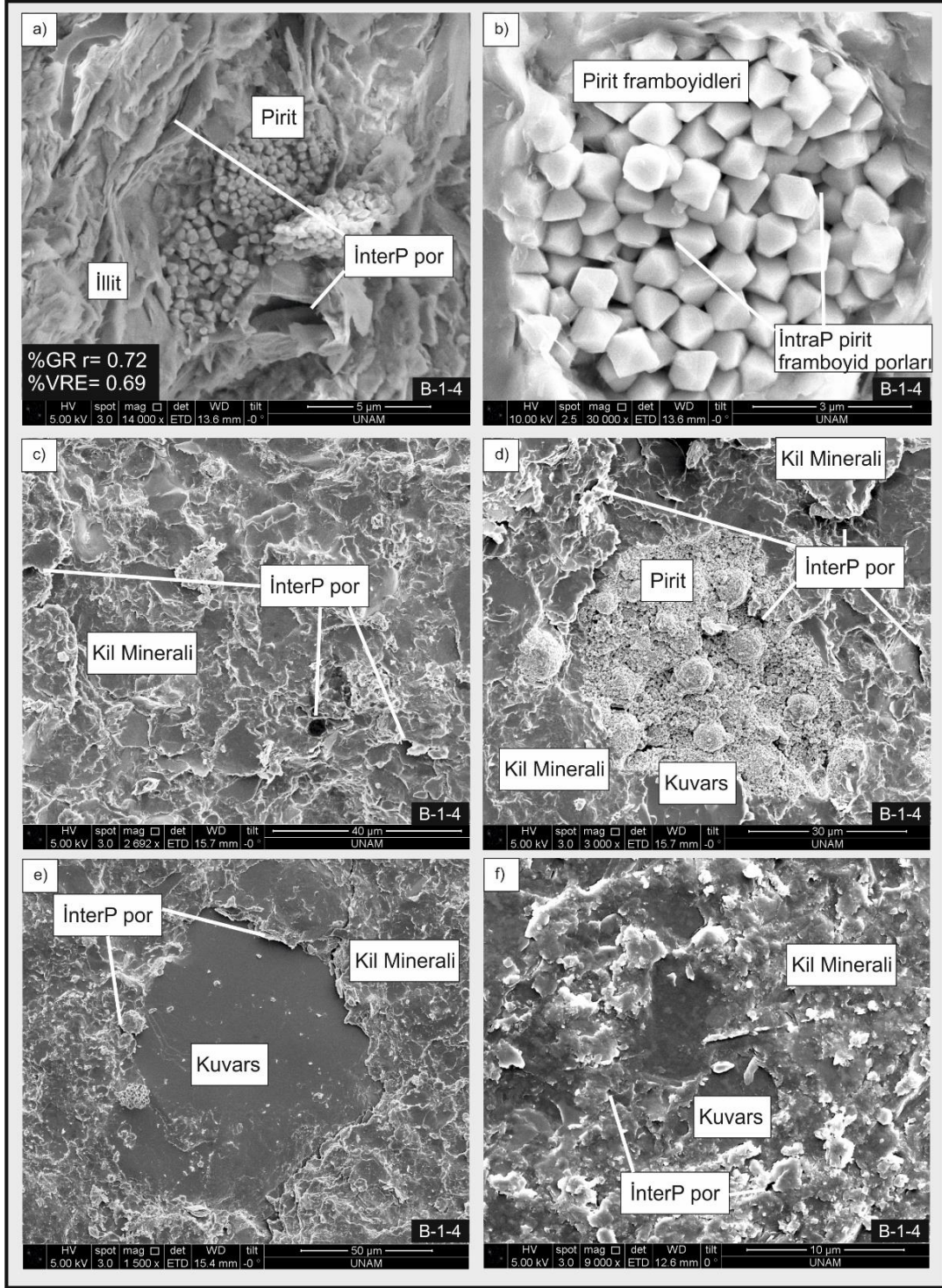
Bu amaçla TOK içeriği %4.49 olan B-1-4 numaralı örnek, tabakalanmaya paralel biçimde klasik mekanik parlatma yöntemi ile analize hazırlanmıştır (Bkz. Bölüm 3.2). Elde edilen SEM görüntüleri Şekil 8.18'de verilmiştir. Kayaç bileşiminde gözlenen mineraller, XRD tüm kayaç difraktogramından elde edilen tüm kayaç yüzde bolluk oranlarıyla uyumludur. Şekil 8.18'de yüzeyde gözlenen minerallerin aşınmış ve boşlukların çözücü ile dolmuş olduğu görülmektedir. Dayanımı daha düşük mineral tanelerinin parçalanması sonucu yüzey üzerinde boşluklar oluşmuştur. Örnek yüzeyinde minerallere ait interP ve intraP porlara rastlanılmıştır. Fakat örnek hazırlama işlemlerinin bu gözenekler üzerindeki etkisi bilinemeyeceğinden güvenilir değildir. Bu yöntemin şeyl petrol ve şeyl gaz sistemlerinde gözenek tipinin ve miktarının belirlenmesi için uygun olmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Bir diğer yöntem ise taze kırılmış yüzeyin herhangi bir örnek hazırlama işlemine gerek duymadan doğrudan SEM cihazında incelenmesidir. Bu yöntem, kolay, ucuz ve hızlı olmasının yanı sıra FIB-SEM yönteminde gözlenemeyen topoğrafya hakkında bilgi vermektedir (Slatt ve O'Brien, 2013). Bu kapsamda petrol penceresinde bulunan B-1-4 kuyu örneği ($\%VRE_{gr}=0.69$) ile aşırı olgun C-17 ($\%VRE_{gr}=1.60$) Çat ve K-12 ($\%VRE_{gr}=2.05$) Çermik yüzey örnekleri seçilmiştir.

Şekil 8.19'da B-1-4 numaralı kuyu örneğinin taze kırılmış yüzeyine ait SEM analizi araştırmalarında mineral matriks kaynaklı interP porlar gözlenmiştir. Loucks ve ark. (2011)'e göre interP matriks porları ilksel gözeneklerdir ve ilk gözenek ağını oluşturmaktadır. Bu gözenekler zamanla gömülme ve sıkışmanın etkisiyle azalmaktadır (Loucks ve ark., 2011, 2012). Bu nedenle, intraP gözenekler ile organik madde gözenekleri ilksel ya da ikincil gözenekler olarak kabul edilmektedir.



Şekil 8. 18. B-1-4 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin mekanik parlatma ile TP hazırlanmış parlatma briketine ait SEM görüntüleri. a) Genel görünüm. b) Kil minerallerinde gözlenen interpartikül gözenekler, c) Parlatma işlemi sırasında aşınmış framboyidal pirit ve masif pirit minerali, d) Aşınma yüzeyindeki yükseklik farkından dolayı EDAX alınamayan minerale ait kompleks intrapartikül gözenekler, e) Parlatma çözeltisi ile dolmuş framboyidal pirit boşlukları, f) Kil mineraline ait interP gözenekler.



Şekil 8. 19. B-1-4 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin taze kırılmış yüzeyine ait SEM görüntüleri. a) İllit mineralinde gözlenen interP gözenekler, b) Framboyidal pirit mineralleri arasında gözlenen interkristalin intraP gözenekler, c) Kil minerallerinde interP gözenekler, d) Pirit framboyidleri arasında gözlenen interP gözenekler, e) Kuvars minerali tanesi etrafında gözlenen interP gözenekler, f) Kil mineralleri arasında gözlenen interP gözenekler.

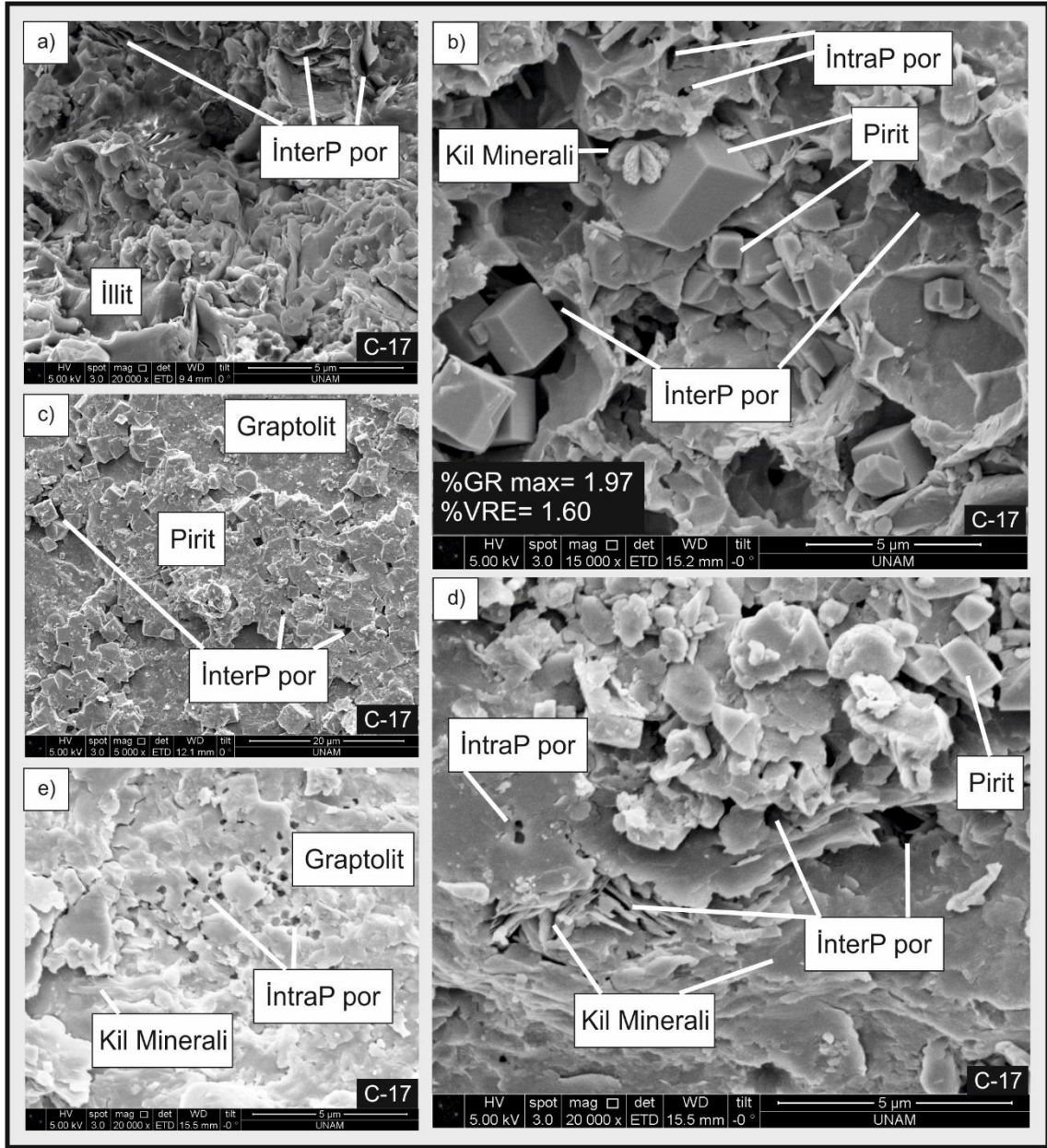
Pirit mineralleri şeyl içindeki gözeneklerde termal olgunluk farklılığına bağlı olmaksızın önemli rol oynamaktadır (Loucks ve ark., 2011). Pirit framboyidlerinde gözlenen intraP gözenekler B-1-4 numaralı örnek içinde oldukça yüksek oranda gözlenmiştir. Örneğin sahip olduğu pirit mineraline ait XRD tüm kayaç yüzde bolluk oranı %3.12'dir. Pirit minerali framboyidleri ikincil oluşabildikleri gibi ilksel tabakanın içinde bulunduğu su kolonu kimyası (oksik, öksinik, anoksik) hakkında bilgi verebileceği için önem taşımaktadır (Wilkin ve ark., 1996; Loucks ve Ruppel, 2007). Şekil 8.19 d'de görülen pirit framboyidleri yaklaşık $<18\ \mu\text{m}$ boyutlarındadır. Wilkin ve ark. (1997) $5\ \mu\text{m}$ ($1-18\ \mu\text{m}$ arasında) boyutlara sahip pirit framboyidlerinin anoksik ve sülfidik koşulları altında çökelmiş olabileceğine işaret etmektedir.

Bismil-1 kuyu örneklerinde XRD analizi sonuçlarında dolomit ve kalsit mineralleri gözlenmiştir. B-1-4 numaralı örnekte gözlenmesi beklenen bir diğer gözenek tipi mineral kenar çözünmelerine bağlı gelişen intraP gözeneklerdir. Fakat bu bölümdeki çalışmalar sırasında karbonat minerallerine rastlanılmamıştır.

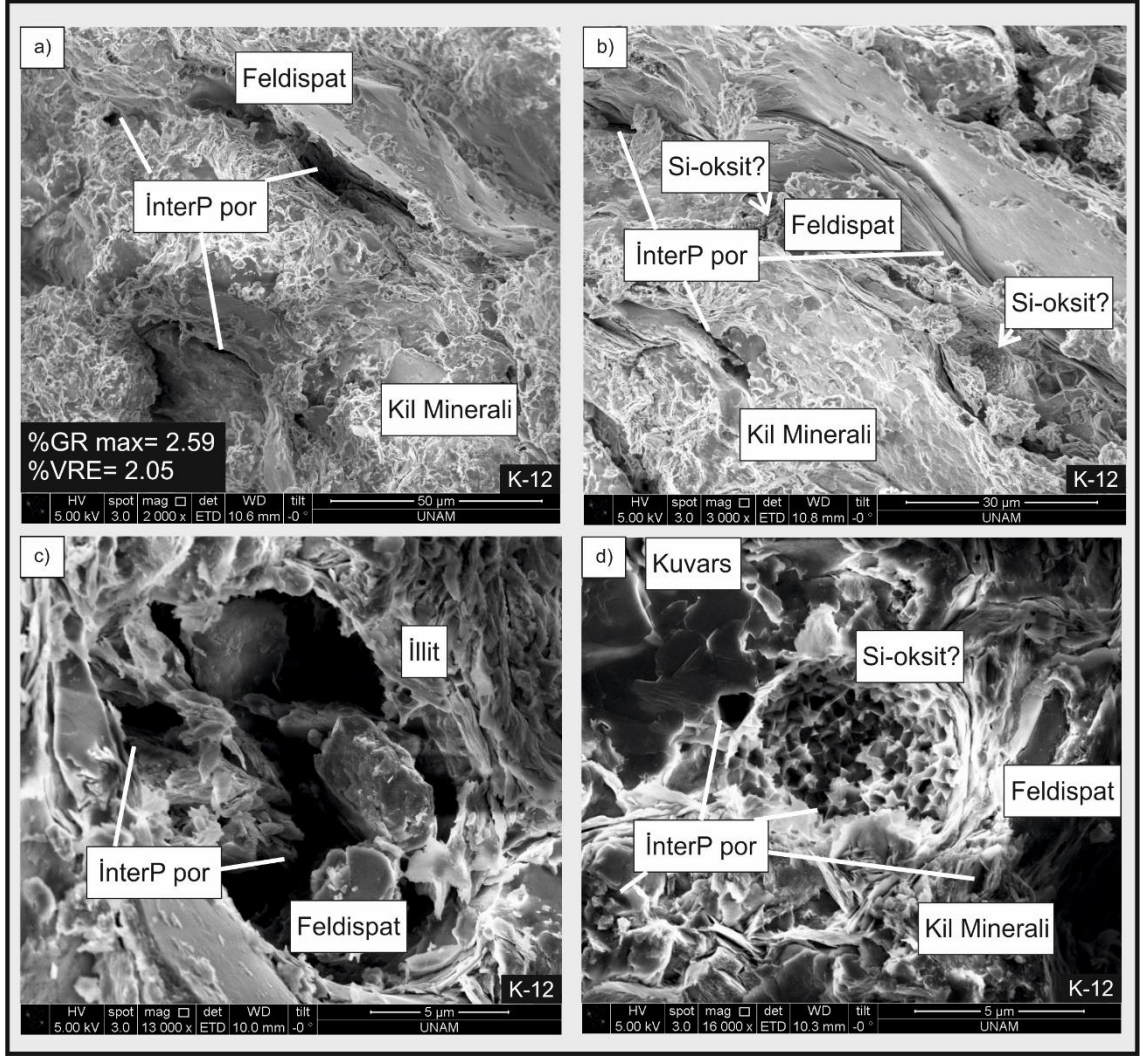
C-17 numaralı örnekte gözlenen gözenekler Şekil 8.20'de verilmiştir. Bu yöntemle elde edilen sonuçlara göre Çat yüzey örneğinde baskın gözenek tipinin mineral matriks ilişkili interP gözenekler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Buna ek olarak örneğin yüzeyinde gözlenen graptolit kavkısı üzerinde de organik madde intraP gözenekleri gözlenmiştir (Şekil 8.20.e).

Çermik yüzey örneği K-12 numaralı örneğin, diğer örneklerle oranla oldukça yüksek miktarda interP gözeneklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Örnek içinde bol miktarda gözlenen Si-oksit bileşimine sahip çözünmüş tanelerin, mineral izleri (ya da mikrobiyal pirit çözünmeleri?, Mustin ve ark., 1992; Lui ve Zhang, 2011 vb.) olabileceği gibi palinomorf olabileceği de (Sayın Dr. Recep Hayrettin Sancay sözlü görüşme, 2019) düşünülmüştür (Şekil 8.21). Bu taneler kayacın gözenek miktarına etki ettiğinden yüzey örnekleri için önem taşımaktadır.

Dadaş Formasyonu'nda gözlenen interP gözenekler çoğunlukla kil mineralinde gözlenmiştir. Kil minerallerinin tabakalı yapıları nedeniyle interP gözenekler birbirine paralel ve/veya doğrusal gözlenmektedir.



Şekil 8. 20. C-17 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin taze kırılmış yüzeyine ait SEM görüntüleri. a) İllit minerallerinde gözlenen interP gözenekler, b) Kil mineralleri ile pirit mineralleri arasında gözlenen interP gözenekler ile intraP gözenekler, c) Graptolit kavkısı yüzeyinde gözlenen pirit mineralleri arasında gözlenen interP gözenekler, d) Mineral matriks içinde gözlenen interP ve intraP gözenekler, e) Graptolit kavkısı yüzeyinde gözlenen organik madde intraP gözenekler.



Şekil 8. 21. K-12 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin taze kırılmış yüzeyine ait SEM görüntüleri. a) Kil Mineralleri ile feldispat mineralleri taneleri arasında gözlenen interP gözenekler, b), c) Mineral matriks içinde gözlenen interP gözenekler, d) Mineral taneleri arasında gözlenen interP gözenekler ve Si-oksit bileşimine sahip tanelere ait intraP gözenekler.

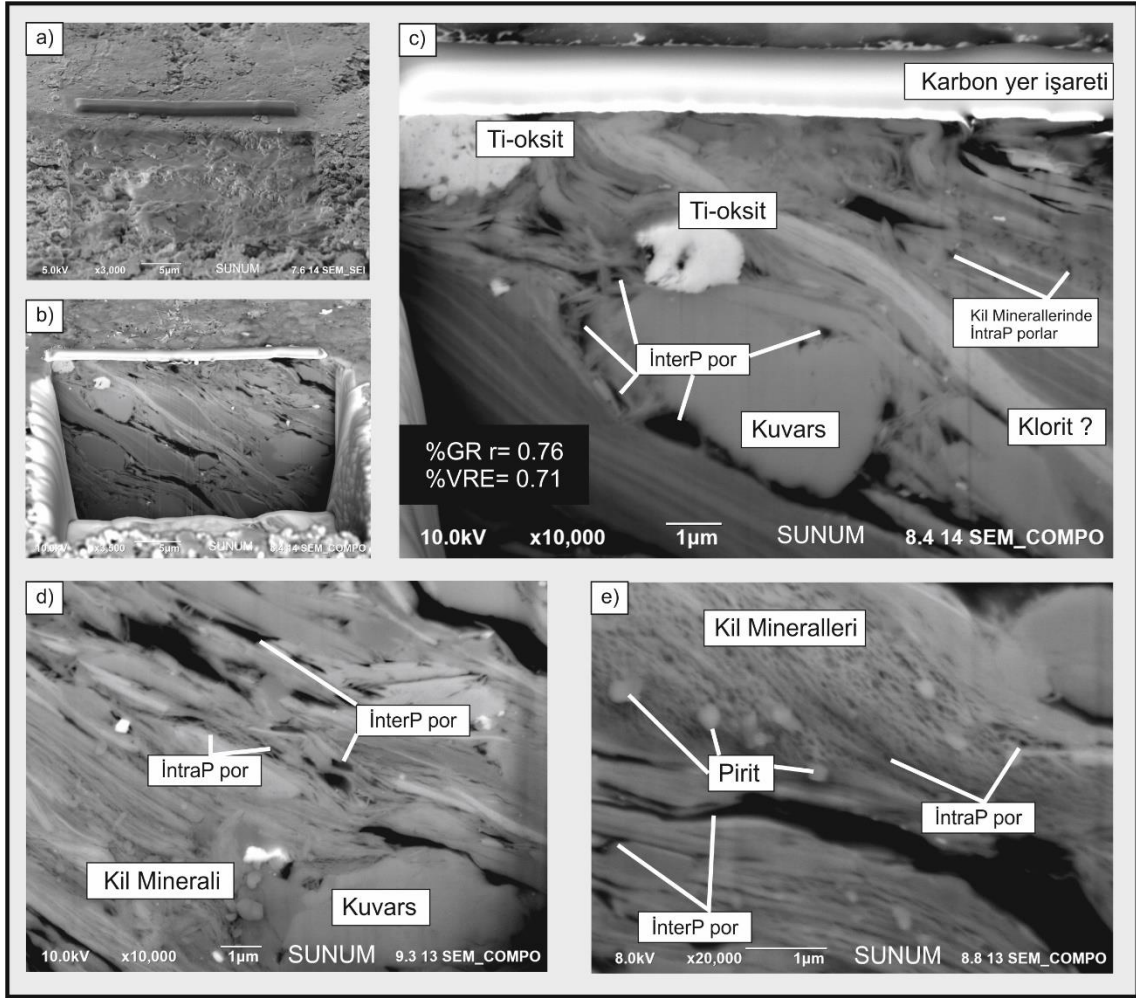
8.4.2. FIB-SEM Çalışmaları

Şeyl gaz sistemlerinin en önemli unsurlarından biri petrofiziksel özelliklerinin belirlenmesidir. Hidrokarbon potansiyeline sahip kaynak kaya porozite tiplerinin belirlenebilmesi kullanılan analiz yöntemlerden biri de FIB-SEM (Odaklanmış İyon Işınması-Taramalı Elektron Mikroskobu) çalışmasıdır (Zhou ve ark., 2016). FIB yöntemi, Ar-iyon ışınması ve benzeri iyon demetleri ile kesilen örneğin düzgün yüzeyinin yüksek büyütmelede SEM cihazı ile incelenmesidir (Loucks ve ark., 2009). Önceki çalışmalarda FIB yöntemine alternatif bir yöntem olan ve daha çok kil minerali araştırmalarında BIB (Geniş İyon Işınması) yöntemi kullanılmaktadır (Desbois ve ark., 2009, 2010).

FIB analizi ile şeyl içindeki nanometre boyutlara sahip gözenekler gözlenebilmektedir (Sondergeld ve ark., 2010; Curtis ve ark., 2011a, 2011b, 2012; Chalmers ve ark., 2012; Fishman ve ark., 2012; Loucks ve ark., 2012). Kayacın üç boyutlu gözenek ağının tespit edilebilmesi için seri halinde kesitler alınmaktadır (Wall ve Diaz, 2011; Frouste ve Kovscek, 2020). Alınan kesit görüntüleri birleştirildiğinde örnek içindeki birbiriyle bağlantılı olan gözenekler üç boyutlu olarak tespit edilmektedir. Örneklerde gözlenen gözeneklerin gömülme, diyajenez ve geç gömülme (metajenez) sürecinde değişim gösterdiğine işaret edilmektedir (Jennings ve Antia, 2013).

Bu çalışmada Dadaş Formasyonu şeylinin FIB-SEM analiz yöntemiyle incelenmesi amaçlanmıştır. Fakat fiziki koşulların yetersiz olmasından dolayı beklenen verim alınamamıştır. Şekil 8.22'de B-1-1 numaralı örneğinde FIB-SEM analizinin gerçekleştirilme aşamaları verilmiştir. Örnek içinde gözlenen mineraller EDAX ile tespit edilmiştir. İnterP, intraP matriks gözeneklerine ait görüntüler verilmiştir. Dadaş Formasyonu'na ait bu kuyu örneğinde hacimce interP matriks gözeneklerinin baskın olduğu gözlenmiştir.

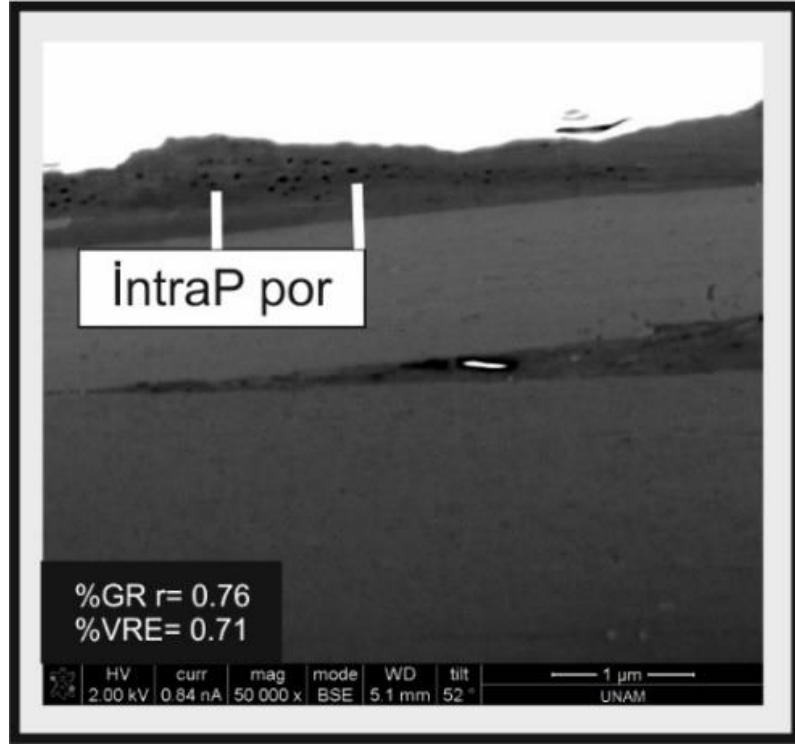
B-1-1 ve B-1-4 numaralı örneklerin TOK içeriği sırasıyla %2.81 ve %4.49'dur. Önceki çalışmalarda, şeyllerin TOK içeriğinin artması ile matriksin ihtiva ettiği gaz kapasitesinin yükseldiğine işaret edilmektedir (Jarvie, 2004; Wang ve Reed, 2008; Ma ve ark., 2016). Şekil 8.23'te ise B-1-4 numaralı örneğin tabakalanmaya dik FIB-SEM görüntüsünde intraP gözenekler gözlenmiştir.



Şekil 8. 22. B-1-1 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin tabakalanmaya paralel FIB-SEM görüntüleri. a) İyon ışması yapılacak lokasyonun karbon bant ile işaretlenmesi, b) Kesilen yüzeyin temizlendikten sonraki görüntüsü, c) Genel görünüm, d) İnterP ve İnterP matris gözenekleri, e) Kil mineralleri içindeki intraP gözenekleri.

Bu çalışma kapsamında iki farklı termal olgunluğa (erken olgun ve aşırı olgun) sahip Dadaş Formasyonu örnekleri üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda şeyllerin mineral taneleri arasında gözlenen interP gözenekler ile birlikte, çatlak ve fillosilikat porozitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu tür gözenek tipleri daha çok yüksek kil minerali içeriğine sahip Marcellus ve New Albany şeyl örneklerinde gözlenmiştir (Schieber, 2013). Kil mineralleri gömülme sürecinde oldukça kolay bir şekilde paralel pozisyona dönmektedirler (Slatt ve O'Brien, 2013). Formasyonun mineralojik bileşim açısından yüksek kil minerali yüzdesine sahip olması kil minerallerinde gözlenen interP porların miktarını da arttırmıştır.

Kuvars mineralinin sertliğinin yüksek olması, ilişki kurduğu diğer matriks mineralleri ile arasında interP gözeneklerin gelişmesine neden olmuştur.



Şekil 8. 23. B-1-4 numaralı Dadaş Formasyonu şeyl örneğinin tabaklanmaya dik FIB-SEM görüntüsü.

Buna ek olarak, pirit minerallerinde gözlenen intraP ve interP gözeneklerin olgun ve aşırı olgun örneklerde matriks porozitesinde önemli bir yüzdeye sahip olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada termal olgunluğu en düşük olan kuyu örnekleri Bismil-1 kuyu örnekleridir (Bkz. Bölüm 7). B-1-4 numaralı örneğin Petersen ve ark. (2013)'e göre VRE_{gr} değeri %0.69 olarak hesaplanmıştır. SEM analizlerinde ve FIB-SEM çalışmalarında organik maddenin tamamen karakterize edilmesi her zaman mümkün değildir (Wüst ve ark., 2013). Şekil 8.23'de tabakalanmaya dik kesitinde organik madde olduğu düşünülen taneler arasında intraP gözeneklerin oluşmaya başladığı görülmektedir. Buna karşılık, petrol penceresindeki örneğin matriks porozitesi miktarının oldukça az olduğu tespit edilmiştir.

Organik olmayan interP ve intraP gözenekler mekaniksel ve kimyasal diyajenez koşulları ile kontrol edilmektedir (Loucks ve ark., 2010). Görsel porozite çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre Dadaş Formasyonu örneklerinde,

olgun kuyu örneklerinin baskın por tipinin organik madde gözenekleri iken, aşırı olgun yüzey örneklerinde baskın gözenek tipinin matriks ile ilişkili interP gözeneklerin oluşturabileceğini göstermektedir.

9. TARTIŞMA

9.1. Mineral Kırılgenlık Faktörü Değerlendirmeleri

Kaynak kayanın kırılgenlığının önem kazanması ile şeyl gaz sistemlerinin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için Kırılgenlık Faktörü (Brittleness Index-BI) eşitlikleri önerilmektedir. Hidrolik çatlatma yöntemi ile üretilen şeyl petrol ve şeyl gaz sisteminin verimi ve üretim süresi, mineralojik bileşimi ile kontrol edilmektedir (Bowker, 2003a, 2003b, 2007; Jarvie ve ark., 2007; Tan ve ark., 2014; Kumar ve ark., 2018).

Kırılgenlık Faktörü (BI), günümüzde mineralojik bileşiminin yanı sıra “Young/Elastisite Modülü (E)” ile sondaj loglarından da belirlenebilmektedir (Rickman ve ark., 2008). Fakat kayaca ait petrografik tanımlamaların ve mineral yüzde ağırlıklarının ihmal edilmesi nedeniyle güvenilir sonuçlar vermediği düşünülmektedir (Diaz ve ark., 2013; Hu ve ark., 2015). Buna ek olarak, bir kayacın Young modülünü ve sertlik değerini; mineralojik bileşimi, TOK içeriği ve porozite değeri kullanarak hesaplamak mümkündür (Kumar ve ark. 2012).

Mineralojik bileşime ek olarak termal olgunluk derecesinin de şeylin jeomekaniksel özelliklerini etkilediğine işaret edilmektedir (Dong ve ark., 2018). Araştırmacılar, kırılgenlığı yüksek Barnett şeylinin (Bowker, 2007; Miskimins, 2012), erken bir gömülme süreci yaşadığını ve termal açıdan olgunlaştıktan sonra tektonik süreçlerle yükselmesini örnek olarak göstermektedir (Wang ve Gale, 2009). Özellikle organik maddenin E değeri, %VR ve Raman bant ayrımı (G-D) değeri ile pozitif korelasyon göstermektedir (Ostadhassan ve ark., 2018).

Son yıllarda kullanılan bir diğer yöntem ise Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile organik madde ve mineral içeriklerinin her birinin elastisite modülünün ölçülmesidir (Miskimins, 2012; Kumar ve ark., 2012; Eliyahu ve ark., 2015; Li ve ark., 2018a, 2018b; Khatibi ve ark., 2018; Ostadhassan ve ark., 2018). Fakat heterojen yapıdaki bileşenler için uygulanan bu yöntemden güvenilir sonuçlar elde edilip edilemeyeceği tartışılmaktadır (Li ve ark., 2018a).

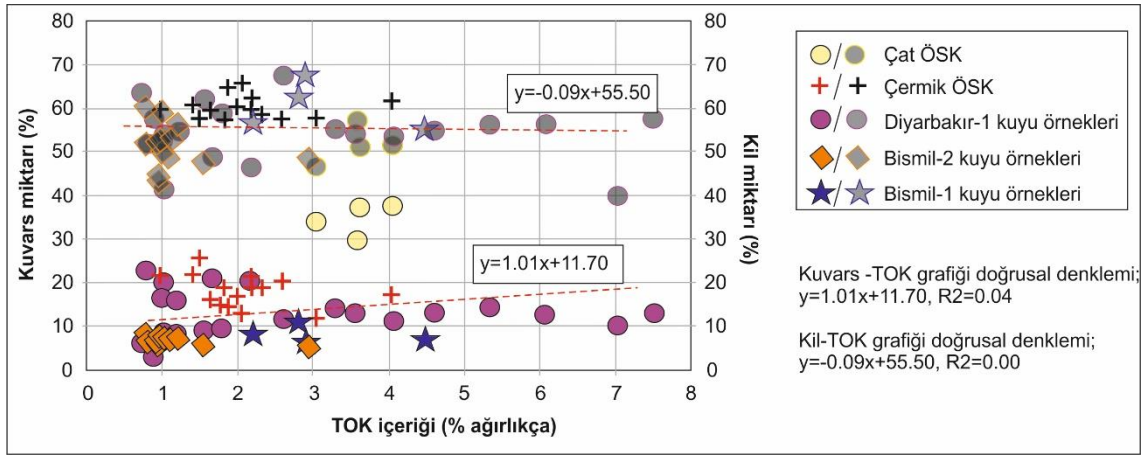
Bu çalışmada Dadaş Formasyonu’nun organik madde bileşenlerinden biri olan graptolit kavkıları üzerinde AFM analizi çalışmaları yapılması planlanmıştır. Bu

araştırmadan sonuç alabilmek için topoğrafya üzerinde kullanılan iğne ucunun dayanımının yüksek (>18 GPa, örneğin; elmas uç) olması gerekmektedir (Li ve ark., 2018b). İğne ucu dayanımının, organik maddenin elastik modülünden düşük olması, engebeli topoğrafya üzerinde kısıtlı hareketlere neden olmaktadır. Graptolitlerin E değerlerinin termal olgunluğa bağlı değişimini saptamak amacıyla yapılan denemelerden, fiziki koşulların uygun olmaması nedeniyle sonuç alınamamıştır. C-17 ve B-1-4 numaralı örneklerde gözlenen graptolitler üzerinde yapılan AFM analizi denemesine ait topoğrafya görüntüsü Ek Şekil 3'te ve Ek Şekil 4'te verilmiştir.

Organik madde açısından zengin ve heterojen yapıya sahip şeyl (Kumar ve ark., 2012; Li ve ark., 2017), kil, kuvars, feldispat, mika, kalsit, dolomit, eser oranda gözlenen diğer mineraller (pirit vb.) ile karakteristik bir yapıya sahiptir. Araştırmalar sonucunda mineraller, sertlikleri ve moleküler yapılarındaki farklılıkları nedeniyle ankonvansiyonel sistem çalışmalarında kırılğan ve sünümlü olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Şeylin yapısında bulunan bileşimler kırılğanlıklarına göre büyükten küçüğe kuvars, dolomit, kalsit, kil ve kerojendir (Kumar ve ark., 2012; Diaz ve ark., 2013; Hu ve ark., 2015). Araştırmacılara göre şeylin kırılğanlığını kontrol eden, en kırılğan mineral kuvars mineralidir (Jarvie ve ark., 2007; Hu ve ark., 2015; Kumar ve ark., 2018). Son yıllarda yüksek kuvars miktarının kırılğanlık faktörü üzerindeki etkisinin diyajenetik süreçlerle oluşan otojenik kuvars ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Zhao ve ark., 2017). Araştırmacılara göre kuvarsın kökenini, kayacın sahip olduğu silika miktarı ve/veya katodoluminesans (CL) özelliği ile belirlemek mümkündür.

