

BATI KARADENİZ BÖLGESİ ALT SILURİYEN YAŞLI GRAPTOLİTLİ ŞEYLLERİN HİDROKARBON KAYNAK KAYAÇ DEĞERLENDİRMESİ

İKBAL DİLEK POLAT

ÖZ

Bu çalışmanın konusu Batı Karadeniz bölgesinde yüzeyleyen Alt Siluriyen yaşlı organik maddece ve graptolit fosilince zengin şeyllerin potansiyel hidrokarbon kaynak kayaç karakteristiklerinin araştırılmasıdır. Bu amaçla Hendek-Kocaali (Adapazarı), Ereğli-Gülüç Barajı (Zonguldak) ve İğdir-Örenköy (Boyabat-Kastamonu) yörelerinde üç ayrı stratigrafik istif incelenmiş ve toplam 26 şeyl örneği alınmıştır. Örnekler üzerinde organik jeokimya (Toplam Organik Karbon içeriği ve Rock-Eval Piroliz), XRD-Tüm Kayaç ve Kil Fraksiyonu Analizleri yapılarak, Alt Siluriyen şeyllerinin hidrokarbon kaynak kaya potansiyeli ve ısıl olgunluğu belirlenmeye çalışılmıştır.

XRD-Tüm Kayaç analiz sonuçlarına göre bolluk oranı % 41.5 ile % 70.18 arasında değişen kil mineralleri ile % 19.59 - % 42.06 arasında yer alan mika mineralleri egemen iki bileşendir. Bunları, örnek içerisinde ortalama % 10 oranında kuvars, % 7 oranında feldispat ve % 3 oranında kalsit ile % 2 oranında dolomit mineralleri takip etmektedir. İğdir kesiti örneklerinde kalsit ve dolomit minerallerine rastlanmamıştır. Hendek ve Ereğli-Gülüç kesitleri örneklerinde gözlenen kil mineralleri, klorit, illit, kaolinit ve klorit vermikülittir. İğdir kesitinde gözlenen kil mineral türleri ise sadece illit ve kaolinittir. İllit kristalinite değerleri 0.20-0.30 arasında olup "gömülme" sıcaklığının 350 °C'den büyük olduğu "epizonu", 2.80-8.60 arasındaki keskinlik oranı değerleri "ankizonu" dolayısıyla 200-350 °C arası bir gömülme sıcaklığını yani hidrokarbon türümü açısından "aşırı olgun zonu" işaret etmektedir.

Toplam Organik Karbon değerleri, yüzde ağırlık olarak, Hendek-Kocaali örnekleri için 0.22-1.26; Ereğli-Gülüç örnekleri için 0.94-1.61 ve İğdir-Örenköy örnekleri için 0.38-4.43 arasındadır. Rock-Eval Piroliz analizlerinin değer parametreleri S_1 , S_2 , T_{max} , HI ve OI değerleri göz önüne alındığında örneklerin organik madde tipinin Tip IV kerojen, kaynak kaya olgunluğunun ise aşırı olgun olduğu belirlenmiştir. Graptolit yansıma sonuçları maksimum 9.27 olup petrol oluşumu için aşırı olgun zonu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Batı Karadeniz, Alt Siluriyen şeylleri, kaynak kaya, organik jeokimya

Danışman: Prof. Dr. İ.Hakkı DEMİREL, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

HYDRACARBON SOURCE ROCK ASSESSMENTS OF THE LOWER SILURIAN GRAPTOLITIC SHALES IN THE WESTERN BLACK SEA REGION

İKBAL DİLEK KAVAK

ABSTRACT

The main objective of this study is to investigate the potential hydrocarbon source rock characteristics of the Lower Silurian organic matter and graptolite rich shales exposed in the western Black Sea region. For this purpose, three different stratigraphic sequences located at Hendek-Kocaali (Adapazarı), Ereğli-Gülüç Barajı (Zonguldak) and İğdir-Örenköy (Boyabat-Kastamonu) fields have been determined and a total of 26 shale samples were collected. On these samples, organic geochemistry (Total organic Carbon Content and Rock-Eval Pyrolysis), XRD Whole Rock and Clay Fraction mineral analyses were performed for evaluation of hydrocarbon source rock potential and to indicate their degree of thermal maturity.

Based on whole rock analyses mica and clay minerals are two primary components. Their abundance ratio vary from 41.50 % to 70.18 % and 19.59 % to 42.06 %, respectively other whole rock components are Quartz (average:10 %), feldspar (average: 7 %), calcite (average: 3 %) and dolomite (average: 2 %). Calcite and dolomite are not found in İğdir-Örenköy samples. Chlorite, illite, kaolinite and chlorite-vermiculite are common in Hendek-Kocaali and Ereğli-Gülüç samples, whereas in İğdir-Örenköy samples, illite and kaolinite are the most common clay minerals. Illite crystallinity values range from 0.20 to 0.30 indicating that the maximum burial temperature was over 350 °C and fall down "epizone". Sharpness ratio values are between 2.80-8.60 indicating that the maximum burial temperature is between 200-350 °C which corresponds to "over mature zone" for hydrocarbon generation.

Total Organic Carbon values (% in weight) of the samples are between 0.22 and 4.43 (for Hendek-Kocaali: 0.22-1.26; for Ereğli-Gülüç barajı: 0.94-1.61 and for İğdir-Örenköy: 0.38-4.43). assessments of Rock-Eval parameters such as S_1 , S_2 , T_{max} , HI and OI values imply that Type IV kerogen and source rock maturity in over mature. Results of maximum *graptolite* reflectance value (9.27 % GR) is also indicate over maturity for oil generation.

Keywords: Black Sea region, Lower Silurian shales, source rock, organic geochemistry

Advisor: Prof. Dr. İ.Hakkı DEMİREL, Hacettepe University , Faculty of Engineering, Department of Geology Engineering

1. GİRİŞ

1.1. Giriş ve Amaç

Günümüz dünyasında enerji kaynaklarına sahip olmak, tüm dünya ülkeleri için, gelişmek ve refah seviyesini yükseltmek için en önemli hedeftir. Dünyada ülkeler politikalarını bu hedef doğrultusunda çizmektedirler.

Bugün dünyada bulunan yenilenemeyen enerji kaynakları (petrol, doğal gaz, kömür, nükleer enerji, petrollü şeyler, asfalt, asfaltit vb.) her geçen gün azalmakta, bu kaynaklara duyulan ihtiyaç ise artmaktadır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için yeni kaynakların araştırılması zorunlu hale gelmiştir. Organik jeokimya bilimi sayesinde petrol ve gaz rezervleri, belirli bazı kaynak kayaçlarıyla ilişkilendirilebilmekte ve organik kayaçların organik madde miktarlarını, içerdikleri organik maddenin tipini ve petrol üretilip üretilmeyeceklerini gösteren organik olgunlaşma zamanları belirlenebilmektedir.

Bu amaç kapsamında bölgede Hendek (Adapazarı)- Kocaali yolu, Ereğli-Gülüş Barajı yolu ve Kastamonu -İğdir-Örenköy yolu Alt Siluriyen istifleri incelenmiştir.

Bu tez kapsamında;

- 1- Yüzeyde mostra veren Alt Siluriyen istiflerinden ölçülü stratigrafi kesitleri yapılmış ve alınan örnekler üzerinde inorganik jeokimyasal (Tüm kayaç ve kil minerallerinin türlerinin belirlenmesi) X-RD çalışmaları,
- 2- Graptolit içeren şeylerden alınan örnekler üzerinde organik jeokimyasal analizler (Toplam Organik Karbon Rock-Eval Piroliz analizleri) ve graptolitler üzerinde de organik petrografi çalışmaları,
- 3- Organik ve inorganik jeokimyasal (illit kristalinite ve keskinlik oranları) analiz çalışmaları ile graptolit yansıma çalışmaları sonuçları yardımı ile kaynak kaya seviyelerinin ısıl olgunlaşma yorumlamaları yapılmıştır.

Dünyada Tetis denizinin jeolojik devirlerdeki yayılım alanlarına bakıldığında Mesozoyik yaşlı kaynak kayaların yanı sıra Paleozoyik döneminde yer alan Alt

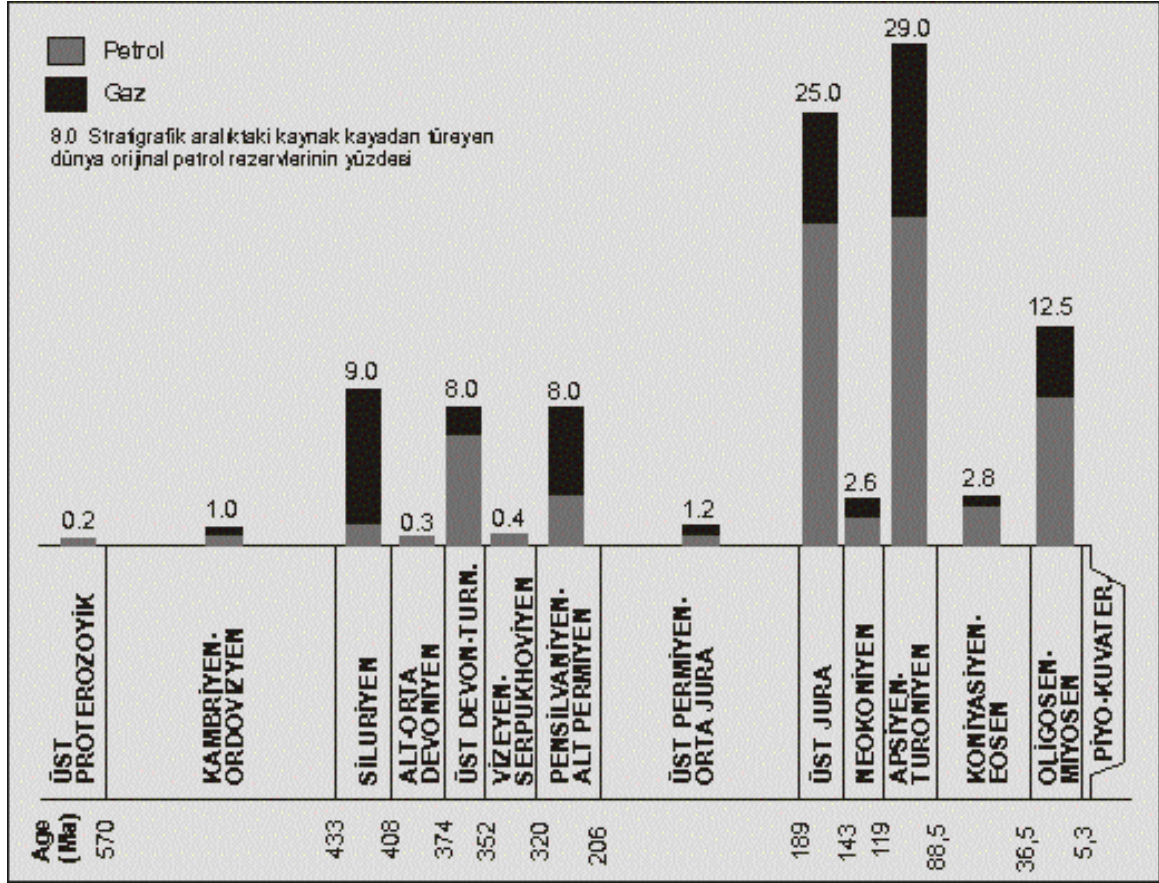
Siluriyen ve Alt Karbonifer'in de önemli anoksik stratigrafik aralıklardan iki tanesi olduğu görülmektedir (Grunau, 1983; Klemme and Ulmishek, 1991; Hussein, 1982). Petrol jeolojisi çalışmaları için başlangıç adımı sayılan hidrokarbon kaynak kayaçların çoğunlukla Mesozoyik (Kretase ve Jura) zamanına ait olduğu bilinmektedir (Klemme ve Ulmishek, 1991). Ancak Kuzey Afrika ülkeleri ve Ortadoğu petrol bölgelerinde halen üretilmekte olan hidrokarbonların (özellikle gazın) kökeninin yaklaşık ¼ 'inin Paleozoyik yaşlı (Alt Siluriyen, Devoniyen ve Alt Karbonifer yaşlı) olduğu bilinmektedir (Şekil 1.1).

Bu rezervlerin % 74'ü Tip I ve Tip II kerojenlerini içermekte olan kaynak kayalar tarafından üretilmiş petrol rezervlerini; % 26'sı ise benzer kaynak kayalar tarafından üretilmiş gaz rezervlerini içermektedir. Üst Jura yaşlı kaynak kayalarının ¾'ünden fazlası Tip II kerojen içeren kaynak kayalar olup Tip III kerojen ve kömür içeren kaynak kayalara seyrek rastlanmaktadır (Klemme ve Ulmishek, 1991). Geç Jura döneminde depolanma alanının % 61'i, yoğun denizel transgresyon sonucu çökelmiş denizel kayaçlardan oluşmaktadır. Karasal kökenli kayaçlar depolanma alanının ancak %22'sinde yayılım göstermiş olup genellikle Çin'de yer alan basenler için karakteristiktir.

Dünyadaki petrol jeolojisi çalışmaları, Alt Siluriyen yaşlı kaynak kayaların, Paleozoyik yaşlı kaynak kayalarının % 73'ünü oluşturduğunu göstermektedir (Klemme and Ulmishek, 1991; Grunau, 1983). Bu yaş aralığındaki kaynak kayalar dünya hidrokarbon üretiminin % 9'unu karşılamaktadır. Bunların %85'i derin gömülme ve kaynak kayaların aşırı olgunlaşması nedeniyle gaz şeklindedir (Klemme and Ulmishek, 1991).

Alt Siluriyen döneminde, çoğu zaman şeyller doğrudan Ordovisiyen buzul kumtaşları üzerine depolanmışlardır. Bu durum Ordovisiyen buzul kütlelerinin erimesi ve Erken Siluriyen transgresyonu ile gerçekleşmiştir. Lüning et.al. (2000a) Siluriyen şeylleri, yanal devamlılığı, dağılım ve kalınlıkları Erken Siluriyen paleo-yükseltilelerle kontrol edilmiştir. Bu yükseltile, Geç Ordovisiyen buzul zamanındaki buzullaşma süreçleri ile ve Pan-Afrikan ve Infrakambriyen sıkışma ve genişleme tektoniği ile oluşmuşlardır. Alt Siluriyen şeyllerinin en kalın ve yayılımı en geniş olduğu ülkeler Afrika'da; Cezayir,

Tunus ve batı Libya, Arap yarımadasında ise; Suudi Arabistan, Umman, Ürdün ve Irak'tır.



Şekil 1.1. Dünyadaki hidrokarbon rezervlerinin bilinen kaynak kayalarının çökeltme zamanlarına ve türetilen hidrokarbon türüne göre dağılımı (Klemme and Ulmishak, 1991'den alınmıştır).

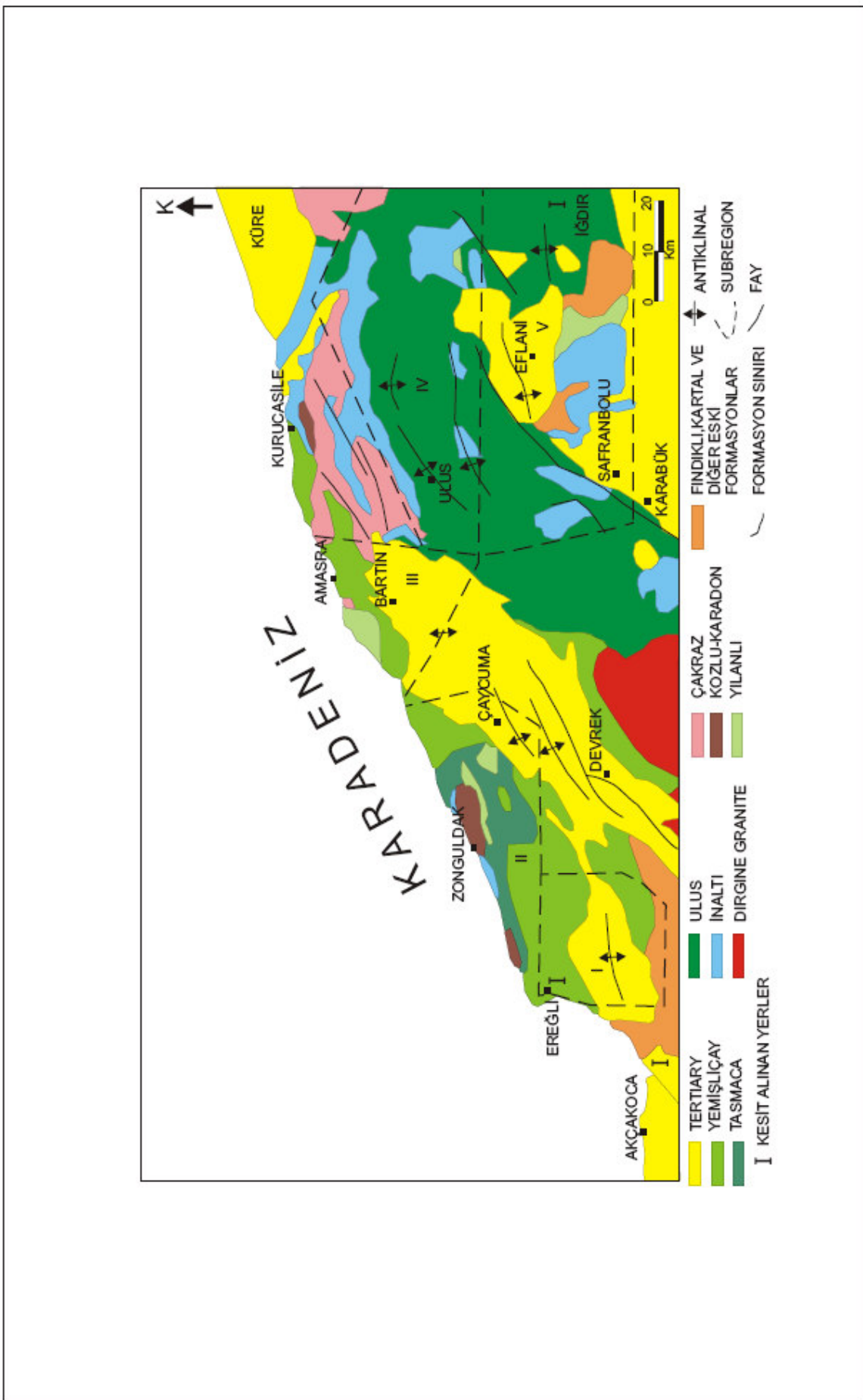
Kuzey Anadolu Fay Zonu' nun kuzeybatısında yer alan Batı Karadeniz Bölgesi; Zonguldak, Bartın, Amasra ve Kastamonu'nun batı kısımlarını kapsamakta olup Anadolu ve Toros'lardan farklı olarak Kuzey'deki bir başka büyük kıta olan Lavrasya'nın güney kolunun bir parçasıdır. İskityen Platformu diye de adlandırılan Lavrasya'nın güney kenarları, güneydeki Gondvana kıtasının Paleozoyik istifinden farklı olarak Eokambriyen ve Alt Kambriyen' deki çökeltme dönemleri ve en üst Ordovisyen hariç, neredeyse tüm Ordovisyen şeyl ve kumtaşları ile karakteristiktir. 1999-2005 yılları arasında, Gondvana kıtasının kuzey kolunda yer alan Toros Kuşağı

Alt Paleozoyik istiflerinin petrol-gaz kaynak kayaç potansiyeli iki ayrı bölgede (Doğu Toroslar, Orta- Batı Toroslar) sürdürülmüş doktora tezleri ile büyük ölçüde tariflenmiştir. Bu tez çalışmasında özellikle Gondvana Alt Siluriyen istifinde yer alan organik maddece zengin şeyl seviyelerinin petrol türüm potansiyelleri saptanmış ve sonuçları Kuzey Afrika, Orta Doğu petrol bölgeleri ile karşılaştırılabilir hale getirilmiştir.

Türkiye KB'sında Lavrasya kıtasına ait düzenli, kalın ve yanal devamlılığa sahip Siluriyen yaşlı istifler Kastamonu batısında, Ereğli-Bartın ve Amasra'da bilinmektedir. 1000-1200 m kalınlığa sahip Siluriyen istifinde yaygın Graptrolit içeren şeyllerin varlığı, organik madde zenginliğini de düşündürmektedir. Bu konuda ön bulgular Harput (1997)'un doktora tezinde sunulmuştur. Ancak daha kapsamlı, Alt Siluriyen yaşlı şeyllerin üzerinde hidrokarbon kaynak kayaç karakteristiklerinin ve gömülme sıcaklığı ile olgunlaşma evrelerinin belirlenmesine başlıca iki nedenle gereksinim vardır:

- 1- Akçakoca açıklarında yapılan derin sondajlarda rastlanan gaz birikimlerinin Paleozoyik yaşlı kökenden türeme olasılığının yüksekliği,
- 2- Kara alanlarında yayılım gösteren Siluriyen yaşlı şeyllerin petrol-gaz kaynak kayaç potansiyellerinin Gondvana kıtasının aynı yaştaki birimleri ile karşılaştırılması.

