

**HENDEK (SAKARYA, KB ANADOLU) SİLURİYEN
ŞEYLLERİNİN ORGANİK POROZİTE DEĞERLERİNİN
ROCK-EVAL PİROLİZ VERİLERİ KULLANARAK
BELİRLENMESİ**

**ESTIMATING OF ORGANIC POROSITY IN THE
SILURIAN SHALES AROUND HENDEK (SAKARYA, NW
ANATOLIA) USING THE ROCK-EVAL PYROLYSIS
DATA**

ZEYNEP ARSLAN

PROF. DR. İSMAİL HAKKI DEMİREL

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2019

ZEYNEP ARSLAN'ın hazırladığı “**Hendek (Sakarya, KB Anadolu) Siluriyen Şeyllerinin Organik Porozite Değerlerinin Rock-Eval Piroliz Verileri Kullanarak Belirlenmesi**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Başkan



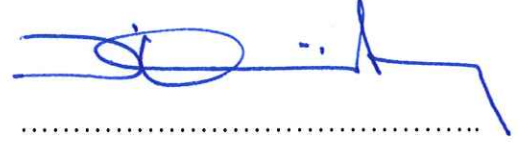
Prof. Dr. İsmail Hakkı Demirel
Danışman



Prof. Dr. Abidin TEMEL
Üye



Prof. Dr. Ali İhsan KARAYİĞİT
Üye



Prof. Dr. Hükmü ORHAN
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak / /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

19 / 06 / 2019

ZEYNEP ARSLAN

YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI 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.

19 / 06 / 2019

(İmza)

ZEYNEP ARSLAN

ÖZET

HENDEK (SAKARYA, KB ANADOLU) SİLURİYEN ŞEYLLERİNİN ORGANİK POROZİTE DEĞERLERİNİN ROCK-EVAL PİROLİZ VERİLERİ KULLANARAK BELİRLENMESİ

Zeynep ARSLAN

Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail Hakkı DEMİREL

Haziran 2019, 84 sayfa

Son yıllarda, kerojenin termal ayrışması sonucu organik madde içerisinde gelişen organik porozitenin geleneksel olmayan kaynaklarda önemli depolanma alanı yarattığı belirlenmiştir. Çalışma kapsamında Batı Karadeniz Bölgesinde Hendek (Sakarya) ilçesinin kuzeybatısında yer alan Siluriyen yaşlı şeyllerden oluşan Fındıklı Formasyonu'nun organik porozite gelişimi incelenmiştir. Rock-Eval piroliz verileri Fındıklı Formasyonu'nun TOK değerlerinin (ağırlıkça %) 0,04-1,26 aralığında, HI değerlerinin ise 0-40 mg HC/g TOK arasında değiştiğini göstermektedir. Bu veriler piroliz verilerinden itibaren ölçülen ve hesaplanan diğer parametrelerle birlikte değerlendirildiğinde örneklerin Tip IV kerojen içerdiği ve aşırı olgunlaşmış olduğunu göstermektedir. Çalışmada Erken Siluriyen yaşlı Ereğli-Gülüç ve İğdir-Örenköy ölçülü stratigrafik kesitlerine ait şeyl örneklerinin piroliz sonuçları Hendek-Kocaali örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Hendek-Kocaali örneklerinde diğer kesitlerde gözlenen graptolitlere rastlanmaması, *Orthoceras* fosillerinin görünmesi ve artan oksik ortam koşulları nedeni ile TOK değerlerin daha düşük olması formasyonun bu kesimlerde yaşının Orta-Geç Siluriyen'e karşılık gelebileceğine işaret etmektedir. Orijinal organik maddenin denizel kökenli ve Tip II kerojen olduğu düşünülerek kabul edilen 6 ayrı HI verilerine (250, 300, 350, 400, 450, 475) göre organik porozite değerleri belirlenmiştir. Organik madde veya kerojen içerisinde hesaplanan toplam organik porozite oranı % 13,74-28,82 arasında değişmektedir. Ereğli'den doğuda İğdir'e doğru TOK değerlerindeki artış trendinin organik

porozite değerlerinde gözlenmemiş olması yüksek organik madde içeriğinin organik porozite değeri üzerinde doğrudan etkili olmadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Batı Karadeniz, Siluriyen, Organik Porozite, şeyl, TOK

ABSTRACT

ESTIMATING OF ORGANIC POROSITY IN THE SILURIAN SHALES AROUND HENDEK (SAKARYA, NW ANATOLIA) USING THE ROCK-EVAL PYROLYSIS DATA

Zeynep ARSLAN

Master of Science, Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İsmail Hakkı DEMİREL

June 2019, 84 pages

In recent years, in unconventional resources, organic porosity developed from thermal maturation of original organic matter has been determined as an important storage capacity. In this study, the organic porosity development of the Silurian Fındıklı Formation consisting of shales in the northwestern Black Sea region of Hendek (Sakarya) district was investigated. Rock-Eval pyrolysis data show that the TOC values of the Fındıklı Formation vary from 0.04 to 1.26 wt % and HI values range from 0 to 40 mg HC/g TOC. These measured values were evaluated together with other parameters calculated from Rock-Eval pyrolysis and the samples were determined to contain Type IV kerogen and highly thermally mature. The pyrolysis results of the Ereğli Gülüç, İğdir-Örenköy and samples from Hendek-Kocaali measured sections were considered due to distribution of graptolites and the appearance of Orthoceras fossils. The lower TOC values less than 1 % (wt %) imply that the Kocaali units were deposited more oxic conditions and their age should be Middle-Late Silurian. Organic porosity values were determined according to 6 different assumed coresponding to marine type II kerogen HI data (250, 300, 350, 400, 450, 475). Total organic porosity ratio calculated in original organic matter or kerogen are between 13.74 and 28.82%. It was concluded that the increasing trends in TOC values from Ereğli to İğdir had no direct effect on organic porosity values.

Anahtar Kelimeler: Western Black Sea, Silurian, Organic Porosity, shale, TOC

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca yol gösteren, çalışma disiplini ve sahip olduğu bilgi birikimi ile örnek aldığım danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı DEMİREL'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanaklarından faydalanmamı sağlayan Sayın Prof. Dr. Abidin TEMEL'e teşekkürlerimi sunarım. Örneklerin Rock-Eval piroliz analizlerinin TPAO'da yapılması aşamasındaki desteği sebebiyle Sayın Ahmet ADANIR'a teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans çalışmasında aldığı örnekleri kullanmama izin verdiği için Sayın İkbâl Dilek KAVAK'a teşekkür ederim.

Başladığım her işte beni cesaretlendiren, her daim yardım ve desteğiyle yanımda olan arkadaşım Alaettin TUNCER'e teşekkür ederim. Hayatımın her aşamasında, her koşulda bana inanan ve beni bu günlere sevgiyle getiren AİLEME bu çalışmayı ithaf eder, en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	5
1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı.....	5
1.3. Önceki Çalışmalar.....	6
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
2.1. Rock-Eval Piroliz Analizleri.....	12
2.1.1. Toplam Organik Karbon (TOK).....	14
2.1.2. Hidrojen İndeksi (HI)	17
2.1.3. Oksijen İndeksi (OI)	18
2.1.4. PI (S ₁ /S ₁ +S ₂)	19
2.2. Organik Porozitenin Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler.....	19
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ	21
3.1. Soğuksu Formasyonu (Os).....	27
3.2. Kocatöngel Formasyonu (Oko).....	27
3.3. Kurtköy Formasyonu (Ok).....	28
3.4. Aydos Formasyonu (Oa).....	29
3.5. Fındıklı Formasyonu (Ode).....	30
3.6. Ferizli Formasyonu (Df)	33
3.7. Yılanlı Formasyonu (DCy)	34
3.8. Çakraz Formasyonu (PTç)	35
3.9. Akveren Formasyonu (KTa)	36
3.10. Çaycuma Formasyonu (Teç).....	37
4. ORGANİK POROZİTE.....	38
4.1. Organik Porozitenin Tespiti.....	54
5. JEOKİMYASAL ANALİZ ve ORGANİK POROZİTE SONUÇLARI.....	56
5.1. Örneklerin Rock-Eval Piroliz Analizinden Elde Edilen Sonuçlar.....	56

5.2. Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi.....	69
5.3. Hendek-Kocaali, Ereğli-Gülüç ve İğdir-Örenköy Kesitlerinin Organik Porozite Değerlerinin Matematiksel Yöntemlerle Hesaplanması	72
6. SONUÇLAR.....	81
7. KAYNAKLAR.....	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya hidrokarbon rezervlerinin kaynak kayaç çökelme zamanlarına ve üretilen hidrokarbon türlerine göre dağılımı	4
Şekil 1.2. Çalışma alanının yer bulduru haritası	6
Şekil 2.1. Kayaçtaki organik maddenin farklı fraksiyonlarını gösterir diyagram	13
Şekil 3.1. İstanbul ve Zonguldak Zonlarının yüzlek verdiği alanlar	22
Şekil 3.2. Fındıklı Formasyonu ölçülü stratigrafik kesitinin yapıldığı MTA Adapazarı B17 paftası jeoloji haritası.....	25
Şekil 3.3. Çalışma alanındaki stratigrafik birimlerin genelleştirilmiş kesiti	26
Şekil 3.4. Adapazarı G-25 paftasında yüzeyelen Fındıklı Formasyonu'nun ölçülü stratigrafik kesiti.....	32
Şekil 3.5. Kocaali-Hendek Siluriyen birimlerinin ölçülü stratigrafi kesiti a) Pelesipodlu birim, b) Masif görünümlü şeyl, c) Orthoceras içeren karbonatlı şeyller	33
Şekil 4.1. Şeyllerde görülen gözenek-boyut sınıflaması.....	40
Şekil 4.2. Porozite tiplerinin gelişim evreleri	42
Şekil 4.3. Aşırı olgun şeyllerde görülen organik ve inorganik porozite tiplerinin görünümü	44
Şekil 4.4. Şeyllerde görülen gözenek tipleri ile mineral kompozisyonu-stabilite ilişkilerini gösterir diyagram	46
Şekil 4.5. Organik porozite örnekleri (a), (b), (c), (d) farklı mineral taneleri arasındaki organik madde dolguları içinde gelişen organik gözenekler; (e), (f) pirit taneleri arasındaki organik madde dolguları içinde gelişen organik gözenekler	48
Şekil 4.6. Organik maddece zengin şeyl örneklerinde porozite gelişiminin şematik gösterimi.....	52
Şekil 5.1. Hendek-Kocaali kesitinin TOK ve HI dağılımları	56
Şekil 5.2. HI-OI ve HI-TOK karşılaştırmalarına dayalı organik madde tipleri.....	58

Şekil 5.3. S2/S3 değer aralıklarına karşılık gelen kerojen tipleri	58
Şekil 5.4. Ereğli-Gülüç Baraj Yolu kesitinin TOK ve HI dağılımları	60
Şekil 5.5. HI-Tmax, HI-OI ve HI-TOK karşılaştırmalarına dayalı organik madde tipleri	61
Şekil 5.6. Hesaplanan % Vr değerlerine karşılık gelen olgunluk seviyeleri.....	62
Şekil 5.7. İğdir-Örenköy yolu kesitinin TOK ve HI dağılımları	63
Şekil 5.8. HI-OI ve HI-TOK karşılaştırmalarına dayalı organik madde tipleri	64
Şekil 5.9. Yansıtma değerleri ile hidrokarbon olgunlaşma seviyelerinin korelasyonu ve örneklerin dahil olduğu seviye	66
Şekil 5.10. Fındıklı Formasyonu'nun ölçülen ve hesaplanan organik jeokimyasal parametreleri.....	68
Şekil 5.11. Örneklerin TOKo, S2o, HIo ve % Vker dağılımını gösteren grafik.....	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kayaçların TOK sınır değerleri ve petrol potansiyelleri	16
Çizelge 2.2. Baskin (1997)'e göre HI değerlerine karşılık gelen hidrokarbon türleri ...	17
Çizelge 2.3. Jones (1984) ve Peters ve Cassa (1994)'e göre organik maddelerin sahip oldukları HI değerleri	18
Çizelge 2.4. Peters (1986)'a göre Tmax aralıklarına karşılık gelen PI değerleri	19
Çizelge 5.1. Hendek-Kocaali kesitine ait örneklerin Rock-Eval piroliz analizinden ölçülen ve bu veriler kullanılarak hesaplanan değerleri	59
Çizelge 5.2 Ereğli-Gülüç kesitine ait örneklerin Rock-Eval piroliz analizinden ölçülen ve bu veriler kullanılarak hesaplanan değerleri.....	62
Çizelge 5.3. İğdir-Örenköy yolu kesitine ait örneklerin Rock-Eval piroliz analizinden ölçülen ve bu veriler kullanılarak hesaplanan değerleri	65
Çizelge 5.4. İğdir-48 örneğine ait graptolit yansıtma değerleri.....	67
Çizelge 5.5. Değişen H _{las} Değerlerinden İtibaren Hesaplanan Organik Porozite Değerleri	73
Çizelge 5.6. Shulu Basenine ait Örneklerin Organik Porozite Değerleri	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

V _r	Vitrinit Yansıtma
S ₁	Serbest Hidrokarbonlar
S ₂	Kaynak Kayacın Güncel Potansiyeli
S ₃	Oksijenli Bileşikler
S ₄	Artık/Rezidüel Karbon
V _{ker}	Organik Porozite

Kısaltmalar

TOK (TOC)	Toplam Organik Karbon
HI	Hidrojen İndeksi
HC	Hidrokarbon
OI	Oksijen İndeksi
PI	Production Index/Üretim İndeksi
PY	Potential Yield/ Potansiyel Verim
TR	Transformation Ratio/ Dönüşüm Oranı
SEM	Scannig Electron Microscope/Taramalı Elektron Mikroskobu
FE-SEM	Field Emission - Scanning Electron Microscope
FIB-SEM	Focused Ion Beam- Scanning Electron Microscope
CT	Computed Tomography
WIP	Water Immersion Porosimetry
NMR	Nükleer Manyetik Rezonans
CAI	Conodont Alteration Index/ Konodont Alterasyon İndeks
Bkz.	Bakınız

1. GİRİŞ

Ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişmelerinin en önemli unsuru ve en temel gereksinimlerinden biri enerji kaynaklarına olan sahipliliğidir. Nüfus artışı ve sanayileşme ile birlikte enerji kaynaklarına olan talebin her geçen gün artması, enerji ihtiyacının büyük bir kısmını fosil kaynaklardan karşılayan dünya ülkelerinin de sürekli yeni kaynak ve rezerv arayışı içerisinde olmalarına neden olmaktadır. Her ne kadar gelişen teknoloji ve artan yatırımlar, yenilenebilir kaynakların enerji tüketim içerisindeki payını artırmış olsa da ileriye dönük araştırmalar 2040 yılında dahi enerji tüketiminin % 77'sinin fosil kaynaklardan karşılanabileceğini ve en büyük payın yine hidrokarbon kaynaklarına ait olabileceğini göstermektedir (US EIA, 2016).

Petrol, varlığı milattan önceki dönemlerde dahi bilinmesine ve çeşitli amaçlarla kullanılmasına rağmen ilk kez 1859'da ekonomik olarak üretim yapılmaya başlanmasıyla birlikte "Çağın Işığı" olarak nitelendirilmiştir (Yergin, 1991). Enerji üretimindeki payının artmaya başladığı 1950'li yıllara doğru büyük petrol şirketleri tarafından petrol ve doğalgazın yeraltında nasıl oluştuğu ve hareket ettiği konusunda daha fazla bilgi edinmek için birçok araştırma programı başlatılmıştır. Petrol endüstrisinin bu konuda verdiği önemin en büyük göstergelerinden biri Hunt ve Meiner (1958)'e kaynak kayaçların petrol aramalarında kullanılması ile ilgili geliştirdikleri yöntem için patent verilmesi olmuştur.

1960'lı yıllarda gaz kromatografisinin geliştirilmesi ve kütle spektrometrisi gibi araçlardaki ilerlemelerle birlikte ham petrol ve sedimanlar içerisindeki organik bileşiklerin dağılımı ve yapısı hakkında daha ayrıntılı veriler elde edilmeye başlanmıştır. Bu yeni veriler petrol-kaynak kayaç ve petrol-petrol korelasyonlarının yapılmasında önemli bir araç olan biyomarkerlerin da gelişmesini sağlamıştır. 1960'lı yılların sonu 1970'li yılların başında hidrokarbon oluşum süreçlerinin daha iyi anlaşılması petrol penceresi kavramını da beraberinde getirmiştir. Sedimanların termal olgunluğu ve kerojenin kompozisyonunun anlaşılmasına ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. Bu dönemde petrolün göçüne ilişkin geliştirilen teorilere de önem verilmeye başlanmıştır (Dembicki, 2016).

1980'lerde piroliz tekniklerinin ilerlemesi ve biyomarker uygulamalarının artışı petrol göçünün de daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. 1980'li yıllarda bir diğer önemli gelişme

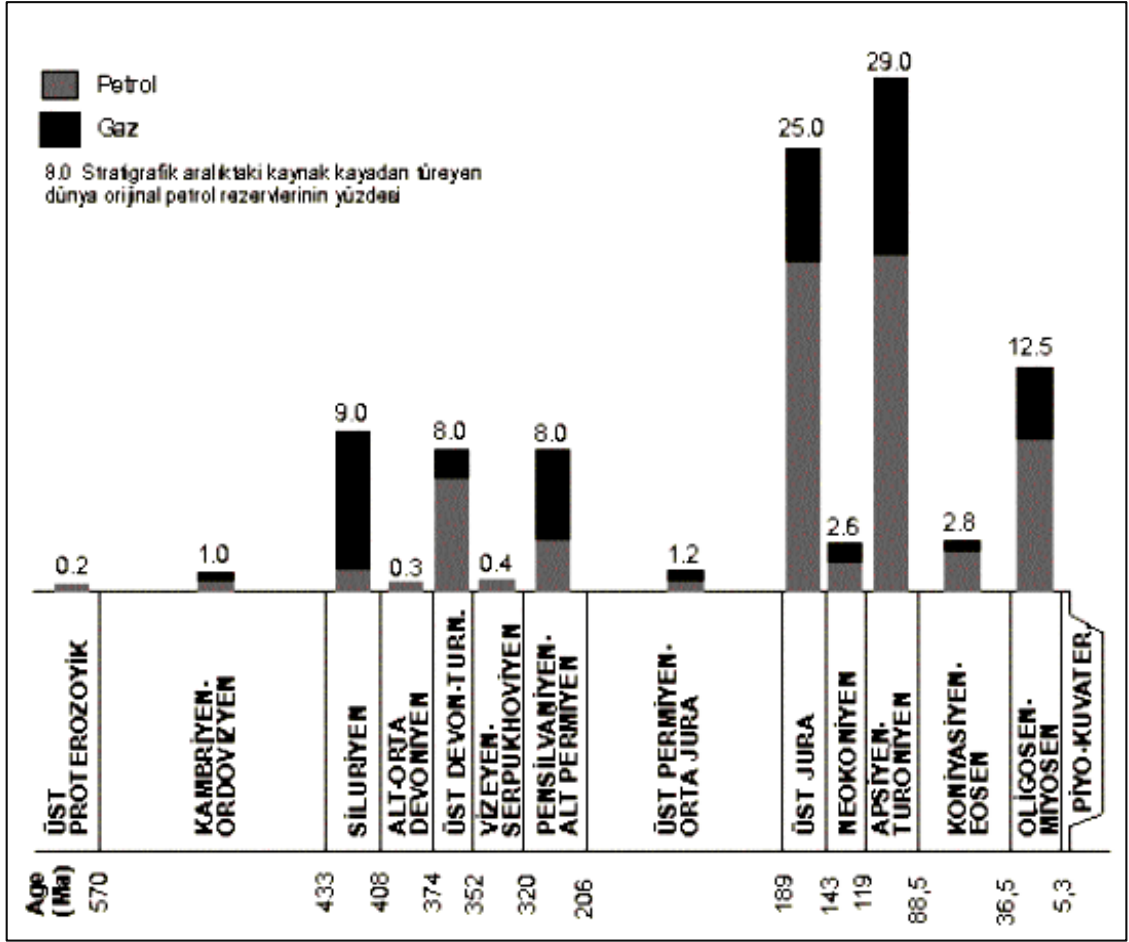
petrol aramalarında jeofizik verilerinin jeokimya ile birlikte kullanılarak keşif etkinliğinin %63'e yükselmesi olmuştur. Ancak 1980'li yılların ortalarından itibaren petrol endüstrisinde yaşanan gerileme petrolün jeokimyasına yönelik yapılan araştırmalara ayrılan bütçenin de azalmasına neden olmuştur. Araştırmalar akademik düzeyde devam ettirilmeye çalışılsa da bugün dahi eksiklikler hissedilmektedir. 1990'lı yıllara doğru devam eden sanayi durgunluğu petrol jeolojisi çalışmalarının daha çok rezervuar kayaç uygulamalarına kaymasını sağlamıştır. Arama bütçelerinin artırılmaması şirketlerin keşfedilen rezervlerden daha fazla üretim yapmaya çalışmasına, bu da rezervuar kayaç özelliklerinin araştırılmasını önemli kılmıştır (Dembicki, 2016).

Son yıllarda geleneksel olmayan kaynakların artan öneminden dolayı özellikle ince taneli sedimanter kayaçların rezervuar kayaç olabilme özelliklerinin daha iyi ortaya koyulabilmesi için yapılan çalışmalar da artmaktadır. Oluşan petrol ve gazın yerinde doğru tahmini için ince taneli rezervuarların gözenekliliği ve geçirgenliğinin de doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Organik maddece zengin kayaçlarda, hidrokarbon içeren gözenek ağının geçirgenliği inorganik matriks ve çatlak gözenek ağının geçirgenliğinden dikkat çekici şekilde yüksek olabilmektedir. Geleneksel olmayan hidrokarbon kaynakların değerlendirilmesinde kayacın toplam porozitesinin bilinmesi hidrokarbonların yerinde tahminleri için önemli bir parametredir. Bunun yanında organik porozitenin varlığı özellikle geleneksel olmayan kaynakların değerlendirilmesinde kaynak kayaç rezervuarlarında potansiyel olarak hidrokarbon depolanması, göçü ve üretiminde kilit rol oynamaktadır. Organik porozite üzerine var olan güncel çalışmalar incelendiğinde, organik gözeneklerin nerede (örn. kerojen maseralleri, bitüm ve/veya pirobitümde), ne zaman (örn. diyajenezden önce, petrol penceresinde, veya ötesinde) ve nasıl (örn. kalıtsal veya otijenik) oluştukları ile ilgili birçok farklı görüş bulunmaktadır. Organik zenginleşmenin organik porozite gelişimi üzerine etkisi de tartışmaya açık durumdadır. Bu belirgin çelişkilerin birçoğu, çalışmaların dayandığı veri setlerinin doğal bir fonksiyonudur (Arango, 2019). Ancak genel kanı organik porozitenin organik maddenin termal olgunlaşması sonucu gelişen ikincil gözenekler olduğudur. Organik porozite, şeyl rezervuarlarındaki toplam porozitenin önemli bir kısmını oluşturmakta ve organik maddenin hidrofobik doğası nedeniyle gözenekler çoğu durumda hidrokarbon ile doldurulmaktadır (Kuchinskiy, 2013). Bu yüzden şeyl gaz rezervuarlarındaki toplam hidrokarbon hacminin belirlenmesinde önemli bir rol oynamakta (Chen ve ark., 2014)

ayıca şeyl gaz prospektlerinin ekonomik uygulanabilirliği konusunda da önemli bir etken olabilmektedir.

Organik porozitenin kaynak kaya rezervuarlarının sürdürülebilir üretiminde önemli bir faktör olduğuna inanılmaktadır. Şeyl rezervuarlarından yapılan üretimin hızlı bir şekilde düşmesinin konvansiyonel taneler arası ve çatlak porozitesi ile ilişkili olabileceği, konvansiyonel gözenek sistemindeki hidrokarbonların tükenmesiyle birlikte daha az ve yavaş oranda düşüş gösteren üretimin, organik gözeneklerden devam ettiği ileri sürülmektedir (Galford ve ark., 2013). Dolayısıyla organik porozite, kaynak kaya rezervuarlarının toplam hidrokarbon depolama kapasitesine katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle rezervuar değerlendirmeleri ve simülasyonlarında organik porozitenin tespiti oldukça önemli bir parametredir.

Çalışmalar organik porozitenin çoğunlukla organik maddece zengin Erken Siluriyen yaşlı şeyllerde baskın olarak geliştiğini göstermektedir. Erken Siluriyen dönemi, esas olarak Gondwana'nın kuzey kenarı boyunca çökelen anoksik graptolitik siyah şeyllerin varlığı ile karakterize edilmektedir (Ferriday ve Montenari, 2016). Siluriyen dönemi, dünyada keşfedilmiş petrol ve gaz rezervlerinin %90'dan fazlasını içeren kaynak kayaçların yer aldığı altı ana stratigrafik aralıklardan birine karşılık gelmektedir. Siluriyen çökeltme alanının % 73'ü denizel kayaçlardan oluşmakta ve bunların da % 85'i aşırı olgunlaşma ve gömülmeye bağlı gaz üretmektedir. Organik maddece zengin Silurian şeylleri dünyada petrol rezervlerinin % 9'una sahiptir (Klemme ve Ulmishek, 1991) (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Dünya hidrokarbon rezervlerinin kaynak kayaç çökelme zamanlarına ve üretilen hidrokarbon türlerine göre dağılımı (Klemme ve Ulmishak, 1991).

Graptolitli şeyllerle temsil edilen Erken Siluriyen yaşlı şeyllere Batı Karadeniz'de Sakarya-Hendek, Ereğli-Gülüç ve İğdir yörelerinde rastlanmaktadır. Fındıklı Formasyonu adı altında incelenen bu şeyllerin aşırı olgun olmaları sebebiyle organik porozite gelişimi için uygun olduğu değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda tez kapsamında Hendek-Kocaali kesitinden alınan şeyl örnekleri ile Kavak (2007) tarafından alınan şeyl örneklerinin jeokimyasal analizleri kullanılarak organik porozite miktarları ortaya koyulmuştur.

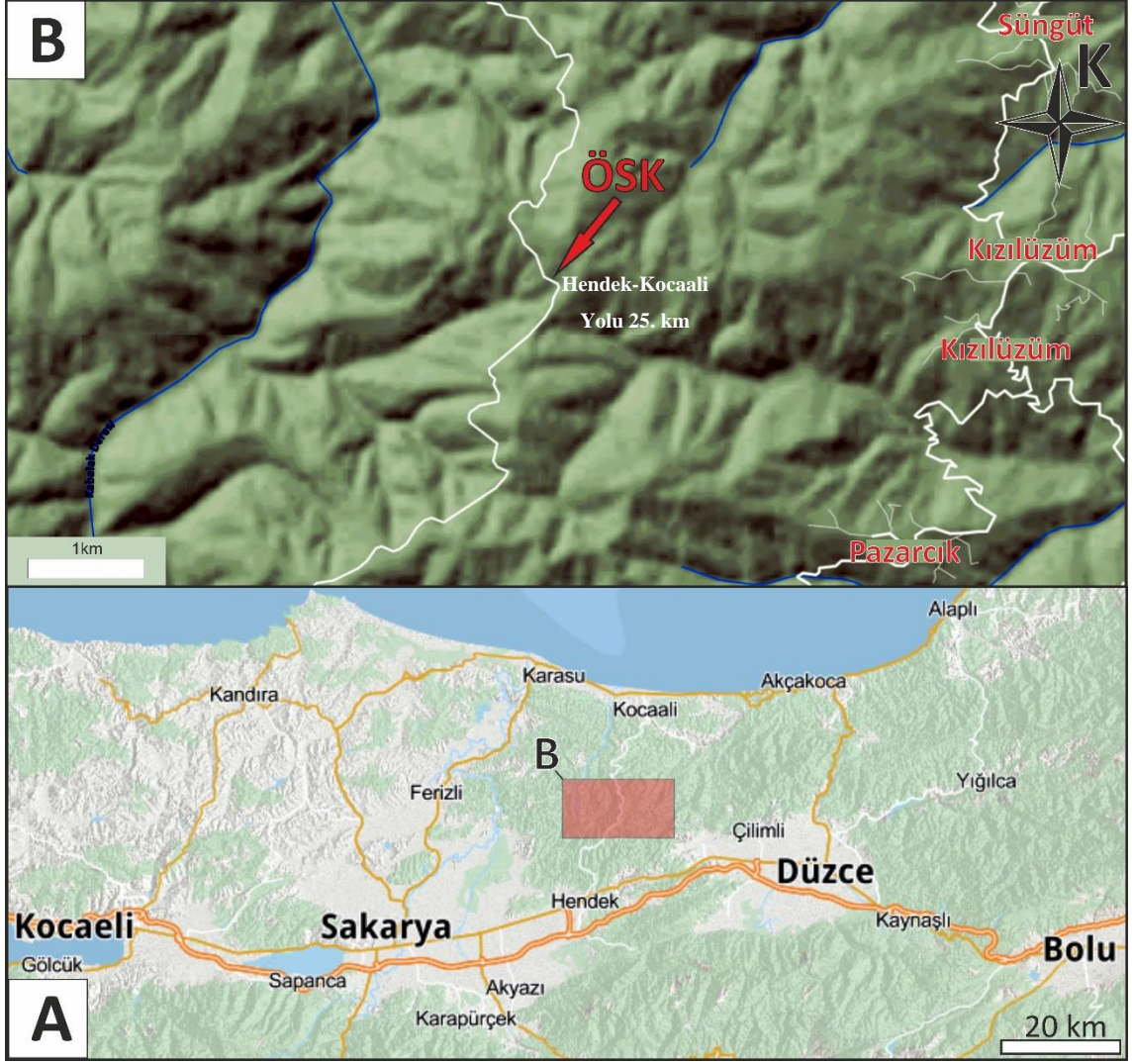
1.1. Çalışmanın Amacı

Bilindiği gibi Dünya’da enerji ihtiyacının yaklaşık % 85’i fosil kaynaklardan (petrol, doğal gaz ve kömür) karşılanmaktadır. Ülkelerin her geçen gün artan enerji ihtiyacı karşısında rezervlerin tükenmeye başlaması küresel olarak enerji politikalarını da hidrokarbon rezervlerinin değerlendirilmesi konusunda ciddi dönüşüme uğratmaktadır. Bu değişimle birlikte yeni kaynak aramalarının yanı sıra mevcut kaynaklardan hidrokarbon kurtarım oranlarının artırılmasına yönelik çalışmalara ağırlık verilmeye başlanmıştır. Bu doğrultuda son yıllarda özellikle sıkı rezervuarlardan (tight sandstones) yapılan üretimlerin sürdürülebilirliğini hatta hidrokarbon potansiyeli açısından ekonomik görülmeyen sahalardan üretim yapılmasını sağlayacağı düşünülen organik porozitenin tespitine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır.

Petrol jeolojisi dünyasında çok yeni bir araştırma konusu olan organik porozitenin belirlenmesi ülkemizde yüksek lisans tez kapsamında ilk defa çalışılacaktır. Yapılan çalışmalar özellikle denizel kökenli ve ısısal olarak aşırı olgun şeyllerde organik porozitenin baskın porozite tipi olduğunu ortaya koymaktadır (Modica ve Lapierre, 2012). Bu nedenle Batı Karadeniz bölgesinde geniş yüzeylemelere sahip ve denizel kökenli şeyllerden oluşan Siluriyen yaşlı Fındıklı Formasyonu’nun yüzlek verdiği Sakarya-Hendek yöresi inceleme alanı olarak belirlenmiştir. Ayrıca Ereğli-Gülüç ve İğdir-Örenköy yörelerinde ki Erken Siluriyen yaşlı şeyllerin de organik porozite gelişimleri incelenerek organik madde miktarına ve olgunlaşmaya bağlı porozitedeki değişimler tespit edilmeye çalışılacaktır. Bunun için tez kapsamında Sakarya-Hendek yöresinde kesit alınmış ve örnekleme çalışması yapılmıştır. Ereğli-Gülüç ve İğdir-Örenköy örneklerine ait Rock-Eval piroliz verileri ise İkbal Dilek KAVAK’ın (2007) yüksek lisans tez çalışmasından alınarak kullanılmıştır.

1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı, coğrafi olarak Karadeniz Bölgesi’nde Adapazarı G-25 paftası içerisinde yer almaktadır. Fındıklı Formasyonu’nun mostra verdiği Sakarya ili Hendek-Kocaali karayolunun 25. km’sinde arazi çalışmasının yapıldığı hedef bölgenin yer bulduru haritası Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2. Çalışma alanının yer bulduru haritası

1.3. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı olarak belirlenen Sakarya-Hendek yöresinde Siluriyen yaşlı şeylleri temsil eden Fındıklı Formasyonu'nda Kavak (2007) tarafından hidrokarbon kaynak kayaç değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş ve alınan örneklerin aşırı olgunlaştığı belirlenmiştir. Benzer şekilde Harput (1997) tarafından bölgenin petrol ve gaz kaynak kaya potansiyelini ortaya çıkarmak ve olgunlaşma analizleri ile petrolün oluşum ve korunma alanlarını belirlemek amaçlı gerçekleştirilen doktora tez çalışmasında da Fındıklı Formasyonu'nun aşırı olgunlaştığı sonucuna varılmıştır.

Şengör ve Yılmaz (1981) ile Görür ve ark. (1995) tarafından bölgenin tektonik oluşumu, Aydın ve ark. (1987), Gedik ve Önalın (2001), Gedik ve Aksay (2002), Tüysüz ve ark.

(2004) tarafından bölgede yüzeyleyen formasyonların stratigrafisi ve paleocoğrafyası ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Sachanski ve ark. (2012) Zonguldak zonunun doğusunda yer alan Ereğli yakınlarındaki Gülüç Çayı'nın batısında gerçekleştirdikleri biyostatigrafi çalışmasında Fındıklı Formasyonu'nun yeşilimsi gri karbonatlı şeyller, siyah şeyl ve killi kireçtaşları ile silttaşı ve kumlu kireçtaşlarını içeren üç çökel paketinden oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca fosil bulgularına göre formasyonun yaşının Ereğli-Gülüç kesimlerinde Venlok-Ludlov, Hendek-Kocaali kesitinin alındığı kesimlerde ise Telişiyen-Piridoli (Erken-Geç Silüriyen) aralığında değiştiği tespit edilmiştir.

Loucks ve ark. (2012) çamurtaşlarındaki gözenek tiplerinin ve ağlarının çeşitliliği ile matriksle ilişkili gözeneklerin sınıflandırması üzerine çalışmıştır. Gözenek miktarının belirlenmesinde ve gözenek ağıyla ilişkilendirmede kullanılacak matriks kaynaklı üç temel tipten oluşan gözenek sınıflaması yapılmıştır. Gözenek tipleri: tane ve kristaller arasında gelişen taneler arası gözenekler, parçacık sınırları içerisinde bulunan tane içi gözenekler ve tane içi organik madde gözeneklerinden oluşmaktadır. Gömülmenin sığ olduğu durumlarda sadece taneler arası ve tane içi gözeneklerin görüldüğü, gömülme ve sıkışma ile birlikte bu tipteki gözeneklerin büyük ölçüde azaldığı yerine hidrokarbon termal olarak olgunlaşmasıyla da birlikte organik madde gözeneklerinin geliştiği belirlenmiştir.

Curtis ve ark. (2012) Woodford şeyllerinde termal olgunluğa bağlı organik porozite gelişimini araştırmıştır. Vitrinit yansıma değerleri % 0,51-6,36 arasında değişen örneklerdeki organik porozite gelişimi FIB milling ve SEM yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Organik madde içerisindeki gözenekliliğin %Vr 0,9 ve altındaki olgunluk seviyesinde gelişmediği, %Vr 1,23'ten itibaren görülmeye başlandığı, %Vr 2,0 ve üzerindeki olgunluk seviyesinde görülmediği belirtilmiştir. Bu nedenle organik gözeneklerin organik maddenin termal olgunlaşması sırasında meydana gelen hidrokarbon oluşumu sonucunda gerçekleştiğine dair ortak bir görüş olmasına rağmen gözeneklerin oluşum ve korunmasında termal olgunlaşmanın tek başına yeterli olmadığı ifade edilmiştir. Gözlemler, organik maddenin bazı gözenekli bölümlerinin taneler tarafından korunduğunu, diğerlerinde ise stres destekli olduğunu göstermektedir. Çalışmadaki bu gözlemlerin, şeyllerdeki organik maddede gözeneklerin oluşumunu

öngörmede termal olgunluk gibi göstergelerin kullanılması gibi önemli sonuçları olmuştur.

Fishman ve ark. (2012) organik maddece zengin Geç Jura yaşlı Kimmeridge (İngiltere) şeyllerinin porozitesi incelenmiştir. Artan derinlik ve termal olgunluk ile organik madde içerisinde gelişen organik porozitede sistematik bir artış gözlenmemiştir. Bu nedenle, organik porozitenin, formasyondaki genel gözenek hacmine, hatta termal olarak olgun ve organik maddece zengin şeyllere önemli bir katkısının bulunmayacağı ileri sürülmüştür.

Modica ve Lapierre (2012) termal dönüşümün bir fonksiyonu olarak kaynak kayaçlarda kerojen porozitesinin tahmininin amaçlandığı çalışmada, sık denizel Wyoming Powder River Baseni'ndeki Mowry Şeylleri incelenmiştir. Organik porozitenin karasız kerojenin termal dönüşümü bağlı geliştiği ve gözenekler içerisinde baskın bir şekilde su barındıran matris-mineral porozitelerinden farklı olduğu belirtilmiştir. Orijinal TOK, dönüşebilir karbon miktarı ve kayaç/kerojen yoğunlukları kullanılarak geliştirilen fonksiyon ile şeyl örneklerinin kerojen porozite değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar ile oluşturulan modelde kerojen porozitesinin artan vitrinit yansıma ve orijinal TOK karşısında artış gösterdiği ortaya koyulmuştur.