Bu çalışmada yüksek kuvars miktarına sahip Çat ÖSK örneklerinin kökeni, CL özelliği ile ayırt edilmeye çalışılmıştır. Kırıntılı dokuya sahip Dadaş Formasyonu örneklerinde kuvarsın oldukça küçük boyutlara (μm) sahip olması, CL özelliğinin ayırt edilememesine neden olmuştur. Dadaş Formasyonu'nda kuvars mineralinin kökeninin, TOK ile ilişkisi Şekil 9.1'de araştırılmıştır. Şekil 9.1'de görüleceği üzere kuvars ve kil mineralleri ile TOK içeriği doğrusal denklemi ile anlamlı bir ilişki gözlenmemektedir.



Şekil 9. 1. Kuvars ve kil minerali yüzde bolluk miktarının TOK içeriği ile ilişkisi.

Bir şeylin kırılgenliğinin belirlenebilmesi için önerilen çeşitli eşitlikler bulunmaktadır. Bu eşitliklerden Jarvie ve ark. (2007)'nin önerdiği BI_J hesaplaması aşağıda verilmiştir.

$$BI_J (\%) = \frac{\text{Kuvars}}{\text{Kuvars} + \text{Karbonat mineralleri} + \text{Kil mineralleri}}$$

Jarvie ve ark. (2007)'nin önerdiği eşitlikte kırılgenlik sağlayan karbonat minerallerinin ve dolomitin ihmal edildiği düşünülmektedir (Wang ve Gale, 2009; Hu ve ark., 2015). Bu nedenle karbonat mineralleri ile zengin bir şeylin BI_J değerleri, düşük değerlerde hesaplanmaktadır. Örneğin, yüksek karbonat miktarına sahip Eagle Ford şeylinin BI_J değerleri %15-27 arasındadır (Hu ve ark., 2015).

Dolotaşının, kireçtaşından daha kırılgen olduğuna işaret eden Wang ve Gale (2009) BI eşitliğine dolomit mineral yüzde ağırlığını da eklemiştir. Buna ek olarak, organik madde varlığının, kil minerallerine benzer biçimde şeylin sünümlülüğünü artırmakta olduğu düşünülmektedir (Wallis, 2004; Kumar ve ark., 2012). Bu nedenle Wang ve Gale (2009) tarafından Jarvie ve ark. (2007) eşitliği yenilemiştir ve aşağıda verilen eşitlikteki gibi hesaplanmaktadır.

$$BI_{W-G} (\%) = \frac{\text{Kuvars} + \text{Dolomit}}{\text{Kuvars} + \text{Dolomit} + \text{Kireçtaşı} + \text{Kil mineralleri} + \text{TOK}}$$

Diaz ve ark. (2013) şeyl gaz sistemlerinin rezervuar kalitesi parametrelerinin, mineralojik bileşim, TOK, diyajenetik süreçler, efektif porozite, permeabilite ve

hidrokarbon doygunluğu ile ilişkili olduğuna işaret etmektedir. BI eşitlikleri Diaz ve ark. (2013) tarafından revize edilmiştir ve aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanmaktadır. BI_D eşitliğindeki KFM; kuvars, feldispat ve mika minerali yüzde miktarını, KAR; dolomit, kireçtaşı ve fosfat minerali miktarını, KİL; kil minerallerinin yüzde miktarını ve TOK; toplam organik karbon içeriğini ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitlikte de karbonat mineralleri (kalsit vb.) ihmal edilmemektedir.

$$BI_D (\%) = \frac{KFM + KAR}{KFM + KAR + KİL + TOK}$$

Dünyada potansiyeli bilinen şeyl gaz sistemlerinin Young modülü (E) değerleri Kumar ve ark. (2012) tarafından toplam 144 şeyl üzerinde ölçülmüştür. Bir şeyl rezervuarından hidrolik çatlatma ile petrol veya gaz üretimi yapılabilmesi için kil minerali, TOK içeriği ve porozite değerlerinin düşük olması beklenmektedir. Araştırmacıların elde ettikleri sonuçlara göre Young modülü ve sertlik değerleri ile kil minerali miktarı, TOK içeriği ve porozite arasında negatif bir korelasyon bulunmaktadır. XRD tüm kayaç ve porozite analizi sonuçlarını kullanarak bir şeylin Young modülü (E) ve Sertlik (H) değerlerini GPa birimi ile hesaplamak için Kumar ve ark. (2012) aşağıdaki eşitliği önermektedir. Eşitlikte kullanılan “Ø” porozite değerini ifade etmektedir. E ve H eşitliklerinde porozite değeri için örneklerin Cıva porozimetresi (MCIP) analiz sonuçları kullanılmıştır (Bkz. Bölüm 8.2).

$$E = 72 - (2.27 \times \text{Ø}) - (1.83 \times \text{TOK}) - (0.2 \times \text{Kil}) + (0.045 \times (\text{Kuars} + \text{Karbonat}))$$

$$10H = 17.7 - (1.83 \times \text{Ø}) - (0.027 \times \text{Kil}) + (0.17 \times (\text{Kuars} + \text{Karbonat}))$$

Yukarıda önerilen eşitliklerle hesaplanan BI, E ve H değerleri Çizelge 9.1’de verilmiştir. Dünyada potansiyeli bilinen şeyl gaz sistemlerinin kırılgenlikleri farklı mineraller tarafından kontrol edilmektedir. Örneğin, Woodford şeyli, kuvars; Barnett şeyli, kuvars ve karbonat; Haynesville ve Eagle Ford ise karbonat açısından zengindir (Kumar ve ark., 2012). Bu çalışmada Dadaş Formasyonu’nun lokasyonlara göre mineralojik bileşimlerinde saptanan çeşitlilik nedeniyle, hesaplanan minimum ve maksimum BI değerlerinde de farklılıklara gözlenmektedir (Çizelge 9.1).

Çizelge 9. 1. Dadaş Formasyonu'nun BI (Kırılabilirlik Faktörü), E (Young Modülü) ve H (Sertlik) değerleri.

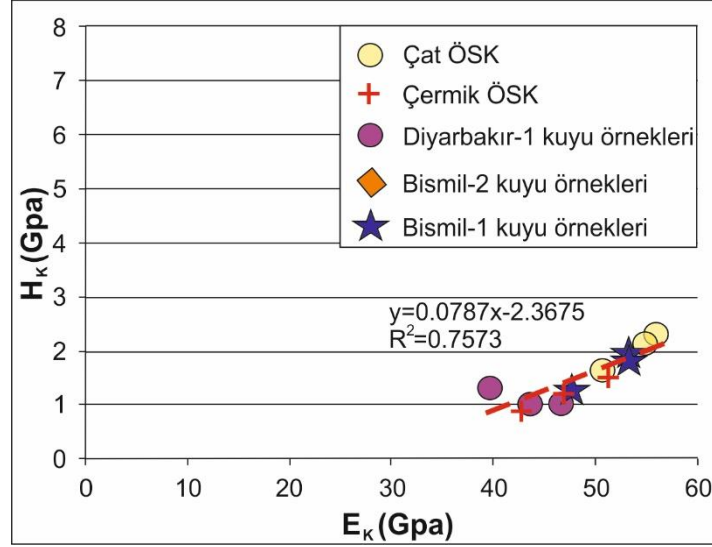
Örnek Adı	BI _J (%) (Jarvie, 2007)	BI _{W-G} (%) (Wang ve Gale, 2009)	BI _D (%) (Diaz ve ark. (2013))	E _K (GPa) (Kumar ve ark. (2012))	H _K (GPa) (Kumar ve ark. (2012))
C-3	42	41	52	51	1.59
C-7	34	33	42		
C-17	41	40	47	55	2.13
C-24	42	40	46	56	2.28
K-1	26	27	39		
K-4	23	22	37		
K-6	16	16	34		
K-9	19	21	40		
K-12	16	18	40	47	1.17
K-14	21	22	39		
K-17	26	26	42		
K-19	30	30	42		
K-23	25	24	40	51	1.48
K-26	21	22	39		
K-29	21	21	37		
K-32	24	25	42		
K-35	26	25	39	43	0.85
K-38	18	19	35		
K-39	26	27	40		
D-1	5	11	38		
D-2	12	20	42		
D-3	12	15	42		
D-4	8	12	33		
D-5	18	19	38	44	1
D-6	15	20	52		
D-7	13	15	35		
D-8	18	20	38		
D-9	17	19	37	40	1.3
D-10	19	20	39		
D-11	15	21	42		
D-12	16	20	38		
D-13	19	23	41		
D-14	14	16	28		
D-15	19	20	43		
D-16	31	35	55		
D-17	29	31	46		

Çizelge 9.1. devam ediyor.

Örnek Adı	BI _J (%) (Jarvie, 2007)	BI _{W-G} (%) (Wang ve Gale, 2009)	BI _D (%) (Diaz ve ark. (2013)	E _K (GPa) (Kumar ve ark. (2012)	H _K (GPa) (Kumar ve ark. (2012)
D-18	29	31	50	47	1.02
D-19	23	25	44		
D-20	12	14	35		
D-21	29	31	46		
B-2-1	9	19	56		
B-2-2	8	14	54		
B-2-3	9	25	49		
B-2-4	9	16	46		
B-2-5	9	15	50		
B-2-6	10	14	39		
B-2-7	8	12	46		
B-2-8	8	11	40		
B-2-9	7	12	49		
B-2-10	7	14	46		
B-2-11	9	17	42		
B-2-12	9	19	46		
B-2-13	7	13	51		
B-1-1	13	22	36	53	1.79
B-1-2	10	25	42		
B-1-3	8	10	30	48	1.27
B-1-4	9	22	41	53	1.92
Max.	42	41	56	56	2.28
Min.	5	10	28	40	0.85
Ortalama	18	21	42	49	1.48

Dadaş Formasyonu'nun Young modülü değerleri (E_K) 40-56 GPa değer aralığındadır. Bu çalışmada kullanılan tüm eşitlikler için en yüksek BI, E_K ve H_K değerleri Çat ÖSK'ında hesaplanmıştır. Bu durum örneklerin düşük kil minerali içeriği ve düşük porozite değerlerine karşılık yüksek miktarda kuvars içeriğine sahip olması ile açıklanabilir. Bismil-2 kuyu örneklerinde yaşanan kirlenme problemi nedeniyle elde edilen sonuçlar Dadaş Formasyonu'nun kırılgenliğini temsil etmemektedir.

Bir şeylin sertliği ve Young modülü arasında pozitif korelasyon bulunmaktadır (Kumar ve ark., 2012). Dadaş Formasyonu'nun H_K değerleri, düşük kuvars ve karbonat yüzde bolluk miktarı nedeniyle 0.85-2.28 GPa aralığındadır. Dünyada bilinen şeyl gaz sistemlerine benzer biçimde Dadaş Formasyonu'nun hesaplanan E_K ve H_K arasında da pozitif korelasyon gözlenmiştir (Şekil 9.2).



Şekil 9. 2. Dadaş Formasyonu'nun Young modülü (E) değerlerine karşılık sertlik (H) değerleri.

Dadaş Formasyonu'nun hesaplanan E_K ve H_K değerleri, Çizelge 9.2'de dünyada önemli şeyl gaz rezervuarlarına ait ölçülen E ve H değerleri karşılaştırılmıştır. Şeylin heterojen yapısı nedeniyle E ve H değerleri önceki çalışmalarda oldukça geniş değer aralığında gözlenmektedir. Yüksek Young modülü değerlerine sahip örneklerin yüksek miktarda kuvars ve karbonat minerallerine sahip olması göz önünde bulundurulmalıdır (Rezaee, 2015). Çizelge 4.12'de görüleceği üzere Dadaş Formasyonu E ve H değerleri, Barnett şeyli ile oldukça benzer değerlere sahiptir.

Tan ve ark. (2014) Alt Siluriyen yaşlı şeyllerin mineralojik bileşimlerini kullanarak üçgen diyagram üzerinde kırılgenlik için tipik üç zon ayırt etmişlerdir. Tan ve ark. (2014) ile Hazra ve ark. (2016)'dan sonra Alt Siluriyen-Alt Devoniyen yaşlı (Yılmaz ve Duran, 1997) Dadaş Formasyonu örneklerinin sahip olduğu zonun tespit edilmesi için üçgen diyagram kullanılmıştır (Şekil 9.3).

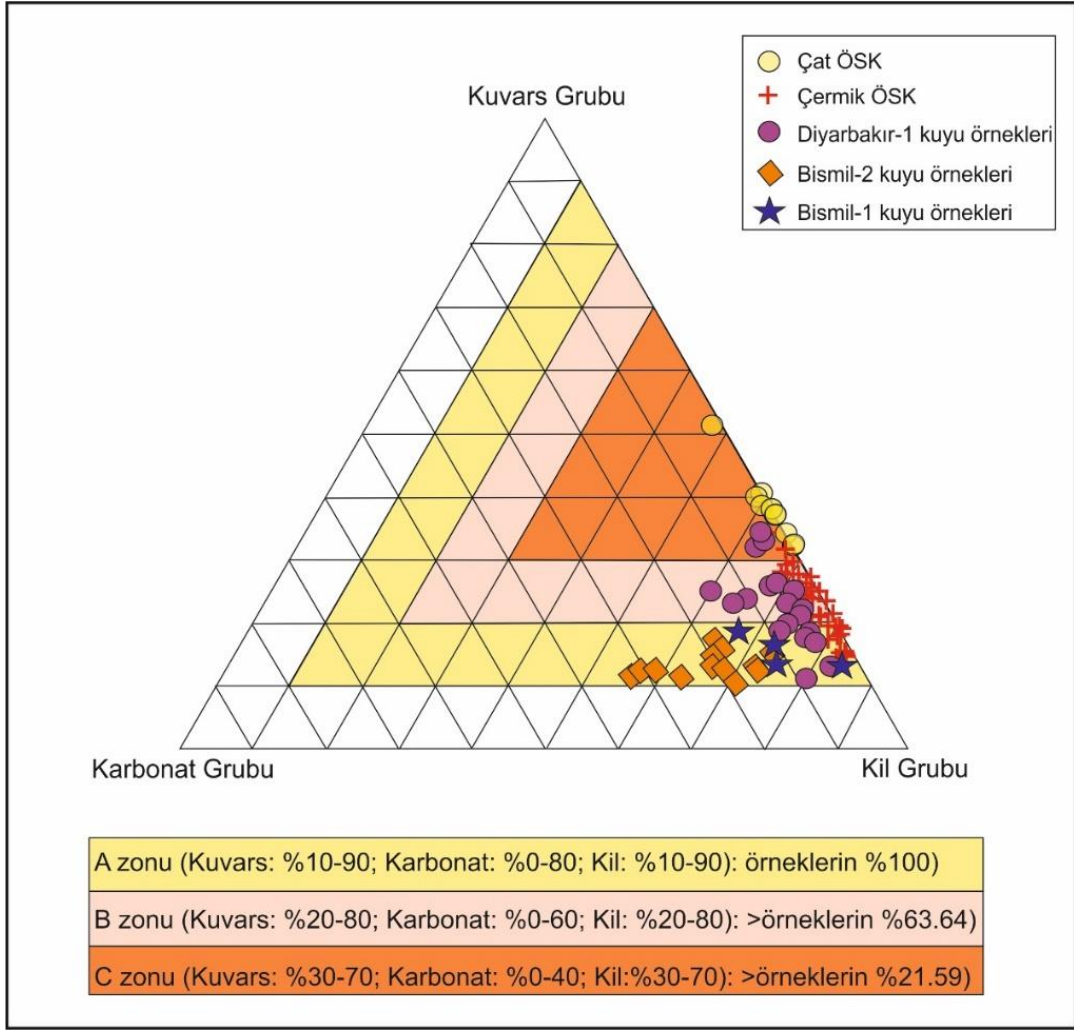
Çizelge 9. 2. Dünyada bilinen şeyl gaz rezervuarlarına ait E ve H değerleri (Kumar ve ark., 2012; Miskimins, 2012; Rezaee, 2015).

	E	H
	(GPa)	(GPa)
Barnett	39-78	~0.90-2.70
Woodford	23-80	0.54-7.20
Eagle Ford	31-57.50	0.45-1.50
Haynesville	31-79	1.10±0.60
Bakken	05-52	-
Ordovisiyen Şeyli	49-57	1.00-1.30
Dadaş	40-56¹	0.85-2.28¹

¹=Kumar ve ark. (2012) E_K ve H_K eşitliklerinden hesaplanan değerler

Dadaş Formasyonu'nun dünyadaki Alt Siluriyen yaşlı şeyllere benzer mineralojik bileşime (Tan ve ark. 2014) sahip olduğu gözlenmektedir. Örneklerin karbonat içeriği oldukça düşük yüzde bolluk miktarına sahiptir. Buna karşılık, kil içeriği oldukça yüksektir. Şekil 9.3'e göre örneklerin tümü A zonunda yer almaktadır. Örneklerin %63.64'ten fazlası B zonunda ve %21.59'u ise C zonunda yer almaktadır. Çat ÖSK örneklerinin tümü ile Çermik ÖSK ve Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin bir kısmı C zonundadır. Jarvie ve ark. (2007, Şekil 10) verilerine göre Barnett şeylinin karbonat mineralleri miktarının çeşitli aralıklarda değiştiği ve Tan ve ark. (2014)'e göre yüksek oranda C zonunda yer aldığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, Dadaş Formasyonu'nun BI değerleri, mineralojik bileşim ve organik madde miktarı göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Örneklerin çoğunlukla düşük kuvars ve düşük karbonat içeriği ile yüksek kil minerali miktarı nedeniyle sünümlü bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Fakat yapılan değerlendirmeler sonucunda, Çat ÖSK ve Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin hidrolik çatlatmaya uygun olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 9. 3. Dadaş Formasyonu'nun tüm lokasyonlardaki mineralojik bileşimi (Tan ve ark., 2014; Hazra ve ark., 2016). (Kuars grubu mineraller; kuvars, feldispat, apatit, pirit, kil grubu mineraller; kil ve mika, karbonat grubu; kalsit, dolomit, ankerit ve siderit minerallerinden oluşmaktadır).

9.2. Dadaş Formasyonu'nun TOK, Rock-Eval Piroliz Analiz Sonuçlarının Değerlendirmeleri

Jeokimyasal korelasyon, petrol sistemlerinin başarılı bir biçimde anlaşılması ve geliştirilmesinde oldukça önemlidir (Peters ve ark., 2005). Bu bölümde bu çalışma kapsamında alanında örneklenen Dadaş Formasyonu'nun TOK ve Rock-Eval piroliz analizi sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

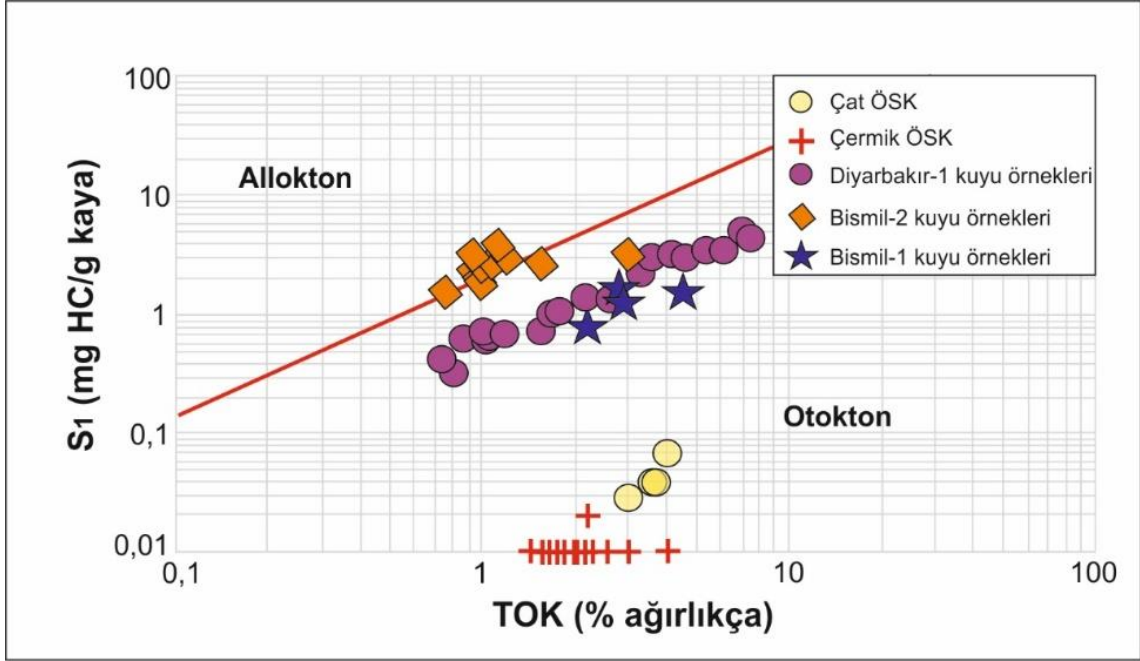
Dadaş Formasyonu'nun (Bismil-2 kuyusu hariç) ortalama %2.67 TOK içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Düşük termal olgunlukta %2.00'den yüksek TOK içeriğine sahip bir kaynak kayanın, yüksek hidrokarbon kaynak kaya potansiyeli ve şeyl petrol-gaz sistemi için yeterli organik madde miktara sahip olduğu

bilinmektedir (Jarvie, 2004, 2012b). Fakat muhtemel üretim potansiyeline sahip olmak için organik madde miktarı tek başına yeterli olmamaktadır ve S_1 , S_2 parametreleri ile birlikte değerlendirilmelidir (Dembicki, 2009).

Petrolün muhtemel üretilebilirliğini ifade etmek için kullanılan bir diğer yaklaşım ise jeokimyasal parametrelerin oranıdır. Rock-Eval S_1 parametresi şeyl içinde serbest dolaşan hidrokarbon varlığı ya da yokluğu hakkında bilgi vermektedir. Bu sebeple S_1 değeri otokton (indigenous) hidrokarbonlara ek olarak göç eden allokton (non-indigeneous) hidrokarbonları da içermektedir. Dadaş Formasyonu'nun otokton ve allokton hidrokarbonlarının tespit edilebilmesi için Hunt (1996) tarafından önerilen S_1 değerlerine karşılık TOK içeriği (% ağırlıkça) grafiği Şekil 9.4'te verilmiştir. Buna ek olarak, yüksek QI ile düşük HI değeri (<300 mg HC/g TOK) Peters (1986) tarafından sondaj çamuru veya kuyunun kontaminasyonu ile ilişkilendirilmiştir. Diyarbakır-1 kuyu örnekleri de yüksek QI değerlerine sahiptir. Fakat örneklerin S_1 değerleri, S_2 değerlerinden düşüktür.

Bir diğer değerlendirme MI (S_1 /TOK) oranı ile yapılmaktadır. Jarvie ve Baker (1984) MI oranı 1.50'den yüksek olan örneklerin, göç eden hidrokarbonlar ya da kuyudaki yıkıntılar sonucunda kirlenmiş olabileceğini belirtmişlerdir. Göç eden hidrokarbonları, yerinde hidrokarbonlardan ayırt etmek için çeşitli teknikler uygulanmaktadır (Li ve ark., 2018; Chen ve ark., 2018).

Çat ve Çermik ÖSK yüzey örnekleri ile Diyarbakır-1 ve Bismil-1 kuyu örnekleri, MI değerlerine göre otokton hidrokarbonlar içermektedir. Şekil 5.2'de görüleceği üzere bu değerlendirme, Bismil-2 kuyu örneklerinin allokton hidrokarbonlar tarafından kirlenmiş olabileceğine işaret etmektedir. Örneklerin S_1 değerleri, S_2 değerlerinden daha yüksektir. Kirlenme, farklı bir kaynaktan türeyen hidrokarbonların kaynak kayaya göç etmesi, sondaj çamuru veya kuyunun üst seviyelerinde yaşanan yıkıntılar (caved) sonucu gelişebilmektedir (Jarvie ve Baker, 1984; Peters, 1986; Bordenave, 1993; Hunt, 1996). Kirliliğe neden olan etkeni, görsel kerojen değerlendirmeleri ile saptamak mümkündür. Bu durum Bölüm 6.3.4 ve 7.4'de tartışılmıştır. Sonuç olarak, Bismil-2 kuyu örneklerinin yüksek S_1 , düşük Tmax ve HI değerleri nedeniyle sondaj çamuru, göç eden hidrokarbonlar veya kuyudaki yıkıntılar sonucunda kirlenmiş olabileceği düşünülmektedir.

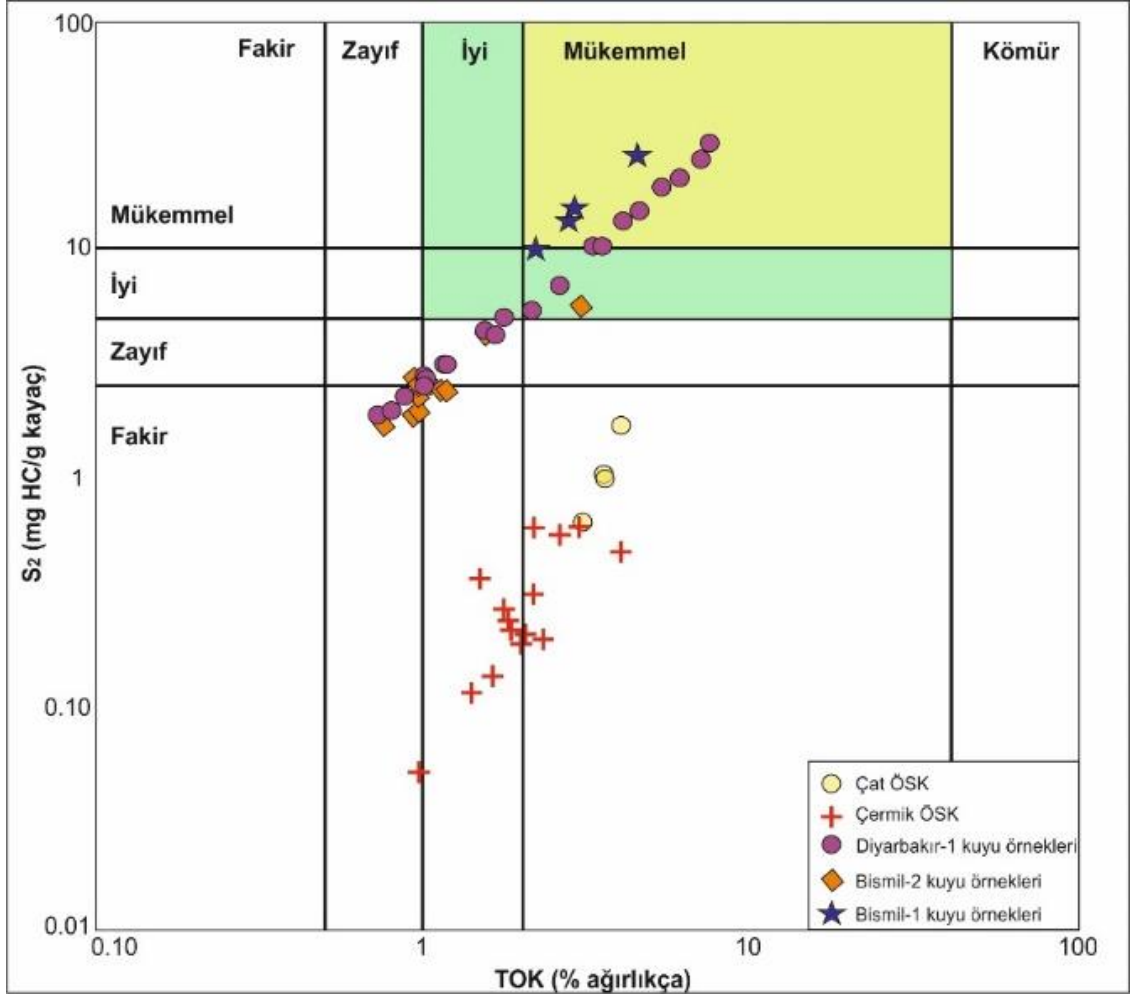


Şekil 9. 4. Dadaş Formasyonu örnek gruplarına ait S_1 değerlerine karşılık TOK (% ağırlıkça) içeriği grafiği (Hunt, 1996).

S_2 değeri, kayaç içinde geriye kalan, petrol ve/veya gaz türetme potansiyeline sahip organik madde miktarını göstermektedir (Peters, 1986). Bir kaynak kayanın kaynak kaya potansiyelini belirleyebilmek için organik madde miktarının, S_2 parametresi ile birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir (Dembicki, 2009). Dadaş Formasyonu örneklerinin S_2 değerlerine karşılık TOK içeriği (% ağırlıkça) logaritmik grafiği Şekil 9.5'te verilmiştir. Şekil 9.5'te görüleceği üzere Dadaş Formasyonu'nun tüm lokasyonlarda TOK içeriği benzer değer aralıklarında değişmektedir. Fakat örnekler, S_2 değerlerine göre iki gruba ayrılmaktadır. S_2 değerlerinin yükselmesiyle, hidrokarbon üretim potansiyelinin doğrusal bir eğilimle (güvenilirliği yüksek $R^2=0.90-0.99$, Çermik ÖSK hariç) arttığı izlenmektedir.

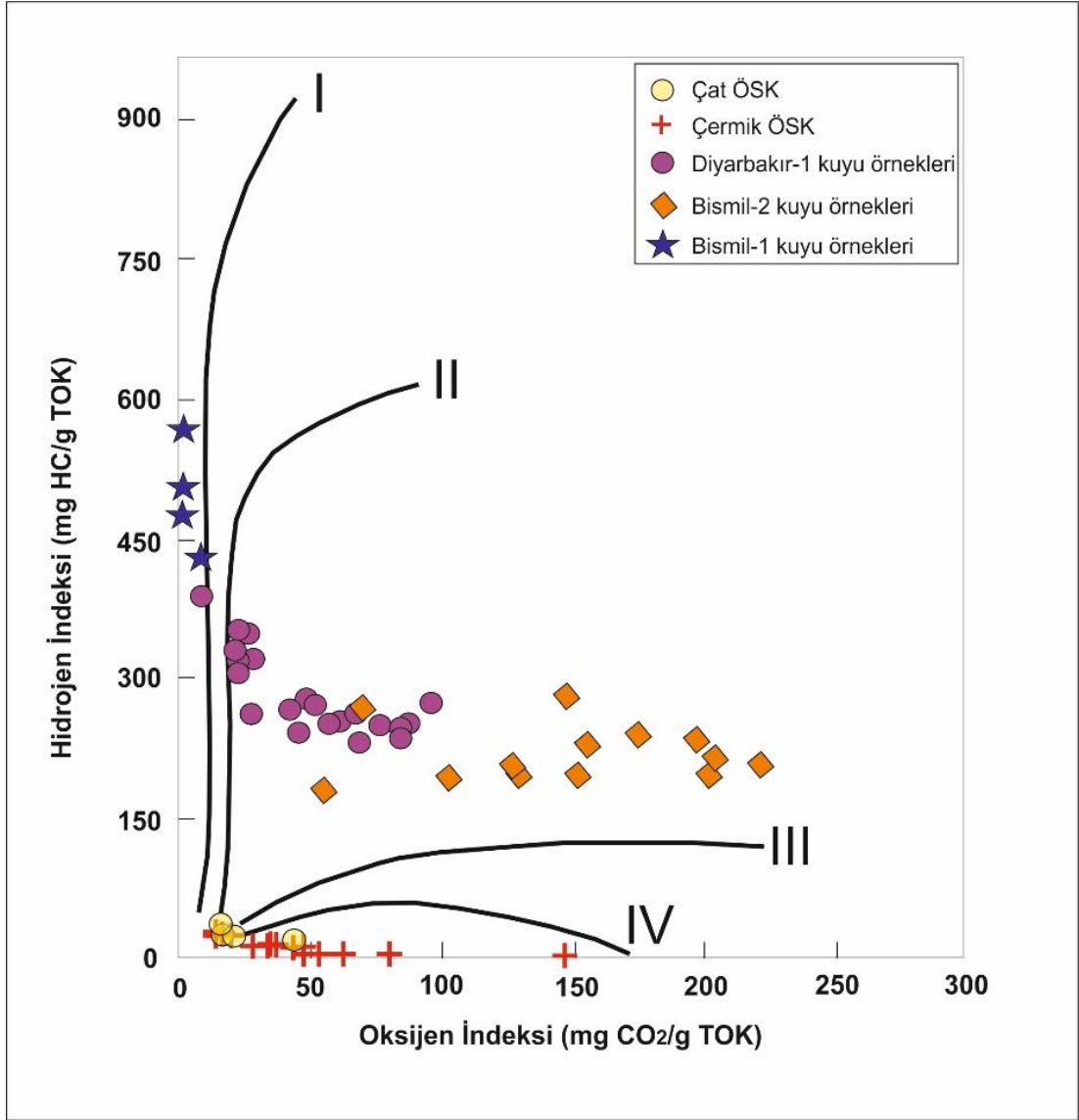
Şekil 9.5'te Bismil-1 kuyu örnekleri mükemmel hidrokarbon kaynak kaya potansiyeline sahiptir. Kirlenen Bismil-2 örneklerinin ise zayıf kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin doğrusal bir eğilimle fakir, zayıf, iyi ve mükemmel kaynak kayaya işaret eden potansiyellere sahip olduğu gözlenmektedir. Yüzey örneklerinin ekonomik TOK içeriğine

rağmen düşük S_2 değerleri nedeniyle zayıf kaynak kaya potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 9. 5. Dadaş Formasyonu'nun S_2 değerlerine karşılık TOK (% ağırlıkça) içeriği logaritmik grafiği (Dembicki, 2009).

Espitalie ve ark. (1977), Hunt (1979), Jones (1987), Bordenave (1993) vb. araştırmacılar, petrol ve kömür çalışmalarında kullanılan geleneksel Van Krevelen diyagramını, dünya üzerindeki kaynak kaya potansiyeli bilinen örneklere ait veriler kullanarak oluşturmuşlar ve ardından tipik kerojen tipleri (H/C ve O/C atomik oranları) verilerine göre yeniden değerlendirmişlerdir. Kerojen tipleri ile ilgili bilgi veren HI değerlerine karşılık OI değerleri diyagramı, organik jeokimyasal çalışmalarda kullanılan geleneksel bir diyagramdır. Bu çalışmada kullanılan HI değerlerine karşılık OI değerleri diyagramı Peters (1986)'tan alınmıştır (Şekil 9.6).



Şekil 9. 6. Dadaş Formasyonu örnek gruplarına ait HI değerlerine karşılık OI değerleri grafiği (Van Krevelen kerojen tip sınır değerleri, Peters (1986)'dan alınmıştır).