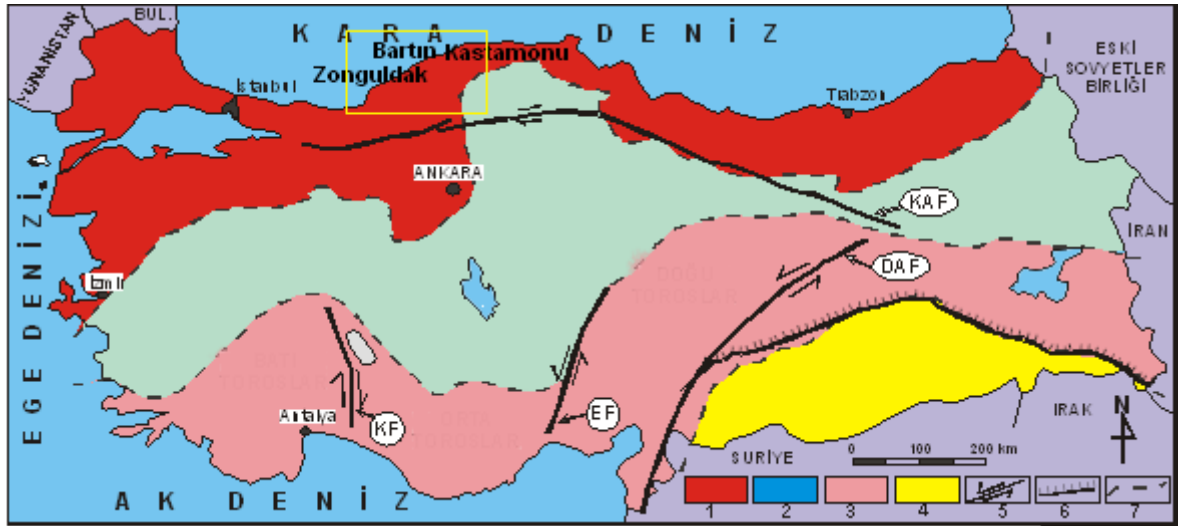
Bu yüksek lisans tez çalışmasının amacı; Alt Siluriyen yaşlı şeyllerin üzerinde hidrokarbon kaynak kayaç karakteristiklerinin ve gömülme sıcaklığı ile olgunlaşma evrelerinin belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda, ülkemizde petrol ve gaz açısından umutlu olabilecek kara alanları arasında yer alan Batı Karadeniz'deki Alt Siluriyen istiflerinin bilinen yüzlek alanlarında organik madde içeren muhtemel seviyelerin potansiyel hidrokarbon kaynak kaya özellikleri saptanmaya çalışılmıştır.



ŞEKİL 1.2 Batı Karadeniz Bölgesi Basitleştirilmiş Jeoloji Haritası (Aydın ve diğ., 1986-1987; Harput, 1997)

1.2. İnceleme Alanının Tanıtımı

Mesozoyik ve Erken Tersiyer döneminde başlıca kuzey-güney yönlü sıkışma kuvvetlerinin etkisinde kalmış çalışma alanı, Alp-Himalaya orojenik kuşağının Türkiye üzerindeki bir uzantısı olan Pontidler üzerinde yer almaktadır. Jeolojik zaman içinde Neotetis'in kapanma evresi boyunca gelişmiş, Paleozoyik'ten Tersiyer'e kadar geniş bir jeolojik yaş yelpazesinde bulunan birimler, değişken kalınlıklarda, bazen aşınmalı olarak gözlenmektedir. Alt Siluriyen yaşlı kaynak kayalarda hidrokarbon potansiyelinin belirlenmesini amaçlayan bu tez çalışması kapsamında, çalışma alanının jeolojisi hakkında özet bilgiler, stratigrafi, yapısal jeoloji ve bölgenin jeolojik evrimi başlıkları önceki çalışmacılardan derlenen bilgilerle sunulmuştur.



Şekil 1.3. Çalışma alanının Türkiye'nin ana tektonik haritasındaki yeri (Varol, 2005'ten değiştirilerek alınmıştır.) 1. Pontidler, 2. Anatolidler, 3. Toridler, 4. Kenar Kıvrımları, 5. Doğrultu atımlı faylar, 6. Bindirme, 7. Tektonik hatların sınırı, DAF: Doğu Anadolu Fayı, KAF: Kuzey Anadolu Fayı, KF: Kırkkavak Fayı, EF: Ecemiş Fayı.

1.3. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı ve yakın civarında bilinen en eski çalışma, Amasra yöresindeki kömürler üzerinde Schlehan (1852) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ereğli-Zonguldak yöresinde Amiral Spratt bu bölgede kömür içeren tabakaları incelemiş ve kömürlerin rezervleri ve kalitesi hakkında bir rapor yazmıştır. Daha sonra Ralli (1895-1896) Ereğli-Zonguldak sahasında ilk jeoloji çalışmasını yapmıştır. Sonraki jeoloji çalışmaları genellikle kömür damarlarının yer aldığı Zonguldak, Amasra, Azdavay yörelerindeki Karbonifer yaşlı birimler üzerinde gerçekleşmiştir (Harput, 1997).

Bölgede yer alan daha genç birimler üzerindeki jeoloji çalışmaları Tokay (1952, 1961), Ketin ve Gümüş (1963), Ketin (1965)' e aittir. Akyol ve diğ. (1974) ile Saner ve diğ. (1979) tarafından yapılan çalışmalar bölgesel stratigrafi kapsamında olup formasyon adlamaları yapmışlardır.

SANER (1980), Üst Jura öncesinde Avrasya kıtasının devamı halinde olan Batı Pontid'lerin, Üst Jura' da deniz transgresyonu ile sığ bir şelf halinde geldiğini, Alt Kretase sonlarında güneyde yer alan Tetis okyanusunun kuzey kolunun okyanusal kabuğunun Avrasya kıtası altına dalmaya başlamasıyla D-B uzanımlı bir volkanik yay geliştiğini, bunun ardından kıtasal kabuktaki incelmeye Karadeniz'in oluştuğunu belirtmiştir.

GEDİK VE DİĞ. (1983) Orta Karadeniz (Samsun- Sinop) Havzasının jeolojisi ve volkanik kayaların petrolojisini inceledikleri çalışmalarında, inceleme alanının içinde bulunduğu tüm Pontidler'deki Üst Kretase- Eosen yaşlı volkanitleri grubundan olduğunu belirlemişlerdir.

KAYA ve diğ. (1983), Ereğli (Zonguldak) Alanının Kretase Stratigrafisi isimli çalışmalarında Tokay (1952) tarafından önerilen stratigrafinin 1:25 000 ölçekli haritanın yeniden değerlendirilmesi, özellikle, yeni saptanan stratigrafi ilişkilerini vurgulamaktadır. Çalışma alanı Zonguldak Ereğlisi'nin doğusunda, F27-a4 paftasında yer almaktadır.

GEDİK ve diğ. (1984), *Orta Karadeniz (Samsun-Sinop) Havzasının Jeolojisi ve Volkanik Kayaçların Petrolojisi* isimli çalışmalarında; Orta Karadeniz Bölgesinde, temelde yer alan metamorfik kayaçlar üzerinde Liyas-Kuvaterner zaman aralığında çökelen kaya birimleri tanıtılmış ve çeşitli evrelerde oluşan volkanik kayaçalarda yapılan petrolojik çalışmalar sunulmuştur. Bölgesel jeodinamik evrim ve kimyasal nitelikleri göz önüne alındığında, volkanik kayaçalardan, Üst Kretase yaşlı olan Hamsaros volkanikleri, Yemişliçay formasyonu, Çokran üyesi ile Eosen yaşlı olan Tekkeköy volkanitlerinin, ada yayı volkanikleri grubundan oldukları ve eski bir yitim zonundan oluştukları; Pliyo-Kuvaterner yaşlı Akyörük bazaltlarının ise, daha sonra kıta ortasında manto yükselimi ile oluştuğu sonucuna varmışlardır.

AYDIN VE DİĞ.(1986), Ballıdağ-Çangaldağı (Kastamonu) arasındaki bölgenin jeolojisini inceledikleri çalışmalarında Prekambriyen-Neojen arası dönemdeki stratigrafik aralıkların litolojilerini, yaşlarını, dokanak ilişkilerini ve bölgedeki paleocoğrafyayı incelemişlerdir. Paleontoloji çalışmaları yaparak birimlerde yaş tanımlaması yapmışlardır.

Bölgenin jeolojisini ve teknoğini aydınlatmaya yönelik çalışmalar arasından Yılmaz (1980), Görür ve diğ. (1983), Yılmaz ve Boztuğ (1987), Boccaletti ve diğ. (1988a,b), Boccaletti ve Manetti (1988), Manetti e al. (1988) ve Tunoğlu (1991) yer almaktadır.

AYDIN VE DİĞ. (1987), Çamdağ(Sakarya)-Sünnicedağ (Bolu) yöresinde yaptıkları çalışmada bölgede yer alan formasyonların stratigrafisini, yapısal jeolojisini ve paleocoğrafyasını ayrıntılı olarak incelemişlerdir. Formasyonların dokanak ilişkilerini, litolojilerini incelemişlerdir.

SONEL VE DİĞ. (1989), Boyabat (Sinop) Havzası Ekinveren fayının petrol aramalarındaki önemini inceledikleri çalışmalarında Pontidlerdeki sedimanter havzaların oluşumunun Anadolu, Rus ve arap plakalarının Paleozoyik'ten başlayıp Miyosen sonlarına kadar devam eden tektonik gelişmelerle ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

HARPUT (1997), bölgenin petrol ve gaz kaynak kaya potansiyelini ortaya çıkarmak ve olgunlaşma analizleri ile petrolün oluşum ve korunma alanlarını belirlemek amaçlı doktora tez çalışmasında, bölgede Siluriyen'i temsil eden Fındıklı Formasyonunun aşırı olgun olduğu, Zonguldak ve Amasra civarındaki Paleozoyik yaşlı birimlerin ortaları olgunluk düzeyine sahip oldukları için fazla gömülmedikleri ve duraylı bir tektonik evrim geçirdikleri, bölgenin organik madde yönüyle oldukça zengin olduğu ancak petrol aramacılığı açısından rezervuar ve kapan sorunları olduğu ve bölgede petrol türetebilecek Tasmaca Formasyonu'nun gömülü olduğu alanların araştırılması gerektiği sonuçlarına varmıştır.

Batı Karadeniz bölgesinin doğusundaki alanlarda petrol jeolojisi amaçlı yapılan çalışmaların ilki Sinop güneyindeki Kretase yaşlı birimler üzerinde Gedik ve Korkmaz (1984) tarafından gerçekleştirilmiştir. Harput (1988) ve Harput ve diğ. (1993) tarafından Samsun-Adapazarı arasından yer alan sedimanter birimler kaynak kaya ve olgunlaşma verileri kuyu ve yüzey örnekleri ile yorumlanmış, Bayrak (1994) tarafından ise kuyularda matematiksel modelleme çalışması yapılmıştır.

Tez bölgesinde yapılmamış ancak konu ile ilgili olarak tez çalışmasına ışık tutmuş çalışmalara ise aşağıda değinilmiştir. Bunlar:

KLEMME ve ULMISHEK(1991), Fanerozoik zamanın 1/3'ünü simgileyen, dünyanın keşfedilmiş orijinal petrol ve gaz rezervlerinin %90'ından fazlasının elde edildiği hidrokarbon kaynak kayalarını kapsayan altı stratigrafik aralıktan bahsetmişlerdir. Bu altı aralık şunlardır; (1) Siluriyen (dünya rezervlerinin %9'u üretilmiştir.), (2) Üst Devoniyen- Turnesiyen (rezervlerin %8'i), (3) Pensilvaniyen-Alt Permiyen (rezervlerin %8'i), (4) Üst Jura (rezervlerin %25'u), (5) Orta Kretase (rezervlerin %29'u) ve (6) Oligosen-Miyosen (rezervlerin 12.5'i). kaynak kayaların oluşumlarını etkileyen faktörler aralıktan aralığa değişir. Bu kaynak kayaların olgunlaşma süreleri ise çoğu keşfedilmiş petrol ve gaz rezervlerinin çok yeni (genç) olduklarını göstermektedir.

SARI (1994), *Boyabat (Sinop) yöresi (Triyas-Kretase) birimlerinin organik fasiyes incelemesi* adlı çalışmasında, bölgede kaynak kaya niteliğinde olan formasyonlar Akgöl, Çağlayan ve Gürsöku Formasyonları olarak belirtmiştir. Akgöl Formasyonunun bir miktar petrol ve gaz üretebileceğini; Çağlayan formasyonunun petrol ve gaz üretebileceğini; Gürsöku formasyonunun ise kısıtlı miktarda gaz türetebileceğini belirtmiştir.

CARRIGAN ET.AL. (1998), Suudi Arabistan'ın Ghawar bölgesindeki Paleozoyik yaşlı kaynak kayalardan oluşan farklı rezervlerde (Khuff, Unayzah ve Jauf) bulunan hidrokarbonların jeokimyasal özelliklerinin değişimlerini incelemişlerdir. Bu farklı rezervlerin ana kayacı Siluriyen yaşlı Qalibah formasyonunun Qusaiba üyesinin hot şeylleridir. Jeokimyasal farklılıkların, farklı jeotermal gradyana maruz kalmalarından ve ortamda bulunan H₂S varlığının farklı termokimyasal sulfat indirgenmesine neden olduğunu belirtmişlerdir.

WILLIAMS ET.AL. (1998), Kanada, Batı Newfoundland'deki Paleozoyik kayaçların termal olgunlaşma ve gömülme tarihçelerini belirlemişlerdir. Akritark ve spor renk analizleri, graptolit ve vitrinit yansıtımları yapmışlardır. Bölgenin güneyden kuzeyine doğru birimlerin olgunlaşma seviyelerinde bir artış olduğunu saptamışlardır. Genel anlamda Ordovisiyen kayaçların henüz olgunlaşmamış, Kambriyen birimlerin ise olgun olduklarını belirlemişlerdir.

VAROL (2005), Orta-Batı Toros kuşağında özellikle Siluriyen ve Alt Karbonifer istiflerinin Batı-Orta Toroslardaki yüzlek alanlarını belirleyip, potansiyel hidrokarbon kaynak kaya özelliklerini incelemiş Gondvana kıtası ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarla korele etmiştir.

ÖZGÜL (2005), Doğu Toros kuşağında Tufanbeyli-Teke arasındaki alanda yüzeyleyen Alt Siluriyen ve Alt Karbonifer yaşlı birimlerin hidrokarbon kaynak kaya potansiyelini araştırmıştır. Buna göre Alt Siluriyen seviyeleri aşırı olgun, Alt Karbonifer birimleri ise olgun kaynak kayaç olarak belirlemiştir.

1.4. Çalışma Yöntemleri

Tezin amacı ve kapsamına yönelik yapılan işlemler, büro çalışmaları, arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere 3 başlık altında yürütülmüştür. Daha sonra bütün bu çalışmalar sonunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

1.4.1. Büro Çalışmaları

Literatür bilgilerinin derlenmesi, arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçların yorumlanması, verilerin petrol jeolojisindeki güncel bilgilerle özdeşleştirilmesi ve tez yazımının tamamlanması büro çalışmalarını oluşturan ana başlıklardır.

1.4.1. Arazi Çalışmaları

- a) İnceleme alanında yer alan litostratigrafi birimlerinin litofasiyes özelliklerini, yanal devamlılıklarının ve birbirleri ile olan dokanak ilişkilerinin açıklanması,
- b) Düzenli yüzlelerde ölçülü stratigrafi kesitleri yapılarak, ayrıntılı olarak litoloji tanımlamalarının yapılması ve hidrokarbon kaynak kaya örneklerinin istifi temsil edecek aralıklarla alınması (stratigrafik ölçülü kesit determinasyonu), oluşturmaktadır.

Batı Karadeniz bölgesinde yapılan arazi çalışması 2005 yaz aylarında gerçekleştirilmiş üç ayrı lokasyonda ölçülü stratigrafik kesit çalışması gerçekleştirilmiştir.

1.4.2. Laboratuvar Çalışmaları

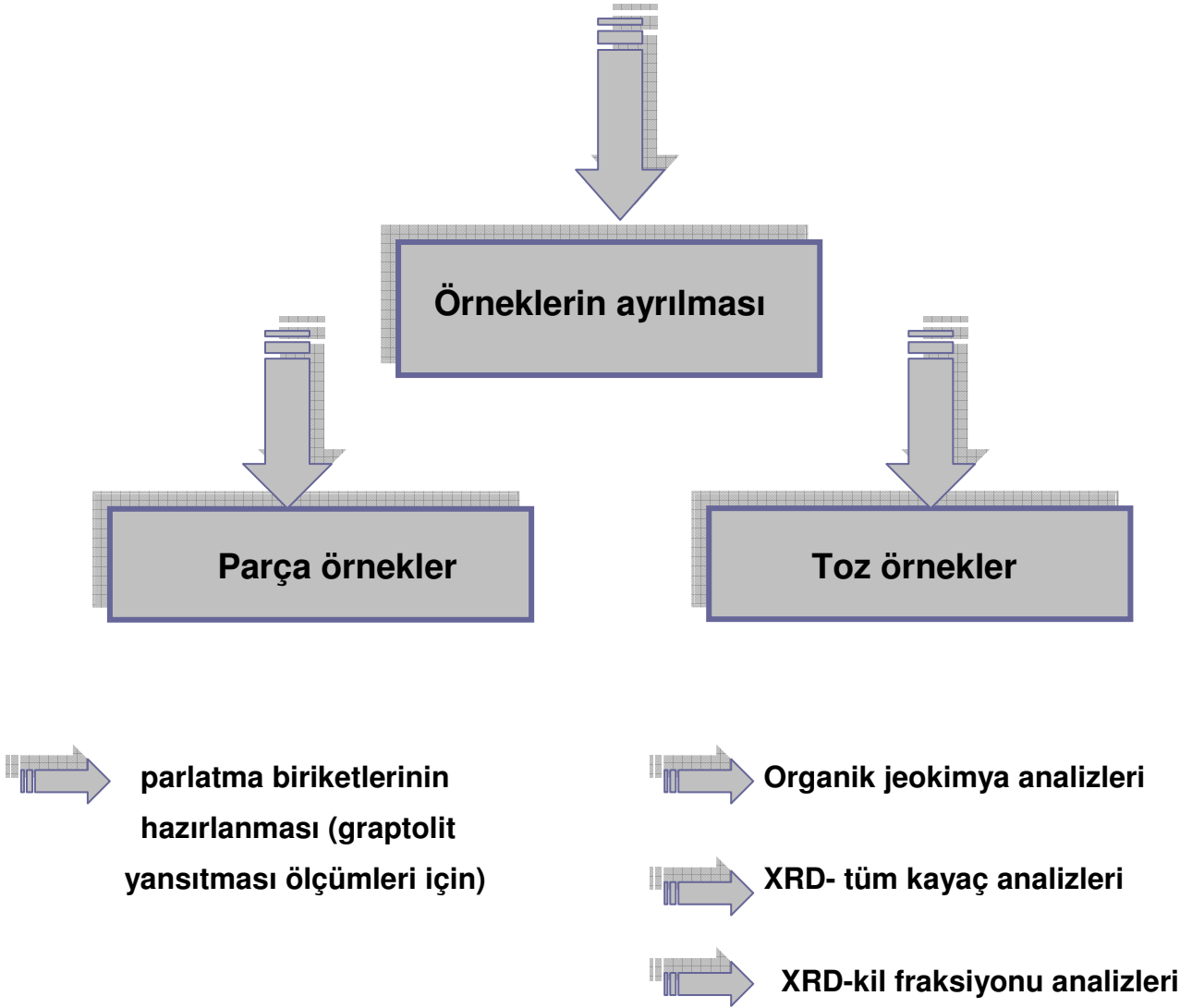
Laboratuvar çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen analiz çalışmalarını; örneklerin yapılacak analizler için ayrılması, bir kısım örneğin 250 µm mertebesinde öğütülmesi, kaynak kaya örneklerinin Toplam Organik Karbon (% TOK) içeriğinin saptanması, organik maddenin tipi, bolluk oranı ve hidrokarbon türümü için gerekli kaynak kaya olgunluğunun saptanması amacıyla Rock-Eval Piroliz analizlerinin yapılması, organik olgunlaşma ve paleo-sıcaklık değerlerinin saptanmasına yönelik olarak kil mineralleri

türleri dağılım oranları ile illit kristalinitesi ve keskinlik oranlarının hesaplanması örneklerdeki mineral içerikleri ve yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla XRD çekimleri ve ince kesit çalışmaları oluşturmaktadır. Örneklerle uygulanan analiz yöntemleri, Şekil 1.5'deki iş akış şemasında, gerçekleştirildikleri yerler ise Çizelge 1.1. 'de gösterilmiştir.

Hacettepe Üniversitesi	Humble Jeokimya Laboratuvarı (Amerika-Texas)
XRD tüm kayaç ve kil fraksiyonu analizleri Graptolit yansıma ölçümleri	Organik Jeokimya Analizleri (TOK % ve Rock-Eval piroliz)

Çizelge 1.1. Laboratuvar çalışmalarının yapıldığı yerler.