Kuchinskiy (2013) Erken Siluriyen ve Ordvisiyen yaşlı kaynak kayaçlarda bulunan organik madde içerisindeki porozite gelişimini incelemiştir. Şeyllerde organik madde içerisindeki porozitenin genellikle baskın bir porozite tipi olduğunu ve organik maddenin hidrofobik yapısı sebebiyle çoğu durumda hidrokarbon ile dolu olduğunu ileri sürmüştür. Organik porozitenin termal olgunluk derecesinin ve hidrokarbon oluşumu sürecinde organik maddenin ayrışmasının bir fonksiyonu olduğunu ifade ederek SEM görüntülerinin de organik madde içerisindeki gözeneklerin bolluğunun direk olarak termal olgunlaşma ile ilişkili olduğunu gösterdiğini ayrıca bu alandaki çeşitli çalışmaların da bunu desteklediğini belirtmiştir. Polonya'da şeyl gaz trendinde bulunan Lublin, Podlasie ve Baltic basenlerindeki yedi kuyudan alınan Erken Siluriyen ve Geç Ordvisiyen yaşlı çamurtaşları üzerinde yapılan FE-SEM analiz sonuçları da organik porozitenin termal olgunlaşma ve derinlik ile arttığını göstermiştir.

Galford ve ark. (2013) organik porozitenin sondaj loglarında kullanılarak belirlenmesini ele almıştır. Laboratuvar ölçümleri ile yapılan porozite tespitlerinin pahalı, zaman alıcı olduğunu ve tüm kayacı temsil etmediğini belirtmişlerdir. Haynesville ve Eagle Ford

şeylerinde açılan kuyuların Gamma Ray-Caliper log korelasyonu kullanılarak petrol ve gaz hacimleri çıkarılmıştır. Buna ilave olarak kerojen porozitesi ve katı kerojen oranları belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda multitool, multimineral olasılıksal hata azaltma yöntemleri üzerine kurgulanan log yorumlama çalışmasının kerojen porozitenin hesaplanması için çok uygun bir yöntem olduğu ayrıca kerojen porozite değerlerinin kaynak kayaç simülatörlerinde rezervuar performas tahminlerini iyileştirmede de kullanılabileceği belirtilmiştir.

Milliken ve ark. (2013) Pensilvanya'daki Devonyen yaşlı Marcellus Formasyonu'nun FE-SEM yöntemini kullanarak organik porozite sistemini incelemiştir. Çalışma olgunluk seviyesi ıslak gaz (%Vr ~1,0) ile kuru gaz (%Vr ~2,1) arasında değişen örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. TOK değerleri ağırlıkça % 5,5'ten küçük örneklerde TOK ve porozite arasında pozitif korelasyon olduğu görülürken %5,5'ten büyük değerlerde TOK'un artmasıyla porozitedeki artışın çok küçük oranlarda olduğu yada gerçekleşmediği gözlenmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak organik porozite gelişiminde termal olgunlaşmadan ziyade TOK değişimlerinin etkili olduğu belirtilmiştir.

Romero-Sarmiento ve ark. (2013) petrol sistemi modellemesini kullanarak Teksas'taki Mississippian Barnett şeylerinde TOK, organik porozite ve gaz tutma dağılımının kantitatif değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Hesaplanan organik porozitenin, olgunlaşmamış zonlarda % 0'dan organik yönden zengin ve olgun zonlarda maksimum kaya hacminin % 4'üne kadar değiştiği ortaya koyulmuştur.

Chen ve ark. (2014) Erken Siluriyen Longmaxi şeyl (GD Chongqing, Çin) biriminde organik porozite değerlendirmesi yapmıştır. Geliştirdikleri modelleme yöntemi için önemli parametrelerin organik maddeden üretilen hidrokarbonun dönüşüm oranı, orijinal HI, orijinal TOK ve organik gözenek düzeltme katsayısı olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen organik porozite değerlerinin derinlikle birlikte artış gösterdiği ancak 2160 m'ye yaklaştıkça ani bir şekilde düşüşe geçtiği ortaya koyulmuştur.

Kuila ve ark. (2014) organik maddece zengin çamurlarda nano ölçekli doku ve organik madde gözenekliliğini incelemiştir. Çalışma farklı termal olgunluk seviyelerindeki örneklerde organik maddelerin ayrılmasından öncesi ve sonrasında; organik maddenin gözenek yapısı ile dokusal dağılımı, OM'de gözeneklilik oluşumu ve ısıl olgunluğa bağımlılığı hakkında önemli bilgiler ortaya koymaktadır. Organik maddece zengin

çamurtaşlarının termal olgunlaşması ile organik maddenin ayrılması sonucunda 5 nm'den küçük çaplı gözenek hacminin ciddi bir şekilde azaldığı görülmüştür. Bu durumun organik madde içerisindeki gözeneklerin varlığının göstergesi olduğu ve organik porozite oluşumunun muhtemelen gaz üretimi ile çakışan termal eşiğe ulaştıktan sonra geliştiğini ifade ettiği belirtilmiştir.

Keel (2015), organik maddece zengin çamurtaşlarındaki organik porozitenin dağılımı üzerine tez çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında organik porozite gelişiminin % Vr ~ 0,6'dan itibaren geliştiğini gözlemlemiştir. Tip III, Tip II-III ve Tip II kerojen içeren örneklerin organik porozite miktarları karşılaştırıldığında Tip III'ten Tip II'ye doğru artış olduğu belirlenmiştir. Organik porozitenin miktarının ve dağılımının organik madde tipi ile termal olgunlaşma kontrollü olduğu belirtilmiştir.

Löhr ve ark. (2015) şeyllerdeki organik porozite gelişiminin birincil gözeneklilikten ve termal açıdan olgunlaşmamış organik maddenin yapısından etkilenip etkilenmediğini denetlemiştir. Birincil organik madde gözeneklerinin, termal açıdan olgunlaşmamış (petrol penceresi öncesi) çamurtaşlarındaki yapıları ve amorf organik maddelerde yaygın olduğu ve bu gözeneklerin termal olgunlaşma ürünü olmadığı kanıtlanmıştır. Devoniyen-Mississippien Woodford Şeyllerinde termal olgunluk seviyelerine göre organik madde gözenekleri kıyaslanmış ve %Vr 0,4'ten küçük örneklerde yaygın bir şekilde gözlemlendiği, %Vr 0,5-1,1 arasında belirgin olmadığı %Vr 1,5'ten büyük örneklerde tekrar gözlemlendiği belirtilerek bu yeni oluşan gözeneklerin ikincil gözeneklilik olarak sınıflandırıldığı ifade edilmiştir.

Li ve ark. (2016) termal olarak olgun kaynak kayaların organik porozitelerinin belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Shulu Baseni'ndeki (Çin-Bohai Körfezi) (Shulu Sag Bohai Bay Basin) organik maddece zengin marnlardan alınan örneklerin mikro ve nano boyuttaki gözenek tipleri incelenmiştir. Sıkı rezervuar özelliği gösteren Shulu marnları aynı zamanda çok düşük gözeneklilik ve geçirgenliğe sahiptir. Gözenek tiplerinin, boyutlarının belirlenmesinde FE-SEM kullanılarak gözeneklerin büyük kısmının nano ve mikro boyutlarda olduğu tespit edilmiştir. Shulu marnları; organik madde gözenekleri, çözünme gözenekleri, kalsit, kil ve dolomitlerdeki taneler arası gözenekler gibi farklı gözenek tiplerini barındırmaktadır. Organik madde gözeneklerinin iyi tanımlanabilen düzgün sınırlara sahip ve yaklaşık 1 µm boyutunda olduğu; şekillerinin genellikle hafif düzensiz elipsoidal, bir kısmının ise küresel veya düzensiz poligonal olduğu görülmüştür.

Organik madde gözenekleri marn rezervuarlarında en önemli gözenek tipidir ve porozite sistemi içerisinde büyük bir orana sahiptir. Çalışmanın sonucunda organik porozitenin oranı SEM analizlerinde %18,2 olarak, piroliz analizinden elde edilen veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda ise %16,8 olarak bulunmuştur.

Matyasik ve ark. (2017) şeyl-gaz araştırmalarında organik porozitenin hesaplanması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada organik porozite oluşumunun petrol oluşumu ile başladığı ve kerojenin duraysız içeriği hidrokarbonlara dönüştüğünde en yüksek değere ulaştığı belirlenmiştir. Kuchinskiy (2013)'e göre şeyllerde gerçekleştirilen organik porozite hesaplamalarında değerlerin Ordivisiyen yaşlı örneklerde % 4,32-4,51 Siluriyen yaşlı örnekte % 8,15, Kambriyen yaşlı örnekte ise % 2,81 olduğu görülmüştür.

Jia ve ark. (2018) şeyllerdeki organik porozitesinin ve toplam organik karbonun belirlenmesinde farklı eko tiplerinin (spin, solid ve magic) kullanımını ele almıştır. Çalışmanın sonuçları organik madde içindeki TOK ve organik porozitenin Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) ile ölçülebileceğini göstermiş ayrıca FIB-SEM sonuçları ile kıyaslandığında NMR yönteminin daha kapsamlı olduğu görülmüştür.

İnank ve ark. (2018) şeyllerde organik porozitenin oluşumu üzerine gerçekleştirdikleri çalışma da mineralojinin, organik madde miktarının, tipinin ve olgunluk seviyesinin organik porozite üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışmada özellikle mineral içeriğinin gözeneklerin korunmasında önemli bir faktör olduğu ve kuvarça zengin şeyllerdeki porozite korunumunun kil minerallerince zengin şeyllere oranla daha yüksek olması sebebiyle benzer termal olgunluğa, organik madde tipine ve miktarına sahip kuvarça zengin şeyllerdeki organik porozitenin gaz tutma kapasitenin kil minerallerince zengin şeyllerden daha yüksek olacağı belirtilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Organik porozite değerlendirmesi yapılması için daha önce Prof. Dr. İsmail Hakkı DEMİREL danışmanlığında İkbal Dilek KAVAK tarafından hazırlanan “Batı Karadeniz Bölgesi Erken Siluriyen Yaşlı Graptolitli Şeyllerin Hidrokarbon Kaynak Kayaç Değerlendirmesi” adlı tez kapsamında alınan Hendek-Kocaali yöresinden 10, İğdir-Örenköy yöresinden 11 ve Ereğli-Gülüç Barajından 5 adet olmak üzere toplam 26 adet örneğin Rock-Eval Piroliz ve TOK analiz verileri kullanılmıştır. Bu örneklere ek olarak bu çalışmada Hendek-Kocaali yolunun 25. km’sinden 11 adet örnek daha alınarak bu örneklelerin de Rock-Eval Piroliz ve TOK analizleri yaptırılmıştır.

Tez kapsamında alınan 11 adet örneğin analizleri Rock Eval-6 cihazı ile IFP 160000 (Institut Français du Pétrole) standardında Türkiye Petrolleri AR-GE Merkezinde, diğer 26 örneklelerin analizleri ise Teksas, Amerika’daki Humble Jeokimya Laboratuvarı’nda yapılmıştır (Kavak, 2007).

2.1. Rock-Eval Piroliz Analizleri

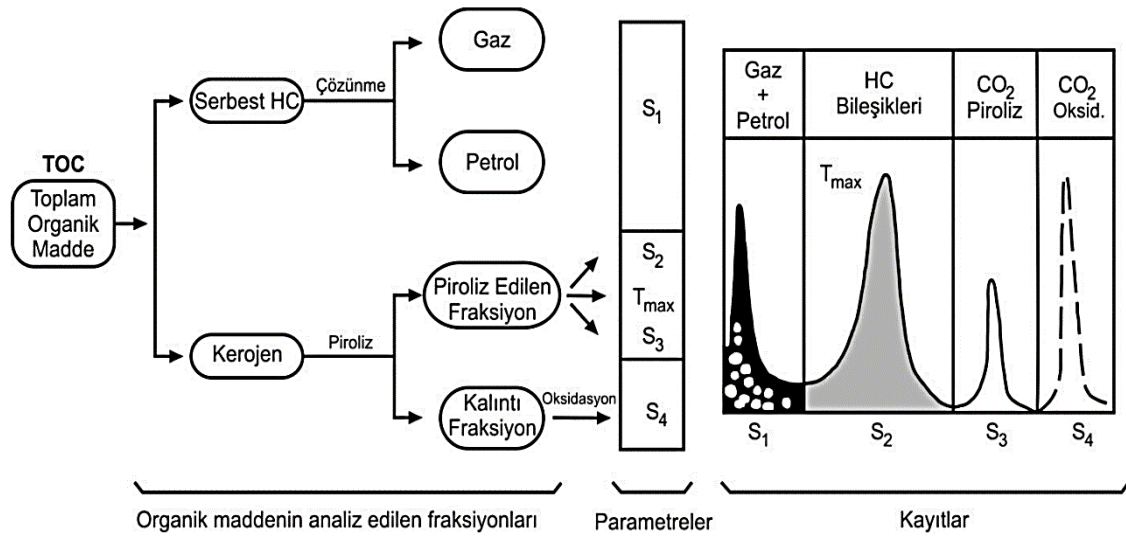
Organik jeokimyanın temel hedefi sedimanter kayaçlardaki organik maddenin karakterize edilmesidir (Lafargue ve ark., 1998). Bu doğrultuda kaynak kayaç tipi, termal olgunluk derecesi ve hidrokarbon potansiyelinin değerlendirilmesinde piroliz yöntemleri kullanılmaktadır (Espitalie ve ark., 1977; Peters, 1986; Lafargue ve ark., 1998; Dembicki, 2016). Piroliz, kayacın petrol veya gaz kaynak potansiyelinin belirlenmesini sağlamaktadır (Clementz, 1979). Piroliz kelimesi Yunanca ateş anlamına gelen “pyro” ve ayrışma anlamına gelen “lysis” kelimelerinden türetilmiştir. Piroliz, oksijensiz ortamda biyokütlenin biyo-yağ, biyo-kömür ve piro-gaza dönüşümünü sağlayan termokimyasal bir dönüşüm prosesidir. (Sarangi ve ark., 2018).

Kaynak kayaçların pirolizinde kayaçta o anda mevcut bulunan ve göçe uygun olan hidrokarbonları tespiti ile kerojenin termal dönüşümü sonucu oluşabilecek hidrokarbon miktarının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Hidrokarbonlara ek olarak karbondioksit ve su, kerojen pirolizinin diğer birincil ürünleridir. Karbondioksit içeriği esas olarak kerojenin birincil olarak petrol, gaz veya petrol-gaz karışımını üretip üretmeyeceğinin tahmininde kullanılmaktadır. Bu şekilde sedimanter kayaçların hidrokarbon ve

karbondioksit piroliz verimleri kullanılarak, kayacın kantitatif organik jeokimyası ve petrol potansiyeli tahmin edilebilmektedir (Clementz, 1979).

Analizde 100 mg kayaç örneği inert atmosfer (helyum veya nitrojen) ortamında 300 °C’de 3-4 dakika boyunca ısıtılmaktadır. Analizin devamında sıcaklık 550 °C’ye gelene kadar dakikada 25 °C sıcaklık artırılmaktadır (Tissot ve Welte, 1984; Peters, 1986; Clementz, 1979). Ancak karasal organik maddenin (Tip III) termal parçalanması her zaman bu sıcaklıklarda tamamlanmadığından piroliz işleminin 850 °C’ye kadar devam ettirilmesi organik maddenin tamamen bozunmasının sağlanması açısından önemlidir (Lafargue ve ark., 1998). Hidrokarbon ve karbondioksitin oluşumu kerojenin termal dönüşümüne bağlı olduğundan kayaç içerisindeki kerojen miktarı arttıkça meydana gelen hidrokarbon ve organik karbondioksit miktarı da artacaktır (Katz, 1983)

Piroliz analizinde S_1 , S_2 , S_3 ve T_{max} değerleri ölçülmektedir (Şekil 2.1) (Peters, 1986; Clementz, 1979; Lafargue ve ark., 1998). Ayrıca pirolizden sonra kalıntı organik karbonun ikinci bir fırında hava ile oksidasyonu sonucu S_4 elde edilmektedir (Lafargue ve ark., 1998).



Şekil 2.1. Kayaçtaki organik maddenin farklı fraksiyonlarını gösterir diyagram (Lafargue ve ark., 1998)

Kayacın ısıtılmasıyla birlikte ilk görülen S_1 pikidir ve 300 °C’nin altında uçucu hale gelen serbest hidrokarbonları ifade etmektedir (Espitalie ve ark., 1977; Baskin, 1997). S_1 ’in alanı kayaçta bulunan hidrokarbonların (petrol + gaz) miktarını göstermektedir (Espitalie

ve ark, 1977; Clementz, 1979; Peters, 1986). S₂ piki kerojenin 550 °C'ye kadar parçalanması sonucu açığa çıkan hidrokarbon bileşiklerini temsil etmektedir (Clementz, 1979; Baskin, 1997; Espitalie ve ark., 1977; Katz, 1983). S₂'nin alanı meydana gelen hidrokarbon miktarını ve kayacın petrol potansiyelini göstermektedir (Espitalie ve ark., 1977; Baskin, 1997). S₃ piki kerojenin 390 °C'ye kadar parçalanması ile meydana gelen karbondioksiti temsil etmektedir (Clementz, 1979). S₃'ün alanı üretilen organik karbondioksitin miktarını göstermektedir (Clementz, 1979; Baskin, 1997; Espitalie ve ark., 1977; Katz, 1983). S₂/S₃ oranı petrol ve gaz kaynak potansiyelinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Clementz, 1979). S₄ piki kalıntı karbonun oksidasyonu sonucu elde edilmektedir (Jarvie ve Tobey, 1999). Kalıntı karbon içeriği hidrojen eksikliği ve moleküllerin kimyasal yapısı sebebiyle hidrokarbon üretme potansiyeline sahip değildir (Tissot ve Welte, 1984). Analiz sırasında hidrokarbon üretim hızının maksimum olduğu andaki sıcaklık değeri T_{max} olarak kabul edilmektedir (Clementz, 1979; Baskin, 1997). T_{max} değeri derinlikle birlikte düzenli olarak artmaktadır. Ancak uyumsuzluklar, faylar, jeotermal gradyan değişimleri gibi faktörler sonuçlarda değişikliklere neden olmaktadır. Bu yüzden S₂ pikinin 0,2 mg HC/g kayaç'tan düşük olduğu durumlarda ölçülen T_{max} değeri geçerli bir sonuç vermeyecektir bu nedenle dikkate alınmaması gerekir (Peters, 1986)

Analiz sonucunda elde edilen değerler kullanılarak kaynak kayaca ait Toplam Organik Karbon (TOK), Hidrojen İndeksi (HI), Oksijen İndeksi (OI), Üretim İndeksi (PI) hesaplanabilmektedir.

2.1.1. Toplam Organik Karbon (TOK)

TOK, kayaç içerisindeki organik karbonun yüzdece ağırlık cinsinden değerini ifade etmektedir (Peters ve Cassa, 1994; Baskin, 1997; Dembicki, 2016). TOK, organik maddenin yüksek sıcaklıklarda normal hava veya oksijenle yakılarak CO₂ haline getirilerek ölçülmesi ile belirlenebilmekte veya şu şekilde de hesaplanabilmektedir (Jarvie ve Tobey, 1999):

$$\text{TOK} = [k \times (S_1 + S_2)] / 10 + (S_4 / 10)$$

↙
↘
↓
↓
↘

(% ağırlık) 0,83* (mg HC/g kayaç) (mg C/g kayaç)

*k değeri hidrokarbonlardaki ortalama karbon içeriğinin atomik ağırlık cinsinden değerini göstermektedir.

$$\begin{array}{c} \text{veya} \\ \text{TOK} = \text{RC} + \text{CC} \\ \swarrow \quad \downarrow \quad \searrow \\ (\% \text{ ağırlık}) \quad (\text{artık karbon}) \quad (\text{dönüştürülebilir karbon}) \end{array}$$

Sedimanlardaki toplam organik madde miktarının ve sedimanların üretebileceği hidrokarbon miktarına dayalı kaynak zenginliğinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır (Dembicki, 2016). Ancak hem kerojen hem de bitüm içermesi sebebiyle TOK'u tek başına petrol potansiyelinin kesin bir göstergesi olarak kabul etmek doğru değildir. Buna rağmen kaynak kayaç değerlendirmesinde TOK dikkatli kullanıldığı takdirde iyi bir başlangıç noktasıdır (Dembicki, 2016).

Ticari olarak petrol üretiminin yapılabilmesi için kaynak kayacın içermesi gereken organik madde miktarı minimum % 0,5 olması gerektiği kabul edilmektedir (Tissot ve Welte, 1984; Baskin, 1997). Kayaçların sahip oldukları petrol potansiyellerinin belirlenmesinde farklı araştırmacılar tarafından çeşitli TOK (% ağırlık) aralıkları önerilmiştir (Çizelge 2.1)

Çizelge 2.1. Kayaçların TOK sınır değerleri ve petrol potansiyelleri

<i>Çalışmacılar</i>	TOK (% ağırlık)	Petrol Potansiyeli
<i>Thomas (1979)</i>	<0,5	Zayıf
	0,5-1,0	Orta
	1,0-2,0	İyi
	2,0-4,0	Çok İyi
<i>Kraus ve Parker (1979)</i>	>4,0	Mükemmel
	<0,5	Zayıf
	0,5-1,0	Orta
	>1,0	İyi
<i>Tissot ve Welte (1984)</i>	0,1-0,5	Zayıf
	0,5-1,0	Orta
	1,0-2,0	İyi
	2,0-10,0	Zengin
<i>Peters (1986)</i>	0,1-0,5	Zayıf
	0,5-1,0	Orta
	1,0-2,0	İyi
	>2,0	Çok İyi
<i>Jarvie (1991)</i>	<0,5	Yetersiz
	0,5-1,0	Orta
	>1,0	Yeterli
<i>Peters ve Cassa (1994)*</i> <i>* Olgunlaşmamış kaynak kayaçlarda kullanılmaktadır.</i>	<0,5	Zayıf
	0,5-1,0	Orta
	1,0-2,0	İyi
	2,0-4,0	Çok İyi
	>4,0	Mükemmel

2.1.2. Hidrojen İndeksi (HI)

S₂ değerinin organik karbon miktarına oranı hidrojen indeksini vermektedir (Katz, 1983) ve şu şekilde hesaplanmaktadır (Jarvie, 1991):

$$HI = S_2 \times 100 / TOK$$

(mg HC/g TOK) (mg HC/g kayaç) (% ağırlık)

Hidrokarbon üretimi için mevcut olan hidrojen miktarı, hidrojen indeksi ve organik madde konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi belirlemede kritik bir rol oynamaktadır (Katz, 1983). Kaynak kayaçların petrol üretme kapasitesinin belirlenmesinde en önemli faktör kerojen içerisindeki hidrojenin miktarıdır. Hidrojen miktarını değerlendirmek için faydalanılan en yaygın yaklaşımlardan biri Hidrojen indeksinin kullanılmasıdır (Baskin, 1997). Dolayısıyla HI değerlerine göre kayaçların üretebileceği hidrokarbon türü belirlenebilmektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Baskin (1997)'e göre HI değerlerine karşılık gelen hidrokarbon türleri

Hidrokarbon Türü	HI (mg HC/g TOK)	S ₂ /S ₃
Gaz	<100	<3
Gaz ve Petrol	100-200	3-5
Petrol ve Gaz	200-350	5-10
Petrol	>350	>10

Petrolün hidrojen bakımında zengin olması sebebiyle hidrojen zengin organik madde genellikle hidrojen fakir organik maddeden daha fazla petrol üretmektedir (Baskin, 1997). Kerojen içindeki mevcut hidrojen tükendikten sonra kayaç içerisinde karbon kalsa dahi üretim durmaktadır. Dolayısıyla, hidrojen bakımından zengin organik madde içeren kayaçlar iyi potansiyel kaynak kayaçlardır (Baskin, 1997). Hidrojen bakımından fakir olan Tip III kerojen, kerojen mineral karışımının ağırlıkça yaklaşık % 20'sine karşılık gelse dahi yeterli miktarda hidrokarbon üretememektedir (Katz, 1983). Bu sebeple HI değerleri kayaç içerisindeki organik maddelerin türleri hakkında bilgi vermektedir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Jones (1984) ve Peters ve Cassa (1994)'e göre organik maddelerin sahip oldukları HI değerleri

Hidrojen İndeksi	Organik Madde Türü
<50	Tip IV
50-200	Tip III
200-350	Tip II/III Karışık
350-700	Tip II
>700	Tip I

2.1.3. Oksijen İndeksi (OI)

S₃'ün organik karbon miktarına oranı oksijen indeksini vermektedir (Katz, 1983) ve şu şekilde hesaplanmaktadır (Peters, 1986):

$$OI = S_3 \times 100 / TOK$$

(mg CO₂/g TOK) (mg CO₂/g kayaç) (% ağırlık)

Oksijen indeksi ile her bir gram TOK içerisindeki miligram cinsinden karbondioksit miktarını başka bir deyişle organik maddeden üretilebilecek karbondioksit miktarını göstermektedir (Dembicki, 2016). S₃ ölçümleri, öğütme işleminin karbonat minerallerinin karışmasına veya kerojen oksidasyonuna neden olabileceği için diğer Rock-Eval parametreleri kadar güvenilir değildir. S₃ sonuçlarının güvenilir olmadığı durumlarda HI-OI grafiği yerine HI-T_{max} grafiği tercih edilmelidir (Peters and Cassa, 1994).

Kerojen tiplerinin belirlenmesinde HI'dan sonra kullanılan bir diğer parametre OI'dir. Hidrojen indeksinin aksine organik karbon içeriğinin artmasıyla birlikte oksijen indeksi düşmektedir (Katz, 1983). Dolayısıyla Tip III kerojen, Tip I kerojene göre daha yüksek OI değerine sahiptir.

2.1.4. PI (S_1/S_1+S_2)

S_1 'in S_1 ve S_2 toplamına olan oransal değeri üretim indeksini (PI) vermekte (Clementz, 1979) ve üretilebilecek toplam hidrokarbon miktarı içerisindeki üretilmiş hidrokarbonun miktarını göstermektedir (Dembicki, 2016).

Çizelge 2.4. Peters (1986)'a göre T_{max} aralıklarına karşılık gelen PI değerleri

Olgunluk Seviyesi	PI [$S_1/(S_1+S_2)$]	T_{max} (°C)
Petrol Penceresinin Başlangıcı	~0,1	~435-445
Petrol Penceresinin Sonu	~0,4	~470

PI eğrilerindeki anomalilerde göç etmiş hidrokarbonlar son derece küçük miktarlarda tespit edilebilmektedir. Bu anomali, çamur loglarındaki gaz eğrileri ile korele edildiğinde kuyuda veya stratigrafik olarak üretilebilir hidrokarbonların coğrafi yakınlığına işaret edebilmektedir (Clementz, 1979).

2.2. Organik Porozitenin Hesaplanmasında Kullanılan Parametreler

Çalışmanın nihai hedefi olan organik porozite değerlendirmesinde örneklerin orijinal TOK, HI, S_2 gibi oluşum ortamına ve organik madde tipine ait bilgi veren değerlerinin tespit edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu parametreler Jarvie (2005; 2012) tarafından şu şekilde formülize edilmiştir:

$$\text{Orijinal TOK (TOK}_o\text{)} = \text{TOK}_g / (1 - (\text{HI}_{as} / \text{HI}_{max}))$$

$$\% \text{ TOK}_{ch} = \text{TOK}_o - \text{TOK}_g$$

$$S_{2o} = (\text{TOK}_{ch} / k) + S_{2g}$$

$$\text{HI}_o = (S_{2o} / \text{TOK}_o) \times 100$$

$$\% \text{ TR} = (\text{HI}_o - \text{HI}_g) / \text{HI}_o$$

$$PY = S_{2o} \times 21,87$$

TOK_o : Olgunlaşma Öncesi Toplam Organik Karbon Miktarı

TOK_g : Günümüzdeki Toplam Organik Karbon Miktarı

HI_{as} : Organik Madde Tipine Göre Kabul Edilen Hidrojen İndeks Değeri

HI_{max} : Maksimum Hidrojen İndeks Değeri (1176 mg HC/g TOK*)

* Hidrokarbon üreten kaynak kayalarda yaklaşık karbon oranının yaklaşık %85 olduğu kabul edildiğinden HI_{max}'ın değeri 1/0.085 veya 1176 mg HC/g TOK olarak kabul edilmektedir (Jarvie, 2012).

% TOK_{ch} : Toplam Organik Karbon Miktarındaki Değişim Oranı

S_{2o} : Olgunlaşma Öncesi S₂ Miktarı

S_{2g} : Günümüzdeki S₂ Miktarı

k : Hidrokarbonlar İçerisindeki Ortalama Karbon İçeriği (0.083)

% TR : Organik Madde Dönüşüm Oranı

PY : Potansiyel Verim

Organik Porozite tespiti Kuchinskiy (2013) tarafından şu şekilde formülize edilmiştir:

$$\text{Organik Porozite (\% } V_{\text{ker}}) = [0,066 \times (HI_o - HI_g) - 3,01]$$

% V_{ker} : Organik Porozitenin Organik Madde İçerisindeki Toplam Poroziteye Oranı

HI_o : Orijinal Hidrojen İndeks Değeri

HI_g : Günümüzdeki Hidrojen İndeks Değeri

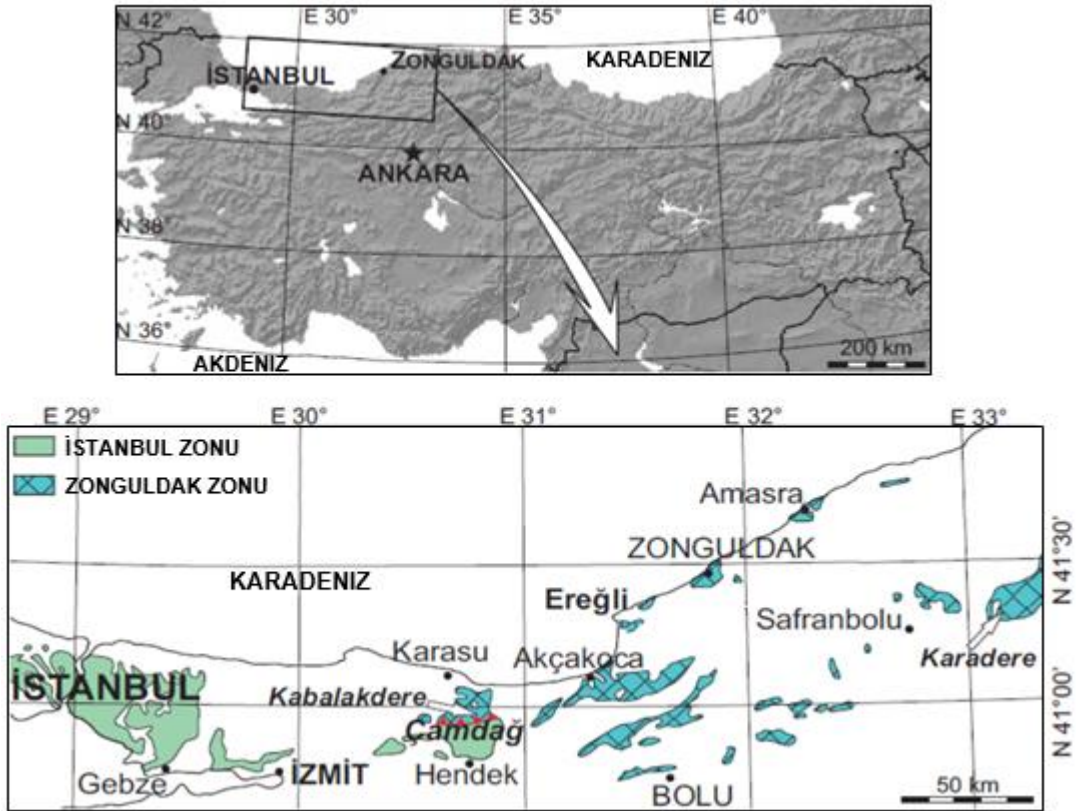
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Orojenik kuşakların evriminin anlaşılması için tektonik birliklerin sınıflandırılması ve geliştikleri tektonik ortamların birbirleri ile olan ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Alp-Himalaya orojenik kuşağı içinde kritik bir bölge olan Türkiye'nin de tektonik birlik sınıflaması 1800'lü yıllarda başlamıştır. Yapılan birçok sınıflamada doğu-batı uzanımına sahip tektonik kuşaklar belirlenerek köken ve ilişkilerine dair farklı yorumlar getirilmiştir (Tüysüz, 1993).

Ketin (1966) orojenik gelişimine göre Anadolu'yu dört tektonik birliğe ayırmıştır. Bunlar kuzeyden güneye doğru Pontid, Anatolid, Torid ve Kenar Kıvrımları Kuşağı olarak sıralanmaktadır. Pontid birliği Kuzey ve Kuzeybatı Anadolu Sıradağlarını, Anatolid birliği İç Anadolu Sıradağlarını, Toros birliği Güney ve Doğu Anadolu Sıradağlarını, Kenar Kıvrımları Kuşağı ise Güneydoğu Anadolu Sıradağlarını kapsamaktadır (Ketin, 1959;1966). Ana hatlarıyla Ketin (1966)'in yaptığı sınıflamaya uygun olarak Türkiye'nin plaka tektoniği ilkelerine göre hazırlanan ilk tektonik sınıflama ise Şengör ve Yılmaz (1981) tarafından gerçekleştirilmiştir. Şengör ve Yılmaz (1981)'in sınıflamasında Pontid birliği, kuzeyde Rodop-Pontid Fragmanı güneyde ise Sakarya Kıtası olarak ikiye ayrılmış ve bu iki bloğu ayıran İnter-Pontid sutureunun varlığı ortaya konarak beş tektonik birliğe ayrılmıştır. Neo-Tetisin kuzey kolu olan İnter-Pontid sutureu aynı zamanda Rodos-Pontid Fragmanı'nın bir kısmını oluşturan İstanbul Zonu ile Sakarya Kıtasını da birbirinden ayırmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981).

Tez kapsamında çalışma alanı olarak belirlenen Sakarya-Hendek yöresinin de içerisinde yer aldığı İstanbul Zonu, literatürde "İstanbul Paleozoyiği", "İstanbul-Zonguldak Paleozoyik İstifi", "Batı Pontid Temeli" veya kendi içinde ikiye ayrılarak "İstanbul Zonu" ve "Zonguldak Zonu" olarak da incelenmektedir. İstanbul Zonu'nu jeolojik olarak Pontidlerin diğer kesimlerinden ayıran özelliği Paleozoyik yaşlı çökel istifine sahip olmasıdır. Bu Paleozoyik yaşlı istif Kambriyen'den Karbonifer'e kadar değişen farklı yaş ve litolojik kayaçları içermektedir. Geniş bir yayılım alanına sahip olan bu litolojiler stratigrafik ilişkileri ve geliştikleri ortamlar bakımından da farklı özellikler sergilemektedir (Görür ve ark., 1995).

Kuzeybatı Anadolu'daki Siluriyen, Alpin İstanbul-Zonguldak Zonu'nun bir parçasıdır. Zon, güneyde İnta-Pontid süturu ile Sakarya zonundan ayrılırken kuzeyde Para-Tetis okyanusunun kalıntıları olan Karadeniz Baseni ile sınırlandırılmaktadır (Sachanski ve ark., 2012). Variscan Orojenezi sırasında güney Avrupa veya Lavrasya ile birleşen Gondvana kökenli mikro kıta olarak kabul edilmektedir (Sachanski ve ark., 2007; 2012). Farklı araştırmacılar tarafından güney Baltık kökenli olduğu görüşü de ileri sürülmektedir. Geçmişte yapılan çalışmalarda Paleozoyik istifi, Kadomian temel üzerine gelmiş tek bir oluşum (Şengör ve ark., 1984) olarak görülmüşse de yakın zamanda Paleozoyik stratigrafisi üzerine yapılan incelemeler, doğu ve batı bölgelerdeki litostratigrafik birimlerin sadece çökelim ortamındaki değişiklikler ile açıklanamayacağını göstermiştir (Sachanski ve ark., 2012). Göncüoğlu ve Kozur (1998) tarafından da Paleozoyik istiflerin batı ve doğu kesimlerde iyi ayrı alanı temsil etmesi gerektiği ileri sürülmüş ve İstanbul çevresindeki Paleozoyik-Mezozoyik istifini temsil eden kısmı İstanbul Zonu; Çamdağ, Zonguldak, Amasra ve Safranbolu bölgelerinde görülen kısmı ise Zonguldak Zonu olarak ikiye ayrılmıştır (Şekil 3.1).