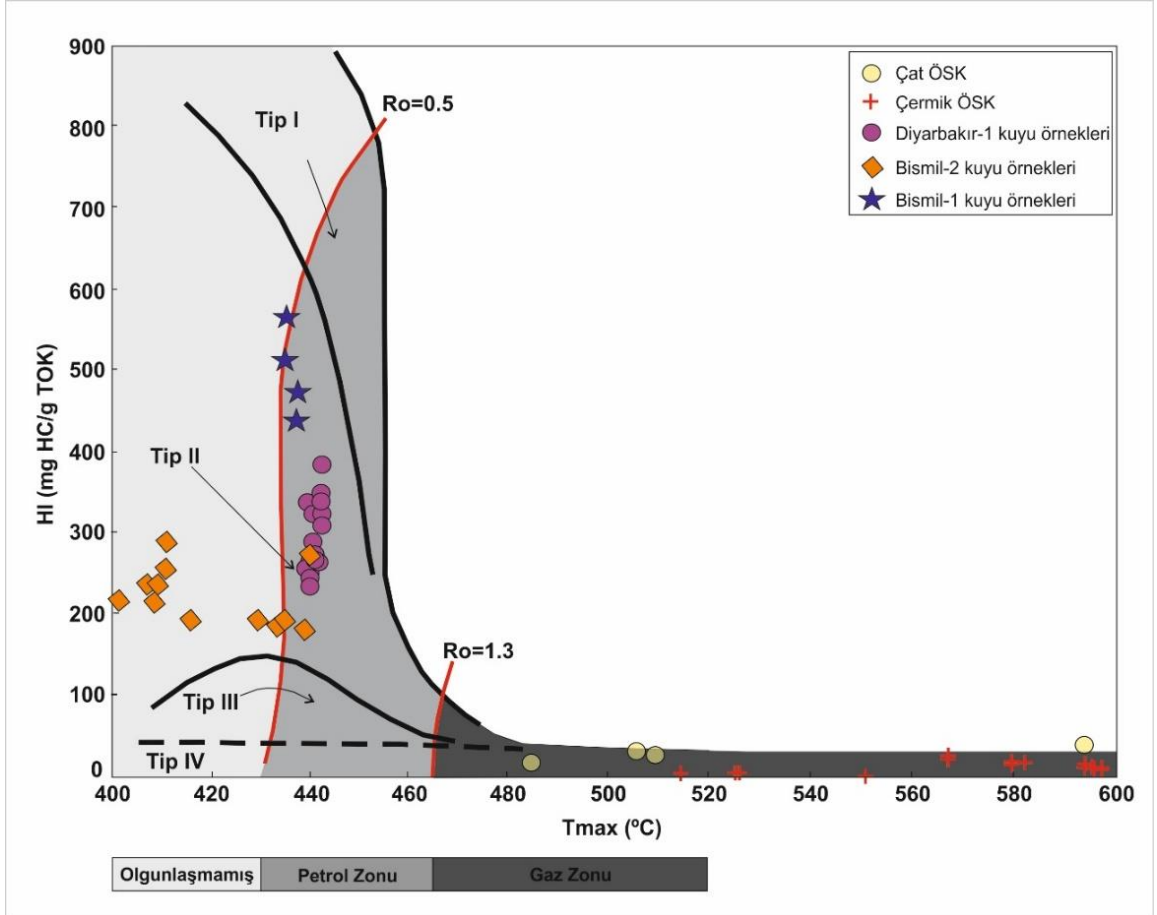
HI değerlerine karşılık OI değerleri grafiğinde Dadaş Formasyonu'nun Tip II ve Tip IV kerojen tipine sahip olduğu gözlenmektedir. Tip IV kerojen, örneklerin içindeki organik maddenin yüksek alterasyon koşullarına maruz kaldığına ve yeniden işlendiğine (Jarvie ve Baker, 1984) ve içindeki hidrojen ve oksijeni hemen hemen yitirdiğine (Bordenave, 1993) işaret etmektedir. Sonuç olarak, organik madde dönüşümünün yüzey örneklerinde yüksek oranda yaşandığı tespit edilmiştir (Jarvie (2004) eşitliğine göre TR %92.41-98.92).

Termal açıdan olgunlaşmamış organik madde içindeki kerojenin bileşimden ilk olarak CO₂ ve H₂O atılmaktadır ve bu nedenle ilk önce oksijen miktarında düşüş yaşandığı belirtilmektedir (Espitalie ve ark., 1977; Landais ve ark., 1991). S₃ piki, kerojenin termal parçalanması sonucu ortaya çıkan CO₂ miktarını göstermektedir. Rock-Eval piroliz analizinde elde edilen S₃ değerleri en düşük Bismil-1 kuyu örneklerinde tespit edilmiştir. Bu nedenle Ol değerleri de oldukça düşük değerlerde hesaplanmıştır (Çizelge 5.17 ve Şekil 9.6). HI değerlerine karşılık Ol değerleri diyagramında Tip II kerojen sınır değerleri, termal olgunluk ve organik maddenin erken diyajenetik oksidasyonundan oldukça etkilenmektedir (Demaison ve Bourgeois, 1984; Waples, 1985). Bu nedenle düşük HI değerlerine göre Tip II/III kerojen sınırlarına karşılık gelen Diyarbakır-1 kırıntı kuyu örneklerinin gerçekçi olmayan olgunluğa sahip olabileceği düşünülmektedir (Landais ve ark., 1991; Bordenave, 1993).

Kerojen tipi ve termal olgunluk hakkında bilgi edinmek için yapılan bir diğer değerlendirme ise HI değerlerine karşılık Tmax değerleri grafiğidir. HI değerine karşılık Tmax grafiği, hidrokarbon üretim kapasitesi ve olgunluk hakkında bilgi sağlayan kerojen karakterizasyonu grafiğidir (Espitalie ve ark., 1977; Orr, 1981; Jarvie ve Baker, 1984). Bu diyagramın HI değerlerine karşılık Ol diyagramından daha güvenilir olduğu düşünülmektedir. Bunun nedeni, Tmax ve HI değerlerinin, S₂ değerinden itibaren sırasıyla ölçülen ve hesaplanan parametreler olması ile açıklanabilir. Bu nedenle, S₂ miktarının, TOK içeriğine bölünmesiyle elde edilen HI değeri, S₂ parametresinden daha güvenilir kabul edilmektedir. Tmax değerlerinin aralığı ise hidrokarbon üretimi için gerekli olan maksimum sıcaklık değerini ifade etmektedir (Tissot ve Welte, 1994). Bu nedenle, HI değerlerine karşılık Tmax değerleri diyagramı Şekil 9.7’de Dadaş Formasyonu şeyl örnekleri için verilmiştir. Tip IV kerojen için HI sınır değeri (<50 mg HC/g TOK) Jones (1984)’tan referans alınmıştır.

Şekil 9.7’de görüleceği üzere Çat ve Çermik ÖSK örnekleri HI ve Tmax değerlerine göre, gaz zonunda yer almaktadır. Diyarbakır-1 ve Bismil-1 kuyu örneklerinin ise termal olgunluğu, petrol türetme zonunda yer almaktadır. Bismil-2 kuyu örneklerinin düşük Tmax değerleri, oldukça düşük termal olgunluk derecesini yansıtmaktadır. Tmax değerleri, S₂ pikinde bulunan ağır ve hafif

hidrokarbonların varlığına bağlı olarak düzensiz bir şekilde düşük (<400°C) gözlenebilmektedir (Jarvie ve Tobbey, 1999). Buna ek olarak, örneklerdeki kirlenme sonucunda da düşük Tmax değerleri ölçülebilmektedir (Bordenave, 1993).

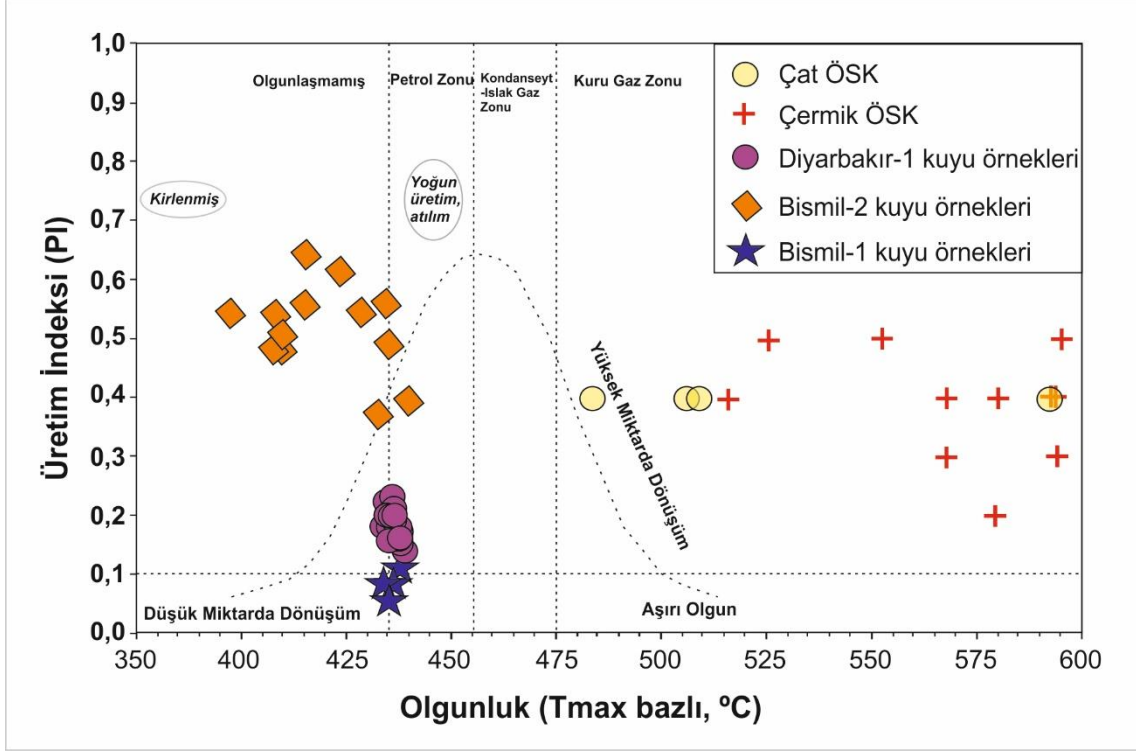


Şekil 9. 7. Dadaş Formasyonu şeyl örnek gruplarına ait HI değerlerine karşılık Tmax değerleri grafiği (Espitalie ve ark., 1984; Stanley ve ark., 1992).

Rock-Eval piroliz analizi sonucunda örneklerin termal olgunluğunu ve örneklerde yaşanan kirlilik problemlerini tayin etmek için kullanılan bir başka yöntem ise PI ($S_1/(S_1+S_2)$) değerlerine karşılık Tmax değerleri diyagramıdır (Şekil 9.8).

Şekil 9.7’de görüldüğü üzere Çat ve Çermik ÖSK örnekleri yüksek düzeyde dönüşüme uğramış, aşırı olgun ve kuru gaz zonunda yer almaktadır. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin düşük miktarda dönüşüme uğramış hidrokarbon içerdiği gözlenmektedir ve petrol penceresinde yer almaktadır. Bismil-1 kuyu örneklerinde ise Diyarbakır-1 kuyu örneklerine göre daha az miktarda dönüşüme uğramış hidrokarbon varlığı ile düşük termal olgunluk gözlenmektedir. Bismil-2

kuyu örneklerinde oldukça yüksek S_1 değerleri nedeniyle yüksek PI değeri elde edilmiştir. Bismil-2 örneklerinde meydana gelen kirlenme, MI (S_1/TOK) değerine benzer biçimde Şekil 9.8'de de görülmektedir.

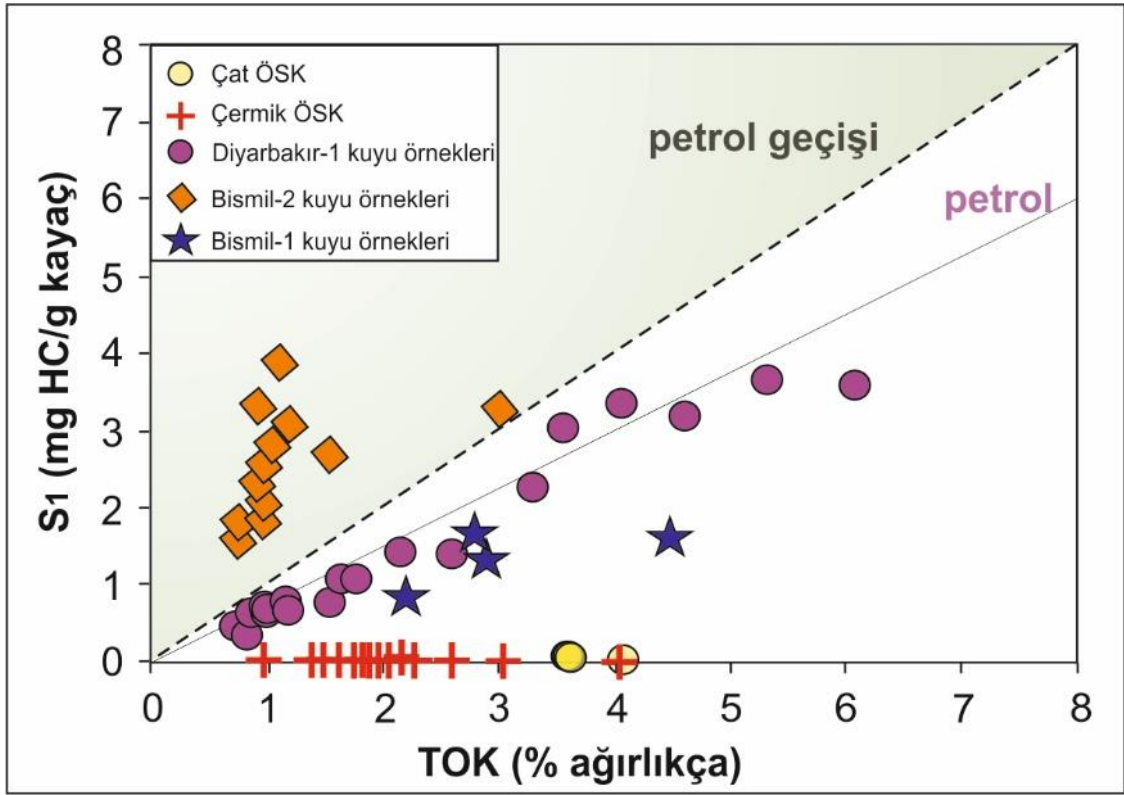


Şekil 9. 8. Dadaş Formasyonu'na ait şeyl örnekler gruplarına ait PI değerlerine karşılık Tmax (°C) değerleri grafiği (Sınır değerleri, Peters (1986)'dan alınmıştır).

Araştırmacılara göre şeyl petrol sistemleri için S_1 , TOK önemli parametrelerdir (Jarvie, 2012b). Petrol doygunluk indeksi, $OSI = [(S_1/TOK) \times 100]$ eşitliği ile hesaplanmaktadır. OSI değeri, yaklaşık 100 mg HC/g TOK olduğunda şeyl petrol üretimi için düşük riske işaret etmektedir.

Termal açıdan aşırı olgun ve Tip IV kerojen içeren yüzey örneklerinin OSI değerleri, Çat ÖSK örneklerinde 0.98-1.72 mg HC/g TOK ve Çermik ÖSK örneklerinde 0-0.91 mg HC/g TOK aralığındadır. OSI değerlerine göre yüzey örneklerinin şeyl petrol potansiyeli bulunmamaktadır. Dadaş Formasyonu'nun kuyu örneklerinin OSI değerleri, Diyarbakır-1 kuyu örneklerinde 43-86 mg HC/g TOK, Bismil-2 kuyu örneklerinde 108-354 mg HC/g TOK ve Bismil-1 kuyu örneklerinde 35-59 mg HC/g TOK aralığında hesaplanmıştır. Dadaş Formasyonu

örneklerinin petrol geçişini gösteren S_1 değerlerine karşılık TOK içeriği grafiği Şekil 9.9'da verilmiştir.



Şekil 9. 9. Dadaş Formasyonu'nun petrol geçiş etkisini gösteren serbest hidrokarbon içeriği (S_1) değerlerine karşılık TOK içeriği grafiği (Jarvie, 2012b).

Diyarbakır-1 ve Bismil-1 kuyu örneklerinin OSI değerleri düşük riske işaret eden sınır değerın üzerindedir. Jarvie (2012b) dünyada önemli şeyl gaz potansiyeline sahip olduğu düşünülen şeyllerin OSI değerlerini araştırmıştır. Örneğin Williston basenindeki Devoniyen yaşlı termal açıdan düşük olgunluğa sahip Bakken Formasyonu'nun OSI değeri ortalama 80 mg HC/g TOK'dur. Buna rağmen çok iyi şeyl petrol potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir.

Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler sonucunda Dadaş Formasyonu'nun hidrolik çatlatma yöntemi ile şeyl petrol üretimi potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Bu kapsamda Dadaş Formasyonu'ndan, 2019 yılında TPAO tarafından Diyarbakır'daki, Mermer-1 sahasında 3500 m derinlikte açılan sondajda yapılan hidrolik çatlatma yöntemiyle Türkiye'de ilk kez şeyl petrol üretimi yapılmıştır (www.ntv.com.tr).

9.3. Mineral Matriks Etkisi Değerlendirmeleri

Genellikle düşük S_2 miktarına sahip kayaçlarda (0-3 mg HC/g kayaç) hidrokarbon tutunumunun fazla, yüksek S_2 miktarına sahip kayaçlarda ise hidrokarbon tutunumunun daha az olduğu belirtilmektedir (Dahl ve ark., 2004). Bu çalışmada Dadaş Formasyonu'nda mineral matriks tarafından adsorplanan hidrokarbon miktarının, Çat ÖSK örneklerinde yüksek olduğu tespit edilmiştir. XRD tüm kayaç analizi yüzde bolluk sonuçlarına göre kil minerali miktarı örnek alınan diğer lokasyonlara göre en düşük yüzdeye sahiptir (ortalama %48.05). Alınan örneklerin tümü için kil minerali yüzde bolluk miktarı ile hidrokarbon adsorplama miktarı arasında güçlü bir ilişki gözlenememiştir ($y=-2.20x+56.48$, $R^2=0.19$). Fakat hidrokarbon adsorplama kapasitesinin ise en yüksek olduğu lokasyon en yüksek S_2 değerlerinin ölçüldüğü Bismil-1 kuyu örnekleridir (5.96 mg hidrokarbon). XRD kil fraksiyonu analizi yüzde bolluk sonuçlarına göre illit mineralinin en yüksek olduğu lokasyon Bismil-1 kuyu örnekleridir (ortalama % 55.09). Örneklerin tümü için illit minerali yüzde bolluk miktarı ile hidrokarbon adsorplama miktarı arasında güçlü bir ilişki gözlenememiştir ($y=-4.41x+41.30$, $R^2=0.11$). Benzer biçimde illit yüzde bolluk miktarı ile hidrokarbon adsorplama kapasitesi arasında da oldukça zayıf bir ilişki olduğu gözlenmiştir ($y=2.31x+32.94$, $R^2=0.14$).

Rock-Eval piroliz S_2 parametresi ve TOK içeriği kullanarak petrol potansiyeli ve kerojen tipini belirlemek mümkündür (Peters, 1986). Önceki çalışmalarda Şekil 5.2.f'de verilen S_2 -TOK grafiği ile kerojen tipleri regresyon çizgisi ile belirlenmiştir (Langford ve Blanc-Valleron, 1990). Bismil-1 kuyu örneklerinin regresyon çizgisinin, Tip II kerojen alanında yer aldığı görülmektedir. Çat ve Çermik ÖSK örneklerinin ise oldukça düşük miktarda S_2 değerleri nedeniyle Tip IV kerojen alanı sınırlarında olduğu gözlenmektedir. Diyarbakır-1 ve Bismil-2 kuyu örnekleri Tip II/III kerojen aralığındadır. Bu çalışmada Dadaş Formasyonu'nun organik madde bileşenleri Bölüm 6'da araştırılmıştır ve kırıntı kuyu örnekleri Tip II ve az miktarda Tip I kerojen tipi içermektedir. Bu durumun nedeni iki şekilde açıklanabilir. Birinci neden, termal olgunluk arttıkça, Tip II kerojenin, Tip III kerojene göre daha hızlı oksijensiz fonksiyonlara dönüşmesidir (Landais ve ark., 1991). Bir diğer neden ise kırıntı kuyu örneklerinde ve özellikle yüzey örneklerinde meydana gelen oksitlenmelerin (özellikle Tip II kerojen içeren

kaynak kayalardaki kerojenin, Landais ve ark., 1991) gerçekçi olmayan olgunluk seviyelerine ulaşmasıdır (Bordenave, 1993).

Bu çalışmada örneklerin petrol ve kuru gaz penceresinde olduğu Rock-Eval piroliz analizi ile tespit edilmiştir. Bugünkü HI değeri mineral matriks etkisinin araştırıldığı bu bölümde termal olgunluk hakkında da bilgi edinilmiştir. Bu kapsamda S₂-TOK grafiği regresyon analizi sonucunda, termal olgunluğu yüksek yüzey örneklerinde (Çat ve Çermik) düşük HI değerleri (sırasıyla 102 ve 16 mg HC/g TOK) gözlenirken, Diyarbakır-1 ve Bismil-1 kuyu örneklerinde yüksek HI değerleri (sırasıyla 371 ve 690 mg HC/g TOK) tespit edilmiştir. Bu bölümde elde edilen sonuçlara göre göreceli bir olgunluk parametresi olan Tmax parametresine benzer biçimde S₂-TOK grafiğinin de bir olgunluk parametresi niteliğine sahip olabileceği görülmektedir.

Graptolit kavkıları üzerinde gerçekleştirilen SEM-EDAX analizinde elde edilen sonuçlara göre yüzey örneklerinin, jeolojik zaman içinde maruz kaldığı tektonik süreçler ile termal olgunluklarının yükseldiği ve atmosfer koşullarında güçlü bir alterasyona maruz kaldıkları düşünülmektedir.

Örneklerin maruz kaldığı süreçler, içerdiği organik maddenin zayıf karbon gruplarını yitirmesi ve güçlü aromatik grupların artışı ile sonuçlanmaktadır. Bu çalışmada, graptolit kavkıları üzerinde gerçekleştirilen SEM-EDAX analizi ile elde edilen C element miktarı ile mineral matriks arasındaki ilişkinin ortaya konması amaçlanmıştır. Çat ve Çermik yüzey örnekleri ile Bismil-1 kuyu örneklerinde gözlenen graptolit kavkılarının farklı element içeriklerine ve yüzdelere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum termal olgunluğun artması ile de ilişkilendirilebilir. Fakat bu sonucun güvenilirliğinin tespit edilebilmesi için yeterli sayıda örnek üzerinde araştırma yapılması gerekmektedir.

9.4. Dadaş Formasyonu'nun Yaşlandırmaya Yönelik Değerlendirmesi

İçerdiği graptolit fosilleri ile bilinen Siluriyen yaşlı şeyllerin (Ulmishek ve Klemme, 1990; Klemme and Ulmishek, 1991; Maletz, 2014) büyük bölümü, Erken Paleozoyik dönemde Gondvana'nın kuzey kenarının bir parçası olan Arap ve Afrika Plakası'nda çökelmişlerdir (Beydoun, 1991, Lüning ve ark., 2000; 2003). Dünyada petrol üretiminde önemli potansiyele sahip bu şeyller, "hot şeyl" olarak

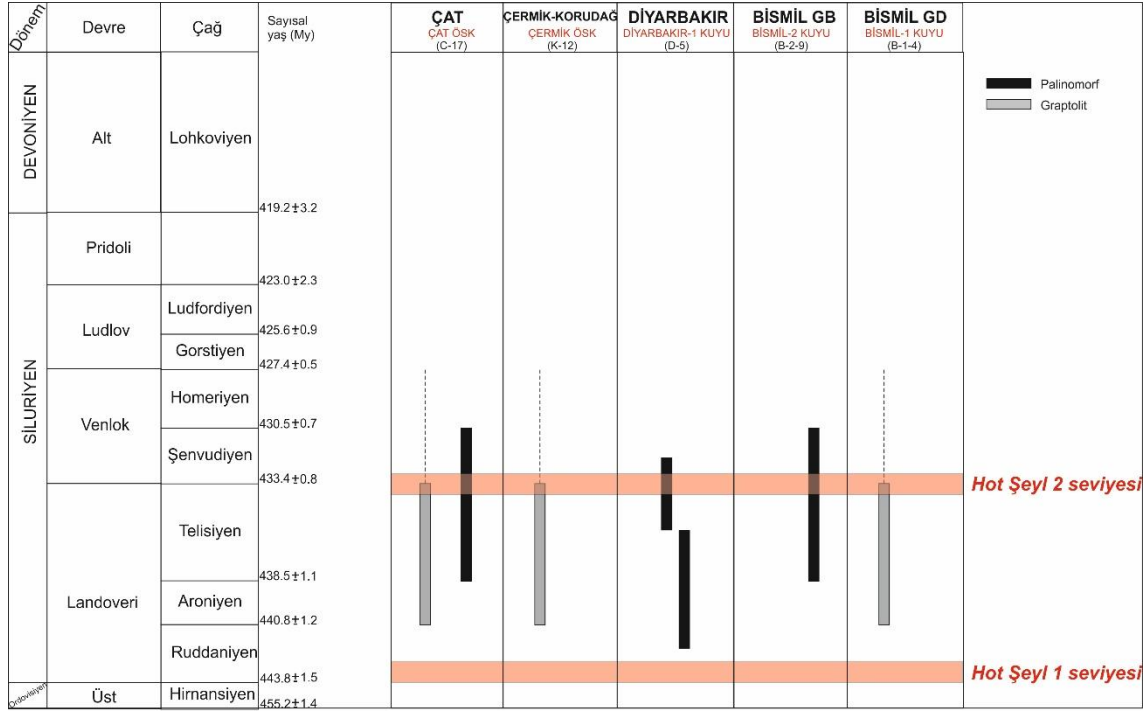
bilinmektedir (Lüning ve ark., 2000). Lüning ve ark. (2003) hot şeyl seviyesinin karşılık geldiği iki çökelim dönemine işaret etmektedirler. Lüning ve ark. (2000, 2003) hot şeyl-1 seviyesinin Erken Ruddaniyen (graptolit yaş verisi), hot şeyl-2 seviyesinin ise Telisiyen (palinomorf yaş verisi) zamanında çökeldiğini belirtmektedirler. Orta Doğu'daki ve Kuzey Afrika'daki bu hot şeylin Türkiye'deki karşılığının Dadaş Formasyonu olduğu düşünülmektedir (Aydemir, 2012).

Bu çalışmada Dadaş Formasyonu organik madde bileşenleri ile saptanan çökelim yaşına ve karşılık geldiği Dadaş seviyelerine işaret eden sonuçlar önceki çalışmalarla birlikte değerlendirilmiştir. Gözlenen graptolit fosillerinin işaret ettiği çökelim ortamı ve yaşı, palinolojik çalışmalar ile desteklenmeye çalışılmıştır.

Önceki çalışmalarda Dadaş Formasyonu'nun elde edilen tüm yaş verileri değerlendirmeye alındığında kabul edilen yaş aralığı Alt Siluriyen-Alt Devoniyen'dir. Bozdoğan ve ark. (1996) formasyonun yaşını Bozdoğan ve ark. (1988) ve Fontaine ve ark. (1989) çalışmalarında tespit edilen bol fosil içeriğine göre Üst Siluriyen-Alt Devoniyen olduğunu belirtmişlerdir. Erken Siluriyen döneminde çökelişi başlayan Dadaş Formasyonu'nun Dadaş-I seviyesinin GDA bölgesinde yüzeylemediği söylenmektedir (Yılmaz ve Duran, 1997). Lüning ve ark. (2000, 2003)'ün işaret ettiği Alt Ruddaniyen yaşlı hot şeyl-1 seviyesinin GDA bölgesi genelinde açılan kuyularda da yokluğu söz konusudur (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme).

Bugüne kadar bölgede kaynak kaya potansiyeline sahip ve coğrafik konumu en alt seviyede gözlenen birim, Çoruh ve ark. (1997) çalışmasında Telhasan-1 kuyusunda izlenmiştir. İçerdiği palinomorflara göre Landoveri-Erken Venlok? zaman aralığında çökeldiği tespit edilen bir birim olarak tanımlanmıştır. Araştırmacılara göre bu seviyenin Suriye Tanf Formasyonu'nun zamansal eşdeğeri olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle Tanf Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Bulunduğu coğrafik konumun Bedinan Formasyonu'na karşılık geldiği söylenmektedir. Biyostratigrafik açıdan Dadaş Formasyonu'na benzer olduğu düşünülmüştür. Fakat herhangi bir gruba dahil edilmemiştir. Dadaş I seviyesi Şen ve Kozlu (2020) tarafından Irak'ta Akkaş Formasyonu (Alkhafaj ve ark., 2015), Suudi Arabistan'da Qualibah Formasyonu Qusaiba şeylleri (Arouri ve ark., 2010), Ürdün'de Mudawwara Formasyonu eşleniği olduğu belirtilmektedir.

Bu bölüm, sistematik bir palinoloji çalışması amacı ile yapılmamıştır. Toplamda beş adet örnek ile hazırlanan kesitler ve üç örnekte gözlenen graptolitler ile sınırlı bir veri elde edilmiştir. Sonuçlar, önceki çalışmalar ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında alınan Dadaş Formasyonu'nun yüzey ve kuyu örneklerinde tanımlanan graptolit ve palinomorflara göre karşılık gelen yaş aralıkları Şekil 9.10'da verilmiştir.



Şekil 9. 10. Bu çalışma kapsamında graptolitlerin, palinomorfların işaret ettiği Dadaş Formasyonu'nun çökelim yaşını gösteren çizelge (Kronostratigrafik çizelge verileri, Cohen ve ark. (2018)'den; hot şeyl seviyeleri, Lüning ve ark. (2000, 2003)'den alınmıştır).

Çat bölgesinde yüzeyleyen Siluriyen yaşlı şeyllerin çökelim yaşı Kozlu ve ark. (2012)'nin tanımladıkları graptolitlere göre Ruddaniyen'dir. Bu çalışmada Çat ÖSK'sında tanımlanan graptolitler, Aroniye-Telisiye çökelim yaş aralığında işaret etmektedir (Dr. Jörg Maletz, 2017 sözlü görüşme). Tanımlanan palinomorflara göre çökelim yaşı Geç Ruddaniye-Erken Venlok'tur (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme). Bu bölgede elde edilen çökelim yaşı verilerine göre Dadaş Formasyonu'nun Dadaş-II seviyesine karşılık geldiği düşünülmektedir.

Çermik-Korudağ'da yüzeyleyen Dadaş Formasyonu'nun, Çoruh ve ark. (1997) tarafından tanımladıkları palinomorflara göre çökelim yaşı Geç Ludlov-Erken Pridoli'dir. Dadaş Formasyonu'nun Dadaş-II seviyesine karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Kozlu ve ark. (2012) Çermik-Korudağ bölgesinde yüzeyleyen Dadaş Formasyonu'nda gözlenen graptolit fosillerine göre Ruddaniyen-Erken Venlok çökelim yaşına sahip olduğunu söylemektedirler. Bu çalışma kapsamında Çermik ÖSK örneklerinin alındığı lokasyon, Kozlu ve ark. (2012)'nin çalışma alanının batısında yer almaktadır. Bu çalışmada Çermik ÖSK örneklerinin alındığı lokasyonun tanımlanan düz monograptolitler ve kavisli formların bir arada bulunması, graptolitlerin kesinlikle Alt Siluriyen yaşlı temel çökellerini temsil etmediğini göstermektedir (Dr. Jörg Maletz, 2017 sözlü görüşme). Buna göre formasyonun çökelim yaşı Aroniyen-Telisiyen olarak yorumlanmıştır. Palinolojik çalışmalar sonucunda Çermik yüzey örneklerinde palinomorf gözlenememesi nedeniyle palinomorflar ile çökelim yaşı hakkında bilgi elde edilememiştir.

Dadaş Formasyonu'nun üst seviyelerinin (Dadaş-II ve Dadaş-III) tamamının sadece Hazro bölgesinde yüzeylemekte olduğu belirtilmektedir (Çoruh ve ark., 1997; Yılmaz ve Duran, 1997). Araştırmacılar bu bölgede formasyonun Geç Siluriyen-Erken Devoniyen zaman aralığında çökeldiğini söylemektedir. Bu bölgede Steemans ve ark. (1996), yüzey örneklerinde tanımladıkları akritark formu ile Üst Ludlov, kitinozoa formu ile Pridoli, tasmanites ile Üst Ludlov-Alt Pridoli yaşını tespit etmişlerdir. Literatür araştırmaları sonucunda, Hazro bölgesindeki yüzey ve kuyu örneklerinin diğer bölgelere oranla daha yüksek miktarda palinomorf içerdiği görülmektedir (Erkmen ve Bozdoğan, 1979; Steemans ve ark. 1996; Dutta ve ark., 2007; Oktay ve Wellman, 2019). Oktay ve Wellman (2019) palinomorflarla Hazro bölgesinde yüzeyleyen Dadaş Formasyonu'nun Aroniyen-Telisiyen yaş aralığına sahip olduğunu belirtmişlerdir. Buna ek olarak, Hazro bölgesinde Dadaş Formasyonu'nun üst seviyelerinde Alt Devoniyen yaşını temsil eden palinomorflar tanımlanmıştır (Kozlu ve ark., 2012). Öztürk ve ark. (2016)'ya göre Hazro bölgesi Dadaş Formasyonu'nun C₂₈/C₂₉ oranına göre çökelim yaş aralığı Siluriyen-Karbonifer'dir.

Bu çalışmada Diyarbakır-1 kuyu örneklerinde tanımlanan Siluriyen formlar iki farklı yaş topluluğu olarak gözlenmiştir. İlk topluluk Erken Landoveri (Geç

Ruddaniyen-Erken Telisiyen) çökelim yaşına işaret etmektedir. İkinci topluluğun çökelim yaşı ise Geç Landoveri (Geç Telisiyen-Erken Şenvudiyen)'dir. Bu durum, aynı formasyonun, genç yaşlı seviyelerinin kuyuda yıkılması ile açıklanabilir (Doç. Dr. Zühtü Batı ve Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme). Bu tip kirlenmenin, Rock-Eval piroliz analizi ve optik mikroskop çalışmalarıyla ayırt etmek oldukça zordur. Buna ek olarak, D-5 numaralı örnek içinde Permiyen yaşlı çökellerde rastlanılan *Potoniesporites* formu da gözlenmiştir. Bu durumun nedeni ise kırıntı örneklerin bulunduğu çamurdan yeterince arındırılmamış olması ile açıklanabilir. Diyarbakır-1 kuyu örneğinin, Bismil-2 kuyu örneğine göre Dadaş Formasyonu'nun daha üst seviyelerine karşılık gelebileceği düşünülmüştür (Doç. Dr. Zühtü Batı ve Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme).

Bismil ilçesi güneyi Bismil-2 kuyu örneklerinde mevcut olan kirlenme nedeniyle öncelikli olarak Siluriyen formları ayırt edilmiştir. Tanımlanan akritark ve kitinozoa palinomorflarının işaret ettiği çökelim yaşı Geç Siluriyen'dir. Bu bölgede Erkmen ve Bozdoğan (1979) akritark palinomorf ile Üst Landoveri-Ludlov yaşını tespit etmişlerdir. Bismil-2 kuyu örneğinin, Çat ÖSK ve Diyarbakır-1 kuyu örneklerine oranla daha yaşlı Dadaş-II üyesine karşılık geldiği düşünülmektedir (Doç. Dr. Zühtü Batı ve Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme).

Bismil güneydoğusu Bismil-1 kuyu örneklerinde gözlenen graptolitlerin işaret ettiği çökelim yaşı Aroniyen-Telisiyen'dir. B-1-4 numaralı karot örneğinde palinomorf gözlenememesi nedeniyle palinomorf yaşı verilememiştir.

Çat ÖSK ve Diyarbakır-1 kuyu örnekleri ile Çermik ÖSK ve Bismil-1 kuyu örnekleri gözlenen fosiller ve tanımlanan palinomorflara göre benzer bulunmuştur. Tespit edilen mikrofasiyes tipine göre Çermik ÖSK ve Bismil-1 ve 2 kuyu örneklerinin Dadaş-II üyesine karşılık geldiği düşünülmektedir (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme). Çat ÖSK ve Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin ise Dadaş Formasyonu'nun stratigrafik açıdan daha genç yaşlı Dadaş-II/III üyesine karşılık geldiği düşünülmektedir (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme).

Bu çalışmadaki örneklerden elde edilen sonuçlar, örneklerin Steemans ve ark. (1996)'nın Hazro bölgesinde yüzeyleyen seviyelerine göre daha alt seviyelerinde (maksimum yaşa göre) sonlandığını göstermektedir.

9.5. Palinofasiyes Değerlendirmeleri

Palinolojik alışmalar ile Dadaş Formasyonu'nun organik madde bileşenlerinin yüksek miktarda amorf organik maddeden oluştuğu tespit edilmiştir. Açık denizde çökelen Siluriyen yaşlı graptolitli siyah şeyllerin nispeten bol miktarda akritark ve kitinozoa ile nadiren spor içerdiğine işaret edilmiştir (Berry ve Boucot, 1973). Graptolitler, palinofasiyes değerlendirilmelerinde AOM içeriği içinde değerlendirilmiştir.