Toplam 26 adet örnek



Şekil 1.4. Alınan örneklerin analize hazırlanma aşamalarını gösteren iş akış şeması

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Alp - Akdeniz orojenik kuşağı içinde yer alan Türkiye'nin bulunduğu alan, uzun jeolojik tarihi boyunca Avrasya ve Afrika kıtaları arasında homojen olmayan bir çökel alanı durumundaki Tetis denizinin bir parçası idi. Özellikle, Anadolu çukuru Mesozoyik esnasında kuzey ve güneydoğu kısımlarında daha sığ, orta ve güney kesimlerinde ise daha derin haldeydi. Senozoyik dönemde ise, kara haline gelmiş bölgeler dışında kalan havzalar sığ deniz ve hatta yer yer lagün ortamı halindedir. (Ketin, 1966).

2.1. Karadeniz'in Jeolojik Özellikleri

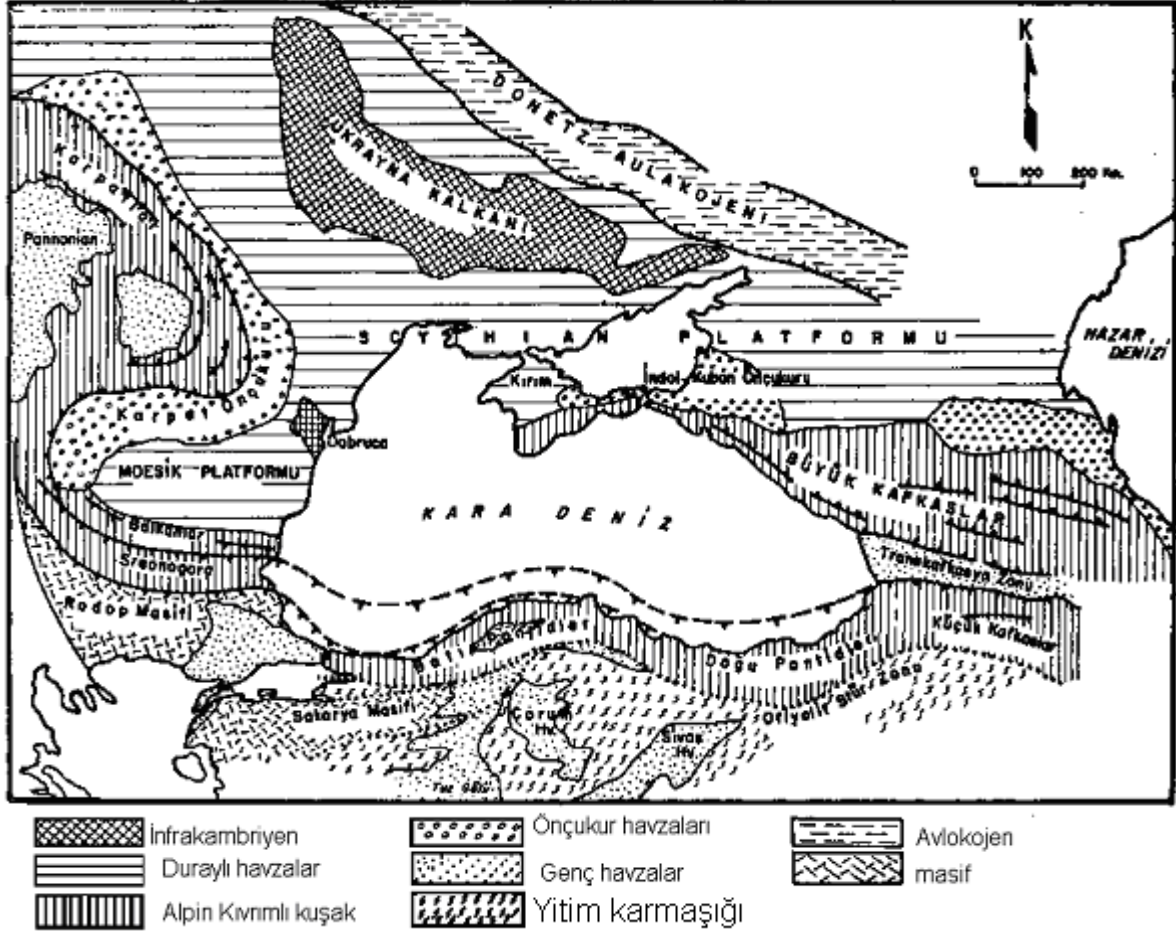
Araştırmacıların hemen tümü Karadeniz'in Neojen ve Pliyosen'de subsidans geçirdiği görüşünde birleşmektedir. Subsidansı güney, kuzey ve doğudaki faylanmalar sağlamış, batı kenar ise tektonik açıdan durgundur. Sismik ve manyetik veriler Karadeniz ortalarının bazaltik kabuklu-gabroik olduğunu göstermektedir. Havzanın kenarlarında manyetik özelliği olmayan metamorflaşmış sedimanlardan oluşan granitik kabuk bulunmaktadır. (Saner, 1980).

2.2. Pontidler

Bölgesel yapı haritalarında Karpatlar'dan güneydoğuya, sonra batıya kavis yapan bir Alpin dağ kuşağı tekrar doğuya kavis yaparak Srednegora ve Balkanlar, daha sonra da Istranca ve Pontidler'le doğuya devam eder. Pontidler'in uzantısında ise Küçük Kafkaslar bulunur. Bir diğer dağ kuşağı Dobruca'dan doğuya uzanarak Kırım ve Büyük Kafkaslar'ı oluşturur (Şekil 2.1.). Pontidler'in sarp topografyası sahil boyunca dik bir şevle denize inmekte ve şelfte denizin altında oldukça yatay olarak uzanmaktadır. Zonguldak önlerinde ise dik şev denizin altında da devam etmektedir (Saner, 1980).

Orta Pontidlerdeki sedimanter havzaların oluşumu; Anadolu, Rus ve Arap Plakalarının Paleozoyik'ten başlayıp Miyosen sonlarına kadar devam eden tektonik gelişmelerle ilgilidir, özellikle Triyas'ta başlayan Üst Kretase'de en etkili evresine ulaşan okyanusal-kıtasal hareketler bölgede petrol olanaklarını oldukça yüksek seviyelerin üzerinde sedimanter birimlerin çukur alanlarda çökmesine neden

olmuşlardır. Bu çökeltme havzaları tektonik hareketler esnasında oluşan ve genelde ters fay bindirme fayı özellikli faylarla sınırlanmışlardır (Sonel ve Sarı, 1989).



Şekil 2. 1. Karadeniz çevresinin yalınlaştırılmış yapı haritası (Saner,1980)

2.3. Bölgenin Jeolojik Evrimi

Bölgede Kambriyen (?)’den Siluriyen başlarına kadar olan kesiksiz istif, ortamsal gelişim bakımından Aydın ve diğ. (1987), tarafından ‘birinci regresif dönem’ olarak nitelendirilmiştir. Bölgede Paleozoyik yaşlı birimler Şengör (1984) tarafından ‘İstanbul Napı’ adı altında toplanmıştır. Regresyon, Üst Ordovisiyen-Alt Siluriyen’de sona ermiş ve bir bölgesel transgresyon başlamıştır. Ordovisiyen sonu (?) – Siluriyen başında bölge tamamen su altında kalmış, açık ve derin denizel ortam sedimanları

çökelmıştır. Bu dönemde çökelen graptolitli şeyl, kumtaşı ve kireçtaşı litolojileri oldukça kalın bir istif sunmaktadır.

Siluriyen yaşlı Fındıklı Formasyonu ile, temel birimleri üzerinde başlayan transgresyon, Alt Devoniyen'de (Kartal Fm.) duraksayarak regresyona dönüşmüş, ortam giderek sığlaşmış (Yılanlı Fm.), Namuriyen'de (Alacaağzı Fm.) deltayık karakter kazanmış ve nihayet Vestfaliyen'de kara haline geçmiştir. Alt Devoniyen-Alt Karbonifer döneminde şelf tipi karbonatların ve sığ denizel çökellerin depolandığı bölge Vestfaliyen sonlarına doğru kömür içeren akarsu ve bataklık çökelleriyle doldurulmuştur. Bu birimler bölgede 'ikinci regresif seri' olarak adlandırılmıştır (Aydın ve diğ., 1987).

Aydın ve diğ. (1986)'ne göre, Batı karadeniz'de regresif karakterdeki Üst Paleozoyik çökelleri üst kesimdeki Permo-Triyas yaşlı çökeller tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmüşlerdir. Permiyen ve Triyas boyunca da devam eden kara hali kırmızı renkli karasal çökeller ve bunlarla birlikte gözlenen sınırlı gölsel sedimanlarla temsil edilmektedir. Zonguldak civarında, Karadere ve Cide'ye uzanan alan içerisinde ise Üst Jura zamanında karbonatlar çökelmıştır.

Tüysüz ve diğ. (1990)'ne göre, Orta Pontidlerde Üst Jura-Alt Kretase çökelleri kendilerinden yaşlı kayalar üzerinde transgresif seri oluştururlar. Bu seri Orta-Üst Jura yaşlı bir taban kongloması, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı bir karbonat ve onu izleyen Alt Kretase yaşlı bir kırıntılı istif ile temsil edilmektedir. Karasaldan derin denizel ortama kadar uzanan bir çökme evrimi gösteren bu topluluğun litolojik özellikleri, stratigrafik dizilimi ve yanal yöndeki yayılımı incelendiğinde taban konglomasının karasal-sığ denizel bir ortamda, karbonatların sığ denizel bir ortamda, üstteki kırıntılı istifin ise önemli ölçüde faylarla denetlenen yüksek enerjili, denizel bir ortamda geliştiği anlaşılmaktadır. Bu durum bölgede Üst Jura transgresyonunun bir karbonat platformu oluşturduğunu, bu platformun ise Alt Kretase'de faylarla parçalanarak, yerini kırıntılı çökme ortamlarına bıraktığını belirtmektedir. Bu çökeller, fayların oluşturduğu son derece düzensiz bir tabana ve farklı su derinliklerine sahip denizel bir ortamda gelişmişlerdir. Alt Kretase döneminde Zonguldak ve civarındaki alan sığ denizel birimlerin gözlendiği bir yükselim alanı karakterinde iken güney ve doğuya doğru derin denizel şartlar hüküm sürmektedir.

Buna bağlı olarak da Zonguldak civarında ağlayan ve Tasmaca gibi litostratigrafi birimleri ökelmifltir.

Aydın ve diğ. (1987)'ne göre Üst Kretase birimleri çoğu alanda Alt Kretase ve daha yaşlı birimleri açısal uyumsuzlukla örtmektedir. Üst Kretase'de tüm bölge sular altında kalmış, derin denizel çökellere kuzeyde yer alan ada yayının volkanikleri eşlik etmiştir. Üst Kretase derin deniz çökelleri yer yer 2500-3000 m kalınlığına ulaşmaktadır. Güneyde Maastrichtiyen'de yer yer de ökmezlik alanları oluşmuştur. Bölge Eosen sonunda kara haline gelmiş ve bugüne kadar da bu karakterini korumuştur.

2.4. Temel Birimler

Bu tez çalışmasında kaynak kaya potansiyeli araştırılan Fındıklı Formasyonu graptolitli şeyller ve kireçtaşları ile kumtaşları ilk defa, Saner ve diğ., (1979) tarafından Safranbolu ilçesinin Saraycık köyü Büvet Dere mevkiinde, Saraycık kesitinde Üst Siluriyen yaşı verilerek tanımlanmıştır. Aynı birimi daha sonra Aydın ve şahintürk (1984), Ereğli-Kaplandededeağ civarındaki Fındıklı mahallesi yakınlarındaki kesitte 'Fındıklı Formasyonu ' adı ile Siluriyen yaşı vererek yeniden tanımlamışlardır. Bu alışmada Fındıklı Formasyonu adı kullanılmıştır.

Formasyon, gri-siyah renkli, dış görünümü kirli sarı renkli ve keskin kırınımlı graptolitli şeyller ile gri-sarı renkli, ince-orta büyüklükte tane boylu, zayıf çimentolu, kuvars kumtaşlarından oluşmaktadır.

Fındıklı Formasyonu, alışma alanı dışında, Kastamonu yakınlarında, daha yaşlı birimleri açısal uyumsuzlukla örtmektedir (Aydın ve diğ., 1987). Formasyonun üst dokanağı ise Kartal Formasyonu ve Yılanlı Formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir (Harput, 1997). Formasyon Ordovisiyen yaşlı arduvaz ve kuvars kumtaşlarının üzerine gelmektedir.

Fındıklı Formasyonu Hendek-Kocaali yolu 25. km ve Ereğli Gülü barajı mevkilerinde örneklenmiş ve çalışılmıştır.

Önceki çalışmacılardan Aydın ve Şahintürk (1984)'ün, Eflani ve Karadere kesitlerinden derledikleri numunelerde TPAO Araştırma Merkezi tarafından bulunan *Deflandrastrum* ct. *Colanne*, *Baltishaeridium nanum*, *Multiplicishaeridium* sp., *Multiplicishaeridium parvum*, *Multiplicishaeridium* cf. *Rochestensis*, *Deunfifia* sp., *Monograptus dubins* ile birime Siluriyen yaşını vermişlerdir.

Formasyonun alt seviyelerinde yoğunlaşan graptolitli şeyller bir derin denizel ortamın ürünüdür. Üst seviyelere doğru izlenen kumtaşları ve kireçtaşları ise üste doğru sığlaşan bir istifi karakterize etmektedir (Aydın ve diğ., 1987).

Siluriyen'e karşılık gelen ve Boztuğ (1992) tarafından tanımlanan Zirze formasyonu, Tokay (1952) tarafından Zonguldak yöresinde tanımlanan "demirli killi gre"; Görmüş (1982) tarafından Bolu yöresinde tanımlanan Işığandere formasyonu ve Aydın ve diğ. (1986) tarafından tanımlanan Aydos Formasyonu'nun üst seviyeleri ile Fındıklı formasyonuna karşılık gelmektedir.

2.5. Çalışma Alanının Stratigrafisi

Çalışma alanında yüzeyleyen kayaçlar Paleozoyik'ten Tersiyer'e kadar uzanan yaş aralığında yayılmaktadır. Litostratigrafi birimlerinin tanımlanması çeşitli araştırmacılar tarafından farklı şekillerde yapılmış ve bu tanımlamalar sadece ilgilenilen bölge ile sınırlı kalmıştır. Aynı yaş aralığında çökelen benzer kaya türü toplulukları bazen araştırmacılar tarafından farklı adlarla ve çoğu kez litostratigrafi adlama ilkelerine bağlı kalınmaksızın yapılmıştır. Halen birimlerin adlandırılmasında tam anlamıyla bir birliktelik söz konusu değildir. Açıklanan neden doğrultusunda, bu çalışmada sunulan 'Çalışma Alanının Stratigrafisi' başlığı altında verilen tanımlamalar çoğunlukla son yıllardaki çalışmalar ışığında yapılmış Harput, (1997)'tan alınmıştır.

Batı Karadeniz Bölgesi'nde Paleozoyik istif Siluriyen Fındıklı Formasyonu ile başlamaktadır. Zonguldak – Ereğli bölgesindeki istifte Fındıklı Formasyonu üzerine açısız uyumsuzlukla Alt Devoniyen yaşlı Kartal Formasyonu gelmektedir. Bu formasyonu Üst Devoniyen-Turneziyen yaşlı Yılanlı Formasyonu örtmektedir. Yılanlı Formasyonu üzerinde istif uyumlu olarak Namuriyen yaşlı Alacağzı Formasyonu ve Vestfaliyen yaşlı Kozlu-Karadon Formasyonu ile devam eder. Üst Karbonifer ile Üst

Jura (Oksfordiyen) arasındaki çökelmezlik dönemini uyumsuzlukla Üst Jura-Alt Kretase yaşlı İnaltı Formasyonu örter ve istif uyumlu olarak Albiyen yaşlı Sapça Formasyonu, Senomaniyen-Türoniyen yaşlı Tasmaca Formasyonu ve Koniasiyen-Santoniyen yaşlı Yemişliçay Formasyonu ile devam eder. Açısal uyumsuzlukla Kampaniyen-Mastirihiyen yaşlı Akveren Formasyonu'nu Paleosen dönemindeki çökelmezlik dönemi takip eder. Eosen'de açısal uyumsuzlukla gelen Kusuri Formasyonu, Oligosen-Pliyosen arası çökelmezlikle devam eder. İstifin en üstünde Kuvaterner yaşlı alüvyon çökeller mevcuttur (Şekil 2.2).

Bartın Bölgesi'ndeki istifte Zonguldak- Ereğli istifinden farklı olarak Permiyen-Triyas arasında alt ve üst dokanağı açısal uyumsuz olan Çakraz Formasyonu mevcuttur. Çökelmezlik dönemi Alt Kretasenin ortalarına kadar devam eder. Albiyen yaşlı Sapça Formasyonu bu istifte bulunmamaktadır. Turoniyen- Santoniyen arası çökelmezlik dönemini Kampaniyen- Mastirihiyen yaşlı Yemişliçay Formasyonu açısal uyumsuzlukla örter. İstifin Senezoyik'teki durumu Zonguldak – Ereğli ile benzerlik gösterir.

2.6. Yapısal Jeoloji

Genel olarak K-G yönlü kuvvetler etkisi ile yaklaşık D-B ve/veya GB-KD kıvrımlanan bölge yine bu hatları denetleyen faylarla sınırlandırılmıştır. Üst Jura-Alt Kretase başında havzayı oluşturan faylar aynı zamanda sedimantasyonu da denetlemiştir.

Eosen sonlarına doğru sıkışıp yükselen bölgede tüm yapılar yaklaşık D-B doğrultusundadır (Aydın ve diğ., 1986).

ZAMAN	DEVİR	DEVRE	ÇAĞ	ZONGULDAK EREĞLİ	BARTIN	EFLANİ	ULUS			
SENOZOYİK	KUVATERNER			ALÜVYON	ALÜVYON	ALÜVYON	ALÜVYON			
	TERSIYER	NEOGENE	PLI							
			MİYO-SEN							
			OLIGOSEN							
	PALEOGENE	EO-SEN		KUSURİ	KUSURİ	SAFRANBOLU LİMESTONE	SAFRANBOLU LİMESTONE			
PALÖSEN										
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST	Mastirhtiyen	AKVEREN	YEMİŞLİÇAY	ULUS	AKVEREN			
			Kampaniyen							
			Sentoniyen	YEMİŞLİÇAY						
			Sonasiyen							
			Turoniyen	TASMACA	TASMACA					
		Senomaniyen								
		ALT	Albiyen	SAPCA	İNALTI		İNALTI	İNALTI		
			Aptiyen							
			Baremiyen							
			Hateriviyen							
	Valanginiyen									
	Beriasiye									
	JURA		ÜST	Titoniyen						İNALTI
				Kimmeriyen						
				Oksfordiyen						
		ORTA	Kalloviyen							
	Batoniyen									
	Bajosiyen									
	Aleniye									
	PALEOZOYİK	TİRİYAS				ÇAKRAZ	ÇAKRAZ			
		PERMİYEN								
		KARBONİFER	Stefaniyen							
			Vestfaliyen		KOZLU KARADON	KOZLU KARADON				
			Namuriyen		ALACAAĞZ I	ALACAAĞZ I				
Viseyen			YILANLI	YILANLI	?					
Turneziyen										
Üst										
DEVONIAN		Orta		KARTAL		KARTAL				
		Alt								
	SİLURİYEN		FINDIKLI		?		FINDIKLI			

Şekil 2.2. Batı Karadeniz bölgesi genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Derman, 1995)

3. TÜM KAYAÇ VE KİL MİNERALLERİ

3.1. Giriş

Ölçülen stratigrafi kesitlerinden alınan örneklerin XR-D toz difraktogramlarının çekiminde 250µm mertebesinde öğütülen toz örnekler kullanılmıştır. Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde yapılan XR-D analizlerinde Rigaku marka X-Işınları aleti kullanılmıştır. XR-D toz difraktogramlarının çekiminde CuKα tüp, 40 KV, 40 mA akım, 1⁰/dk goniometre hızı, 10 mm/dk kağıt hızı kullanılmış ve genellikle 2-30⁰ 2θ aralıkta çekim yapılmıştır. Elde edilen toz difraktogramlar üzerinde mineral tanımlamaları ASTM (1972) kartlarına göre gerçekleştirilmiş ve her mineralin karakteristik pik şiddeti değerlendirilmiştir. XR-D-kil fraksiyonu çekimleri ise Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde yapılmıştır. XR-D difraktogramlarının çekimleri, Rigaku marka X-Işınları aleti ile yapılmış ve çekimlerde CuKα tüp, 40 KV, 40 mA akım, 1⁰/dk goniometre hızı, 10 mm/dk kağıt hızı kullanılmıştır. XR-D kil fraksiyonu çekimleri için Hacettepe Üniversitesi'nde uygulanan klasik yöntemlerle örneklerde kil ayırma işlemleri yapıldıktan sonra çekimler normal, glükollü ve fırınlanmış olarak dört ayrı etapta gerçekleştirilmiştir. XR-D toz difraktogramlarındaki koşullardan farklı olarak ayrıca 3-40⁰ 2θ aralıkta çekim yapılmıştır.