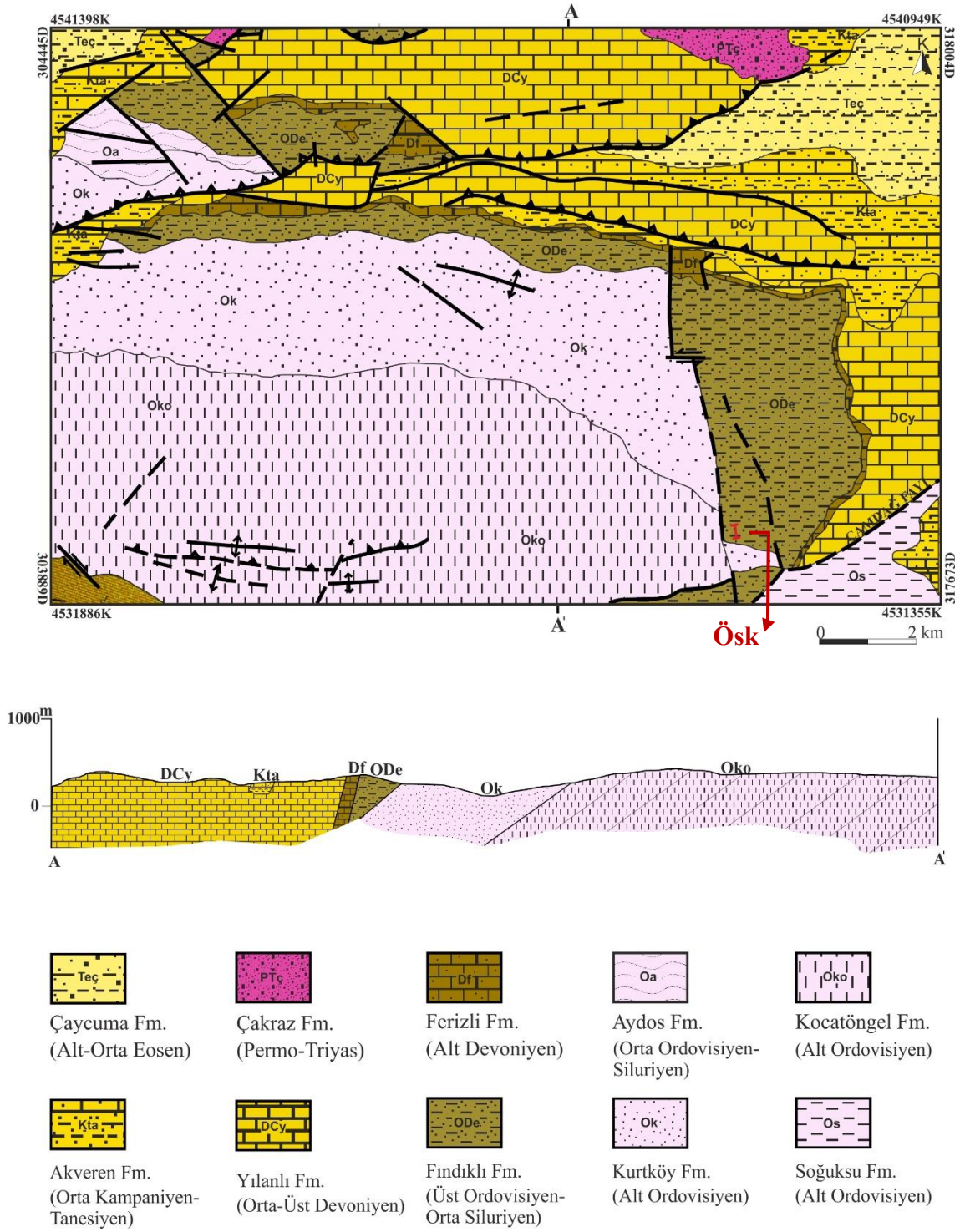
Şekil 3.1. İstanbul ve Zonguldak Zonlarının yüzlek verdiği alanlar (Sachanski ve ark., 2012'den alınmıştır.)

Litostratigrafik açıdan önemli farklılıklar içeren her iki zonda da Siluriyen kayaçları yaygın olarak izlenmektedir. İstanbul Zonu'nda Siluriyen genel olarak arkozik kumtaşları ve kalın resif kireçtaşları ile temsil edilirken, Zonguldak Zonu'nda tamamen farklı bir Siluriyen istifisi görülmekte olup Ereğli-Gülüç ve Safranbolu-Karadere bölgelerine kadar devamlılık gösteren Siluriyen, kireçtaşı ara tabakalı silisiklastikler ve graptolitli siyah şeyller ile temsil edilmektedir (Sachanski ve ark., 2007).

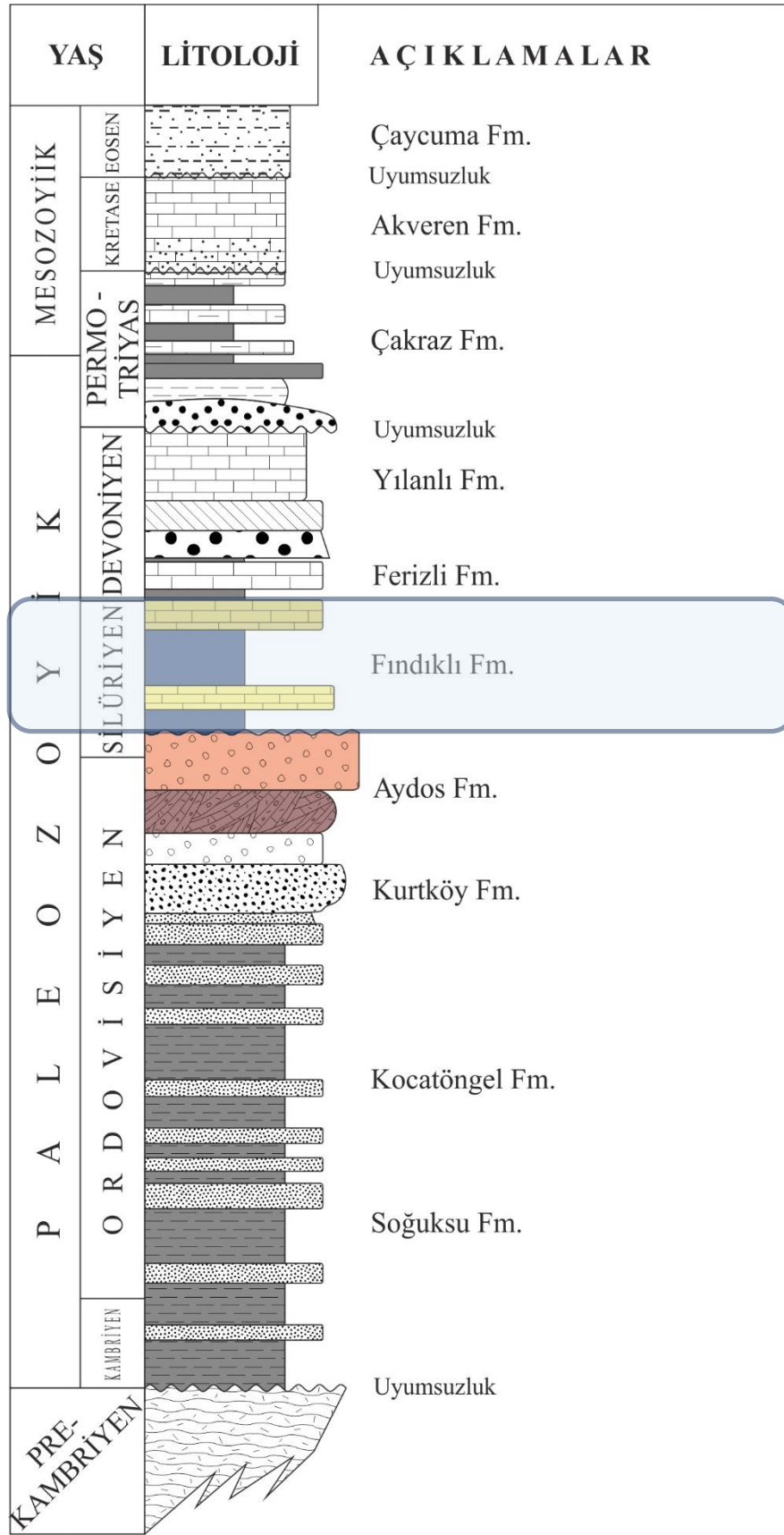
İstanbul ve Zonguldak Zonu, Erken Paleozoyik sırasında Peri-Gondvana kuzeyinde ortak, Paleozoyik-Mezozoyik dönemlerde farklı geçmişe sahiptir. İstanbul Zonu'nda Erken Triyas'ta transgresyon ve buna bağlı Orta Triyas'ta derin deniz çökelleri ile Geç Triyas'ta filişli silisiklastik türbiditler ve olistostromlar görülmektedir. Triyas gelişimi Karayaka Okyanusu'nun kuzey kısmına benzerlik göstermektedir. İstanbul Zonu'ndaki en yaşlı kayaçları Ordovisiyen silisiklastik çökelleri oluşturmaktadır. Geç Ordovisiyen (Karadosiyen-Asgiliyen) ostrakod ve brakiyapod faunasının içerdiği *Piretella* (Ostracoda) tipik olarak Baltık-İskandinav bölgesinde, *Klimphores* (Ostracoda) yaygın olarak Peri-Gondvana kökenli Avrupa ve Suudi Arabistan'da, *Eochilina* (Ostracoda) cinsi de sadece Siberya ve Michigan'da bulunmaktadır. Brakiyapodlar da benzer şekilde Baltık, Bohemya ve Appalachian bölgeleriyle ilişkilidir. Ordovisiyen'in belli noktalarda Peri-Gondvana (soğuk sular) ile ilişkili olsa da yoğunlukla Kuzey Avrupa ve Siberia/Kuzey Amerika (sıcak sular) ile ilişkili sıcak su faunasına sahip olduğu görülmektedir (Göncüoğlu ve Kozur, 1998). Siluriyen'de Landoveri boyunca sığ deniz klastikleri çökelirken Venlok ve Ludlov'da sığ denizel kireçtaşları çökelmiştir. Piridoli'de çok hafif bir derinleşme gerçekleşmesine rağmen Emsian (Erken Devoniyen)'e kadar sığ denizel kireçtaşları çökelmeye devam etmiştir. İstanbul Zonu'nda Siluriyen istifisi yaklaşık 800 m kalınlığa sahiptir (Sachanski ve ark., 2012). Üst Emsian-Üst Devoniyen baskın şekilde kireçtaşı olmak üzere pelajik kayaçlardan oluşmaktadır. İstanbul Zonu'ndaki en genç denizel Paleozoyik çökellerinde Erken Başkiriye yaşlı fosiller saptanmıştır. Erken Karbonifer filişleri ve termal alterasyon seviyesi (CAI (Konodont Alterasyon İndeksi) =4), İstanbul Zonu'nun Hersiniyen Kuşağı'na ait olduğunu göstermektedir. Ordovisiyen-Erken Devoniyen'deki sığ denizel çökellerde hiyatus görülmemesi de Siluriyen ve Devoniyen arasında Kaledoniyen hareketlerinde etkilenmediği işaret etmektedir (Göncüoğlu ve Kozur, 1998).

Zonguldak Zonu'nda Prekambriyen yaşlı gnayslar, Tremadosiyen yaşlı Peri-Gondvana soğuk su formlarının görülmediği Acritarch'lar içeren silisiklastik kayaçlarla üzerlenmektedir. Ardından Arenig-Erken Llanvirn (Orta Ordovisiyen) boyunca koyu gri renkli graptolit ve trilobitli çamurtaşları ve siltaşları gelmektedir. Bu durum basenin hızlı bir şekilde derinleştiğine işaret etmektedir. Bu birimleri üzerleyen kireçtaşı ve çamurtaşları Geç Ordovisiyen yaşlı konodontlar (CAI=5-6) ve Acritarch içermektedir. Siluriyen esas olarak siyah-gri renkli graptolitli şeyl ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Siluriyen yaşlı tabakaların üzerine uyumsuz olarak Devoniyen silisiklastikleri devamında Erken-Geç Devoniyen yaşlı konodontlar (CAI=2-2,5) içeren sığ denizel kireçtaşları ve çamurtaşları gelmektedir. Sığ denizel kısmen dolomitik kireçtaşları Erken Karbonifer'de de devam etmektedir ve en genç Paleozoyik istifleri Erken Namuriyen yaşlı konodontları içeren kireçtaşlarıdır (CAI=1,5). Geç Karbonifer, Permien ve Triyas'ta karasal tabakalar görülmektedir. Orta Ordovisiyen'den Geç Siluriyen'a kadar olan derin deniz gelişimi, tabakaların belirgin termal alterasyonu ve ardından altere olmayan sığ deniz tabakaların çökmesi Moezya platformuna benzerlik taşımaktadır. Hersiniyen zamanındaki duraylı sığ deniz şelfinin ise Avrupa'nın güney kenarıyla ilişkili olabileceği ileri sürülmektedir (Göncüoğlu ve Kozur, 1998).

Çalışma alanının yer aldığı Hendek yöresinde Şekil 3.1.'de de görüldüğü gibi hem İstanbul hem de Zonguldak zonuna ait istifler yer almaktadır. Ancak birimlerin oluşum ortamları, litolojileri ve en önemlisi Siluriyen yaşlı birimlerde yer alan graptolitler alanın Zonguldak Zonu'na ait olduğunu göstermektedir. Siluriyen yaşlı şeyllerden oluşan Fındıklı Formasyonu'nun da yer aldığı bölgenin sadeleştirilmiş jeoloji haritası Şekil 3.2'de genelleştirilmiş kesiti Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.2. Fındıklı Formasyonu ölçülü stratigrafik kesitinin yapıldığı MTA Adapazarı B17 paftası jeoloji haritası (Gedik ve Aksay, 2002'den değiştirilerek alınmıştır.)



Şekil 3.3. Çalışma alanındaki stratigrafik birimlerin genelleştirilmiş kesiti (Ölçeksiz, Aydın ve ark., 1987'den değiştirilerek alınmıştır)

3.1. Soğuksu Formasyonu (Os)

Formasyon adını Hendek ilçesinin kuzeybatısında yer alan Soğuksu köyünden almaktadır. Çamdağ alanında yüzeyleyen güney ve kuzey olmak üzere iki Paleozoyik istif bulunmaktadır (Gedik ve Aksay, 2002). Soğuksu Formasyonu güney istifin tabanında yer almakta ve kuzey istiftteki Kocatöngel ile Kurtköy Formasyonlarına karşılık gelmektedir (Gedik ve Aksay, 2002; Gedik ve Önalın, 2001; Aydın ve ark., 1987).

İçerisinde paralel, dalgalı, çapraz laminalanma gösteren seviyelerin görüldüğü birim grimsi yeşil-mor renkli, ince-orta tabakalı ince taneli kumtaşı ve şeyl arıalanmasından oluşmaktadır (Tüysüz ve ark., 2004; Gedik ve Önalın, 2001). Alt dokanak ilişkisi görülmemekte (Gedik ve Aksay, 2002; Gedik ve Önalın, 2001; Aydın ve ark., 1987) ve arazi verilerine dayalı olarak en az 2500 m kalınlığa sahip olduğu düşünölmektedir (Gedik ve Önalın, 2001). Soğuksu Formasyonu'nda fosil bulgusu olmadığından stratigrafik olarak Orta Ordovisiyen-Geç Devoniyen yaşlı Fındıklı Formasyonu'nun altında yer alması (Gedik ve Önalın, 2001) ayrıca Karadere'deki Erken Ordovisiyen yaşlı Bakacak Formasyonu ile aynı konuma sahip olması birimin yaşının Erken Ordovisiyen olabileceğini göstermektedir. (Gedik ve Önalın, 2001; Gedik ve Aksay, 2002).

Soğuksu Formasyonu'nun alt seviyelerindeki kuvars bakımından zengin ince-orta tabakalı kumtaşları, paralel ve dalgalı laminalı şeyl arıalanmaları, alt seviyelerin şelf ortamında oluştuğuna işaret etmektedir. Stratigrafik olarak eşdeğeri olan Bakacak Formasyonu'nda görölen denizel fosiller de bu çökellerin sığ denizel bir ortamda geliştiğini göstermektedir (Gedik ve Önalın, 2001).

3.2. Kocatöngel Formasyonu (Oko)

Kumtaşı-şeyl arıalanmasından oluşan Formasyon en iyi mostralarını, Hendek ilçesi kuzeybatısında bulunan Kocatöngel köyü çevresindeki Kocatöngel deresi ve Bıçkı deresi arasında bulunan antiklinalin çekirdeğinde göstermektedir (Gedik ve Önalın, 2001; Gedik ve Aksay, 2002). Litolojik benzerlik ve stratigrafik konumu sebebiyle Karadere vadisinde bulunan Bakacak Formasyonu'nun alt seviyelerine eşdeğeri olarak görölmektedir (Gedik ve Önalın, 2001).

Kocatöngel Formasyonu yeşil-grimsi yeşil renkli, paralel ve dalgalı laminalı şeyl ve ince taneli kumtaşı arıalanmasından oluşmaktadır (Gedik ve ark., 2002; Gedik ve Aksay,

2002; Tüysüz ve ark., 2004; Gedik ve Önalın, 2001; Aydın ve ark., 1987). Birimde üste doğru kumtaşı oranı artarken şeyl oranı azalmakta ve tedrici olarak Kurtköy Formasyonu'na geçiş göstermektedir. Birimin tabanı görülmemekte ancak kalınlığının arazi gözlemlerine göre 1000 m dolayında olduğu düşünölmektedir (Gedik ve Aksay, 2002).

Formasyonda egemen olarak paralel laminalı şeyllerin görölmesi ayrıca kumtaşlarının kirlı ve ince taneli olması, birimin düşük enerjili su koşullarında çökeldiğini göstermektedir. Eşdeğeri olarak kabul edilen Bakacak Formasyonu'nda bulunan acritarch ve brakıyapod fosilleri, Kocatöngel Formasyonu'nun da denizel ortamda çökeldiğinin göstermektedir. Bakacak Formasyonu'nun regresif istif göstermesi ve devamında gelen Kurtköy Formasyonu'nun karasal çökellerden oluşması, birimin çökeldiğı ortamın delta ilerisi derin şelf olabileceğini işaret etmektedir (Gedik ve Önalın, 2001). Paleozoyik istif içerisinde Kocatöngel Formasyonu'ndan daha üst kesimlerde bulunan Fındıklı Formasyonu'nun en yaşlı düzeyinin Orta Ordovisiyen olması ve fosil bulgusuna göre Erken Ordovisiyen yaşlı Bakacak Formasyonu'nun alt seviyelerine karşılık gelmesi sebebiyle Kocatöngel Formasyonu'nun yaşlı Erken Ordovisiyen olarak kabul edilmektedir (Tüysüz ve ark., 2004; Gedik ve Önalın, 2001; Aydın ve ark., 1987; Gedik ve Aksay, 2002).

3.3. Kurtköy Formasyonu (Ok)

Birim pembemsi mor-gri renkli çakıllı konglomera, pembe arkozik arenit, feldispatlı litarenit ve arkozlar ile aynı renkte şeyllerden oluşmaktadır (Aydın ve ark., 1987; Gedik ve Önalın, 2001; Gedik ve Aksay, 2002; Tüysüz ve ark., 2004). En iyi mostralarını verdiğı yerler, Hendek ilçesinin kuzeybatısında bulunan Çamdağ'ın kuzeyindeki Dereköy köyü çevresi, Bıçkı dere, Yayla dere ile Kabalak deredir (Gedik ve Önalın, 2001; Gedik ve Aksay, 2002). Çamdağ fayı ile ayrılan Paleozoyik istifin kuzeyinde bulunan birim, stratigrafik olarak güneydeki Soğuksu Formasyonu'nun üst kesimlerine karşılık gelmektedir (Gedik ve Aksay, 2002).

Altta Kocatöngel, üstte Aydos Formasyonu ile tedrici geçişe sahip olan birimin kalınlığı yaklaşık 1800 m civarındadır (Gedik ve Önalın, 2001; Gedik ve Aksay, 2002). Fosil içermeyen bir birim olması sebebiyle alt-üst dokanak ilişkisine göre yaşlı belirlenmiştir (Aydın ve ark., 1987). Karadere'deki Erken Ordovisiyen yaşlı Bakacak Formasyonu'nun

üst kesimlerinde karşılık gelmesi Kurtköy Formasyonu'nun da yaşının Erken Ordovisiyen olabileceğini göstermektedir (Gedik ve Önalın, 2001; Gedik ve Aksay, 2002; Tüysüz ve ark., 2004).

Üste doğru incelen tane boyuna sahip istifler şeklinde kumtaşı-şeyl aralanmaları, kumtaşı tabanındaki aşınma yüzeyleri ve içlerindeki kırmızımsı çamurtaşı parçaları ayrıca kumtaşlarındaki çapraz tabakalar ve şeyllerdeki çapraz laminalar birimin akarsu ortamında çökeldiğini göstermektedir (Gedik ve Önalın, 2001).

3.4. Aydos Formasyonu (Oa)

İstanbul Aydos Dağı'nda yüzeyleyen birim ilk olarak Aydos kuvars arenit birimi olarak adlandırılmış ancak daha sonra Aydos Formasyonu adını almıştır (Gedik ve Önalın, 2001; Gedik ve Aksay, 2002; Tüysüz ve ark., 2004). Çamdağ fayı tarafından ayrılan iki Paleozoyik istifin her iki kısmında da bulunmaktadır. Kuzey istifte Yayla Formasyonu tabanına ve Kartal Formasyonu Eskibağlar üyesine; güney istifte Karadere Formasyonu'na karşılık gelmektedir (Gedik ve Aksay, 2002).

Aydos Formasyonu beyaz-açık gri ile kırmızı-pembe renkli ince-kalın tabakalı, silisli çimentoya sahip kuvars kumtaşı ve mercekli yapıda konglomeralardan oluşmaktadır. Güney istifte bordo şeyl-çamurtaşı aralanmaları içermektedir (Gedik ve Aksay, 2002).

Araştırmacılar tarafından formasyonun farklı kesimlerde yapılan çalışmalar doğrultusunda formasyonun yaşının görülen Tetragraptus fosillerine göre Erken Ordovisiyen, İstanbul kesiminde girik olduğu düşünülen Büyükdere şeyllerinde görülen Monograptus fosillerine göre Erken Siluriyen, Conochitina fosillerine göre ise Ordovisiyen ortası-sonu olabileceği ileri sürülmüştür. Bu veriler ve dokanak ilişkileri dikkate alınarak birimin yaşı Ordovisiyen-Erken Siluriyen olarak kabul edilmiştir (Aydın ve ark., 1987). Birimin kalınlığı Çamdağ alanında 50-200 m arasında (Gedik ve Önalın, 2001; Tüysüz ve ark., 2004) görülürken Karadere vadisinde 510 m'ye ulaşmaktadır (Tüysüz ve ark., 2004).

Kambriyede denizel ortam, Ordovisiyen başında sığ denizel-geçiş ortamına, Orta Ordovisiyen-Siluriyen başında karasal-geçiş ortamına dönmüştür. Bu nedenle istif regresif seri olarak adlandırılmıştır (Aydın ve ark., 1987).

3.5. Fındıklı Formasyonu (Ode)

Çalışma alanı içerisinde yer alan Fındıklı Formasyonu, farklı araştırmacılar tarafından Çamdağ fayı ile ikiye ayrılan Paleozoyik istifin kuzey kısmında Yayla ve Bıçkı Formasyonları, Kartal Formasyonu, Kabalakdere Formasyonu; güney kısmında Gözdağ Formasyonu ve Ereğli Formasyonu adı altında incelenmiştir (Gedik ve Önalın, 2001; Gedik ve Aksay, 2002)

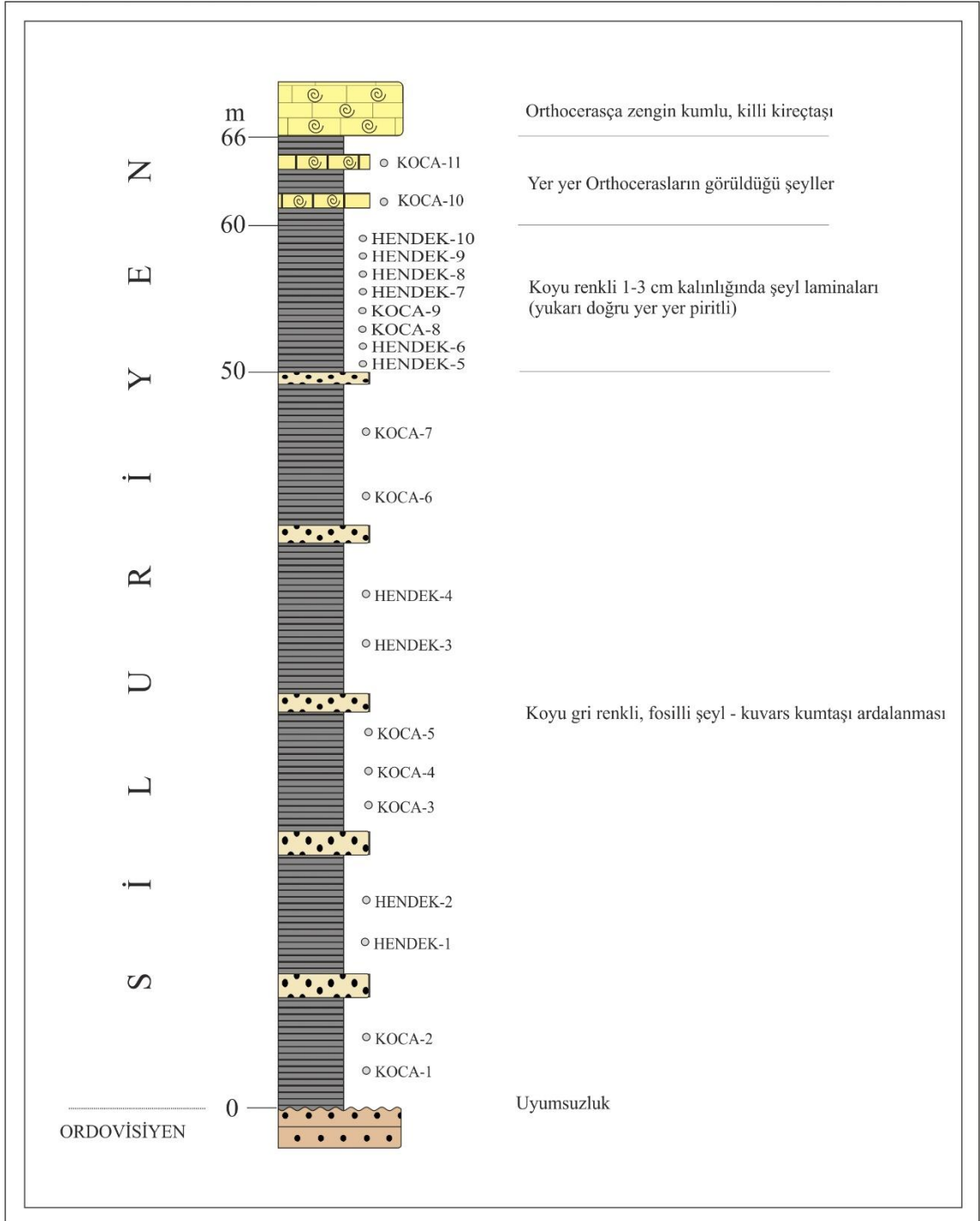
Aydın ve ark. (1987), Gedik ve Önalın (2001) ve Gedik ve Aksay (2002) tarafından yapılan çalışmalarda yeşilimsi gri, gri ve siyah renkli, ince-orta tabakalı, paralel laminalı şeyller ile seyrek kumtaşı ardalanmasından oluştuğu ayrıca orta kesimlerinde *Orthoceras*'lı kireçtaşları ve Ereğli (Zonguldak) bölgesinde şeyllerin *Monograptus* (*Graptolithina*) cinsi fosiller içerdiği belirtilmiştir. Formasyonun orta kesimlerinde görülen merceksel kireçtaşlarının altında ve üstündeki şeyllerde görülen *Dicellograptus cf. complanatus* (Geç Ordovisiyen), *Monograptus aff. pridon* (Erken Siluriyen), *Monograptus sp.*, *Orthograptus sp.* ve *Diplograptus sp.* fosilleri sebebiyle birimin yaşı için Geç Ordovisiyen-Erken Siluriyen aralığı önerilmiştir.

Sachanski ve ark. (2012) tarafından Fındıklı Formasyonu'na ait gri çamurtaşlarının Ereğli-Gülüç yöresinde verdiği mostralardan alınan graptolitler birimin yaşını Venlok (Siluriyen) olarak vermiştir. Ayrıca formasyon üç üyeye ayrılarak siyah şeyl üyesi olarak kabul edilen siyah graptolitli şeyllerin bulunduğu seviyelerin yaşı için Llandoverly, şeyl-silttaşı üyesi olarak kabul edilen siyah şeyl ve açık gri silttaşlarının bulunduğu seviyelerin yaşı için Venlok-Ludlov, şeyl kireçtaşı üyesi olarak kabul edilen siyah şeyl ve *Orthoceras*'lı kireçtaşlarının bulunduğu seviyelerin yaşı için ise Piridoli önerilmiştir. Bu nedenle Fındıklı Formasyonu'nun Hendek-Kocaali kesitinin alındığı seviyelerinin yaşının Orta-Geç Siluriyen olabileceği değerlendirilmektedir.

Fındıklı Formasyonu'nun sığ denizel çökellerin üzerine gelmesi, alt seviyelerinde çapraz laminalanmaların görülmesi ve tabakalı kuvars kumtaşlarının laminalı şeyller ile ardalanması birimin çökelmeye başladığı ortamın sığ şelf olduğunu göstermektedir. Formasyonun orta kesimlerine doğru şeyl oranının artması, renginin siyahlaşması ve kumtaşı tabakalarının incelerek azalması ortamın düşük enerji koşullarında olduğunu ve şelfin derinleştiğini göstermektedir. Ayrıca yer yer *Orthoceras*'lı kireçtaşlarının görülmeye başlanması ortamın havza yamacına geçmeye başladığına işaret ederken

devamında siyah laminealı şeyllerin egemen hale gelmesi ortamın daha da derinleştiiğini göstermektedir. Formasyonun en üst seviyelerinde kumtaşlarıyla birlikte brachiopod fosillerinin de tekrar artmaya başlaması ve üzerine gelen algal ve oolitik birimleri içeren Ferizli Formasyonu, ortamın formasyonun üst seviyelerine doğru sığlaşarak şelf çökellerine dönüştüğünü göstermektedir (Gedik ve Önalın,2001).

Tez çalışması kapsamında Fındıklı Formasyonu'ndan alınan 66 metrelik ölçülü stratigrafik kesitte geçilen seviyeler sığ denizelden derin denize doğru geçişi net bir şeklide göstermektedir. Kesitin ilk 50 metresi 8-10 metrelik bol pelesipodlu şeyller ile 3-4 m kalınlığında başlayan ve azalarak devam eden kuvars kumtaşı araldanması şeklinde devam etmektedir. 50-60 metre arası şeyl miktarı artarak masif şeyllere geçişi yapmakta ve 60-66 metre arası *Orthoceras*'lı şeyller görölmektedir (Şekil 3.4, Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Adapazarı G-25 paftasında yüzeyelen Fındıklı Formasyonu'nun ölçülü stratigrafik kesiti



Şekil 3.5. Kocaeli-Hendek Siluriyen birimlerinin ölçülü stratigrafî kesiti a) Pelesipodlu birim, b) Masif görünümlü şeyl, c) *Orthoceras* içeren karbonatlı şeyller

3.6. Ferizli Formasyonu (Df)

Birim, Gedik ve Önalın (2001) tarafından Sakarya ilinin kuzeydoğusunda yer alan Ferizli beldesinde en iyi mostralarını vermesi sebebiyle Feriz Formasyonu olarak

adlandırılmıştır. Daha önce birçok araştırmacı tarafından Kartal Formasyonu olarak veya Kartal Formasyonu içinde değerlendirilmiştir (Gedik ve Önalın, 2001).

Birim, alt kısımda kırmızı-gri renkli, ince-orta tabakalı silttaşı, şeyl ve kumtaşı ar dalanması ile başlamakta, üst kısımlara doğru kırmızı algal demirli seviyelerin yer aldığı dolomitik kireçtaşı- kumtaşı ar dalanması ile devam etmekte ve oolitik demir cevherleri (hematit) ile son bulmaktadır. Üstte Yılanlı, altta Fındıklı Formasyonu ile tedrici geçiş gösteren birimin kalınlığı 100 m civarındadır (Gedik ve Önalın, 2001; Gedik ve Aksay, 2002; Tüysüz ve ark., 2004).

Daha önce birimdeki demirli seviyelerde görülen *Uncinulus sp.*, *Megastrophia sp.* ve *Solenopora* fosillerine göre (Gedik ve Önalın, 2001) Orta Devonyen yaşı verilmiş (Kaya ve Birenheide, 1988;Gedik ve Önalın, 2001) ancak Aydın ve ark., (1987) tarafından demirli çökelleri içeren ve Kartal Formasyonu adı altında incelenen birimin yaşı Erken Devonyen olarak belirtilmiştir. Gedik ve Önalın (2001) tarafından örneklerde tespit edilen *Hysterolites sp.* ve Rhinconellid fosilleri ile de birimin Erken Devonyen yaşı olduğu ortaya koyulmuştur.

Formasyonun içerisindeki oolitik ve algal demir seviyeleri, brachiopod fosilleri ve kuvarsça zengin kumtaşları seviyelerinin içinde yer yer görülen çapraz tabakalanma, formasyonun oluşum ortamının orta-yüksek enerjili sığ shelf olduğunu göstermektedir (Gedik ve Önalın, 2001).

3.7. Yılanlı Formasyonu (DCy)

Saner ve ark., (1980) tarafından Bartın ilinin kuzeybatısındaki Yılanlı burnunda en iyi mostralarını vermeleri nedeniyle Yılanlı Formasyonu adı verilmiştir. Çamdağ fayı ile ayrılan Plaeozoyik istifin kuzeyinde Kurudere köyü, Yayla ve Kabalak dere civarında, güneyinde ise Mağara köyü kuzeybatında da görülmektedir (Tüysüz ve ark., 2004).

Saner ve ark., (1980)'nin çalışmasında içinde yer yer mercanlı resifal kireçtaşları görülen siyahımsı gri renkte, H₂S kokulu dolomitler şeklinde tanımlanmıştır. Birimin alt kısmında yeşilimsi gri renge sahip, ince-orta tabakalı şeyl-silt-kireçtaşı ar dalanması görülürken üst kısımlara doğru gri-siyah renkli, orta-kalın tabakalı kireçtaşı-dolomitik kireçtaşı-dolomit ar dalanmasına geçiş göstermektedir (Gedik ve Önalın, 2001; Gedik ve Aksay, 2002; Tüysüz ve ark., 2004).

Aydın ve ark. (1987) birimin alt ve üst dokanak ilişkilerine ve Bartın-Karadere'deki *Endothyra sp.*, *Caleisphaera sp.*, *Diplosphnerina sp.*, *Parathurammia dogmarera*, *Caleisphaera sp.*, *Girvanella cf. wetheredi*, *Radiosphaera sp.*, *Hyperamniua sp.*, *Athyris concestrica*, *Glossophylum bartni*, *Productella subaculate*, *Lithostrotion irregulare*, fosillerine göre Orta-Geç Devoniyen ve Erken Karbonifer yaşını vermiştir. Gedik ve Önalın (2001) ise çalışmalarında mercan fosillerinden yaş tayini yapılamaması ve Çamdağ'da formasyonun üst kısımlarının aşınmış olması sebebiyle Orta-Geç Devoniyen yaşını vermişlerdir. Formasyonun içerisinde mercan ve brakiyapod fosillerinin görülmesi şelf ve şelf yamaçlarında oluştuğunu göstermektedir (Gedik ve Önalın, 2001).

3.8. Çakraz Formasyonu (PTç)

Akyol ve ark. (1974) tarafından Bartın ili Amasra ilçesi doğusunda bulunan Çakraz köyü ve civarında tipik olarak yüzlek vermesi sebebiyle Çakraz kumtaşı olarak adlandırılmıştır. Aydın ve ark. (1987) çalışmasında aynı birim Çakraz Formasyonu adı ile incelenmiştir. Çamdağ alanında stratigrafik olarak aynı konumda ve yaklaşık aynı yaşa sahip benzer birimler Paralı veya Çamdağ Formasyonu olarak da adlandırılmıştır (Tüysüz ve ark., 2004).

Birim, kırmızı renkli karasal çamurtaşları ile ince-orta tabakalı, yer yer çakıllar içeren kumtaşları, kırmızısı kahve renkli çapraz laminalı silttaşları ve şeyllerden oluşmaktadır. Formasyonun alt seviyelerinde görülen yuvarlak, kötü boylanmalı çakıltaşları, üst seviyelere doğru azalmakta ve kumtaşı-çamurtaşı-kıltaşı ardalanmasına geçiş göstermektedir (Gedik ve Aksay, 2002; Tüysüz ve ark., 2004). Birimin kalınlığını Akyol ve ark. (1974) Çakraz dolaylarında 1200 m, Tüysüz ve ark. (2004) ise Çamdağ alanında görünür kalınlığın 1000-1500 m civarında olduğunu belirtmişlerdir.

Birimin yaşı Çamdağ alanında palinolojik veriler doğrultusunda Geç Permiyen, Kocaeli yarımadası ve Yığılca yöresindeki stratigrafik olarak aynı konumdaki benzer birimlerle karşılaştırıldığında ise Erken Triyas olarak belirlenmiştir. Farklı araştırmacılar tarafından alt-üst dokanak ilişkilerine ve palinolojik veriler göre birim Permiyen ve Triyas olarak yaşlandırılmıştır. Aydın ve ark. (1987) çalışmasında da karasal ortamda çökelmiş Permo-Triyas yaşlı kabul edilmiştir.

Kaplandede Dağı (Düzce) kuzeydoğusu ve Orhan Dağı (Zonguldak) kuzeybatısında karasal ortam çökeli iken Çamdağ alanında kireçtaşı seviyeleri ve sığ denizel katkılar içermektedir. Batıya doğru Triyas istifi yoğun olarak denizel ortam çökelleri içerirken doğuda Bartın-Çakraz civarlarında karasal ortam hakimdir. Bu durum birimin oluştuğu Permo-Triyasta ortamda batıya doğru derinleşmenin olduğunu göstermektedir (Aydın ve ark., 1987).