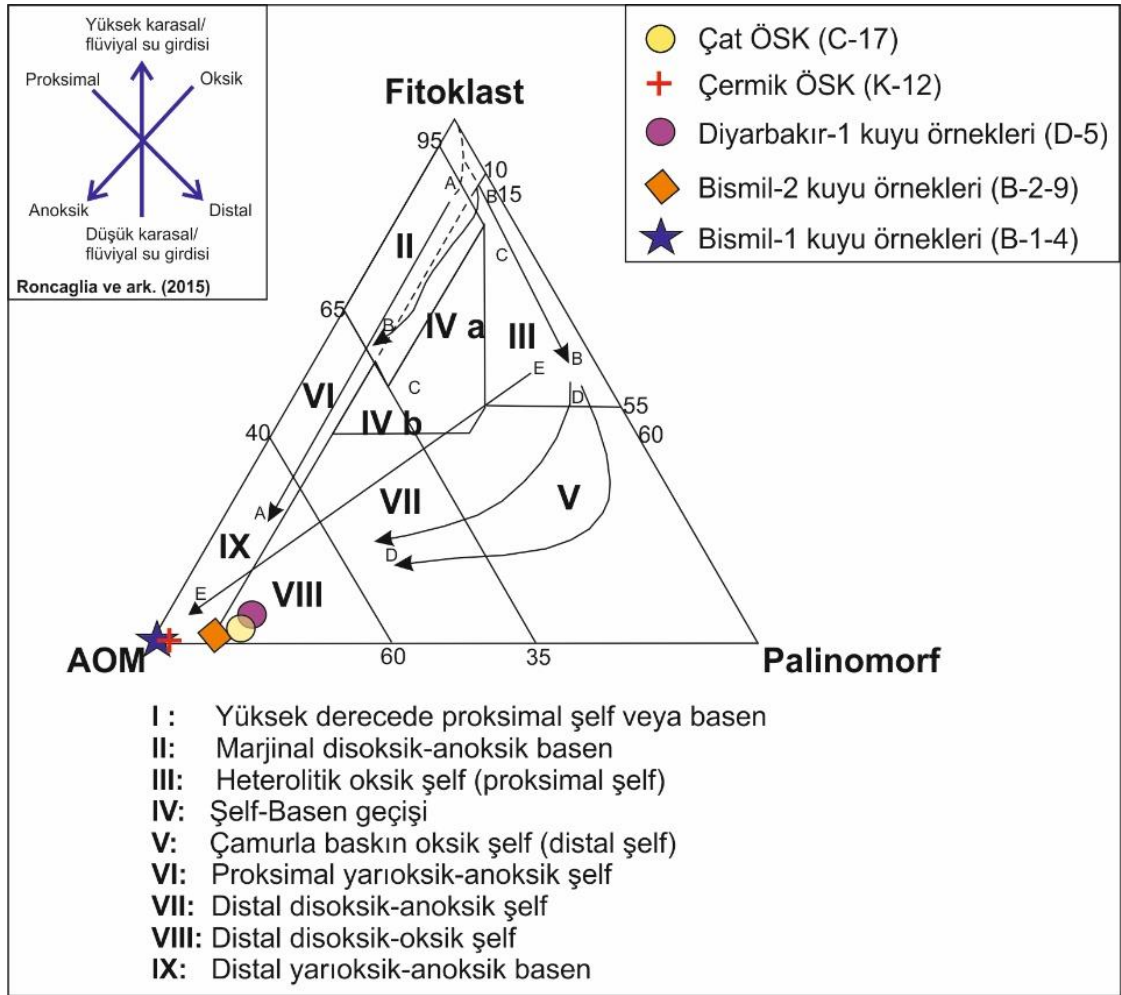
Tyson (1993), kerojen topluluklarını, AOM, fitoklast ve palinomorf olmak üzere üç grupta sınıflandırmıştır. AOM, denizel sedimanlarda disoksik ve anoksik fasiyese işaret etmektedir. Fitoklast, karasal kökenli odunsu malzemeyi ifade etmektedir. Palinomorf ise spor, fitoplankton ve zoomorfları temsil etmektedir.

Mikroskopik incelemeler sonucunda elde edilen gözlemlere ait yüzde organik madde bileşenleri Tyson (1995)'e göre APP (Amorf organik madde, fitoklast, palinomorf) gen diyagramında şekil 9.11'de verilmiştir. Palinofasiyes alanı VIII ve IX bölge olarak tespit edilmiştir. şekil 9.11'ye göre Dadaş Formasyonu'nun anoksik bir ortamda çökeldiği görülmektedir. Petrol oluşturan kaynak kayaların en az %65'nin AOM içerdiği bilinmektedir (Dow, 1982; Tyson, 1995). Örneklerin tümünde organik madde bileşenini, yüksek miktarda AOM oluşturmaktadır. APP gen diyagramında görüleceği üzere distal ve derin deniz sedimanlarında (Devoniyen ncesi) fitoklast görülmesi pek mümkün değildir. AOM baskın olduğu durumlarda, palinomorflar, AOM tarafından maskelenebilmektedirler (Tyson, 1993; 1995). ermik SK ve Bismil-1 kuyu örneklerinde palinomorf gözlenememesi, AOM tarafından maskelenmiş olması ihtimalini de düşündürmektedir.

Palinofasiyes bileşimleri ile TOK, Rock-Eval piroliz analizi sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Tyson (1993, 1995)'in VIII ve IX palinofasiyes alanları için öngördüğü kerojen tipi Tip II kerojene eşlik eden Tip I kerojendir.

Palinofasiyes IX alanında mevcut kerojenlerin alginitçe zengin olduğu söylenmektedir (Tyson, 1993). Bu nedenle, Çermik ÖSK ve Bismil-1 kuyu örnekleri, Tyson (1993)'e göre genellikle düşük miktarda spor ve mikrop plankton içeren, "Tip II>I" kerojene sahip olması beklenmektedir. Fakat K-12 numaralı örnek içinde iki adet tanımlanamayan palinomorf haricinde palinomorf gözlenmemiştir. Baskın AOM içeriğine rağmen, %3.04 TOK içeriği ve oldukça düşük HI değeri (19 mg HC/g TOK) ile örneğin kerojen tipinin (yeniden işlenmiş/reworked) Tip IV kerojene sahip olduğu görülmektedir

Bismil-1 kuyu örneğinde palinomorf gözlenmemiştir. Yüksek TOK içeriği (%4.49) ve yüksek HI değeri (566 mg HC/g TOK) organik madde bileşenlerinin, baskın AOM tarafından gizlenmiş olabileceğini düşündürmektedir. Buna ek olarak, alifatik gruplar bakımından fakir graptolit, kitinozoa vb. zooklastların düşük floresans özelliğine sahip oldukları ve artan termal olgunlukla dönüşüme uğradıkları bilinmektedir (Bustin ve ark., 1989). Yüksek HI değeri ve oldukça düşük OI değeri (3 mg CO₂/g TOK), örneğin petrol üretim potansiyelinin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Yüksek HI değeri (566 mg HC/g TOK), alginitçe zengin Tip I kerojeni ifade etmektedir. Bu seviyenin, diğer lokasyonlara göre Dadaş Formasyonu'nun daha alt seviyelerine karşılık gelebileceği düşünülmektedir. Diyagramın IX bölgesinde yer alan örneklerin, Tyson (1993, 1995)'e göre sediman getirimi açısından fakir bir shelf veya derin denizde çökelmiş olabileceği göstermektedir.



Şekil 9. 11. Dadaş Formasyonu'nun APP üçgen diyagramı (IV alan ile II alan örtüşmektedir. Organik madde bileşenlerine göre şelf ve basen arasındaki taşınma yollarını A'dan E'ye doğru gösterilmektedir) (Tyson (1993, 1995)) (Tyson diyagramının güncellenen ortam yorumları, Roncaglia ve ark. (2006; 2015)'ten alınmıştır).

Çat ÖSK, Diyarbakır-1 ve Bismil-2 kuyu örnekleri %10-15 oranında palinomorf içermektedir. Çalışma alanının palinomorf gözlenen lokasyonlarında da baskın organik madde bileşeni %85-90 oranında AOMden oluşmaktadır. Tyson (1993, 1995)'e göre palinofasiyes VIII alanında Çat ÖSK, Diyarbakır-1 kuyu örneği ise düşük spor ve düşük-orta miktarda mikrop planktona sahip, "Tip II>>I" kerojen miktar dağılımını temsil etmektedir. Bismil-2 kuyu örneği ise VIII ve IX palinofasiyes birleşiminde yer almaktadır. Bismil-2 kuyu örneğinin palinomorf çökeliş yaşı değerlendirmelerine göre Dadaş-II seviyesine karşılık geldiği düşünülmüştür (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2019 sözlü görüşme). %10'dan fazla oranda palinomorf ve %50'den fazla oranda fitoklast içeren kerojen

bileşenleri, genellikle sığ şelf ortamını göstermektedir (Dow, 1982; Tyson, 1995). Gözlenen palinomorflarla Dadaş-II/III seviyesine karşılık geldiği düşünülen Çat ÖSK ve Diyarbakır-1 örneğinin palinofasiyes alanı, çökeliiminin şelf koşullarında gerçekleştiğine işaret etmektedir. Bu nedenle, Çat ÖSK ve Diyarbakır-1 kuyu örneğinin Dadaş-II/III seviyesini temsil ettiği düşünülmektedir (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2019 sözlü görüşme). Devoniyen öncesi sedimanlarda karasal kökenli malzemenin yokluğu nedeniyle Siluriyen yaşlı şeyllerde fitoklast içeriğinden söz etmek mümkün görünmemektedir. Bu durumda dikkat edilmesi gereken en önemli unsur, dünyada (Devoniyen öncesi sedimanlarda) Üst Siluriyen’de kıta içi alanlarda denizel ve karasal karışık alanlar karasal kökenli organik madde içeriğinin de söz konusu olabileceğidir (Klemme and Ulmishek, 1991). Benzer biçimde, Dadaş Formasyonu’nun II. ve III. seviyelerinin yüzeyletiği Hazro bölgesinde Öztürk ve ark. (2016) iki adet örnek üzerinde formasyonun içerdiği organik maddenin, n-alkan (C₁₅-C₂₁) ve TAR (kıtasal/sucul organik madde oranı) sonuçlarını incelemişlerdir. Hazro bölgesinde yüzeyleyen Dadaş seviyelerinde algal ve bakteriyel kaynaklara ek olarak düşük oranda karasal organik madde girdisinin olduğunu belirtmişlerdir.

Bu bölümde elde edilen sonuçlara göre Dadaş Formasyonu’nun organik madde bileşenlerini; AOM, palinomorf ve zooklastlar oluşturmaktadır. Dadaş Formasyonu anoksik bir ortamda çökelmiştir. Önceki çalışmalar ve elde edilen sonuçlara göre Çermik ÖSK, Bismil-2 ve Bismil-1 kuyu örneklerinin Dadaş Formasyonu’nun II. seviyesini, Çat ÖSK, Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin ise, Dadaş Formasyonu’nun II/III. seviyesini temsil ettiği düşünülmektedir.

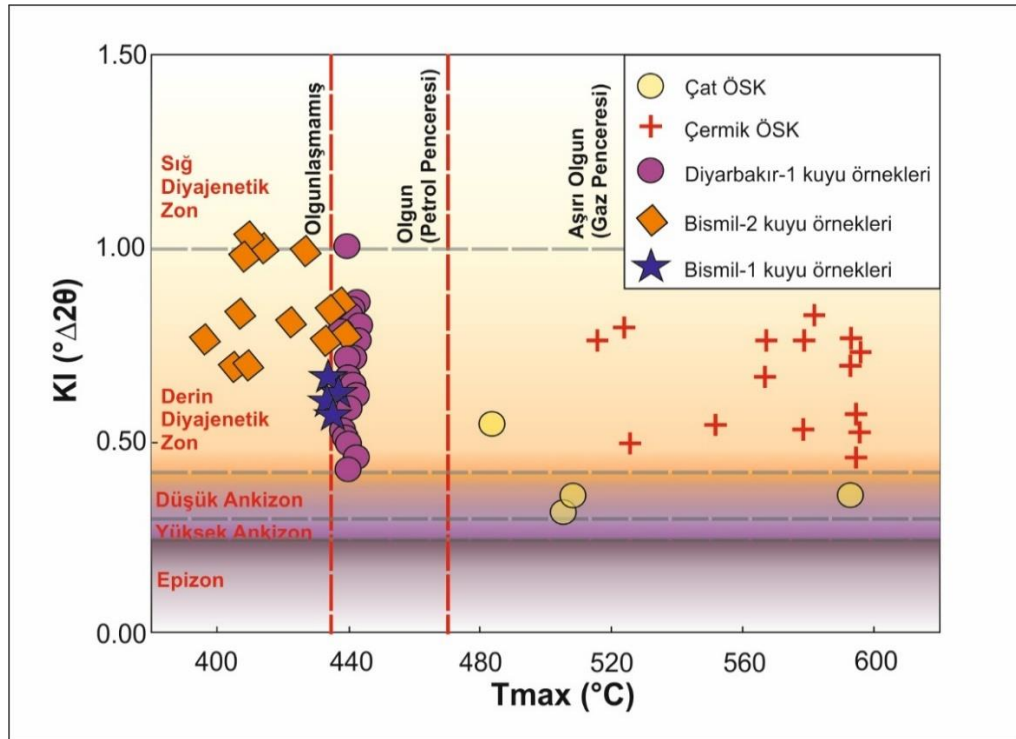
9.6. Rock-Eval piroliz Tmax ile Kristalinite İlişkisi

Çalışma alanında Dadaş Formasyonu’nun IC_{CIS} değerlerine karşılık Rock-Eval Tmax değerleri grafiği Şekil 9.12’de verilmiştir. Tmax değerlerinin termal olgunluk sınır aralıkları Peters ve Cassa (1994) ve kristalinite zonu sınır aralıkları Merriman ve Peacor (1999) ile Kübler ve Jaboyedoff (2000)’den alınmıştır. Arkai (1991)’e göre 0.42 °Δ2θ ve 0.25 °Δ2θ KI (IC) değerlerinin hesaplanmış sıcaklık değerleri sırasıyla 200°C ve 300°C’dir. Diyajenetik zon-Ankizon sınırının işaret ettiği VR_{Random} (Vitrinit Reflektansı) değeri yaklaşık %2.7’dir (Kübler ve Jaboyedoff, 2000; Arkai, 1991). Bölüm 7.4’te Dadaş Formasyonu’nun ölçülen %GR değerleri

kullanılarak hesaplanan VRE_{gr} (Petersen ve ark., 2013) eşitliği ile yaklaşık %0.69-%2.05 aralığındadır. Şekil 9.13'te görüleceği üzere örneklerin ankizon sınırının üstünde yer alması VR_{Random} değerlerinin <%2.7'den küçük değerlere sahip olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, XRD kil fraksiyonu sonucunda Dadaş Formasyonu'nda diyajenetik zonun son evrelerinde miktarı azalan (Arkai, 1991) karışık katmanlı simektit mineral türü gözlenmemiştir. Bu durum örneklerin belirli bir metamorfizma derecesine ulaştıklarına işaret etmektedir (Merriman ve Peacor, 1999).

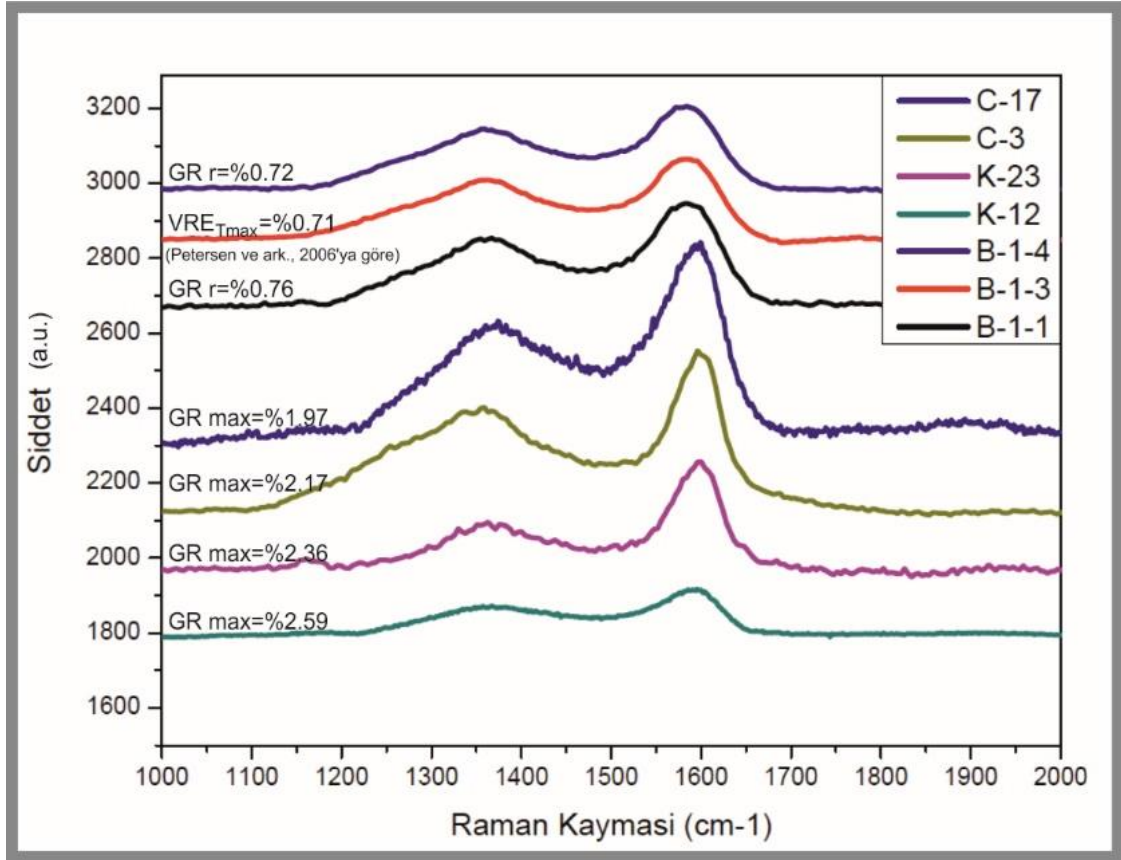
Örneklerin IC_{CIS} , SR ve ChC değerlerine göre derin diyajenetik zon-düşük ankizon derecesinde ve metamorfizma başlangıcında yer aldığı saptanmıştır. KI/IC_{CIS} değerlerine karşılık T_{max} grafiğinde görüldüğü üzere Dadaş Formasyonu kuyu örnekleri olgunlaşmamış, olgun ve yüzeysel örnekleri aşırı olgun olmak üzere iki farklı termal olgunluğa sahiptir. Elde edilen sonuçlar, Merriman ve Peacor (1999) ve Kübler ve Jaboyedoff (2000)'un IC değerlerine karşılık gelen vitrinit yansıması değerleri ve bu çalışmada kullanılan termal olgunluk parametreleri ile uyumludur.



Şekil 9. 12. Dadaş Formasyonu'nun kristalinite zonunu ve termal olgunluğunu gösteren KI (Kübler İndeksi)-Tmax grafiği.

9.7. Termal Olgunluğun Raman Spektroskopisi ile İncelenmesi

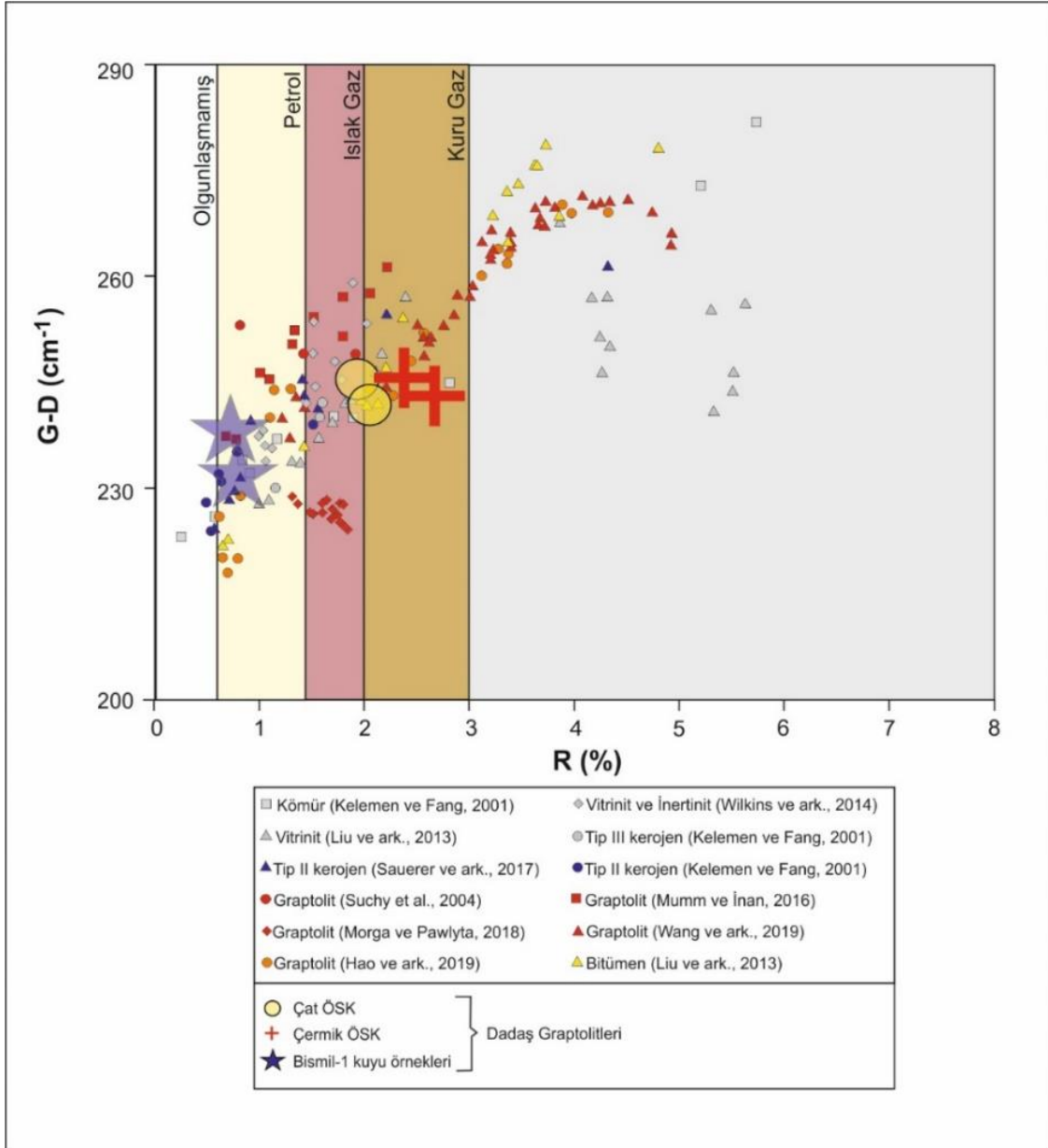
Termal olgunluğun artışı sonucunda karbonlu malzemelerin yaşadığı yapısal değişimlerin Raman spektroskopisi ile tespit edilebilmesi mümkündür (Khatibi ve ark., 2018; Ostadhassan ve ark., 2018). Şekil 9.13'te görüleceği üzere Dadaş Formasyonu graptolit kavkılarının majör bant değerlerinin pozisyonu ve şiddeti örneklerle göre farklılık göstermektedir. Aşırı olgun yüzey örneklerinde gözlenen D bandı şiddeti (y eksen) düşmektedir. Buna karşılık raman kayması değeri (x eksen) yükselmektedir. Bu çalışmada makroskopik boyutlarda (cm) gözlenen graptolitlerin termal olgunluk derecesi “petrol penceresi” ve “kuru gaz penceresi” olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Şekil 9.14). Şekil 9.14'te Luo ve ark. (2020)'nin önceki çalışmalardan elde edilen graptolit, vitrinit, inertinit ve bitümene ait G-D bant ayrımı ve reflektans değerleri verileriyle oluşturduğu grafikte oluşan eğilim görülmektedir. Bu grafikte Dadaş Formasyonu'nun G-D band ayrımı ve reflektans değerlerinin önceki çalışmalarda elde edilen veri setleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.



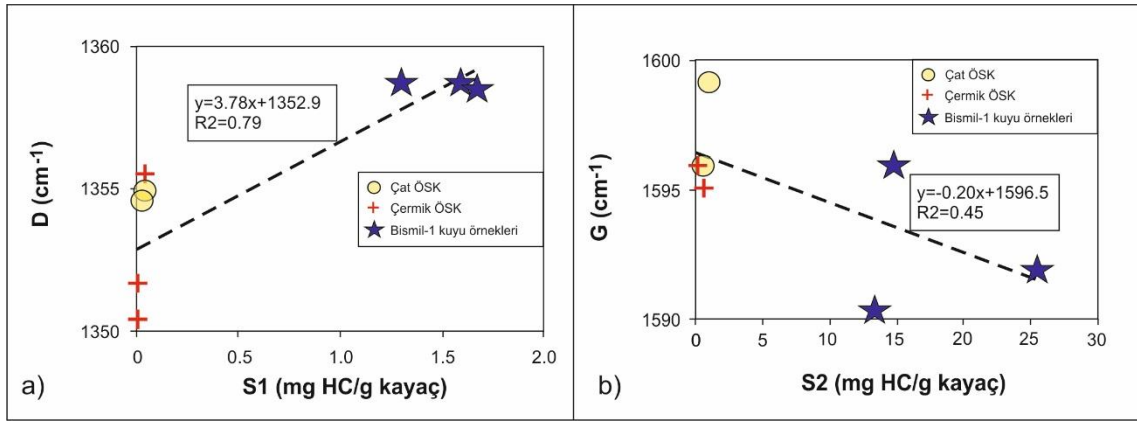
Şekil 9. 13. Farklı termal olgunluk derecesindeki Dadaş Formasyonu graptolit kavkılarına ait 7 örneğin Raman spektrumu.

Rock-Eval piroliz analizinde ölçülen S_1 ve S_2 parametreleri sırasıyla kerojen içindeki serbest ve dönüştürülebilir hidrokarbonları ifade etmektedir (Vandenbroucke, 2007). Termal olgunluk arttıkça aromatik halkalı yapılar artarken, H, O, N ve S içeriği düşer (Tissot ve Welte, 1984). Raman kaymalarındaki majör bant değerlerinin de hidrokarbon üretiminden sorumlu organik madde ile ilişkili olduğuna işaret edilmektedir (Ostadhassan ve ark., 2018). Çünkü, S_2 piki elde edilirken ulaşılan sıcaklıklarda (400-550°C) çok sayıda oksijenli fonksiyonlar ile alkil yan zincirler kaybedilmektedir (Kelemen ve Fang, 2001).

Bu çalışmada Dadaş Formasyonu graptolit kavkalarına ait D ve G bant değerleri ile S_1 ve S_2 parametreleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Şekil 9.15'te D bandı, atomların düzensiz (disorder) oluşturduğu bileşimleri temsil eden S_1 serbest hidrokarbon pik değerleri ile anlamlı pozitif korelasyona sahiptir. Buna karşılık düzenli atomları (aromatik yapıları) işaret eden G bandı ise S_2 pik değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 9.16 b'de Çat ve Çermik yüzey örneklerinin hidrokarbon üretimi potansiyeli açısından düşük potansiyele sahip S_2 değerleri ile aromatik bileşimleri temsil eden G bandı değerlerinin ilişkisi görülmektedir. Raman spektroskopisinden elde edilen sonuçlar, Bölüm 7'de elde edilen sonuçların tümüyle uyumludur.



Şekil 9. 14. Graptolit, vitrinit, inertinit, bitümen ve Dadaş graptolit kavkılarının reflektans değerlerinin G-D değerleri ile ilişkisi (Reflektans değerleri Luo ve ark., 2020'den alınmıştır).



Şekil 9. 15. a) D bandı değerlerine karşılık Rock-Eval piroliz S₁ pik değerleri. b) G bandı değerlerine karşılık Rock-Eval piroliz S₂ pik değerleri.

9.8. Porozite Değerlendirmeleri

Bir şeylin ankonvansiyonel kaynak potansiyelinin tespit edilmesinde önemli parametrelerden biri de porozite değerlendirmeleridir. Özellikle nanometre boyutundaki gözeneklerin tespiti petrol ya da gazı adsorplaması ve akışını kontrol etmesi nedeniyle oldukça önem taşımaktadır (Loucks ve ark., 2009). Bu nedenle temel olarak şeylin porozite miktarı, PSD ve gözenek tipi (organik madde, matriks kaynaklı) vb. özelliklerin ortaya konması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında başvurulmuş yöntemlerden de elde edilen sonuçlara göre porozite çalışmalarının tek kaynaktan elde edilen sonuçlarda görüldüğü üzere hatalı yorumlamalara neden olabilmektedir. Bu nedenle önceki çalışmalarda porozite çalışmaları, MCIP ve NMR gibi analiz yöntemlerine ek olarak görsel yöntemlerle desteklenmiştir (Curtis ve ark., 2010).

Şeyl içindeki daha küçük boyutlu (mezopor) gözeneklerin tespit edilebilmesi için yüksek basınçlı MCIP analizi yapılması gerekmektedir. Fakat Bustin ve ark. (2008)'e göre yüksek basınçlı MCIP analizi orijinal gözenek yapısını tahrip edebilmektedir. Bu çalışmada örneklerin PSD incelemelerinde herhangi bir anomali gözlenmemiştir. Bismil-1 kuyu örnekleri haricinde Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin gözenek çapı 3 nm-10 μm arasında değişmektedir. Önceki çalışmalarda porozite miktarının örneklerin organik madde içeriği ile ilişkisine değinilmiş ve ek olarak mineralojik bileşiminin etkilerinden de bahsedilmiştir. Örneklerde silika içeriği %2'den küçük olduğunda porozite miktarının da düştüğüne işaret edilmiştir (Chalmers ve ark., 2012). Araştırmacılara göre bu

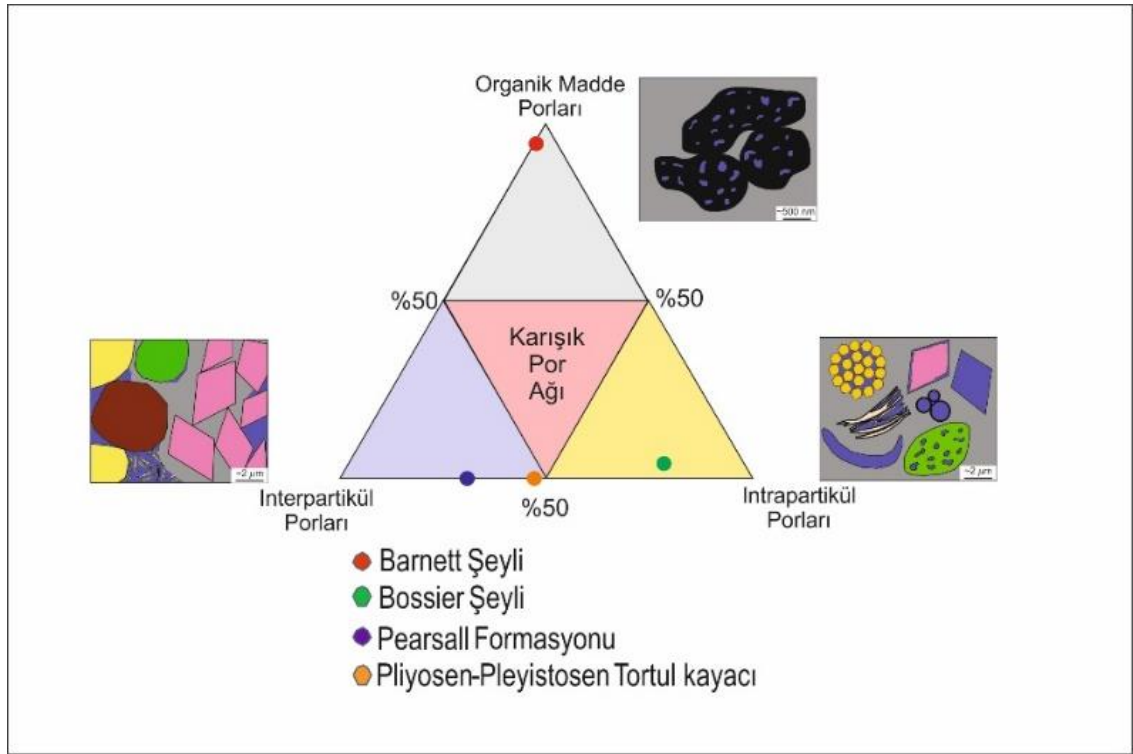
örneklerde makropor hacminde artış gözlenmektedir. Fakat silika içeriğinin biyojenik kökenli olması, porozite ile ilişkisinin ortaya konması açısından ayrıca önem taşımaktadır (Dong ve ark., 2017; Zhao ve ark., 2017). Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin silika içeriğinin kökeni, mineral ve matriks bileşiminin oldukça küçük boyutlarda olması nedeniyle katodoluminesans (CL) özelliği ile ayırt edilememiştir. Araştırmacılara göre silika içeriğinin kökeni, kırılgenlik faktörüne etkisi nedeniyle de önem taşımaktadır. Bu nedenle gelecek çalışmalarda Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin majör element içeriğinin ile kuvars minerali kökeni hakkında bilgi edinilebilir.

Şeyl petrol potansiyeline sahip olabileceği düşünülen Bismil-1 kuyu örneklerinin yüksek kil minerali miktarına ek olarak düşük miktarda kuvars ve karbonat minerallerinden oluşan bir mineralojik bileşime sahip olması nedeniyle mezopor gözlenmemiş olabileceği düşünülmüştür. Bismil-1 kuyu örnekleri MCIP analizi PSD değerlendirmesine göre oldukça kısıtlı aralıkta değişen makroporlara sahiptir. Bismil-1 kuyu örnekleri haricinde Dadaş Formasyonu'nda çoğunlukla mezoporların hakim olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, Çat, Çermik yüzey örneklerinde ve Diyarbakır-1 kuyu örneklerinde, SEM analizi ile ayırt edilemeyen 3 nm ile 30 nm büyüklüğünde gözenek boyutları saptanmıştır. MCIP analizi sonuçlarına göre Dadaş Formasyonu'nun gözeneklerinde adsorbe edilmiş petrole ve/veya gaza sahip olması mümkün görünmektedir.

Ankonvansiyonel sistemlere ait karakteristiklerin ortaya konmasını hedef alan çalışmalarda bir diğer parametre ise organik porozite hesaplamalarıdır. Bu çalışmada Kuchinskiy (2013) ve Chen ve Jiang (2016) eşitlikleri kullanarak $\emptyset_{org}$ değerleri hesaplanmıştır. Kuchinskiy (2013) eşitliğinden elde edilen sonuçlara göre örnekler iki grup halinde yüzde değerlerine sahiptir. Çat ÖSK'sında ve Çermik ÖSK'sında $\emptyset_{org}$ değerleri sırasıyla %34.69 ve %35.71 değerinde hesaplanmıştır. Diyarbakır-1 ve Bismil-2 kuyu örneklerinde ortalama $\emptyset_{org}$ değeri %17.79 ve %22.02'dir. Petrol penceresinde bulunan kuyu örneklerinde $\emptyset_{org}$ değerlerinin yüzey örneklerine göre azaldığı saptanmıştır. Bu çalışmadaki en düşük termal olgunluğa sahip (%0.71 ve %0.69 VRE_{gr}) Bismil-1 kuyu örneklerinde ise her iki eşitlik içinde en düşük $\emptyset_{org}$ değerleri elde edilmiştir. Chen ve Jiang (2016) eşitliğine göre elde edilen $\emptyset_{org}$ değerleri %0.28 ile %1.18

arasında değişmektedir. Bu eşitlikte elde edilen değerler toplam şeyl içindeki yüzde miktarı ifade etmektedir.

Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin görsel porozite metotlarından elde edilen sonuçlar önceki çalışmalar doğrultusunda incelenmiştir. Dünyada farklı basenlerde yer alan ve şeyl gaz potansiyeli bilinen sistemlere ait gözenek tipleri Şekil 9.16'da üçgen diyagramda verilmiştir. Her bir şeyl için baskın gözenek tipi değişkenlik göstermektedir (Loucks ve ark., 2010). Fakat şeyl gaz sistemlerinde organik madde gözeneklerinin hakim olduğu söylenebilir (Loucks ve ark., 2012). Şekil 9.16'da Barnett şeylinin gözenek tipinin yaklaşık %90'dan fazlasını intraP organik madde gözenekleri oluşturmaktadır. Bu durum Barnett şeylinin termal olgunluğu ile ilişkilidir.



Şekil 9. 16. Gözenek tipleri sınıflaması üçgen diyagram (Loucks ve ark., 2012'den alınmıştır).

Bu çalışmada Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin hakim gözenek tipi SEM analizinden elde edilen sonuçlara göre interP gözeneklerdir. İntraP organik madde gözenekleri ise olgun ve aşırı olgun iki örnek grubunda da gözlenmiştir. Önceki çalışmalardan termal olgunluk seviyesine göre organik madde intraP gözeneklerin miktarının değişkenlik gösterdiği bilinmektedir (Sondergeld ve ark.,

2010; Loucks ve ark., 2012; Mastalerz ve ark., 2013). Katz ve Arango (2018)'de organik porozite, kerojen, bitümen ve pirobitümen için değerlendirilmeye alınmıştır. Bu çalışmada organik petrografi çalışmaları sırasında petrol penceresinde bulunan kuyu örneklerinde katı bitüm gözlenmiştir. Mikroskop ve SEM çalışmalarında ise katı bitümlerin içinde gözeneklerin mevcut olduğu görülmüştür. Fakat örnek hazırlama koşulları gözenek değerlendirme koşullarına uygun olmadığından elde edilecek sonuçlar güvenilir olmayacaktır. Bu durumda aşırı olgun yüzey örneklerinde de pirobitüm gözlenmesi beklenebilir.

Termal açıdan olgun şeyller organik madde gözeneklerine sahiptir. Organik madde gözenekleri ikincil gelişen gözenek olarak kabul edilmektedir. Yani organik madde gözenekleri termal olgunluk artışının (petrol-gaz penceresi geçişinin) bir fonksiyonu olarak gelişmektedir (Curtis ve ark., 2010, 2012). Bernard ve ark. (2012) çalışmasında sadece gaz penceresinde bulunan termal açıdan olgunlaşmış olan örneklerin organik gözeneklere sahip olabileceğini ifade etmektedir. Bir diğer çalışmada ise petrol penceresindeki Barnett şeylinin organik gözeneklere sahip olduğu tespit edilmiştir (Reed ve ark., 2014). Curtis ve ark. (2012) %1.4 VR değerine sahip Woodford şeylinde organik madde gözeneklerine sahip olan maseral gözlenirken, organik madde gözeneklerinin gözlenmediği maseral aynı örnek içinde tespit edilmiştir. Sonuç olarak organik madde gözeneklerinin termal olgunlukla pozitif bir korelasyona sahip olabileceği düşüncesi tartışılmaktadır (Curtis ve ark., 2012; Fishman ve ark., 2012; Loucks ve ark., 2012; Milliken ve ark., 2013; Reed ve ark., 2014). Milliken ve ark. (2013)'te Marcellus Formasyonu (Devoniyen yaşı)'nın sahip olduğu organik madde gözeneklerinin termal olgunluktan daha çok TOK içeriği ile ilişkili olduğunu ileri sürmüştür. TOK içeriğinin miktarı ile porozite arasındaki ilişki yeniden değerlendirmeye alınmıştır. TOK miktarı %5.5'den az olan örneklerin porozite değerleri pozitif korelasyon gösterirken, %5.5'dan yüksek TOK içeriğine sahip olan örneklerin porozite değerleri arasında ilişki kurulamamıştır.

Organik madde gözenek gelişimi, farklı kerojen kinetikleri nedeniyle (Jarvie ve Lundell, 2001) organik madde tipinden de etkilenmektedir (Lu ve ark., 2015). Loucks ve ark. (2012) çalışmasında karasal kökenli Tip III kerojen tipine göre Tip II kerojen tipinin organik madde gözenek oluşumuna daha çok eğilimi olduğuna

işaret edilmektedir. Bu açıdan Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin Tip II kerojen içerdiği düşünüldüğünde organik madde gözeneklerinin gelişiminin görülmesi beklenmektedir.

Reed ve ark. (2012)'ye göre organik madde gözenekleri %0.80 VR başlangıcında gözlenmeye başlamaktadır. Loucks ve ark. (2011; 2012)'ye göre bu sınır petrol penceresinin başlangıcı kabul edilen (Dow, 1977'ye göre) %0.60 VR'dır. Bu nedenle kuyu örneklerinin %GR değerlerindeki %VRE değerleri göz önünde bulundurulduğunda organik madde intraP gözeneklere sahip olmaları beklenmektedir. Bismil-1 kuyu örneğinde de organik madde intraporları gözlenmiştir. Fakat göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli durum ise organik nanoporların aynı örnek içinde bile homojen bir biçimde gelişim göstermediğidir (Ross ve Bustin, 2009; Curtis ve ark., 2012; Loucks ve ark., 2012).

Bu çalışmada görsel porozite değerlendirmelerinden elde edilen kısıtlı sonuçlara göre organik madde gözeneklerinin varlığının söz konusu olduğunu ancak baskın gözenek tipini interP matriks gözeneklerinin oluşturduğu tespit edilmiştir. Örneklerin porozitesinin mineralojik bileşimi, kerojen tipi, termal olgunluğu ve organik madde miktarı parametrelerinden etkilendiğine işaret edilmektedir (Mastalerz ve ark., 2013). Bu çalışmada Dadaş Formasyonu örneklerinin gözenek tipleri, büyüklük dağılımı gibi değerlendirmeler olgun ve aşırı olgun olmak üzere termal olgunluğuna göre iki grup içinde ele alınmıştır. Sonuç olarak, Dadaş Formasyonu şeylinin petrol penceresinde bulunan kuyu örneklerinin baskın mikroporlara ve az oranda mezoporlara sahip olduğu tespit edilmiştir. Aşırı olgun Çat ve Çermik yüzey örneklerinin ise baskın mezoporlara ve makroporlar ile az oranda mikroporlara sahip olduğu gözlenmiştir. SEM analizi çalışmalarında Dadaş Formasyonu örneklerinin gözenek tipi değerlendirilmiştir. Çat ve Çermik yüzey örneklerinde baskın interP gözenekler, intraP gözenekler ve intraP organik madde gözenekleri tespit edilmiştir. Bismil-1 kuyu örneklerinde ise interP gözenekler ile intraP gözenekler gözlenmiştir.

Ankonvansiyonel sistemlerde özellikle üretim aşamasında önemli olan bir diğer parametre ise şeyli oluşturan bileşenlerin elastisite modülünün ortaya konmasıdır. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile şeyl matriksinin ve organik

maddenin elastisite modülünün belirlenebilmesine ek olarak, şeylin gözenek karakteristiklerinin tayin edilmesine yönelik kısıtlı sayıda araştırmalar da yapılmıştır (Liu ve ark., 2016; Liu ve Ostadhassan, 2017; Kumar ve ark., 2018). Fakat bu çalışmalarda, şeyl örneklerinin analize hazırlanma aşamasında epoksi ve resin kullanılmıştır. Buna ek olarak, mekanik parlatma işlemi uygulanmıştır. Mekanik parlatma işleminin örnekler üzerinde, doğal olmayan gözeneklere sebep olabileceği gibi termal olgunluk seviyesinde artışa neden olabileceği bilinmektedir (Arango, 2019).

Bu çalışmada makroskopik boyutlardaki graptolit fosil kavkıları üzerinde herhangi bir işlem uygulamadan ilk kez incelenmesi hedeflenmiştir. AFM topoğrafya analizi yapılan örnekler, Raman spektroskopisi analizinde kullanılan örnekler ile aynıdır. AFM analizi denemesi sonucunda fiziki koşulların uygun olmaması nedeniyle güvenilir bir sonuç alınamamıştır. Analiz denemesi sırasında alınan görüntüler Ek Şekil 3'te ve Ek Şekil 4'te verilmiştir.

Porozite çalışmaları sırasında önceki çalışmalara ve elde edilen sonuçlara göre kullanılan her yöntemin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Arango (2019)'a göre FIB-SEM çalışmaları da organik maddenin termal olgunluğunun yükselmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, FIB-SEM vb. yoğun ışıma kullanılan analizlerde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

10. SONUÇLAR

Dadaş Formasyonu'nun organik ve inorganik jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesini amaçlayan bu çalışma kapsamında; Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Çat ve Çermik ÖSK ile Diyarbakır-1, Bismil-2 ve Bismil-1 kuyu örnekleri olmak üzere toplam beş lokasyonda Dadaş Formasyonu'ndan örnek alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

1) Örneklerin tümünde tespit edilen mineraller yüzde bolluk sırasına göre; kil, kuvars, mika, feldispat mineralleridir. Gözlenen diğer mineraller, kalsit, dolomit ve pirit mineralleridir. Organik çamurtaşı sınıflamasına (Gamero-Diaz ve ark., 2012; 2013) göre Çat ÖSK örnekleri ortalama %35.53 kuvars içeriği ile kilce zengin silisli çamurtaşı ve silisçe zengin killi çamurtaşı litolojisine sahiptir. Çermik ÖSK, organik çamurtaşı sınıflamasına göre silisçe zengin killi çamurtaşı litolojisine sahiptir. Diyarbakır-1 kuyu örnekleri silisçe zengin killi çamurtaşı litolojisine sahiptir. Bismil-2 kuyu örnekleri diğer bölgelere göre yüksek karbonat içeriği (kalsit ve dolomit) ile karışık killi çamurtaşı ve karışık çamurtaşı litolojisine sahiptir. Bismil-1 kuyu örnekleri yüzey örneklerine göre düşük silis içeriği ve yüksek dolomit minerali içeriği (diğer lokasyonlara göre) ile silisçe zengin killi çamurtaşı ve karışık killi çamurtaşı litolojisine sahiptir. İnce kesit çalışmaları sonucunda örneklerin kil ve kuvars miktarı ile zengin kırıntılı dokuya sahip olduğu gözlenmiştir.

2) Örneklerin tümünde XRD kil fraksiyonu analizi ile illit ve kaolinit minerali tespit edilmiştir. Diyarbakır-1 ve Bismil-1 kuyu örneklerinde bu minerallere ek olarak klorit minerali gözlenmiştir.

3) Bu çalışmada en yüksek B_I , E_K ve H_K değerleri Çat ÖSK'sında tespit edilmiştir. Bu durum örneklerin düşük kil minerali içeriği ve düşük porozite değerlerine karşılık yüksek miktarda kuvars içeriğine sahip olması ile açıklanabilir. Dadaş Formasyonu'nun E değerleri 40-56 GPa ve H değerleri 0.85-2.28 GPa arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlar dünyada potansiyeli bilinen şeyl gaz sistemlerinin E ve H değerleri ile benzer bulunmuştur. Ankonvansiyonel kaynak kaya potansiyeli çalışmalarında Alt Siluriyen yaşlı şeyller için ayırt edilen

zonlardan, Çat ÖSK ve Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin C zonunda yer aldığı tespit edilmiştir ve hidrolik çatlatmaya uygun olabileceği düşünülmüştür.

4) Dadaş Formasyonu TOK içeriği %0.73 ile %7.51 arasında değişmektedir. Çat ÖSK ve Diyarbakır-1 kuyu örnekleri TOK içeriğine göre “çok iyi-mükemmel kaynak kaya”, Bismil-1 kuyu örnekleri “iyi-çok iyi kaynak kaya”, Çermik ÖSK ve Bismil-2 kuyu örnekleri “zayıf-çok iyi kaynak kaya” potansiyeline sahiptir. Rock-Eval piroliz analizi sonuçlarına göre Çat ve Çermik ÖSK örnekleri aşırı olgun kaynak kaya, Bismil-2, Bismil-1 ve Diyarbakır-1 kuyu örnekleri ise sırasıyla olgunlaşmamış, erken olgun ve olgun kaynak kaya potansiyeline sahiptir. Kuyu örneklerinin QI değerlerine göre petrol üretmeye eğilimli oldukları saptanmıştır. Çalışma alanında iki farklı termal olgunlukta Dadaş Formasyonu gözlenmiştir. Yüzey örnekleri “gaz penceresi”nde ve kuyu örnekleri ise “petrol penceresi”nde yer almaktadır.

5) Ölçülen ve hesaplanan Rock-Eval piroliz parametrelerine göre örneklerin kerojen tipi Çat ve Çermik ÖSK örneklerinde “Tip IV”, Diyarbakır-1 ve Bismil-2 kuyu örneklerinde “Tip II/III” ve Bismil-1 kuyu örneklerinde ise “Tip II” tipini temsil etmektedir. Diyarbakır-1 kırıntı kuyu örneklerinin kerojen tipi, örneklerin gerçekçi olmayan olgunluğa sahip olabileceğini düşündürmektedir. Bir diğer yaklaşım ise Üst Siluriyen-Alt Devoniyen zaman aralığında ortama karasal kökenli malzeme girdisi olabileceğidir fakat petrografik ve palinolojik değerlendirmelerde Tip III kerojene rastlanılmamıştır. Çökelim ortamı, anoksik denizel bir ortamı yansıtmaktadır.

6) İlkel HI (HI_0) değeri, Jarvie ve ark. (2007)’nin ve Chen ve Jiang (2016) ‘nın önerdiği eşitliklere göre hesaplanmıştır. Görsel tayin ile tespit edilen kerojen tipi yüzdesi ile hesaplanan $HI_{0/J}$ değerleri, Rock-Eval piroliz parametreleri ile hesaplanan HI_{CJ} değerlerine göre yüksek miktarlarda tespit edilmiştir. Bunun nedeni, sınırlı sayıda örnek üzerinde gerçekleştirilen organik petrografi ve palinomorf tayini çalışmaları olabilir. Heterojen şeyl içindeki organik madde tipinin görsel metotlarda daha ayrıntılı çalışılması gerekmektedir. Görsel çalışmaların uygun olmadığı durumlarda tercih edilebilecek HI_{CJ} eşitliğine göre Dadaş Formasyonu şeyllerinin hidrokarbon üretme potansiyeli 600 mg HC/g TOK olarak saptanmıştır.

7) Çat ve Çermik yüzey örnekleri Jarvie (2004)'ün önerdiği TR eşitliğine göre en düşük %92.41 ve en yüksek %99.58 oranında hidrokarbon dönüşümünü tamamlanmıştır ve “kuru gaz” penceresi”nde yer almaktadır. Diyarbakır-1 kuyu örnekleri Chen ve Jiang (2016) eşitliğine göre en düşük %52.94 ve en yüksek %75.39 TR değerleri aralığında “karışık petrol/gaz” penceresinde bulunmaktadır. Bismil-2 kuyu örneklerinin TR değerleri ise “petrol ve gaz karışık” penceresine karşılık gelmektedir. Bismil-1 kuyu örneklerinde hidrokarbon dönüşüm her iki eşitlikte de %50'nin altında hesaplanmıştır ve “erken petrol” penceresinde bulunmaktadır. Buna ek olarak, Dadaş Formasyonu şeyllerinin hidrokarbon üretiminin 439°C'de başladığı tespit edilmiştir.

8) Dadaş Formasyonu kuyu örneklerinin $S_{2/DL}$ ve $TOK_{0/DL}$ değerlerine göre aktif/dönüştürülebilir toplam organik karbon miktarı %49'dur.

9) Örneklerin bugünkü HI değeri yeniden hesaplanmıştır. S_2 -TOK grafiği regresyon analizi sonucunda, termal olgunluğu yüksek yüzey örneklerinde (Çat ve Çermik) düşük HI değerleri (sırasıyla 102 ve 16 mg HC/g TOK) gözlenirken, Diyarbakır-1 ve Bismil-1 kuyu örneklerinde yüksek HI değerleri (sırasıyla 371 ve 690 mg HC/g TOK) tespit edilmiştir. Dadaş Formasyonu'nda mineral matriks tarafından adsorplanan hidrokarbon miktarının, Çat ÖSK'sında yüksek olduğu tespit edilmiştir. Fakat hidrokarbon adsorplama kapasitesinin ise en yüksek olduğu lokasyon en yüksek S_2 değerlerinin ölçüldüğü Bismil-1 kuyu örnekleridir (5.96 mg hidrokarbon).

10) Graptolit kavkıları üzerinde gerçekleştirilen SEM-EDAX analizinde Çat ve Çermik yüzey örneklerinde okunan element yüzdelerine göre graptolit kavkısının mineral matriks ile yakın ilişkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Organik madde içeriği ile ilişkili C, O elementlerine ek olarak tanımlanan diğer elementler, Al, Si, Mg, Ca, Fe, S'dir. Bismil-1 kuyu örneğinde ise sadece C ve O elementlerine ek olarak pirit minerali ile ilişkili S elementi okunmuştur. Dadaş Formasyonu'nun en yüksek C elementi miktarı ve en düşük O element miktarı, termal olgunluğu erken olgun/petrol penceresinde bulunan Bismil-1 kuyu örneklerinde gözlenmiştir.

11) Çat ÖSK'sında, Çermik ÖSK'sında ve Bismil-1 kuyu örneklerinde gözlenen düz monograptolitler ve kavisli formların bir arada bulunması, graptolitlerin kesinlikle Alt Siluriyen'in temel çökellerini temsil etmediğini, Aroniye-Telisiye çökelim yaşına sahip olduğunu göstermektedir (Dr. Jörg Maletz, 2017 sözlü görüşme). Çat ÖSK'sında tanımlanan palinomorflara göre çökelim yaşı Geç Ruddaniye-Erken Venlok'tur (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme). Çermik yüzey örneklerinde ve Bismil-1 kuyu örneklerinde palinomorf gözlenmemesi nedeniyle palinomorflar ile çökelim yaşı hakkında bilgi elde edilememiştir. Diyarbakır-1 kuyu örneklerinde tanımlanan Siluriye formlar iki farklı yaş topluluğu olarak gözlenmiştir. İlk topluluk Erken Landoveri (Geç Ruddaniye-Erken Telisiye) yaş aralığındadır. İkinci topluluk ise Geç Landoveri (Geç Telisiye-Erken Şenvudiyen) yaş aralığındadır. Bismil ilçesi güneyi Bismil-2 kuyu örneklerinde mevcut olan kirlenme nedeniyle öncelikli olarak Siluriye formları ayırt edilmiştir. Tanımlanan akritark ve kitinozoa palinomorflarının işaret ettiği çökelim yaşı Geç Siluriye'dir. Çermik ÖSK ve Bismil-1 ve 2 kuyu örneklerinin gözlenen mikrofasiyes tipine göre, Dadaş-II üyesine karşılık geldiği düşünülmektedir (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme). Çat ÖSK ve Diyarbakır-1 kuyu örneklerinin ise Dadaş Formasyonu'nun stratigrafik açıdan daha genç yaşlı Dadaş-II/III üyesine karşılık geldiği düşünülmektedir (Dr. Recep Hayrettin Sancay, 2018 sözlü görüşme).

12) Palinolojik çalışmalar ile Dadaş Formasyonu'nun organik madde bileşenlerinin yüksek miktarda amorf organik maddeden oluştuğu tespit edilmiştir. Dadaş Formasyonu'nun organik madde bileşenlerini; AOM, palinomorf ve zooklastlar oluşturmaktadır. AOM, fitoklast, palinomorf üçgen diyagramında Dadaş Formasyonu'nun palinofasiyes alanı VIII ve IX bölge olarak tespit edilmiştir. Dadaş Formasyonu anoksik bir ortamda çökelmiştir. Bu alanlar için öngörülen kerojen tipi ise Tip II kerojene eşlik eden Tip I kerojendir.

13) Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin IC_{CIS}, SR ve ChC (Diyarbakır-1 ve Bismil-1 kuyu örneklerinde) değerlerine göre "sığ diyajenetik zon-düşük ankizon" derecesinde ve "metamorfizma başlangıcı"nda yer aldığı saptanmıştır. KI/IC_{CIS} değerleri ile Tmax değeri birlikte değerlendirildiğinde Dadaş Formasyonu kuyu örnekleri olgun ve yüzey örnekleri aşırı olgun olmak üzere iki farklı termal

olgunluğa sahiptir. Elde edilen sonuçlar, Merriman ve Peacor (1999) ve Kübler ve Jaboyedoff (2000)'un IC değerlerine karşılık gelen vitrinit yansıması değerleri ve tez çalışmasında kullanılan termal olgunluk parametreleri ile uyumludur.

14) Çermik ÖSK'sında hesaplanan VRE_{Tmax} değerleri %2.01-%3.28 arasında değişmektedir. Çat ÖSK örneklerinin VRE değerleri ise %1.51 ile %3.23 arasında değişmektedir. Kuru gaz zonunda yer alan % VRE_{Tmax} değerlerinin, optik petrografik çalışmalar sonucunda elde edilen % VRE_{gr} değerlerine göre daha yüksek değerlerde hesaplanmıştır. Düşük S_2 değerleri güvenilir olmayan Tmax değerlerine neden olmaktadır. Güvenilir olmayan Tmax sonuçları ile hesaplanan % VRE_{Tmax} değerlerinin de gerçek termal olgunluk derecesini yansıtmayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Kuyu örneklerinin % VRE_{Tmax} değerleri ile % VRE_{gr} değerlerine benzerdir ve petrol penceresinde yer almaktadır.

15) Optik organik petrografi çalışmalarında örneklerin organik madde bileşenlerinden biri olan graptolit kavkılarında %GR bireklektans ve random ölçümleri yapılmıştır. Dadaş Formasyonu'nun organik madde bileşenlerinin graptolit, kitinozoa, tasmanites?, megaspor formlarına ek olarak katı bitüm parçalarından oluştuğu gözlenmiştir. Dadaş Formasyonu şeylllerinin içerdiği graptolitler taneseli ve taneseli olmayan iki morfolojide de tespit edilmiştir. Çat, Çermik ÖSK'sında ve Diyarbakır-1 kuyu örneklerinde taneseli olmayan graptolit morfoloji gözlenirken, Bismil-1 kuyu örneklerinde taneseli graptolit morfolojisi gözlenmiştir. Bismil-2 kuyu örneklerinde her iki graptolit morfolojisi de gözlenmiştir. Taneseli graptolitlerin gözlemlendiği örneklerin karbonat mineralleri miktarı ile ilişkisi değerlendirilmiştir.

16) Graptolitlerinin bireklektans ve random değerlerini, % VRE_{gr} değerlerine dönüştürmek için yedi farklı eşitlik kullanılmıştır. Örneklerin hesaplanan % VRE_{gr} değerleri %0.69-%2.05 aralığında değişmektedir. Yüzey örnekleri “aşırı olgun”, “kuru gaz zonu”nunda bulunurken. Diyarbakır-1, Bismil-1 ve Bismil-2 kuyu örnekleri “erken olgun-olgun”, “petrol penceresi”nde yer almaktadır.

17) Graptolit kavkıları üzerinde gerçekleştirilen Raman spektroskopisi sonuçlarında yüksek D bandı değerleri ve düşük G-D bant ayrımı ($231.86-237.20\text{ cm}^{-1}$) ile Bismil-1 kuyu örneklerinin, Çat ve Çermik örneklerine göre düşük termal

olgunluğa sahip olduğu gözlenmektedir. G-D bant ayrımının ise GR (%) değerleri ile anlamlı pozitif korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. Raman spektroskopisinden elde edilen sonuçlar, termal olgunluk çalışmalarında elde edilen sonuçların tümüyle uyumludur.

18) Bu çalışmada gerçekleştirilen termal olgunluk değerlendirmelerine göre Dadaş Formasyonu'nun termal olgunluğu bölgede kuzeybatıdan güneydoğuya doğru gidildikçe aşırı olgun, olgun ve erken olgun olmak üzere azalmaktadır.

19) Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin silika içeriğinin kökeninin tespit edilebilmesi için CL özelliği araştırılmıştır. Mineral ve matriks bileşiminin oldukça küçük boyutlarda olması nedeniyle CL özelliği saptanamamıştır. Bu durumda Dadaş Formasyonu şeyl örneklerinin majör element içeriği ile kuvars minerali kökeni gelecek araştırmalarda araştırılabilir.

20) MCIP sonuçlarına göre örneklerinin gözenek çapı (Bismil-1 kuyu örnekleri haricinde) 3 nm-10 µm arasında değişmektedir ve mezopor hakimdir. MCIP elde edilen sonuçlara göre Dadaş Formasyonu'nun gözeneklerinde adsorbe edilmiş petrole ve/veya gazı sahip olması mümkün görünmektedir.

21) Bu çalışmada Rock-Eval piroliz parametreleri kullanarak iki farklı eşitlikte organik porozite değerleri hesaplanmıştır. Kuchinskiy (2013) eşitliğinden elde edilen sonuçlara göre “kuru gaz penceresi”nde bulunan Çat ve Çermik yüzey örneklerinde kerojen içindeki ortalama Ø_{org} değeri sırasıyla %34.69, %35.71 değerinde hesaplanmıştır. Buna karşılık, “petrol penceresi”nde bulunan kuyu örneklerinde ise bu değer yüzey örneklerine göre oldukça azalmaktadır. Diyarbakır-1 ve Bismil-2 kuyu örneklerinde ortalama Ø_{org} değeri %17.79 ve %22.02'dir. Termal olgunluğu “erken olgun” seviyede bulunan Bismil-1 kuyu örneklerinde ise ortalama Ø_{org} değeri %5.26 değerinde hesaplanmıştır. Chen ve Jiang (2016) eşitliğine göre elde edilen Ø_{org} değerleri şeyl içindeki miktarı vermektedir ve %0.28 ile %1.18 arasında değişmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada her iki eşitlik için en düşük termal olgunluğa sahip Bismil-1 kuyu örneklerinin diğer lokasyonlardaki örneklere göre daha düşük miktarda organik porozite değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

22) Bu alışmada Dadaş Formasyonu'nda şeyl örneklerinin hakim gözenek tipi SEM ve FIB-SEM analizinden elde edilen sonuçlara göre interP gözeneklerdir. İnterP gözeneklerin, izole gözenekler kadar birbiriyle bağlantılı gözeneklerden de oluştuğu söylenebilir. Erken olgun ve aşırı olgun iki örnek grubunda da intraP organik madde gözenekleri gözlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre porozite çalışmalarında kullanılan yöntemlerin her birinin avantajı ve dezavantajı bulunmaktadır. şeyl petrol veya şeyl gaz sistemlerinde şeylin gözenek tipi, miktarı ve PSD belirlenmesi için elde edilen sonuçların doğrudan ve dolaylı analiz yöntemleri ile desteklenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Açıkbaş, D., Akgül, A., Erdoğan, L. T., Güneydoğu Anadolu'nun hidrokarbon olanakları ve Baykan-Şirvan-Pervari yöresinin jeolojisi, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1543, s.387, **1981**.

Aksu, R., Günay, Y., Güneydoğu Anadolu Kuzey Alanlarının Kantitatif Basen Analizi Sonuçları ve Petrol Potansiyeli, 46. Türkiye Jeoloji Kurultayı 1993 Bildiri Özleri, ISSN 1019-0821, **1993**.

Aksu, R., Hakkari-Çukurca, Harbol, Derik-Bedinan, Hazro bölgelerinin jeolojisi, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1460, s.58, **1980**.

Ala, M. A., Moss, B. J., Comparative Petroleum Geology of SE Turkey and NE Syria, Journal of Petroleum Geology, 1 (4) (**1997**) 3-27.

Alkhafaji, M. W., Aljubouri, Z. A., Aldobouni, I. A., Littke, R., Hydrocarbon potential of Ordovician-Silurian successions in Akkas field, western desert of Iraq, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.99, No:4 (**2015**) 617-637.

Allix, P., Burnham, A., Herron, M., Kleinberg, R., Gas Shale, Oil Shale, and Oil-Bearing Shale: Similarities and Differences, AAPG Hedberg Conference, December 5-10, 2010, Austin, Texas, **2010**.

Alsharhan, A. S., Nairn, A. E. M., Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East, Elsevier, 843, **1997**.

Ammar, M., Galy, N., Rouzaud, J., Toulhoat, N., Vaudey, C., Simon, P., Moncoffre, N., Characterizing various types of defects in nuclear graphite using Raman scattering; heat treatment, ion irradiation and polishing, Carbon, 95 (**2015**) 364-373.

Anonim, Nanophoton, <https://www.nanophoton.net/raman/ramanspectroscopy.html> (Erişim tarihi: **Aralık 2018**).

Anonim, NTV Haber, https://www.ntv.com.tr/ekonomi/bakan-donmez-yeni-yontemle-petrol-kesfi-yaptik,We-W74GmoUS_kyOHwEacIQ (Erişim tarihi: **21 Mart 2019**).

Anonim, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Karayolları Genel M¼d¼rl¼ę¼, www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/root/haritalar.aspx (Erişim tarihi: **26 Aralık 2016**).

Anonim, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Raman_energy_levels.svg (Erişim tarihi: **Aralık 2018**).

Anovitz, L. M., Cole, D. R., Characterization and Analysis of Porosity and Pore Structures, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, Vol.80 (**2015**) 61-164.

Arango, I., Katz, B. J., Understanding Expulsion Capacity and Organic Porosity in Unconventional Petroleum Systems, SA Annual Meeting in Phoenix, September 24, Arizona, USA, **2019**.

Arango, I., Understanding Expulsion Capacity and Organic Porosity in Unconventional Petroleum Systems, Distinguished Lecture Program 2018-2019 Season (Erişim tarihi: **23 şubat 2019**).

Arkai, P., Chlorite Crystallinity: An Empirical Approach and Correlation with Illite Crystallinity, Coal Rank and Mineral Facies as Exemplified by Palaeozoic and Mesozoic Rocks of Northeast Hungary, Journal of Metamorphic Geology, 9 (**1991**) 723-734.

Arkai, P., Balogh, K., Dunkl, I., Timing of Low-Temperature Metamorphism and Cooling of the Paleozoic and Mesozoic Formations of the B¼kkium, Innermost Western Carpathians, Hungary, Geologische Rundschau, 84 (**1995**) 334-344.

Arouri, K. R., Laer, J. V., Prudden, M. H., Al-Hadjji, A., Controls on hydrocarbon properties in a Paleozoic petroleum system in Saudi Arabia: Exploration and development implications, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.94, No:2 (**2010**) 163-188.

Atalay, B., Bayram, Ü., Güneydoğu Anadolu'daki allohton Triyas-Kretase karbonatlarının stratigrafisi, Türkiye 7. Petrol Kongresi, Jeoloji Bildirileri, s.131-140, **1987**.

Atan, R. O., Eğribucak-Karacaören (Hassa)-Ceyhanlı-Dazevleri (Kırıkhan) arasındaki Amanos dağlarının jeolojisi, MTA yayın no. 139, s.85, **1969**.

Aydemir, A., Comparison of Mississippian Barnett Shale, Northern-Central Texas, USA and Silurian Dadas Formation in Southeast Turkey, Journal of Petroleum Science and Engineering, 80 (**2012**) 81-93.

Aydemir, A., Comparison of Mississippian Barnett Shale, Northern-Central Texas, USA and Silurian Dadas Formation in Southeastern Turkey, Journal of Petroleum Science and Engineering, 80 (**2012**) 81-93.

Batı, Z., Dinoflagellate Cyst Biostratigraphy of the Upper Eocene and Lower Oligocene of the Kırmızıtepe Section, Azerbaijan, South Caspian Basin, Review of Palaeobotany and Palynology, Volume 217 (**2015**) 9-38.

Batı, Z., X. Bölge kuzeyinin Miyosen palinostratigrafisi, TPAO Araştırma Merkezi, Rapor no. 1683, s. 37, **1991**.

Bayçelebi, O., Gümüş, S., Tezcan, Ü. Ş., Güven, A., Erten, T., Bozdoğan, N., Köylüoğlu, M., Balkaş, Ö., Güneydoğu Anadolu'da Bedinan Formasyonu basen analizi, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1919, s. 224, **1984**.

Behar, F., Beaumont, V., Penteado, H. L. De B., Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments, Oil and Gas Science and Technology-Rev. IFP, Vol. 56 (**2001**) 111-134.

Ben Avraham, Z., and Nur, A., Slip rates and morphology of continental collision belts, Geology, v.4 (**1976**) 661-664.

Bernard, S., Horsfield, B., Schulz, H. M., Wirth, R., Schreiber, A., Sherwood, N., Geochemical evolution of organic-rich shales with increasing maturity: A STXM and TEM study of the Posidonia Shale (Lower Toarcian, northern Germany), Marine and Petroleum Geology, v.31 (**2012a**) 70-89.

Bernard, S., Wirth, R., Schreiber, A., Schulz, H. M., Horsfield, B., Formation of nanoporous pyrobitumen residues during maturation of the Barnett Shale (Fort Worth Basin), International Journal of Coal Geology, v.103 (**2012b**) 3-11.

Berry, W. B. N., Boucot, A. J., Correlation of the African Silurian Rocks, The Geological Society of America, Special Paper 147, **1973**.

Bertrand, R., Correlations Among the Reflectances of Vitrinite, Chitinozoans, Graptolites and Scolecodonts, Organic Geochemistry, Vol.15, No.6 (**1990**) 565-574.

Bertrand, R., Heroux, Y., Chitinozoan, Graptolite, and Scolecodont Reflectance As An Alternative to Vitrinite and Pyrobitumen Reflectance in Ordovician and Silurian Strata, Anticosti Island, Quebec, Canada, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V.71, No.8 (**1982**) 951-957.

Bertrand, R., Malo, M., Dispersed Organic Matter Reflectance and Thermal Maturaiton in Four Hydrocarbon Exploration Wells in the Hudsın Bay Basin: Regional Implications, Geological Survey of Canada Open File 7066, 1-52, **2012**.

Beydoun, Z. R., Arabian Plate Hydrocarbon Geology and Potential-A Plate Tectonic Approach. The American Association of Petroleum Geologists, V. 33, 77, **1991**.

Beydoun, Z. R., Arabian plate oil and gas: Why so rich and so prolific?, Journal of Internaitonal Geoscience, 21 (2) (**1998a**) 74-81.

Beydoun, Z. R., Middle East:Regional Geology and Petroleum Resources, Beaconsfield, United Kingdom, Scientific Press, p. 291, **1988b**.

Beyssac, O., Goffe, B., Petitet, J-P., Froigneux, E., Moreau, M., Rouzaud, J.-N., On the characterization of disordered and heterogeneous carbonaceous materials by Raman spectroscopy, Spectrochimica Acta Part A, 59 (**2003**) 2267-2276.

Beyssac, O., Lazzeri, M., Application of Raman spectroscopy to the study of graphitic carbons in Earth Sciences, European Mineralogical Union (EMU) Notes in Mineralogy, Vol.12, Chapter 12, (**2012**) 415-454.

Björlykke, K., Introduction to Petroleum Geology. Petroleum Geoscience form Sedimentary Environments to Rock Physics, First Edition, Springer, 508, **2010**.

Bolgi, T., V. Petrol Bölgesi seksiyon ölçümleri AR/TPO/261 nolu saha ile Reşan, Dodan arası batısındaki sahanın strüktürel etüdleri, Arama Grubu Rapor No. 162, **1961**.

Bordenave, M.L., Applied Petroleum Geochemistry, Bordenave, M.L. (Eds.), Technip, Paris, p.225-233, **1993**.

Bouche, P. M., Chitinozoaires du Silurien s. l. du Djado (Sahara Nigerien), Revue de Micropaleontologie, v.8, 3 (**1965**) 151-164.

Bowker, K.A., Barnett Shale Gas Production, Fort Worth Basin: Issues and Discussion: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Volume 91, No. 4 (**2007**), 523-533.

Bowker, K.A., Recent Development of the Barnett Shale Play, Fort Worth Basin, West Texas Geological Society Bulletin, V.42, 6 (**2003a**), 1-11.

Bowker, K.A., The Barnett Shale Play, Fort Worth Basin (abs.), The American Association of Petroleum Geologists Southwest Section Meeting, March 1-4, Fort Worth, Texas, **2003b**.