3.2. XR-D Tüm Kayaç Difraktogram Tanımlamaları ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tez çalışması kapsamında toplam 26 adet şeyl örneğinin XR-D-tüm kayaç difraktogram çekimleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.1'de örneklerde tanımlanabilen minerallerin örneklere göre listesi verilmiştir. Çizelge 3.1'de de görüleceği üzere örneklerin tümünde kuvars ve kil mineralleri gözlenirken, tanımlanabilen diğer mineraller feldispat, kalsit ve mika mineralleridir. Örneklere ait mineral bolluk oranları tablosu ise Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 XR-D Tüm Kayaç Mineral Tanımlamaları	
Hendek -01	Kuvars + Kalsit + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Hendek -02	Kuvars + Kalsit + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Hendek -03	Kuvars + Kalsit + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Hendek -04	Kuvars + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Hendek -05	Kuvars + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Hendek -06	Kuvars + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Hendek -07	Kuvars + Kalsit + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Hendek -08	Kuvars + Kalsit + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Hendek -09	Kuvars + Kalsit + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Hendek -10	Kuvars + Kalsit + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Ereğli-01	Kuvars + Kalsit + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Ereğli -02	Kuvars + Kalsit + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Ereğli -03	Kuvars + Kalsit + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Ereğli -04	Kuvars + Kalsit + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
Ereğli -05	Kuvars + Kalsit + Feldispat + Dolomit + Kil Minerali + Mika
İğdir-01	Kuvars + Feldispat + Kil Minerali + Mika
İğdir-02	Kuvars + Feldispat + Kil Minerali + Mika
İğdir-03	Kuvars + Feldispat + Kil Minerali + Mika
İğdir-04	Kuvars + Feldispat + Kil Minerali + Mika
İğdir-05	Kuvars + Feldispat + Kil Minerali + Mika
İğdir-06	Kuvars + Feldispat + Kil Minerali + Mika
İğdir-07	Kuvars + Feldispat + Kil Minerali + Mika
İğdir-08	Kuvars + Feldispat + Kil Minerali + Mika
İğdir-09	Kuvars + Feldispat + Kil Minerali + Mika
İğdir-10	Kuvars + Feldispat + Kil Minerali + Mika
İğdir-11	Kuvars + Feldispat + Kil Minerali + Mika

Çizelge 3.1' de görüleceği üzere Hendek kesitine ait örneklerin hepsinde kuvars, feldispat, dolomit, kil minerali ve mika mineralleri bulunmaktadır. Kesitte Hendek 04-05-06 dışındaki örneklerde ise kalsit minerali bulunmaktadır. Ereğli kesitine ait örneklerde (Ereğli-03 örneği hariç) diğer örneklerde sayılan tüm mineraller bulunmaktadır. İğdir kesitinde ise alınan örneklerde dolomit ve kalsit hariç diğer minerallerin tümü gözlenmektedir.

Çizelge 3.2 İncelenen Örneklerdeki Minerallerin Yüzde (%) Dağılımları						
Örnek	Kuvars	Feldispat	Kalsit	Dolomit	Mika	Kil Minerali
Hendek-01	5.80	7.06	2.72	1.95	33.68	48.62
Hendek-02	5.97	6.82	4.46	2.05	27.47	53.23
Hendek-03	1.94	7.42	7.35	1.31	42.06	39.92
Hendek-04	6.21	7.08		2.01	29.34	55.36
Hendek-05	7.75	8.77		1.76	32.34	49.28
Hendek-06	7.24	8.65		1.92	32.16	50.04
Hendek-07	5.87	7.06	7.19	3.24	35.76	40.88
Hendek-08	6.24	5.97	9.67	3.80	32.60	41.72
Hendek-09	5.99	7.17	4.62	7.38	33.34	41.5
Hendek-10	7.31	7.91	5.62	5.15	28.35	45.65
Ereğli -01	6.63	8.45	3.10	1.65	29.91	50.25
Ereğli -02	7.11	6.31	7.95	1.88	23.68	53.06
Ereğli -03						
Ereğli -04	6.70	7.60	7.44	1.83	23.00	53.43
Ereğli -05	6.38	7.28	7.67	3.62	22.03	53.01
İğdir-01	15.30	3.60			32.51	48.59
İğdir-02	9.74	4.10			30.67	55.49
İğdir-03	10.33	4.02			29.87	55.78
İğdir-04	12.68	3.76			25.78	57.77
İğdir-05	10.27	4.30			27.23	58.20
İğdir-06	10.49	4.09			31.60	53.82
İğdir-07	7.07	3.17			19.59	70.18
İğdir-08	12.93	6.13			26.21	55.48
İğdir-09	12.18	6.13			26.21	55.48
İğdir-10	12.23	4.02			30.93	52.82
İğdir-11	12.59	3.78			28.96	54.67

Çizelge 3.2'de verilen değerler incelendiğinde Hendek kesitinde Hendek-03 örneğinde % 2'nin altında bulunan kuvars minerali kesitte alınan diğer örneklerde bu değer yaklaşık olarak 3-4 katına ulaşmaktadır. Kesitte alınan örneklerde feldispat içeriği % 5.95 ile %8.65 arasındadır. Hendek 04-05-06 kesitlerinde bulunmayan kalsit

minerali Hendek-01'de % 2.72 iken diğer örneklerde bu oran artmakta Hendek-08'de % 9.67'ye ulaşmaktadır. örneklerdeki dolomit miktarı Hendek 01-03-05-06'da % 2'nin altına düşmüş ancak Hendek 09'da 4 kat artarak % 7.38 ve Hendek 10'da 3 kat artarak % 5.15 olmuştur. Mika minerali örneklerde % 27 nin üzerinde, kil mineralleri ise % 39'un üzerinde bulunmaktadır.

Ereğli kesitinde alınan örneklerde ise mika mineralleri % 22 nin, kil mineralleri ise % 50'nin üzerinde bulunmaktadır. Ereğli kesitindeki örneklerde kuvars miktarı % 6-7 arasında, feldispat miktarı % 6.30-8.45 arasındadır. Ereğli-01'de % 3.1 olan kalsit oranı kesitteki diğer örneklerde 2 katından fazla artmaktadır. Dolomit miktarı ise Ereğli-05'te % 3.62 iken diğer örneklerde bu değer yarısına düşmüştür.

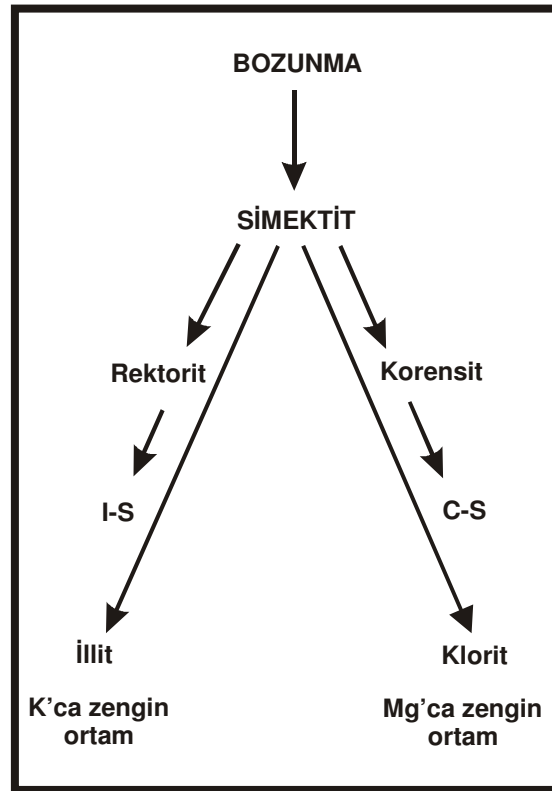
İğdir kesitine ait örneklerde ise mika mineralleri % 19.59'un üzerinde, kil mineralleri ise % 48.59'un üzerindedir. Bu kesitteki örneklerde kuvars minerali oranı en düşük % 7.07 (İğdir-07) en yüksek ise % 15.30'dur (İğdir-01). Feldispat minerali değerleri ise % 3.17-% .13 arasında değişmektedir. İğdir kesitindeki örneklerde kalsit ve dolomit minerallerine rastlanmamıştır.

3.3. XR-D-Kil Fraksiyonu Tanımlamaları ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tez kapsamında toplam 19 adet örneğin XR-D-kil fraksiyonu çekimleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.3'de örneklerde tanımlanabilen kil minerali türlerinin örneklere göre listesi verilmiştir. Bu kil mineral türleri başlıca klorit-vermikülit, klorit, illit ve kaolinit şeklindedir. Örneklere ait kil minerali bolluk oranları ise Çizelge 3.4'de sunulmuştur.

Şekil 3.1'de görüldüğü üzere simektitler, gömülme süreci sırasında duraysızdır. Simektitlerin iyon kazanımı ile illit ve simektit türü karışık katmanlı hale dönüşümü mümkündür. Simektitler, bünyelerinde su içermeleri nedeniyle sıcaklığın ve gömülme esnasındaki toplam basıncın artması ile tabakaları arasındaki su atılır. 60-150 ° C arası sıcaklıklarda suyunu atarak illit-simektite dönüşür ve daha sonraki sıcaklıklarda illite dönüşürler (Şekil 3.6). Sıcaklığın artması ile karışık katmanlı killerde illit

oranlarında artış olmaktadır. Bu dönüşüm potasyum aktivitesine ve sıcaklık artışına bağlıdır. Simektitler çoğu zaman 100⁰C'nin üzerinde gözlenmezler. Simektitten illite dönüşüm potasyum adsorpsiyonu ve silis serbestleşmesi ile oluşmaktadır. Vermikülitik aşamadan sonra, yani yaklaşık 230 ⁰C'den sonra, K-mika oluşumları gerçekleşir (Dypvik, 1983). Örneklerin olgunlaşma seviyesi göz önünde bulundurulduğunda, örneklerde simektit minerelinin bulunmayışı açıklanabilir. Örneklerde bulunan kaolinit minerallerinin ise detritik olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.1. Simektitin illit ve klorite dönüşümü (Dunoyer de Segonzac, 1970).

Hendek kesitine ait örneklerden 3 tanesinde kil minerallerinin tanımlaması yapılmıştır. Hendek-02 ve Hendek-10'da % 35.10-% 36.82 olan illit minerali değeri Hendek-06'da yaklaşık iki katına çıkmıştır. Yine klorit minerali yüzde oranı Hendek-02 ve Hendek-10'da % 10.10-9.62 iken Hendek-06'da %16.10'dur ve bu örnekte %23.70 arasında klorit vermikülit bulunmaktadır. Hendek-02 ve Hendek-10'da ise % 54.80 – % 3.56 oranlarında kaolinit minerali mevcuttur.

Ereğli kesitinden alınan örneklerde yapılan analiz sonuçlarına göre Ereğli-01, Ereğli-02 ve Ereğli-05 örneklerinde % 50'nin üzerinde illit minerali bulunmaktadır. Ereğli-01 ve Ereğli-02 örneklerinde % 10.92-% 9.35 olan klorit minerali miktarı Ereğli-05 örneğinde % 16.80 oranındadır. Örneklerin kaolinit miktarları ise Ereğli-01 ve Ereğli-02'de % 36.98-36.45, Ereğli-05'te ise % 25.00'dir. Ereğli-04 örneğinde analiz sonuçlarındaki pik çakışmasından dolayı % (yüzde) değeri verilememiştir.

İğdir kesitinden alınan örneklerde yapılan analiz sonuçlarına göre tüm örneklerde %50'nin üzerinde illit minerali bulunmaktadır. Bu oran İğdir-07 örneğinde %91'e çıkmıştır. Örneklerdeki diğer mineral ise kaolinit mineralidir. Klorit mineralinin bulunmaması magmatik sokulum olmadığını işaret eder.

Çizelge 3.3 XR-D Kil Minerali Tanımlamaları	
Hendek-02	klorit + illit + kaolinit
Hendek-06	klorit + illit + klorit verm.
Hendek-10	klorit + illit + kaolinit
Ereğli-01	klorit + illit + kaolinit
Ereğli-02	klorit + illit + kaolinit
Ereğli-04	klorit + illit + kaolinit + klorit verm.
Ereğli-05	klorit + illit + kaolinit
İğdir-01	illit + kaolinit
İğdir-02	illit + kaolinit
İğdir-03	illit + kaolinit
İğdir-04	illit + kaolinit
İğdir-05	illit + kaolinit
İğdir-06	illit + kaolinit
İğdir-07	illit + kaolinit
İğdir-08	illit + kaolinit
İğdir-09	illit + kaolinit
İğdir-10	illit + kaolinit
İğdir-11	illit + kaolinit

Çizelge 3.4 İncelenen Örneklerdeki Minerallerin Yüzde (%) Dağılımları				
Örnek	İllit	Klorit	Kaolinit	Klorit verm.
Hendek-02	35,10	10,10	54,80	
Hendek-06	60,20	16,10		23,70
Hendek-10	36,82	9,62	53,56	
Ereğli-01	52,10	10,92	36,98	
Ereğli-02	54,20	9,35	36,45	
Ereğli-05	58,20	16,80	25,00	
İğdir-02	80,03		19,7	
İğdir-03	77,2		22,8	
İğdir-04	60,0		40,0	
İğdir-05	82,8		17,2	
İğdir-07	91,3		8,7	
İğdir-08	56,9		43,1	
İğdir-09	52,3		47,7	
İğdir-10	55,8		44,2	
İğdir-11	56,0		34,0	

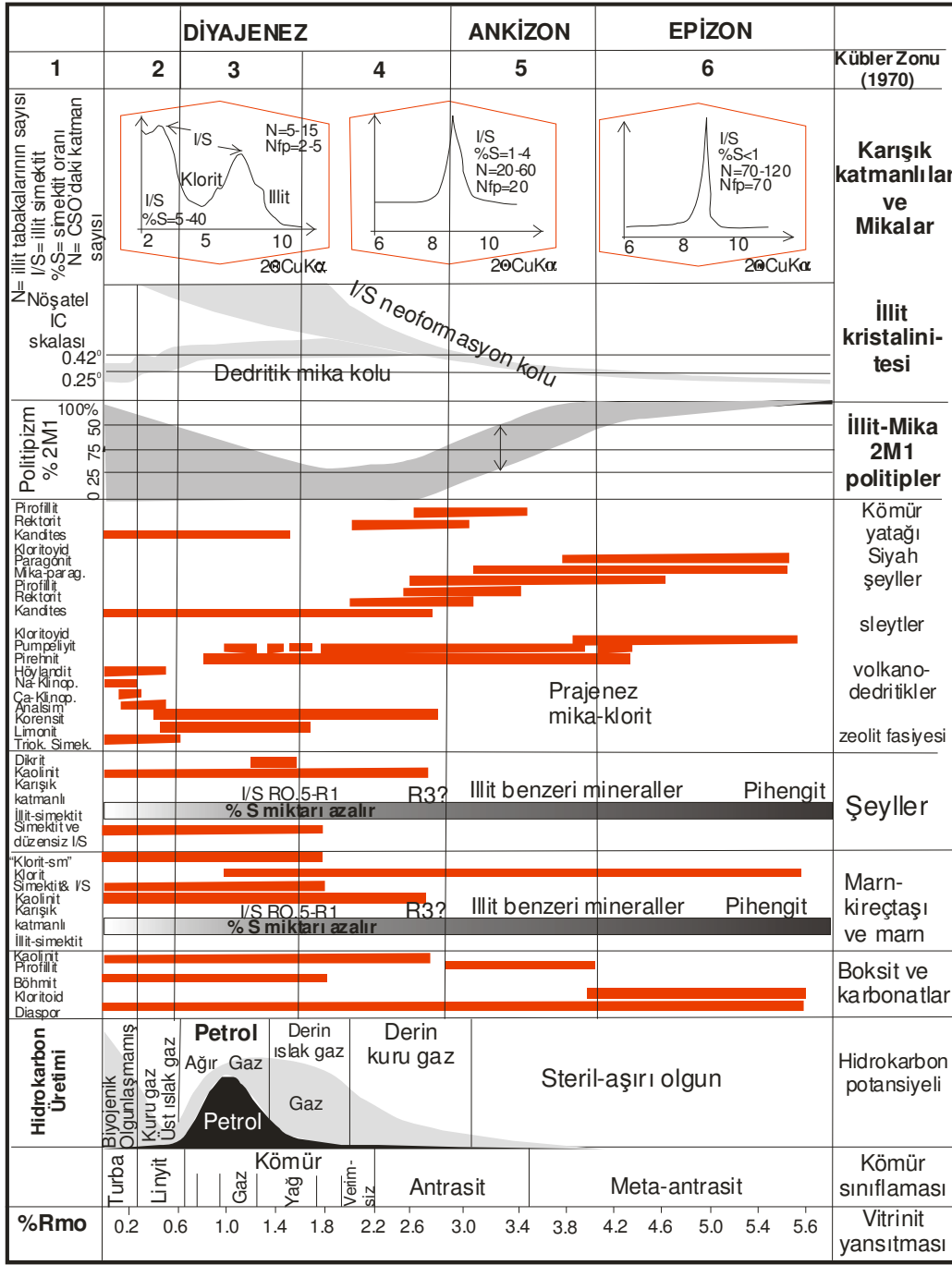
3.4. İllit ve Klorit Minerallerinin Kristallinite Değerleri

Vitrinit maseralinin olmadığı durumlarda illit kristalinitesi değerleri yaklaşık olarak ısısal olgunlaşma derecesi hakkında bilgi verebilmektedir. İllit kristalinitesi sıcaklık artışı ve dolayısıyla ısısal olgunlukla artış gösterdiğinden, bu yöntemle potansiyel kaynak kayaların hidrokarbon türüm aralıklarına ulaşmış-ulaşmadığı hakkında yorumlar yapılabilmektedir. Diyajenetik sedimanlarda gömülme sırasında illit düzenli bir yapı oluşturmaktadır. Geç diyajenez ve ankizonda illitin kristalografik parametreleri bir reaksiyon ölçeği olarak kullanılabilir.

Weaver (1960) ve Kübler (1968)'e göre 10 Å'deki illit piki yoğunluğu ve keskinliği termal metamorfizmayla birlikte artmaktadır. Weaver keskinlik oranı (Sharpness Ratio) illitin 10 Å' deki pik uzunluğunun 10.5 Å'deki pik uzunluğuna oranı ile hesaplanmaktadır. Bu oran illit kristalinitesinin artması ile artış göstermektedir. Kübler

kristalinite indeksi (IC) ise illitin 10 Å'deki pikinin yarı uzunluğunun santimetre olarak genişliğidir .

Son yıllarda, klorit minerali de jeotermometre olarak kullanılmaya başlamıştır. Klorit kristalinite (ChC) değeri, kloritin 7Å veya 14Å'deki yarı pik uzunluğunun genişliği ölçülerek bulunmaktadır (Arkai, 2000). Bu çalışmada, klorit kristalinite (ChC) değerleri, 7Å'deki glikollü pikin yarı genişliğinin bulunması ile belirlenmiştir. Olgunlaşma parametresi olarak kullanılacak parametreler Şekil 3.9'da sunulmuş olan Kübler ve Jaboyedoff (2000)'den alınarak verilmiştir.



Şekil 3.2. Jeotermometre olarak kullanılan parametreler (Kübler and Jaboyedoff, 2000).

Aşağıda illit kristalinite (Kübler) indeksi, keskinlik oranı (Weaver) indeksi ve klorit kristalinite indeks değer aralıkları ve karşılık geldikleri zonlar verilmiştir.

İllit Kristalinite İndeksi (IC) (Kübler, 1968)	
> 0.42	DİYAJENETİK ZON
0.42-0.25	ANKİZON
< 0.25	EPİZON

Keskinlik Oranı İndeksi (SR) (Weaver, 1960)	
< 2.3	DİYAJENETİK ZON
2.3-12.1	ANKİZON
> 12.1	EPİZON

Klorit Kristalinite İndeksi (Arkai, 2000) (ChC)	
> 0.33	diyajenez
0.33-0.26	ankizon
<0.26	epizon

Sözü edilen bu zonların ayrıca yaklaşık karşılık geldiği sıcaklık (gömülme) aralıkları Dunayer de Segonzac (1970)'den alınarak aşağıda verilmiştir;

Organik madde için

DİYAJENETİK ZON	< 200 C ⁰	(diyajenez-katajenez)
ANKİZON	200-350 C ⁰	(metajenez)
EPİZON	> 350 C ⁰	(metamorfizma)

Tez çalışması sırasında, örneklerin illit kristalinite değerleri Weaver (1960) ve Kübler (1968) yöntemi ile glikollü difraktogramlar kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre; değerlendirilen 16 adet örneğin kristalinite değerleri Çizelge 3.5'te sunulmuştur.

Çizelge 3.5 örneklerin illit kristalinite ve keskinlik oranları			
Örnek	IC	SR	Chc
Hendek-02	0,2	4,6	0,2
Hendek-06	0,25		
Hendek-10	0,25	6,7	0,2
Ereğli-01	0,2	4,2	0,2
Ereğli-02	0,25		0,3
Ereğli-04	0,2	7,4	0,2
Ereğli-05	0,25	2,8	0,25
İğdir-02	0,2		
İğdir-03	0,2	8.6	
İğdir-04	0,2		
İğdir-05	0,2	3.43	
İğdir-07	0,2		
İğdir-08	0,2	3.8	
İğdir-09	0,2		
İğdir-10	0,3	6.0	
İğdir-11	0,2		

Hesaplanan ve Çizelge 3.5'te sunulan illit kristalinite (IC) değerleri 0.2-0.3 arasındadır ve bu değerler, Kübler indeksine göre; Hendek ve Ereğli kesitlerine ait örnekler için 'epizonu' belirtmektedir. Dunoyer de Segonzac (1970)'ın sıcaklık indeksine göre, örneklere ait sıcaklıklar genel olarak 350 °C den büyüktür.

Örneklerin Keskinlik oranları (SR) değerleri ise 7.40-2.80 arasındadır ve bu değerler, Weaver indeksine göre; Hendek ve Ereğli kesitlerine ait örnekler için 'ankizonu' ve dolayısıyla da 200-350 °C arası bir gömülmeyi yani metajenez evresini belirtmektedir.

Örneklerin uygun olanlarında karşılaştırma amacı ile klorit kristalinite değerleri hesaplanmıştır. Klorit kristalinite değerlerine göre hesaplanan örnekler "*epizona*" bulunmaktadır.

Bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde örneklerin genel olarak "*epizona*" bulunduğu gözlenmektedir. Petrol oluşum penceresinin 120-150°C sıcaklıkları arasında olduğu düşünülürse, bu sonuçlara bakılarak örneklerin genel anlamda "aşırı olgun" aşamada olduğu söylenebilir.

Ancak bu değerler kayaç mekanizmasını gösteren değerlerdir. Organik maddenin organik olgunlaşma aralıklarına bakıldığında 165 °C'den sonra hidrokarbon türümü bitip mevcut hidrokarbonlarda özellikle petrolden başlayarak ıslak gaz ve kuru gaza doğru bir gidiş vardır. Bu durum göz önüne alındığında kayaç metamorfizmasını gösteren epizon (350 °C) evresinde kaynak kayanın özelliklerinin değişmeden kalması mümkün değildir. Bu evrede karbon zenginleşmesine doğru gidilmektedir ve organik maddenin kökeni hakkında yorum yapılamaz.

4. HİDROKARBON (PETROL-GAZ) KAYNAK KAYA DEĞERLENDİRMELERİ

4.1. Organik Jeokimya Analizleri

Hidrokarbon kaynak kaya potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan organik jeokimyasal analizler genellikle; toplam organik karbon-TOK içeriği, Rock-Eval piroliz analizi, gaz kromatografi analizi, gaz-kütle spektrometresi (GC-MS), vitrinit yansıması ölçümü vb. ve ileri düzey izleme metodlarını (duraylı izotoplar, biyomarkerlar vb.) kapsamaktadır.

Kaynak kayadaki organik maddenin ısı etkisi ile değişimi sonucunda petrol ve gaz meydana gelmektedir. Bu nedenle potansiyel kaynak kaya belirlenmesi için kaynak kayalar içindeki katı organik madde ile ilgili üç parametre saptanmaktadır. Bu parametreler, organik madde miktarı, organik madde tipi ve organik maddenin olgunlaşma düzeyidir (Tissot and Welte, 1984).

Bu çalışmada yapılan, toplam organik karbon (TOK, % ağırlık) ve Rock-Eval Piroliz analizleri "Humble Jeokimya Laboratuvarı'nda" (Texas-Amerika) gerçekleştirilmiştir. Humble jeokimya laboratuvarında piroliz analizleri için yaklaşık 100 mg öğütülmüş (60 mesh) tüm kayaç örneği kullanılmıştır ve laboratuvarda kullanılan Rock-Eval, SR, ve TOK aletlerinin işletim parametreleri şunlardır;

300 °C'lik ilk izoterm 5 dk

25 °C/dk ısı artışı

600 °C final izoterm 1dk

580 °C oksidasyon fırın sıcaklığı

12 dk oksidasyon süresi (Jarvie and Tobey, 1999)

4.2. Toplam Organik Karbon (%TOK, wt) içeriği

TOK (% , ağırlık) : Kayaçtaki Toplam Organik Karbon içeriği üç kısımda incelenebilir. Birincisi, üretilmiş hidrokarbon (S1) miktarıdır, ikincisi ise üretilme potansiyeli olan hidrokarbon miktarıdır (S2), üçüncüsü ise artık (ölü) hidrokarbon miktarıdır ve hidrokarbon üretme potansiyeli yoktur (Şekil 4.1.). TOK aşağıdaki eşitlikle ifade edilir (Jarvie and Tobey, 1999).

$$\text{TOK} = \text{CC} + \text{RC} \text{ veya}$$

$$\text{TOK} = k(\text{S1}+\text{S2})/10 + \text{S4}/10$$

$k = 0.83$ (atomik ağırlıktan hesaplanan hidrokarbonların ortalama karbon içeriği)

CC= DönüŖebilir Karbon (Convertible Carbon)

RC= Artık/Ölü Karbon (Residual Carbon)

İncelenen örnekler için toplam organik karbon analizine öncelik verilmelidir. Çünkü ekonomik değerin altındaki örnekler için ayrıntılı analizlerin yapılmasına gerek yoktur. Bir sedimanter kayacın, potansiyel kaynak kaya olabilmesi için içermesi gereken en az toplam organik karbon miktarı şeyller için % 0.5 ve karbonat kayaçlar için % 0.3 olarak kabul edilmektedir (Tissot and Welte, 1984).

Toplam organik karbon miktarı; 200 µ'dan daha ince öğütölmüş kaynak kaya örneğinin 2 N HCl asitle, 80 °C'de 8 saat süreyle etkileŖime bırakılarak karbonat bileŖiminden ayrıştırılmasını kapsamaktadır. Analiz evresi ise eriyikten alınan 10 ml kadar kaynak kaya örneğinin bakıroksit (CuO, CO'yu CO₂'ye dönüŖtürür) ile birlikte LECO WR 12 cihazında 1500 °C'de normal hava veya oksijen ortamında yakılması ile ortaya çıkan CO₂ gazı miktarının infrared dedektörlerden okunması Ŗeklinde gerçekteŖtirilmektedir (Peters and Cassa, 1994).

TOPLAM ORGANİK KARBON (% TOK)		
GAZ/PETROL	KEROJEN	
PETROLDEKİ KARBON	PETROL ÜRETEN KARBON	GAZ ÜRETEN KARBON
S1	S2	S4

Şekil 4.1. Toplam organik karbonun bileşenleri (Jarvie and Tobey, 1999).

4.3. Rock-Eval Piroлиз Analizleri

Organik maddece zengin şeyller genellikle mineral ve organik madde içerirler. Kerojen, organik çözücülerde işlem görmüş kayaçtan geriye kalan çözünmemiş organik maddedir. Kerojen, karbonat veya silisli kayaçlardan inorganik asitler (HCl, HF vb.) kullanılarak izole edilebilir. Ancak bu yalnızca teorik bir açıklamadır. Ayırma işleminden sonra geriye kalan çözünemeyen organik madde veya kerojenin tipi ve miktarı, organik çözücünün tipine ve polaritesine de bağlıdır (Peters and Cassa, 1994).

Kerojen, mesarel türlerinin bir karışımıdır. Maseral ise farklı tiplerdeki yüksek kara bitkileri ve ilksel organizma kalıntılarıdır. Kaynak kaya terimi; yeterli ısısal olgunluğa ulaştığında hidrokarbon (petrol ve/veya gaz) üreten veya üretebilecek potansiyeldeki kayaçlar için kullanılır. Bir kayacın kaynak kaya olup olmadığı ve kalitesi organik jeokimya analizleri yardımıyla belirlenebilmektedir. Kaynak kayanın karakteristiklerini

belirleyebileceğimiz standartlar Peters and Cassa (1994)'den alınmış ve aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Kaynak kayanın, petrol potansiyelini belirlemede kullanılan jeokimyasal parametreler (Peters and Cassa, 1994)

Petrol Potansiyeli	Organik Madde		
	TOK (%)	Rock-Eval Piroliz	
S_1^*	S_2^*		
Zayıf	0-0.5	0-0.5	0-2.5
Orta	0.5-1.0	0.5-1.0	2.5-5.0
İyi	1-2	1-2	5.0-10
Çok iyi	2-4	2-4	10-20
Mükemmel	>4	>4	>20

* : mg HC/kayaç

Çizelge 4.2. Kerojen tipi ve karakterini belirlemede kullanılan jeokimyasal parametreler (Peters and Cassa, 1994)

Kerojen Tipi	HI*	S_2/S_3^{**}
I	> 600	> 15
II	300-600	10-15
II/III	200-300	5-10
III	50-200	1-5
IV	< 50	< 1

* : mg HC/g TOK

** : mg HC/kayaç

Çizelge 4.3. Termal olgunlaşma seviyesini gösteren jeokimyasal parametreler

Termal Olgunlaşma Aşaması	R ₀ (%)	T _{max} (C ⁰)	TAI*
Olgunlaşmamış	0.2-0.6	< 435	1.5-2.6
Olgun			
Erken	0.6-0.65	435-445	2.6-2.7
Orta	0.65-0.9	445-450	2.7-2.9
Geç	0.9-1.35	450-470	2.9-3.3
Aşırı Olgun	> 1.35	> 470	> 3.3

* : Termal Alterasyon İndeks

Rock-Eval ve TOK analizlerinden elde edilen bilgiler;

TOK : Kaynak kayanın organik madde açısından zenginliği

S₁ : Kaynak kayadaki serbest HC içeriği

S₂ : Kaynak kayada kalan HC potansiyeli

S₃ : Kaynak kayanın oksijenli bileşik miktarı ve

T_{max} : Kaynak kayanın termal olgunlaşma değeridir.

Bu sonuçlardan hesaplanabilecek kaynak kaya karakteristiklerini gösteren veriler ise aşağıda verilmiştir.

Hidrojen İndeksi (HI)

: Kerojen Tipi

Oksijen İndeksi (OI)

: Kerojen Tipi ve bozunma

S₂/S₃

: Kerojen Tipi

Üretim İndeksi (PI)

: Kerojen dönüşümü

Normalize edilmiş HC içeriği (NOC) : Kerojen dönüşümü

S₁ (gram kayadaki mg hidrokarbon): Tüm kayaç örneğindeki ısısal olarak alınabilecek serbest HC miktarını göstermektedir (Espitalié et al., 1977). S₁ miktarı sondaj sırasındaki kirlenmeler (organik sondaj sıvıları) sonucu yükselebilmektedir

S₂ (gram kayadaki mg hidrokarbon): Ağır serbest hidrokarbonlar ve non-

hidrokarbonlar (resin ve asfaltlenler) sadece yüksek sıcaklıklarda kırılır ve uçabilir ve S₂ piki olarak açığa çıkar (Clementz, 1979). Bu işlem sırasında ayrıca S₂ pikinin maksimum sıcaklığı olan T_{max} değeri de ölçülür (Espitalié et al., 1977).

T_{max} değerleri olgunlaşma değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer S₂ piki 0.5'in altında bir değer ise T_{max} değeri genelde güvenilir bir sonuç değildir. Tmax değeri ayrıca S₂ pikinde bulunan serbest ağır hidrokarbonların olmasından etkilenebilir ve oldukça düşük değerler gösterebilir (<400⁰C) ya da işlenmiş organik madde veya tuz iyonizasyonundan dolayı aşırı yüksek (>500⁰C) değerlerde olabilmektedir (Jarvie and Tobey, 1999).

T_{max} değeri ayrıca kerojen tiplerine göre de değişiklik sergilemektedir. Tip I ve Tip II kerojenlerin organik moleküler yapıları Tip III kerojene oranla daha basittir. (Tissot and Espitalié et al., 1975).

Tmax (°C) (Espitalié et al., 1985)

Tip I	Tip II	Tip III	Olgunlaşma Derecesi
<425 °C	<435 °C	olgunlaşmamış	
440-448 °C	425-450 °C	435-465 °C	petrol penceresi
	>450 °C	>465 °C	gaz penceresi

Bu yöntemin avantajları az miktardaki örnek ile kısa zamanda sonuç ve vitrinitin bulunmadığı örneklerin olgunlaşma seviyesi hakkında bilgi verebilmesidir. Ancak aşırı olgun zonlardaki kerojenin içindeki tüm hidrokarbonlar atıldığı için güvenilirliğini kaybeder.

S₃ (gram kayadaki miligram organik karbondioksit miktarı) Analizi yapılan örneğin içerdiği organik maddenin oksijenli bileşiklerce zenginliğinin ifadesidir (mg CO₂/g kaya). Piroliz sırasında düşük sıcaklıklarda elde edilen pik değeridir (<390⁰C nominal). Ancak kayacın bozunmuş olmasından ve mineral matriksten etkilenmektedir.

S₄ (gram kayadaki miligram karbon miktarı) S4 (artık karbon-residual carbon (RC)) değeri, toplam organik karbon miktarını belirlemek için, dönüşebilir karbon-

convertible carbon (CC)- veya piroliz edilen karbon-pyrolysis carbon (PC)- miktarına eklenebilir.

Kalıntı karbon (RC, mg/g), kerojende bulunan ve hidrokarbon üretme potansiyeli düşük olan karbon miktarını vermektedir. Toplam organik karbon içindeki RC miktarı kerojen tipine göre sırasıya TipIII>TipII>TipI şeklinde artış göstermektedir (Jarvie and Tobey, 1999). $RC = S_4/10$

Hidrojen İndeksi (HI) mg HC/g kaya olarak kaydedilen S_2 pikinin % ağırlık (wt) olarak kaydedilen TOK değerine oranı şeklinde ifade edilmektedir ($S_2 \times 100/TOK$). Organik maddenin hidrojen içeriği, oluşması muhtemel hidrokarbonun kalitesini kontrol etmektedir, ilerleyen organik olgunlaşma ile HI değerleri azalmakta, organik madde hidrojen açısından fakirleşmektedir. Genellikle, 200 mg HC/g TOK'nin altındaki hidrojen indeksi değerleri sıvı petrol türetimine yeterli olmayan organik maddeye, 200-500 mg HC/g TOK arasındaki değerleri petrol-gaz türetim özelliğine sahip organik maddeye, 500 mg HC/g TOK'nin üzerindeki değerleri ise sıvı petrol türetim potansiyeline sahip organik maddeye işaret etmektedir (Espitalié et al., 1977).

Oksijen indeksi (OI) Kerojen içerisindeki oksijen miktarına bağlıdır. S_3 piki değerinin, örneğin toplam organik karbon (% TOK) içeriğine oranının yüzde olarak ifadesidir ve $[(S_3/TOK) \times 100]$ eşitliği ile hesaplanmaktadır (mg CO_2/g TOK). Genellikle S_3 değeri karbonat minerallerinden veya örneğin öğütülmesi işleminde oluşabilecek oksidasyondan dolayı diğer Rock-Eval parametreleri kadar güvenilir değildir. Bu değerlerin güvenilir olmadığı durumlarda HI'ne karşı T_{max} grafiği kullanılır (Espitalié et al., 1977 ve 1984).

S_1+S_2 Piroliz analizi ile elde edilen bir diğer parametre potansiyel verimdir. Genetik potansiyelin veya başka bir deyişle kayaktan türeyebilecek hidrokarbonların toplamının ölçüsüdür (Espitalié et al., 1977). Potansiyel verim ile kaynak kaya potansiyeli arasındaki ilişki şöyledir.

Potansiyel Verim

< 2000 ppm	kaynak kaya potansiyeli yok
2000-6000 ppm	orta derecede kaynak kaya potansiyeli
> 6000 ppm	iyi kaynak kaya potansiyeli

Üretim İndeksi (Production Index) (PI) Gömülmeye dayalı ısıl evrim sırasında, olgunlaşma öncesindeki toplam hidrokarbon potansiyelinin (S_1+S_2), ne kadarının henüz kayaktan atılmamış serbest hidrokarbonlara (S_1) dönüşmüş olabileceğinin göstergesidir ve $[S_1/(S_1+S_2)]$ şeklinde hesaplanmaktadır (Espitalié, 1984). PI değeri kayanın içinde hazır halde bulunan sıvı hidrokarbon oranını göstermektedir ve kaynak kayacın olgunlaşması ile beraber artmaktadır. Espitalié(1984)'ye göre üretim indeksi değer aralıkları ve karşılık geldiği olgunlaşma seviyeleri;

0-0.08	olgunlaşmamış
0.08-0.50	petrol penceresi
> 0.50	gaz penceresi

şeklindedir.

Organik maddenin kerojen tipleri ile ilgili açıklama ise Peters and Cassa (1994)'den alınarak aşağıda sunulmuştur.

Tip I: Petrol türümüne uygundur ve yüksek atomic H/C (≥ 1.5) ve düşük atomic O/C (< 0.1) içeriğine sahiptir. Genellikle düşük kükürt (S) içeriğine sahiptir. Bu tip kerojen ağırlıklı olarak liptinit maserali içerir. Tip I kerojen lipitçe yüksek algal organik maddenin bakteriyel bozunmasıyla oluşur.

Tip II: Petrol türümüne uygundur ve TipIII ve TipIV kerojen tipiyle kıyaslandığında, yüksek atomic H/C (1.2-1.5) ve düşük atomic O/C içeriğine sahiptir. TipII kerojen tipi diğer tiplere göre yüksek oranda kükürt (% 8-14) içerir. Kükürtçe zengin Tip II kerojen, Tip II kerojene oranla daha düşük sıcaklıklarda olgunlaşır. Tip II kerojen de liptinitçe zengindir.

Tip III: Düşük atomik H/C (<1.0) ve yüksek atomik O/C (≤ 0.3) içeriğine sahiptir. Gaz türetimine uygundur.

Tip IV: Ölü karbon olarak adlandırılır ve çok düşük atomik H/C (0.5-0.6) ve çok yüksek atomik O/C (≤ 0.3) içeriğine sahiptir. Genellikle inertinit maseralinden oluşur ve olgunlaşma süresince bazen çok az miktarda hidrokarbon üretebilir. Tip IV kerojen diğer kerojen tiplerinin okside olmasından veya yeniden işlenmesinden oluşur.

4.4. Fındıklı Formasyonu'nun (Alt Siluriyen) Kaynak Kaya Özellikleri

Çalışma alanında, Fındıklı Formasyonu'nun yüzeylendiği Hendek, Ereğli ve İğdir yörelerinde üç adet ölçülü stratigrafi kesiti yapılmıştır. Alınan örnekler üzerinde yapılan kaynak kayaç potansiyelinin belirlenmesine yönelik analiz çalışmaları aşağıda her kesit için ayrı ayrı sunulmuştur.

4.4.1. Hendek-Kocaali Yolu Kesiti

Hendek-Kocaali kesitinde Alt Siluriyen yaşlı birimlerin kalınlığı 85 metre olarak ölçülmüştür. Kesitin ilk 20 metrelik kısmında egemen litoloji, kuvars kumtaşı-şeyl ardalanması şeklindedir. Bu seviyedeki şeyllerden 4 adet örnek alınmıştır. Orta ve üst seviyelerde şeyl egemendir (Fotoğraf 4.1). 65 metrelik bu seviyeyi temsilen 6 şeyl örneği alınmıştır (Fotoğraf 4.3). Kesit kumlu, karbonatlı, killi ve bol ortoseras içeren seviyeye (Fotoğraf 4.2) kadar ölçülmüştür (Şekil 4.2).



1



2



3



4

Fotoğraf 4.1. Hendek-Kocaali yolu 20. km Alt Siluriyen şeyleri(1-2 oolitli seviyeler, 3-4 şeyl seviyeleri)



1



2

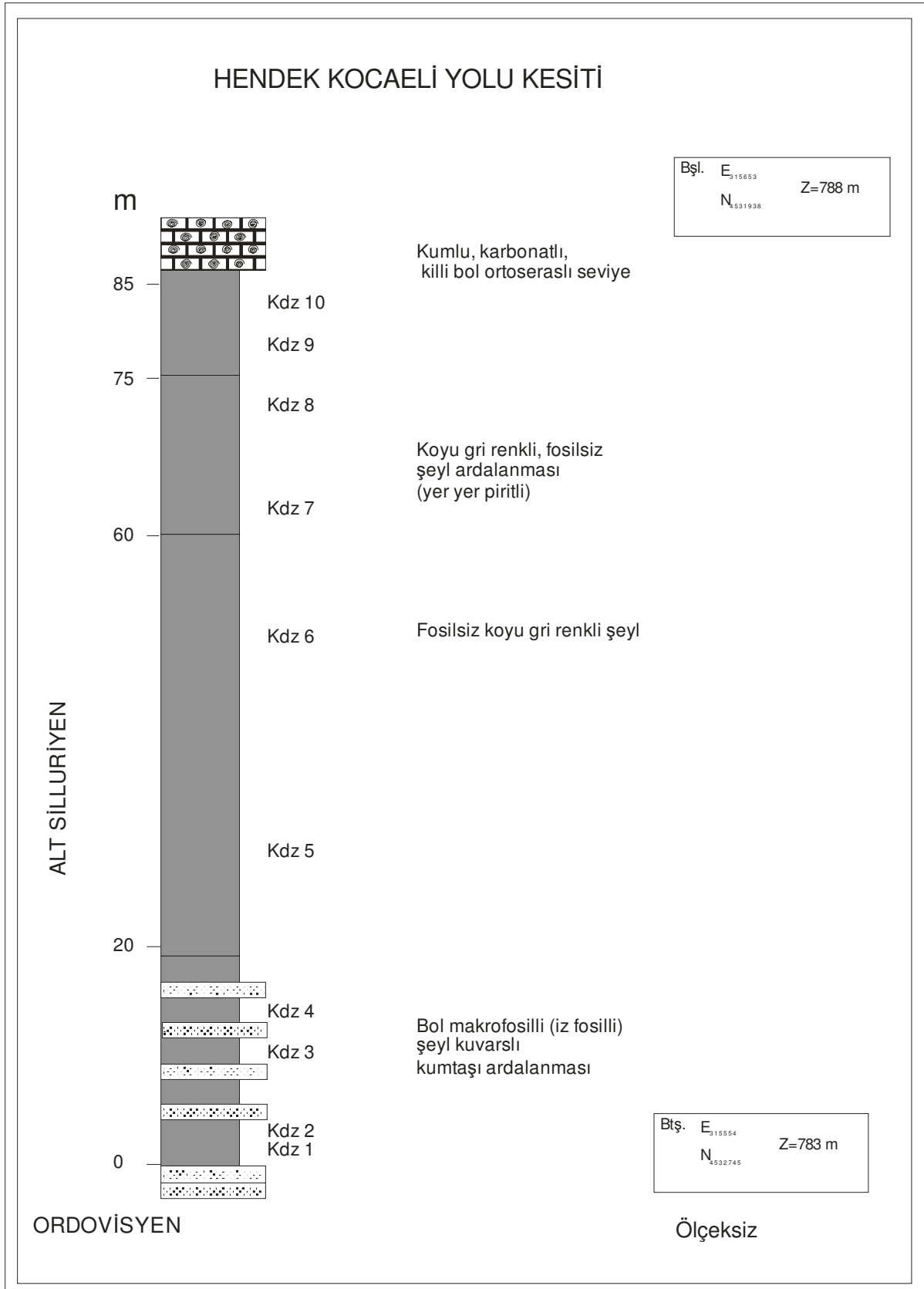


3



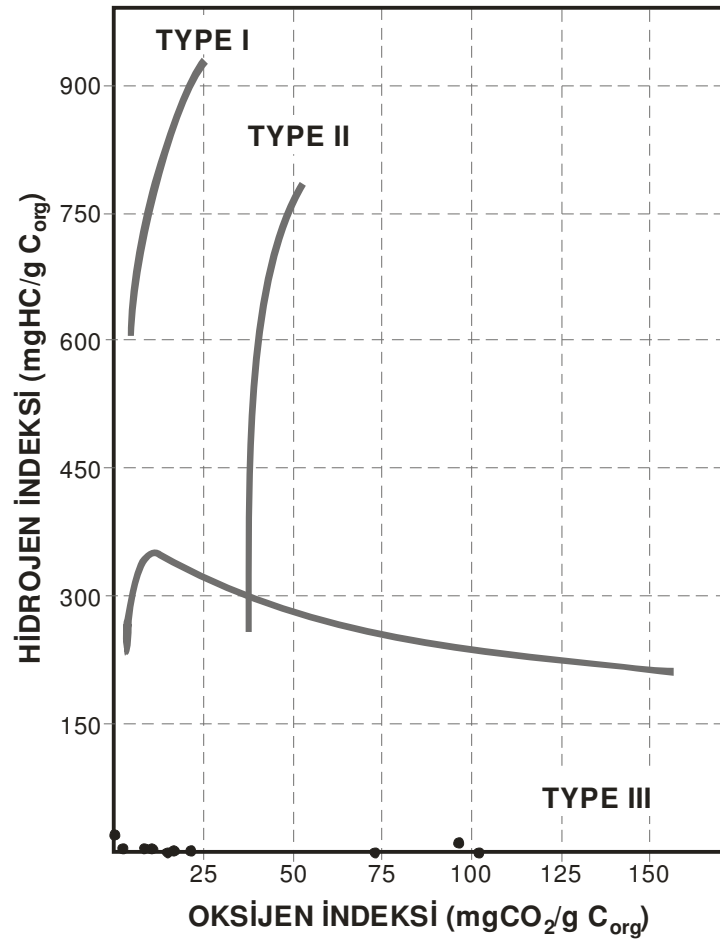
4

Fotoğraf 4.2. *Ortoseras* içeren seviyeler (Hendek-Kocaali yolu 22. km Orta Siluriyen)(1-2 kumtaşı şeyl ardalanması, 3-4 *ortoseras* içeren seviye)



Şekil 4.2. Hendek-Kocaali yolu Stratigrafi Kesiti

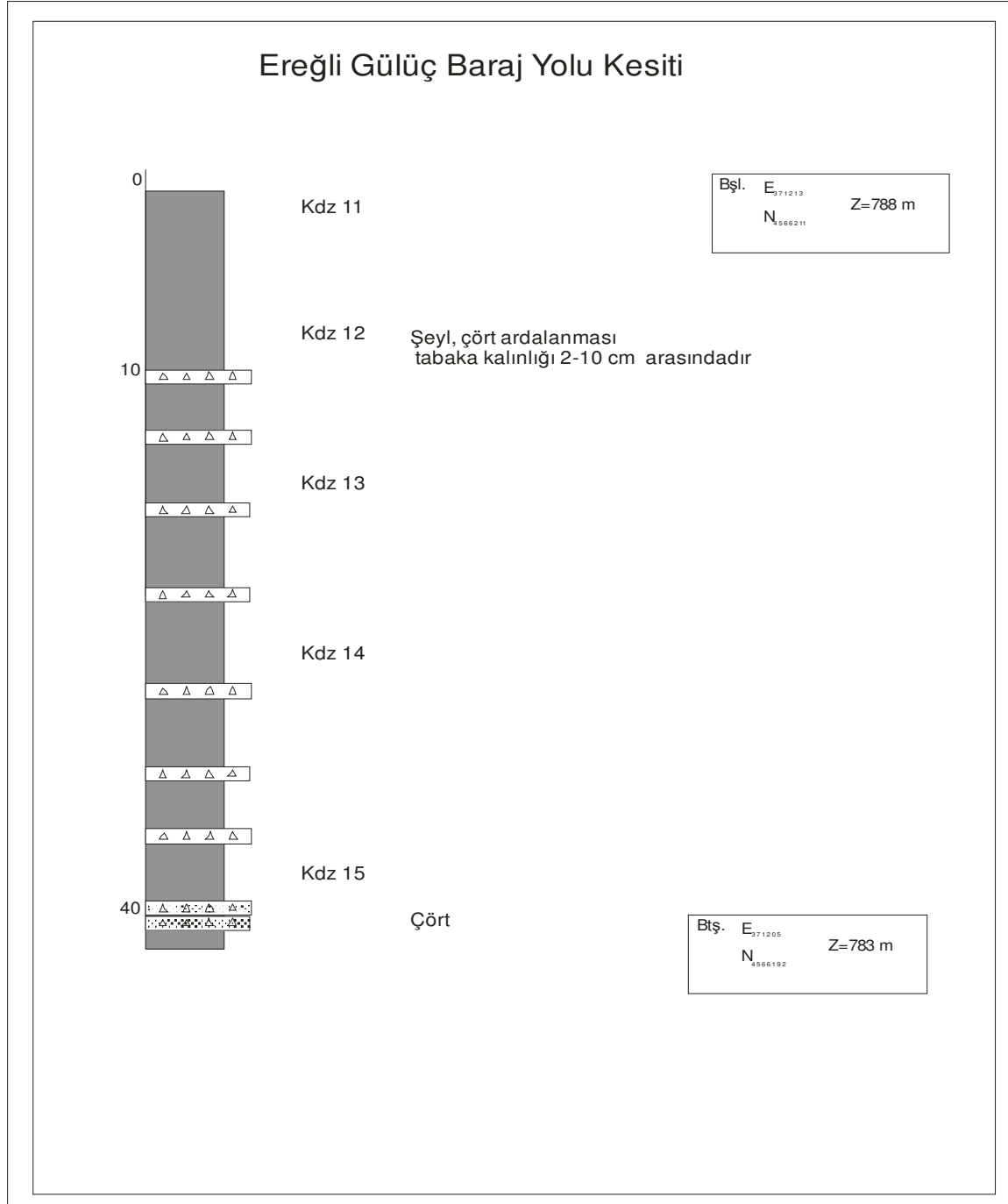
Hendek-Kocaali yolu kesitinden alınan 10 adet örneğe ait Toplam Organik Karbon ve Rock-Eval Piroliz analiz sonuçları Çizelge 4.1.'de sunulmuştur. İlk 20 m'lik seviyeden alınan 4 örneğin TOC değerleri 0,22 (%ağırlık, Hendek-04) ile 0,34 (Hendek-01) arasında değişmekte olup ekonomik sınırın altındadır. Hendek-01 örneği 24 mgHC/g-TOC hidrojen indeksi değerine sahiptir. Diğer 3 örnekte HI değerleri ölçülemediği için. Orta-üst seviyelerdeki şeyl örnekleri (Hendek-05–Hendek-10) TOC değerleri 0,22 (Hendek-06 ile) en yüksek 1,26 (Hendek-07) arasındadır. HI değerleri 0-17 mgHC/g-TOC arasındadır. Bu değerler Hendek-Kocaali Alt Siluriyen örneklerinin “harcanmış kaynak kayaç” özelliğinde olduğunu göstermektedir. Sağlıklı T_{max} değeri ölçülemediğinden T_{max} -HI grafiği yapılamamıştır. OI-HI grafiği (Şekil 4.3) örneklerin içerisindeki kerojenin ölü (artık) karbondan oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 4.3. Hendek ölçülü stratigrafik kesitine ait HI-OI grafiği

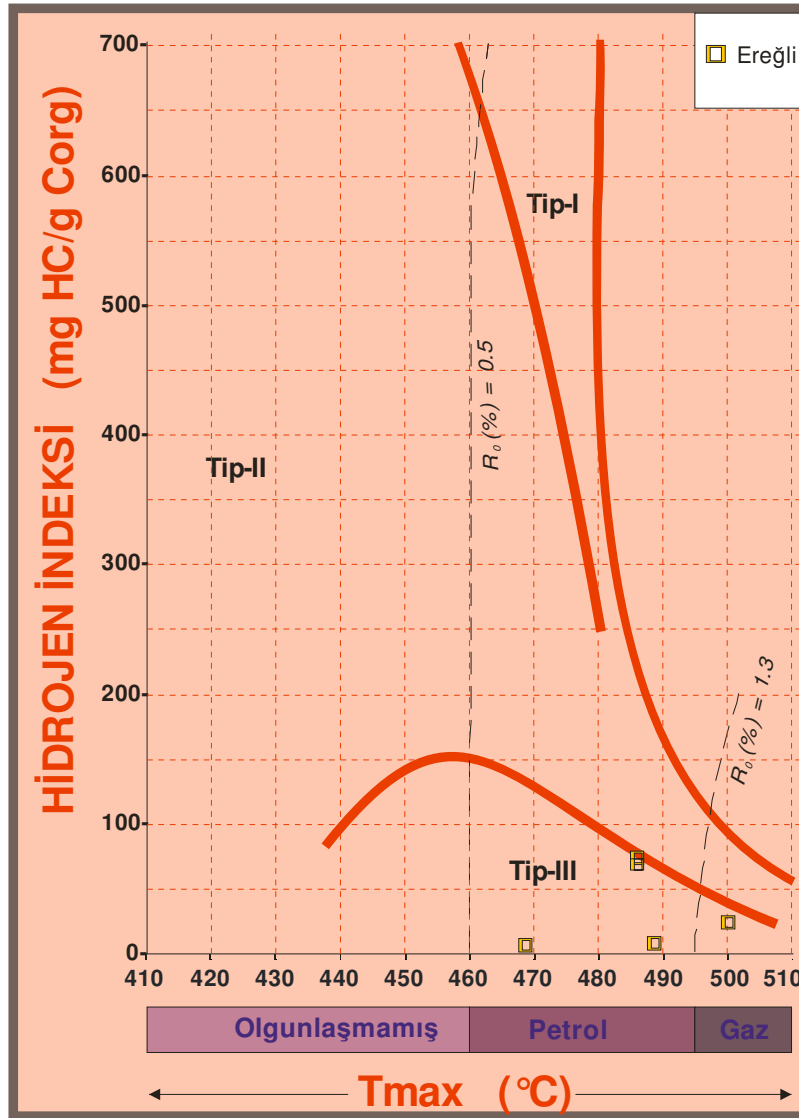
4.4.2. Ereğli-Gülüç Baraj Yolu Kesiti

Ereğli-Gülüç Baraj Yolu kesitinde Alt Siluriyen Yaşlı birimlerin kalınlığı 40 m olarak ölçülmüştür. Kesitin tamamındaki egemen litoloji çört-şeyl ardalanması şeklindedir. Kesiti temsilen toplam 5 adet şeyl örneği alınmıştır (Şekil 4.4).

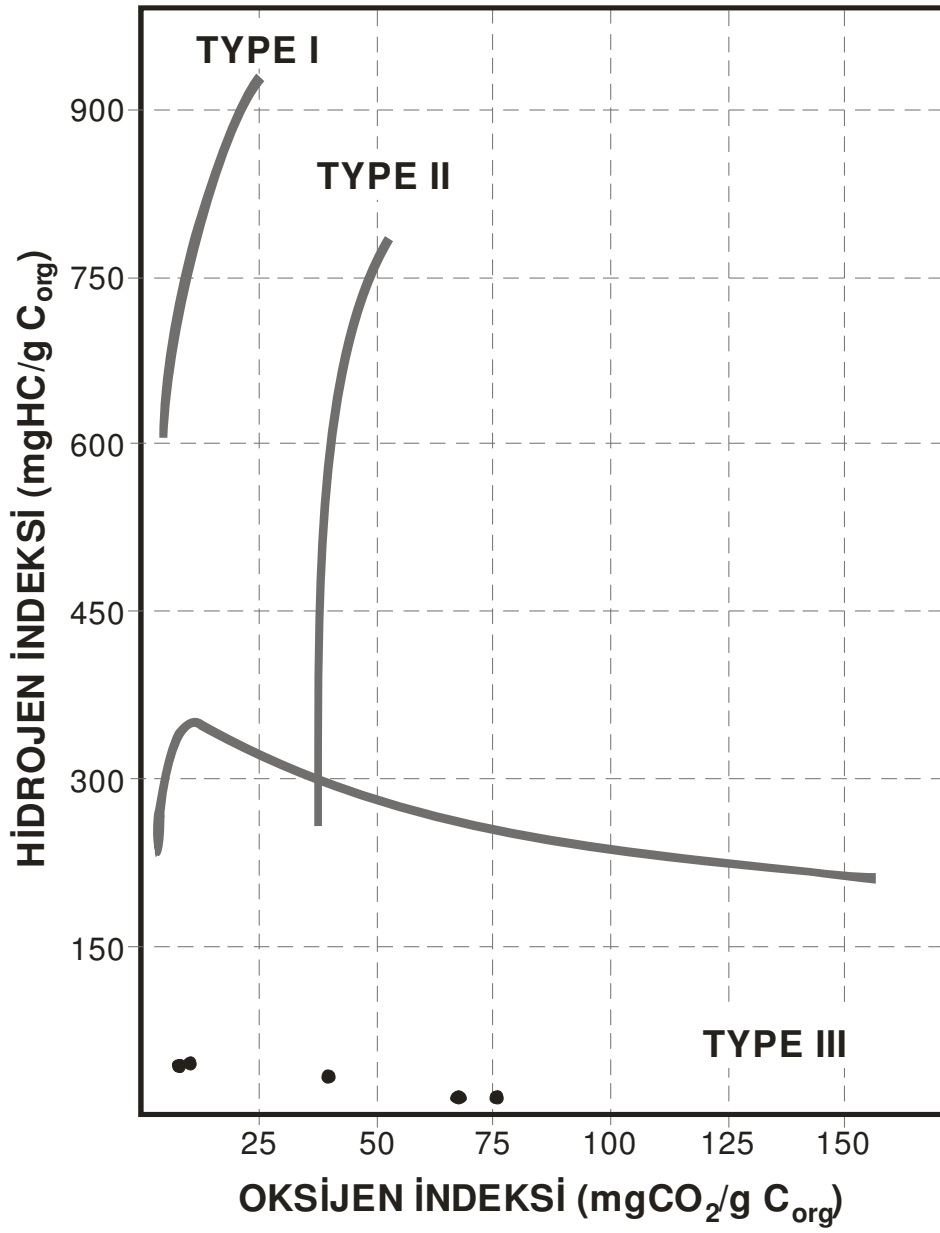


Şekil 4.4. Ereğli Gülüç Barajı Ölçülü Stratigrafik Kesiti

Ereğli-Gülüç Baraj yolu kesitinden alınan 5 adet örneğe ait Toplam Organik Karbon ve Rock-Eval Piroliz analiz sonuçları Çizelge 4.2.'de sunulmuştur. Bu 5 örneğin TOK değerleri 0,94 (Ereğli-04) ile 1,62 (Ereğli-02) arasında değişmekte olup, petrol potansiyeli ekonomik sınırın üzerindedir. HI değerleri 11-38 mg HC/g-TOC arasındadır. Bu değerler Ereğli-Gülüç Baraj yolu kesiti Alt Siluriyen yaşlı örneklerin “harcanmış kaynak kayaç” özelliğinde olduğunu göstermektedir. T_{max} - HI garfiği (Şekil 4.5) örneklerin kerojen tipinin Tip III kerojen yani gaz penceresinde olduğunu göstermektedir. OI-HI grafiği (Şekil 4.6) örneklerin içerisindeki kerojen tipinin ölü (atık) kerojenden oluştuğunu göstermektedir. Bu değerlerden de görüldüğü üzere örnek alınan kayaçlar içindeki organik maddenin aşırı olgunlaşmış ve karbonca zenginleşmiş olmasından dolayı köken tayini yapılamamaktadır. Alınan değerler yanıltıcı olmaktadır.



Şekil 4.5. Ereğli ölçülü stratigrafik kesitine ait HI-Tmax grafiği



Şekil 4.6. Ereğli – Gülüç Baraj yolu kesitine ait ölçülü stratigrafik kesitine ait HI-OI grafiği

4.4.3. İğdir-Örenköy Kesiti

İğdir-Örenköy kesitinde Alt Siluriyen yaşlı birimlerin kalınlığı 44 m olarak ölçülmüştür. Gençten yaşlıya doğru çizilen kesit incelendiğinde ilk 18 metrelik 1. seviyesinde egemen litoloji şeyl-kuvars kumtaşı ardalanması şeklindedir. Bu seviyeden örnek alınmamıştır. Yaklaşık olarak 12 metrelik orta seviyede egemen litoloji kiltası-çört ardalanmasıdır. Kesitin 3. Seviyesinde ise egemen litoloji graptolitli şeyl-kuvars kumtaşı ardalanması şeklindedir. Bu seviyeden 11 adet örnek alınmıştır. Örneklerin ilk üçü (İğdir-01-02-03) graptolit bulunmayan seviyeden alınmıştır (Fotoğraf 4.3). İğdir 05-06-07 örnekleri üst graptolitli şeyl zonunu, İğdir 08-09-10-11 örnekleri alt graptolitli şeyl zonunu (Fotoğraf 4.4) temsilen alınmıştır. Kesit Ordovisiyen yaşlı filiş, arduvaz ve şistli görünümlü 10-20 cm tabakalı, organik madde içermeyen şeyllerle kadar ölçülmüştür.

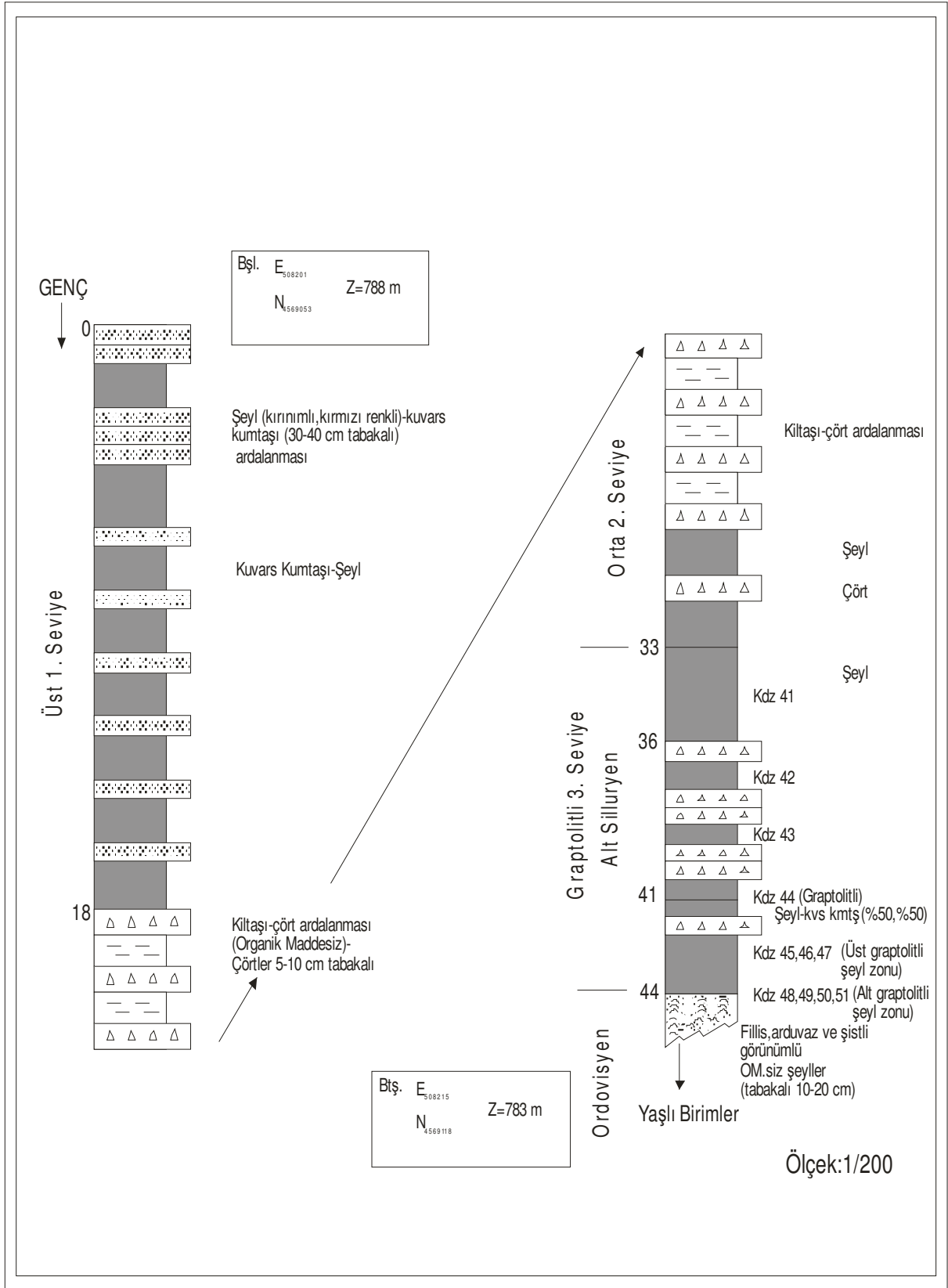


Fotoğraf 4.3. İğdir-Örenköy *graptolit* gözlenmeyen şeyl zonu

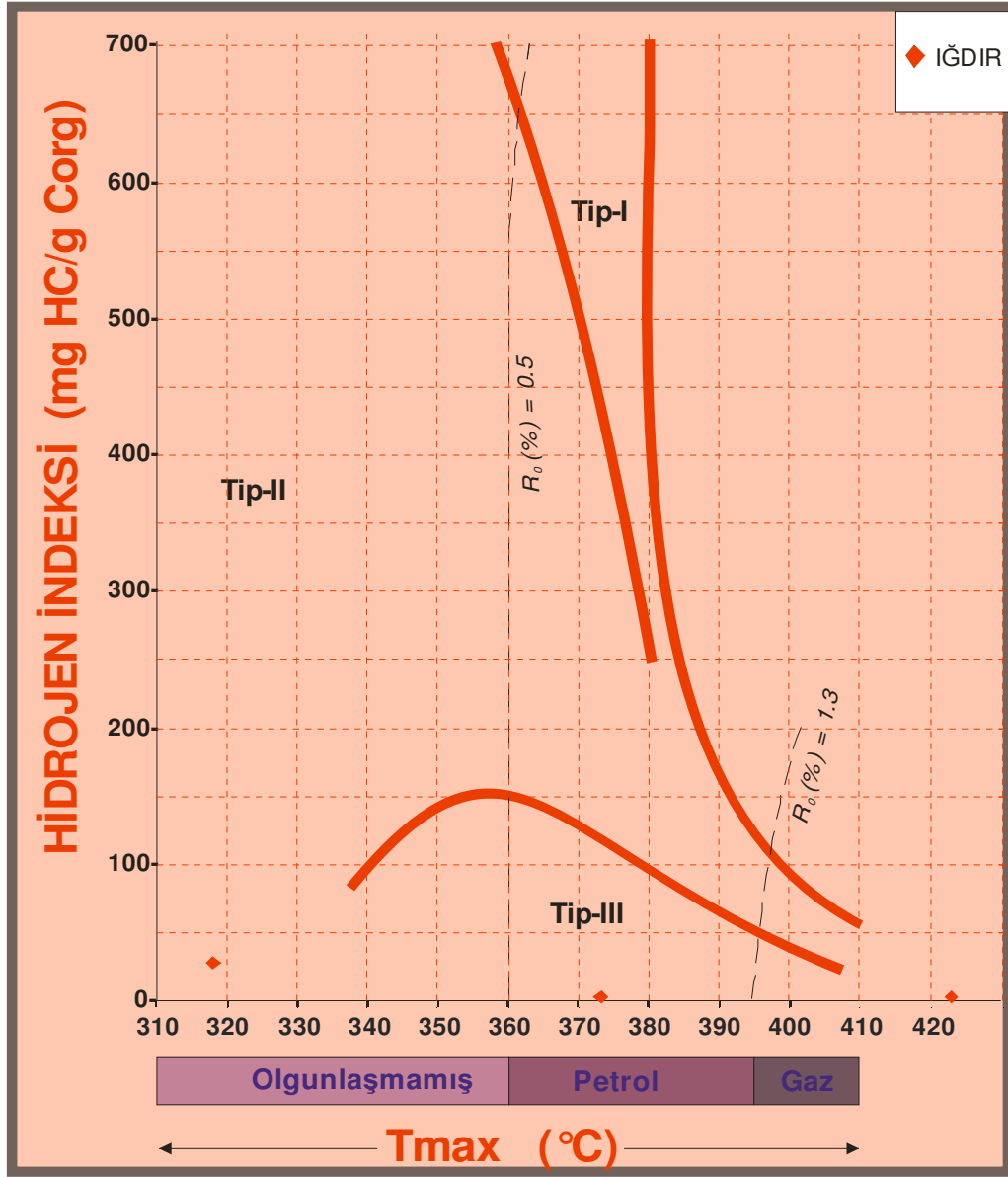


Fotoğraf 4.4. İğdir-Örenköy *graptolit* gözlenen şeyl zonu

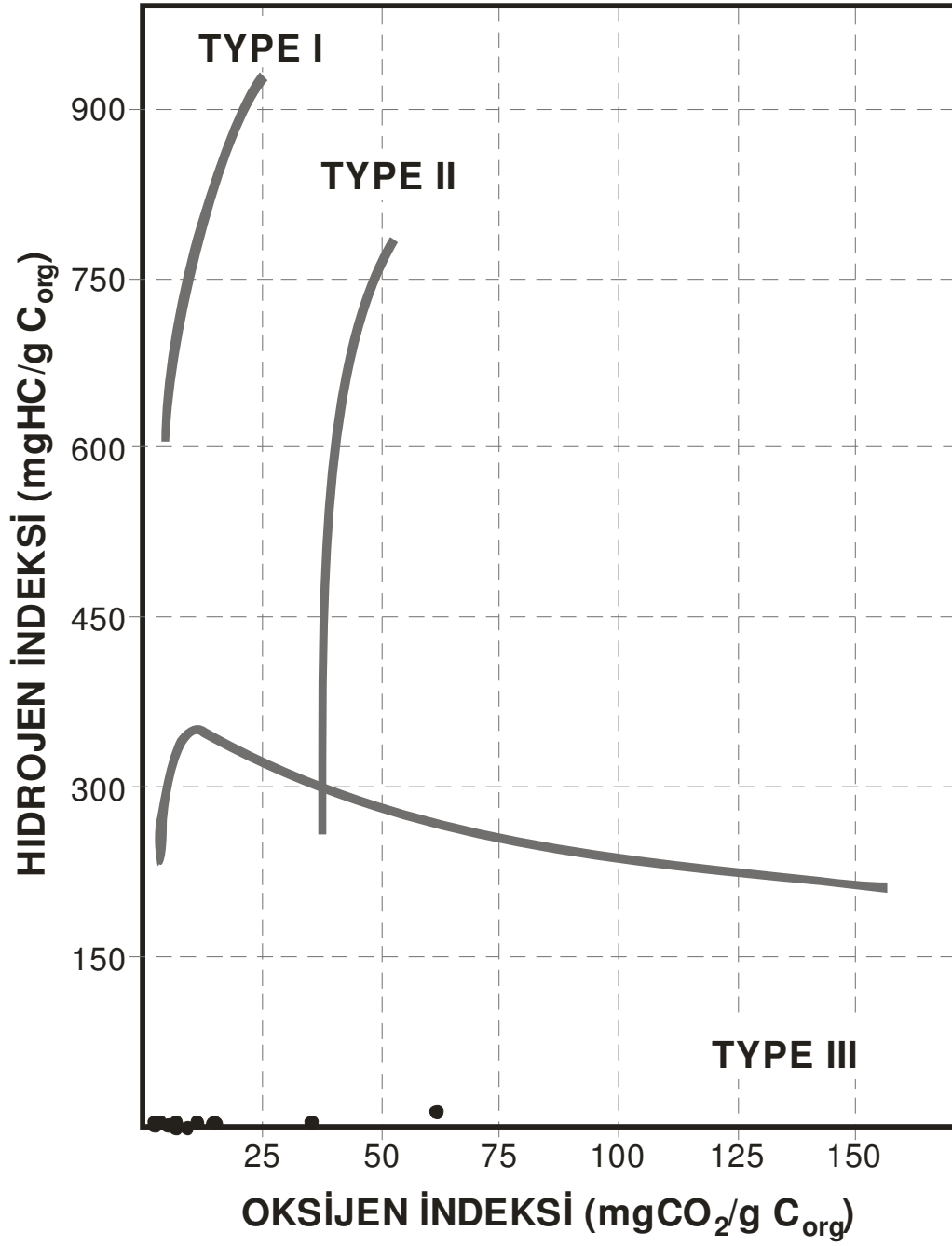
İğdir-Örenköy kesitinden alınan 11 adet örneğe ait Toplam Organik Karbon ve Rock-Eval Piroлиз analiz sonuçları Çizelge 4.3'te sunulmuştur. 3. Seviyeden alınan örneklerin TOK değerleri 0,38 (% ağırlık, İğdir-01) ile 4,43 (İğdir-08) arasındadır. Graptolit bulunmayan zondan alınan örneklerde TOK değeri, 0,38 (İğdir-01) ile 1,18 (İğdir-03) arasında olup petrol potansiyelinin zayıf ve iyi arasında değişken olduğunu işaret eder. Graptolitli şeyl zonundan alınan örneklerde TOK değeri 3,91 (İğdir-04) ve 3,40 (İğdir-10) petrol potansiyelinin çok iyi olduğunu, İğdir-08-09-11 örneklerinde ölçülen 4.13'ün (% ağırlık) üzerindeki değerler ise petrol potansiyelinin mükemmel olduğunu göstermektedir. HI değerleri 1-4 mgHC/g-TOC arasındadır (İğdir-01 29 mgHC/g-TOC). Bu değerler İğdir-Örenköy kesiti Alt Siluriyen yaşlı örneklerin "harcanmış kaynak kayaç" özelliğinde olduğunu göstermektedir. T_{max} - HI garfiği (Şekil 4.8) ve OI-HI grafiği (Şekil 4.9) örneklerin içerisindeki kerojen tipinin ölü (atık) kerojenden oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 4.7. İğdir-Örenköy yolu (Boyabat-Kastamonu) Ölçülü Stratigrafik kesiti



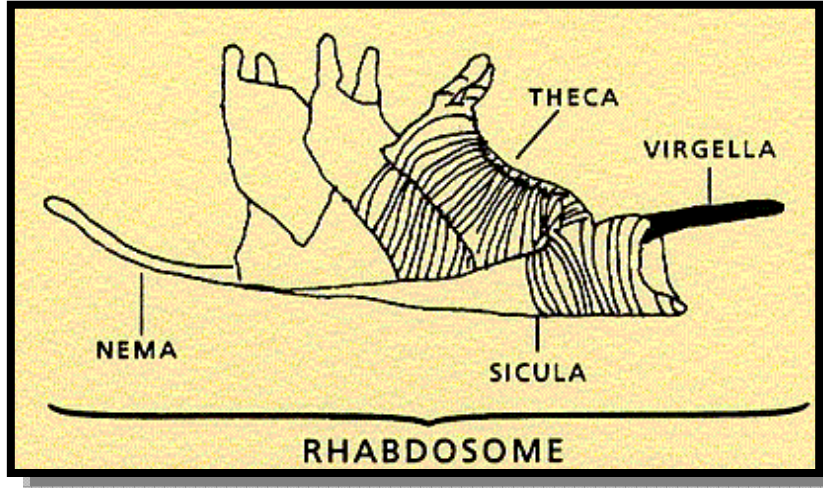
Şekil 4.8. Iğdır-Gülüş Barajı ölçülü stratigrafik kesitine ait HI-Tmax grafiği



Şekil 4.9. İğdir-Gülüş Barajı ölçülü stratigrafik kesitine ait HI-OI grafiği

5. GRAPTOLİT YANSIMA ÖLÇÜM VE DEĞERLENDİRMELERİ

Graptolit, kelime olarak kayadaki yazı “writing in rock” anlamına gelmektedir ve graptolitler, hemichordata grubuna dahildir. Birbirlerine genelde yapışık olarak koloni halinde yaşayan denizel hayvanlardır. Su içinde serbestçe yüzerek ya da tabana tutunarak yaşayabilirler. Yüzlerce cinsi vardır ve yaş tanımlamaları açısından indeks fosillerdir. Genellikle şeyller içinde gözlenirler. Kambriyen zamanında ortaya çıkmış ve Karbonifer zamanında yok olmuşlardır. Ordovisiyen ve Siluriyen’de oldukça yaygındırlar. İskeletleri genellikle kaybolur ve korunamaz. Genellikle illit yada muskovit (mika) gibi kil mineralleri bir film tabakası halinde graptolitin üzerini örterler. İskelet pirit ile doldurulabilir. Bu durum henüz gömülmüş sedimanlarda, tüp ezilmeden hemen önce gerçekleşir. Bu korunma şekli çok yaygındır (The British&Irish Graptolite Group). Graptolitlerin şematik genel yapısı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Graptolitlerin genel yapısı (The British&Irish Graptolite Group)

Graptolit yansıtma ölçümlerinden önce, graptolit içeren örneklerin epoksi resin ve sertleştirici kullanılarak parlatma biriketleri hazırlanmış ve üç aşamalı parlatılarak analize hazır hale getirilmiştir. Normal ve mavi ışık kaynaklı Leitz MPV II tip yansıtma mikroskobu, ve yansıtma standartları kullanılarak graptolit yansıtmaları ölçülmüştür ICCP (1963 ve 1971), Stach et al. (1982).

Parlatmalarda ICCP 1971'de vitrinit yansıtması için verilen standartlar kullanılmaktadır. Maksimum ve minimum yansıtma mikroskop tablası 360° döndürülmeleri ile elde edilmiştir. Random ölçümlerde polarizör devreden çıkarılmıştır. Maksimum yansıtma ölçümü tabakalanmaya paralel konumda ölçülürken, minimum yansıtma tabakalanmaya dik konumda ölçülmektedir.

Graptolitlerin biaksiyal optik özelliklerinden dolayı yansıtma değerlerinin maksimum ölçülmesi daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Yüksek olgunlaşma seviyelerinde graptolit yansıtması vitrinitin yansıtma değerinden daha yüksek çıkmaktadır (Link et al. 1990).

Alt Paleozoyik döneminde vitrinit bulunmadığı için termal olgunlaşma, diğer yöntemlerle belirlenmektedir. Optik karakterlerinden dolayı graptolitler termal indikatör olarak kullanılabilirler. Graptolit parçaları optik olarak mikroskop altında anizotropdur. Mikroskopta genelde kortikal yapıları, kanal ve katmanlı periderm dokuları gözlenir. Graptolitlerin peridermlerinin kitinozoan yapıda olduğu düşünülmektedir (Kozłowski, 1949). Ancak daha yeni çalışmalar kalojen yapıda olduklarına işaret etmektedir. Graptolit parçaları lamelli, taneli (granular) veya tanelisiz (nongranular) yapıda olabilirler. Taneli olanların yansıtması, taneli olmayanlara göre daha yüksektir (Goordazi and Nordford, 1985;1987). Granüler parçalar genellikle karbonat ve şeyllerde daha yaygındır ve karbonatlardaki graptolitler, şeyllerdeki graptolitlere göre daha düşük yansıtma verirler. Bu durum farklı termal iletkenlikle açıklanmaktadır.

Tez kapsamında yapılan yansıtma ölçümlerine ait sonuçlar, ve yansıtma standartları Çizelge 5.1-5.2 ve Şekil 5.3'te sunulmuştur. Çizelge 5.2'ten de görüleceği üzere İğdir-08 nolu örneğin random graptolit yansıtması sonuçları % GR_{random} 6.56-9.70 arasında değişmektedir. Bu sonuçlar tek örnekteki ölçümler yeterli olmasa dahi, İğdir

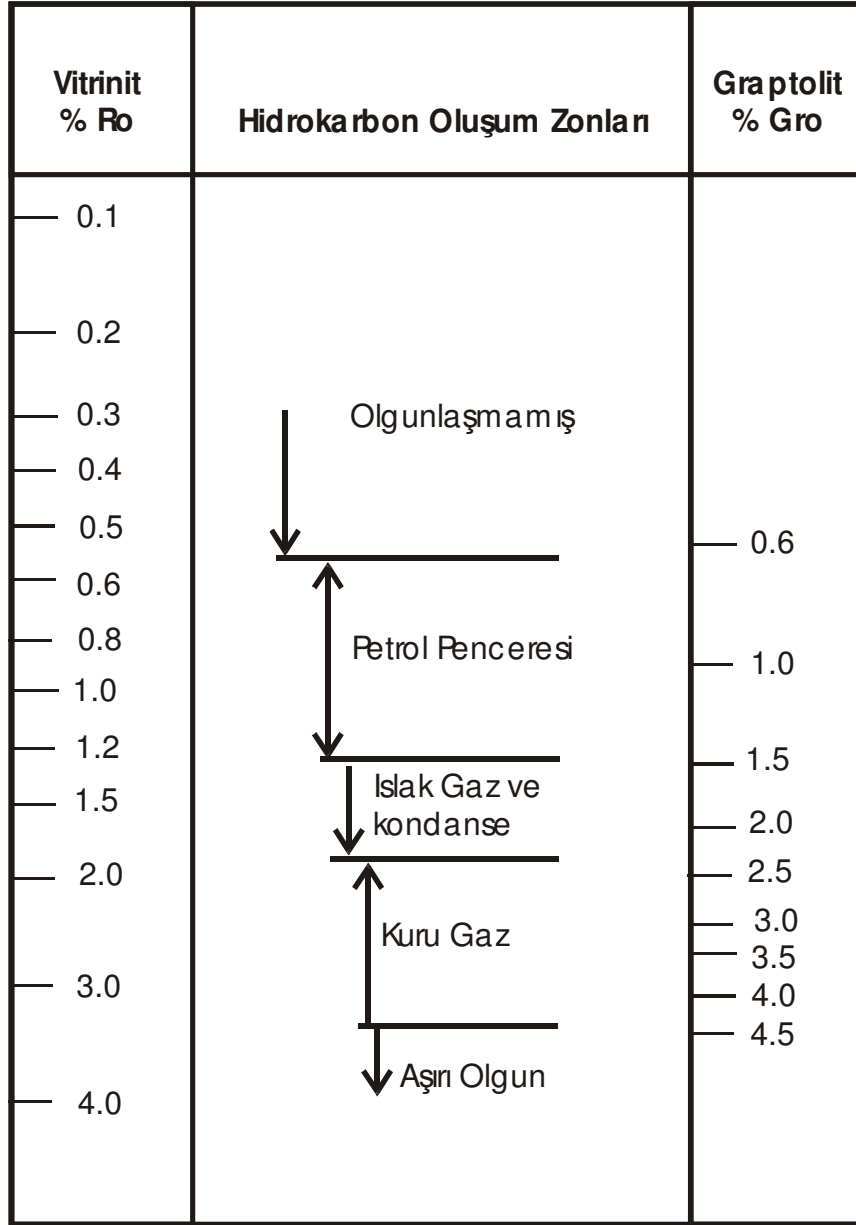
şeylerinin aşırı olgun olduğunu ve illit-klorit kristallinite ölçümü sonuçları ile de uyum göstermektedir.

Çizelge 5.1: Link ve diğ. (1990)'a göre Graptolit yansıtmasının ısısal olgunlaşma parametresi olarak kullanımı (değerler, et al. 1990'dan alınmıştır).

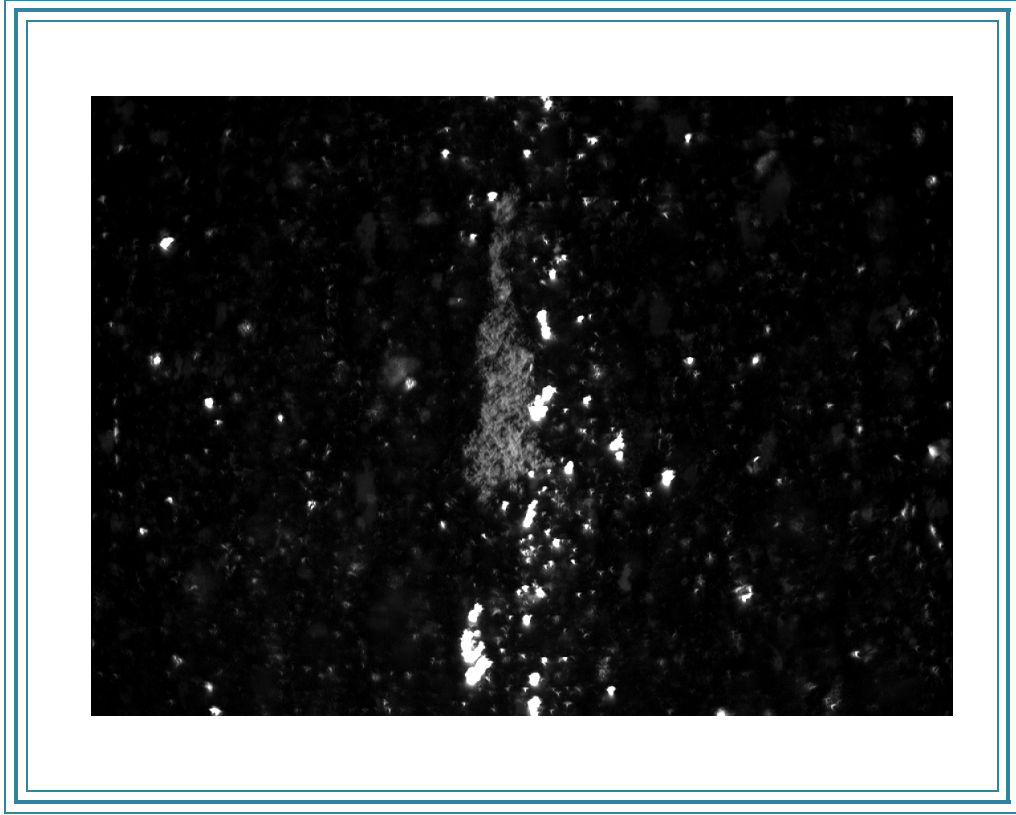
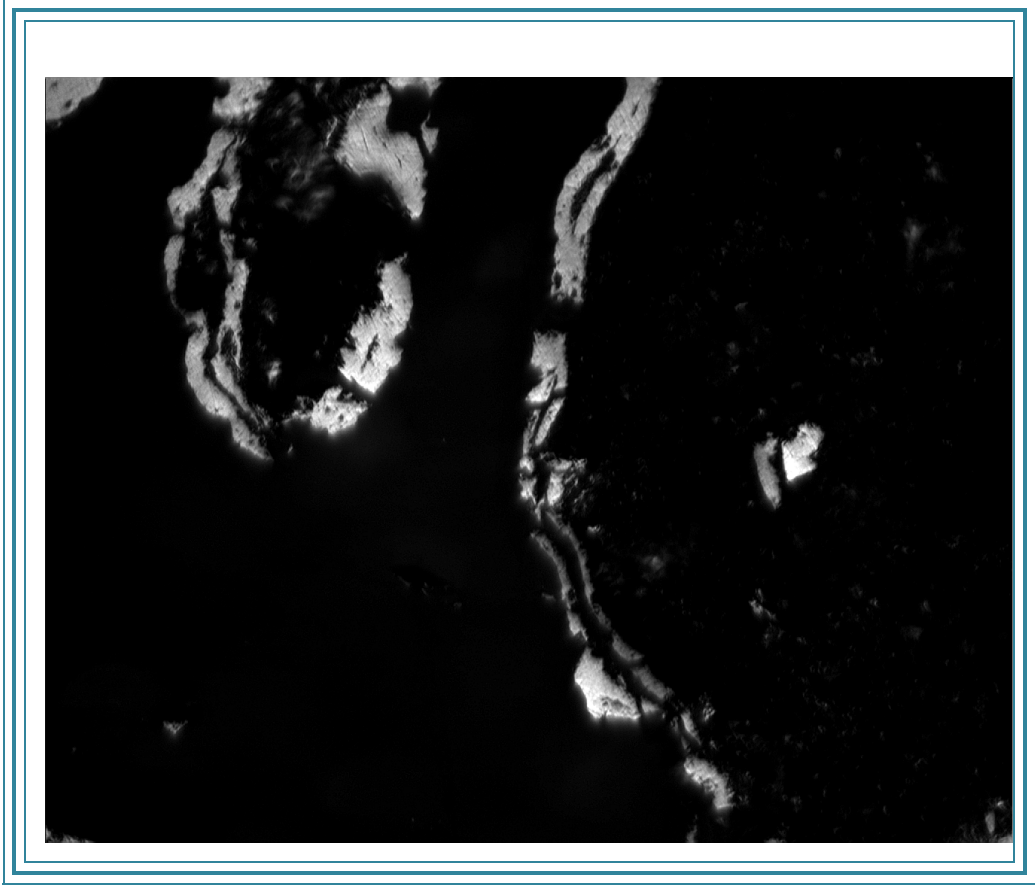
Olgunlaşma Derecesi	Graptolit Yansıtması (% GR _{max})
Petrol penceresi (olgun)	1.2-2.2
Aşırı olgun	5.0-6.5

Çizelge 5.2. İğdir- 08 örneğinin graptolit yansıtma sonuçları (50x objektif)

%GR _{random}	
8.12	8.81
9.27	8.68
8.81	8.68
6.93	8.85
7.71	8.42
6.56	8.47
8.01	8.20
8.46	9.70
8.30	8.61



Şekil 5.2. Vitrinit ve graptolit yansıtma değerlerinin korelasyon tablosu (Suchy et.al., 2002'den değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 5.3. İğdir-08 örneğinde bulunan graptolitlerin mikroskop görüntüleri.

6. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında hedef mostralara Batı Karadenizde Hendek-Kocaali ve Ereğli (Siluriyen) yöreleri olarak belirlenmiş ve bu bölgelerde bulunan Paleozoyik istiflerden örnekleme yapılmıştır. Bu örnekler üzerinde yapılan analizler sonucu, örneklerin hidrokarbon potansiyelleri yorumlanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1- Toplam 26 adet şeyl örneğinin XR-D-tüm kayaç difraktogram çekimleri gerçekleştirilmiştir. Örneklerin tümünde kuvars, feldispat, mika mineralleri ve kil mineralleri gözlenirken, tanımlanabilen diğer mineralleri kalsit ve dolomit mineralleri oluşturmaktadır.

2- Alınan numunelerde yapılan Rock-Eval Piroliz analizleri sonucunda elde edilen değerlere göre Hendek kesitinde alınan örneklerde, petrol potansiyeli TOC ve S_1 değerlerine göre zayıftır. Hendek-07 ve Hendek-08 örneklerinde TOC değeri (% wt) 1-2 arasında olduğundan kaynak kaya potansiyeli açısından 'iyi' dir. S_2 piki değerleri, yani örnek alınan kayaçta gram başına düşen hidrokarbon çok düşük olduğundan T_{max} hesaplanamamıştır. Hendek-10 örneğinde 410 °C değerinde T_{max} hesaplanmıştır ancak bu örnekte ölçülen S_2 değeri 0,07 (<0,5) olduğundan güvenilir değildir, bu nedenle T_{max} hesaplanamaz ve 410 °C değeri güvenilir değildir. HI ve S_2/S_3 değerleri incelendiğinde örneklerin kerojen tipinin Tip IV olduğu gözlenmektedir.

3- Ereğli-01, Ereğli-02 ve Ereğli-03 örneklerinde TOC değerlerine göre kaynak kaya potansiyeli 'iyi', Ereğli-04 ve Ereğli-05 örneklerinde ise petrol potansiyeli 'orta' olarak belirlenmiştir. Örneklerin S_1 ve S_2 değerleri çok düşük olup kaynak kaya potansiyelinin zayıf olduğunu işaret etmektedir. HI ve S_2/S_3 parametrelerine göre kerojen tipi Tip IV olarak belirlenmiştir. Termal olgunlaşması ise T_{max} değerlerine bakıldığında 'aşırı olgun' seviyesini göstermesine rağmen bunun hatalı sonuç verdiği bilinmektedir. Ereğli-01, 04 ve 05 örneklerinde S_2 piki değeri çok düşük olduğu için T_{max} ler güvenilir değildir.

4- İğdir kesitinde garptolitli şeyl zonundan alınan örneklerde TOK değeri 3,91 (İğdir-04) ve 3,40 (İğdir-10) kaynak kaya potansiyelinin çok iyi olduğunu, İğdir-08-09-11 örneklerinde ölçülen 4.13'ün (% ağırlık) üzerindeki değerler ise petrol potansiyelinin mükemmel olduğunu göstermektedir. . HI değerleri 1-4 mg HC/g-TOC arasındadır (İğdir-01 29 mg HC/g-TOC). Bu değerler İğdir-Örenköy kesiti Alt Siluriyen yaşlı örneklerin "harcanmış kaynak kayaç" özelliğinde olduğunu göstermektedir. T_{max} -HI garfiği ve OI-HI grafiği örneklerin içerisindeki kerojen tipinin ölü (atık) kerojenden oluştuğunu göstermektedir.

5- Kerojen tiplerini belirlemede kullanılan S_2/S_3 oranı; tüm kesitlerde 0-3 arasında değişmekte olup kerojen tipinin Tip III, Tip IV, gaz eğilimli ve ölü karbon olduğunu göstermektedir.

6- Rezervuar kayaçların tespit edilmesinde veya kaynak kayaçların termal olgunluğunu tespit etmekte kullanılan S_1/TOC oranı ise tüm kesitlerde 0-21 arasında değişmekte olup, örneklerin kaynak kaya potansiyellerinin "verimsiz" olduğunu göstermektedir.

7- Hesaplanan ve Çizelge 3.5'te sunulan illit kristalinite (IC) değerleri 0.2-0.3 arasındadır ve bu değerler, Kübler indeksine göre; Hendek ve Ereğli kesitlerine ait örnekler için 'epizonu' belirtmektedir. Dunayer de Segonzac (1970)'ın sıcaklık indeksine göre, örneklere ait sıcaklıklar genel olarak 350 °C den büyüktür.

8- Örneklerin Keskinlik oranları (SR) değerleri ise 7.40-2.80 arasındadır ve bu değerler, Weaver indeksine göre; Hendek ve Ereğli kesitlerine ait örnekler için 'ankizonu' belirtmektedir.

9- Örneklerin uygun olanlarında karşılaştırma amacı ile klorit kristalinite değerleri hesaplanmıştır. Klorit kristalinite değerlerine göre hesaplanan örnekler "epizonda" bulunmaktadır.

10- İğdir-Örenköy Kkesiti graptolitli şeyl zonundan alınan İğdir-08 örneğinde bulunan garptolitler üzerinde graptolit yasıma değerleri ölçülmüş, random yansıma değerleri % GR_{random} 8.20 -9.70 arasında bulunmuştur. Bu değerler örneklerin aşırı

olgun zonda bulunduğunu göstermektedir. Graptolit yansıma değerleri, tez çalışmasında yapılan illit ve klorit kristalinite değerleri ile de uyum göstermektedir.

11- Genel olarak bakıldığında çalışma alanında alınan örnekler aşırı olgunlaşmış Hidrojen ve Oksijence fakirleşmiş ve karbonca zenginleşmiştir ve Rock-Eval Piroliz analizleri yardımıyla köken belirlemesi yapılmasına imkan tanımamaktadır.

DEĞİNİLEN BELGELER

Arkai, P., Mata, P., Giorgetti, G., Peacor, D.R., and Toth, M. 2000, Comparison of diagenetic and low-grade metamorphic evolution of chlorite in associated metapelites and metabasites: an integrated TEM and XRD study. *J. Metamorphic Geology*, 18. p. 531-550.

Aydın, M., Serdar, H.S., Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokuğraş, R., Demir, O. ve Özçelik, Y., 1987, Çamdağ-Sünnicedağ (Bolu) yöresinin jeolojisi, *TJK Bülteni*, 30, 1-14

Aydın, M. ve Şahintürk, Ö., 1982, Cide-Ulus-Azdavay-araç-Daday-Karadere ve dolaylarının jeolojisi, *TPAO Rapor No. 1644*, 71 s.

Aydın, M. ve Şahintürk, Ö., 1984, Akçakoca, Ereğli batısındaki (Kaplandededağ, Orhandağ) Paleozoyik yaşlı birimlerin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları, *TPAO Rapor No:1947*, 28 s.

Aydın, M. ve Şahintürk, Ö. ve Özçelik, Y., 1984, Araç-Daday-Karadere ve dolaylarının jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *TPAO Rapor No. 1948*, 67 s.

Aydın, M., Serdar, H.S., Şahintürk, Ö., Özçelik, Y., Çokuğraş, R., Akarsu, İ., Üngür, A. ve Kasar, S., 1986, Ballıdağ-Çangaldağı (Kastamonu) arasındaki bölgenin jeolojisi, *TJK Bülteni*, 29, 2, 1-16.

ASTM, 1972, *Inorganic index to the powder diffraction file*, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, Pennsylvania, 1432 p.

Derman, A.S., 1995, Cretaceous megabreccias and other mass flow deposits in the eastern Ulus Basin, western Black Sea Region of Turkey. Ph. D. Thesis. The Grad. School of Naturel and Applied Sciences, Unpublished, METU, Ankara, 229 p.

Dunoyer de Segonzac, G., 1970, The transformation of clay minerals during

diagenesis and low grade metamorphism: a review, *Sedimentology*, 15, 281-346.

Dypvik, H., 1983, Clay mineral transformations in Tertiary and Mesozoic sediments from North Sea, *AAPG Bulletin*, 67: 160 - 165.

Espitalie, J., Laporte, J. L., Madec, M., Marquis, F., Leplat, P. & Paulet, J. 1977, Methode rapide de caracterisation des roches meres, de leur potentiel petrolier et de leur degre d'evolution. *Institute Français Petroleum Review*, 32, 23-43.

Espitalie, J., K.S. Makadi, and J. Trichet, 1984, Role of the mineral matrix during kerogen pyrolysis: *Organic Geochemistry*, v. 6, p. 365-382.

Espitalie, J., Deroo, G. & Marquis, F. 1985, La pyrolyse Rock Eval et ses applications. *Review Institute Français Petroleum*, 10, 755-784.

Gedik, A. ve Korkmaz, S., 1984, Sinop Havzasının jeolojisi ve petrol olanakları. *TMMOB Jeoloji Müh. Yayın Organı*, s. 19, 53-79, Ankara.

Goodarzi, F., and B.S. Norford, 1987, Optical properties of graptolite epiderm -- a review: *Bulletin Geol. Soc. Denmark*, v. 35, p. 141-147.

Grunau, H.R., 1983, Abundance of source rocks for oil and gas worldwide, *Journal of Petroleum Geology*, v.6, No:1, p.39-54.

Harput, O. B., 1997. Batı Karadeniz Bölgesi Tortularının Kaynak Kaya ve Olgunlaşma Yöntemiyle İncelenmesi. H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. 133 s.

Jarvie, D. M., 1991, 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*, p. 113-118.

ICCP, 1963 and 1971, International Lexikon für Kohlenpetrologie, Centre National de la Recherche Scientifique, 15 Quai, Anatole-France, Paris.

Kaya, O., Dizer, A., Tansel, İ., Meriç, E., 1983. Ereğli (Zonguldak) Alanının Kretase Stratigrafisi, MTA Bülteni 99-100

Ketin, İ., 1966, Anadolu'nun tektonik birliktelikleri. MTA Bülteni, 66, 20-34.

Klemme, H.D. and Ulmishek., 1991. Effective petroleum source rocks of the World: Stratigraphic Distribution and Controlling Depositional Factors, AAPG, VOL.75, No:12, 1809-1851.

Kübler, B., 1968. Evaluation quantitative du metamorphisme par la cristallinite de l'illite. Bull. Centre Rech. Pau-S.N.P.A.2, 385-397.

Kübler, B., and Jaboyedoff., M. 2000. Illite cristallinity. Earth and Planetary Sciences, 331, 75-89.

Link, C.M., R.M. Bustin, and F. Goodarzi, 1990, Petrology of graptolites and their utility as indices of thermal maturity in lower Paleozoic strata in northern Yukon, Canada: International Journal of Coal Geology, v. 15, p. 113-135.

Lüning, S., Craig, J., Loydell, D. K., Storch, P., Fitches, W. R. (2000a): Lowermost Silurian 'Hot Shales' in North Africa and Arabia: Regional Distribution and Depositional Model. Earth Science Reviews 49: 121-200.

Peters, K.E., Cassa, M.R., 1994. Applied source rock geochemistry. In: Magoon, L.B., Dow, W.G., eds. The Petroleum System-from source to trap. Tulsa, Oklahoma, USA: The American Association of Petroleum Geologists, Memoir 60, 93-120.

Saner, S., 1980. Batı Pontidler'in ve Komşu Havzaların Oluşumlarının Levha Tektoniği Kuramıyla Açıklanması, Kuzeybatı Türkiye, Türkiye Jeoloji Kurumunun 34. Bilimsel ve Teknik Kurultayı sözlü bildirisi.

Saner, S., Siyako, M. Aksoy, Z., Bürkan, K. A. ve Demir, O., 1981, Zonguldak dolayının jeolojisi ve petrol olanakları, Yayınlanmamış TPAO Rapor No: 1536

Sarı, A., 1990. Boyabat (Sinop) kuzeydoğusunun Petrol imkanlarının İncelenmesi. A.Ü. Fen Fak. Jeo. Müh. Böl. Doktora tezi. S.312, (yayımlanmamış), Ankara.

Sarı, A., Sonel, N., Albayrak, M., 1991. Boyabat (Sinop) Kuzeydoğusu Birimlerinin Petrol Hazne Kaya Özelliklerinin İncelenmesi. S.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi. No. 2, S.61-77.

Sarı, A., 1994. Boyabat (Sinop) Yöresi (Triyas-Kretase) Birimlerinin Organik Fasiyes İncelemesi. Türkiye Jeoloji Bülteni. Cilt.37, No 2, S.111-119.

Sarı,A., 1995, Boyabat (Sinop) kuzeydoğusundaki Kretase yaşlı Çağlayan ve Gürsökü formasyonlarının Tane boyu analizleri ve çökelme ortamları. İstanbul Üniv. Müh.Fak.Derg. Cilt. 9, No1-2.

Sarı, A., Üzmez, B., Aliyev, S.A., 2004. Mengen (Bolu) civarı bitümlü şeyllerin hidrokarbon potansiyeli. İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, Cilt17, No 2, S.91-102.

Sonel, N., 1988. Boyabat Havzası (Sinop) birimlerinin petrol ana kaya özellikleri. S.Ü. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt.3, sayı.1. s.80-98, Konya

Sonel, N., Sarı, A., Coşkun, B., Tozlu, E., 1989. Boyabat (Sinop) Havzası Ekinveren fayının petrol aramalarındaki önemi. TJB. Cilt.32, sayı,1-2, s.39. Ankara

Sonel, N., Sarı., A., Tozlu, E.,1989. İmportance of Ekinveren Fault in Oil Explaration in the Boyabat (Sinop) Basin. Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Series V.7, pp. 39-66.

Sonel, N., Albayrak, M., Sarı, A., 1990. Bürnük (Boyabat-SİNOP) Civarının Jeolojisi. G.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi. Cilt. 4, No.1-2, 43-83.

Sonel, N., Albayrak, M., Sarı, A., 1992. Bürnük (Boyabat-SİNOP) Civarının Petrol Olanakları.Doğa-Tr. Yerbilimleri Dergisi/TR.J.of Earth Sciencis No.1, S.17-35.

Suchy, V., Sykorova, I., Stejskal, M., Safanda, J., Machocic, V. And Notovna, M., 2002. Dispersed organic matter from Silurian shales of the Barrandian Basin, Czech Republic: optical properties, chemical composition and thermal maturity. *International Journal of Coal Geology*. 53, 1-25.

Stach, E., Mackowsky, M.-Th., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D. and Teichmüller, R., 1982, *Stach's textbook of coal petrology*, Gebruder Borntraeger, Berlin, 535 p.

Şen, G.Ö., 2005. Doğu Toroslar Bölgesi Otokton Paleozoyik Birimlerinin Hidrokarbon Potansiyelinin Araştırılması. H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. 139 s.

Tissot, B. ve Espitalie, J-, 1975, L'Evolution thermique de la matiere organique des sediments : *Rev. Inst. Fr. Petrole*, 30, 5, 743, 777.

Tissot, B.P., and Welte, J., 1984. *Petroleum formation occurrence*. Springer-Verlag, 669 p.

Tüysüz, O., Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E. ve Serdar, H.S., 1990, Orta Pontid'lerde Üst Jura-alt Kretase stratigrafisi ve tektonik anlamı. *Türkiye 8. Petrol Kongresi Bildirileri*, 340-350.

Varol, U. N., 2005. Orta-Batı Toroslar Bölgesinde Paleozoyik Birimlerin Hidrokarbon Potansiyelinin Araştırılması. H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. 132 s.

Weaver, C.E., 1960. Possible uses of clay minerals in search for oil, *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.* 44, 1505-1518.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : İkbal Dilek Kavak

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 09.11.1982

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durum

Lise : 1996-2000 Çankaya Lisesi (YDAL)

Lisans : 2000-2004 H.Ü. Müh. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi:

2005-2006 : Avea İletişim Hizmetleri Genel müdürlük
Müşteri Temsilcisi

2007- : TOBAŞ (Toplu Konut – Büyükşehir Belediyesi İnşaat, Emlak,
Mimarlık ve Proje A.Ş.)
Halkla İlişkiler