3.9. Akveren Formasyonu (KTa)

Sinop ili Ayancık ilçesi Akveren köyü civarında yüzeyleyen birim Ketin ve Gümüş (1963) tarafından isimlendirilmiştir. G-25 pafta alanı içerisinde Darıçayırı Formasyonu adı altında da incelenen birim, pafta alanı dışında Zonguldak civarında Alplı ve Yahyalar Formasyonu'na, Kurucaşile ile Cide (Bartın) ilçelerinde Hisarköy ve Akgüney Formasyonu'na, Kocaeli yarımadası civarında ise Eren çakıltası, Kutluca kireçtaşı, Şemsettin kireçtaşı ve Korucu Formasyonu'nun tamamına karşılık gelmektedir (Gedik ve Aksay, 2002).

Batı Karadeniz kıyıları boyunca yüzeyleyen Akveren Formasyonu, altta yuvarlak-yarı yuvarlak, gevşek çakıltaları ve beyaz-gri renkli, orta-kalın tabakalı, çapraz laminalı, ağırlıklı kuvars tanelerinden oluşan kumtaşları ile başlamaktadır. Yanalda ve üst kesimlere doğru biyoklastik kireçtaşına geçiş göstermektedir. Bu çökellerin üzerine yeşilimsi-gri marnlar ile ince tabakalı mikritik ve killi kireçtaşları gelmektedir (Aydın ve ark., 1987; Gedik ve Aksay, 2002; Tüysüz ve ark., 2004; Kaya-Özer, 2017). Çamdağ civarında birimin kalınlığı 350-400 m iken, Ereğli-Alaplı yöresinde 100-1000 m arasında değişim göstermektedir. Hızlı ve ani gelişen bir transgresyonun ürünü olan birim, tabanda yer alan üyelerle birlikte çok sığ denizden üst kesimlerde derin denize doğru değişen bir ortamda çökelmiştir (Aydın ve ark., 1987).

Formasyonun yaşı, içerisinde tespit edilen *Globoetruneana lapparenti*, *G. Globigermoides*, *G. area*, *G. şiuariiformis*, *G. foraicata*, *G. conica*, *G. bulloides*, *G. calciformis*, *Globorotalia pseudobulloides*, *Globorotalia cf.*, *trinidadensis*, *Globorotalia ehrenbergi*, *Globorotalia angulata*, *Globorotalia pseudomenardli*, *Globigerine trilocolinoides* *Pithönella*, *Nodosairidae* fosillerine göre Kampaniyen-Erken Paleosen olarak belirlenmiştir (Aydın ve ark., 1987). Kaya-Özer (2009)'in plantonik foraminifer ve nanofosil biyostratigrafisi üzerine yaptığı çalışma da Kampaniyen-Selandiyen yaşı,

Özgörüş ve ark (2009)'nin İstanbul ve Sakarya zonlarının evrimi üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada ise Orta Kampaniyen-Tanesiyen yaşı verilmiştir.

3.10. Çaycuma Formasyonu (Teç)

Zonguldak ili Çaycuma ilçesinde yüzeyleyen birim, ilk kez Tokay (1954-1955) tarafından adlandırılmıştır. G-25 pafta alanı içerisinde Yuvalıdere ve Kusuri Formasyonu olarak da incelenen birim Armutlu yarımadası dolaylarında İncebel Formasyonu, Kurucaşila ile Cide ilçelerinde Cide Formasyonu, Sinop civarında Kusuri ve Yenikonak Formasyonu adı altında incelenmiştir (Gedik ve Aksay, 2002).

Alt kesimlerde Nummulites'li karbonat çimentosu veya kırıntılı kireçtaşı mercekleri, ince ar dalanmalı kilitaşı-şeyl ara katmanları içeren yeşil-gri, sarı-gri renkli, yer yer kalın yer yer ince-orta tabakalı kumtaşı ile başlamaktadır. Orta ve üst kesimlere doğru yeşilimsi gri renkli kumtaşı-şeyl-kilitaşı ar dalanmasına geçiş göstermektedir. Devrek havzası ve güneyinde volkanojenik kumtaşı ve volkanik kayalar içermektedir. Bu kesimlerde türbiditik kumtaşı, şeyl ve tuf-tüfit ar dalanması içermektedir. Birim alttan üst kesimlere doğru yamaçtan şelfe doğru geçen ortam çökellerinden oluşmaktadır (Gedik ve Aksay, 2002; Tüysüz ve ark., 2004; Özgörüş ve ark., 2009). Pafta alanı içerisinde yaklaşık kalınlık 1200 m civarında iken Devrek havzasında 3500 metreyi geçen kalınlıklara ulaştığı tahmin edilmektedir (Gedik ve Aksay, 2002; Tüysüz ve ark., 2004).

Akyol ve ark (1974) tarafından Cide ilçesindeki mostralarda saptanan *Morozovella cf. Aragonensis* NUTT., *Globalotalia cf. rex* MARTIN, *Morozovella velascoensis*, *Nummilites cf. burdigalensis* De La HARPE, *Dispcyclina sp.*, *Asterocyclina sp.*, *Nummilites sp.* fosillerine göre İpresiyen (Eosen) yaşı verilmiştir. Kandıra yöresinde görülen farklı Nummilites formalarından da Lütseyen (Eosen) yaşı belirlenmiş ve birimin yaşı Erken-Orta Eosen olarak kabul edilmiştir (Gedik ve Aksay, 2002).

4. ORGANİK POROZİTE

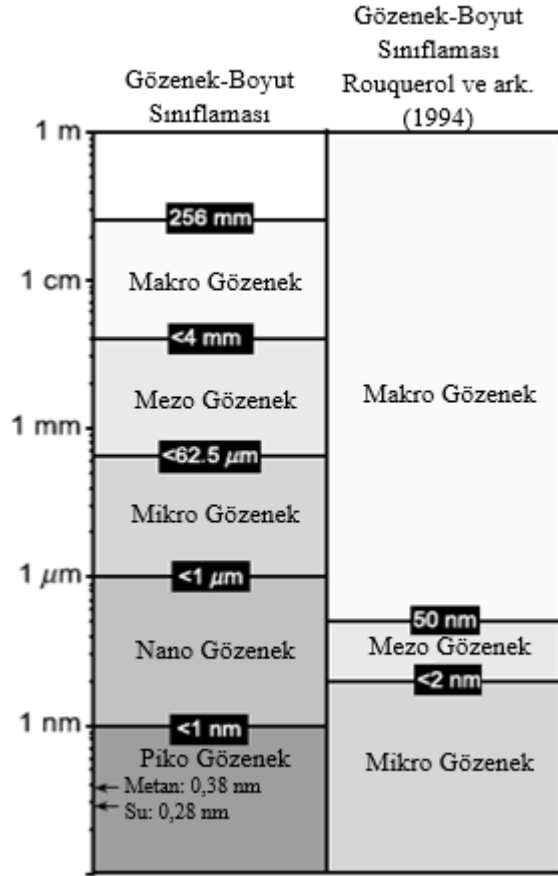
Yaşamın her alanında yer alan enerji, ihtiyaç doğrultusunda farklı kaynaklardan farklı yöntemlerle elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu durum geleneksel olmayan kaynaklar üzerine yapılan araştırmaları da arttırmaktadır. Yeni araştırmalarla birlikte özellikle şeyl gaz ve şeyl petrolü, geleneksel olmayan petrol kaynakları için her geçen gün daha da önemli hale gelmektedir. Şeyl gaz, geleceğin enerji piyasasında önemli bir rol oynama potansiyeline sahip geleneksel olmayan bir enerji kaynağıdır (Vasileiadis ve ark., 2017). Geçmiş yıllarda geleneksel olmayan rezervuarlardan (ör. Marcellus Şeylleri, Appalachian Baseni, ABD) belirli miktarlarda gaz üretilmiş olmasına rağmen düşük akış oranları sebebiyle ticari anlamda sınırlı kalmıştır. Günümüzde yatay sondaj ve hidrolik çatlatma gibi teknolojik gelişimlerle birlikte üretim miktarları da artış göstermiştir (Curtis ve ark., 2011; Katz ve Arango, 2018). Bu gelişimlere rağmen artan enerji ihtiyacı hem yeni rezerv alanlarının belirlenmesini hem de rezervlerin çok daha verimli kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Geleneksel olmayan şeyl (62,5 μm 'den küçük tane boyuna sahip) kaynaklı petrol sistemleri karbon, hidrojen gibi önemli elementleri organik maddece zengin kaynak kayaç içerisinde bulundurması bakımından benzersiz sistemlerdir (Katz ve Arango, 2018). Şeyl petrol ve şeyl gaz kaynaklarının başarılı bir şekilde keşfedilmesi ve geliştirilmesi, geleneksel "kaynak – örtü kayaç" hidrokarbon sistemini "kaynak – rezervuar – örtü kayaç" sistemine genişletmiş ve şeyllerin hidrokarbon depolama kapasitesi önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir (Wu ve ark., 2019). Ancak bu tip kaynaklar sıkı rezervuar özelliği göstermeleri sebebiyle genellikle düşük porozite ve permeabiliteye sahiptir. Zayıf rezervuar kalitesine sahip olmaları sebebiyle geleneksel olmayan rezervuarlarda doğal akışın artırılması gerekmektedir (Katz ve Arango, 2018). Dolayısıyla porozite ve permeabilitenin doğru tespit edilmesi hem üretim miktarlarının artırılmasına hem de hidrokarbon potansiyelinin daha doğru belirlenmesine katkıda bulunmaktadır. Permeabilite, hidrokarbon akışını sağlarken porozite hidrokarbonlar için depolama alanı sağlamaktadır. Porozitenin etkin bir şekilde incelenebilmesi için kayaç ve gözenek sisteminin yapısının/doğasının iyi anlaşılması gerekmektedir (Katz ve Arango, 2018). Organik maddece zengin şeyllerin porozite gelişimi ve evrimi özellikle şeyl petrol ve şeyl gaz kaynaklarının ticari kullanımı açısından da kritik öneme sahiptir (Wu ve ark., 2019). Geleneksel olmayan kaynakların ticari anlamda hidrokarbon üretim hedefi haline

gelmesi şeyller üzerinde yapılan araştırmaları da büyük ölçüde artırmıştır (Louck ve ark., 2009). Bu doğrultuda en önemli araştırma konularından biri de şeyllerdeki porozite sisteminin niteliği olmuştur (Louck ve ark., 2009).

Kaynak kayaç gibi kerojen zengin şeyllerde hidrokarbon depolama kapasitesi ile ilişkili porozite gelişiminin değerlendirilmesi uzun süre geleneksel karot ve petrofizik tekniklerin kayaç tipine uygun tasarlanmaması sebebiyle belirsiz kalmıştır (Modica ve Lapierre, 2012). Örneğin; kerojen (Marcellus şeyllerinde $1,1 \text{ g/cm}^3$ (Ward, 2010), Kimmeridge kil formasyonunda $1,18-1,35 \text{ g/cm}^3$ (Okiongbo, 2005)) ve suyun (1 g/cm^3) yoğunluklarının birbirine yakın olması, killerin özelliklerinin değişkenliği göz önüne alındığında petrofiziksel porozite çalışmaları, karot analizi ile yapılan litoloji özelliklerine dayanan çalışmalara oranla daha düşük güvenilirliğe sahiptir. Buna ek olarak çoğu petrofiziksel hesaplama, kerojen etkisini indirmek veya ortadan kaldırmak üzere tasarlanmıştır. Öte yandan karot örnekleri kullanılarak yapılan analizlerde de örneğin Dean-Stark yöntemi ağırlıklı olarak numuneden suyun çıkarılmasına dayanmaktadır ve hidrokarbon depolama kapasitesinin bağlı su hacmi ile olan ilişkisi göz önüne alındığında sonuçlar sorgulanabilir hale gelmektedir (Louck ve ark., 2009; Modica ve Lapierre, 2012). Ancak çalışmalar, çok küçük boyutlarda (nanometre) olmaları sebebiyle şeyllerdeki gözenek sisteminin geleneksel yöntemlerle gözlenemeyeceğini göstermektedir (Louck ve ark., 2009). Termal olgunlaşmayla ilişkili nano-gözenek sisteminin tanınmaya başlamasıyla bu tarz bilinen yöntemlerin yarattığı belirsizlikler de ortadan kalkmaya başlamıştır (Modica ve Lapierre, 2012).

Son yıllarda şeyllerdeki mikro ve nano boyutta bulunan gözenek tipleri çalışılmış (Loucks ve ark., 2009, 2012) ve özellikle organik madde içerisindeki porozite gelişimi geniş ölçüde incelenmiştir (şekil 4.1) (Li ve ark., 2016; Milliken ve ark., 2013). Bu çalışmalarda taramalı elektron mikroskobu (SEM - Scanning Electron Microscopy), odaklanmış iyon demeti-taramalı elektron mikroskop sistemi (FIB-SEM Focused Ion Beam- Scanning Electron Microscopy), nanometre bilgisayarlı tomografi (CT – Computed Tomography), gaz adsorpsiyonu, yüksek basınçlı Hg enjeksiyonu gibi farklı bir çok yöntem kullanılarak şeyl rezervuarlarındaki porozitenin tipi, boyutları, şekilleri, gözeneklerin dağılımı ve birbiri ile olan bağlantıları araştırılmıştır (Wu ve ark., 2019).



Şekil 4.1. Şeyllerde görülen gözenek-boyut sınıflaması (Loucks ve ark., 2012'den alınmıştır.)

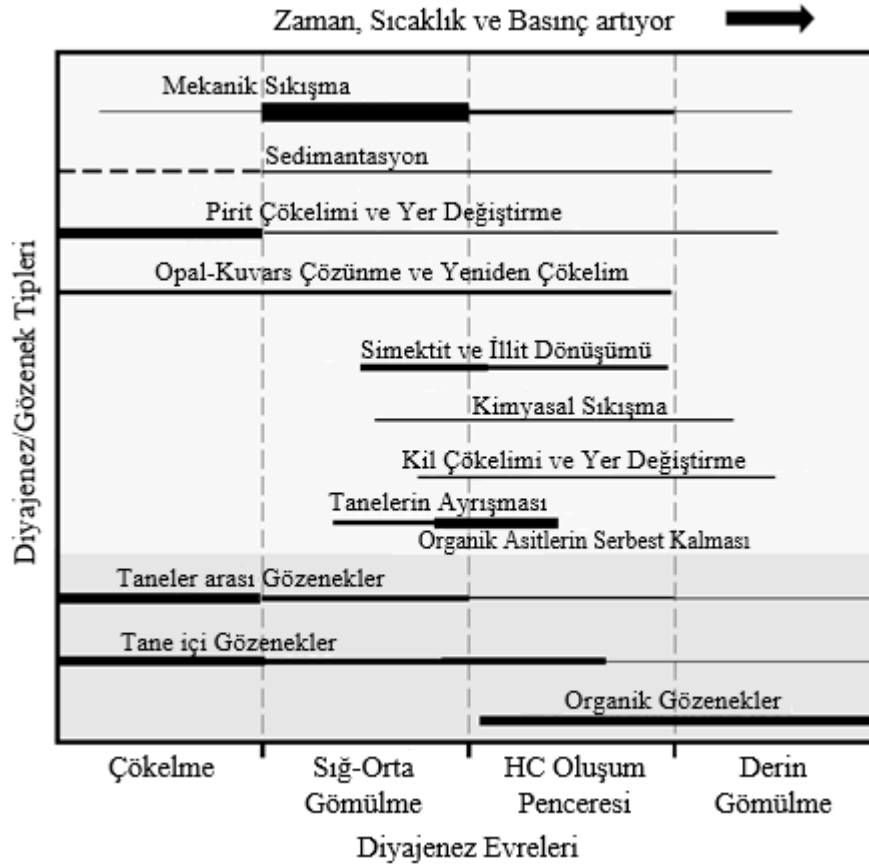
Şeyl rezervuarlarındaki toplam porozitenin önemli bir kısmını oluşturan organik madde içerisindeki gözenekleri tanımlamak için “organik porozite” terimi kullanılmaktadır (Keel, 2015). Modica ve Lapierre (2012), Milliken ve ark., (2013) gibi farklı araştırmacılar tarafından organik porozite; organik-madde porozitesi, kerojen porozitesi gibi farklı isimlendirmelerle de kullanılmaktadır. Bu yeni tanımlanan ve oldukça önemli olan porozite sistemini özünde hidrokarbon depolayan ve hareketliliğini sağlayan bir ağ olarak görmek mümkündür (Modica ve Lapierre, 2012). Son yıllarda yapılan çalışmalar, kaynak kayalarındaki organik porozite ağının değerlendirilmesinde organik madde içerisindeki gözenek yapılarının dağılımı ve doğasının, şeyllerin (özellikle kerojenin kendi içinde) gazı tutma mekanizmasının önemli bir role sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu çalışmalar, olgunlaşma sırasında organik madde içerisinde nanometreden mikrometreye değişen boyutlarda gözenek gelişebildiğini de göstermektedir. Organik madde gözenekleri, kalıntı organik madde yüzeyinde gazı tutarak ve/veya gözenekler içerisinde serbest hidrokarbonu tutarak yerinde petrol ve gazın

depolanması için hacim ve yüzey sağlamakta (Romero-Sarmiento ve ark., 2013) bu yüzden şeyl gaz rezervuarlarındaki toplam hidrokarbon hacminin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Chen ve ark., 2014)

Geleneksel kumtaşı rezervuarlarında meydana gelen sadece diyajenez kaynaklı porozite gelişiminin aksine şeyllerde porozite gelişimi hem hidrokarbon oluşumu hem diyajenez kontrollü (Wu ve ark., 2019; Louck ve ark., 2012) olduğundan organik porozitenin genel olarak katı kerojenden hidrokarbonların atılmasını içeren organik maddenin termal olgunlaşması (Galford ve ark., 2013) ve dönüşümü sonucu meydana geldiği kabul edilmektedir (Li ve ark., 2016; Curtis ve ark., 2012; Jarvie ve ark., 2007; Loucks ve ark., 2009). Bu yüzden organik madde içerisindeki gözeneklerin gelişimi, organik maddenin tipinden ve termal olgunlaşmadan etkilenmektedir (Li ve ark., 2016; Milliken ve ark., 2013; Loucks ve ark., 2012; Matyasik ve ark., 2017; Cristancho-Albarracin ve ark., 2017). Karot numuneler üzerinde yapılan son çalışmalar, organik porozitenin göz ardı edilemez olduğunu göstermektedir. Organik porozitenin (ilk hızlı düşüşten sonra) kaynak kaya rezervuarlarının sürdürülebilir üretiminde önemli bir faktör olduğuna inanılmaktadır. Bu konuda bir hipotez, üretimin hızlı bir şekilde düşüşünün çabuk tükenen konvansiyonel taneler arası ve çatlak porozitesi ile ilişkili olabileceğini, konvansiyonel gözenek sisteminin tükenmesiyle birlikte daha az ve yavaş oranda düşüş gösteren üretimin, organik gözeneklerden devam ettiğini ileri sürmektedir. Dolayısıyla organik porozite, kaynak kaya rezervuarlarının toplam hidrokarbon depolama kapasitesine katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle rezervuar değerlendirmeleri ve simülasyonlarında organik porozitenin tespiti oldukça önemli bir parametredir (Galford ve ark., 2013).

Organik porozitenin geçmişte varsayıldığı gibi bağıl su içeren ve hidrokarbon depolama kapasitesini net bir şekilde ortaya koymayan matriks veya mineral porozitesi ile ilgisi bulunmamaktadır. Matriks gözenek hacminde sıkışma/tıkızlaşma ve çimentolanma sonucunda derinliğe bağlı azalma meydana gelirken organik porozite termal olgunlaşma ve/veya gömülme derinliği ile birlikte artma eğilimine girmektedir (Kuchinskiy, 2013; Matyasik ve ark., 2017; Li ve ark., 2016) (Şekil 4.2). Kuchinskiy (2013) tarafından Polonya’da bulunan üç farklı basene ait alınan örneklerde de olgunlaşmayla ve derinlikle organik porozitenin de arttığı tespit edilmiştir. Erken Siluriyen ve Ordovisiyen yaşlı

termal olarak aşırı olgun kaynak kayalarda maksimum olgunlukta organik madde içerisindeki porozitenin kerojen hacminin %20-30 seviyelerine ulaştığı gözlenmiştir.



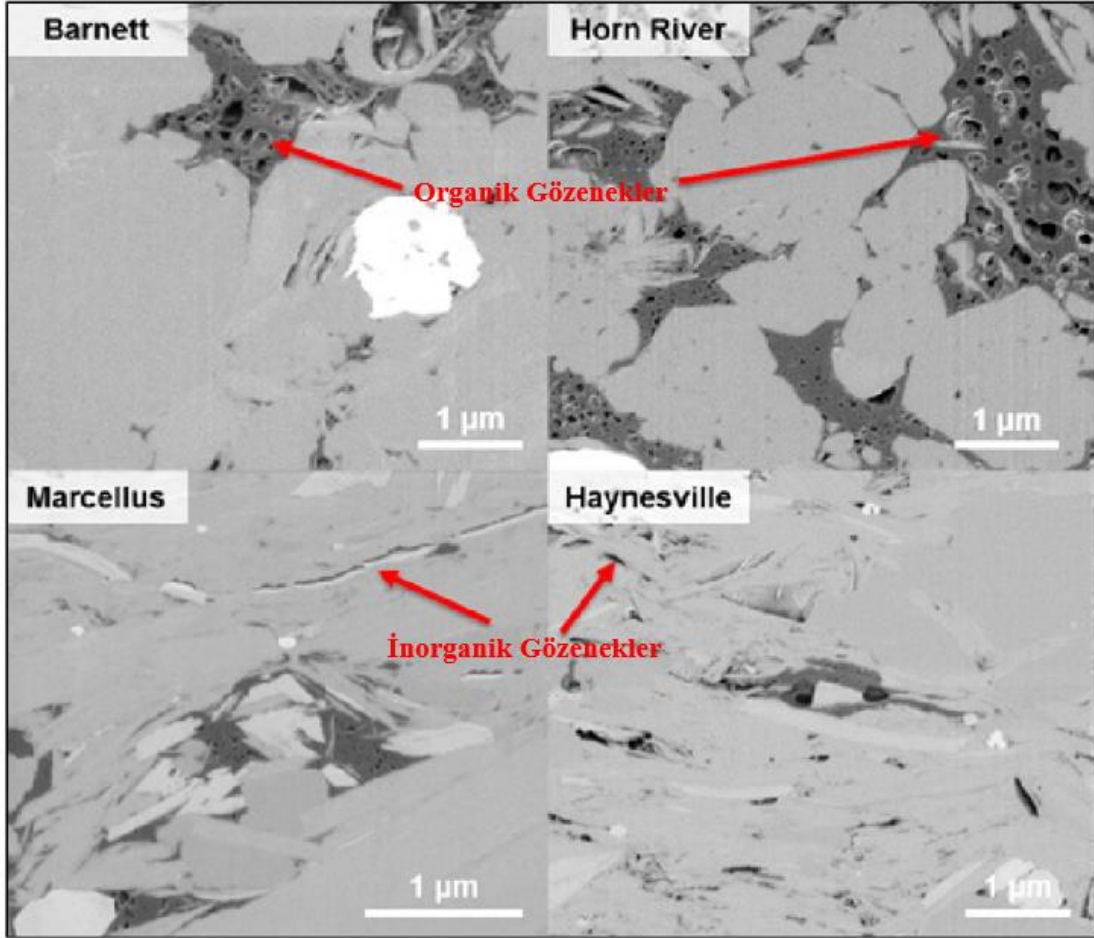
Şekil 4.2. Porozite tiplerinin gelişim evreleri (Loucks ve ark., 2012'den alınmıştır.)

Ayrıca organik porozite sisteminin aksine mineral ve matriks porozite sisteminin su barındırması beklenmektedir. Organik maddenin hidrofobik doğası nedeniyle inorganik maddelerdeki tane içi ve taneler arası gözeneklerin suyu barındırdığı kısımlarda organik porozite çoğunlukla hidrokarbonlar ile doldurulmaktadır (Kuchinskiy, 2013; Matyasik ve ark., 2017; Gu ve ark., 2016). Aynı zamanda şeyl gözeneklerinin çok küçük, tipik olarak nano metre boyutlarında olması sebebiyle ıslak matriks veya mineral gözeneklerinin hidrokarbonun depolanması için uygun alanı temsil etmeyeceği düşünülmektedir. Şeyllerde kapiler adezyon kuvvetlerinin nispeten kaldırma kuvvetlerinden büyük olması ve hidrokarbon oluşumuna bağlı ortamda yüksek basıncın oluşması sebebiyle matriks/mineral gözenek sisteminde su ile hidrokarbonların yer değiştirmesini de mümkün kılmamaktadır. Modica ve Lapierre, (2012) tarafından Barnett şeylleri üzerinde yapılan çalışmada petrol penceresindeki karotlardan alınan örneklerin floresans göstermemesi bu görüşü desteklediği belirtilmekte ve bu faktörlerin matriks porozitesinin

hem hidrokarbon depolama kapasitesi hem de hidrokarbon iletilebilirliği ile büyük ölçüde alakasız olduğunu ileri sürülmektedir. Genel fikir birliği, organik porozitenin hidrofobik olduğu hatta organik maddenin olgunlaşması ile birlikte daha hidrofobik hale geldiği bu nedenle suyu tutamayacağı şeklinde olmasına rağmen Gu ve ark., (2019) alışmasında yüksek termal olgunluğa sahip Marcellus şeyl örneklerinde uygun ortam koşulları meydana geldiğinde >20 nm'den büyük organik gözeneklere suyun erişebildiği görülmüştür. Çalışmaların kontrast eşleştirme deneyleri ortam koşullarında gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde Kuila ve ark., (2014) tarafından da termal olarak olgun şeyl örnekleri WIP (water immersion porosimetry) metodu kullanılarak ölçüm yapılmış ve organik madde içeriği ile WIP porozitesi arasında pozitif bir korelasyon olduğu görülmüştür. Organik madde gözeneklerine suyun erişiminin basınç, sıcaklık ve sıvının tuzluluğu ile de ilgili olabileceği düşünölmektedir. Gözenekli karbonatlar üzerinde yapılan gravimetrik ölçümlerin yanı sıra moleküler dinamik simölasyonlar da suyun gözeneklere dolmasının sadece gözenek boyutu tarafından değil basınç ve sıcaklık tarafından da kontrol edildiğini göstermektedir (Gu ve ark., 2019)

Organik maddece/kerojen zengin şeyllerde de henüz porozite ve depolama kapasitesi üzerindeki etkisi tam olarak bilinmese de gözenek hacminin sıkışabilirliği oldukça aktif bir çalışma alanına sahiptir (Louck ve ark., 2009; Modica ve Lapierre, 2012). Geleneksel rezervuarlarda olduğu gibi sıkı rezervuarlarda da gözenek boşluğu/hacmi, sıkışma, çözünme, yer değiştirme ve çimentolanma gibi diyajenezin fiziksel ve kimyasal proseslerinin bir fonksiyonu olarak değişim göstermektedir (Katz ve Arango, 2018; Loucks ve ark., 2012). Olgunlaşma derecesinin artmasıyla birlikte makro gözenekler önemli oranda azalmakta mikro ve nano gözenekler ise baskın hale gelmektedir (İnan ve ark., 2018). Artan gömölme ve sediman yükü ile ters olarak ilksel porozite azalmaktadır (Katz ve Arango, 2018; Loucks ve ark., 2012). Gözeneklilikteki kayıp yaklaşık olarak 1 km'lik gömölmede % 30-40 civarına ulaşmaktadır. Sedimanter kayaçlardaki gözeneklilik kaybının çoğu büyük gözeneklerin küçölmesiyle meydana gelmektedir. Büyük gözenekler etkin stresin etkisiyle azalma eğilimi gösterirken 100 nm'den küçük gözenekler genellikle mekanik sıkışmaya karşı direnç göstermektedirler. Organik gözenekler nanometre ölçeğinde olduğundan aşırı yükten kaynaklı streten etkilenme olasılıkları daha düşüktür (Katz ve Arango, 2018). şu anki ortak görüş, organik porozite sisteminin komple sıkışmasını sağlayacak gömölme derinliğinin ötesine geçmediği sürece nanometre ölçeğindeki bu gözeneklerin aşırı sediman yüklemesinin yarattığı

stresten etkilenmeyecek kadar küçük oldukları yönündedir. Gaz penceresindeki nispeten aşırı olgun şeyl örneklerinde küresel nano gözeneklerin yaygın olarak gözlenmesi (Şekil 4.3) (Cristancho-Albarracin ve ark., 2017) ve büyük ölçüde deforme olmamaları bu görüşü desteklemektedir (Louck ve ark., 2009; Modica ve Lapierre, 2012). Bunun yanında Louck ve ark., (2012) tarafından tüm gözenek tipleri için 4570 m (15.000 ft)'den yukarıda gözeneklerin açık kalabileceği belirtilmektedir.



Şekil 4.3. Aşırı olgun şeyllerde görülen organik ve inorganik porozite tiplerinin görünümü (Curtis, 2013'den aynen alınmıştır)

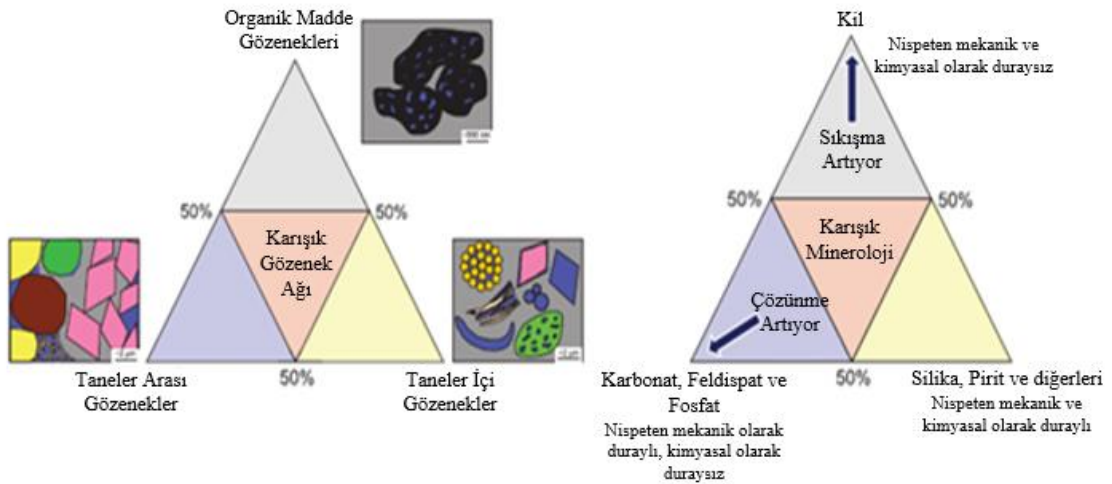
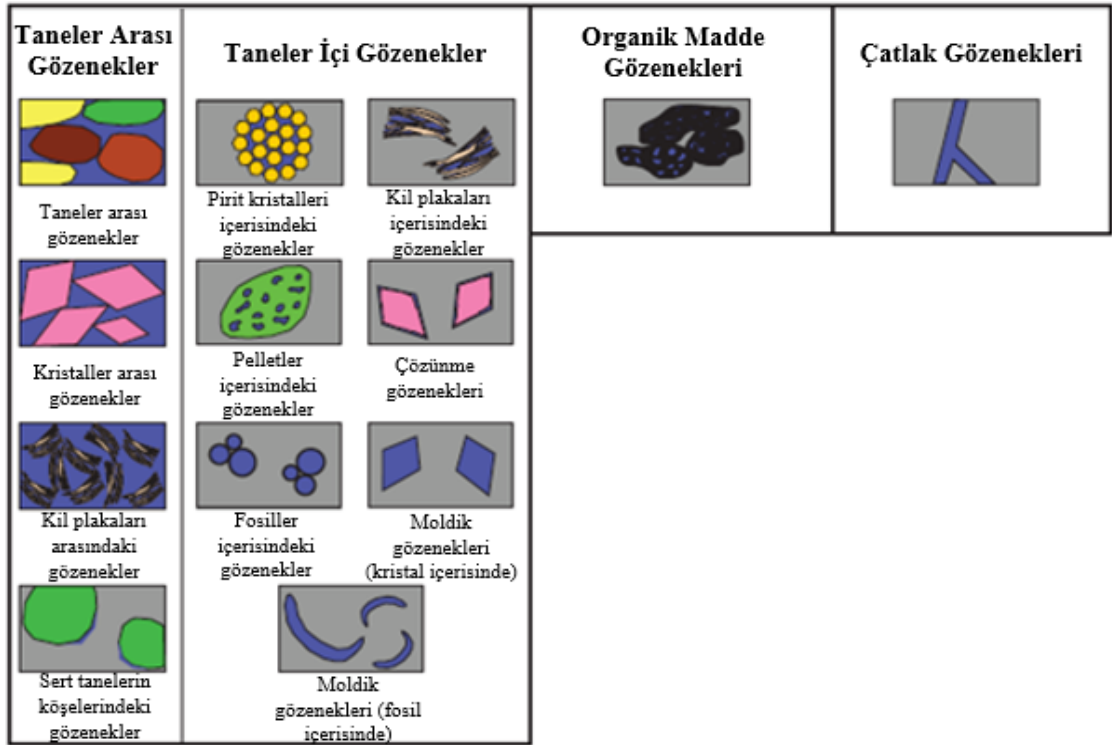
Organik madde, termal olgunlaşmanın artmasıyla birlikte oluşan ve gelişen porozite ağına en önemli katkıyı sağlayan parametredir (İnan ve ark., 2018). Dolayısıyla organik porozitenin doğru bir şekilde tespit edilebilmesi için organik madde türlerinin ve porozite tiplerinin belirlenmesi gerekmektedir. Organik porozitenin farklı disiplinler tarafından çalışılan ortak bir alan olması sebebiyle anlatımdan ve terimlerin belirsizliğinden kaynaklanan bir takım karışıklıklar meydana gelebilmektedir (Katz ve Arango, 2018). Bu

yüzden özellikle kerojen, bitüm ve pirobitüm terimlerinin ayrımının yapılması porozitenin geliştiği organik maddenin anlaşılabilmesi için önemlidir:

- Kerojen, sedimanter kayalar içerisinde korunan ve bilinen organik çözücülerle çözünmeyen organik maddedir. Bitki kalıntıları ve diğer mikroorganizmalara ait biyolojik döküntülerin parçalanması ve erken diyajenezinden türemektedir. İlksel kerojen kayaç matrisi ile birlikte çökelmekte ve termal olgunluk seviyesi ile orijinal organik maddenin karakterine bağlı olarak petrol ve/veya gaz oluşturabilmektedir.
- Bitüm, katı veya sıvı halde bulunabilen, organik çözücülerle çözülebilen ve genellikle kerojenin diyajenezinden türeyen sedimanter kayalar içerisindeki organik maddedir. Başlangıçta sıvı halde bulunan katı bitümler, biyodegradasyon, suyla yıkanma (waterwashing) ve buharsızlaşma (devolatilization) gibi alterasyonlar sonucunda katılaşır. Organik petrograflar tarafından katı bitümün kerojen kaynaklı hidrokarbon oluşumunun ikincil ürününü temsil ettiği ve içerisinde kısmen çözünmeyen parçaları içerebileceği belirtilmektedir.
- Pirobitümen genellikle kaynak veya rezervuar kayadaki petrol veya bitümün yerinde parçalanması ve olgunlaşmadan sonra çözünmeyen kalıntı olarak tanımlanmaktadır. Pirobitümen, karbon disülfür içinde kısmen çözünebilmektedir. Bu nedenle de kerojenle karıştırılabilmektedir. Bununla birlikte organik petrografiden elde edilen dokusal ilişkiler, kerojenden farklı olarak, pirobitümün hareketli boşlukları doldurduğunu göstermektedir (Katz ve Arango, 2018).

Her kerojen tipi kendine özgü bir kökene, yapıya ve termal olgunlaşma ile birlikte farklı bir diyajenetik imzaya sahiptir. Bu nedenle incelenen organik maddenin kerojen, bitüm veya pirobitüm olması organik gözeneklerin gelişim sürecini, gözenek karakterizasyonu ve ağını etkileyebilmektedir. Örneğin; kerojen, kayaç matrisi ile birlikte biriken organik maddeyi temsil etmektedir. Her bir maseral tipi de farklı bir morfolojiye ve içyapıya sahiptir. Kerojenin mineral matrisle birlikte birikmesi maserallerin mineral matris ile sıkışmasına ve tabakalanma düzlemi ile hizalanmasına neden olabilmektedir. Bu durumun aksine bitüm ve pirobitüm tipik olarak kerojenden oluşan ürünü temsil etmektedir ve genellikle çatlakları veya gözenek boşluklarını doldurmaktadır (Katz ve Arango, 2018).