Bozdoğan, N., Göncüoğlu, M. C., Kozlu, H., Lower Paleozoic Stratigraphy of Southeastern Turkey. Early Paleozoic Evolution in NW Gondwana, Serie Correlacion Geologica, Baldis, B., Acenolaza, F. G. (Eds.), No:12, 47-57, **1996**.

Bozdoğan, N., Bayçelebi, O. ve Alişan, C., Güneydoğu Anadolu X. Ve XI. Bölgeler kuzeyindeki Ordovisiyen sonrası Paleozoyik istifin stratigrafisi: TPAO Araştırma Merkezi, Rapor no. 1280, 126, **1988**.

Bozdoğan, N., Bayçelebi, O. ve Willink, R., Güneydoğu Anadolu Hazro bölgesinde (X.Bölge kuzeyi) Paleozoyik stratigrafisi ve petrol üretkenliği, Türkiye 7. Petrol Kongresi, Jeoloji Bildirileri, s.117-130, **1987**.

Bozdoğan, N., Güneydoğu Anadolu Mardin ve Adıyaman bölgeleri Kambriyen ve öncesi tortul istifinin stratigrafik ve sedimantolojik denetleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Bilim Dalı, TPAO Araştırma Merkezi, Rapor no. 831, s. 144, **1982**.

Bozdoğan, N., Güneydoğu Anadolu Mardin ve Adıyaman bölgeleri, Kambriyen öncesi tortul istifinin stratigrafik ve sedimentolojik denetleştirilmesi, Hacettepe Üniversitesi Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara, **1982**.

Bozdoğan, N., Karabulut, A., Erten, T. İztan, H., Çubukçu, A., Korucu, M., G. D. Anadolu Diyarbakır bölgesi Paleozoyik birimlerinin statigrafisi ve petrol potansiyeli, Türkiye 10. Petrol Kongresi Jeoloji Bildirileri, s. 125-139, **1994**.

Bozkaya, O., Yalçın, H., Kozlu, H., Clay mineralogy of the Paleozoic-Lower Mesozoic sedimentary sequence from the northern part of the Arabian Platform,

Hazro (Diyarbakır, Southeast Anatolia), *Geologica Carpathica*, 62 (**2011**) 489-500.

Brenchley, P. J., Marshall, J. D., Carden, G. A. F., Robertson, D. B. R., Long, D. G. F., Meidla, T., Hints, L., Anderson, T. F., Bathymetric and isotopic evidence for a short-lived Late Ordovician glaciation in a greenhouse period, *Geology*, 22 (**1994**) 295-298.

Bryant, T. E., Stratigraphic report of the Penbeğli-Tutköy area, Petroleum District VI, Southeast Turkey (American Overseas Petroleum (AMOSEAS) Report, Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu no. 323, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 647, Rapor no. 12, s. 27., **1960**.

Bulman, O.M.B., Treatise on Invertebrate Paleontology, Part V. Graptolithina. Moore, R.C. (Eds.), Geological Society of America and University of Kansas Press, **1970**.

Bustin, M. R., Link, C., Goodarzi, F., Optical properties and chemistry of graptolite periderm following laboratory simulated maturation, *Organic Geochemistry*, V.14, No.4 (**1989**) 355-364.

Cao, T., Song, Z., Wang, S., Cao, X., Li, Y., Xia, J., Characterizing the pore structure in the Silurian and Permian shales of the Sichuan Basin, China, *Marine and Petroleum Geology*, 61 (**2015**) 140-150.

Caputo, M. V., Crowell, J. C., Migration of glacial centers across Gondwana during Paleozoic Era, *Geological Society of American Bulletin*, 96 (**1985**) 1020-1036.

Cardott, B. J., Introduction to Vitrinite Reflectance as a Thermal Maturity Indicator, Tulsa Geological Society luncheon, May 8, American Association Petroleum Geologists Search and Discovery, 40928, 1-73, **2012**.

Cesare, B., Maineri, C., Fluid-present anatexis of metapelites at El Joyazo (SE Spain): constraints from Raman spectroscopy of graphite, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 135, (**1999**) 41-52.

Chalmers, G. R. L., Ross, D. J. K., Bustin, R. M., Geological controls on matrix permeability of Devonian Gas Shales in the Horn River and Liard basins,

northeastern British Columbia, Canada, *International Journal of Coal Geology*, 103 (**2012**) 120-131.

Charpentier, R.R., Troy, C., Applying Probabilistic Well-Performance Parameters to Assessments of Shale-Gas Resources, U.S. Geological Survey, Open-File Report 2010-1151, p.20, **2010**.

Chen, X., Fan, J. X., Zhang, Y. D., Wang, H. Y., Chen, Q., Wang, W. H., Liang, F., F., Guo, W., Zhao, Q., Nie, H. K., Wen, Z. D., Sun, Z. Y., Subdivision and delineation of the Wufeng and Lungmachi black shales in the subsurface areas of the Yangze Platform, *J. Stratigr.*, 39 (4) (**2015**) 351-358.

Chen, Z., Jiang, C., A Data Driven Model for Studying Kerogen Kinetics with Application Examples from Canadian Sedimentary Basins, *Marine and Petroleum Geology*, 67 (**2015**) 795-803.

Chen, Z., Jiang, C., A revised method for organic porosity estimation in shale reservoirs using Rock-Eval data: Example from Duvernay Formation in the Western Canada Sedimentary Basin, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V.100, No.3 (**2016**) 405-422.

Chen, Z., Jiang, C., Lavoie, D., Reyes, J., Model-assisted Rock-Eval data interpretation for source rock evaluation: Examples from producing and potential shale gas resource plays, *International Journal of Coal Geology*, 165 (**2016**) 290-302.

Clarkson, E.N.K., *Invertebrate Paleontology and Evolution*, Allen and Unwin, Boston, **1981**.

Cohen, K. M., Finney, S. C., Gibbard, P. L., Fan, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart, Episodes 36, 199-204, **2013** (URL: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2018-08Turkish.pdf>).

Cole, G. A., Graptolite-Chitinozoan Reflectance and Its Relationship to Other Geochemical Maturity Indicators in the Silurian Qusaiba Shale, Saudi Arabia, *Energy and Fuels*, 8 (**1994**) 1443-1459.

Combaz, A., Les Palynofacies, *Revue de Micropaleontologie*, 7, (**1964**), 205-218.

Combaz, A., Sur Un Nouveau Type de Microplanctonte Cenobial Fossile du Gothlandien de Libya, *Deflandrastrum Nov. Gen.*, Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences de Paris, 225, 1977-1979, p.1978, fig.1, **1962**.

Comisky, J. T., Santiago, M., McCollom, B., Buddhala, A., Newsham, K. E., Sample Size Effects on the Application of Mercury Injection Capillary Pressure for Determining the Storage Capacity of Tight Gas and Oil Shales, Canadian Society for Unconventional Gas, Society of Petroleum Engineers, Canadian Unconventional Resources Conference, 15-17 November 2011, 149432, Calgary, Alberta, Canada, **2011**.

Cramer, F. H., Microplankton from Three Paleozoic Formations in the Province of Leon (Northwest Spain), *Leidse Geologische Mededelingen*, 30, (**1964b**) 253-361.

Cramer, F. H., Some acritarchs from the San Pedro Formastion (Gedinnian) in the Cantabric Mountains in Spain, *Bulletin de la Societe Belge de Geologie, de Paleontologie et d'Hydrologie*, 73, pls 1-2, (**1964a**) 33-38.

Creaney, S., Passey, Q. R., Recurring patterns of total organic carbon and source rock quality within a sequence stratigraphic framework, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 77 (**1993**) 386-401.

Crum-Brown, A., Oil Shales of the Lothains, *Memoirs Geological Survey*, 143, **1912**.

Curtis, M. E., Ambrose, R. J., Sondergeld, C. H., Structural Characterization of Gas Shales on the Micro- and Nano-Scales, Society of Petroleum Engineers, Canadian Unconventional Resources and International Petroleum Conference, 19-21 October, SPE-137693-MS, Calgary, Alberta, Canada, **2010**.

Curtis, M. E., Ambrose, R. J., Sondergeld, C. H., Rai, C. S., Investigation of the relationship between kerogen porosity and thermal maturity in the Marcellus Shale, SPE-144370, SPE Unconventional Gas Conference and Exhibition, June 12-16, The Woodlands, Texas, **2011a**.

Curtis, M. E., Ambrose, R. J., Sondergeld, C. H., Rai, C. S., Transmission and scanning electron microscopy investigation of pore connectivity of gas shales on

the nanoscale, SPE-144391, SPE Unconventional Gas Conference and Exhibition, June 12-16, The Woodlands, Texas, **2011b**.

Curtis, M. E., Cardott, B. J., Sondergeld, C. H., Rai, C. S., Development of organic porosity in the Woodford Shale with increasing thermal maturity, International Journal of Coal Geology, 103 (**2012**) 26-31.

Curtis, M. E., Influence of thermal maturity on organic shale microstructure: Oklahoma Shale Gas and Oil Workshop, November 2013, Norman, Oklahoma, **2013**.

Çemen, İ., Perinçek, D., Ediger, V. Ş., Akça, L., Güneydoğu Anadolu'daki Bozova doğrultu atımlı fayı üzerindeki ilk hareket ters faylanma olan faylara bir örnek, Türkiye 8. Petrol Kongresii Jeoloji Bildirileri, s. 169-179, **1990**.

Çorbacıoğlu, H., Aydemir, A., Bozdoğan, N., Güzel, A., Şeyl Kaynak Kayalardan Hidrokarbon Üretiminin Jeokimyasal Açından Değerlendirilmesi ve Kantitatif Bir Yaklaşım (Dadaş Formasyonu, Güney Doğu Anadolu), 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 13-17 Nisan, MTA, Ankara, **2009**.

Çoruh, T., Adıyaman civarında (XI. Bölge kuzeybatısı ve XII. Bölge) yüzeyleyen Kampaniyen-Tanesiyen istifinin biyostratigrafisi ve paleocoğrafik evrimi, TPAO Araştırma Merkezi, Rapor no. 1656, s. 16, **1991**.

Çoruh, T., Mardin Grubu karbonatlarının X. Bölge Bölükkonak-2/A, Alıçlı-2, Dodan-6M, Tavan-1, Kavikdağ-1 kuyularıyla; IX. Bölge Körkandil, Ballıkaya ve Mehmet Yusuf ölçülmüş stratigrafik kesitlerindeki mikropaleontolojik incelenmesi, TPAO Araştırma Merkezi, Rapor no. 403/A, s. 12, **1981**.

Çoruh, T., Yakar, H., Ediger, V. Ş., Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton İstifinin Biyostratigrafi Atlası, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Grubu Başkanlığı Eğitim Yayınları No:30, 401 sayfa, Ankara, **1997**.

Dahl, B., Bojesen-Koefoed, J., Holm, A., Justwan, H., Rasmussen, E., Thomsen, E., A New Approach to Interpreting Rock-Eval S2 and TOC data for Kerogen Quality Assessment, Organic Geochemistry, 35 (**2004**) 1461-1477.

Dalziel, I. W. D., Neoproterozoic-Palaeozoic geography and tectonics: review, hypothesis, environmental speculation, Geological Society of American Bulletin, 109 (1997) 16-42.

De Jong, K. A., Tectonics of the Persian Gulf, Gulf of Oman and southern Pakistan region. The ocean basins and margins, Nairn, A. E. M., Stehli, F. G. (Eds.), Vol. 6, The Indian Ocean, Elsevier, Amsterdam, p.315-351, 1982.

De Vernal, A., Palynology (Pollen, Spores, etc.). Encyclopedia of Marine Geosciences, Harff, J., Meschede, M., Petersen, S., Thiede, J. (Eds.), Springer, Dordrecht, 2015.

Delabroye, A., Vecoli, M., The end-Ordovician glaciation and the Hirnantian Stage: A global review and questions about Late Ordovician event stratigraphy, Earth-Science Reviews, v.98 (2010) 269-282.

Dellisanti, F., Pini, G.A., Baudin, F., Use of Tmax as a Thermal Maturity Indicator in Orogenic Successions and Comparison with Clay Mineral Evolution, Clay Minerals, 45 (2010) 115-130.

Demaison, G., Bourgeois, F.T., Environment of Deposition of Middle Miocene (Alcanar) Carbonate Source Beds, Casablanca Field, Tarragone Basin, Offshore Spain, 18. Petroleum Geochemistry and Source Potential of Carbonate Rocks, AAPG Stud. in Geol., p.151-161, 1984.

Dembicki, H., Three Common Source Rock Evaluation Errors Made by Geologists During Prospect or Play Appraisals, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V.93, No.3 (2009) 341-356.

Dembicki, H., Practical Petroleum Geochemistry for Exploration and Production, First Edition, Elsevier, 342, 2016.

Dembicki, H.Jr., Three Common Source Rock Evaluation Errors Made by Geologists During Prospect or Play Appraisals, The American Association of Petroleum Geologists, v.93, No.3 (2009) 341-356.

Demirel, İ. H., Petroleum systems in the eastern and central Taurus region, Turkey, Marine and Petroleum Geology, V.21, Issue 8 (2004) 1061-1071.

Demirel, İ. H., Yurtsever, T. S., Güneri, S., Petroleum Systems of the Adiyaman Region, Southeastern Anatolia, Turkey, *Marine and Petroleum Geology*, 18 (2001) 391-410.

Deuff, J., Veryhachium, Genre Nouveau D'hystrichospheres du Primaire, *Comptes Rendus de la Societe Geologique de France*, 13, 305-307, 1954.

Diaz, H.G., Miller, C., Lewis, R., Fuentes, C.C., Evaluating the Impact of Mineralogy on Reservoir Quality and Completion Quality of Organic Shale Plays, AAPG Rocky Mountain Seciton Meeting, AAPG, Salt Lake City, Utah, 2013.

Dong, T., Harris, N., Ayranci, K., Yang, S., The impact of rock composition on geomechanical properties of a shale formation: Middle and Upper Devonian Horn River Group shale, Northeast British Columbia, Canada, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 101, No. 2 (2017) 177-204.

Dong, T., Harris, N.B., Knapp, L.J., McMillan, J.M., Bish, D.L., The Effect of Thermal Maturity on Geomechanical Properties in Shale Reservoirs: An Example from the Upper Devonian Duvernay Formation, Western Canada Sedimentary Basin, *Marine and Petroleum Geology*, 97 (2018) 137-153.

Dorning, K. J., Silurian Acritarchs from the Type Wenlock and Ludlow of Shropshire, England, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 34 (2) (1981) 175-203.

Dow, W., Kerogen Studies and Geological Interpretations, *Journal of Geochemical Exploration*, 7 (1977) 79-99.

Dow, W.G., O'Connor, D. I., Kerogen Maturity and Type by Reflected Light Microscopy Applied to Petroleum Exploration. How to Assess Maturation and Paleotemperatures, Staplin, F.L., Dow, W.G., Milner, C.W.O., Milner, C.W.D., O'Connor, D.I., Pocock, S.A.J., Van Gijssel, P., Welte, D.H., Yukler, M.A. (Eds.), *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM) Short Course 7*, p. 133-157, 1982.

Downie, C., 'Hystrichospheres' (acritarchs) and spores of the Wenlock Shales (Silurian) of Wenlock, England, *Palaeontology*, 6 (1963) 625-652.

Downie, C., Hystrichospheres from the Silurian Wenlock Shale of England, *Palaeontology*, 2 (1959) 56-71.

Downie, C., Sarjeant, W. A. S., Bibliography and index of fossil Dinoflagellates and Acritarchs, Geological Society of America, Memoir 94, 1-180, **1965**.

Duran, O., Şemşir, D., Sezgin, İ., Perinçek, D., Güneydoğu Anadolu'da Midyat ve Silvan Gruplarının stratigrafisi, sedimentolojisi ve petrol potansiyeli, TPJD Bülteni, cilt 2, s. 99-126, **1988**.

Duran, O., Şemşir, D., Sezgin, İ., Perinçek, D., Güneydoğu Anadolu'da Midyat ve Silvan Gruplarının stratigrafisi, sedimentolojisi ve paleocoğrafyası, paleontolojisi, jeoloji tarihi, rezervuar ve diyajenez özellikleri ve olası petrol potansiyeli, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 2563, s. 78, **1989**.

Durand, B., Kerogen, Insoluble Organic Matter from Sedimentary Rocks, Edition Technip, Paris, **1980**.

EIA, United States The Energy Information Administration (EIA) Report, 2016, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27512>.

Eisenack, A., Chitinozoen, Hystrichospharen und andere Mikrofossilien aus deu Beyrichia-Kalk. Senckenbergiana Lethaea, 36 (**1955**) 157-188.

Eisenack, A., Cramer, F. H. And Diez, M. del C. R., Katalog der Fossilen Dinoflagellaten, Hystrichospharen und Verwandten Mikrofossilien, Band III. Acritarcha 1. Teil E. (Eds.) Schweizerbarth'sche Verlagsbuchhandlung, Nageleü Obermiller, Stuttgart, p.1-1104, **1973**.

Eisenack, A., Hystrichosphaerideen und Verwandte Formen im Baltischen Silur. Zeitschrift für Geschiebeforschung und Flachlandsgeologie, 14, pls 1-4 (**1938**) 1-30.

Eisenack, A., Hystrichospharen aus dem baltischen Gotlandium, Senckenbergiana Lethaea, 34, pl 1 (**1954**) 205-211.

Eisenack, A., Mikrofossilien aus dem Silur Gotlands, Chitinozoen, Neues Jahrbuch für Geologie and Palaontologie Abhandlungen, 120, 3 (**1964**) 308-342.

Eisenack, A., Neotypen baltischen Silurchitinozoen und neue Arten, N, Jb, Geol. Pal. Abh., Stuttgart, 108 (**1959**) 1-20.

Eisenack, A., Neue Mikrofossilien des Baltischen Silurian I, Paleontologische Zeitschrift, Berlin, Vol.13 (**1931**) 74-118.

Eisenack, A., Neue Mikrofossilien des baltischen Silurian IV, Paleontologische zeitschrift, Berlin, Vol.19 (**1937**) 217-243.

Eisenack, A., Zur Systematik Einiger Palaozoischer Hystrichosphären (Acritarcha) des Baltischen Gebietes, Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen, 133 (**1969**) 245-266.

Eliyahu, M., Emmanuel, S., Day-Stirrat, R.J., Macaulay, C.I., Mechanical Properties of Organic Matter in Shales Mapped at the Nanometer Scale, Marine and Petroleum Geology, 59 (**2015**) 294-304.

Emmanuel, S., Eliyahu, M., Day-Stirrat, R. J., Hoffman, R., Macaulay, C. I., Impact of thermal maturation on nano-scale elastic properties of organic matter in shales, Marine and Petroleum Geology, 70 (**2016**) 175-184.

Erenler, M., XI-XII. Bölge güney alanlarındaki kuyularda Mesozoyik çökel istifinin mikropaleontolojik incelemesi, TPAO Araştırma Merkezi, Rapor no. 1364, s. 44, **1989**.

Erkmen, U., Bozdoğan, N., Acritarchs from the Dadaş Formation in Southeast Turkey, Geobios, 12 (**1979**) 445-449.

Erkmen, U., Bozdoğan, N., Acritarchs from the Dadaş Formation in Southeast Turkey, Geobios, 12, 3 (**1979**) 445-449.

Espitalie, J. F., Marquis, L., Sage, Barsony, I., Geochimie organique du bassin de Paris: Revue de l'Institut Français du Pétrole, V. 42, 271-302, **1987**.

Espitalie, J. M., Madec, M., Tissot, B., Mennig, J., Leplat, P., Source Rock Characterization Method for Petroleum Exploration, Proceedings of the 9th Annual Offshore Technology Conference, V. 3, **1977**, p. 439-448.

Espitalie, J., Deroo, G., Marquis, F., Rock-Eval pyrolysis and its applications (part one), Oil and Gas Science Technology, Revue de l'Institut Français du Pétrole, 40 (**1985**) 563-579.

Espitalie, J., Madec, M., Tissot, B., Role of Mineral Matrix in Kerogen Pyrolysis: Influence on Petroleum Generation and Migration, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V.64, No.1 (**1980**) 59-66.

Ferrari, A.C., Robertson, J., Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon, *Physical Review B*, 61, 14095, **2000**.

Ferreiro Mahlmann, R., Bozkaya, Ö., Potel, S., Le Bayon, R., Segvic, B., Nieto, F., The Pioneer Work of Bernard Kübler and Martin Frey in Very Low-Grade Metamorphic Terranes: Paleo-Geothermal Potential of Variation in Kübler-Index/Organic Matter Reflectance Correlations: A review, *Swiss Journal of Geosciences*, V.105, Issue 2 (**2012**) 121-152.

Ferreiro Mahlmann, R., Frey, M., Standardisation, Calibration and Correlation of the Kübler-Index and the Vitrinite/Bituminite Reflectance: an Inter-Laboratory and Field Related Study, *Swiss Journal of Geosciences*, V.105, Issue 2 (**2012**) 153-170.

Fishman, N. S., Hackley, P. C., Lowers, H. A., Hill, R. J., Egenhoff, S. O., Eberl, D. D., Blum, A. E., The nature of porosity in organic-rich mudstones of the Upper Jurassic Kimmeridge Clay Formation, North Sea, offshore United Kingdom, *International Journal of Coal Geology*, 103 (**2012**) 32-50.

Frouté, L., Kovscek, A. R., Nano-Imaging of Shale Using Electron Microscopy Techniques, *Unconventional Resources Technology Conference*, July 20-22, Austin, Texas, USA, **2020**.

Gamero-Diaz, H., Miler, C., Lewis, R., sCore: A Classification Scheme for Organic Mudstones Based on Bulk Mineralogy, *AAPG 2012 Southwest Section Meeting*, 19-22 May 2012, Ft. Worth, Texas, **2012**.

Gamero-Diaz, H., Miller, C., Lewis, R., Fuentes, C. C., Evaluating the Impact of Mineralogy on Reservoir Quality and Completion Quality of Organic Shale Plays, *AAPG Rocky Mountain Section Meeting*, September 22-24, Salt Lake City, Utah, **2013**.

Gerdes, K. D., Winefield, P., Simmons, M. D., Van Oosterhout, C., The influence of basin architecture and eustasy on the evolution of Tethyan Mesozoic and Cenozoic carbonate sequences. Mesozoic and Cenozoic carbonate systems of the Mediterranean and the Middle East: Stratigraphic and diagenetic reference models, Van Buchem, F. S. P., Gerdes, K. D., Esteban, M. (Eds.), *Geological Society, London, Special Publications*, v. 329, 9-43, **2010**.

Ghienne, J. F., Monod, O., Kozlu, H., Dean, W. T., Cambrian-Ordovician depositional sequences in the Middle East: A perspective from Turkey, *Earth-Science Reviews*, 101 (**2010**) 101-146.

Goodarzi, F., Organic Petrography of Graptolite Fragments from Turkey, *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 1 (**1984**) 202-210.

Goodarzi, F., Norford, B.S., Variation of graptolite reflectance with depth of burial, *International Journal of Coal Geology*, 11 (**1989**) 127-141.

Goodarzi, F., Fowler, M.G., Bustin, M., McKirdy, D.M., Thermal Maturity of Early Paleozoic Sediments as Determined by the Optical Properties of Marine-Derived Organic Matter- A Review. *Early Organic Evolution: Implications for Mineral and Energy Resources*, Schidlowski, M. (Eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, **1992**.

Göncüoğlu, M. C., Dirik, K., and Kozlu, H., General Characteristics of pre-Alpine and Alpine Terranes in Turkey Explanatory notes to the terrane map of Turkey, *Annales Geologique de Pays Hellenique*, 37 (**1997**) 515-536.

Göncüoğlu, M. C., Kozlu, H., Early Paleozoic Evolution of the NW Gondwana-Land; Data from Southeastern Turkey and Surrounding Regions, *Gondwana Research*, V.3, Issue 3 (**2000**) 315-324.

Göncüoğlu, M. C., Sachanski, V., The First Findings of Late Llandoveryan (Telycian) Graptolites from the Camdag Area, NW Turkey, *Comptes rendus de l'Academia bulgare des Sciences*, 56 (3) (**2003**) 37-42.

Grunow, A. M., Gondwana events and palaeogeography: a palaeomagnetic review, *Journal Afr. Earth Science*, 28 (**1999**) 53-69.

Guggenheim, S., Bain, D.C., Bergaya, F., Brigatti, M.F., Drits, V.A., Eberl, D.D., Formoso, L.L., Galan, E., Merriman, R.J., Peacor, D.R., Stanjek, H., Watanabe, T., Report of the Association Internationale Pour l'Etude des Argiles (AIPEA) Nomenclature Committee for 2001; Order, Disorder and Crystallinity in Phyllosilicates and the Use of the 'Crystallinity Index', *Clay Minerals*, 37 (**2002**) 389-393.

Günay, Y., Ergani-Dicle (Diyarbakır) arasındaki Abdülaziz dağı'nın jeolojisi ve yapısı, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 2132, s. 10, **1986**.

Günay, Y., Aksu, R., Güneydoğu Anadolu Kuzey Alanlarının Petrol Potansiyeli, 46. Türkiye Jeoloji Kurultayı 1993 Bildiri Özleri, ISSN 1019-0821, **1993**.

Gündoğdu, M. N., Geological, mineralogical and geochemical investigation of the Bigadiç Neogene volcano-sedimentary basin, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, **1982**.

Güven, A., Dinçer, A., Tuna, M. E., Çoruh, T., Güneydoğu Anadolu Kampaniyen-Paleosen otokton istifinin stratigrafisi, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 2828, s. 133, **1991**.

Güzel, A., Çorbacioğlu, H., Bozdoğan, N., İztan, H. Y., Aydemir, A., Beşer, P., Stratigraphy, Sedimentology and Geochemistry of Dadaş Formation as an “Unconventional Reservoir”, Conference Proceedings, 18th International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey, May 2011, Turkey, **2011**.

Handfield, R. W., Bryant, G. F., Keskin, C., Measured section, Korudağ (American Overseas Petroleum, TPAO Arama Grubu, Arşiv no. 523, **1959**.

Harris, N. B., Dong, T., Characterizing Porosity in the Horn River Shale, Northeastern British Columbia, BC Ministry of Natural Gas Development, in Geoscience Report, 33-40, **2013**.

Hartkopf-Fröder, C., Königshof, P., Littke, R., Schwarzbauer, J., Optical Thermal Maturity Parameters and Organic Geochemical Alteration at Low Grade Diagenesis to Anchimetamorphism: A Review, International Journal of Coal Geology, 150-151 (**2015**) 74-119.

Hazra, B., Varma, A.K., Bandopadhyay, A.K., Chakravarty, S., Buragohain, J., Samad, S.K., Prasad, A.K., FTIR, XRF, XRD and SEM Characteristics of Permian Shales, India, Journal of Natural Gas Science and Engineering, 32, (**2016**), 239-255.

Hempton, M. R., Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea, Tectonics, v. 6 (**1987**) 687-705.

Hill, P. J., A review of Cymbosphaeridium pilar and Comparison with Multiplicisphaeridium pachymurum, sp. nov., from the Llandovery and Wenlock of Shropshire, Great Britain, Palynology, Vol.2 (**1978**) 181-185.

Hoffknecht, A., Mikropetrographische, Organisch-Geochemische, Mikrothermometrische und Mineralogische Untersuchungen zur Bestimmung der Organischen Reife von Graptolithen-Periderm. Göttinger Arb. Geol. Palaontol. 48 (I-II) **(1991)** 1-98.

Hoffmeister, W. S.: Lower Silurian Plant Spores from Libya, Micropaleontology, 5 **(1959)** 331-334.

Hu, Y., Gonzalez Perdomo, M.E., Wu, K., Chen, Z., Zhang, K., Yi, J., Ren, G., Yu, Y., New Models of Brittleness Index for Shale Gas Reservoirs: Weights of Brittle Minerals and Rock Mechanics Parameters, SPE, 177010 **(2015)** 12.

Huang, W.L., Longo, J.M., Pevear, D. R., An Experimentally Derived Kinetic Model for Smectite to Illite Conversion and Its Use as a Geothermometer, Clays and Clay Minerals, Vol.41, No.2 **(1993)** 162-177.

Huang, J., Cavanaugh, T., Nur, B., An Introduction to SEM Operational Principles and Geologic Applications for Shale Hydrocarbon Reservoirs. Electron Microscopy of Shale Hydrocarbon Reservoirs, Camp, W., Diaz, E., Wawak, B. (Eds.), AAPG Memoir 102, p. 1-6, **2013**.

Hunt, J. M., Petroleum Geochemistry and Geology, First Edition, W. H. Freeman and Company, San Francisco, **1979**.

Hunt, J. M., Petroleum Geochemistry and Geology, Second Edition, W. H. Freeman and Company, San Francisco, **1996**.

Husseini, M. L., Tectonic and depositional model of the Arabian and adjoining plates during the Silurian-Devonian, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 75 **(1991)** 108-120.

Hutt, J.E., The Llandovery Graptolites of the English Lake District, Part 2, Palaeontographical Society Monograph, 129, **1975**.

İnan, S., Goodarzi, F., Schmidt Mumm, A., Arouri, K., Qathami, S., Ardakani, O. H., İnan, T., Tuwailib, A. A., The Silurian Qusaiba Hot Shales of Saudi Arabia: An integrated assessment of thermal maturity, International Journal of Coal Geology, 159 **(2016)** 107-119.

İnan, S., Goodarzi, F., Schmidt Mumm, A., Arouri, K., Qathami, S., Ardakani, O.H., İnan, T., Tuwailib, A.A., The Silurian Qusaiba Hot Shales of Saudi Arabia:

An Integrated Assessment of Thermal Maturity, *International Journal of Coal Geology*, 159 (**2016**) 107-119.

Jahren, J.S., Aagaard, P., Compositional Variations in Diagenetic Chlorites and Illites, and Relationships with Formation-Water Chemistry, *Clay Mineralogy*, 24 (**1989**) 157-170.

Jansonius, J., McGregor, D.C., *Palynology: Principles and Applications*. College 242 Station, American Association of Stratigraphic Palynology, **1996**.

Jarvie, D. M., Baker, D. R., Application of the Rock-Eval III oil Show analyzer to the study of gaseous hydrocarbons in an Oklahoma gas well, 187th ACS National Meeting, April 8-13, St. Louis, Missouri, **1984**.

Jarvie, D.M., Total Organic Carbon (TOC) Analysis, in *Source and Migration Processes and Evaluation Techniques*, *Treatise of Petroleum Geology. Handbook of Petroleum Geology*, Merrill, R.K. (Eds.), Chapter 11, AAPG, p. 113-118, **1991**.

Jarvie, D.M., Tobey, M.H., TOC, Rock-Eval and SR Analyzer Interpretive Guidelines Application, Note 99-4, Humble Instruments and Services, Inc. Geochemical Services Division, Texas, 11, **1999**.

Jarvie, D.M., Claxton, B., Henk, B., and Breyer, J.T., Oil and Shale Gas From the Barnett Shale, Fort Worth Basin, Texas, The American Association of Petroleum Geologists Annual Meeting Program, June 3-6, 10, A100, Denver, CO, **2001**.

Jarvie, D.M., Evaluation of Hydrocarbon Generation and Storage in the Barnett Shale, Ft. Worth Basin, Texas, Humble Geochemical Services Division, 116, **2004**.

Jarvie, D. M., Hill, R. J., Ruble, T., E., Pollastro, R. M., Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett Shale of North-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.91, No.4 (**2007**) 475-499.

Jarvie, D. M., Shale resource systems for oil and gas: Part I. Shale-gas resource systems, Shale reservoir-Giant resources for the 21st century, Breyer, J. A. (Eds.), *The American Association of Petroleum Geologists Memoir* 97, 69-87, (**2012a**).

Jarvie, D. M., Shale resource systems for oil and gas: Part II. Shale-gas resource systems, Shale reservoir-Giant resources for the 21st century, Breyer, J. A. (Eds.), The American Association of Petroleum Geologists Memoir 97, 89-119, **(2012b)**.

Jenkins, W. A. M., Chitinozoa from the Ordovician Sylvan Shale of the Arbuckle Mountains, Oklahoma, *Palaeontology*, 13 (2) **(1970)** 261-288.

Jennings, D. S., Antia, J., Petrographic Characterization of the Eagle Ford Shale, South Texas: Mineralogy, Common Constituents, and Distribution of Nanometer-scale Pore Types. *Electron Microscopy of Shale Hydrocarbon Reservoirs*, Camp, W., Diaz, E., Wawak, B. (Eds.), AAPG Memoir 102, p. 101-113, **2013**.

Ji, W., Hao, F., Schulz, H. M., Song, Y., Tian, J., The architecture of organic matter and its pores in highly mature gas shales of the lower Silurian Longmaxi Formation in the upper Yangtze platform, South China, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 103, No. 12 **(2019)** 2909-2942.

Jones, R.W., Organic Facies, *Advanced in petroleum Geochemistry*, Brooks, J., Welte, D. (Eds.) 2, 1-9, **1987**.

Justwan, H., Dahl, B., Quantitative hydrocarbon potential mapping and organofacies study in the Greater Balder area, Norwegian North Sea. *Petroleum geology, northwest Europe and global prospective-Proceedings of the 6th Petroleum Geology Conference*, Dore, A. G., Vinino, A. (Eds.), Geological Society, London, **2005**, p. 1317-1329.

Karabulut, A., Tezcan, Ü. Ş., Güven, A., Bozdoğan, N., Köylüoğlu, M. Ve Balkaş, Ö., Hazro antiklinali alanında (X. Bölge, Diyarbakır ili) Dadaş Formasyonu (Üst Siluriyen-Alt Devoniyen) ile Tanin Grubu'nun (Permiyen) stratigrafisi, palinoloji, paleontoloji ve Hazro Formasyonu fasiyes analizi, TPAO Arama Grubu, Rapor no:1645, 127, **1982**.

Katz, B.J., Limitations of Rock-Eval Pyrolysis for Typing Organic Matter, *Organic Geochemistry*, V.4, Issues 3-4, **(1983)**, 195-199.

Katz, B. J., Arango, I., Organic porosity: A geochemist's view of current state of understanding, *Organic Geochemistry*, 123 **(2018)** 1-16.

Kavak, O., Diyarbakır ve çevresinin petrol potansiyeline genel bir bakış, eds: Haspolat, K., Kavak, O., Hamidi, N., Akaydın, A., Haspolat, İ., Diyarbakır'ın Yeraltı Kaynakları, **2013**.

Kaya, T. T., Kılıç, M. A., Saraç, G. Ve Aydın, A., Fosiller ve Çalışma Yöntemleri, TMMOB Jeoloji Mühendisler Odası Yayınları, No.98, Ankara, **2006**.

Kaymakci, N., Inceöz, M., Ertepinar, P., Koç, A., Late Cretaceous to Recent kinematics of SE Anatolia (Turkey). Sedimentary Basin Tectonics from the Black Sea and Caucasus to the Arabian Platform, Sosson, M., Kaymakci, N., Stephenson, R. A., Bergerat, F., Starostenko, V. (Eds.), V. 340, Geological Society, London, Special Publications, 409-435, **2010**.

Kellogg, H. E., Stratigraphic report, Derik-Mardin area, Petroleum Distirct V, Southeast Turkey (American Overseas Petroleum (AMOSEAS) Report), Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu no. 126, Rapor no. 3 s.34, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1367, **1960**.

Kellogg, H. E., Stratigraphic report, Hazro area, Petroleum Distircit V, SE Turkey (American Overseas Petroleum (AMOSEAS) Report, Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu no. 126, Rapor no. 1, 42, **1960**.

Keown, D. M., Li, X., Hayashi, J.-I., Li, C.-Z., Characterization of the structural features of char from the pyrolysis of cane trash using Fourier transform-Raman spectroscopy, Energy Fuels, 21 (**2007**) 1816-1821.

- Keskin, İ., MTA 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 170, Elazığ-L42 Paftası, **2011**.

Ketin, İ., Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, sayı 66 (**1966a**), 20-34.

Ketin, İ., Güneydoğu Anadolu Paleozoyik teşekküllerinin jeolojik etüdü hakkında rapor (I. Kısım: Derik-Bedinan, Penbeğli-Tut ve Hazro bölgesi), TPAO Arama Grubu, Rapor no.287, 36s, **1964**.

Ketin, İ., Güneydoğu Anadolu'nun Kambriyen teşekkülleri ve bunların Doğu İran Kambriyeni ile mukayesesi, MTA Enstitüsü Dergisi, sayı 66 (**1966b**) 75-87.

Khatibi, S., Ostadhassan, M., Tuschel, D., Gentzis, Bubach, B., Carvajal-Ortiz, H., Raman Spectroscopy to study Thermal Maturity and Elastic Modulus of Kerogen, *International Journal of Coal Geology*, 185 (2018) 103-118.

Khyade, V. B., Hydraulic Fracturing; Environmental Issue, *World Scientific News*, v.40 (2016) 58-92.

Kilby, W. E., Vitrinite Reflectance Measurement-Some Technique Enhancements and Relationships, *International Journal of Coal Geology*, 19 (1991) 201-218.

Kisch, H. J., Illite crystallinity: recommendations on sample preparation, X-ray diffraction settings, and interlaboratory samples, *Journal of Metamorphic Geology*, 9 (1991) 665-670.

Klemen, S., Fang, H., Maturity trends in Raman spectra from kerogen and coal, *Energy Fuel*, 15 (2001) 653-658,.

Klemme, H.D., Ulmishek, G.F., Effective Petroleum Source Rocks of the World: Stratigraphic Distribution and Controlling Depositional Factors, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 75, No. 12 (1991) 1809-1851.

Kozlu, H., Sachanski, V., Göncüoğlu, M. C., Silurian. Guidebook Paleozoic of Eastern Taurides, Göncüoğlu, M. C., Bozdoğan, N. (Eds), *Turkish Association Petroleum Geologists, Special Publication*, No:7, Ankara, 2012.

Köylüoğlu, M., Erten, T., Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Köprülü ve Belek formasyonlarının (IX. Bölge) mikropaleontoloji ve petrografi verileri ile değerlendirilmesi ve petrol olanaklarının tartışılması, *TPAO Araştırma Merkezi, Rapor no. 711, s.51, 1985.*

Kranendock, O., Geo- and Biodynamic Evolution during Late Silurian/Early Devonian Time (Hazro Area, SE Turkey), *Schriften des Forschungszentrums Jülich Reihe Umwelt/Environment, Band/Volume 49, 268, 2004.*

Kuchinskiy, V., Organic porosity study: Porosity development within organic matter of the Lower Silurian and Ordovician source rocks of the the Poland shale gas trend, *AAPG Search and Discovery article 10522*, July 4, 2014.

Kumar, S., Das, S., Bastia, R., and Ojha, K., Mineralogical and Morphological Characterization of Older Cambay Shale from North Cambay Basin, India:

Implication for shale oil/gas development, *Marine and Petroleum Geology*, 97 (2018) 339-354.

Kumar, V., Sondergeld, C.H., and Rai, C.S., Nano to Macro Mechanical Characterization of Shale, Society of Petroleum Engineers Annual Technical Conference and Exhibition, 8-10 October 2012, San Antonio, Texas, USA, **2012**.

Kurylowicz, L.E., Ozimic, S., McKirdy, D.M., Kantsler, A.J., Cook, A.C., Reservoir and Source Rock Potential of the Larapinta Group, Amadeus Basin, Central Australia, *The APPEA Journal*, 16(1) (1976) 49-65.

Kübler, B., La Cristallinite de l'illite et les Zones Tout a Fait Superieures du Metamorphisme, In: *Etages Tectoniques*, Colloque de Neuchatel 1966, Edition de le Baconniere, Neuchatel, Switzerland, 105-121, **1967**.

Kübler, B., Evaluation Quantitative du Metamorphisme par Cristallinite de l'illite, *Bulletin Centre de Recherche Pau SNPA*, 2 (1968) 385-397.

Kübler, B., Jaboyedoff, M., Illite Crystallinity, *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences-Earth and Planetary Science*, 331 (2000) 75-89.

Lakova, I., Göncüoğlu, M. C., Early Ludlovian (early Late Silurian) palynomorphs from the Palaeozoic of Çamdağ, NW Anatolia, Turkey, *Yerbilimler (Earth Sciences)*, 26 (1) (2005) 61-73.

Landais, P., Michels, R., Kister, J., Dereppe, J.M., Benkhedda, Z., Behavior of Oxidized Type II Kerogen During Artificial Maturation, *Energy Fuels*, 5 (6) (1991) 860-866.

Langford, F.F., Blanc-Valleron, M.M., Interpreting Rock-Eval Pyrolysis Data Using Graphs of Pyrolizable Hydrocarbons vs. Total Organic Carbon, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V.74, N.6 (1990) 799-804.

Li, C., Ostadhassan, M., Kong, L., Nanochemo-Mechanical Characterization of Organic Shale Through AFM and EDS, *SEG International Exposition and 87th Annual Meeting*, 3837-3839, **2017**.

Li, C., Ostadhassan, M., Gentzis, T., Kong, L., Carjaval-Ortiz, H., and Bubach, B., Nanomechanical Characterization of Organic Matter in the Bakken Formation

by Microscopy-based Method, Marine and Petroleum Geology, 96 **(2018a)** 128-138.

Li, C., Ostadhassan, M., Guo, S., Gentzis, T., and Kong, L., Application of Peak Force Tapping Mode of Atomic Force Microscope to Characterize Nanomechanical Properties of Organic Matter of the Bakken Shale, Fuel, 233 **(2018b)** 894-910.

Lister, T. R., The Acritarchs and Chitinozoa from the Wenlock and Ludlow Series of the Ludlow and Millichope Areas, Shrophine. Palaeontographical Society (Monographs), Publication No.528, **1970**.

Liu, D. H., Xiao, X. M., Tian, H., Min, Y. S., Zhou, Q., Cheng, P., Shen, J. G., Sample maturation calculated using Raman spectroscopic parameters for solid organics: methodology and geological applications, Chinese Science Bulletin, Vol.58, No:11 **(2013)** 1285-1298.

Liu, K., Ostadhassan, M., Characterize the pore microstructures of shale formation by using AFM, International Geophysical Conference, April 17-20, Qingdao, China, **2017**, p. 1064-1066.

Lokman, K., Türkiye Petrol Sondajları, Türkiye’de Petrol Arama Amacıyla Yapılan Sondajlar ve Bu Hususta M.T.A. Enstitüsünün Yararlı ve Başarılı Rolü, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, Sayı:6, 61. Cilt **(1963)** 62-74.

Loucks, R. G., Reed, M. R., Ruppel, S. C., Hammes, U., Spectrum of pore types and networks in mudrocks and a descriptive classification for matrix-related mudrock pores, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.96, No.6 **(2012)** 1071-1098.

Loucks, R. G., Reed, M. R., Ruppel, S. C., Jarvie, D. M., Morphology, Genesis, and Distribution of Nanometer-Scale Pores in Siliceous Mudstones of the Mississippian Barnett Shale, Journal of Sedimentary Research, v. 79 **(2009)** 848-861.

Loucks, R. G., Reed, R. M., Ruppel, S. C., Hammes, U., Preliminary Classification of Matrix Pores in Mudrocks, The Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, v. 60 **(2010)** 435-441.

Loucks, R. G., Reed, R. M., Ruppel, S. C., Jarvie, D. M., Morphology, Genesis, and Distribution of Nanometer-Scale Pores in Siliceous Mudstones of the Mississippian Barnett Shale, *Journal of Sedimentary Research*, v. 79 **(2009)** 848-861.

Loucks, R. G., Ruppel, S. C., Mississippian Barnett Shale: Lithofacies and depositional setting of a deep-water shale-gas succession in the Fort Worth Basin, Texas, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v.91, No.4 **(2007)** 579-601.

Loucks, R.G., Reed, R.M., Ruppel, S.C., Jarvie, D.M., Morphology, Genesis, and Distribution of Nanometer-Scale Pores in Siliceous Mudstones of the Mississippian Barnett Shale, *Journal of Sedimentary Research*, V.79 **(2009)** 848-861.

Loucks, R. G., Ruppel, S., Reed, R. M., Hammes, U., Origin and Classification of Pores in Mudstones form Shale-Gas Systems, AAPG International Conference and Exhibition, October 23-26, Milan, Italy, **2011**.

Loucks, R.G., Reed, R. M., Ruppel, SC., Hammes, U., Spectrum of Pore Types and Networks in Mudrocks and a Descriptive Classification for Matrix-Related Mudrock Pores, *The American Association of Petroleum Geologists*, v.96, No.,6 **(2012)** 1071-1098.

Loucks, R. G., Reed, R. M., Scanning-Electron-Microscope Petrographic Evidence for Distinguishing Organic-Matter Pores Associated with Depositional Organic Matter versus Migrated Organic Matter in Mudrocks, Gulf Coast Association of Geological Societies and the Gulf Coast Section of SEPM 64th Annual Convention, October 5-7, Lafayette, Louisiana, **2014**.

Loydell, D.K., Orr, P.J., Kearns, S., Preservation of Soft Tissues in Silurian Graptolites from Latvia, *Palaeontology*, V.47, Part 3 **(2004)** 503-513.

Lu, J., Ruppel, S. C., Rowe, H. D., Organic matter pores and oil generation in the Tuscaloosa marine shale, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 99 **(2015)** 333-357.

Lu, J., Ruppel, S. C., Rowe, H. D., Organic matter pores and oil generation in the Tuscaloosa marine shale, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.99, No.2 **(2015)** 333-357.

Luo, Q., Zhong, N., Dai, N., Zhang, W., Graptolite-derived organic matter in the Wufeng-Longmaxi Formations (Upper Ordovician-Lower Silurian) of southeastern Chongqing, China: Implications for gas shale evaluation, International Journal of Coal Geology, 153 **(2016)** 87-98.

Luo, Q., Hao, J., Skovsted, C. B., Luo, P., Khan, I., Wu, J., Zhong, N., The Organic Petrology of Graptolites and Maturity Assessment of the Wufeng-Longmaxi Formations from Chongqing China: Insights from Reflectance Cross-Plot Analysis, International Journal of Coal Geology, 183 **(2017)** 161-173.

Luo, Q., Fariboz, G., Zhong, N., Wang, Y., Qui, N., Skovsted, C.B., Such, V., Schovsbo, N.H., Morga, R., Xu, Y., Hao, J., Liu, A., Wu, J., Cao, W., Min, X., Wu, J., Graptolites as Fossil Geo-thermometers and Source Material of Hydrocarbons; An Overview of Four Decades of Progress, Earth-Science Reviews, 200, 103000 **(2020)**.

Lüning, S., Craig, J., Loydell, D. K., Storch, P., Fitches, B., Lower Silurian 'hot shales' in North Africa and Arabia: regional distribution and depositional model, Earth-Science Reviews, 49 **(2000)** 121-200.

Lüning, S., Archer, R., Craig, J., Loydell, D.K., The Lower Silurian 'Hot Shales' and 'Double Hot Shales' in North Africa and Arabia. The geology of northwest Libya (Ghadamis, Jifarah, Tarabulus and Sabratah basins): Tripoli, Salem, M. J., Oun, K. M., Seddiq, H. M. (Eds.), Earth Science Society of Libya, v.3, p.91-105, **2003**.

Lüning, S., Shanin, Y. M., Loydell, D., Al-Rabi, H. T., Masri, A., Tarawneh, B., Kolonic, S., Anatomy of a worldclass source rock: Distribution and depositional model of Silurian organic-rich shales in Jordan and implications for hydrocarbon potential, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 89, No:10 **(2015)** 1397-1427.

Mac Niocaill, C., der Pluijm, B. A., der Voo, R. V., Ordovician palaeogeography and the evolution of the Lapetus Ocean, Geology, 25 **(1997)** 159-162.

Mahlmann, F.R., Le Bayon, R., Vitrinite and Vitrinite like Solid Bitumen Reflectance in Thermal Maturity Studies: Correlations from Diagenesis to Incipient Metamorphism in Different Geodynamic settings, *International Journal of Coal Geology*, 157 **(2016)** 52-73.

Maletz, J., The classification of the Pterobranchia (Cephalodiscida and Graptolithina, *Bulletin of Geosciences*, V. 89, Issue 3 **(2014a)** 477-540.

Maletz, J., Ahlberg, P., Suyarkova, A., Loydell, D.K., Silurian Graptolite Biostratigraphy of the Röstanga-1 drill core, Scania-a Standart for Southern Scandinavia, *GFF*, 136:1 **(2014b)** 175-178.

Maletz, J., Graptolite reconstructions and interpretations, *Palaontologische Zeitschrift*, 89, 3 **(2015)** 271-286.

Malinconico, M. L., Graptolite reflectance in the prehnite-pumpellyite zone of Northern Maine, U.S.A., *Organic Geochemistry*, V.18, Issue 3 **(1992)** 263-271.

Marshall, C. P., Edwards, H. G., Jehlicka, J., Understanding the application of Raman spectroscopy to the detection of traces of life, *Astrobiology*, 10 **(2010)** 229-243.

Mastalerz, M., Schieber, J., Effect ion milling on the perceived maturity of shale samples: Implications for organic petrography and SEM analysis, *International Journal of Coal Geology*, 183 **(2017)** 110-119.

Mastalerz, M., Drobniak, A., Stankiewicz, A.B., Origin, Properties, and Implications of Solid Bitumen in Source-Rock Reservoirs: A Review, *International Journal of Coal Geology*, 195 **(2018)** 14-36.

Masuda, H., O'Neil, J.R., Jiang, W., Peacor, D.R., Relation Between Interlayer Compositon of Authigenic Smectite, Mineral Assemblages, I/S Reaction Rate and Fluid Compositon in Silicic Ash of the Nankai Trough, *Clays and Clay Minerals*, V.44, Issue, 4 **(1996)** 443-459.

Maxson, J. H., Geology and petroleum possibilities of the Hermis dome, MTA Derleme no. 255, s. 25, **1936**.

Mc Kenzie, D. P., Davies, D., Molnar, P., Plate tectonics of the Red Sea and East Africa, *Nature*, v.226 **(1970)** 243-248.

McCarty, K., Rojas, K., Niemann, M., Palmowski, D., Peters, K., Stankiewicz, A., Basic Petroleum Geochemistry for Source Rock Evaluation, Oilfield Review Summer 2011, 23, No. 2, **2011**.

Merriman, R.J., Peacor, D.R., Very Low-Grade Metapelites: Mineralogy, Microfabrics and Measuring Reaction Progress. Low Grade Metamorphism, Frey, I.M., Robinson, D. (Eds.), Blackwell Science Ltd., Oxford, Chapter 2, 10-60, **1999**.

Milam, K., Explorer Correspondent, "Name the gas industry birthplace: Fredonia, N.Y.?", Aapg.org. Retrieved, 06 Ağustos, **2013**.

Milliken, K. L., Rudnicki, M., Awwiller, D. N., Zhang, T., Organic matter-hosted pore system, Marcellus Formation (Devonian), Pennsylvania, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.97 (**2013**) 177-200.

Miskimins, L.J., The Impact of Mechanical Stratigraphy on Hydraulic Fracture Growth and Design Considerations for Horizontal Wells, Tulsa Geological Society luncheon Meeting, November 27, Tulsa, **2012**.

Modica, C. J., Lapierre, S. G., Estimation of kerogen porosity in source rocks as a function of thermal transformation: Example from the Mowry shale in the Powder River Basin of Wyoming, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V. 96, No. 1 (**2012**) 87-108.

Monod, O., Poisson, A., Dean, W. T., Report on the geology of Hakkari region, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1453, s. 17, **1979**.

Morga, R., Kaminska, M., The Chemical Composition of Graptolite Periderm in the Gas Shales from the Baltic Basin of Poland, International Journal of Coal Geology, 199 (**2018**) 10-18.

Morga, R., Pawlyta, M., 2018, Microstructure of graptolite periderm in Silurian gas shales of Northern Poland, International Journal of Coal Geology, 189 (**2018**) 1-7.

MTA, 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi, Malatya-i27 paftası, **1986**.

Muehlberger, W. R., The Splintering of the Dead Sea Fault Zone in Turkey, Yerbilimleri, 8 (**1981**) 123-130.

Nakicenovic, N., A. Grübler, and A. McDonald, eds., Global energy perspectives: International Institute for Applied Systems and World Energy Council: Cambridge, England, Cambridge University Press, 299, **1998**.

Oktay, B., Wellman, C.H., Palynological Analysis of Upper Ordovician to Lower Silurian Sediments from the Diyarbakır Basin, Southeastern Turkey, Review of Palaeobotany and Palynology, 263 (**2019**) 28-46.

Ostadhassan, M., Liu, K., Li, C., Khatibi, S., Fine Scale Characterization of Shale Reservoirs, Methods and Challenges, Springer International Publishing, p.89, **2018**.

Ostadhassan, M., Liu, K., Li, C., Khatibi, S., Fine Scale Characterization of Shale Reservoirs Methods and Challenges, Springer, e-ISSN:2509-3134, **2018**.

Özdemir, F., Ünlügenç, U. C., Gökiçi (Diyarbakır) Yapısının Stratigrafisi ve Hidrokarbon Potansiyeli Açısından İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28 (1) (**2013**) 127-141.

Öztürk, S.S., Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Yer Alan Siluriyen Yaşlı Birimlerin (Korudağ ve Hazro) Hidrokarbon Kaynak Kaya Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2013**.

Öztürk, S.S., Demirel, İ.H., Günay, Y., Petroleum Source Rock Potential of the Silurian Dadaş Shales in the Hazro and Korudağ Regions of Southeast Anatolia, Turkey, Marine and Petroleum Geology, 75 (**2016**) 53-67.

Palmer, D., Rickards, B., Graptolites-Writing in the Rocks, The Boydell Press, 182, **1991**.

Pasin, C., Akgül, A., Dülger, S., Güneydoğu Anadolu'da Mardin Grubu, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1635, s. 81, **1982**.

Passey, Q. R., Bohacs, K., Esch, W. L., Klimentidis, R., From Oil-Prone Source Rock to Gas-Producing Shale Reservoir-Geologic and Petrophysical Characterization of Unconventional Shale Gas Reservoirs, Society of Petroleum Engineers, International Oil and Gas Conference and Exhibition in China, 8-10 June, SPE-131350-MS, Beijing, China, **2010**.

Perinçek, D., Bozdoğan, N., Duran, O., Çoruh, T., Kuzey Arap Plakasının Paleocoğrafik Gelişimi, 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 14-20 Nisan, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 1-2, **2003**.

Perinçek, D., Çelikhhan-Sincik-Koçali (Adıyaman ili) alanının jeolojik incelenmesi ve petrol olanaklarının araştırılması, İÜFF Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, Doktora Tezi, TPAO Arama Grubu Rapor no. 1250, s.212, **1978**.

Perinçek, D., Hakkari ili ve dolayının stratigrafisi, GDA Türkiye, TPJD Bülteni, cilt 2/1, s.21-68, **1990**.

Perinçek, D., Hakkari ili ve dolayının stratigrafisi, yapısal özellikleri, petrol imkanları, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 2545, s. 127, **1989**.

Perinçek, D., Hazro-Korudağ-Çüngüş, Maden, Hazar, Elazığ, Malatya dolayının jeolojisi, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1395, s.62, **1979**.

Perinçek, D., Özkaya, İ., Arabistan Levhası Kuzey Kenarı Tektonik Evrimi, Yerbilimleri, 8 (**1981**) 91-101.

Perinçek, D., Softek antiklinalinde ve yakın dolayında Mardin Grubu ile diskordans kapanı olasılıklı Beloka Formasyonu petrol olanakları, TPAO Arama Grubu, Rapor no.1430, s.28, **1980**.

Peters, K. E., Cassa, M. R., Applied Source Rock Geochemistry. The Petroleum System-From Source to Trap, Magoon, L. B., Dow, W. G. (Eds.), AAPG Memoir 60, 93-120, **1994**.

Peters, K. E., Walters, C. C., Moldowan, J. M., The Biomarker Guide, Volume 2, Cambridge University press, 1155p, **2005**.

Peters, K.E., Cassa, M.R., Applied Source Rock Geochemistry. The Petroleum System-from Source trap: AAPG Memoir 60, Magoon, L.B., and W.G. Dow (Eds.), AAPG, **1994**.

Peters, K.E., Guidelines for Evaluating Petroleum Source Rock Using Programmed Pyrolysis, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin V.70, No.3 (**1986**) 318-329.

Peters, K.E., Walters, C.C., Moldowan, J.M., The Biomarker Guide, Volume 1. Biomarkers and Isotope in the Environment and Human History, Second Edition, Cambridge, p.1155, **2005**.

Petersen, N.F., Hickey, P.J., California Plio-Miocene oils: Evidence of Early Generation. Exploration for Heavy Crude Oil and Natural Bitumen, AAPG Studies in Geology 25, Meyer, R.F. (Eds.), 351-359, **1987**.

Petersen, H.I., The Petroleum Generation Potential and Effective Oil Window of Humic Coals Related to Coal Composition and Age, International Journal of Coal Geology, 67 (**2006**) 221-248.

Petersen, H. I., Schovsbo, N. H., Nielsen, A. T., Reflectance measurements of zooclasts and solid bitümen in Lower Paleozoic shales, southern Scandinavia: Correlation to vitrinite reflectance, International Jornal of Coal Geology, 114 (**2013**) 1-18.

Poisson, A. F., Yağmurlu, F., Bozcu, M., Şentürk, M., New insights on the tectonic setting and evolution around the apex of the Isparta Angle (SW Turkey), Geological Journal, V.38 (**2003**) 257-282.

Rantitsch, G., Coalification and Graphitization of Graptolites in the Anchizone and Lower Epizone, International Journal of Coal Geology, 27 (**1995**) 1-22.

Ravn, L. R., Benson, G. D., Devonian Miospores and Reworked Acritarchs from Southeastern Georgia, U.S.A., December, 12 (1), 179-200, **1988**.

Reed, M. R., Loucks, R. G., Ruppel, S. C., Comment on “Formation of nanoporous pyrobitumen residues during maturation of the Barnett Shale (Fort Worth Basin)” by Bernard et al. (2012), International Journal of Coal Geology, v. 127 (**2014**) 111-113.

Reich, S., Thomson, C., Raman spectroscopy of graphite. Philosophical Transaction of the Royal Society A, Mathematical Physical and Engineering Sicences, 362 (**2004**) 2271-2288.

Rezaee, R., Fundamentals of Gas Shale Reservoirs, New Jersey, USA, John Wiley and Sons, p.420, **2015**.

Richardson, J. B. And Lister, T. R., Upper Silurian and Lower Devonian Spore Assemblages from the Welsh Borderland and South Wales, *Palaeontol.*, 12 (1969) 201-252.

Rickman, R., Mullen, M., Petre, E., Grieser, B., and Kundert, D., A Practical Use of Shale Petrophysics for Stimulation Design Optimization All Shale Plays Are Not Clones of the Barnett Shale, Society of Petroleum Engineers Annual Technical Conference and Exhibition, 21-24 September 2018, Denver, Colorado, USA, **2008**.

Riediger, C., Goodarzi, F., Macqueen, R.W., Graptolites as Indicators of Regional Maturity in Lower Paleozoic Sediments, Selwyn Basin, Yukon and Northwest Territories, Canada, *Can. J. Earth Sci.*, 26 (1989) 2003-2015.

Robertson, A. H. F., Poissoni A., Akinci, Ö., Developments in research concerning Mesozoic-Tertiary Tethys and Neotectonics in the Isparta Angle, SW Turkey, *Geological Journal*, V.38 (2003) 195-234.

Romero-Sarmiento, M. F., Ducros, M., Carpentier, L., Lorant, M. C., Cacas, S., Pegaz-Fiornet, S., Wolf, S., Rohais, Moretti, E., Quantitative evaluation of TOC, organic porosity and gas retention distribution in a gas shale play using petroleum system modeling: Application to the Mississippian Barnett Shale, *Marine and Petroleum Geology*, v.45 (2013) 315-330.

Romero-Sarmiento, M. F., Rouzaud, J. N., Bernard, S., Deldicque, D., Thomas, M., Littke, R., Evolution of Barnett Shale organic carbon structure and nanostructure with increasing maturation, *Organic Geochemistry*, 71 (2014) 7-16.

Roncaglia, L., Kuijpers, A., Revision of the Palynofacies Model of Tyson (1993) Based on Recent High-Latitude Sediments from the North Atlantic, *Facies*, 52 (2006) 19-39.

Roncaglia, L., Clowes, C., Crouch, E., Prebble, J., Visual Kerogen Analogues and Palynofacies Applications to Hydrocarbon Exploration in New Zealand, AAPG Asia Pacific Region, Geoscience Technology Workshop, Modern Depositional Systems as Analogues for Petroleum Systems, April 21-23, Wellington, New Zealand, **2015**.

Ross, D. J. K., Bustin, R. M., The importance of shale composition and pore structure upon gas storage potential of shale gas reservoirs, *Marine and Petroleum Geology*, 26 **(2009)** 916-927.

Sachanski, V., Göncüoğlu, M. C., Gedik, I., Late Telycian (early Silurian) graptolitic shales and the maximum Silurian Highstand in the NW Anatolian Palaeozoic terranes, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291 **(2010)** 491-428.

Sadezky, A., Muckenhuber, H., Grothe, H., Niessner, R., Pöschl, U., Raman microspectroscopy of soot and related carbonaceous materials: spectral analysis and structural information, *Carbon*, 43 **(2005)** 1731-1742.

Salvador, Amos, *Energy-A Historical Perspective and 21st Century Forecast: AAPG Studies in Geology* 54, 208, **2005**.

Sancay, R.H. and Dinç, A.T., Palynostratigraphy of Ordovician-Silurian transition in Southeastern Anatolia, *Japanese Journal of Palynology*, Special Issue 58 **(2012)** 243.

Sanei, H., Ardakani, O. H., Alteration of organic matter by ion milling, *International Journal of Coal Geology*, 163 **(2016)** 123-131.

Sarı, A., Bahtiyar, I., Geochemical evaluation of the Besikli oil field, Kahta, Adiyaman, Turkey, *Marine and Petroleum Geology*, 16 **(1999)** 151-164.

Schieber, J., SEM Observations on Ion-milled Samples of Devonian Black Shales from Indiana and New York: The Petrographic Context of Multiple Pore Types. *Electron Microscopy of Shale Hydrocarbon Reservoirs*, Camp, W., Diaz, E., Wawak, B. (Eds.), AAPG Memoir 102, p. 153-171, **2013**.

Schito, A., Romano, C., Corrado, S., Grigo, D., Poe, B., Diagenetic thermal evolution of organic matter by Raman spectroscopy, *Organic Geochemistry*, 106 **(2017)** 57-67.

Schmidt Mumm, A., İnan, S., Microscale organic maturity determination of graptolites using Raman spectroscopy, *International Journal of Coal Geology*, 162 **(2016)** 96-107.

Scotese, C. R., Barrett, S. F., Gondwana's movement over the South Pole during the Palaeozoic:evidence from lithological indicators of climate. *Palaeozoic*

Palaeogeography and Biogeography Geological Society Memoir 12, McKerrow, W. S., Scotese, C. R. (Eds.), 75-85, **1990**.

Senftle, J.T., Landis, C.R., Vitrinite Reflectance as a Tool to Assess Thermal Maturity. Source and Migration Processes and Evaluation Techniques: AAPG Treatise of Petroleum Geology, Handbook of Petroleum Geology, Merrill, R.K. (Eds.), AAPG, **1991**.

Sinanoğlu, E., Erkmen, U., Güneydoğu Anadolu Apsiyen-Albiyen palinostratigrafisi ve bölgenin Alt Kretase palinoprovensleri içindeki yeri, Türkiye Beşinci Petrol Kongresi, Jeoloji-Jeofizik Bildirileri, s. 51-59, **1980**.

Slatt, R. M., O'Brien, N. R., Microfabrics Related to Porosity Development, Sedimentary and Diagenetic Processes, and Composition of Unconventional Resource Shale Reservoirs as Determined by Conventional Scanning Electron Microscopy. Electron Microscopy of Shale Hydrocarbon Reservoirs, Camp, W., Diaz, E., Wawak, B. (Eds.), AAPG Memoir 102, p. 37-44, **2013**.

Smith, A. G., Estimates of the Earth's spin (geographic) axis relative to Gondwana from glacial sediments and paleomagnetism, Earth Science Reviews, 42 (**1997**) 161-179.

Sondergeld, C. H., Ambrose, R. J., Rai, C. S., Moncrieff, J., Micro-Structural Studies of Gas Shales, Society of Petroleum Engineers, SPE Unconventional Gas Conference, 23-25 February, SPE-131771-MS, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, **2010**.

Sondergeld, C. H., Ambrose, R. J., Rai, C. S., Moncrieff, J., Micro-structural studies of gas shales, SPE-131771, SPE Unconventional Gas Conference, February 23-25, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, **2010**.

Soylu, C., Mann, U., Bozdoğan, N., Petroleum source rock characteristics of the Dadaş Formation in the Hazro Area (SE Turkey), Conference Proceedings, Paleozoic of Northern Gondwana and Its Petroleum Potential A Field Workshop, September 2012, 50-52, **2012**.

Stach, E., Mackowsky, M., Teichmüller, M., Taylor, G. H., Chandra, D., Teichmüller, R., Stach's Textbook of Coal Petrology, Stuttgart, Gebrüder Borntraeger, p. 532, **1982**.

Stanley, R. G., Valin, Z. C., Pawlewicz, M. J., Rock-Eval pyrolysis and vitrinite reflectance results from outcrop samples of the Rincon Shale (lower Miocene) collected at the Tajiguas Landfill, Santa Barbara County, California, U. S. Geological Survey, Open-File Report 92-571, **1992**.

Stampfli, G. M., Mosar, J., Favre, P., Pillevuit, A., Vanney, J. C., Permo-Mesozoic evolution of the western Tethys realm: The Neotethys/East-Mediterranean connection. Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins: Memoires du Museum National d'Histoire Naturelle, Ziegler, P. A., Cavazza, W., Robertson, A. H. F., Crasquin-Soleau, S. (Eds.), Paris, V.186, 51-108, **2001**.

Staplin, F. L., Reef-Controlled Distribution of Devonian Microplankton in Alberta, *Palaeontology*, 4 (**1961**) 392-424.

Staplin, F. L., Jansonius, J., Pocock, A. A. J., Evaluation of Some Acritarchous hystrichous genera, *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 123 (**1965**) 167-201.

Staplin, F. L., Sedimentary Organic Matter, Organic Metamorphism, and Oil and Gas Occurrence, *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, V. 17, No.1 (**1969**) 47-66.

Steemans, P., le Herisse, A., Bozdoğan, N., Ordovician and Silurian crytospores and miospores from southeastern Turkey, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 93 (**1996**) 35-76.

Sütçü, Y., F., MTA 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 72, Muş-L45 Paftası, **2008**.

Sweeney, J.J., Burnham, A.K., Braun, R.L., A Model of Hydrocarbon Generation from Type I Kerogen, Application to Uinta Basin, Utah, *AAPG Bulletin*, v.71 (**1987**) 967-985.

Şen, Ş., Kozlu, H., Impact of maturity on producible shale oil volumes in the Silurian (Llandovery) hot shales of the northern Arabian plate, southeastern Turkey, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 104, No:3 (**2020**) 507-524.

Şenel, M., Güneydoğu Anadolu bölgesine ait basitleştirilmiş tektonik birlikler haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, **2003**.

Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y., Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75 (**1981**) 81-241.

Tan, J., Horsfield, B., Fink, R., Krooss, B., Schulz, H.M., Rybacki, E., Zhang, J., Boreham, C.J., Graas, G. V., Tocher, B.A., Shale Gas Potential of the Major Marine Shale Formations in the Upper Yangtze Platform, South China, Part III: Mineralogical, Lithofacial, Petrophysical, and Rock Mechanical Properties, *Energy and Fuels*, 28 (**2014**) 2322-2342.

Taugourdeau, P., Etude de quelques especes critiques de Chitinozoaires de la region d'Edjele et complements a la faune locale, *Revue de Micropaleontologie*, 6 (3) (**1963**) 130-144.

Taylor, P. B., Stratigraphic studies Bozova (Urfa) area (Mobil Exploraiton Mediterranean Inc. Report), Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu No. 322, Rapor No. 1, p.14, **1955**.

Teichmüller, M., 1982, Application of Coal Petrological Methods in Geology Including Oil and Natural Gas Prospecting. In: Stach's Textbook of Coal Petrology, Berlin: Gebrubder Borntraeger, 381-413, **1982**.

Teichmüller, M., Metamorphisme du charbon et prospection du petrole: *Revue de l'Industrie Minerale*, Special Publication, p.99-113, **1958**.

Temel, A., Gündoğdu, M. N., Zeolite Occurences and the Erionite-Mesothelioma Relationship in Cappadocia, Central Anatolia, Turkey, *Mineralium Deposita*, 31, 6 (**1996**) 539-547.

Tetiker, S., Yalçın, H., Bozkaya, Ö., Güneydoğu Anadolu Otoktonu Mardin (Derik-Kızıltepe) Yöresinde Prekambriyen-Erken Paleozoyik Yaşlı Kayaçların Mineralojik ve Petrografik Özellikleri, *Türkiye Petrol Jeoloji Derneği Bülteni*, Cilt 24, Sayı 1 (**2012**) 23-47.

Tissot, B., Durand, B., Espitalie, J., Combaz, A., Influence of Nature and Diagenesis of Organic Matter in Formation of Petroleum, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 58, No. 3 (**1974**) 499-506.

Tissot, B., Recent Advances in Petroleum Geochemistry Applied to Hydrocarbon Exploration, AAPG Bulletin, V.68 (**1984**) 546-563.

Tissot, B.P., Welte, D.H., Petroleum Formation and Occurrence, Second Revised and Enlarged Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, p.720, **1984**.

Tissot, B., Pelet, R., Ungerer, P., Thermal history of Sedimentary Basins, Maturation Indices, and Kinetic of Oil and Gas Generation, AAPG Bulletin, V.71 (**1987**) 1445-1466.

Tobey, M. H., Campbell, C. E., Hydrogen Index as a Maturity Proxy-Some Pitfalls and How to Overcome Them, AAPG 2016 Pacific Section and Rocky Mountain Section Joint Meeting, October 2-5, Las Vegas, Nevada, **2016**.

Tolun, N., 1:500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Diyarbakır, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayınları, s.69, **1962**.

Topçu, G. Y., Quantification of the Uncertainties in Shale Gas Reservoirs, A Case Study for Dadaş Shale Formation, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği, **2013**.

Tuna, D., VI. Bölge litostratigrafi birimleri adlamasının açıklayıcı raporu, TPAO Aram Grubu, Rapor no. 813, s. 131, **1973**.

Tyson, R. V., Palynofacies analysis. Applied Micropalaeontology, Jenkins, D.G. (Eds.), The Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, Amsterdam, 153-191, **1993**.

Tyson, R. V., Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies, Chapman and Hall, London, **1995**.

Ulmishek, G. F., Klemme, H. D., Depositional controls, distribution, and effectiveness of world's petroleum source rocks: U. S. Geological Survey Bulletin, 1931 (**1990**) 59.

Van Krevelen, D. W., Coal, New York, Elsevier, 514, **1961**.

Van Krevelen, D. W., Organic Geochemistry-old and new, Organic Geochemistry, V.6 (**1984**) 1-10.

Vandenbroucke, M., Kerogen: from Types to Models of Chemical Structure, Oil, Gas Science and Technology-Rev. IFP Volume 58, No. 2 (**2003**) 243-269.

Varol, N. Ö., Demirel, İ. H., Rickards, R. B., Günay, Y., Source rock characteristics and biostratigraphy of the Lower Silurian (Teycian) organic-rich shales at Akyaka, central Taurus region, Turkey, Marine and Petroleum Geology, 23 (**2006**) 901-911.

Varol, N., Demirel, İ. H., Hydrocarbon potential of the Silurian and Carboniferous Shales in the Western and Central Taurus Region of Turkey, International Journal of Coal Geology, V.227, 103518 (**2020**).

Velde, B., Lanson, B., Comparison of I/S Transformation and Maturity of Organic Matter at Elevated Temperatures, Clays and Clay Minerals, Vol.41, No.2 (**1993**) 178-183.

Walles, F., A New Method to Help Identify Unconventional Targets for Exploration and Development Through Integrative Analysis of Clastic Rock Property Fields, Houston Geological Society Bulletin (**2004**) 35-49.