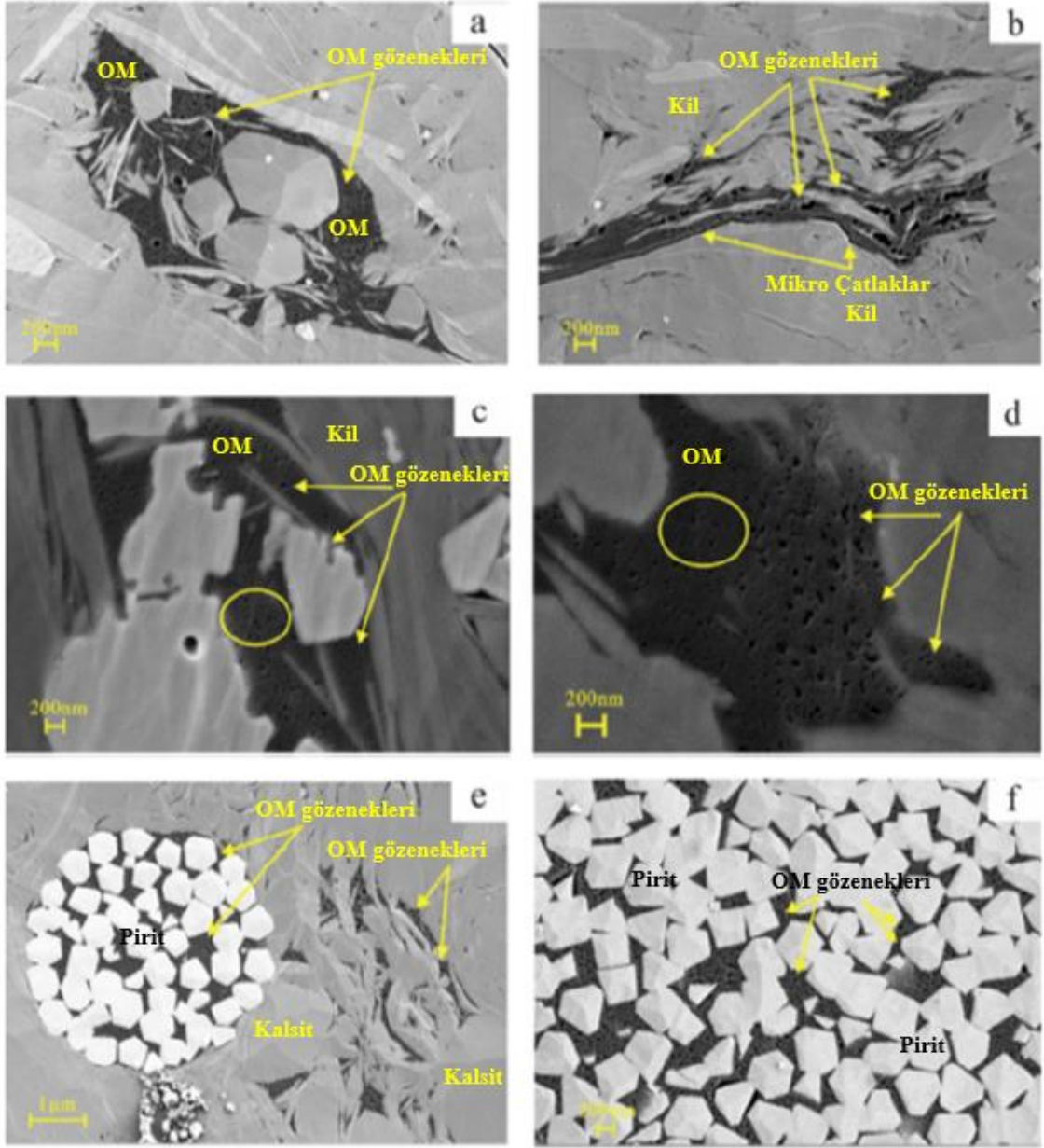
Organik porozite çalışmalarında meydana gelen problemlerden biri de organik porozitenin matriks ve mineral porozitesi ile karıştırılmasıdır. Bu karışıklığın giderilmesi ve organik porozitenin anlaşılabilir olması açısından Loucks ve ark., (2012) tarafından şeyllerde bulunan üç tip porozite sistemi tanımlanmıştır: (1) taneler arası gözenekler – inorganik (mineral) madde partikülleri arasında bulunan gözenekler, (2) tane içi gözenekler – inorganik (mineral) madde partiküllerinin içinde bulunan gözenekler, (3) organik gözenekler – organik madde içinde bulunan gözenekler (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Şeyllerde görülen gözenek tipleri ile mineral kompozisyonu-stabilite ilişkilerini gösterir diyagram (Loucks ve ark., 2011; 2012'den alınmıştır.)

Organik gözenekler kendi içinde üç gruba ayrılabilir: (1) bitki parçacıkları gibi birincil organik madde (kerojen) içerisinde kalan gözeneklerdir ve tane içi olarak nitelendirilebilirler, (2) fenestral olarak nitelendirilecek gaz veya uçucu petrol/kondensatın ortamdan kaçmasıyla oluşan gözenekler, (3) basınç kaybı ve kalıntı (residüel) petrolden gazın kaçıışı ile oluşan büyük gözenekler içinde bulunan içi içe dairesel gözenekler (Şekil 4.5).

Organik madde gözenekleri genellikle düzensiz, kabarcıklara benzer, eliptik kesite sahiptir ve boyutları birkaç nanometreden yüzlerce nanometreye kadar değişiklik gösterebilmektedir (Loucks ve ark., 2012; Shi ve ark., 2018). Gözlenen 5-10 µm kadar küçük çaplardaki hidrokarbon damlacıkları bu gözeneklerin şeyl sistemlerinde rol oynayabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte sahip olduğu 20 nm'den küçük gözenek bağlantılarının petrolün akışına olanak sağlaması zayıf bir ihtimal olarak görülürken özellikle 200 nm'den büyük olan gözenekler ticari anlamda umut verici görülmektedir. Benzer şekilde Eagle Ford (ABD) şeyllerinde de üretilebilir petrolün 250 nm veya daha büyük çaplı gözeneklerle ilişkilendirilebileceği sonucuna varılmıştır (Katz ve Arango, 2018). Öte yandan Rine ve ark., (2013) tarafından yapılan çalışmada Eagle Ford, Haynesville, Marcellus ve Barnett şeyllerindeki organik gözeneklerin 100 nm'den küçük çaplara sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Organik porozite örnekleri (a), (b), (c), (d) farklı mineral taneleri arasındaki organik madde dolguları içinde gelişen organik gözenekler; (e), (f) pirit taneleri arasındaki organik madde dolguları içinde gelişen organik gözenekler (Shi ve ark., 2018'den alınmıştır.)

Tek bir organik madde tanesinde dahi porozite oranı % 40'a ulaşabilmektedir (Louck ve ark., 2009, 2012). Loucks ve ark., (2012) tarafından Barnett şeyillerinde % 41 oranında, Curtis ve ark., (2010) tarafından alınan örneklerde % 50 oranında poroziteye sahip organik madde tanımlanmıştır. Buna rağmen tüm organik madde türlerinde organik porozite gelişimi gözlenmeyebilmektedir. Loucks ve ark., (2012) çalışması Tip II kerojenin Tip III kerojene kıyasla organik porozite oluşturma eğiliminin daha yüksek

olduğunu göstermiştir. Midland Baseni'nde Rock-Eval verilerine göre Tip III kerojen içeren ve V_{R_0} 'nin % 0,89 olduğu örneklerde organik porozite gelişimi görülmemiştir (Louck ve ark., 2012). Tip II kerojen içeren Barnett şeyllerinde (Jarvie ve ark., 2007) ise organik porozite baskın porozite tipi olarak görülmektedir (Loucks ve ark., 2009; 2012, Curtis ve ark., 2010).

Konvansiyonel olmayan şeyl kaynak sistemlerindeki hidrokarbon tutma kapasitesinin esas olarak toplam organik karbon (TOK) içeriği, organik madde türü, kimyasal bileşim, termal olgunluk ve porozite ile ilişkili olduğu kabul edilmektedir (Curtis ve ark., 2012; Romero-Sarmiento ve ark., 2013; Li ve ark., 2016). Şeyl petrol/gaz rezervuar kapasitesinin tespitinde önemli rol oynayan organik madde içerisindeki gözenekler, termal olgunlaşma sırasında organik maddenin ayrışması, muhtemelen kararsız kerojenin termal dönüşümü (Modica ve Lapierre, 2012; Matyasik ve ark., 2017) ile oluşmaktadır (Kuchinskiy, 2013; Loucks ve ark., 2009; Li ve ark., 2016). Bu nedenle şeyl petrol/gaz sistemlerinde, organik gözeneklerin oluşum mekanizmasına dayalı bir şekilde organik porozite tahmini yapmak mümkündür. Birçok araştırmacının da yaptığı gibi Rock-Eval piroliz verileri kullanarak termal dönüşümün, kaynak kayadaki organik porozite gelişimi üzerindeki etkilerine dayanarak organik porozite tahmin edilmeye çalışılmaktadır (Jarvie, 2012; Romero-Sarmiento ve ark., 2013; Li ve ark., 2016; Chen ve ark., 2014). Loucks ve ark., (2009) tarafından düşük termal olgunluğa sahip Forth Worth Baseni'nin güney kısmında bulunan Barnett şeyllerinden alınan vitrinit yansıma değeri (V_r) % 0,7'den küçük olan örnekler ile Forth Worth Baseni'nin kuzey kısmından alınan V_r değeri % 0,8'den büyük olgun örnekler karşılaştırılmış ve daha düşük olgunluktaki örneklerde organik maddenin çok az sayıda veya hiç gözenek içermediği tespit edilmiştir. Organik madde tanelerindeki nano gözeneklerin miktarı/bolluğu ile V_r arasındaki ilişkinin nedeni gözeneklerin termal olgunlaşma ve organik maddenin (ör. kerojen) dönüşümü sonucu oluşmasıdır. Düşük ısısal olgunluğa sahip örneklerde nano gözeneklerin yokluğu öte yandan daha olgun örneklerde gözeneklerin bol miktarda bulunması bu durumu desteklemektedir (Loucks ve ark., 2009).

Birçok çalışma şeyllerdeki organik maddenin termal gelişim derecesiyle birlikte organik porozitenin miktarının arttığını (Wu ve ark., 2019) gösterirken Curtis ve ark., (2011) tarafından Kuzey Amerika'daki Marcellus şeyllerinde yapılan çalışma V_r değeri 3,1'den büyük olan örneklerin V_r değeri $>1,1$ olan örneklere kıyasla daha küçük boyutlarda ve

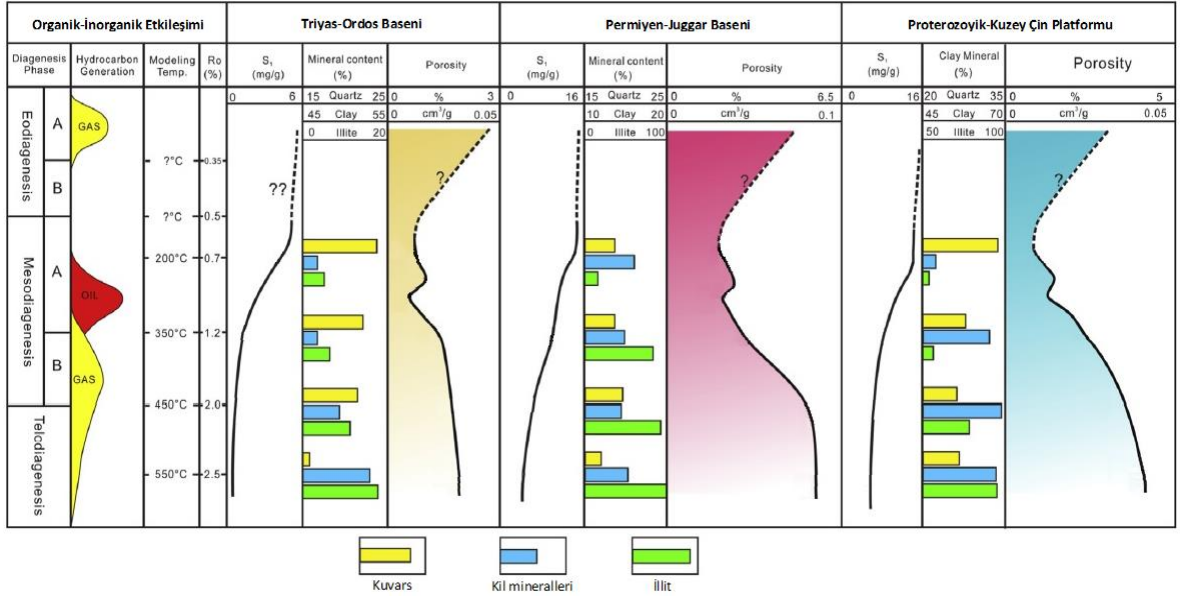
daha düşük oranlarda organik poroziteye sahip olduğunu göstermiştir. Fishman ve ark., (2012) de benzer şekilde İngiltere'deki Kimmeridge şeyllerinde V_r artışıyla organik gözeneklerin boyutunun ve sayısının artmadığını göstermiştir. Cui ve ark., (2013) ile Wu ve ark., (2015) organik porozitenin V_r 'nin % 1,2'den, Passey ve ark., (2012) ile Mastalerz ve ark., (2013) ise % 0,7'den itibaren oluşmaya başladığını ileri sürmektedir. Louck ve ark., (2012) tarafından da termal olgunlaşmanın V_r 'nin % 0,6 veya üzerindeki seviyelerinde organik madde gözeneklerinin oluşmaya başladığı gözlenmiştir. Ayrıca Pliyosen-Pleyistosen yaşlı siltli kilaşı ($V_r < 0,3$), Kretase yaşlı Pearsall şeylleri ($V_r = 1,5$), Jura yaşlı Bossier şeylleri ($V_r \sim 1,24$) ve Missisipian yaşlı Barnett şeyllerinden ($V_r \sim 1,35$) alınan örneklerin organik porozite oranları karşılaştırılmıştır. % 27,6 poroziteye sahip Pliyosen-Pleyistosen örneklerinde ve %1,8 poroziteye sahip Bossier şeyllerinde organik porozitenin gelişmediği, % 7,2 poroziteye sahip Bossier şeyllerinde organik porozitenin toplam poroziteye oranının % 4,9 olduğu, %4,2 poroziteye sahip Barnett şeyllerinde ise organik porozitenin toplam poroziteye oranının % 95,2 olduğu belirlenmiştir. Bu dört şeyl örneği organik porozitenin yaş, mineraloji, organik madde tipi ve içeriği gibi birçok parametreye bağlı olduğunu göstermektedir.

Organik porozite, termal olgunluk derecesinin ve orijinal organik kompozisyonun bir fonksiyonudur (Kuchinskiy, 2013; Modica ve Lapierre, 2012; Cristancho-Albarracin ve ark., 2017; Li ve ark., 2016; Louck ve ark., 2009). Bu nedenle orijinal organik madde içeriğinin fazla olması organik madde gözeneklerinin de fazla olmasını sağlayacaktır (Li ve ark., 2016; Milliken ve ark., 2013; Katz ve Arango, 2018). Başlangıçta var olan veya gelişen kerojen gözenekleri büyük olasılıkla sınırlı bağlantı ve ağa sahipken yüksek miktarda organik madde ile birlikte potansiyel olarak geçirgen akış yolları meydana getiren devamlılığa sahip kerojen katmanları gelişebilmektedir. Orijinal sediman yapısı diyajenez, hidrokarbon oluşumu gibi süreçlerle değişebilmekte ve birbiri ile bağlantılı gözenek sistemini meydana getirebilmektedir. Öte yandan bitüm, yeni kanallar oluşturabilmekte ve mevcut gözenek boşluklarını doldurabilmektedir (Katz ve Arango, 2018). Fishman ve ark., (2014) tarafından sınırlı bağlantıya sahip gözenek ağının sonradan bitüm ile doldurulduğu tespit edilmiştir. Zhang ve ark., (2016) tarafından yapılan çalışmada da bitümde bulunan nano gözeneklerin değişime uğrayarak önemli ölçüde gözenek hacmi sağladığı ve birbiri ile olan bağlantının artarak gözeneklerin birleşebileceği belirtilmektedir.

Jarvie ve ark., (2007) tarafından organik karbonun ayrışması sonucu porozite oluşumuna ilişkin geliştirilen teori ise şu şekildedir:

- Hidrokarbon kaynak kayalarda bulunan TOK iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan ilki; “canlı karbon”, “pirolize karbon” veya “dönüştürülebilir organik karbon” olarak, ikinci bileşen ise “inert karbon” veya “ölü karbon” olarak adlandırılmaktadır. Bu iki bileşen arasındaki ayırt edici temel fark; başlangıçta organik madde tipi ve korunumuna bağlı, katajenez evresinde ise termal olgunluğa bağlı olan hidrojen içeriğidir. Pirolize karbon, termal olgunlaşma sırasında hidrokarbon ve inert karbon üretebiliyorken inert karbon çok daha küçük bir kapasiteye sahiptir ve sadece kuru gaz üretebilmektedir. Ayrıca termal olgunlaşma ve pirolize karbonun dönüşümü sırasında organik maddenin ayrışması ile hidrokarbonlarla birlikte eş zamanlı olarak taneçi organik nano gözenekler de oluşmaktadır.

Organik porozitenin oluşumu gömülme ile birlikte artan sıcaklıkla da ilişkilidir (Şekil 5.6). Kerojenin hidrokarbonlara dönüşüm prosesi ve gözenek oluşumu düşük termal olgunluklarda başlar (% 0,6 VR_o seviyelerinde dönüşüm ağırlıkça % 10'lardadır). Örneğin; Barnett şeyllerinde hidrokarbon oluşumu 100-160 °C arasında gerçekleşmektedir. Yeterli zaman zarfında 120-140 °C arasında kerojen içerisindeki dönüştürülebilir organik karbonun yaklaşık %50'sinin dönüşümü gerçekleşmektedir (Jarvie ve ark., 2007). Hidrokarbonun oluşumu sonucunda kayaç içerisinde dağılmış olan organik maddenin dönüşümü nedeniyle çok sayıda ikincil gözenek oluşabilmektedir (Loucks ve ark., 2009). Bu doğrultuda, Modica ve Lapierra (2012) tarafından da kaynak kayacın olgunluk seviyesinden organik porozitenin tahmin edilebileceği belirtilmektedir. Benzer şekilde Romero-Sarmiento ve ark., (2013) tarafından Mississippian Barnett şeyllerindeki gaz tutma dağılımı; toplam organik karbon, olgunlaşma ve organik porozite temel alınarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.6. Organik maddece zengin şeyl örneklerinde porozite gelişiminin şematik gösterimi (Wu ve ark., 2019)

Şekil 4.6’da yer alan grafikler Wu ve ark., (2019) tarafından Ordos Baseninden alınan Triyas yaşlı, Juggar Baseninden alınan Permiyen yaşlı gölsel şeyller ile Kuzey Çin Platformundan alınan Proterozoyik yaşlı denizel şeyllerdeki porozite gelişiminin sıcaklığa bağlı olarak dört aşamada gerçekleştiğini göstermektedir:

Birinci aşama: Örneklerin olgunlaşmadığı ve vitrinit yansıma değerlerinin % 0.5’ten küçük olduğu aşamadır. Bu aşamada gözenek gelişimi esas olarak mekanik sıkışmadan etkilenmektedir. Artan derinlik ve yük basıncı ile orijinal gözeneklilik hızla azalmaktadır.

İkinci aşama: Sıcaklığın 250-300 °C arasına karşılık geldiği ve gözenek sisteminin değişken bir gelişim gösterdiği aşamadır. Sıkışma, düşük olgunluk seviyesinden petrol oluşum aralığının ilk yarısına kadar gözenekliliğin azalmasına neden olmaya devam etmektedir. Bu aşamada organik maddeler pirolize olmaya başlayarak yeni organik gözeneklerin oluşmasını sağlamaktadır. Ancak oluşan sıvı hidrokarbonlar kerojen içerisinde adsorbe edilerek çözülmekte bu da organik maddenin şişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle inorganik gözeneklerin sayısı azalmaya devam ederken organik gözeneklerin sayısı başlangıçta artmakla birlikte devamında azalma eğilimi göstermektedir.

Üçüncü aşama: Sıcaklığın 350-450 °C arasına karşılık geldiği ve gözenek sisteminin hızlı bir gelişim gösterdiği aşamadır. Organik maddenin olgun seviyeye geçmesiyle birlikte hidrokarbon üretimi önemli miktarda artmaktadır. Bu aşamada pirolize bağlı daha büyük ölçekte sıvı hidrokarbonlar oluşmakta ve organik maddenin şişmesi kesilerek çok sayıda organik gözenek gelişmektedir. Bununla birlikte hidrokarbon oluşumu sebebiyle büyük miktarda organik asit oluşmaktadır. Akışkan ortamının değişimi K feldispat, kalsit ve diğer duraysız mineralleri korozyona uğratarak ikincil gözenekleri oluşturmaktadır. Nispeten yüksek sıcaklık ve basınç koşullarının birleşmesiyle birlikte K iyonlarının serbest kalması simektit, illit-simektit katmanları gibi kil minerallerinin dönüşümünü artırmaktadır. Bu nedenle bu aşamada toplam kil içeriği, tane içi gözeneklerin oranı ve sıkışmış olan kayacın direnci artmakta, sıkışmanın gözenek sistemi üzerindeki etkisi ise azalmaktadır. Gözeneklerin boyutları, dağılımı ve birbiri ile olan bağlantıları önemli oranda gelişmekte ve gözeneklilik genel anlamda parabolik bir artış göstermektedir.

Dördüncü aşama: Sıcaklığın 550 °C'ye karşılık geldiği, kayaçların yüksek-aşırı olgun seviyeye geçtiği ve gözenek sisteminin sabit kaldığı aşamadır. Hidrokarbon oluşumunun yoğun olduğu aralık sona ermekte ve düşük miktarlarda kalıntı organik madde piroliz reaksiyonlarına devam ederek çok az miktarda yeni organik gözenekler oluşturmaktadır. Bu aşamada kayaç geç diyajenez evresinde olduğundan sıkışmaya karşı direnci ve duraylılığı önemli ölçüde gelişmiştir. Bu nedenle sıkışmanın gözenek sistemi üzerindeki etkisi önemsizdir ve nispeten kararlı akışkan ortamı minerallerin içerisindeki inorganik gözenek gelişimini sonlandırmaktadır. Gözenek sistemi bu noktada nispeten kararlı duruma geçmektedir.

Wu ve ark., (2019) tarafından organik madde içeriği Tip II kerojenden oluşan şeyl örneklerinden alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen bu çalışma organik porozite artan termal olgunlaşma ve sıcaklıkla birlikte geliştiğini kanıtlar niteliktedir.

Organik madde kaynağının çeşitliliği de gözenek miktarını büyük ölçüde etkilemektedir. Gözeneklerin oluşumunu sağlayan organik madde, organik madde tipine bağlı olarak değişen miktarlarda hidrojen içeren; *dönüşebilir* veya *canlı karbon* olarak adlandırılan TOK (organik maddenin hidrokarbon üretmeye eğilim gösteren kısmı) bileşenlerinden oluşmaktadır. Dolayısıyla, örneğin alginit maserallerinin vitrinit maseral grubundan daha fazla hidrojen içermesi sebebiyle alginitlerin ayrışmasıyla daha büyük hacimli gözeneklerin oluşması beklenmektedir (Loucks ve ark., 2009).

4.1. Organik Porozitenin Tespiti

Organik porozite, şeyl gözenek sisteminin önemli bir bileşeni olması sebebiyle karakterizasyonunun ortaya konması için birçok farklı teknik kullanılmaktadır. Organik porozitenin tanımlanmasında özellikle SEM yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Organik madde parçacıkları, mineral taneleri ve gözenekler bu yöntemle kolaylıkla ayırt edilebilmektedir ancak yöntemin çözünürlüğünün 5-10 nm olması tüm gözenekliliğin görüntülenmesine imkan sağlamamaktadır (Gu ve ark., 2016). Shen ve ark., (2018) aşırı olgun şeyllerin gaz tutma kapasitelerinin SEM’de görülmeyen nano boyutlardaki (<2 nm) gözenekler tarafından kontrol edildiğini ileri sürmektedir. SEM temel alınarak yapılan porozite tahminlerinin yarı nicel bir değerlendirme olması sebebiyle bu kestirimler tüm gözenek yelpazesini temsil edememektedir (İnan ve ark., 2018). Milliken ve ark., (2013) tarafından de Marcellus şeyllerinde helyum piknometre kullanılarak tespit edilen porozitenin % 68-98’inin FIB-SEM ile tespit edilemeyeceği belirtilmektedir.

Shi ve ark., (2018)’na ait çalışmada da Erken Siluriyen yaşlı Longmaxi şeyllerinin gözeneklerinin yaklaşık %23’lük önemli bir kısmının <2 nm küçük olduğu ve <2 nm gözeneklerin karakterize edilmesinde karbondioksit (CO₂) adsorpsiyon/desorpsiyon analizinin daha kullanışlı olacağı, TEM (Transmission Electron Microscopy- Geçirimli Elektron Mikroskobu) ve SEM yöntemlerinin nanometre ölçeğine kadar olan gözenek boyutlarında 2 boyutlu veri elde edilmesinde elverişli olduğu belirtilmektedir. Ayrıca 2-80 nm arası boyutlara sahip gözeneklerin belirlenmesi için N₂ adsorpsiyon/desorpsiyon analizi önerilirken >80 nm gözenekler için MICP (Mercury Injection Capillary Pressure) yöntemi önerilmektedir.

Organik porozitenin belirlenmesinde analiz yöntemlerinin yanı sıra matematiksel hesaplamalar da kullanılabilir. Bu hesaplamalarda kullanılan iki temel parametre orijinal HI ve TOK değerleridir. Bu değerler kayacın organik madde tipine göre sahip olabileceği HI değerleri üzerinden belirlenebilmektedir (Bkz. Bölüm 2). HI_o ve TOK_o değerlerinin belirlenmesi orijinal hidrokarbon üretim potansiyelinin tespit edilmesini de sağlamaktadır. Organik porozitenin matematiksel olarak belirlenmesinde bu çalışmada da kullanılmış olan Kuchinskiy (2013) tarafından önerilen formül şu şekildedir:

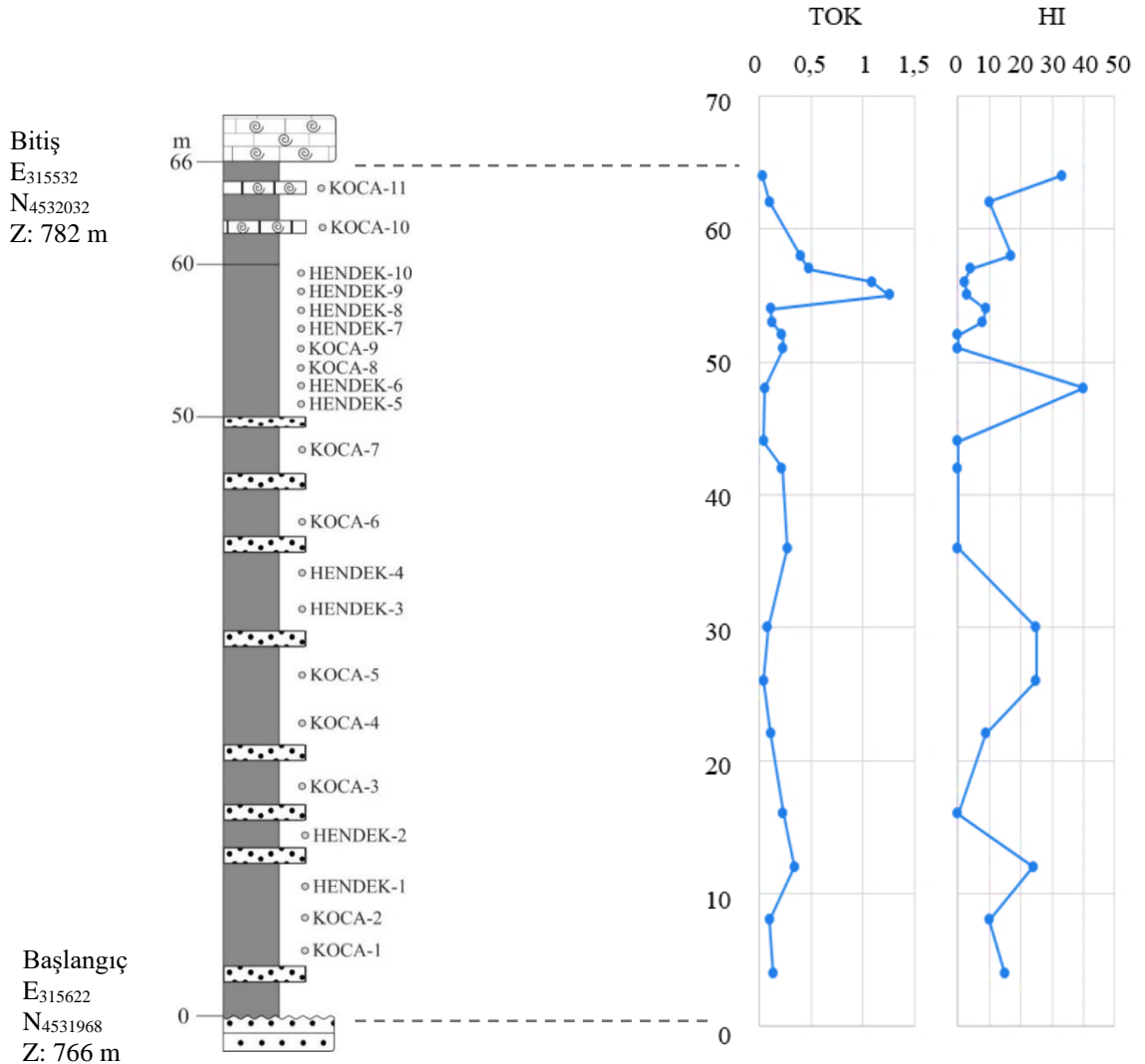
$$\% \text{ Organik Porozite } (\% V_{\text{ker}}) = [0,066 \times (HI_o - HI_g) - 3,01]$$

- % V_{ker} : Organik Porozitenin Organik Madde İçerisindeki Toplam Poroziteye Oranı
HI_o : Orijinal Hidrojen İndeks Değeri
HI_g : Günümüzdeki Hidrojen İndeks Değeri

5. JEOKİMYASAL ANALİZ VE ORGANİK POROZİTE SONUÇLARI

5.1. Örneklerin Rock-Eval Piroliz Analizinden Elde Edilen Sonuçlar

Hendek-Kocaali yöresinde, şeyllerden oluşan Fındıklı Formasyonu'nda toplam 66 m kesit ölçülmüş ve 11 adet şeyl örneği (Koca-1-11) alınmıştır. Daha önce Kavak (2007) tarafından alınan 10 adet örneğin (Hendek-1-10) de kesit alanı içerisindeki lokasyonları belirlenerek diğer örneklerle birlikte değerlendirilmiştir (Kavak, 2019 sözlü izin alınmıştır.) İlk 50 m'lik pelesipodlu şeyllerden alınan 11 adet, devamında görülen 10 m'lik masif şeyllerden alınan 8 adet ve kesitin son 6 m'lik seviyesini oluşturan *Orthoceras*'lı şeyllerden alınan 2 adet örneğin Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen TOK ve HI dağılımı şu şekildedir (Şekil 5.1.):

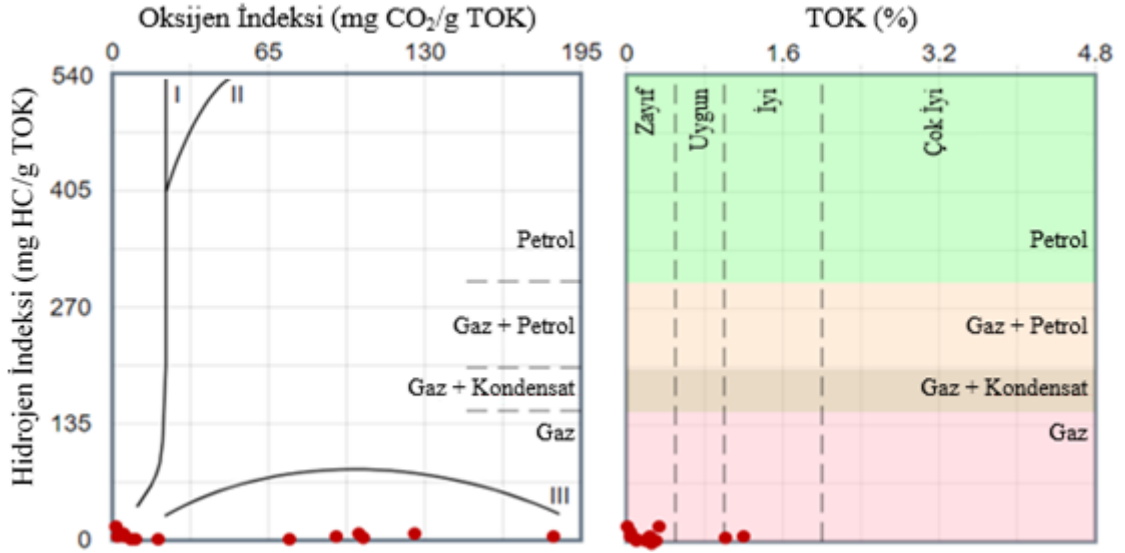


Şekil 5.1. Hendek-Kocaali kesitinin TOK ve HI dağılımları (Hendek-1-10 örnekleri Kavak (2007)'den alınmıştır)

Litolojik olarak yer yer kumtaşı aralanmalarının bulunduğu pelesipodlu şeyllerin TOK değerlerinin ağırlıkça % 0,04-0,34 arasında değiştiği ve hidrokarbon potansiyeli bakımından ekonomik sınırın altında olduğu görülmektedir. Kesitin en alt seviyelerinden alınan 4 örneğin HI değerleri, S₂ değerlerinin ölçülememiş olması sebebiyle hesaplanamamıştır. Diğer 7 örneğin HI değerleri ise 9-40 mg HC/g TOK arasında değişmektedir. HI değerleri örneklerdeki organik maddenin Jones (1984), Peters ve Cassa (1994)'e göre gaz üretmeye meyilli Tip IV kerojen olabileceğine işaret etmektedir. Kaynak kaya potansiyeli açısından da zayıf olduğu belirlenen örneklerin S₂ değerlerinin aynı zamanda 0,2 mg HC/g kayaç sınırının altında olması sebebiyle elde edilen T_{max} değerleri güvenilir sonuç vermeyeceğinden (Peters, 1986) T_{max}-HI ilişkisine göre organik madde tipini belirlemek yanıltıcı sonuç verecektir. Benzer şekilde 5 örneğin analiz sonuçları OI değerleri için güvenilir sonuç vermediğinden diğer 6 örneğin HI-OI ilişkisi de organik maddenin kalıntı karbondan oluştuğunu göstermektedir (Espitalie ve ark., 1977).

Kesitin 50-60 m aralığında yer alan masif şeyllerin TOK değerleri ağırlıkça % 0,11-1,26 arasında değişmektedir. TOK değerleri iki örnek dışında % 0,49'dan düşük olduğundan tüm örneklerin ortalaması da petrol potansiyelinin yetersiz olduğunu göstermektedir. Örnek-16 ile Örnek-17'de %1,09 ve 1,26 olarak ölçülen TOK değerleri kısıtlı bir zonun petrol potansiyeli açısından yeterli seviyede olduğunu gösterse de S₂ ölçümleri yapılabilen 6 örneğin HI değerlerinin 2-17 mg HC/g TOK arasında olması diğer örneklerde olduğu gibi organik maddenin Tip IV kerojen olabileceğini göstermektedir.

Kesitin son 6 metrelik *Orthoceras*'lı şeyllerin yer aldığı kısımdan alınan 2 örneğin TOK değerleri ağırlıkça % 0,1 ve 0,03 olarak ölçülmüş, HI değerleri ise 10 ve 33 mg HC/g TOK olarak hesaplanmıştır. Bu iki örnekte de sonuçlar petrol potansiyeli açısından zayıf ve organik maddenin gaz üretme eğiliminde olduğunu göstermektedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. HI-OI ve HI-TOK karşılaştırmalarına dayalı organik madde tipleri (Geoscience Australia, 2019)

Hendek-Kocaali kesitine ait örneklerin hepsinde TOK ve HI değerleri Fındıklı Formasyonu'nu temsil eden Siluriyen yaşlı şeyllerin Tip IV kerojene sahip olabileceğini göstermektedir. Kerojen tiplerinin belirlenmesinde kullanılan parametrelerden biri olan S_2/S_3 oranları da Hendek-07 (1,33) dışında 0-0,40 aralığında değişmekte ve bu bulguyu desteklemektedir (Şekil 5.3).