Walls, J. D., Diaz, E., Relationship of shale porosity-permeability trends to pore type and organic content, Denver Well Logging Society Petrophysics in Tight Oil Workshop, October 26, Denver, CO, **2011**.

Wang, F.P., Gale, J.F.W., Screening Criteria for Shale-Gas Systems, Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions, V.59 (**2009**) 779-793.

Wang, P., Chen, Z., Pang, X., Hu, K., Sun, M., Chen, X., Revised Models for Determining TOC in Shale Play: Example from Devonian Duvernay Shale, Western Canada Sedimentary Basin, Marine and Petroleum Geology, V.70 (**2016**) 304-319.

Wang, Y., Alsmeyer, D. C., McCreery R. L., Raman spectroscopy of carbon materials: structural basis of observed spectra, Chemistry of Materials, 2 (5) (**1990**) 557-563.

Wang, Y., Qui, N., Borjigin, T., Shan, B., Xie, X., Ma, Z., Lu, C., Yang, L., Cheng, L., Fang, G., Cui, Y., Integrated assessment of thermal maturity of the Upper Ordovician-Lower Silurian Wufeng-Longmaxi Shale in Sichuan Basin, China, Marine and Petroleum Geology, 100 (**2019**) 447-465.

- Wang, Z., Krupnick, A., A Retrospective Review of Shale Gas Development in the United States: What Led to the Boom?, SSRN Electronic Journal, 4, 1 **(2013)** 1-35.
- Waples, D. W., Geochemistry in Petroleum Exploration, Reidel Publishing Company, Boston, 232, **1985**.
- Warr, L.N., Cox, S.C., Correlating Illite (Kübler) and Chlorite (Arkai) “Crystallinity” Indices with Metamorphic Mineral Zones of the South Island, New Zealand, Applied Clay Science, 134 **(2016)** 164-174.
- Warr, L.N., Ferreiro Mahlmann, R., Recommendations for Kübler Index Standardization, Clay Minerals, 50 **(2015)** 283-286.
- Weaver, C.E., Possible Uses of Clay Minerals in Search for Oil, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 44 **(1960)** 1505-1518.
- Wignall, P. B., Maynard, J. R., The sequence stratigraphy of transgressive black shales. Source Rocks in a Sequence Stratigraphic Framework, Katz, B. J., Pratt, L. M. (Eds.), American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, OK, 35-47, **1993**.
- Wilkin, R. T., Arthur, M. A., Dean, W. E., History of water-column anoxia in the Black Sea indicated by pyrite framboids size distributions: Earth and Planetary Science Letters, v. 148 **(1997)** 517-525.
- Wilkin, R. T., Barnes, H. L., Brantley, S. L., The size distribution of framboidal pyrite in modern sediments: An indicator of redox conditions: Geochimica et Cosmochimica Acta, v.60 **(1996)** 3897-3912.
- Wu, J., Liang, F, Bai, W. H., Lin, W., Zhao, R., Exploration prospect of Lower Silurian Longmaxi Formation shale gas in northeastern Chongqing, Special Oil Gas Reservoirs, 43 (3) **(2015)** 1-9.
- Wu, J., Liang, F., Lin, W., Wei, C. J., Song, X. J., Characteristics of micropore structure of Longmaxi Formation shale gas reservoirs in Northeast district of Chongqing, China, J. Chengdu Univ. Technol. Science Technology Ed., 43 (3) **(2016)** 308-319.
- Wu, J., Liang, F., Lin, W., Wang, H., Bai, W., Ma, C., Sun, S., Zhao, Q., Song, X., Yu, R., Characteristics of shale gas reservoirs in Wufeng Formation and

Longmaxi Formation in Well WX2, northeast Chaongqing, Petroleum Research, 2 (2017) 324-335.

Wu, J., Yuan, Y., Niu, S., Wei, X., Yang, J., Multiscale Characterization of Pore Structure and Connectivity of Wufeng-Longmaxi Shale in Scihuan Basin, China, Marine and Petroleum Geology, V. 120 (2020).

Wüst, R. A., Nassichuk, B. R., Bustin, R. M., Porosity Characterization of Various Organic-rich Shales from the Western Canadian Sedimentary Basin, Alberta and British Columbia, Canada. Electron Microscopy of Shale Hydrocarbon Reservoirs, Camp, W., Diaz, E., Wawak, B. (Eds.), AAPG Memoir 102, p. 81-100, 2013.

Yalçın Erik, N., Özçelik, O., Organic Facies Variation from Well Data on the Cudi Group, the Eastern Part of SE Turkey, Geochemistry International, Vol. 45, No. 11 (2007) 1152-1163.

Yalçın, M. N., Yılmaz, İ., Devonian in Turkey-A review, Geologica Carpathica, 61, 3 (2010) 235-253.

Yıldız, G., The Silurian Dadaş Formation, SE Turkey: A North Arabian window onto Wenlock-Pridoli unconventional reservoirs levels, SPE/AAPG/EAGE Workshop: Unconventional Plays-Achieving Efficiency and Effectiveness through Integration, September, Dubai, 2016.

Yılmaz, Y., Amanos dağlarının jeolojisi, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 1920, s. 591, 1984.

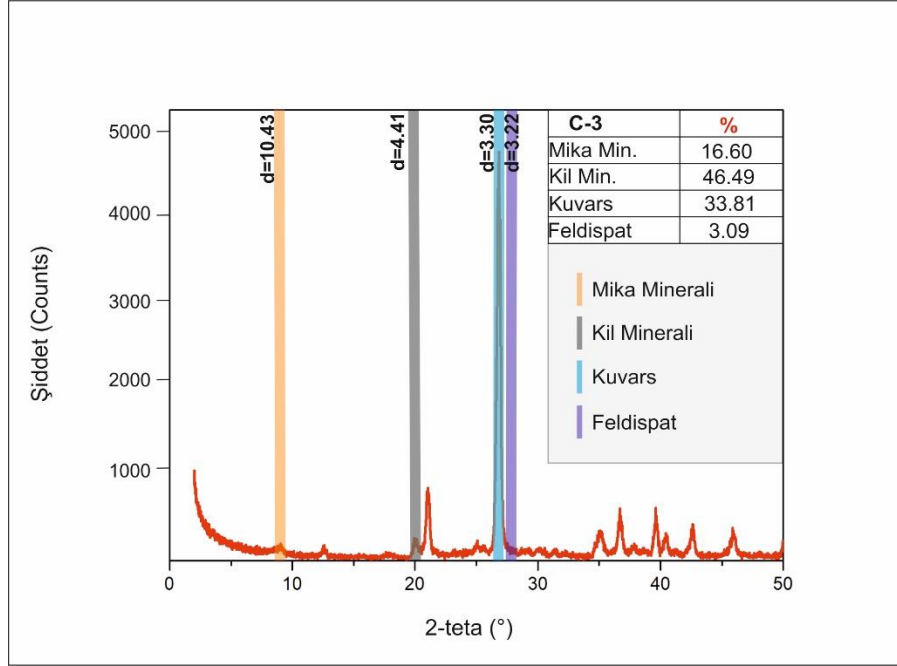
Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E., Genç, Ş.C., GD Anadolu Orojenik Kuşağının Batı Kesiminin Jeolojik Evrimi, Ozan Sungurlu Sempozyumu Bildirileri, Ankara, 356-365, 1984.

Yılmaz, Y., New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen, Geological Society of American Bulletin, 105 (1993) 251-271.

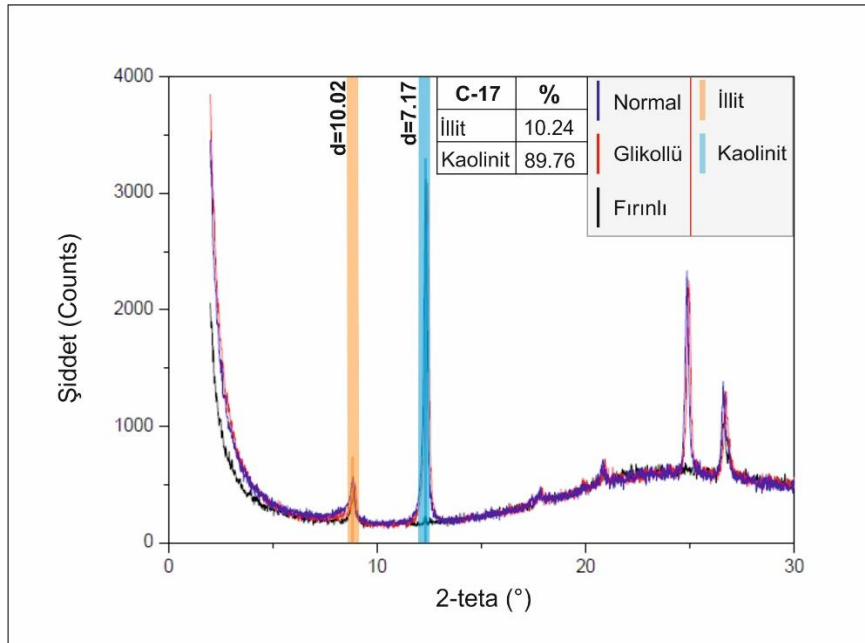
Yılmaz, E., Duran, O., GDA Bölgesi Otokton ve Allohton Birimler Stratigrafi Adlama Sozlugu, TPAO Arastirma Merkezi Grubu Baskanligi Egitim Yayinlari, No: 31, 1997.

- Yong, M., Zhong, N., Cheng, L., Pan, Z., Dai, N., Zhang, Y., Yang, L., Pore Structure of the Graptolite-Derived OM in the Longmaxi Shale, Southeastern Upper Yangtze Region, China, *Marine and Petroleum Geology*, 72 **(2016)** 1-11.
- Yürür, M.T., Chorowicz, J., Recent Volcanism, Tectonics and Plate Kinematics Near the Junction of the African, Arabian and Anatolian Plates in the Eastern Mediterranean, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85 **(1998)** 1-15.
- Zhang, P., Lu, S., Li, J., Characterization of pore size distributions of shale oil reservoirs: A case study from Dongying sag, Bohai Bay basin, China, *Marine and Petroleum Geology*, 100 **(2019)** 297-308.
- Zhang, L., Xiao, D., Lu, S., Jiang, S., Chen, L., Guo, T., Wu, L., Pore development of the Lower Longmaxi shale in the southeastern Sichuan Basin and its adjacent areas: Insights from lithofacies identification and organic matter, *Marine and Petroleum Geology*, V. 122 **(2020)**.
- Zhao, J., Jin, Z., Jin, Z., Wen, X., Geng, Y., Origin of authigenic quartz in organic-rich shales of the Wufeng and Longmaxi Formation in the Sichuan Basin, South China: Implications for pore evolution, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 38 **(2017)** 21-38.
- Zheng, Y., Liao, Y., Wang, Y., Xiong, Peng, P., Organic geochemical characteristics, mineralogy, petrophysical properties of the Wufeng-Longmaxi shales in Sanquan Town of the Nanchuan District, Chongqing, *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 102, No. 11 **(2018)** 2239-2265.
- Zhou, W., Yan, G., Xue, H., Guo, W., Li, X., 2D and 3D nanopore characterization of gas shale in Longmaxi formation based on FIB-SEM, *Marine and Petroleum Geology*, 73 **(2016)** 174-180.

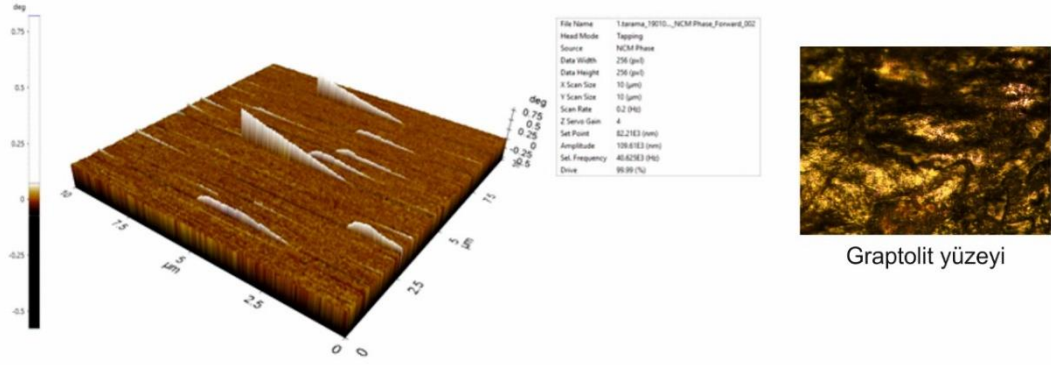
EKLER



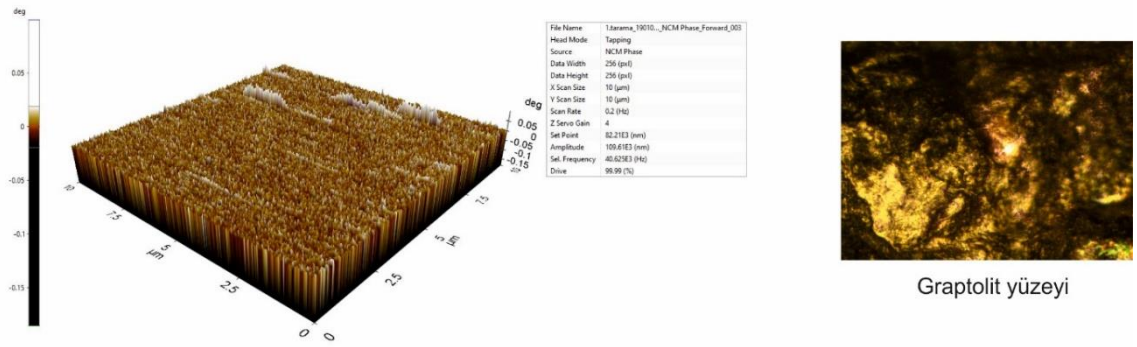
Ek Şekil 1. C-3 numaralı Dadaş Formasyonu'nun XRD tüm kayaç difraktogram deseni.



Ek Şekil 2. C-17 numaralı Dadaş Formasyonu'nun XRD kil fraksiyonu difraktogram deseni.



Ek Şekil 3. C-17 numaralı şeyl örneğindeki graptolit yüzeyinde AFM Analizi denemesine ait topoğrafya görüntüsü.



Ek Şekil 4. B-1-4 numaralı şeyl örneğindeki graptolit yüzeyinde AFM analizi denemesine ait topoğrafya görüntüsü.

LEVHA 1

(Şekil ölçeği 20µm'dir. Farklı ölçek açıklamada ayrıca belirtilmiştir).

Şekil 1. *Pterochitina deichai* TAUGOURDEAU, 1963, D-5

Şekil 2. *Calpichitina lenticularis* BOUCHE, 1965, B-2-9,
(?Geç Ordovisiyen-taşınmış) (ölçek 10µm).

Şekil 3-4. *Angochitina capillata* EISENACK, 1937, D-5, B-2-9

Şekil 5. *Cingulochitina cingulata* EISENACK, 1937, D-5

Şekil 6-7. *Conochitina* sp. EISENACK, 1931, D-5, B-2-9

Şekil 8. *Conochitina edjelensis* TAUGOURDEAU, 1963, D-5

Şekil 9. *Angochitina cf. longicollis* EISENACK, 1959, D-5

Şekil 10. *Ancyrochitina ancyrea* EISENACK, 1931, D-5

Şekil 11-12. *Ancyrochitina desmea* EISENACK, 1964, D-5

Şekil 13-14. *Ancyrochitina fragilis* EISENACK, 1955, D-5, B-2-9

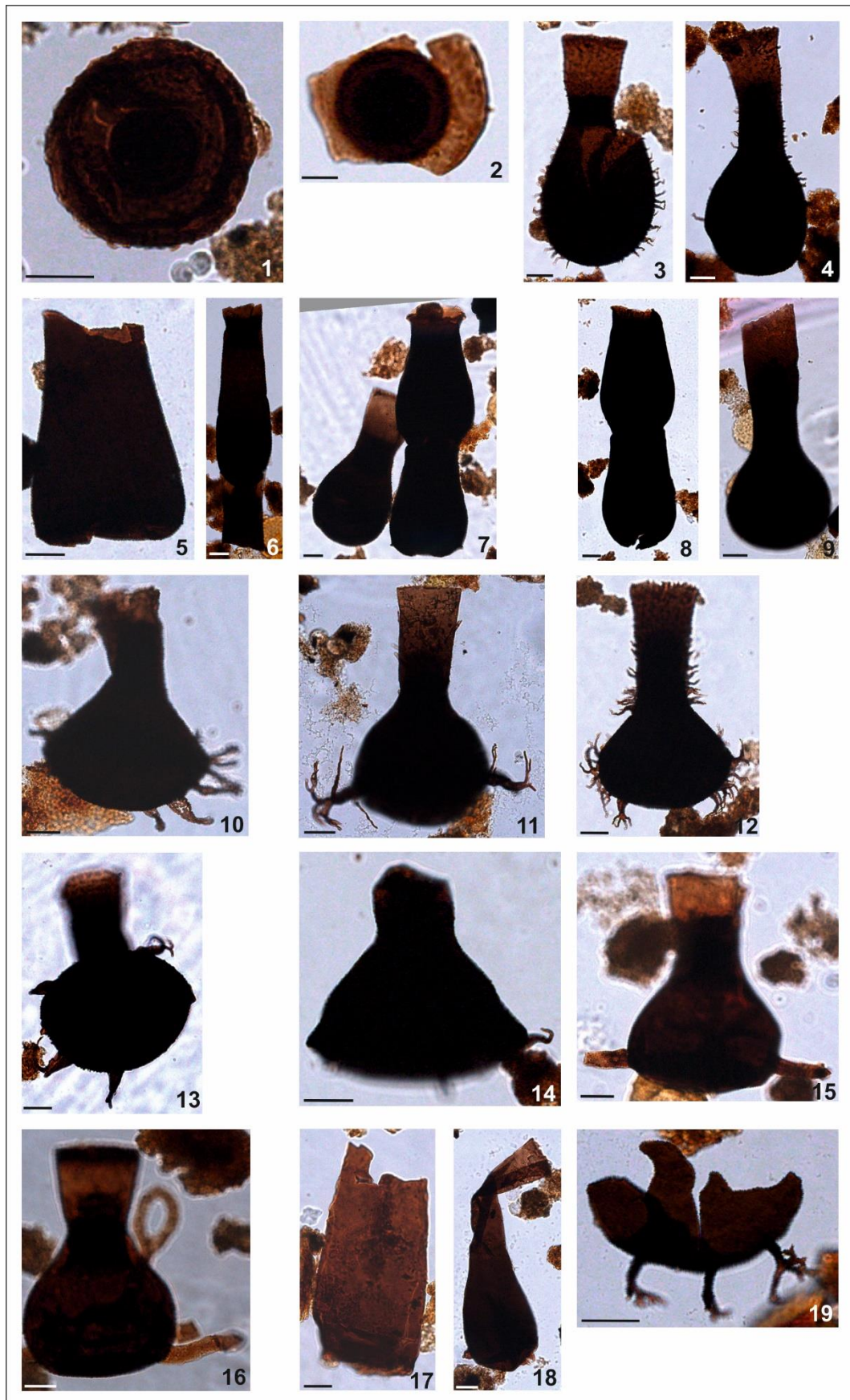
Şekil 15. *Plectochitina pseudoagglutinans* TAUGOURDEAU, 1963, D-5

Şekil 16. *Plectochitina sylvanica* JENKINS, 1970, D-5
(?Geç Ordovisiyen-taşınmış)

Şekil 17. *Armoricochitina nigerica* BOUCHE, 1965, C-17,
(?Geç Ordovisiyen-taşınmış)

Şekil 18-19. Tanımlanamamış kitinozoa, D-5, B-2-9

LEVHA 1



LEVHA 2

Çat ÖSK C-17 numaralı yüzey örneğinde gözlenen akritark palinomorfları.

(Şekil ölçeği 20µm'dir. Farklı ölçek açıklamada ayrıca belirtilmiştir. F: Floresans ışık altında görüntüsünü ifade etmektedir).

Şekil 1. *Oppillatala eoplanktonica*, (EISENACK, 1955) DORNING, 1981a

Şekil 2. Şekil 1, F

Şekil 3. *Oppillatala eoplanktonica*, (EISENACK, 1955) DORNING, 1981a

Şekil 4. Şekil 3, F

Şekil 5. *Oppillatala eoplanktonica*, (EISENACK, 1955) DORNING, 1981a

Şekil 6. Şekil 5, F

Şekil 7. *Veryhachium trispinosum* EISENACK, 1938

Şekil 8. Şekil 7, F

Şekil 9. *Multiplicisphaeridium sanpetrensis*

(CRAMER, 1964b) EISENACK, CRAMER and DIEZ, 1973

Şekil 10. Şekil 9, F

Şekil 11. *Multiplicisphaeridium sanpetrensis*

(CRAMER, 1964b) EISENACK, CRAMER and DIEZ, 1973

Şekil 12. Şekil 11, F

Şekil 13. *Veryhachium wenlockium* (DOWNIE, 1959) DOWNIE and SARJEANT, 1965 (ölçek 10µm).

Şekil 14. Şekil 13, F

Şekil 15. *Visbysphaera gotlandicum* EISENACK, 1954

Şekil 16. Şekil 15, F

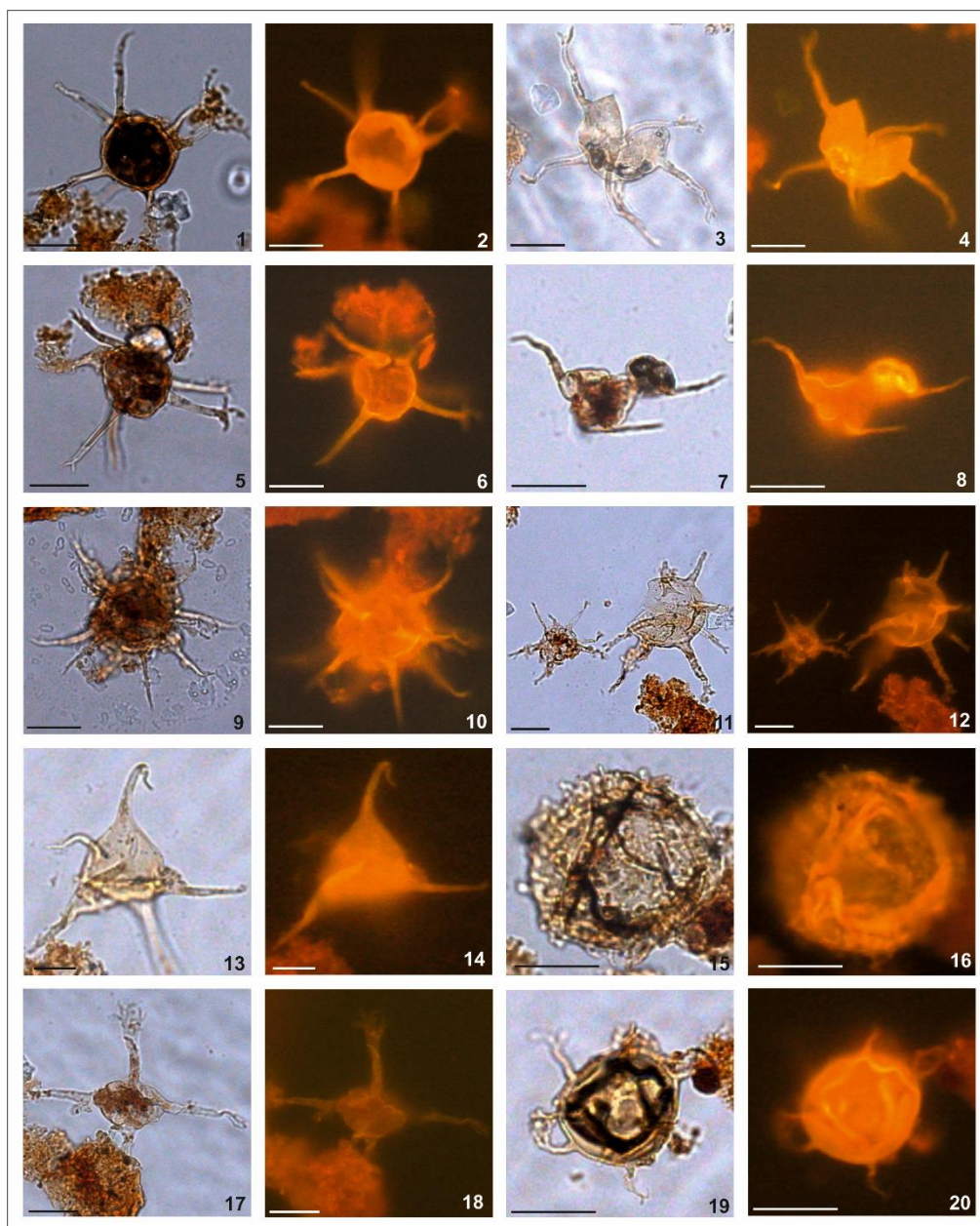
Şekil 17. *Multiplicisphaeridium* sp. STAPLIN, 1961

Şekil 18. Şekil 17, F

Şekil 19. Tanımlanamamış akritark

Şekil 20. Şekil 19, F

LEVHA 2



LEVHA 3

Diyarbakır-1 D-5 numaralı kırıntı kuyu örneğinde gözlenen akritark palinomorfları.
(Şekil ölçeği 20µm'dir. Farklı ölçek açıklamada ayrıca belirtilmiştir. F: Floresans ışık altında görüntüsünü ifade etmektedir).

Şekil 1. *Cymbosphaeridium pilaris* (CRAMER, 1964a) LISTER, 1970

Şekil 2. Şekil 1, F

Şekil 3. *Cymbosphaeridium pilaris* (CRAMER, 1964a) LISTER, 1970

Şekil 4. *Visbysphaera dilatispinosa* (DOWNIE, 1964a) LISTER, 1970

Şekil 5. Şekil 4, F

Şekil 6. *Dictyotidium* sp. RAVN and BENSON, 1988

Şekil 7. *Multiplicisphaeridium* sp. STAPLIN, 1961

Şekil 8. Şekil 7, F

Şekil 9. *Visbysphaera oligofurcata* (EISENACK, 1954) LISTER, 1970

Şekil 10. *Deflandrastrum millepiedi* COMBAZ, 1962

Şekil 11. *Leiofusa fusiformis* EISENACK, 1938

Şekil 12. Şekil 11, F

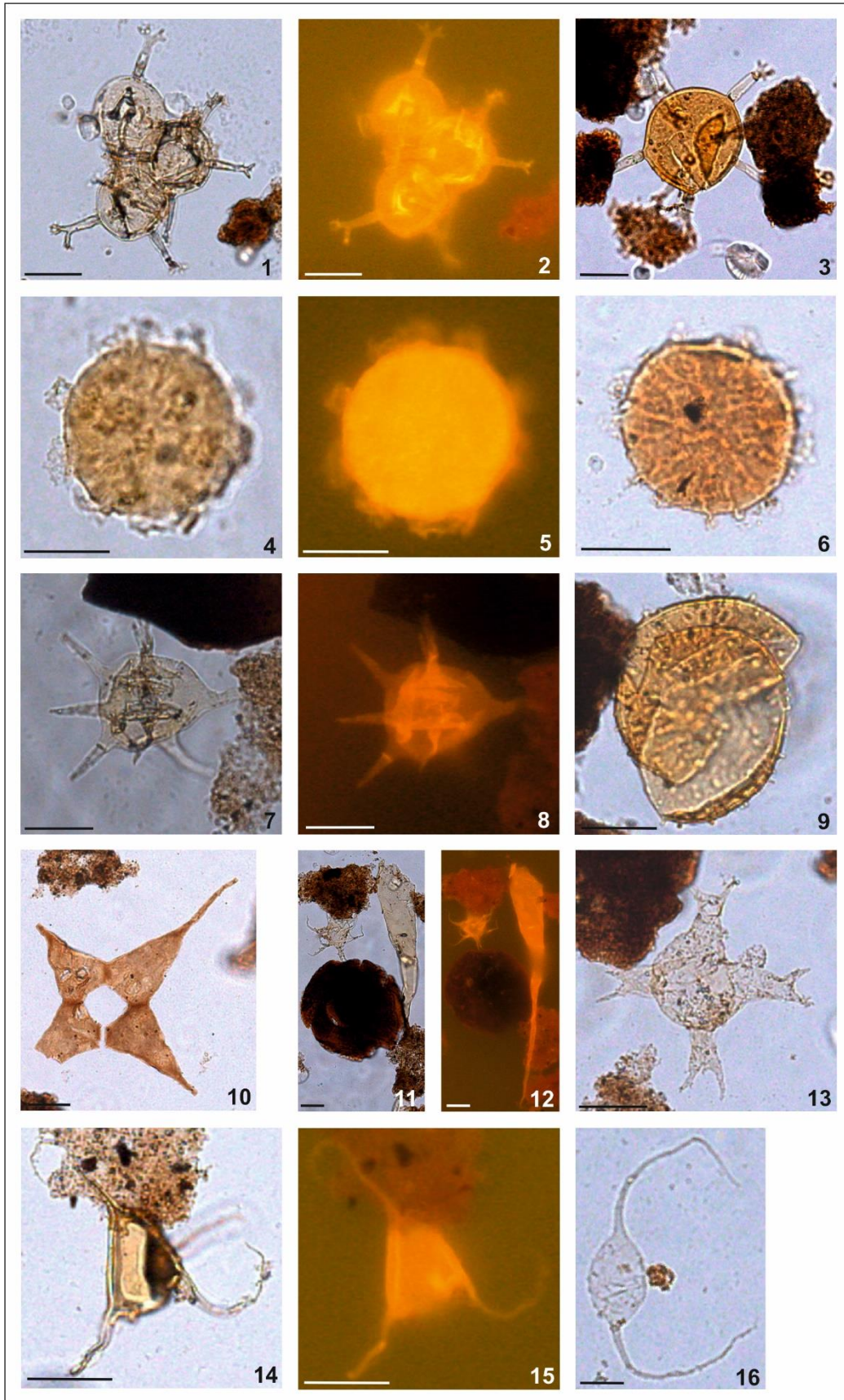
Şekil 13. *Peteinosphaeridium* sp. (STAPLIN, JANSONIUS AND POCOCK, 1965)
EISENACK, 1969

Şekil 14. *Veryhachium* sp. DEUNFF, 1954

Şekil 15. Şekil 14, F

Şekil 16. *Leiofusa bernesgea* CRAMER, 1964a (ölçek 10µm).

LEVHA 3



LEVHA 4

Bismil-2 B-2-9 numaralı kırıntı kuyu örneğinde gözlenen akritark palinomorfları.
(Şekil ölçeği 20µm'dir. Farklı ölçek açıklamada ayrıca belirtilmiştir. F: Floresans ışık altında görüntüsünü ifade etmektedir).

Şekil 1. *Oppillatala eoplanktonica*, (EISENACK, 1955) DORNING, 1981a

Şekil 2. Şekil 1, F

Şekil 3. *Visbysphaera dilatispinosa* (DOWNIE, 1963) LISTER, 1970

Şekil 4. *Cymbosphaeridium pilaris* (CRAMER, 1964a) LISTER 1970

Şekil 5. Şekil 4, F

Şekil 6. *Multiplicisphaeridium* sp. STAPLIN, 1961

Şekil 7. *Cymbosphaeridium pilaris* (CRAMER, 1964a) LISTER, 1970

Şekil 8. Şekil 7, F

Şekil 9. *Leiofusa fusiformis* EISENACK, 1938

Şekil 10. Şekil 9, F

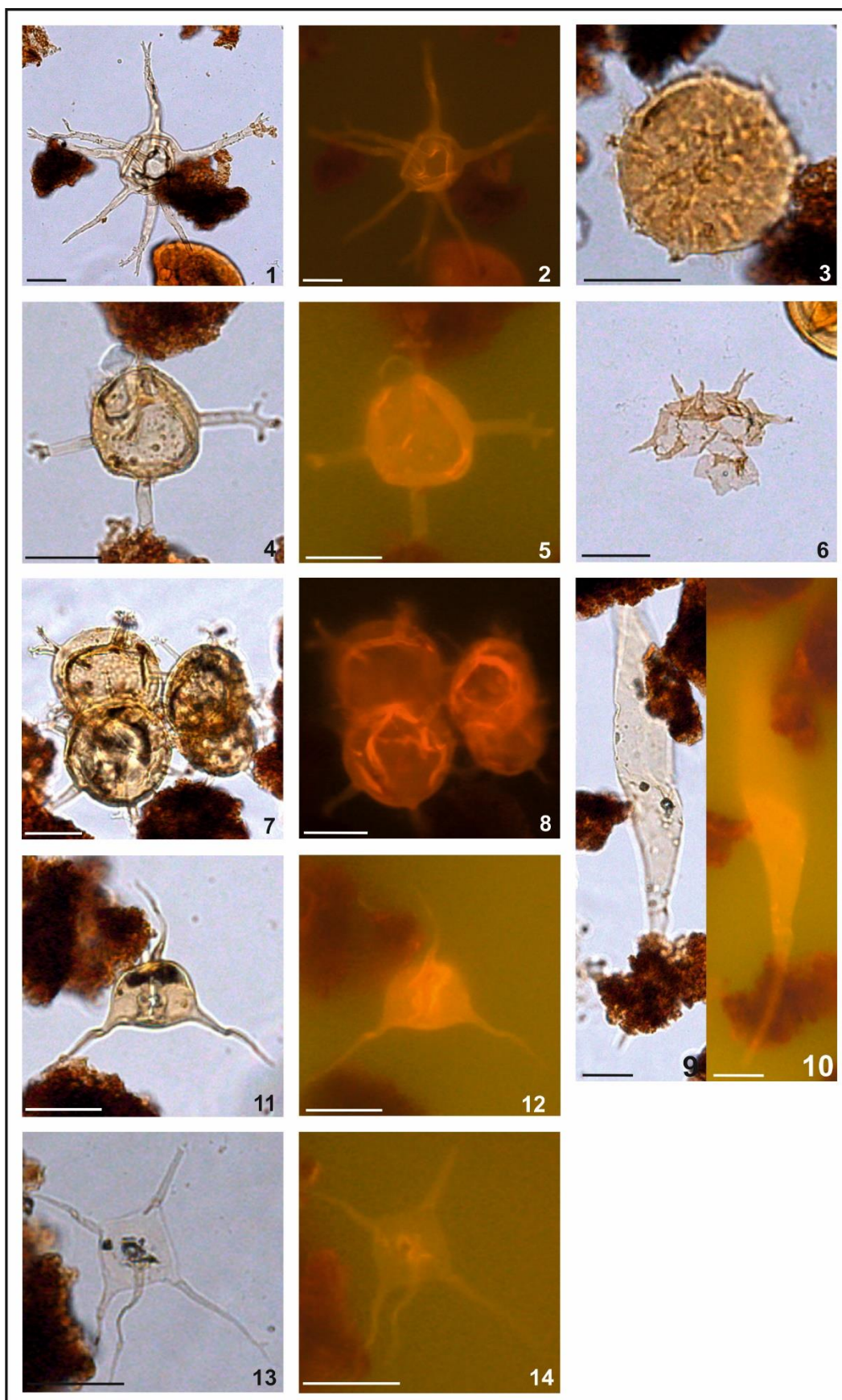
Şekil 11. *Veryhachium wenlockium* (DOWNIE, 1959) DOWNIE and SARJEANT, 1965

Şekil 12. Şekil 11, F

Şekil 13. *Multiplicisphaeridium pachymurum* HILL, 1978

Şekil 14. Şekil 13, F

LEVHA 4



LEVHA 5

(Şekil ölçeği 20µm'dir. Farklı ölçek açıklamada ayrıca belirtilmiştir).

Şekil 1. *Ambitisporites* cf. *dilutus* (HOFFMEISTER, 1959) RICHARDSON ve
LISTER, 1969, B-2-9

Şekil 2. Tanımlanamamış megaspor, B-2-9

Şekil 3. Tanımlanamamış tasmanites, D-5

Şekil 4. Tanımlanamamış tasmanites, C-17

Şekil 5. Skolekodont, D-5

Şekil 6. Skolekodont, D-5

LEVHA 5