Kerojen Tipi	S_2/S_3
I	> 15
II	10-15
II/III	5-10
III	1-5
IV	< 1

Şekil 5.3. S_2/S_3 değer aralıklarına karşılık gelen kerojen tipleri (Peters ve Cassa, 1994)

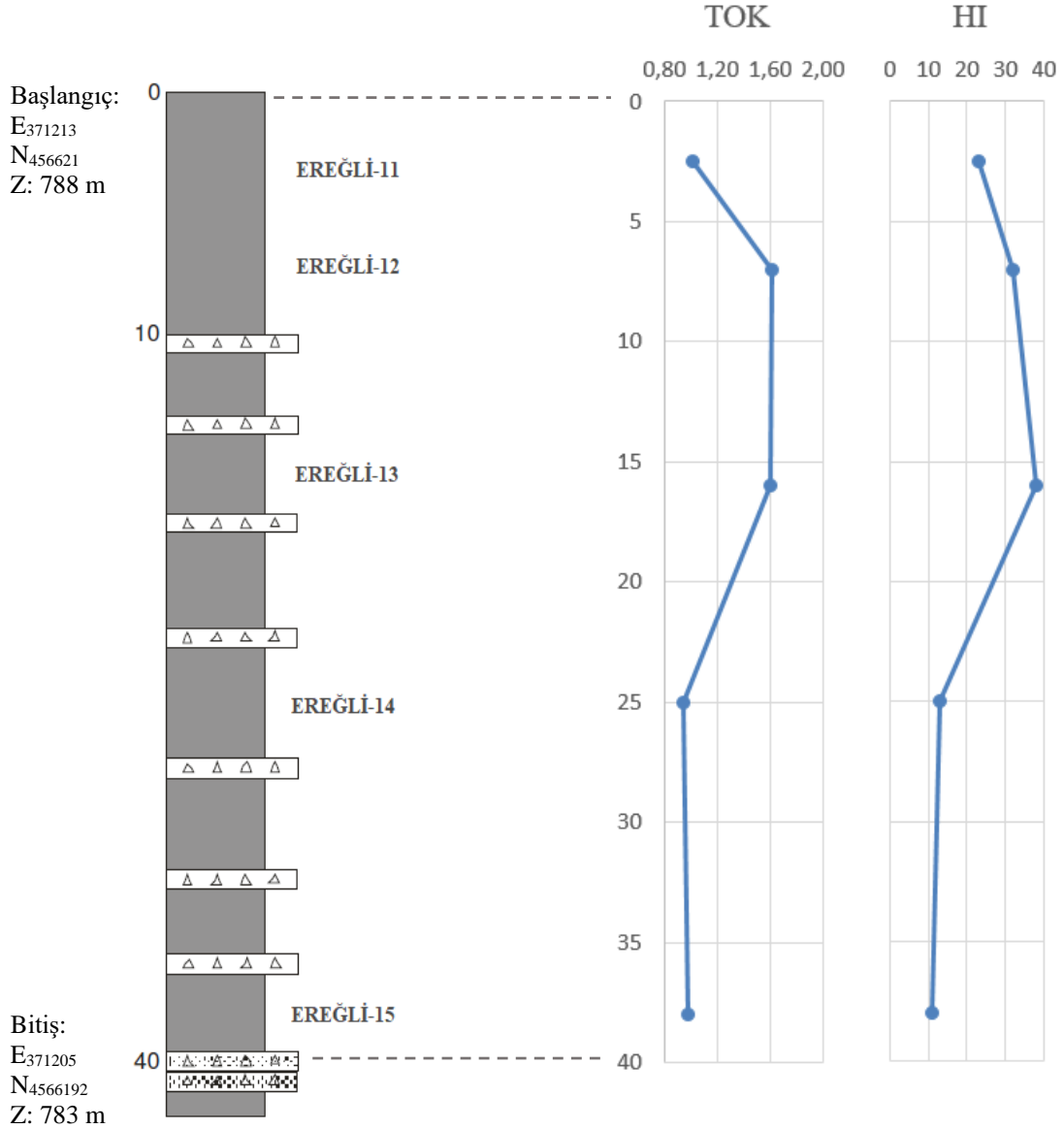
Hendek-Kocaali kesitinden alınan Koca- 1-11 örneklerinin ve Kavak (2007) tarafından alınan Hendek-1-10 örneklerinin jeokimyasal analiz verileri Çizelge 5.1'de yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Hendek-Kocaali kesitine ait örneklerin Rock-Eval piroliz analizinden ölçülen ve bu veriler kullanılarak hesaplanan değerleri (Hendek-01-10 örnekleri Kavak, 2007'den izni ile alınmıştır.)

Örnek No	TOK	S ₁	S ₂	S ₃	T _{max} (°C)	HI	OI	S ₂ /S ₃	S ₁ / TOK	PI
Koca-01	0,13	0,00	0,02	0,43	463	15	331	0,05	0	0,20
Koca-02	0,10	0,00	0,01	0,30	610	10	300	0,03	0	0,30
Hendek-01	0,34	0,07	0,08	0,00	-	24	0	-	21	0,47
Hendek-02	0,23	0,01	0,00	0,05	-	0	22	0,00	4	1,00
Koca-03	0,11	0,00	0,01	0,14	545	9	127	0,07	0	0,24
Koca-04	0,04	0,00	0,01	0,04	502	25	100	0,25	0	0,34
Koca-05	0,08	0,01	0,02	0,53	600	25	662	0,04	0,125	0,22
Hendek-03	0,27	0,00	0,00	0,04	-	0	15	0,00	0	-
Hendek-04	0,22	0,00	0,00	0,03	-	0	14	0,00	0	-
Koca-06	0,04	0,00	0,00	0,42	504	0	1050	0,00	0	0,97
Koca-07	0,05	0,01	0,02	0,28	503	40	560	0,07	0,2	0,24
Hendek-05	0,23	0,00	0,00	0,17	-	0	74	0,00	0	-
Hendek-06	0,22	0,00	0,00	0,23	-	0	105	0,00	0	-
Koca-08	0,12	0,00	0,01	0,50	504	8	417	0,02	0	0,23
Koca-09	0,11	0,00	0,01	0,28	343	9	255	0,04	0	0,25
Hendek-07	1,26	0,04	0,04	0,03	-	3	2	1,33	17	0,85
Hendek-08	1,09	0,02	0,02	0,10	-	2	9	0,20	13	0,88
Hendek-09	0,48	0,02	0,02	0,05	-	4	10	0,40	13	0,75
Hendek-10	0,40	0,07	0,07	0,37	410	17	92	0,19	15	0,46
Koca-10	0,10	0,00	0,01	0,18	503	10	180	0,06	0	0,29
Koca-11	0,03	0,00	0,01	0,26	503	33	867	0,04	0	0,21

Fındıklı Formasyonu'ndan alınan örnekler üzerinde daha önce Kavak (2007) tarafından yapılan hidrokarbon kaynak kayaç değerlendirilmesinde örneklerin aşırı olgunlaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca Kavak (2007) tarafından Ereğli-Gülüç ve İğdir-Örenköy kesitlerinden alınan örnekler üzerinde yapılan Rock-Eval piroliz analizlerinden elde edilen sonuçlar ise şu şekildedir:

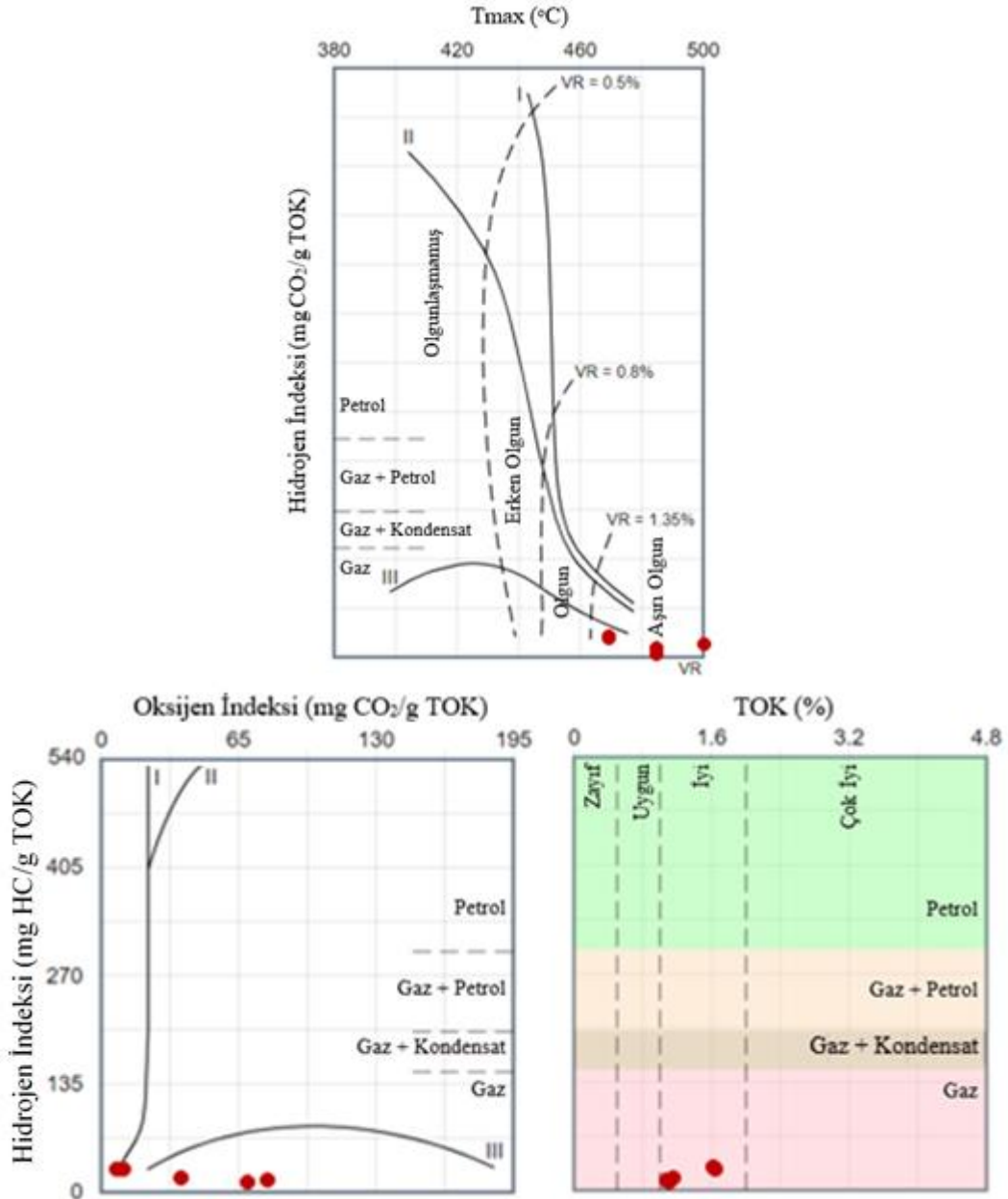
Ereğli-Gülüç yöresinde çört-şeyl ardalannasından oluşan Erken Siluriyen yaşlı birimlerden alınan 5 adet örneğin Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen TOK ve HI dağılımları aşağıda yer almaktadır (şekil 5.4).



şekil 5.4. Ereğli-Gülüç Baraj Yolu kesitinin TOK ve HI dağılımları (Kavak, 2007'den düzenlenerek alınmıştır.)

Kesitten alınan 5 örneğin TOK değerleri ağırlıkça % 0,94-1,61 arasında değişmekte ve petrol potansiyeli açısından ekonomik sınırın üzerinde *orta-iyi* seviyeye sahip olduğunu göstermektedir. HI değerleri ise 11-38 mg HC/g TOK arasında değişmekte ve Jones (1984), Peters ve Cassa (1994)'e göre kayaçların Tip IV kerojen içerebileceğine işaret etmektedir. Ereğli-14 ve Ereğli-15 örneklelerinin S₂ değerlerinin 0,2 mg HC/g kayaç

altında olması sebebiyle T_{max} değerleri güvenilir bir sonuca sahip değildir. Bu nedenle diğer 3 örneğe ait değerler HI- T_{max} grafiğine aktarılmıştır. Kerojen tipinin ve kayacın olgunluk seviyesinin güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi için HI- T_{max} grafiği tek başına dikkate alınmamış HI-OI ve HI-TOC grafikleri ile beraber değerlendirilmiştir. Üç grafik birlikte yorumlandığında örneklerin aşırı olgunlaştığı ve organik maddenin kalıntı karbondan oluştuğu görülmektedir (Kavak,2007) (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. HI-Tmax, HI-OI ve HI-TOC karşılaştırmalarına dayalı organik madde tipleri (Geoscience Australia, 2019)

Tmax değerleri kullanılarak aşağıda yer alan formül kullanılarak vitrinit yansıma değerleri hesaplanmıştır (Jarvie ve ark., 2004):

$$\% V_r = (0,0180 \times T_{max}) - 7,16$$

% Vr (Tmax bazlı) değerleri örneklerin termal olgunlaşma seviyesinin ıslak-kuru gaz penceresinde olduğunu göstermektedir (Şekil 5.6).

% Vr	Olgunluk Seviyesi	
< 0,6	Olgunlaşmamış	
0,6-1,0	Petrol Penceresi (0.90 % Vr petrol piki)	
1,0-1,4	Kondensat-ıslak gaz penceresi	→ Ereğli-12-13 % 1,26
> 1,4	Kuru gaz penceresi	→ Ereğli -11 % 1,84

Şekil 5.6. Hesaplanan % Vr değerlerine karşılık gelen olgunluk seviyeleri

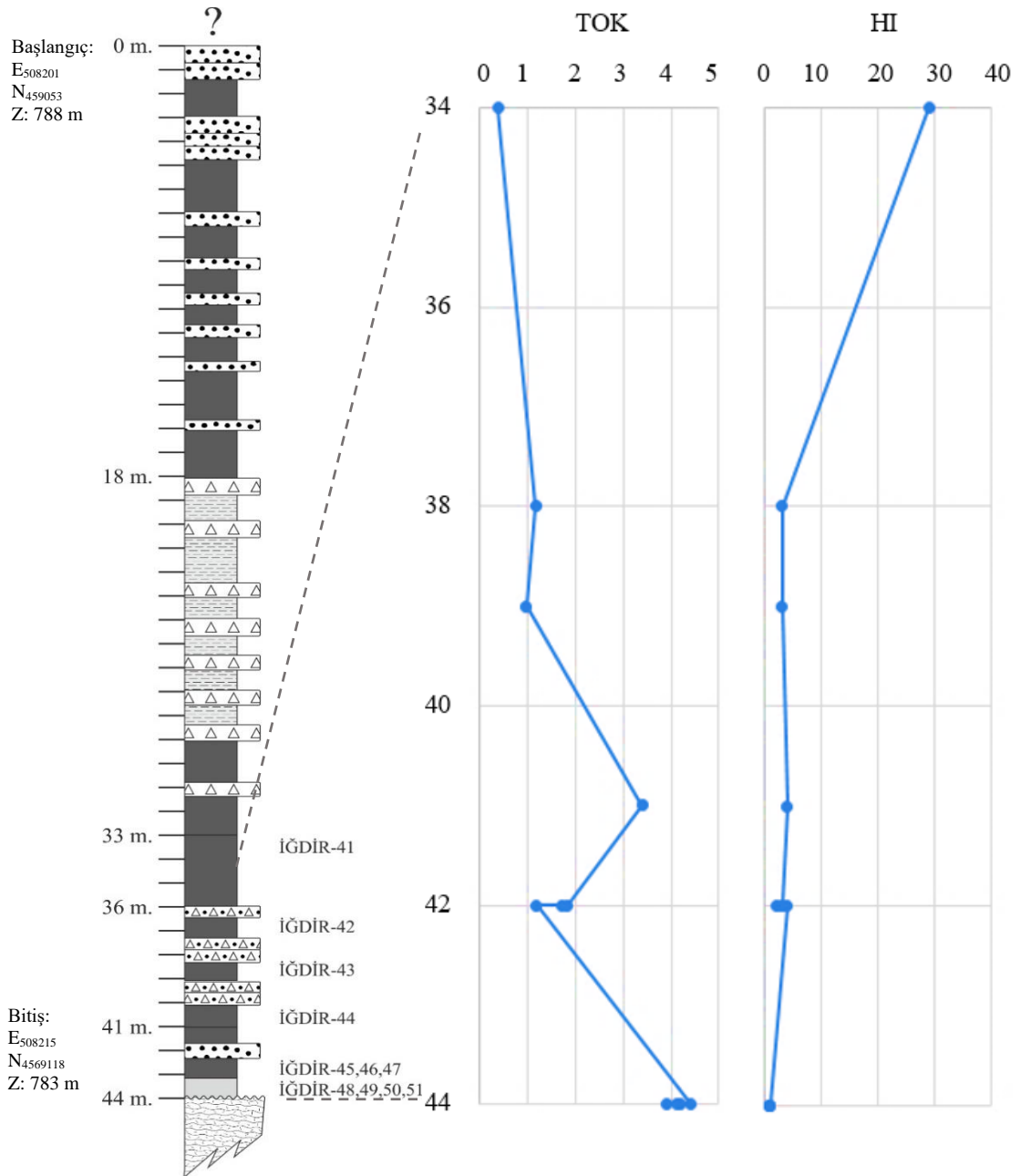
Ereğli-Gülüç kesitinden alınan örneklerin leokimyasal analiz sonuçları veriler Çizelge 5.2’de yer almaktadır.

Çizelge 5.2 Ereğli-Gülüç kesitine ait örneklerin Rock-Eval piroliz analizinden ölçülen ve bu veriler kullanılarak hesaplanan değerleri (Kavak, 2007’den aynen alınmıştır.)

Örnek No	TOK	S ₁	S ₂	S ₃	T _{max} (°C)	HI	OI	S ₂ /S ₃	S ₁ / TOK	PI
Ereğli-11	1,02	0,08	0,23	0,37	500	23	36	0,62	8	0,26
Ereğli-12	1,61	0,22	0,52	0,15	468	32	9	3,47	14	0,30
Ereğli-13	1,60	0,24	0,61	0,19	468	38	12	3,21	15	0,28
Ereğli-14	0,94	0,02	0,12	0,71	486	13	76	0,17	2	0,14
Ereğli-15	0,98	0,02	0,11	0,68	486	11	69	0,16	2	0,15

İğdir yöresinde Erken Siluriyen yaşlı şeyllerde Kavak (2007) tarafından 44 m ölçülü stratigrafik kesit alınmış; organik madde içermeyen Ordivisiyen yaşlı filiş ve şeyllerde kesit sonlandırılmıştır. İstifin üstte yer alan en genç seviyesi, 18 m kalınlığında litolojik olarak kırmızı-kızıl renkli şeyl ile 30-40 cm kalınlığında tabakalı kuvars kumtaşı

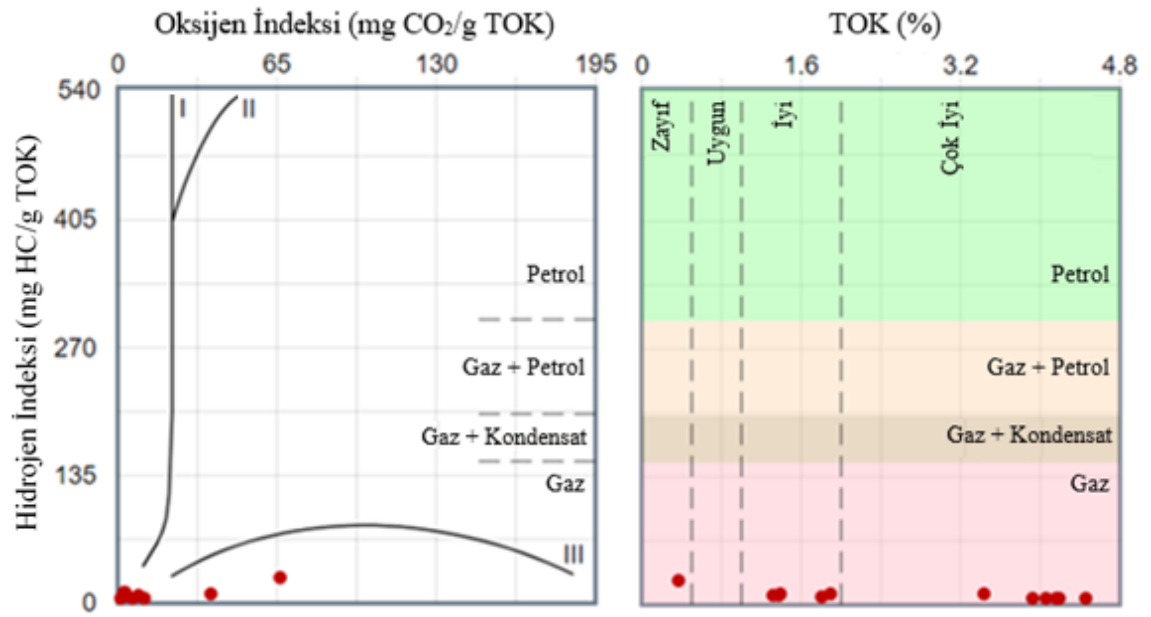
ardalanmasından oluşmaktadır. Orta seviye, 12 m boyunca kıltaşı ile 5-10 cm kalınlığında tabakalı çört ardalanması şeklinde devam etmektedir. Ordovisiyen yaşlı birimlerin üzerine gelen alt seviye ise 14 m kalınlığa sahiptir ve graptolitli şeyller ile kuvars kumtaşı ardalanmasından meydana gelmektedir. Kesit boyunca alınan 11 örneğin tamamı alt seviyeyi temsil etmektedir. Örneklerin 9 'u kesitin son 3 m'lik kesimini oluşturan graptolitli zondan diğer 3'ü ise graptolit içermeyen kesimlerinden alınmıştır (Kavak,2007). Örneklerin Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen TOK ve HI dağılımı şu şekildedir (Şekil 5.7):



Şekil 5.7. İğdir-Örenköy yolu kesitinin TOK ve HI dağılımları (Kavak, 2007'den düzenlenerek alınmıştır.)

Kesitin alt seviyesinden alınan 11 adet örneğin TOK değerleri ağırlıkça % 0,38-4,43 arasında değişmektedir. Örneklerin içerdiği TOK miktarları petrol potansiyeli açısından değerlendirildiğinde 1 örnek dışında tüm örneklerin ekonomik sınırın üzerinde olduğu görülmektedir. Graptolit içermeyen şeyllerden alınan İğdir-41-43 örneklerinin petrol potansiyeli *zayıf*, *iyi* ve *orta* şeklinde değişkenlik göstermektedir. Graptolitli şeyllerin petrol potansiyeli ise Thomas (1979)'a göre İğdir-45-47 örneklerinde *iyi*, İğdir-44 ve 50 örneklerinde *çok iyi*, İğdir-48-49 ve 51 örneklerinde *mükemmel* sınıfına karşılık gelmektedir (Kavak,2007).

HI değerleri İğdir-41 (29 mg HC/g TOK) dışında 1-4 mg HC/g TOK arasında değişmektedir. Örneklerin içerdiği TOK miktarları yüksek olmasına rağmen hidrojenin tüketilmiş olması örneklerin aşırı olgunlaşmış olabileceğine işaret etmektedir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. HI-OI ve HI-TOK karşılaştırmalarına dayalı organik madde tipleri (Geoscience Australia, 2019)

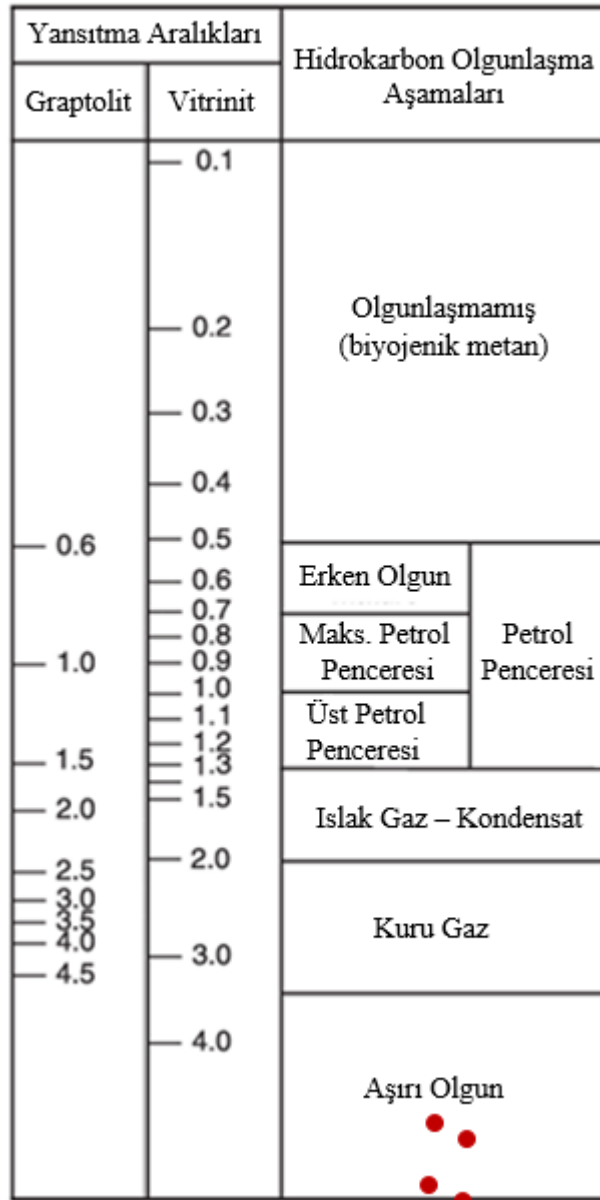
İğdir-Örenköy kesitinden alınan örneklerin lekimyasal analiz sonuçları veriler Çizelge 5.3'de yer almaktadır.

Çizelge 5.3. İğdir-Örenköy yolu kesitine ait örneklerin Rock-Eval piroliz analizinden ölçülen ve bu veriler kullanılarak hesaplanan değerleri (Kavak, 2007'den aynen alınmıştır.)

Örnek No	TOK	S ₁	S ₂	S ₃	T _{max} (°C)	HI	OI	S ₂ /S ₃	S ₁ / TOK	PI
İğdir-41	0,38	0,03	0,11	0,25	368	29	66	0,44	8	0,21
İğdir-42	1,18	0,03	0,04	0,44	423	3	37	0,09	3	0,43
İğdir-43	0,98	0,08	0,03	0,04	314	3	4	0,75	8	0,73
İğdir-44	3,40	0,22	0,15	0,14	-	4	4	1,07	6	0,59
İğdir-45	1,83	0,11	0,06	0,24	-	3	13	0,25	6	0,65
İğdir-46	1,71	0,09	0,04	0,27	-	2	16	0,15	5	0,69
İğdir-47	1,20	0,08	0,05	0,09	-	4	8	0,56	7	0,62
İğdir-48	4,43	0,10	0,03	0,13	-	1	3	0,23	2	0,77
İğdir-49	4,13	0,10	0,03	0,25	-	1	6	0,12	2	0,77
İğdir-50	3,91	0,12	0,04	0,28	-	1	7	0,14	3	0,75
İğdir-51	4,21	0,12	0,03	0,42	-	1	10	0,07	3	0,80

Kavak (2007) tarafından İğdir-Örenköy yolu kesitinden alınan graptolitli örneklerde Rock-Eval piroliz analizlerinin yanı sıra graptolit yansıtma ölçümlerinden faydalanılmıştır. Bu ölçümler, % Vr değerleri ile korele edilerek örneklerin olgunluk seviyelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bilindiği gibi sedimanter kayalar içerisinde organik maddelerin yansıma ölçümleri termal olgunluk göstergesi olarak değerlendirilmektedir. İlk damarlı bitkilerin geliştiği Geç Siluriyen'den sonra görülen vitrinit, olgunlaşmanın belirlenmesinde en yaygın kullanılan parametrelerdir biridir. Erken Paleozoyik yaşlı kayalarda vitrinit olmaması sebebiyle yansıtma ölçümleri denizel canlı parçacıkları (graptolitler, chitinozoalar, scolecodontlar) ve diğer organik parçacıklar (bitüm, vitrinit benzeri parçacıklar) kullanılmaktadır (Petersen, 2013).

Graptolitler esas olarak Erken Ordovisiyen-Erken Devoniyen denizel çökellerinde bulunmakta ve bu yaş aralığındaki çökeller vitrinit içermemektedir. Graptolitler artan gömülme derinliği ile birlikte vitrinitlere benzer optik değişimler göstermektedirler. Bu yüzden graptolit yansıtmalarında vitrinitlerde olduğu gibi olgunlaşma seviyesinin artmasına bağlı artış gözlenmektedir (Goodarzi ve Norford, 1989; Şekil 5.9). Özetle graptolit yansıtmaları, vitrinit içermeyen Devoniyen öncesi çökellerde yapılan termal olgunlaşma değerlendirmelerinde başarılı sonuçlar vermektedir (Bertrand, 1990).



Şekil 5.9. Yansıtma değerleri ile hidrokarbon olgunlaşma seviyelerinin korelasyonu ve örneklerin yer aldığı seviye (Harrison ve ark., 2008’den sadeleştirilerek alınmıştır)

Birçok araştırmacı tarafından graptolit yansıtma değerlerinin vitrinit yansıtma eşdeğerleri için birbirine yakın limit aralıkları kullanılmaktadır. Örneğin, Goodarzi ve Nordford (1989) tarafından % 0,6-1,2 aralığındaki graptolit yansıtma değerlerinin vitrinit yansıtma eşdeğerlerinin % 0,2-0,5 aralığına karşılık geldiği ve petrol penceresindeki örneklerin graptolit yansıtma değerlerinin % 1,13-2,07 arasında değiştiği belirtilmektedir. Link ve ark., (1990) ise yüksek olgunluk seviyelerinde graptolit yansıtma değerlerinin vitrinit yansıtma değerlerinden daha hızlı arttığını belirterek %5,0-6,5 aralığındaki graptolit yansıtma aralığının vitrinit yansıtma eşdeğerinin % 4’e karşılık geldiğini ifade etmektedir. Benzer

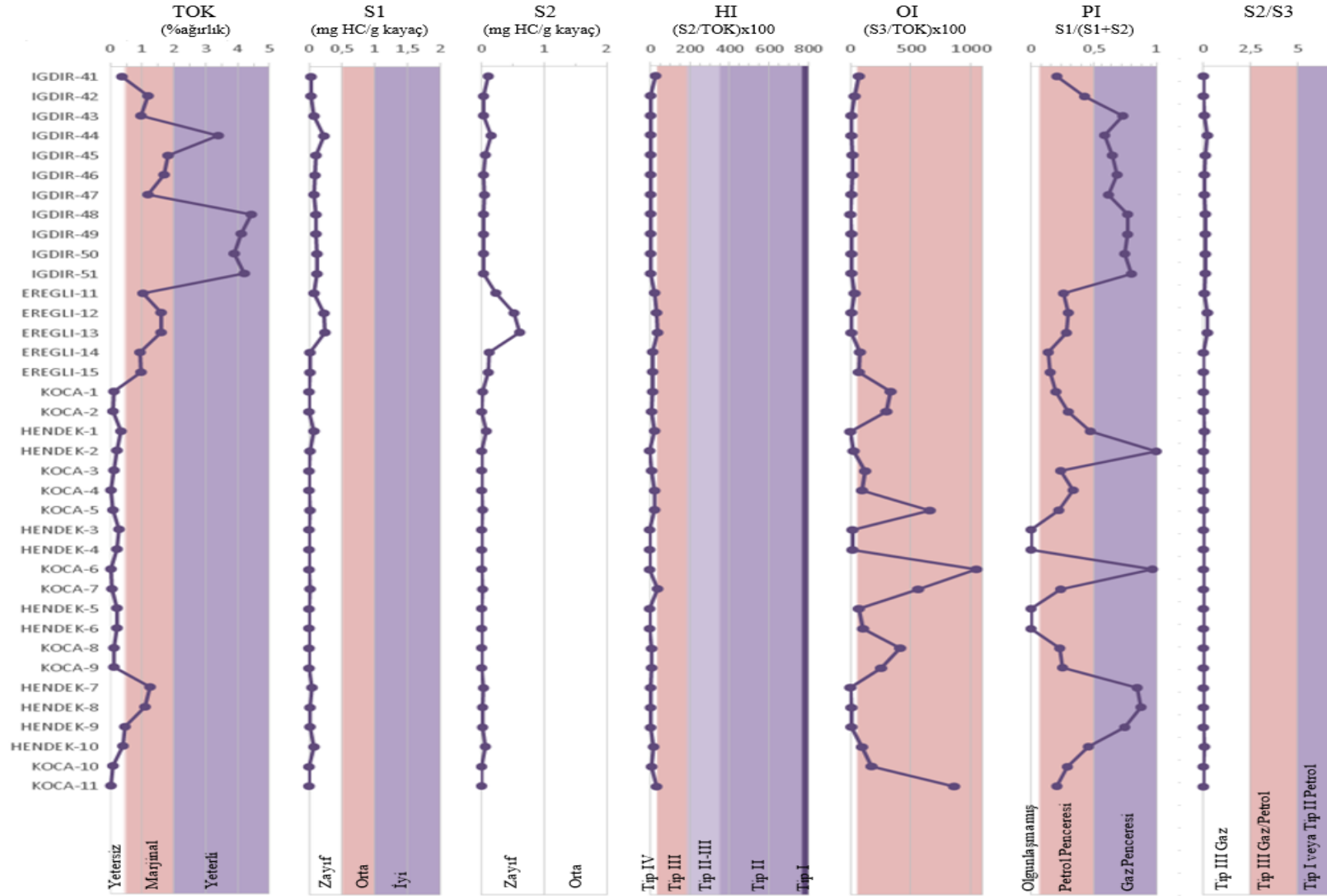
şekilde Peterson ve ark. (2013) çalışmasında termal olgunluğun artmasıyla birlikte graptolit yansıtma ölçümlerinin öngörülen vitrinit yansıtma değerlerinden daha hızlı arttığı tespit edilmiş ve aralarındaki ilişki şu eşitlik ile açıklanmıştır:

$$V_{\text{eşdeğeri}} = 0,73 \times Gr + 0,16$$

Kavak (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada İğdir-48 örneğinde yapılan graptolit yansıtma ölçümleri % GRrandom 6,56 ile 9,70 arasında değişmektedir (Çizelge 5.4). Bu değerler Peterson ve ark., (2013) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak vitrinit yansıtma eşdeğerleri hesaplandığında ayrıca Harrison ve ark., (2008)'nin tablosunda karşılık geldiği aralıklar incelendiğinde graptolit yansıtma sonuçları İğdir-48 örneğinin aşırı olgun seviyede olduğu göstermekte ve Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen sonuçları desteklemektedir (Şekil 5.10).

Çizelge 5.4. İğdir-48 örneğine ait graptolit yansıtma değerleri (Kavak, 2007'den aynen alınmıştır.)

% GRrandom	V_{eşdeğeri} (Peterson ve ark., (2013))
8,12	6,09
9,27	6,93
8,81	6,59
6,93	5,22
7,71	5,79
6,56	4,95
8,01	6,01
8,46	6,34
8,30	6,22
8,81	6,59
8,68	6,50
8,68	6,50
8,85	6,62
8,42	6,31
8,47	6,34
8,20	6,15
9,70	7,24
8,61	6,45



Şekil 5.10. Fındıklı Formasyonu'nun ölçülen ve hesaplanan organik jeokimyasal parametreleri

5.2. Analiz Sonuçlarının Değerlendirmesi

Batıdan doğuya doğru sırasıyla Hendek-Kocaali, Ereğli-Gülüç ve İğdir-Örenköy kesitlerinde yapılan Rock-Eval piroliz analizlerinden elde edilen değerler örneklerin günümüzde aşırı olgunlaştığını ve organik madde tipinin Tip IV kerojen olabileceğini göstermektedir. Ancak kayaç içerisinde oluşan petrolün hacminin tahmin edilebilmesi için kayacın başlangıçtaki hidrokarbon potansiyeli ve organik madde dönüşüm derecesinin bilinmesi gerekmektedir. Orijinal üretim potansiyelinin belirlenmesi için başlangıçtaki TOK miktarı ve kerojenin tipi belirlenmelidir. Nihai petrol verimi, başlangıçtaki TOK miktarı ve kerojenin başlangıçtaki hidrojen içeriği ile orantılıdır (Baskin,1997).

Porozite değerlerindeki değişimlerin de gözlenebilmesi için HI_{as} değerleri 250-475 mg HC/g TOK aralığında 50 mg HC/g TOK artırılarak sırasıyla 250,300,350,400,450,475 mg HC/g TOK alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Değişen HI_{as} değerleri karşısında;

- İğdir örnekleri:
 - TOK_o değerleri minimum İğdir-41 örneğinde 0,48-0,64 arasında, maksimum İğdir-48 örneğinde 5,63-7,43 arasında,
 - S_{2o} değerleri minimum İğdir-41 örneğinde 1,35-3,41 arasında, maksimum İğdir-48 örneğinde 14,44- 36,20 arasında,
 - HI_o değerleri minimum İğdir-48-51 örneklerinde 257-487 arasında, maksimum İğdir-41 örneğinde 279-504 arasında,
 - TR değerleri minimum İğdir-41 örneğinde % 89,6- 94,2 arasında, maksimum İğdir-48-51 örneklerinde % 99,6-99,8 arasında,
 - PY değerleri İğdir-41 örneğinde 29,44-70,25 arasında, maksimum İğdir-48 örneğinde 315,8-791,6 arasında değişim göstermektedir.
- Ereğli örnekleri:
 - TOK_o değerleri minimum Ereğli-14 örneğinde 1,19-1,58 arasında, maksimum Ereğli-12 örneğinde 2,04-2,70 arasında,
 - S_{2o} değerleri minimum Ereğli-14 örneğinde 3,18-7,79 arasında, maksimum Ereğli-13 örneğinde 5,81-13,67 arasında,

- HI_o değerleri minimum Ereğli-15 örneğinde 265-493 arasında, maksimum Ereğli-13 örneğinde 286-509 arasında,
- TR değerleri minimum Ereğli-13 örneğinde % 86,7-92,5 arasında, maksimum Ereğli-15 örneğinde % 95,8-97,8 arasında,
- PY değerleri Ereğli-14 örneğinde 69,49-170,46 arasında, maksimum Ereğli-13 örneğinde 127,16-299,01 arasında değişim göstermektedir.
- Hendek örnekleri:
 - TOK_o değerleri minimum Koca-11 örneğinde 0,04-0,05 arasında, maksimum Hendek-7 örneğinde 1,6-2,11 arasında,
 - S_{2o} değerleri minimum Koca-11 örneğinde 0,11-0,25 arasında, maksimum Hendek-7 örneğinde 4,14-10,33 arasında,
 - HI_o değerleri minimum Hendek-02-06 ve Koca-06 örneklerinde 256-487 arasında, maksimum Koca-07 örneğinde 288-510 arasında,
 - PY değerleri Koca-11 örneğinde 2,35-5,58 arasında, maksimum Hendek-07 örneğinde 90,51-225,84 arasında,
 - TR değerleri minimum Koca-07 örneğinde % 86,1-92,2 arasında değişirken maksimum Hendek-02-06 ve Koca-06 örneklerinde % 100 olarak hesaplanmıştır.

Tüm örnekler beraber değerlendirildiğinde olgunlaşmaya bağlı olarak kerojenden karbonun atılmasıyla birlikte TOK değerlerinin % 21,26-40,39 arasında azaldığı ve TR oranlarının neredeyse % 100'e yakın olduğu dolayısıyla aşırı olgunlaşmış olduğu görülmektedir. Rock-Eval piroliz verilerine göre bugünkü koşullarda petrol potansiyeli açısından *zayıf* sınıfına dahil olan İğdir ve Ereğli örneklerine ait TOK_o değerlerinin *iyi-çok iyi* sınıfında olduğu görülmektedir. Buna karşılık Hendek örneklerinin iki örnek dışında TOK_o değerleri de petrol potansiyelinin *zayıf* olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde HI_g değerlerine karşılık gelen kerojen tipleri termal olarak olgunlaşmış kayaçlarda gaz üretme eğilimindeki şeyllerin günümüzdeki potansiyelini yansıtırken en düşük HI_{as} değerinde dahi hesaplanan HI_o değerleri tüm örneklerin Tip II kerojen içeren denizel kökenli şeyllerden oluştuğunu göstermektedir.

Örneklerin gerek orijinal gerekse günümüzdeki TOK ve PY değerleri incelendiğinde doğudan batıya (İğdir→Ereğli→Hendek) doğru azalma trendinde olduğu görülmektedir. Ayrıca Hendek kesitinde Erken Siluriyen yaşını veren graptolitlere rastlanmaması ve

Orthoceras fosillerinin gözlenmesi doğudan batıya doğru Siluriyen anoksizmasından etkilenme oranının azaldığı, oksik ortam koşullarının etkili olmaya başladığı dolayısıyla Hendek örneklerinin yaşının Orta-Geç Siluriyene karşılık gelebileceği sonucuna varılmasını sağlamaktadır. Batıdan doğuya doğru TOK miktarlarındaki azalma da bu sonucu desteklemektedir.

Birçok araştırma organik porozitenin denizel kökenli aşırı olgun şeyllerde geliştiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle tez kapsamında alınan örneklerin literatürde Erken Siluriyen yaşlı denizel şeyller olduğu belirtilse de analiz sonuçları ve bu sonuçlardan itibaren hesaplanan orijinal içerikleri ile organik porozite gelişimi için uygun örnekler olduğu bir kez daha doğrulanmıştır.

5.3. Hendek-Kocaali, Ereğli-Gülüş ve İğdir-Örenköy Kesitlerinin Organik Porozite Değerlerinin Matematiksel Yöntemlerle Hesaplanması

Tez çalışması kapsamında Hendek-Kocaali, Ereğli-Gülüş ve İğdir-Örenköy kesitlerinden alınan örneklerin Rock-Eval piroliz verileri kullanılarak Jarvie (2005;2012)'e göre hesaplanan TOK_o, HI_o ve S_{2o} değerlerinden itibaren Kuchinskiy (2013)'e göre organik porozite değerleri tespit edilmiştir.

Organik porozitenin belirlenmesinde kullanılan parametreler olan TOK_o, HI_o ve S_{2o} değerleri Bölüm 2.2'de yer alan formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Alt Siluriyen şeylleri denizel ortam çökeli olması sebebiyle Tip II kerojen içermekte ve orijinal HI değerleri ortalama 475 mg HC/g TOK'a kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle organik madde tipi doğrultusunda varsayılan hidrojen indeks (HI_{as}) değerleri 250-475 mg HC/g TOK arasında ve 50 mg HC/g TOK artırılarak hesaplamalara dahil edilmiştir. Ayrıca sonuçların kontrolünü sağlamak adına HI_{as} değerleri HI_o değerleri olarak kabul edilmiş ve organik porozite hesaplamaları tekrarlanmıştır. HI_{as} değerleri arttıkça organik porozitenin organik madde içerisindeki toplam poroziteye oranının ortalama % 13,74'den 28,82'ye kadar çıktığı görülmektedir. HI_{as} değerleri HI_o değerleri olarak kabul edildiğinde ise ortalama değerler % 12,77 ile 27,62 arasında değişmektedir. İki şekilde de hesaplanan organik porozite değerleri karşılaştırıldığında aradaki farkın ortalama % 0,97-1,2 arasında olduğu görülmüştür.

Özellikle İğdir-48-51 örneklerinde TOK değerlerinin oldukça yüksek olmasına rağmen % V_{ker} değerlerinin diğer örneklerle hemen hemen aynı çıkması hidrojenin aşırı tüketilmiş olmasıyla yani aşırı termal olgunluk değerleri ile ilişkilidir. Genel anlamda batıdan doğuya (Hendek→Ereğli→İğdir) TOK değerleri artış gösterirken HI değerleri azalmış ve tüm örneklerde organik porozite değerlerinin birbirine yakın çıkmasına neden olmuştur. Bu durum hidrojenin tüketilmesinin yanı sıra anoksizmanın etkisinin doğudan batıya azalması buna bağlı olarak da Hendek örneklerinin Ereğli ve İğdir örneklerine kıyasla daha düşük seviyede TOK içermesiyle ilişkili olabileceğini göstermektedir (Çizelge 5.5; Şekil 5.11).

Çizelge 5.5. Değişen HI_{as} Değerlerinden İtibaren Hesaplanan Organik Porozite Değerleri

ÖRNEK NO	TOK	TOK ORT	S ₂	HI	TOK _o	TOK _o ORT	TOK _{ch}	S _{2o}	PY	HI _{as} : 250 mg HC/g TOK alınarak hesaplanan veriler			HI _o : 250 mg HC/g TOK kabul edilerek hesaplanan veriler		
										HI _o	% TR	% V _{ker}	HI _o	% TR	% V _{ker}
İĞDİR-41	0,38		0,11	29	0,48		0,10	1,35	29,44	278,92	89,6	13,48	250	88,4	11,58
İĞDİR-42	1,18		0,04	3	1,50		0,32	3,88	84,82	258,80	98,8	13,87	250	98,8	13,29
İĞDİR-43	0,98		0,03	3	1,24		0,26	3,22	70,37	258,54	98,8	13,86	250	98,8	13,29
İĞDİR-44	3,4		0,15	4	4,32		0,92	11,21	245,15	259,60	98,5	13,86	250	98,4	13,23
İĞDİR-45	1,83		0,06	3	2,32		0,49	6,01	131,49	258,71	98,8	13,87	250	98,8	13,29
İĞDİR-46	1,71	2,49	0,04	2	2,17	3,16	0,46	5,60	122,52	257,97	99,2	13,88	250	99,2	13,36
İĞDİR-47	1,2		0,05	4	1,52		0,32	3,95	86,46	259,41	98,5	13,85	250	98,4	13,23
İĞDİR-48	4,43		0,03	1	5,63		1,20	14,44	315,80	256,66	99,6	13,86	250	99,6	13,42
İĞDİR-49	4,13		0,03	1	5,25		1,12	13,46	294,45	256,70	99,6	13,87	250	99,6	13,42
İĞDİR-50	3,91		0,04	1	4,97		1,06	12,76	279,02	256,93	99,6	13,88	250	99,6	13,42
İĞDİR-51	4,21		0,03	1	5,35		1,14	13,72	300,15	256,69	99,6	13,87	250	99,6	13,42
EREGLİ-11	1,02		0,23	23	1,30		0,28	3,55	77,59	273,88	91,6	13,55	250	90,8	11,97
EREGLİ-12	1,61		0,52	32	2,04		0,43	5,76	125,90	281,56	88,6	13,46	250	87,2	11,38
EREGLİ-13	1,6	1,23	0,61	38	2,03	1,56	0,43	5,81	127,16	286,15	86,7	13,37	250	84,8	10,98
EREGLİ-14	0,94		0,12	13	1,19		0,25	3,18	69,49	266,18	95,1	13,70	250	94,8	12,63
EREGLİ-15	0,98		0,11	11	1,24		0,26	3,30	72,12	264,96	95,9	13,75	250	95,6	12,76
KOCA-01	0,13		0,02	15	0,17		0,04	0,44	9,69	268,24	94,4	13,70	250	94,0	12,50
KOCA-02	0,1		0,01	10	0,13		0,03	0,34	7,33	264,00	96,2	13,75	250	96,0	12,83
HENDEK-01	0,34		0,08	24	0,43		0,09	1,19	25,94	274,65	91,3	13,53	250	90,4	11,91
HENDEK-02	0,23		0	0	0,29		0,06	0,75	16,36	256,13	100	13,89	250	100	13,49
KOCA-03	0,11		0,01	9	0,14		0,03	0,37	8,04	263,28	96,6	13,77	250	96,4	12,90
KOCA-04	0,04		0,01	25	0,05		0,01	0,14	3,06	275,81	90,9	13,54	250	90,0	11,84
KOCA-05	0,08		0,02	25	0,10		0,02	0,28	6,13	275,81	90,9	13,54	250	90,0	11,84
HENDEK-03	0,27		0	0	0,34		0,07	0,88	19,21	256,13	100	13,89	250	100	13,49
HENDEK-04	0,22		0	0	0,28		0,06	0,72	15,65	256,13	100	13,89	250	100	13,49
KOCA-06	0,04		0	0	0,05		0,01	0,13	2,85	256,13	100	13,89	250	100	13,49
KOCA-07	0,05	0,27	0,02	40	0,06	0,34	0,01	0,18	3,99	287,62	86,1	13,33	250	84,0	10,85
HENDEK-05	0,23		0	0	0,29		0,06	0,75	16,36	256,13	100	13,89	250	100	13,49
HENDEK-06	0,22		0	0	0,28		0,06	0,72	15,65	256,13	100	13,89	250	100	13,49
KOCA-08	0,12		0,01	8	0,15		0,03	0,40	8,76	262,69	97,0	13,80	250	96,8	12,96
KOCA-09	0,11		0,01	9	0,14		0,03	0,37	8,04	263,28	96,6	13,77	250	96,4	12,90
HENDEK-07	1,26		0,04	3	1,60		0,34	4,14	90,51	258,63	98,8	13,86	250	98,8	13,29
HENDEK-08	1,09		0,02	2	1,38		0,29	3,57	77,98	257,57	99,2	13,86	250	99,2	13,36
HENDEK-09	0,48		0,02	4	0,61		0,13	1,58	34,58	259,41	98,5	13,85	250	98,4	13,23
HENDEK-10	0,4		0,07	17	0,51		0,11	1,37	29,99	269,91	93,7	13,68	250	93,2	12,37
KOCA-10	0,1		0,01	10	0,13		0,03	0,34	7,33	264,00	96,2	13,75	250	96,0	12,83
KOCA-11	0,03		0,01	33	0,04		0,01	0,11	2,35	282,37	88,3	13,45	250	86,8	11,31
ORTALAMA	1,06		0,07	11	1,34		0,29	3,51	76,80	265	96,0	13,74	250	95,6	12,77

Çizelge 5.5. Değişen HI_{as} Değerlerinden İtibaren Hesaplanan Organik Porozite Değerleri (devamı)

ÖRNEK NO	TOK	TOK ORT	S ₂	HI	TOK _o	TOK _o ORT	TOK _{ch}	S _{2o}	PY	HI _{as} : 300 mg HC/g TOK alnarak hesaplanan veriler			HI _o : 300 mg HC/g TOK kabul edilerek hesaplanan veriler		
										HI _o	% TR	% V _{ker}	HI _o	% TR	% V _{ker}
İĞDİR-41	0,38		0,11	29	0,51		0,13	1,68	36,70	329	91,2	16,78	300	90,3	14,88
İĞDİR-42	1,18		0,04	3	1,58		0,40	4,91	107,36	310	99,0	17,24	300	99,0	16,59
İĞDİR-43	0,98		0,03	3	1,32		0,34	4,07	89,09	310	99,0	17,23	300	99,0	16,59
İĞDİR-44	3,4		0,15	4	4,56		1,16	14,18	310,09	311	98,7	17,23	300	98,7	16,53
İĞDİR-45	1,83		0,06	3	2,46		0,63	7,61	166,45	310	99,0	17,24	300	99,0	16,59
İĞDİR-46	1,71	2,49	0,04	2	2,30	3,34	0,59	7,10	155,18	309	99,4	17,26	300	99,3	16,66
İĞDİR-47	1,2		0,05	4	1,61		0,41	5,00	109,38	310	98,7	17,22	300	98,7	16,53
İĞDİR-48	4,43		0,03	1	5,95		1,52	18,31	400,41	308	99,7	17,24	300	99,7	16,72
İĞDİR-49	4,13		0,03	1	5,54		1,41	17,07	373,34	308	99,7	17,24	300	99,7	16,72
İĞDİR-50	3,91		0,04	1	5,25		1,34	16,17	353,70	308	99,7	17,26	300	99,7	16,72
İĞDİR-51	4,21		0,03	1	5,65		1,44	17,40	380,56	308	99,7	17,24	300	99,7	16,72
EREGLİ-11	1,02		0,23	23	1,37		0,35	4,44	97,07	324	92,9	16,87	300	92,3	15,27
EREGLİ-12	1,61		0,52	32	2,16		0,55	7,16	156,66	331	90,3	16,75	300	89,3	14,68
EREGLİ-13	1,6	1,23	0,61	38	2,15	1,65	0,55	7,21	157,72	336	88,7	16,64	300	87,3	14,28
EREGLİ-14	0,94		0,12	13	1,26		0,32	4,00	87,45	317	95,9	17,04	300	95,7	15,93
EREGLİ-15	0,98		0,11	11	1,32		0,34	4,15	90,84	316	96,5	17,10	300	96,3	16,06
KOCA-01	0,13		0,02	15	0,17		0,04	0,56	12,17	319	95,3	17,04	300	95,0	15,80
KOCA-02	0,1		0,01	10	0,13		0,03	0,42	9,24	315	96,8	17,11	300	96,7	16,13
HENDEK-01	0,34		0,08	24	0,46		0,12	1,48	32,43	325	92,6	16,85	300	92,0	15,21
HENDEK-02	0,23		0	0	0,31		0,08	0,95	20,75	307	100	17,28	300	100	16,79
KOCA-03	0,11		0,01	9	0,15		0,04	0,46	10,14	314	97,1	17,13	300	97,0	16,20
KOCA-04	0,04		0,01	25	0,05		0,01	0,18	3,83	326	92,3	16,85	300	91,7	15,14
KOCA-05	0,08		0,02	25	0,11		0,03	0,35	7,66	326	92,3	16,85	300	91,7	15,14
HENDEK-03	0,27		0	0	0,36		0,09	1,11	24,36	307	100	17,28	300	100	16,79
HENDEK-04	0,22		0	0	0,30		0,08	0,91	19,85	307	100	17,28	300	100	16,79
KOCA-06	0,04		0	0	0,05		0,01	0,17	3,61	307	100	17,28	300	100	16,79
KOCA-07	0,05	0,27	0,02	40	0,07	0,36	0,02	0,23	4,95	337	88,1	16,60	300	86,7	14,15
HENDEK-05	0,23		0	0	0,31		0,08	0,95	20,75	307	100	17,28	300	100	16,79
HENDEK-06	0,22		0	0	0,30		0,08	0,91	19,85	307	100	17,28	300	100	16,79
KOCA-08	0,12		0,01	8	0,16		0,04	0,51	11,05	314	97,4	17,16	300	97,3	16,26
KOCA-09	0,11		0,01	9	0,15		0,04	0,46	10,14	314	97,1	17,13	300	97,0	16,20
HENDEK-07	1,26		0,04	3	1,69		0,43	5,24	114,57	310	99,0	17,23	300	99,0	16,59
HENDEK-08	1,09		0,02	2	1,46		0,37	4,52	98,80	309	99,4	17,23	300	99,3	16,66
HENDEK-09	0,48		0,02	4	0,64		0,16	2,00	43,75	310	98,7	17,22	300	98,7	16,53
HENDEK-10	0,4		0,07	17	0,54		0,14	1,72	37,63	320	94,7	17,01	300	94,3	15,67
KOCA-10	0,1		0,01	10	0,13		0,03	0,42	9,24	315	96,8	17,11	300	96,7	16,13
KOCA-11	0,03		0,01	33	0,04		0,01	0,13	2,93	332	90,1	16,74	300	89,0	14,61
ORTALAMA	1,06		0,07	11	1,42		0,36	4,44	97,02	316	96,65	17,09	300	96,37	16,07

Çizelge 5.5. Değişen HI_{as} Değerlerinden İtibaren Hesaplanan Organik Porozite Değerleri (devamı)

ÖRNEK NO	TOK	TOK ORT	S ₂	HI	TOK _o	TOK _o ORT	TOK _{ch}	S _{2o}	PY	HI _{as} : 350 mg HC/g TOK alnarak hesaplanan veriler			HI _o : 350 mg HC/g TOK kabul edilerek hesaplanan veriler		
										HI _o	% TR	% V _{ker}	HI _o	% TR	% V _{ker}
İĞDİR-41	0,38	2,49	0,11	29	0,54	3,54	0,16	2,05	44,83	379	92,3	20,08	350	91,7	18,18
İĞDİR-42	1,18		0,04	3	1,68		0,50	6,06	132,62	361	99,2	20,62	350	99,1	19,89
İĞDİR-43	0,98		0,03	3	1,40		0,42	5,03	110,07	361	99,2	20,60	350	99,1	19,89
İĞDİR-44	3,4		0,15	4	4,84		1,44	17,51	382,89	362	98,9	20,60	350	98,9	19,83
İĞDİR-45	1,83		0,06	3	2,61		0,78	9,40	205,63	361	99,2	20,61	350	99,1	19,89
İĞDİR-46	1,71		0,04	2	2,43		0,72	8,77	191,80	360	99,4	20,63	350	99,4	19,96
İĞDİR-47	1,2		0,05	4	1,71		0,51	6,18	135,07	362	98,9	20,59	350	98,9	19,83
İĞDİR-48	4,43		0,03	1	6,31		1,88	22,65	495,27	359	99,7	20,62	350	99,7	20,02
İĞDİR-49	4,13		0,03	1	5,88		1,75	21,11	461,77	359	99,7	20,62	350	99,7	20,02
İĞDİR-50	3,91		0,04	1	5,57		1,66	20,00	437,43	359	99,7	20,64	350	99,7	20,02
İĞDİR-51	4,21	0,03	1	5,99	1,78	21,52	470,70	359	99,7	20,62	350	99,7	20,02		
EREGLİ-11	1,02	1,23	0,23	23	1,45	1,75	0,43	5,44	118,91	374	93,9	20,18	350	93,4	18,57
EREGLİ-12	1,61		0,52	32	2,29		0,68	8,74	191,13	381	91,6	20,04	350	90,9	17,98
EREGLİ-13	1,6		0,61	38	2,28		0,68	8,78	191,98	385	90,1	19,92	350	89,1	17,58
EREGLİ-14	0,94		0,12	13	1,34		0,40	4,92	107,58	368	96,5	20,39	350	96,3	19,23
EREGLİ-15	0,98		0,11	11	1,40		0,42	5,11	111,82	366	97,0	20,45	350	96,9	19,36
KOCA-01	0,13	0,27	0,02	15	0,19	0,38	0,06	0,68	14,95	369	95,9	20,38	350	95,7	19,10
KOCA-02	0,1		0,01	10	0,14		0,04	0,52	11,38	366	97,3	20,46	350	97,1	19,43
HENDEK-01	0,34		0,08	24	0,48		0,14	1,82	39,71	375	93,6	20,16	350	93,1	18,51
HENDEK-02	0,23		0	0	0,33		0,10	1,17	25,68	359	100	20,66	350	100	20,09
KOCA-03	0,11		0,01	9	0,16		0,05	0,57	12,50	365	97,5	20,48	350	97,4	19,50
KOCA-04	0,04		0,01	25	0,06		0,02	0,21	4,68	376	93,4	20,17	350	92,9	18,44
KOCA-05	0,08		0,02	25	0,11		0,03	0,43	9,37	376	93,4	20,17	350	92,9	18,44
HENDEK-03	0,27		0	0	0,38		0,11	1,38	30,15	359	100	20,66	350	100	20,09
HENDEK-04	0,22		0	0	0,31		0,09	1,12	24,56	359	100	20,66	350	100	20,09
KOCA-06	0,04		0	0	0,06		0,02	0,20	4,47	359	100	20,66	350	100	20,09
KOCA-07	0,05		0,02	40	0,07		0,02	0,28	6,02	387	89,7	19,87	350	88,6	17,45
HENDEK-05	0,23	0	0	0,33	0,10	1,17	25,68	359	100	20,66	350	100	20,09		
HENDEK-06	0,22	0	0	0,31	0,09	1,12	24,56	359	100	20,66	350	100	20,09		
KOCA-08	0,12	0,01	8	0,17	0,05	0,62	13,62	364	97,8	20,51	350	97,7	19,56		
KOCA-09	0,11	0,01	9	0,16	0,05	0,57	12,50	365	97,5	20,48	350	97,4	19,50		
HENDEK-07	1,26	0,04	3	1,79	0,53	6,47	141,55	361	99,2	20,61	350	99,1	19,89		
HENDEK-08	1,09	0,02	2	1,55	0,46	5,58	122,14	360	99,4	20,61	350	99,4	19,96		
HENDEK-09	0,48	0,02	4	0,68	0,20	2,47	54,03	362	98,9	20,59	350	98,9	19,83		
HENDEK-10	0,4	0,07	17	0,57	0,17	2,11	46,19	371	95,4	20,35	350	95,1	18,97		
KOCA-10	0,1	0,01	10	0,14	0,04	0,52	11,38	366	97,3	20,46	350	97,1	19,43		
KOCA-11	0,03	0,01	33	0,04	0,01	0,16	3,57	382	91,4	20,02	350	90,6	17,91		
ORTALAMA	1,06	0,07	11	1,51	0,45	5,47	119,68	366	97,1	20,44	350	96,9	19,37		

Çizelge 5.5. Değişen HI_{as} Değerlerinden İtibaren Hesaplanan Organik Porozite Değerleri (devamı)

ÖRNEK NO	TOK	TOK ORT	S ₂	HI	TOK _o	TOK _o ORT	TOK _{ch}	S _{2o}	PY	HI _{as} : 400 mg HC/g TOK alnarak hesaplanan veriler			HI _o : 400 mg HC/g TOK kabul edilerek hesaplanan veriler		
										HI _o	% TR	% V _{ker}	HI _o	% TR	% V _{ker}
İĞDİR-41	0,38	2,49	0,11	29	0,58	3,77	0,20	2,47	54,02	429	93,2	23,38	400	92,8	21,48
İĞDİR-42	1,18		0,04	3	1,79		0,61	7,37	161,14	412	99,3	23,99	400	99,3	23,19
İĞDİR-43	0,98		0,03	3	1,49		0,51	6,12	133,76	412	99,3	23,97	400	99,3	23,19
İĞDİR-44	3,4		0,15	4	5,15		1,75	21,27	465,07	413	99,0	23,97	400	99,0	23,13
İĞDİR-45	1,83		0,06	3	2,77		0,94	11,43	249,87	412	99,3	23,98	400	99,3	23,19
İĞDİR-46	1,71		0,04	2	2,59		0,88	10,66	233,13	411	99,5	24,01	400	99,5	23,26
İĞDİR-47	1,2		0,05	4	1,82		0,62	7,50	164,08	413	99,0	23,95	400	99,0	23,13
İĞDİR-48	4,43		0,03	1	6,71		2,28	27,54	602,35	410	99,8	24,00	400	99,8	23,32
İĞDİR-49	4,13		0,03	1	6,26		2,13	25,68	561,60	410	99,8	24,00	400	99,8	23,32
İĞDİR-50	3,91		0,04	1	5,93		2,02	24,32	531,94	410	99,8	24,02	400	99,8	23,32
İĞDİR-51	4,21		0,03	1	6,38		2,17	26,18	572,47	410	99,8	24,00	400	99,8	23,32
EREGLİ-11	1,02	1,23	0,23	23	1,55	1,86	0,53	6,56	143,57	425	94,6	23,50	400	94,3	21,87
EREGLİ-12	1,61		0,52	32	2,44		0,83	10,52	230,05	431	92,6	23,33	400	92,0	21,28
EREGLİ-13	1,6		0,61	38	2,42		0,82	10,55	230,66	435	91,3	23,19	400	90,5	20,88
EREGLİ-14	0,94		0,12	13	1,42		0,48	5,96	130,30	418	96,9	23,73	400	96,8	22,53
EREGLİ-15	0,98		0,11	11	1,49		0,51	6,20	135,51	417	97,4	23,80	400	97,3	22,66
KOCA-01	0,13	0,27	0,02	15	0,20	0,41	0,07	0,83	18,09	420	96,4	23,72	400	96,3	22,40
KOCA-02	0,1		0,01	10	0,15		0,05	0,63	13,80	416	97,6	23,81	400	97,5	22,73
HENDEK-01	0,34		0,08	24	0,52		0,18	2,19	47,93	425	94,4	23,48	400	94,0	21,81
HENDEK-02	0,23		0	0	0,35		0,12	1,43	31,24	410	100	24,04	400	100	23,39
KOCA-03	0,11		0,01	9	0,17		0,06	0,69	15,16	416	97,8	23,84	400	97,8	22,80
KOCA-04	0,04		0,01	25	0,06		0,02	0,26	5,65	426	94,1	23,48	400	93,8	21,74
KOCA-05	0,08		0,02	25	0,12		0,04	0,52	11,30	426	94,1	23,48	400	93,8	21,74
HENDEK-03	0,27		0	0	0,41		0,14	1,68	36,67	410	100	24,04	400	100	23,39
HENDEK-04	0,22		0	0	0,33		0,11	1,37	29,88	410	100	24,04	400	100	23,39
KOCA-06	0,04		0	0	0,06		0,02	0,25	5,43	410	100	24,04	400	100	23,39
KOCA-07	0,05		0,02	40	0,08		0,03	0,33	7,23	436	90,8	23,14	400	90,0	20,75
HENDEK-05	0,23	0	0	0,35	0,12	1,43	31,24	410	100	24,04	400	100	23,39		
HENDEK-06	0,22	0	0	0,33	0,11	1,37	29,88	410	100	24,04	400	100	23,39		
KOCA-08	0,12	0,01	8	0,18	0,06	0,76	16,52	415	98,1	23,87	400	98,0	22,86		
KOCA-09	0,11	0,01	9	0,17	0,06	0,69	15,16	416	97,8	23,84	400	97,8	22,80		
HENDEK-07	1,26	0,04	3	1,91	0,65	7,87	172,01	412	99,3	23,98	400	99,3	23,19		
HENDEK-08	1,09	0,02	2	1,65	0,56	6,79	148,48	411	99,5	23,98	400	99,5	23,26		
HENDEK-09	0,48	0,02	4	0,73	0,25	3,00	65,63	413	99,0	23,95	400	99,0	23,13		
HENDEK-10	0,4	0,07	17	0,61	0,21	2,55	55,86	421	96,0	23,68	400	95,8	22,27		
KOCA-10	0,1	0,01	10	0,15	0,05	0,63	13,80	416	97,6	23,81	400	97,5	22,73		
KOCA-11	0,03	0,01	33	0,05	0,02	0,20	4,29	432	92,4	23,31	400	91,8	21,21		
ORTALAMA	1,06	0,07	11	1,60	0,55	6,64	145,26	417	97,4	23,79	400	97,3	22,67		

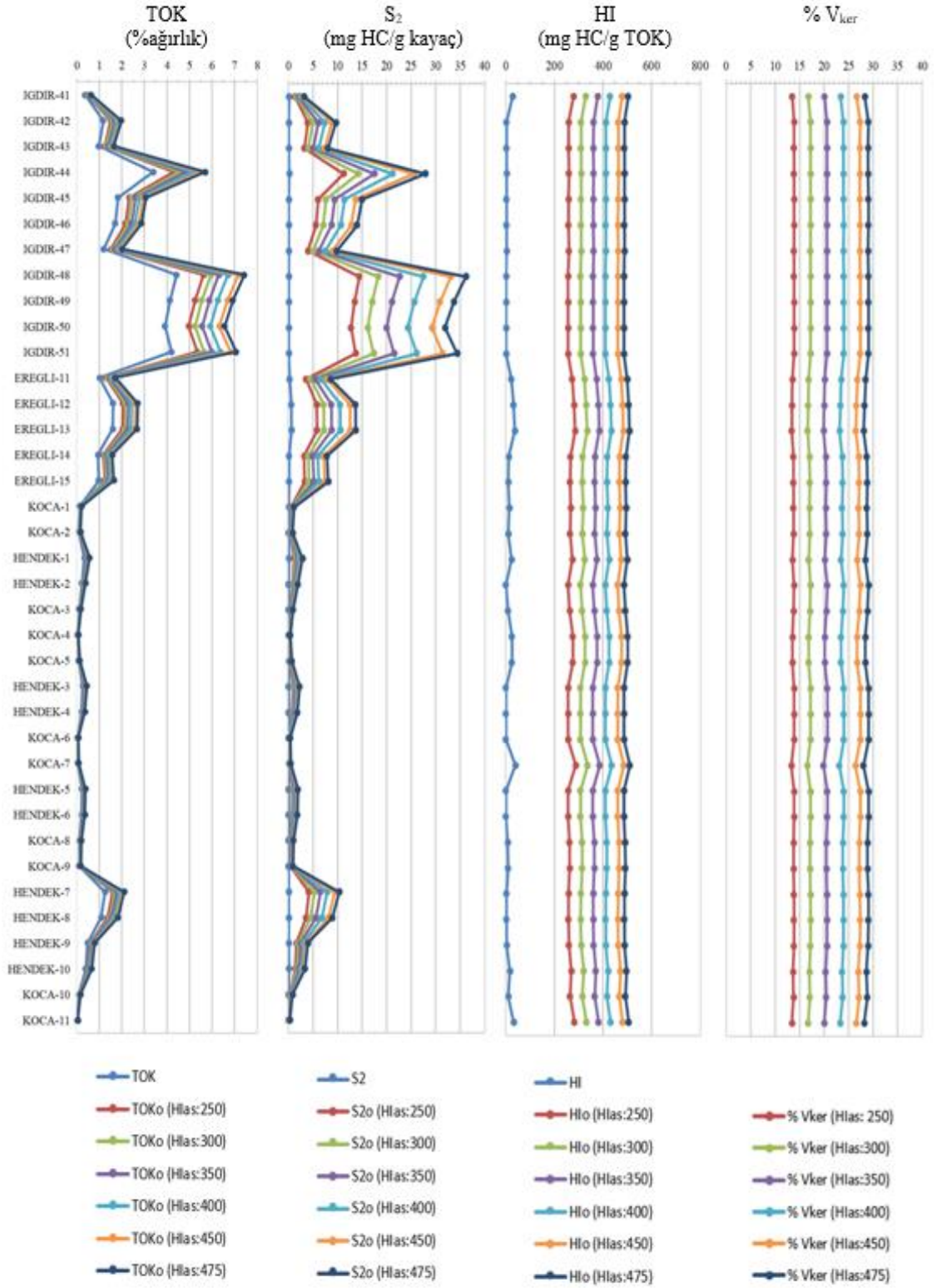
Çizelge 5.5. Değişen HI_{as} Değerlerinden İtibaren Hesaplanan Organik Porozite Değerleri (devamı)

ÖRNEK NO	TOK	TOK ORT	S ₂	HI	TOK _o	TOK _o ORT	TOK _{ch}	S _{2o}	PY	HI _{as} : 450 mg HC/g TOK alnarak hesaplanan veriler			HI _o : 450 mg HC/g TOK kabul edilerek hesaplanan veriler		
										HI _o	% TR	% V _{ker}	HI _o	% TR	% V _{ker}
İĞDİR-41	0,38	2,49	0,11	29	0,62	4,03	0,24	2,95	64,47	479	93,9	26,68	450	93,6	24,78
İĞDİR-42	1,18		0,04	3	1,91		0,73	8,85	193,60	463	99,4	27,36	450	99,3	26,49
İĞDİR-43	0,98		0,03	3	1,59		0,61	7,35	160,71	463	99,4	27,34	450	99,3	26,49
İĞDİR-44	3,4		0,15	4	5,51		2,11	25,54	558,58	464	99,1	27,33	450	99,1	26,43
İĞDİR-45	1,83		0,06	3	2,96		1,13	13,73	300,19	463	99,4	27,35	450	99,3	26,49
İĞDİR-46	1,71		0,04	2	2,77		1,06	12,81	280,16	462	99,6	27,38	450	99,6	26,56
İĞDİR-47	1,2		0,05	4	1,94		0,74	9,01	197,08	464	99,1	27,32	450	99,1	26,43
İĞDİR-48	4,43		0,03	1	7,18		2,75	33,11	724,18	461	99,8	27,38	450	99,8	26,62
İĞDİR-49	4,13		0,03	1	6,69		2,56	30,87	675,18	461	99,8	27,38	450	99,8	26,62
İĞDİR-50	3,91		0,04	1	6,33		2,42	29,24	639,47	462	99,8	27,39	450	99,8	26,62
İĞDİR-51	4,21		0,03	1	6,82		2,61	31,47	688,24	461	99,8	27,38	450	99,8	26,62
EREGLİ-11	1,02	1,23	0,23	23	1,65	1,99	0,63	7,85	171,62	475	95,2	26,82	450	94,9	25,17
EREGLİ-12	1,61		0,52	32	2,61		1,00	12,54	274,32	481	93,3	26,62	450	92,9	24,58
EREGLİ-13	1,6		0,61	38	2,59		0,99	12,56	274,66	485	92,2	26,46	450	91,6	24,18
EREGLİ-14	0,94		0,12	13	1,52		0,58	7,14	156,15	469	97,2	27,08	450	97,1	25,83
EREGLİ-15	0,98		0,11	11	1,59		0,61	7,43	162,46	468	97,6	27,15	450	97,6	25,96
KOCA-01	0,13	0,27	0,02	15	0,21	0,44	0,08	0,99	21,67	471	96,8	27,05	450	96,7	25,70
KOCA-02	0,1		0,01	10	0,16		0,06	0,76	16,55	467	97,9	27,17	450	97,8	26,03
HENDEK-01	0,34		0,08	24	0,55		0,21	2,62	57,28	476	95,0	26,79	450	94,7	25,11
HENDEK-02	0,23		0	0	0,37		0,14	1,72	37,56	461	100	27,42	450	100	26,69
KOCA-03	0,11		0,01	9	0,18		0,07	0,83	18,18	467	98,1	27,19	450	98,0	26,10
KOCA-04	0,04		0,01	25	0,06		0,02	0,31	6,75	476	94,8	26,79	450	94,4	25,04
KOCA-05	0,08		0,02	25	0,13		0,05	0,62	13,50	476	94,8	26,79	450	94,4	25,04
HENDEK-03	0,27		0	0	0,44		0,17	2,02	44,10	461	100	27,42	450	100	26,69
HENDEK-04	0,22		0	0	0,36		0,14	1,64	35,93	461	100	27,42	450	100	26,69
KOCA-06	0,04		0	0	0,06		0,02	0,30	6,53	461	100	27,42	450	100	26,69
KOCA-07	0,05		0,02	40	0,08		0,03	0,39	8,60	486	91,8	26,41	450	91,1	24,05
HENDEK-05	0,23	0	0	0,37	0,14	1,72	37,56	461	100	27,42	450	100	26,69		
HENDEK-06	0,22	0	0	0,36	0,14	1,64	35,93	461	100	27,42	450	100	26,69		
KOCA-08	0,12	0,01	8	0,19	0,07	0,91	19,82	466	98,3	27,23	450	98,2	26,16		
KOCA-09	0,11	0,01	9	0,18	0,07	0,83	18,18	467	98,1	27,19	450	98,0	26,10		
HENDEK-07	1,26	0,04	3	2,04	0,78	9,45	206,66	463	99,4	27,35	450	99,3	26,49		
HENDEK-08	1,09	0,02	2	1,77	0,68	8,16	178,46	462	99,6	27,36	450	99,6	26,56		
HENDEK-09	0,48	0,02	4	0,78	0,30	3,60	78,83	464	99,1	27,32	450	99,1	26,43		
HENDEK-10	0,4	0,07	17	0,65	0,25	3,06	66,86	472	96,4	27,01	450	96,2	25,57		
KOCA-10	0,1	0,01	10	0,16	0,06	0,76	16,55	467	97,9	27,17	450	97,8	26,03		
KOCA-11	0,03	0,01	33	0,05	0,02	0,23	5,12	482	93,1	26,60	450	92,7	24,51		
ORTALAMA	1,06		0,07	11	1,71		0,66	7,97	174,37	468	97,7	27,15	450	97,6	25,97

Çizelge 5.5. Değişen HI_{as} Değerlerinden İtibaren Hesaplanan Organik Porozite Değerleri (devamı)

ÖRNEK NO	TOK	TOK ORT	S ₂	HI	TOK _o	TOK _o ORT	TOK _{ch}	S _{2o}	PY	HI _{as} : 475 mg HC/g TOK alnarak hesaplanan veriler			HI _o : 475 mg HC/g TOK kabul edilerek hesaplanan veriler		
										HI _o	% TR	% V _{ker}	HI _o	% TR	% V _{ker}
										İĞDİR-41	0,38	2,49	0,11	29	0,64
İĞDİR-42	1,18	0,04	3	1,98	0,80	9,67	211,56	489	99,4	29,04	475		99,4	28,14	
İĞDİR-43	0,98	0,03	3	1,64	0,66	8,03	175,63	488	99,4	29,03	475		99,4	28,14	
İĞDİR-44	3,4	0,15	4	5,70	2,30	27,91	610,33	489	99,2	29,02	475		99,2	28,08	
İĞDİR-45	1,83	0,06	3	3,07	1,24	15,00	328,05	489	99,4	29,04	475		99,4	28,14	
İĞDİR-46	1,71	0,04	2	2,87	1,16	14,00	306,19	488	99,6	29,07	475		99,6	28,21	
İĞDİR-47	1,2	0,05	4	2,01	0,81	9,85	215,35	489	99,2	29,01	475		99,2	28,08	
İĞDİR-48	4,43	0,03	1	7,43	3,00	36,20	791,61	487	99,8	29,07	475		99,8	28,27	
İĞDİR-49	4,13	0,03	1	6,93	2,80	33,75	738,04	487	99,8	29,07	475		99,8	28,27	
İĞDİR-50	3,91	0,04	1	6,56	2,65	31,96	698,98	487	99,8	29,08	475		99,8	28,27	
İĞDİR-51	4,21	0,03	1	7,06	2,85	34,40	752,33	487	99,8	29,07	475		99,8	28,27	
EREGLİ-11	1,02	1,23	0,23	23	1,71	2,06	0,69	8,56	187,15	500	95,4	28,48	475	95,2	26,82
EREGLİ-12	1,61		0,52	32	2,70		1,09	13,66	298,83	506	93,7	28,27	475	93,3	26,23
EREGLİ-13	1,6		0,61	38	2,68		1,08	13,67	299,01	509	92,5	28,10	475	92,0	25,83
EREGLİ-14	0,94		0,12	13	1,58		0,64	7,79	170,46	494	97,4	28,75	475	97,3	27,48
EREGLİ-15	0,98		0,11	11	1,64		0,66	8,11	177,38	493	97,8	28,82	475	97,7	27,61
KOCA-01	0,13	0,27	0,02	15	0,22	0,45	0,09	1,08	23,65	496	97,0	28,72	475	96,8	27,35
KOCA-02	0,1		0,01	10	0,17		0,07	0,83	18,07	493	98,0	28,84	475	97,9	27,68
HENDEK-01	0,34		0,08	24	0,57		0,23	2,86	62,45	501	95,2	28,45	475	94,9	26,76
HENDEK-02	0,23		0	0	0,39		0,16	1,88	41,07	487	100	29,11	475	100	28,34
KOCA-03	0,11		0,01	9	0,18		0,07	0,91	19,86	492	98,2	28,87	475	98,1	27,75
KOCA-04	0,04		0,01	25	0,07		0,03	0,34	7,36	502	95,0	28,44	475	94,7	26,69
KOCA-05	0,08		0,02	25	0,13		0,05	0,67	14,72	502	95,0	28,44	475	94,7	26,69
HENDEK-03	0,27		0	0	0,45		0,18	2,20	48,21	487	100	29,11	475	100	28,34
HENDEK-04	0,22		0	0	0,37		0,15	1,80	39,28	487	100	29,11	475	100	28,34
KOCA-06	0,04		0	0	0,07		0,03	0,33	7,14	487	100	29,11	475	100	28,34
KOCA-07	0,05		0,02	40	0,08		0,03	0,43	9,36	510	92,2	28,04	475	91,6	25,70
HENDEK-05	0,23	0	0	0,39	0,16	1,88	41,07	487	100	29,11	475	100	28,34		
HENDEK-06	0,22	0	0	0,37	0,15	1,80	39,28	487	100	29,11	475	100	28,34		
KOCA-08	0,12	0,01	8	0,20	0,08	0,99	21,64	492	98,4	28,91	475	98,3	27,81		
KOCA-09	0,11	0,01	9	0,18	0,07	0,91	19,86	492	98,2	28,87	475	98,1	27,75		
HENDEK-07	1,26	0,04	3	2,11	0,85	10,33	225,84	489	99,4	29,04	475	99,4	28,14		
HENDEK-08	1,09	0,02	2	1,83	0,74	8,92	195,05	488	99,6	29,05	475	99,6	28,21		
HENDEK-09	0,48	0,02	4	0,81	0,33	3,94	86,14	489	99,2	29,01	475	99,2	28,08		
HENDEK-10	0,4	0,07	17	0,67	0,27	3,34	72,95	497	96,6	28,67	475	96,4	27,22		
KOCA-10	0,1	0,01	10	0,17	0,07	0,83	18,07	493	98,0	28,84	475	97,9	27,68		
KOCA-11	0,03	0,01	33	0,05	0,02	0,25	5,58	507	93,5	28,24	475	93,1	26,16		
ORTALAMA	1,06	0,07	11	1,78	0,72	8,71	190,48	493	97,8	28,82	475	97,7	27,62		

İğdir, Ereğli ve Hendek örneklerinin TOK_o, S_{2o}, HI_o ve % V_{ker} dağılımları şu şekildedir:



Şekil 5.11. Örneklerin TOK_o, S_{2o}, HI_o ve % V_{ker} dağılımını gösteren grafik

Organik porozitenin belirlenmesinde kullanılan formüllerin doğruluğunun test edilmesi için Li ve ark., (2016)'ın Shulu Baseni'ndeki denizel kökenli marnlardan alınan örnekler üzerinde SEM yöntemi ile % 18,2 olarak belirledikleri organik porozite değerleri matematiksel yöntemle tekrar hesaplanmıştır. Örneklerin S₂, HI ve TOK değerlerinin tamamı paylaşılmadığından ortalama S₂, HI ve TOK değerleri üzerinden organik porozite hesaplaması yapılmıştır (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6. Shulu Basenine ait Örneklerin Organik Porozite Değerleri

	Piroliz Analizinden Ölçülen Değerler			Piroliz Analizinden Hesaplanan Değerler				
	S ₂	HI	TOK	S _{2o}	HI _{as}	HI _o	TOK _o	% V _{ker}
Değer Aralığı	0,08-57,08	55-749	0,12-7,97	-	-	-	-	-
Ortalama Değer	9,06	464	1,66	21,46	450	798	2.69	19,03

Shulu Baseni'ne ait örneklerin ortalama % V_{ker} değeri % 19,03 olarak hesaplanmış ve SEM yöntemi ile elde edilen değerle aralarındaki farkın % 0,83 olduğu görülmüştür. Bu sonuç SEM yöntemi ile kayaç içerisindeki organik porozitenin tamamının ifade edildiği kabul edildiğinde dahi sadece % 4,37'lik hata payına sahip olduğunu göstermektedir. Öte yandan SEM'in çözünürlük aralığı dikkate alındığında nanometre boyutundaki tüm gözeneklerin tespit edilememesi ve Kuchinskiy (2013)'e göre yapılan hesaplamaların daha yüksek çıkması gerçekteki hata payının çok daha düşük olacağına işaret etmektedir.

6. SONUÇLAR

Tez kapsamında Batı Karadeniz bölgesinde çalışma alanı olarak belirlenen Hendek-Kocaali yöresinde Orta-Geç Siluriyen yaşlı Fındıklı Formasyonu'nu temsil eden birimlerden 66 m ölçülü stratigrafik kesit alınmış ve uygun şeyl seviyelerinden alınan 11 adet örneğin Rock-Eval piroliz analizleri yapılmıştır. Aynı lokasyondan Kavak (2007) tarafından alınan 10 adet örneğin de kesit içerisinde ait olduğu seviyeler belirlenerek değerlendirmeler 21 adet örnek üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Kavak (2007)'in çalışmasında Erken Siluriyen yaşlı şeyllerden alınan Ereğli-Gülüç kesitine ait 5 adet ve İğdir-Örenköy kesitine ait 11 adet örneğin analiz sonuçları da çalışmaya dahil edilmiştir. Örnekler üzerinde yapılan organik jeokimyasal analizlerden elde edilen veriler ışığında organik porozite gelişim oranları belirlenmiştir.

1. Hendek-Kocaali ölçülü stratigrafik kesitinin kuvars kumtaşı ve pelesipodlu şeyl ar dalanmasından oluşan ilk 50 metrelik kesiminden 11 adet, masif şeyllerden oluşan 50-60 m aralığından 8 adet, *Orthoceras*'lı şeyllerden oluşan 60-66 m aralığından ise 2 adet örnek alınmıştır. Alınan 21 adet örnek içerisinde sadece Hendek-07 (1,26) ve Hendek-08 (1,09) örneklerinde TOK değerlerinin ağırlıkça %1'in üzerine olduğu ve petrol potansiyeli açısından *iyi* seviyeye karşılık geldiği görülmektedir. Diğer 19 örneğin TOK ortalaması % 0,17 olarak hesaplanmış ve bu değer ekonomik olarak petrol üretiminin yapılabilmesi için gerekli organik madde miktarı olarak kabul gören % 0,5'in oldukça altındadır. HI değerlerinin ise 0-40 mg HC/g TOK arasında değiştiği ve ortalama değerinin 11,1 olduğu Jones (1984)'a göre gaz üretmeye meyilli Tip IV kerojen içerdiği belirlenmiştir. S₂ değerlerinin 0,2 mg HC/g kayaç'tan düşük olması sebebiyle T_{max} değerleri güvenilir sonuç vermeyeceğinden hidrokarbon değerlendirmeleri T_{max}'lar üzerinden gerçekleştirilememiştir.

2. Çört-şeyl ar dalanmasından oluşan Ereğli-Gülüç ölçülü stratigrafik kesitinden alınan 5 adet örneğin TOK ortalaması % 1,23 olarak hesaplanmış ve petrol potansiyeli açısından *orta-iyi* seviyeye karşılık geldiği belirlenmiştir. 11-38 mg HC/g TOK arasında değişen HI değerlerinin ortalamasının 23,4 mg olduğu ve bu değerlerin bugünkü koşullarda Jones (1984)'a göre gaz üretmeye meyilli Tip IV kerojen içerdiği belirlenmiştir. T_{max} bazlı vitrinit yansıma değerleri S₂ değerleri 0,2 mg HC/g kayaç üzerinde olan Ereğli-12,13 örneklerinde % 1,26 olarak Ereğli-11'de ise % 1,84 olarak hesaplanmıştır. % Vr

değerleri Ereğli-12 ve 13'ün olgunluk seviyesinin *ıslak gaz penceresi*, Ereğli-11'in olgunluk seviyesinin ise *kuru gaz penceresi* olduğunu göstermiştir.

3. İğdir-Örenköy ölçülü stratigrafik kesitinin graptolitli şeyller ile kuvars kumtaşı ar dalanmasından oluşan 33-44 m aralığından alınan 11 adet örneğin TOK miktarları kesitin alt seviyelerine doğru artış göstermektedir. Örneklerin TOK ortalaması % 2,43 olarak hesaplanmış ve petrol potansiyeli açısından *çok iyi* seviyeye karşılık geldiği belirlenmiştir. İğdir-48-51 örneklerinin TOK ortalaması % 4'ün üzerinde olduğundan Thomas (1979) tarafından petrol potansiyeli açısından *mükemmel* sınıfına dahil edilmektedir. HI değerleri ortalaması ise 4,72 mg HC/g TOK olarak hesaplanmış ve gaz üretmeye meyilli Tip IV kerojen içerdiği belirlenmiştir. Organik madde içerikleri yüksekken hidrojen içeriğinin bu denli tüketilmesi örneklerin aşırı olgunlaştığını göstermektedir. Ayrıca İğdir-48 örneğinde yapılan graptolit yansıma ölçümleri de % 6,56-9,27 arasında değişmekte ve V_{resd} hesaplandığında *aşırı olgun* seviyede olduğu görülmektedir.
4. Örneklerin tamamında orijinal üretim potansiyellerinin belirlenebilmesi için Jarvie (2005;2012)'ye göre orijinal TOK ve HI değerleri hesaplanmıştır. Erken Siluriyen Tip II kerojen içermekte ve HI değeri 475 mg HC/g TOK'a kadar çıkmaktadır bu nedenle TOK_o ve HI_o hesaplamalarında HI_{as} değerleri 50 mg HC/g TOK artırılarak 250, 300, 350, 400, 450 ve 475 mg HC/g TOK olarak kullanılmıştır. TOK_o miktarları İğdir ve Ereğli örneklerinin petrol potansiyeli açısından *iyi-çok iyi* sınıfına dahil olduğunu gösterirken Hendek örneklerinin *zayıf* sınıfta yer aldığını göstermiştir. Ancak ortalama HI_o değerleri 265-493 mg HC/g TOK aralığında hesaplanmış ve tüm örneklerin Tip II kerojen içeren denizel kökenli şeyllerden oluştuğu görülmüştür. Özellikle İğdir-Örenköy kesitinin alt seviyelerinde HI_{as} değerinin 450 mg HC/g TOK'a karşılık gelen PY değerinin 639,47-724,18 mg HC/g kayaç arasında değiştiği ve orijinal petrol üretme kapasitesinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir.
5. Hendek-Kocaali kesitinin alındığı Fındıklı Formasyonu'nun graptolitli seviyeleri için Erken Siluriyen yaşı verilmiş olmasına rağmen Çamdağ fayının kuzey ve güneyinde yer alan istiflerin farklı seviyelerinde yapılan yaş tayinleri doğrultusunda formasyonun yaşının Orta Ordovisiyen-Erken Devoniyen aralığına karşılık geldiği belirtilmektedir (Gedik ve Aksay, 2002). Ayrıca graptolitler ile yapılan yaş tayine göre Erken Siluriyen yaşlı olduğu belirlenen İğdir-Örenköy kesitinden alınan örneklerle Hendek-Kocaali

kesitine ait örneklerin orijinal ve günümüzdeki TOK miktarlarındaki değişim incelendiğinde değerlerin doğudan batıya doğru ciddi oranda azaldığı görülmektedir. Bu durum İğdir'den Hendek'e doğru birimlerin gençleştiğine bu yüzden anoksizmanın etkilerinin ortadan kalkmaya başladığına işaret etmektedir. Fındıklı Formasyonu'nun kesit alınan seviyelerinin Orta Ordovisiyen-Erken Devoniyen aralığı içerisinde Orta-Geç Siluriyen'e karşılık gelebileceği düşünülmektedir.

6. Yapılan birçok çalışma organik porozitenin aşırı olgunlaşmış ve Tip II kerojen zengin şeyllerde baskın olarak geliştiğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda % 96-97,8 arasında değişen ortalama % TR oranları da örneklerin günümüz koşullarında hidrokarbon üretmeyeceğini göstermektedir. Oluşum ortamları, organik madde içeriklerinin Tip II kerojen olması ve mevcut durumda aşırı olgunlaşmış olmaları dikkate alındığında örneklerin organik porozite gelişimi için yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.
7. Örneklerin Jarvie (2005;2012)'ye göre hesaplanan orijinal HI , S_2 ve TOK değerlerinden itibaren Kuchinskiy (2013)'e göre organik porozite değerleri belirlenmiştir. Organik porozitedeki değişimin gözlenebilmesi adına HI_{as} değerleri 250-475 mg HC/g TOK aralığında 50 mg HC/g TOK artırılarak kullanılmış ve % V_{ker} sonuçlarının organik madde içerisindeki toplam poroziteye oranının % 13,74-28,82 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ek olarak HI_{as} değerleri formülasyona dahil edilmeden HI_o değerleri olarak kabul edilmiş ve organik porozite hesaplamaları tekrarlanmıştır. Bu hesaplamalarda ise organik porozite oranının % 12,77-27,62 arasında değiştiği ve aradaki farkın yaklaşık %1 olduğu görülmüştür. Bu sonuç iki yöntemle de organik porozitenin belirlenebileceğini göstermiştir. Örneklerin denizel kökenli olmaları sebebiyle HI_{as} 450 mg HC/g TOK alındığında hesaplanan % V_{ker} 27,15 değeri ekonomik boyutlarıyla değerlendirildiğinde hidrokarbon rezervi açısından bölgesel olarak dahi önemli oranda artış sağlanabileceğini göstermektedir.
8. Organik porozite hesaplamalarında kullanılan formüllerde de görüldüğü gibi ilksel Tip II kerojen içerdiği kabul edilen organik maddeye ait organik porozitenin varlığı ve porozite içerisindeki oransal olarak değerinin tespiti hedeflenmiştir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen bu çalışma, organik porozite tanımının yerleşmesine katkı sağlarken özellikle geleneksel olmayan şeyl gaz potansiyelinin doğru değerlendirilmesinde gerçekleştirilecek çalışmalara da yeni bir boyut kazandıracaktır.

7. KAYNAKLAR

- Akyol, A., Arpat, E., Erdoğan, B., Göğer, E., Güner, Y., Şaroğlu, F., Şentürk, İ., Tütüncü, K. ve Uysal, Ş. 1/50000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi. MTA Yayınları. 1974.
- Arango, I. Understanding Expulsion Capacity and Organic Porosity in Unconventional Petroleum Systems. <https://www.aapg.org/career/training/in-person/distinguished-lecturer/abstract/Articleid/50014/understanding-expulsion-capacity-and-organic-porosity-in-unconventional-petroleum-systems>. (Erişim tarihi 30.04.2019).
- Aydın, M., Serdar, H. S., Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokuğraş, R., Demir, O. ve Özçelik, Y. Çamdağ (Sakarya) Sünnicedağ (Bolu) Yöresinin Jeolojisi: Türkiye Jeoloji Kurumu Bulteni, 30. 1987, 1-14.
- Baskin, D. K. Atomic H/C ratio of kerogen as an estimate of thermal maturity and organic matter conversion. AAPG bulletin, 81(9), 1997, 1437-1450.
- Bertrand, R. Correlations among the reflectances of vitrinite, chitinozoans, graptolites and scolecodonts. Organic Geochemistry, 15(6), 1990, 565-574.
- Chen, F., Lu, S. and Ding, X. Organoporosity evaluation of shale: a case study of the Lower Silurian Longmaxi Shale in southeast Chongqing, China. The Scientific World Journal, 2014, 1-9.
- Clementz, D. M. and Oil, C., Otc 3410 Well Site Geochemistry By Programmed Pyrolysis, 1979, 465–470.
- Clementz, D. M. Effect of Oil and Bitumen Saturation on Source-Rock Pyrolysis: Geologic Notes. AAPG Bulletin, 63,12, 1979, 2227-2232.
- Cristancho-Albarracin, D., Akkutlu, I. Y., Criscenti, L. J. and Wang, Y. Shale gas storage in kerogen nanopores with surface heterogeneities. Applied geochemistry, 84, 2017, 1-10.
- Curtis, M. E., R. J. Ambrose, C. H. Sondergeld and C. S. Rai. Structural characterization of gas shales on the micro- and nano-scales: Canadian Unconventional Resources and International Petroleum Conference, Calgary, Alberta, Canada, October 19–21, SPE Paper 137693, 2010, 15.
- Curtis, M. E., Ambrose, R. J., Sondergeld, C. H. and Rai, C. S. Investigation of the relationship between organic porosity and thermal maturity in the Marcellus

- Shale. SPE North American Unconventional Gas Conference and Exhibition, The Woodlands, Texas, June 14–16, SPE-144370-MS, 2011, 1-4.
- Curtis, M. E., Cardott, B. J., Sondergeld, C. H. and 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. In *Oklahoma Shale Gas and Oil Workshop*, November 20, 2013, 1-30.
- Dembicki, H. *Practical Petroleum Geochemistry for Exploration and Production*. Elsevier, Amsterdam, 2016, 2-4.
- Espitalie J., Madec, M., Tissot, J., Menning, J. and Leplat, P. Source rock characterization method for petroleum exploration. *Proc. 9th Annual Offshore Technology Conf.*, 3; 1977, 439-448.
- Espitalie, J., Laporte, J. L., Madec, M., Marquis, F., Leplat, P., Paulet, J. and Boutefeu, A. 1977. Methode rapide de caracterisation des roches metres, de leur potentiel petrolier et de leur degre d'evolution, *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, vol. 32, 1977, 23–42.
- Espitalié, J., Deroo, G. and Marquis, F. *La Pyrolyse Rock Eval et ses Applications*, *Review Institute Français Petroleum* 10, 1985, 755-784.
- Ferriday, T., and M. Montenari. "Chemostratigraphy and Chemofacies of Source Rock Analogues: A High-Resolution Analysis of Black Shale Successions from the Lower Silurian Formigoso Formation (Cantabrian Mountains, NW Spain)." *Stratigraphy & Timescales*. 1. Academic Press, 2016, 123-255.
- Fishman, N. S., Lowers, H. A., Hackley, P. C., Hill, R. J. and Egenhoff, S. O. Porosity in shales of the organic-rich Kimmeridge clay formation (Upper Jurassic), Oral presentation at AAPG Annual Convention and Exhibition, Long Beach, California, April 22-25, 2012, 1-56.
- Fishman, N., Guthrie, J. M. and Honarpour, M. Development of organic and inorganic porosity in the Cretaceous Eagle Ford Formation, South Texas. *Search and Discovery Article*, 50928, 2014, 19-22.
- Galford, J., Quirein, J., Westacott, D. and Witkowsky, J. Quantifying organic porosity from logs. In *SPWLA 54th Annual Logging Symposium*. Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts, 2013, 1-16.

- Gedik, İ., Timur, E., Duru, M., Alan, İ., Pehlivan, Ş., Altun, İ., Akbaş, B., Önalın, M. ve Özcan, İ. İstanbul Paleozoik İstifinde Kocatöngel ve Bakacak Formasyonları. 55. Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 2002, 97-99.
- Gedik, İ. ve Önalın, M. Çamdağ (Sakarya ili) Paleozoyik Stratigrafisine Ait Yeni Gözlemler. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 14, 1-2, 2001, 61-76.
- Gedik, İ. ve Aksay, A. 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Adapazarı G-25 Paftası. Ankara: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, 2002.
- Geoscience Australia, Australian Government Geoscience Australia. http://dbforms.ga.gov.au/www/npm.well.plot_graph_2?pName=Apollo%20%201&pEno=5795&pTimescale=A&pDepthMin=614.04&pDepthMax=633.40&pTotalDepth=876&pAgeMin=205.00&pAgeMax=193.00 (Erişim Tarihi: 30.06.2019)
- Goodarzi, F. and Norford, B. S. Variation of graptolite reflectance with depth of burial. International journal of coal geology, 11(2), 1989, 127-141.
- Göncüoğlu, M. C. and H. W. Kozur. Facial development and thermal alteration of Silurian rocks in Turkey. In: Guitierrez-Marco JC and Rabano I. (eds)- Proceedings of the 1998 Silurian Field-Meeting, Edited by JC Gutierrez-Marco and I. Rabano. Temas Geologico-Mineros ITGE. Vol. 23. 1998. 87-90.
- Görür, N., Okay, A. I., Tüysüz, O., Yigitbas, E. ve Akkök, R. İstanbul-Zonguldak Paleozoyik İstifinin Paleocografik ve Tektonik Konumu. Zonguldak Havzası Arastırma Kuyuları-I: Kozlu-K20/G, Tübitak MAM Özel Yayını. 1995. 27-43.
- Gu, X., Mildner, D. F., Cole, D. R., Rother, G., Slingerland, R. and Brantley, S. L. Quantification of organic porosity and water accessibility in Marcellus shale using neutron scattering. Energy & Fuels, 30(6), 2016, 4438-4449.
- Harput, O.B., Batı Karadeniz Bölgesi Tortullarının Kaynak Kaya ve Olgunlaşma Yöntemiyle İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 133, 1997.
- Harrison, J. C., Nowlan, G. S. and Lehnert, O. Thermal maturity of Cambrian to Devonian rocks of northeastern Ellesmere Island. The geology of northeast Ellesmere Island adjacent to Kane Basin and Kennedy Channel, Nunavut, Geol. Surv. Canada Bull, 592, 2008, 169-185.
- Hunt, J.M. and Meinert, R. Petroleum prospecting: U.S. Patent 2,854,396, 1958.

- İnan, S., Al Badairy, H., İnan, T. and Al Zahrani, A. Formation and occurrence of organic matter-hosted porosity in shales. *International Journal of Coal Geology*, 199, 2018, 39-51.
- Jarvie, D. M. Total organic carbon (TOC) analysis; in, *Source Migration Processes and Evaluation Techniques*, R. K. Merrill, ed.: American Association of Petroleum Geologists, *Treatise of Petroleum Geology Handbook of Petroleum Geology*, 1991, 113-118.
- Jarvie, D. M., and Tobey, M.H. TOC, Rock-Eval and SR Analyzer Interpretive Guidelines Application Note 99-4. Humble Instruments and Services, Inc. Geochemical Services Division, Texas, 1999, 11.
- Jarvie, D. M., Claxton, B. L., Henk, F. and Breyer, J. T. Oil and Shale Gas from the Barnett Shale, Ft. Worth Basin. AAPG, TX ACE Meeting, June 3-6, 2001.
- Jarvie, D., Pollastro, R. M., Hill, R. J., Bowker, K., Claxton, B. and Burgess, J. Evaluation of hydrocarbon generation and storage in the Barnett shale, Ft. Worth basin, Texas. In *Ellison Miles Memorial Symposium*, Farmers Branch, Texas, USA. 2004, 22-23.
- Jarvie, D. M., Hill, R. J. and Pollastro, R. M. Assessment of the gas potential and yields from shales: The Barnett Shale model. *Oklahoma Geological Survey Circular*, 110, 2005, 37-50.
- Jarvie, D. M., Hill, R. J., Ruble, T. E. and Pollastro, R. M. Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment. *AAPG bulletin*, 91(4), 2007, 475-499.
- Jia, Z., Xiao, L., Chen, Z., Liao, G., Zhang, Y., Wang, Z., Can, L. and Guo, L. Determining Shale Organic Porosity and Total Organic Carbon by Combining Spin Echo, Solid Echo And Magic Echo. *Microporous and Mesoporous Materials*, Vol. 269, 2018, 12-16.
- Jones, R. W. Comparison of Carbonate and Shale Source Rocks, in *AAPG Studies in Geology* 18, *Petroleum Geochemistry and Source Rock Potential of Carbonate Rocks*, 1984, 163-180.
- Katz, B. J. Limitations of "Rock-Eval" pyrolysis for typing organic matter: *Organic Geochemistry*, 4, 1983, 195-199.
- Katz, B. J. and Arango, I. Organic porosity: a geochemist's view of the current state of understanding. *Organic Geochemistry*, 123, 2018, 1-16.

- Kavak, İ. D., Batı Karadeniz Bölgesi Alt Siluriyen Yaşlı Graptolitli Şeyllerin Hidrokarbon Kaynak Kayaç Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: Ankara. 2007.
- Kaya, O. ve Birenheide, R. Adapazarı Çevresi Orta Devoniyen Stratigrafisine Yeni Bir Katkı. MTA Dergisi, 108, 1988, 118-124.
- Kaya-Özer, C., Çevikbaş, A. and Eyüpoğlu, M. Çamyurdu (Mudurnu-Bolu), Örencik, Kirpiyen (Geyve-Sakarya) Ruhsat Sahaları Maden Jeolojisi ve Prospeksiyon Çalışmaları. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 16, 2016, 205-214.
- Keel, M. B. Organic Porosity Distribution: A Function of Aromaticity in Organic-Rich Mudrocks. PhD Thesis. University of Kansas, 2015.
- Ketin, I. Türkiye'nin Orojenik Gelişmesi. Maden Tetkik Arama Dergisi. 53, 1959, 78-86.
- Ketin, I. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. Maden Tetkik Arama Dergisi. 66, 1966, 20-35.
- Ketin, I. and Gümüş, O. Sinop-Ayancik Güneyinde Üçüncü Bölgeye Dahil Sahaların Jeolojisi Hakkında Rapor, TPAO Rapor No: 288, 1963.
- Klemme, H. D., and Gregory F. Ulmishek. "Effective petroleum source rocks of the world: stratigraphic distribution and controlling depositional factors (1)." AAPG Bull. 75, 12, 1991, 1809-1851.
- Kraus, GP. and Parker, K.A. Geochemical evaluation of petroleum source rock in Bonaparte Gulf – Timor sea region, northwestern Australia : AAPG Bull. 63, 11, 1979, 2021-2041.
- Kuchinskiy, V. Organic porosity study: Porosity development within organic matter of the Lower Silurian and Ordovician source rocks of the Poland shale gas trend. Oral presentation given at AAPG Annual Convention and Exhibition, Pittsburgh, Pennsylvania, May 19-22, 2013.
- Kuchinskiy, V., Gentry, K. and Hill, R. Source Rock Evaluation Technique: A Probabilistic Approach for Determining Hydrocarbon Generation Potential and In-Place Volume for Shale Plays. Oral presentation at AAPG Annual Convention and Exhibition, Long Beach, California, April 22-25, 2012, 1-18.
- Kuila, U., McCarty, D. K., Derkowski, A., Fischer, T. B., Topór, T. and Prasad, M. Nano-scale texture and porosity of organic matter and clay minerals in organic-rich mudrocks. Fuel, 135, 2014, 359-373.

- Lafargue, E., Marquis, F. and Pillot, D., Rock-Eval 6 Applications in Hydrocarbon Exploration, Production, and Soil Contamination Studies, *Oil & Gas Science and Technology*, 53, 4, 1998, 421–437.
- Li, Q., Jiang, Z., You, X. and Han, C. A methodology for estimating the organic porosity of the source rocks at the mature stage: example from the marlstone in the Shulu Sag, Bohai Bay Basin. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(6), 2016, 428.
- Link, C. M., Bustin, R. M. and Goodarzi, F. Petrology of graptolites and their utility as indices of thermal maturity in Lower Paleozoic strata in northern Yukon, Canada. *International Journal of Coal Geology*, 15(2), 1990, 113-135.
- Loucks, R. G., Reed, R. M., Ruppel, S. C. and Jarvie, D. M. Morphology, genesis, and distribution of nanometer-scale pores in siliceous mudstones of the Mississippian Barnett Shale. *Journal of sedimentary research*, 79(12), 2009, 848-861.
- Loucks, R. G., Reed, R. M., Ruppel, S. C. and Hammes, U. Spectrum of pore types and networks in mudrocks and a descriptive classification for matrix-related mudrock pores. *AAPG bulletin*, 96(6), 2012, 1071-1098.
- Löhr, S., E. Baruch, P. Hall, and M. Kennedy. Is organic pore development in gas shales influenced by the primary porosity and structure of thermally immature organic matter?: *Organic Geochemistry*, v. 87, 2015, p.119-132
- Matyasik, I., M., Kierat, M., Bieleń, W., Brzuszek, P., Kania, M. and Janiga, M. Experiments to Evaluate of Organic Porosity in Shale Gas Exploration. 28th International Meeting on Organic Geochemistry. Florence, Italy, 2017, 1-2.
- Milliken, K. L., Rudnicki, M., Awwiller, D. N. and Zhang, T. Organic matter–hosted pore system, Marcellus formation (Devonian), Pennsylvania. *AAPG bulletin*, 97(2), 2013, 177-200.
- Modica, C. J., and 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. *AAPG bulletin*, 96(1), 2012, 87-108.
- Okay, A. I., Bozkurt, E., Satır, M., Yiğitbaş, E., Crowley, Q. G. and Shang, C. K. Defining the southern margin of Avalonia in the Pontides: geochronological data from the Late Proterozoic and Ordovician granitoids from NW Turkey. *Tectonophysics*, 461(1-4), 2008, 252-264.
- Okiongbo, K. S., Aplin, A. C. And Larter, S. R. Changes in type II kerogen density as a function of maturity: Evidence from the Kimmeridge Clay Formation. *Energy & fuels*, 19(6), 2005, 2495-2499.

- Özer, K. Ö. Akveren Formasyonunun Maastrichtiyenden Selandiyene Planktonik Foraminifer Biyostratigrafisi ve Paleoekolojik Özellikleri, Batı Karadeniz, Türkiye. MTA Dergisi. 154, 2017, 85-109.
- Özgörüş Z., Okay A.I. ve Özcan E. İstanbul ve Sakarya Zonlarının Batı Kesiminin Geç Kretase-Eosen'deki Evrimi.62. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı. 2009, 462-463.
- Peters, K., Guidelines For Evaluating Petroleum Source Rock Using Programmed Pyrolysis. AAPG bulletin, 70(3), 1986, 318-329.
- Peters, K. E., and M. R. Cassa. "Applied source rock geochemistry: American Association of Petroleum Geologists Memoir 60, 1994, 93-120.
- Peters, K. E., Peters, K. E., Walters, C. C. and Moldowan, J. M. *The biomarker guide* (Vol. 1). Cambridge University Press. 2005, 89.
- Petersen, H. I., Schovsbo, N. H. and Nielsen, A. T. Reflectance measurements of zooclasts and solid bitumen in Lower Paleozoic shales, southern Scandinavia: Correlation to vitrinite reflectance. International Journal of Coal Geology, 114, 2013, 1-18.
- Rine, J.M., Smart, E., Dorsey, W., Hooghan, K. and Dixon, M. Comparison of porosity distribution within selected North American shale units by SEM examination of argon-ion-milled samples. In: Camp, W., Diaz, E., Wawak, B. (Eds.), Electron microscopy of shale hydrocarbon reservoirs. American Association of Petroleum Geologists Memoir 102, 2013, 137–152.
- Romero-Sarmiento, M. F., Ducros, M., Carpentier, B., Lorant, F., Cacas, M. C., Pegaz-Fiornet, S., Wolf, S., Rohais, S. and Moretti, I. 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, 45, 2013, 315-330.
- Rouquerol, J., D. Avnir, C. W. Fairbridge, D. H. Everett, J. H. Haynes, N. Pernicone, J. D. F. Sing, and K. K. Unger. Recommendations for the characterization of porous solids: Pure and Applied Chemistry, 66, 1994, 1739-1758.
- Sachanski, V., Göncüoğlu, M. C., Gedik, I. and Okuyucu, C. The Silurian of the Çatak and Karadere areas of the Zonguldak Terrane, NW Anatolia. Geologica Balcanica, 36. 3-4, 2007, 103-110.
- Sachanski, V., Göncüoğlu, M. C., Lakova, I., Boncheva, I. and Saydam Demiray, G. Silurian graptolite, conodont and cryptospore biostratigraphy of the Gülüç,

- section in Ereğli, Zonguldak Terrane, NW Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21(6), 2012, 867-903.
- Saner, S., Taner, İ., Aksoy, Z., Siyako, M., ve Bürkan, K. A. Safranbolu Havzasının Jeolojik Yapısı ve Tersiyer Paleocoğrafyası. Türkiye 5. Petrol Kongresi, 1980, 111-122.
- Sarangi, P. K., Nanda, S. and Mohanty, P. (Eds.). *Recent Advancements in Biofuels and Bioenergy Utilization*. Springer, 2018, 232.
- Shi, M., Bingsong, Y., Zhang, J., Huang, H., Yuan, Y. and Bo, L. Microstructural characterization of pores in marine shales of the Lower Silurian Longmaxi Formation, southeastern Sichuan Basin. *China. Marine and Petroleum Geology* 94, 2018. 166–178.
- Şengör, C. A. M. and Yılmaz, Y. Tethyan Evolution of Turkey: a Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*. 75 (3-4), 1981, 181-241.
- Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y. and Sungurlu, O. Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: nature and evolution of the western termination of Palaeo-Tethys. *Geological Society, London, Special Publications*, 17(1), 1984, 77-112.
- Thomas, B.M. Geochemical analysis of hydrocarbon occurrences in northern Perth Basin, Australia : *AAPG. Bull.*, 63, 7, 1979, 1092 – 1107.
- Tissot, B., P. and Welte, D., H. *Petroleum Formation and Occurrence*, 2 ed.: New York, Springer-Verlag, A good overall reference for petroleum geochemistry, 1984, 699.
- Tokay, M. Filyos Çayı Ağzı-Amasra-Bartın-Kozcağz-Çaycuma Bölgesinin Jeolojisi. *MTA Dergisi*. 46-47. 1954-1955, 58-84.
- Treibs, A. The occurrence of chlorophyll derivatives in an oil shale of the upper Triassic. *Annalen* 517, 1934, 103–114.
- Tüysüz, O. Karadeniz'den Orta Anadolu'ya Bir Jeotravers: Kuzey Neotetis Tektonik Evrimi. *TPJD Bülteni*, 5, 1,1993, 1-33.
- Tüysüz, O., Aksay, A. ve Yiğitbaş. E. Batı Karadeniz Bölgesi Litostratigrafi Birimleri. *Stratigrafi Komitesi Litostratigrafi Birimleri Serisi-1. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü*, 2004.
- US EIA. *Annual Energy Outlook 2016 With Projections to 2040*. USDOE Energy Information Administration (EI), Washington, DC (United States). Office of Energy Analysis, 2016, 100.

- Vasileiadis, M., Peristeras, L. D., Papavasileiou, K. D. and Economou, I. G. Modeling of Bulk Kerogen Porosity: Methods for Control and Characterization. *Energy & Fuels*, 31(6), 6004-6018, 2017.
- Ward, J. Kerogen density in the Marcellus shale. In SPE Unconventional Gas Conference. Society of Petroleum Engineers, 2010.
- Wu, S., Yang, Z., Zhai, X., Cui, J., Bai, L., Pan, S. and Cui, J. An experimental study of organic matter, minerals and porosity evolution in shales within high-temperature and high-pressure constraints. *Marine and Petroleum Geology*, 102, 2019, 377-390.
- Yergin, D. Petrol: Para ve güç çatışmasının Epik öyküsü, TC İş Bankası Yay. 332, 1991, 742.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTÖRA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 10/07/2019

Tez Başlığı / Konusu: Hendek (Sakarya, Kb Anadolu) Siluriyen Şeyllerinin Organik Porozite Değerlerinin Rock-Eval Piroliz Verileri Kullanarak Belirlenmesi

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 85 sayfalık kısmına ilişkin, 10/07/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 2 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

10.07.2019

Adı Soyadı: Zeynep ARSLAN

Öğrenci No: N13223933

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Yüksek Lisans

Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. İsmail Hakkı DEMİREL

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeynep ARSLAN
Doğum yeri : Kırıkkale
Doğum tarihi : 22.07.1986
Medeni hali : Bekar
Yazışma adresi : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Türkocağı Caddesi
No:2 Çankaya / Ankara
Telefon : 0312 212 64 20
Elektronik posta adresi : zeyneparslann@gmail.com
Yabancı dili : İngilizce

EĞİTİM DURUMU

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 2011

İş Tecrübesi

2013 – devam ediyor : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara