***Yerbilimleri, 22 (2000), 163-181***
Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni
*Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*

# Suğla Gölü Güneyinde (Konya) Karbonifer ve Permiyen Yaşlı Birimlerin Organik Jeokimyasal Özellikleri

## *Organic Geochemical Characteristics of the Carboniferous and Permian Units in the South of Suğla Lake (Konya)*

**Mehmet Altunsoy**
Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas

**ÖZ**

Bu çalışma, Suğla Gölü (Konya) güneyinde yüzeyleyen Karbonifer yaşlı Çelmeliler formasyonu ile Permiyen yaşlı Karadağ kireçtaşının organik jeokimyasal özelliklerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Bölge, Toros kuşağının Orta-Batı Toros bölümünde yer alır. Suğla Gölü güneyindeki birimler, temelde Üst Kretase yaşlı Sülek karışığı ile bunun üzerine tektonik dokanakla gelen Orta Devoniyen - Kuvaterner yaş aralığına sahip çökellerden oluşan iki ana üniteden meydana gelmiştir. Karbonifer yaşlı Çelmeliler formasyonu, şeyl ve kireçtaşlarından oluşur. Permiyen yaşlı Karadağ kireçtaşı ise, kalın biyolitoklastik ve biyomikritik kireçtaşları ile temsil edilir.

Çelmeliler formasyonuna ait örneklerin toplam organik karbon (TOK) miktarı ortalama % 0.06'dır. Örnekler genellikle denizel organik maddelerden oluşmaktadır. Vitrinit yansıma değerleri (Ro) ortalama % 2.21'dir. Buna göre birim, metajenez zonundadır. Rock-Eval pirolizi analizleriyle belirlenen hidrojen indeksi (HI) ve toplam organik karbon değerlerine göre, birimin hidrokarbon anakayası olamayacağı, ancak ender olarak gaz üretebileceği saptanmıştır. Karadağ kireçtaşına ait ölçülü dikme kesit örneklerinde ortalama % 0.057 toplam organik karbon ve ortalama % 1.16 vitrinit yansıması değerleri elde edilmiştir. Bu veriler, birimin katajenez zonunda olduğunu gösterir. Egemen organik madde denizel kökenlidir.

**Anahtar kelimeler:** Organik jeokimyasal, Suğla Gölü, toplam organik karbon, vitrinit yansıması.

***ABSTRACT***

*The purpose of this research is to investigate the organic geochemical characteristics of the Carboniferous Çelmeliler formation and the Permian Karadağ limestone in the south of Suğla Lake (Konya). The area is located in the Western - Central section of the Taurus Belt. The study area mainly consists of two units which are Upper Cretaceous Sülek complex at the base, and Middle Devonian-Quaternary sediments overlying the Sülek complex with a tectonic contact. Carboniferous Çelmeliler formation consists of shale and limestone. Permian Karadağ limestone contains thick bedded biolithoclastic and biomicritic limestones.*

*The average total organic carbon (TOC) of the samples collected from the Çelmeliler formation is calculated as 0.06 %. The samples are generally derived from marine organic materials. Average vitrinite reflection (Ro) is 2.21 %. So that the unit is thought to be developed at the metagenesis zone according to the value given above. Considering the total organic carbon and hydrogen index (HI) values from the Rock-Eval pyrolysis, it can be concluded that the unit not a source rock for hydrocarbons but may be a source of gas. 0.057 % of total organic carbon mean value and an average value of 1.16 % vitrinite reflection are obtained within the measured section of the Karadağ limestone. These values indicate the catagenesis stage. Dominant organic materials in the samples are of marine origin.*

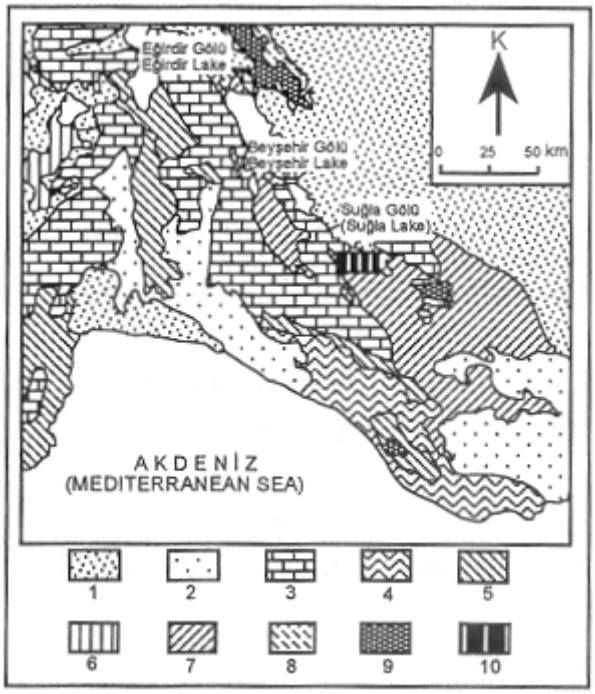
***Key Words**: Organic geochemical, Suğla Lake, total organic carbon, vitrinite reflectance.*

## GİRİŞ

Çalışma alanı; Konya ili sınırları içerisinde bulunan Suğla Gölü güneyinde, Seydişehir ve Bozkır ilçeleri arasında yer alır (Şekil 1). Toros Karbonat Platformunun Orta - Batı Toroslar yöresi olarak adlandırılabilecek bu alanda bir çok temel jeolojik çalışma yapılmıştır. Özgül (1971) Toros'larda birbirleriyle tektonik sınırlı, ancak farklı havza ürünü olan birlikler ayırtlamıştır. Aynı araştırıcı (Özgül, 1976), diğer çalışmasında da Toros'lardaki kaya topluluklarını Bolkar Dağı, Aladağ, Geyik Dağı, Alanya Birliği, Bozkır ve Antalya Birliği olarak gruplandırmış (Şekil 2) ve bu birliklerin birbirleriyle tektonik konumlu, Geyik Dağı birliğinin ise diğer allokton birliklerin temelini oluşturan bir birlik olduğunu saptamıştır.

Özçelik (1984) tarafından Bozkır yöresinde yapılan çalışmada bölgenin temel jeolojik özellikleri, tektonik evrimi ve petrol olanakları belirlenmeye çalışılmıştır. Araştırmacı, bulgularına göre, Geyikdağı Birliğine ait kireçtaşlarının ana kaya ve hazne kaya özelliği taşıdığını ortaya koymuştur. Meriç ve Özçelik (1985) ise, Geyikdağı birliğine ait birimlerin Kretase-Paleosen yaş aralığında kademeli faylanma sonucu normal stratigrafik düzenini yitirmiş olduğunu öne sürmüşlerdir. Özçelik (1985), bölgede yer alan ve Sülek karışığı olarak adlandırdığı birimin tektonik bir melanj

Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası
*Figure 1. Location map of the investigated area*




Şekil 2. Orta-Batı Toros Kuşağının basitleştirilmiş jeoloji haritası (Monod, 1977). 1- Kuvaterner, 2- Neojen, 3- Mesozoyik Otokton, 4- Alanya Masifi, 5- Antalya Napları, 6- Batı Toros Napları, 7- Beyşehir-Hoyran-Hadim Napları, 8- Paleozoyik Otokton, 9- Kambro-Ordovisiyen Temel, 10- İnceleme alanı
*Figure 2. Simplified geologic map of the Middle-West Taurus Belt (after Monod, 1977). 1- Quaternary, 2- Neogene, 3- Mesozoic Autochtone, 4- Alanya Massif, 5- Antalya Nappes, 6- West Taurus Nappes, 7- Beyşehir- Hoyran - Hadim Nappes, 8- Paleozoic Autochthon, 9- Cambro-Ordovician Basement, 10- Investigated area*

olduğunu, kuzeydoğudan güneybatıya doğru, olasılıkla Priyaboniyen'de, itilerek otokton Geyikdağı birliği üzerine yerleştiğini savunmuştur. Sülek karışığının Devoniyen'den Kretase'ye kadar değişik yaş, tür ve boyutlu, farklı çökelme ve oluşum ortamlarını karakterize eden kaya türlerinin makaslanmış hamur (serpantinit) içerisindeki tektonik karışımından oluştuğunu belirlemiştir.

Yalçın (1987) Toros kuşağı içerisinde yer alan Bulgurdağ petrolünün kökeninin Miyosen öncesi kireçtaşı-şeyl düzeyleri olduğunu ortaya koymuştur. Bu düzeyler Paleozoyik yaşlıdır. Orta

Torosların Mut-Ermenek-Silifke Havzaları bölümünde çalışan Korkmaz ve Gedik (1990), Paleozoyik yaşlı birimlerin organik madde içeriği açısından fakir, aşırı olgun zonda ve hiçbir hidrokarbon potansiyeli taşımadıklarını açıklamışlardır. Illeez ve diğ., (1994) çalışma alanının doğusundaki Geyikdağı, Aladağ, Bozkır birlikleri ile Munzur kireçtaşlarında organik jeokimyasal analizler yaparak, Bozkır birliği ve Munzur kireçtaşlarının kaynak kaya özelliği taşıdığını belirlemişlerdir. Sonel vd. (1995) tarafından Üzümlü (Beyşehir) yöresinde yapılan çalışmada ise Triyas yaşlı Tarascı formasyonunun kaynak kaya potansiyelinin olmadığı, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Akkuyu formasyonunun gaz üretebileceği sonucuna varılmıştır. Ancak aynı yaştaki birimlerin Akseki (Antalya) çevresindeki yüzleklerinde Ayyıldız ve Sonel (1992) daha ümitli sonuçlar elde etmişlerdir. Yalçın (1997), Bozkır güneybatısında yüzeyleyen birimlerden Karbonifer yaşlı Çelmeliler formasyonunun metajenez zonunda olduğunu ve ana kaya olamayacağını, ancak ender olarak gaz üretebileceğini, Permiyen yaşlı Karadağ kireçtaşının verimsiz petrol ana kayası olduğunu ve aynı şekilde Triyas yaşlı Bartlı formasyonunun da verimsiz ana kaya olabileceğini belirlemiştir. Bozkaya ve Yalçın (1997), Bozkır (Konya) batısında yüzeyleyen Bolkardağı birliğine ait Üst Paleozoyik-Alt Mesozoyik yaşlı çok düşük dereceli metamorfik kayaçların diyajenetik-metamorfik evrelerinin gelişiminde bindirme ve kısmen sedimanter gömülmenin etkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Suğla Gölü (Konya) güneyinde yeterli organik jeokimyasal çalışmaların olmaması nedeniyle Paleozoyik yaşlı birimlerde saha ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Saha gözlemlerine göre Karbonifer ve Permiyen yaşlı birimler, içerdikleri hidrokarbon kalıntıları nedeniyle incelenmeye değer görülmüş ve bu birimler üzerinde laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ve arazinin genel jeolojik özellikleri de dikkate alınarak, Karbonifer ve Permiyen yaşlı birimlerin organik jeokimyasal özellikleri ve çökelim ortamları belirlenmiştir.

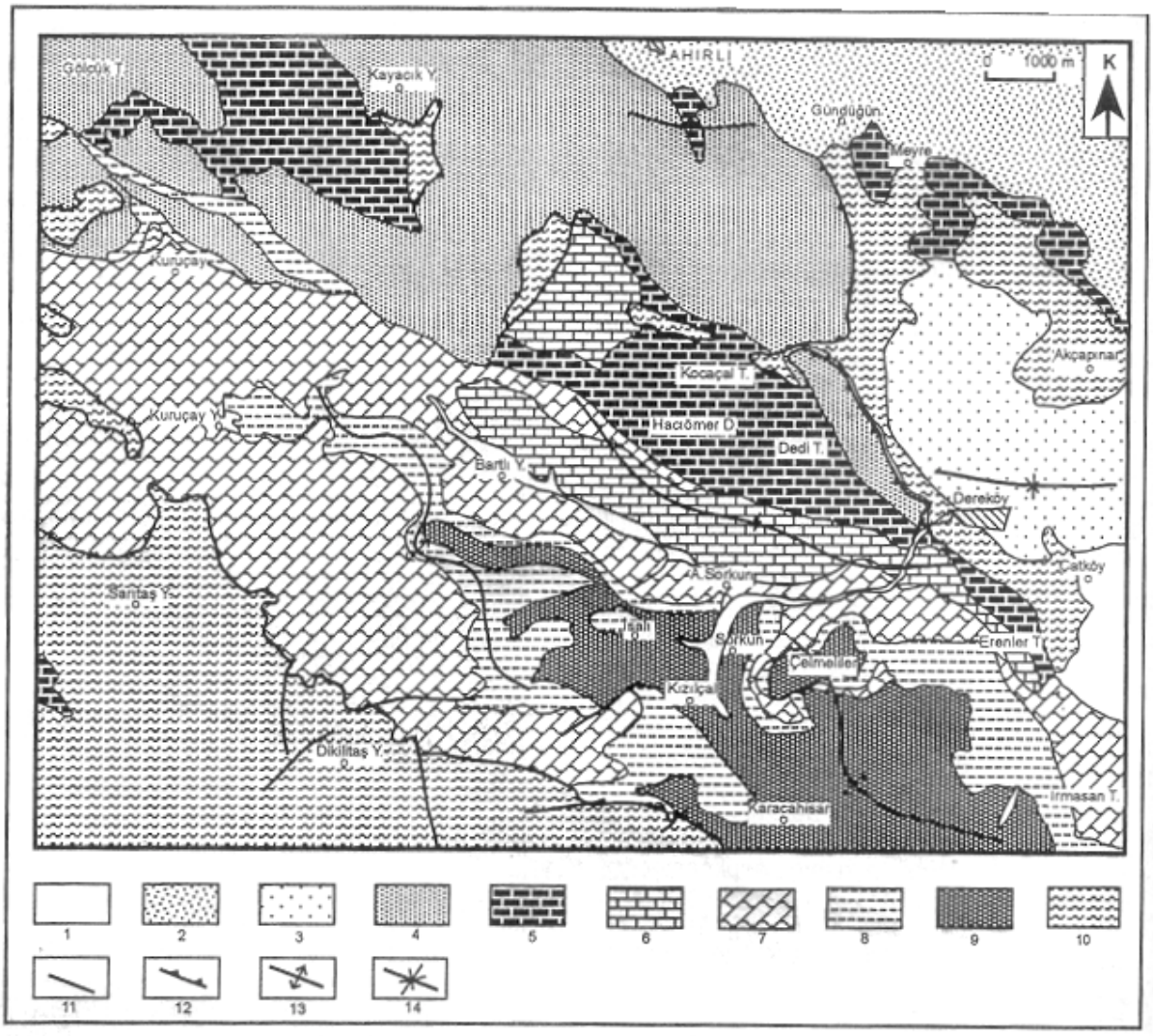
## STRATİGRAFİ

İnceleme alanının tabanını ofiyolitik bir melanj olan Sülek karışığı oluşturur. Devoniyen'den Maestrihtiyen'e değin değişik yaş, tür ve boyutlu, farklı çökelme ve oluşum ortamlarını karakterize eden kaya türlerinden oluşan tektonik bir karışıktır. Bu karışığı tektonik olarak Orta - Üst Devoniyen'den günümüze değin süren bir istif grubu üstler (Şekil 3 ve 4). İstifin en altında şist, mermer, arduvaz, kuvarsit, dolomitik kireçtaşı ile kristalize kireçtaşından oluşan Orta - Üst Devoniyen yaşlı İsalı formasyonu yer alır. Bunu kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve marnlardan ibaret olan Karbonifer yaşlı Çelmeliler formasyonu izler. Çakıltaşı ve kireçtaşlarıyla temsil edilen Permiyen yaşlı Karadağ kireçtaşı da bu birimin üzerine uyumsuzlukla gelir. Marn ara katkılı kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı, çakıltaşı merceği ve kireçtaşı bantlı kumtaşından oluşan Triyas yaşlı Bartlı formasyonu Karadağ kireçtaşı üzerinde uyumlu olarak bulunur. Kısmen kristalize kireçtaşlarıyla temsil edilen Jura yaşlı Hacıömer formasyonu ile yer yer kireçtaşlarından oluşan Kretase yaşlı Akalan kireçtaşı Bartlı formasyonunu uyumsuzlukla üstler. Tüm bu birimlerin üzerine de Oligosen yaşlı Çatköy formasyonu uyumsuzlukla gelir. Çakıltaşı, tüf ve killi kireçtaşlarından oluşan karasal Üst Miyosen - Pliyosen yaşlı Gündüğün formasyonu da açısal uyumsuzlukla kendisinden daha yaşlı birimleri takip eder. En üstte ise Kuvaterner yaşlı alüvyonlar bulunur.

### Çelmeliler Formasyonu

Koyu gri-siyahımsı şeyl, siyah kireçtaşı ve kumlu kireçtaşlarından oluşan birim, Özçelik (1984) tarafından Çelmeliler formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanının güneydoğusundan başlayarak Sorkun Köyü doğusu, İsalı Köyü batısı ve Kuruçay Köyü yörelerinde değişik boyutlu ve süreksiz yüzlekler biçiminde gözlenir. Tabanda Devoniyen yaşlı İsalı formasyonu ile uyumludur. Tavanda ise Permiyen yaşlı Karadağ kireçtaşı ile uyumsuzlukla örtülür.

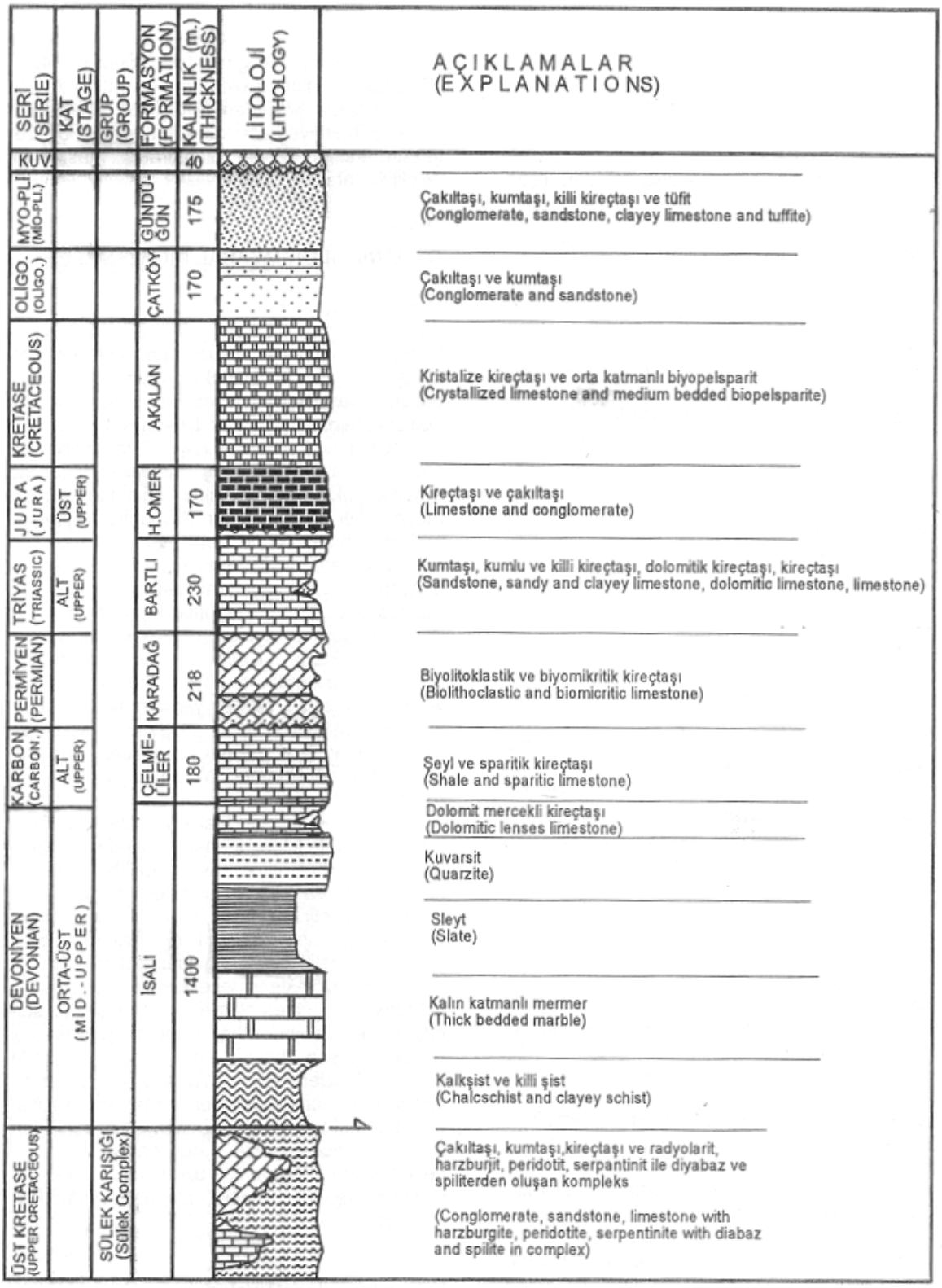
Çelmeliler formasyonu, İsalı formasyonu ile uyumlu geçiş zonu olan kumlu kireçtaşı katkılı, orta ve kalın katmanlı (40-150 cm), Spirifer'li, koyu gri - siyah - boz kireçtaşları ile başlar. Bunu izleyen siyah, kalın katmanlı (80 cm - 2 m) litik kırıntılı sparitler bol mercanlıdır. Yer yer ince taneli ve kalın katmanlı siyah sedarenit ile arakatkılı litik kırıntılı sparitlerle siyah ve orta katmanlı (20 - 40 cm) ince taneli mikritler, kısa aralıklarla oosparitlere geçer. İstif, boz - siyahımsı - sarı - koyu yeşilimsi, ince dokulu şeyl ve sarı-boz, grimsi siyah, orta katmanlı (20-40 cm) kireçtaşı ardalanması ile sürer ve yukarıda anılan özelliği taşıyan kalın bir şeyl




Şekil 3. İnceleme alanının jeoloji haritası (Özçelik, 1984'ten değiştirilerek), 1- Alüvyon, 2-Gündüğün formasyonu, 3- Çatköy formasyonu, 4- Akalan formasyonu, 5- Hacıömer formasyonu, 6- Bartlı formasyonu, 7- Karadağ kireçtaşı, 8- Çelmeliler formasyonu, 9- İsalı formasyonu, 10- Sülek Karışığı, 11- Normal fay, 12- Bindirme fayı, 13- Antiklinal, 14- Senklinal

*Figure 3. Geologic map of the investigated area (modified from Özçelik, 1984), 1- Alluvium, 2- Gündüğün Formation, 3- Çatköy Formation, 4- Akalan Formation, 5- Hacıömer Formation, 6- Bartlı Formation, 7- Karadağ limestone, 8- Çelmeliler Formation, 9- İsalı Formation, 10 Sülek melange, 11- Normal fault, 12- Thrust fault, 13- Anticline, 14- Syncline*

(40 m) ile son bulur. Koyu ve siyah renklerin egemen olduğu bu şeylleri, siyah ve ince katmanlı (5-20 cm) biyosparitik kireçtaşları, onları da boz - siyahımsı, kalın katmanlı (80-150 cm) kumlu kireçtaşları izler. Söz konusu kumlu kireçtaşlarında, dereceli olarak kum oranı azalarak siyah, kalın katmanlı (60-100 cm) mikritik ve sparitik kireçtaşlarıyla son bulur. Formasyon, Irmasan Tepe yöresinde 180 m kalınlıkta ölçülmüştür. Bu kalınlık inceleme alanının kuzeybatısına gidildikce azal-makta ve değişik yörelerde değişik kalınlıklar sunmaktadır. Farklı düzeylerinden alınan ör-neklerin fosil içeriklerine göre formasyona Karbonifer (Turnasiyen - Namuriyen) yaşı verilmiştir (Özçelik, 1984). Sığ bir platform üzerinde yer




Şekil 4. İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (ölçeksiz)
*Figure 4. Generalized columnar section of the investigated area (not - to - scale)*

yer korunmalı (mikritik) yer yer de çalkantılı (oolitik ve sparitik) ortam koşullarında şekillenen kireçtaşları, mercan resifleriyle temsil olunan biyolitit tipli kireçtaşlarıyla yanal geçişler oluşturur. Karasal kökenli kırıntının arttığı evrelerde ise kumlu kireçtaşlarıyla sedarenitler depolanmıştır.

**Karadağ Kireçtaşı**

Karadağ Kireçtaşı, sarı, pembe ve gri biyolitoklastik kireçtaşları ile siyah ve koyu gri renkli biyomikritik kireçtaşlarından oluşur. Birim, çalışma alanı güneybatısında Kuruçay, Kuruçay yaylası, Bartlı yaylası, Aşağı Sorkun ve Çatköy güneyinde yüzlekler vermektedir. Karadağ kireçtaşı tavanda Triyas yaşlı Bartlı formasyonu ile uyumlu olarak üstlenir. Bu ilişkiyi Aşağı Sorkun Köyü ve Bartlı Yaylası dolaylarında izlemek olasıdır. İnceleme alanının güney ve batısında Sülek karışığı ile tektonik ilişkilidir. Tabanda ise Çelmeliler formasyonu ile uyumsuzlukla sınırlıdır.

Birim, tabanda pembemsi, açık gri, gri, kalın (60-100 cm) ve iyi katmanlanmalı, sert, Girvanella'lı biyolitoklastik kireçtaşları ile başlar. Kısa aralıklarla katmanların kalınlığı değişir. Zaman zaman 60 cm'nin altına inen katmanlar çoğunlukla Pseudoschwagerina içerir. Ayırtman özelliğindeki alt düzeyler tüm çalışma alanında Girvanella'lıdırlar. Buradan itibaren Hemigordius'ların yaygınlaştığı sparitik kireçtaşları görülür. Koyu gri ve siyah olup, orta ve kalın katman-lıdırlar (30-100 cm). Bunlar üst düzeylere doğru ince ve orta katmanlı (10-40 cm) olarak başlayan ve tavanda kalın katmanlı (60-100 cm) olarak sona eren Mizzia'lı kireçtaşları ile son bulur. Biyomikritik kireçtaşı düzeyleri koyu gri ve siyah olup, daha az sertliğe sahiptir. Bunun üzerine ince dokulu mikritik kireçtaşı gelir. Tavanda sırayla algli mikritik ve sparitik kireçtaşı katmanları biyomikrit ve algli mikritik kireçtaşları ile sona erer. Karadağ kireçtaşının Sülek ofiyolitli karışığı ile olan tektonize dokanağı breş seviyesi ile karakteristiktir. Breşler tamamen Permiyen'e ait kireçtaşı çakıllarından oluşmuş, milonit ve kil ile gevşek olarak tutturulmuştur. Çakıllar çoğunlukla siyah, koyu gri ve çok az olarak da pembe renklidir.

Karadağ kireçtaşı, sürüklenim hatlarında daha ince kalınlıkta görülmüş, taban ve tavan ilişkisinin tam olarak görüldüğü yerlerde yapılan ölçümlerde 218 m kalınlık belirlenmiştir. Birimin önemli bölümünü oluşturan algli mikritik kireçtaşları denizel bir lagünün karekteristiği olabilir. Mikritin yaygın oluşu depolanmanın dalga tabanı altında olduğunu vurgular. Ayrıca istif içerisinde gözlenen biyoklastik kireçtaşları genelde resif yamacı karbonat istifine benzer şekilde kalın kamalar oluşturarak masif algli biyolititler arasına sokulur.

## ORGANİK JEOKİMYASAL İNCELEMELER

**Saha İncelemeleri**

İnceleme alanında sedimanter birimler çok geniş bir alanda yüzlekler sunmakta olup, bunların yaşları Devoniyen'den güncele kadar değişmektedir. Bunlardan Devoniyen yaşlı İsalı formasyonunu oluşturan kaya türleri genellikle metamorfizmaya uğramış olmaları nedeniyle organik jeokimyasal özellikleri açısından incelemeye değer görülmemiştir. Karbonifer yaşlı Çelmeliler formasyonu ile Permiyen yaşlı Karadağ kireçtaşı tamamıyle sedimanter birimlerden oluşmakta ve oldukca geniş alanlarda yüzeylenmektedirler. Bu formasyonlarda organik maddece zengin seviyeler makroskobik olarak görülebilmektedir. Çelmeliler formasyonunun Erenler Tepe kesitinde, alt düzeylerde bol kırıklı ve kıvrımlı siyah şeyller yer almaktadır. Yine aynı formasyonun Bartlı ve İsalı kesitlerinde organik maddece zengin düzeylere rastlanılmıştır. Bu seviyelerden alınan kayaçların petrografik ince kesit incelemelerinde organik maddelerin kırık ve çatlaklar ile damarlar boyunca, ya da kayaç içerisinde lekeler şeklinde yeraldığı görülmüştür. Aynı şekilde Karadağ kireçtaşında da organik maddece zengin seviyeler izlenmiştir. Kuruçay Yayla kesitinin alt ve orta düzeylerinde koyu gri ve siyahımsı renklerde kireçtaşlarının varlığı saptanmıştır. Buradan alınan örneklerin ince kesitlerinde yapılan mikroskopik incelemelerde kırık ve çatlak dolguları şeklinde, ya da kalsit damarlarına paralel olarak gelişen boşluklarda organik madde dolguları izlenmiştir. Yukarıdaki belirtilen özelliklerine göre Çelmeliler formasyonu ve Karadağ kireçtaşı organik jeokimyasal özellikleri açısından incelenmeye uygun görülmüştür. Bu nedenle bu iki formasyon üzerinde organik jeokimyasal ve mikroskopik çalışmalar yoğunlaştırılmıştır.

**Laboratuvar İncelemeleri**

Son yıllarda araştırmacılar (Thomas, 1979; Kraus ve Parker, 1979; Tissot ve Welte, 1984) organik maddenin termal olgunlaşması, miktarı

ve niteliği gibi köken kaya özelliklerini tanımlamak için bazı organik jeokimyasal analizler yapmışlardır. Laboratuvar sonuçları ve saha verileri birlikte ele alınarak, havzanın organik oluşum süreci ve fasiyes çeşitleri ile buna bağlı olarak hidrokarbon varlığı yönünden değerlendirme yapılmıştır. Bu amaçla kayaç içerisindeki organik madde miktarı, türü ve termal gelişimine ilişkin jeokimyasal analizler ile optik mikroskopik çalışmalar yapılmıştır. Organik madde miktarının tayini için Toplam Organik Karbon (TOC) ölçümü, organik madde türü ve gelişimi için Rock-Eval pirolizi ile olgunlaşma belirlemesi için vitrinit yansıma değerlerinin ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Mikroskopik verilerin elde edilebilmesi için yoğunlaştırılmış organik maddelerden kerojen slaytı hazırlanmış, spor renk indeksleri ve organik madde türlerinin belirlenmesi için incelenmiştir.

Toplam organik karbon ve Rock-Eval piroliz çalışmaları Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Jeokimya Laboratuvarları (Ankara) ile Geochem Laboratuvarlarında (Chester-İngiltere), vitrinit yansıması ölçümleri Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarlarında, diğer analizler ise Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakül-tesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarlarında yapılmıştır.

## Toplam Organik Karbon

Ekonomik bir hidrokarbon birikiminin sağlanabilmesi için kayaç içerisinde % 0.5'den daha fazla toplam organik karbon miktarı olmalıdır (Thomas, 1979; Kraus ve Parker, 1979). Ancak Tissot ve Welte (1984) bu sınırın karbonat kayalarında % 0.3'e, Magara (1991) ise klastik kayaçlarda % 0.4'e kadar inebileceğini belirtmektedir. Kayaç içerisindeki organik madde miktarının belirlenebilmesi için toplam organik karbon analizi yapılır. Bu analizler ise kimyasal yöntemlerle, ya da bu amaçla geliştirilmiş çeşit-li aletler yardımıyla gerçekleştirilir. Bu çalışma kapsamında, toplam organik karbon ölçümlerinde amaca uygun birimlerden alınan ölçülü dikme kesit örnekleri kullanılmıştır.

Karbonifer yaşlı Çelmeliler Formasyonundan alınan 27 adet örnekte toplam organik karbon değerleri ölçülmüştür (Çizelge 1). Elde edilen sonuçlar dikme kesitler boyunca toplam organik karbon dağılım eğrileri şeklinde gösterilmiş ve organik madde zenginliği açısından formasyonun farklı düzeylerindeki değişimleri ifade edilmeye çalışılmıştır. Çelmeliler formasyonundan alınan örneklerin tamamında toplam organik karbon değeri % 0.5'ten daha düşüktür. Bartlı ölçülü dikme kesiti ile İsalı ölçülü dikme kesitlerinde çok daha fazla düşük toplam organik karbon değerlerine karşın (Şekil 5a, b), Kuruçay ölçülü dikme kesitinde bu değerler biraz daha yüksektir (Şekil 5c). Erenler Tepe mevkiinden alınan örneklerde ise % 0.48'e varan toplam organik karbon değerleri ölçülmüştür.

Karadağ formasyonunda da toplam organik madde içeriği Çelmeliler formasyonunda olduğu gibi düşüktür. Bu formasyonda en fazla % 0,18 toplam organik karbon değeri ölçülmüştür (bknz. Çizelge 1). Birimin değişik bölümlerinden alınan ölçülü dikme kesitlere ait kayaçların toplam organik karbon dağılımları Şekil 6'da gösterilmiştir. Buna göre Erenler Tepe ve Kuruçay Yayla dikme kesitlerinin tüm düzeylerinde organik madde miktarı son derece düşüktür (Şekil 6a, b). Bartlı ölçülü dikme kesitinin alt ve üst düzeylerinde de değerlerin çok düşük olmasına rağmen, orta düzeylerinde diğerlerine göre daha yüksek toplam organik karbon değerleri elde edilmiştir (Şekil 6c). Dikme kesitlerin toplam organik karbon dağlım eğrileri ile Çizelge 1'den de anlaşıldığı gibi, Karadağ kireçtaşı toplam organik madde miktarı açısından zayıftır.

## Rock-Eval Pirolizi Analizleri

Organik fasiyes çalışmalarında organik maddenin tür ve evriminin belirlenebilmesi için kullanılan en önemli yöntemlerden bir tanesi Rock-Eval pirolizleridir. Bu yöntemde öğütülmüş kaya örnekleri belli bir ısı programı altında ve oksijensiz ortamda parçalanmaktadır. Anılan çalışmalar sonucunda petrol ve gaz potansiyeli, organik maddenin tipi ve olgunluk derecesi hakkında bir fikir edinilir. Rock-Eval pirolizinde belirlenmeye çalışılan parametreler; serbest hidrokarbonlar (S1), kerojenin termal parçalanması sonucu ortaya çıkan hidrokarbonlar (S2), kerojenin içermiş olduğu karbondioksit ($CO_2$) ve S2'nin uç noktasındaki sıcaklık (Tmax) değerleridir.

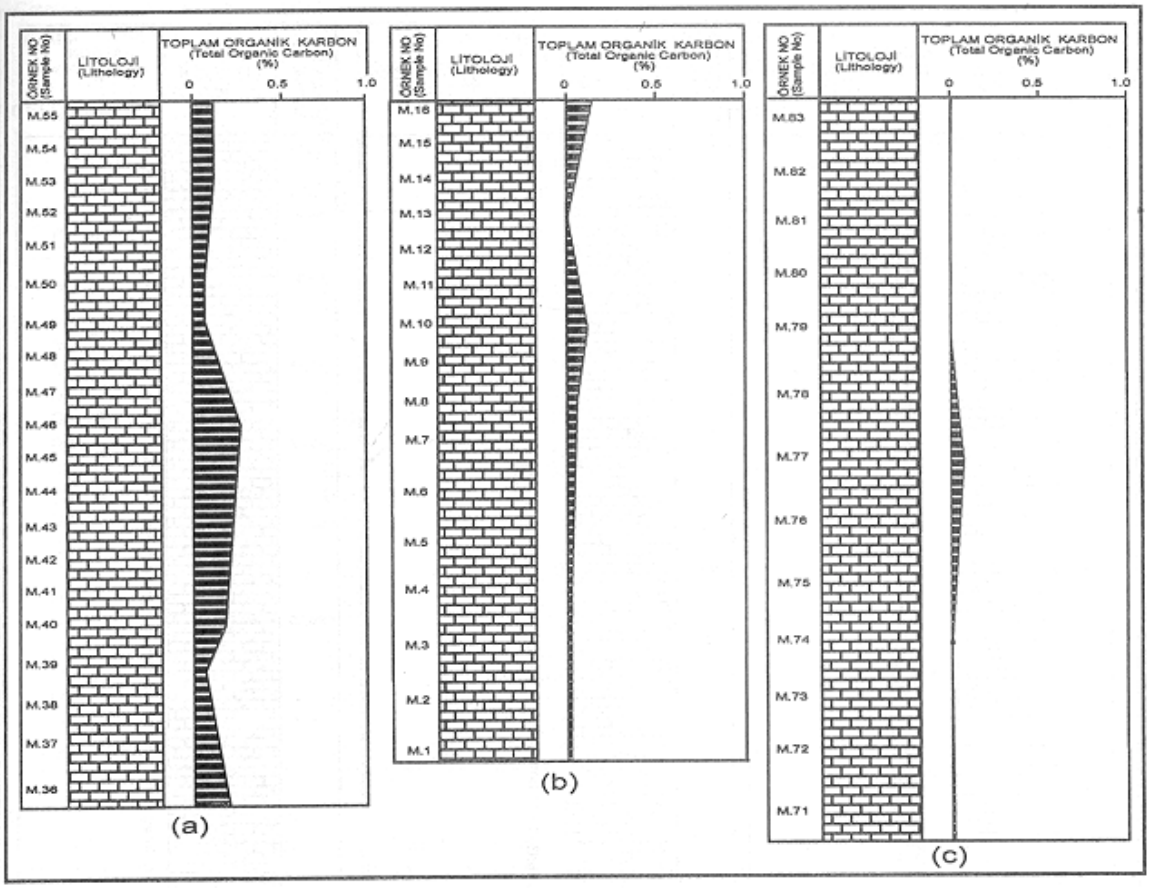
Çelmeliler formasyonundan 11, Karadağ formasyonundan ise 8 adet olmak üzere, toplam 19 adet örnekte Rock-Eval pirolizi

Çizelge 1. Karbonifer ve Permiyen yaşlı birimlerin Toplam Organik Karbon (TOK) değerleri
*Table 1. Total organic carbon (TOC) values of the Carboniferous and Permian aged units*

| Formasyon | Örnek No. | TOK (%) | Formasyon | Örnek No. | TOK (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Karadağ kireçtaşı | 96.28 | 0.01 | Çelmeliler formasyonu | 96.21 | 0.39 |
| | 96.29 | 0.01 | | 96.22 | 0.09 |
| | 96.30 | 0.06 | | 96.23 | 0.02 |
| | 96.32 | 0.03 | | 96.26 | 0 |
| | 96.34 | 0.03 | | M.1 | 0.01 |
| | 96.35 | 0 | | M.4 | 0.02 |
| | 96.36 | 0.03 | | M.8 | 0.05 |
| | M.17 | 0.01 | | M.10 | 0.12 |
| | M.19 | 0.13 | | M.13 | 0 |
| | M.23 | 0.18 | | M.16 | 0.13 |
| | M.25 | 0.09 | | M.36 | 0.18 |
| | M.29 | 0.18 | | M.39 | 0.02 |
| | M.32 | 0 | | M.40 | 0.17 |
| | M.58 | 0.04 | | M.46 | 0.23 |
| | M.61 | 0 | | M.49 | 0.03 |
| | M.62 | 0.06 | | M.50 | 0.04 |
| | M.64 | 0.15 | | M.53 | 0.11 |
| | M.65 | 0.06 | | M.72 | 0.01 |
| | M.67 | 0.04 | | M.74 | 0 |
| | M.68 | 0.03 | | M.77 | 0.07 |
| Çelmeliler formasyonu | 96.13 | 0.07 | | M.79 | 0.02 |
| | 96.15 | 0.25 | | M.80 | 0.02 |
| | 96.16 | 0.48 | | M.82 | 0 |
| | 96.18 | 0.06 | | | |

analizleri yapılmıştır. Bu analizler ile S1, S2, S3, Tmax, hidrojen indeksi (HI), oksijen indeksi (OI), üretim indeksi (PI) ve bazı örneklerde de kalıntı (rezidüel) karbon değerleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Analizi yapılan örneklerin büyük bir bölümünde S1 değerinin 0,02 mgHC/gTOC, S2 değerinin ise 0 olduğu görülmüştür (Çizelge 2). Bu sonuçlar örneklerdeki serbest hidrokarbonlar ve termal parçalanma sonucu oluşan hidrokarbonların çok fazla düşük olmalarından kaynaklanmaktadır. Analizler sırasında sıfıra çok yakın değerler sıfır olarak alınmıştır. Aynı örneklerde S2 değerlerinin düşüklüğüne bağlı olarak hidrojen indeksi (HI) değerleri de sıfır, üretim indeksi değerleri ise çoğunlukla 1 olarak elde edilmiştir. Hidrojen indeksi (HI) ve S2 değerleri sıfır olan tüm bu örneklerdeki organik maddeler kalıntı (rezidüel) ürünüdür. Bunların kalıntı organik maddeler olması nedeniyle Tmax değerleri de bulunamamıştır.
Hem Çelmeliler, hem de Karadağ formasyonlarından rock-eval pirolizi yapılan 4 örneğin analiz sonuçları, düşük de olsa, yukarıda belirtilenlere göre daha yüksek değerler içermektedir (bknz. Çizelge 2). Bu örneklerde düşük S2, hidrojen indeksi (HI), üretim indeksi ve Tmax değerleri elde edilmiştir. Hidrojen indeksi (HI) ve oksijen indeksi (OI) değerlerine göre rock-eval pirolizi yapılan örnekler 3.tip ve 4. tip kerojenlerden meydana gelmişlerdir. Bazı örneklerde oksijen indeksi değerlerinin çok yüksek olması bu örneklerin çok fazla oranda oksidasyona uğradığını göstermektedir. Organik madde içeriğinin de son derece düşük oluşu, yukarıda bahsedilen örneklerden hidrokarbon oluşumunun zorluğuna işaret eder. Rock-Eval pirolizi değerlerine göre bir kayanın hidrokarbon anakayası olabilmesi için S1+S2 değerlerinin en az 2 kg/ton olması gerekmektedir (Tissot ve Welte, 1984). Ancak analizi yapılan örneklerin hiçbirinde bu değere yaklaşılamamıştır (bknz. Çizelge 2). Bu nedenle hem Çelmeliler Formasyonunun hem de Karadağ kireçtaşının petrol ve gaz için anakaya olamayacakları ortaya çıkmaktadır. Analizlerden elde edilen Tmax verilerine göre de ana kayanın ısısal gelişimi hakkında fikir vermek oldukca zordur. Çünkü birçok örnekte Tmax değeri sıfır olarak bulunmuş, bazılarında da 382-432$^{o}$C arasında sonuçlar elde edilmiştir. Bunlar, geç diyajenez ile katajenez evrelerine karşılık gelmektedirler.

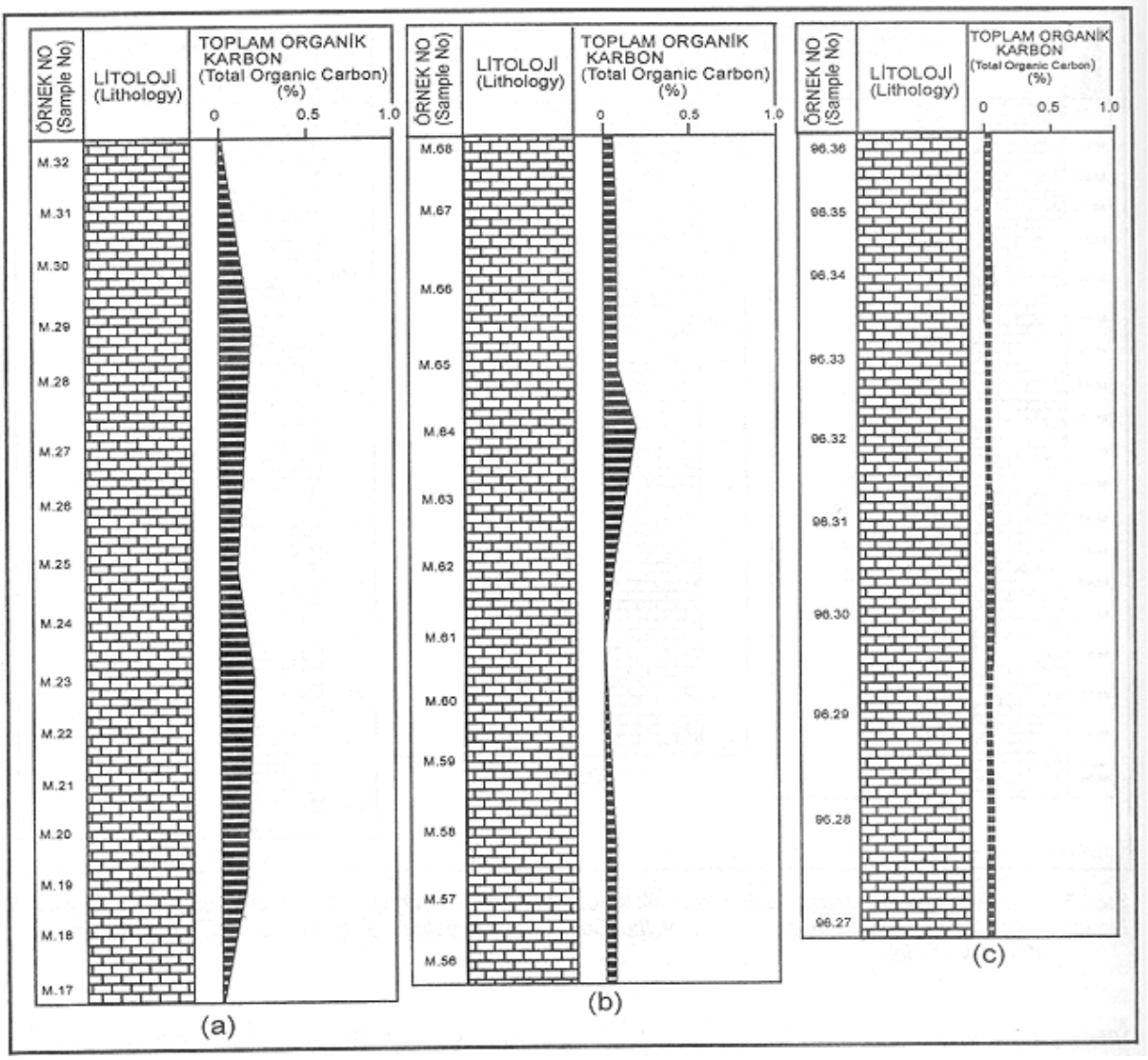



Şekil 5. Çelmeliler formasyonunun toplam organik karbon dağılımı, a- Bartlı kesiti, b- İsalı kesiti, c- Kuruçay kesiti
*Figure 5. Total organic carbon distribution of the Çelmeliler Formation, a- Bartlı section, b- İsalı section, c- Kuruçay section*

**Vitrinit Yansıması**

Tissot ve Welte (1984), ana kayaçları vitrinit yansıması (Ro) değerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırmıştır. Yansıma değeri % 0-0.5 arasında olanlar diyajenez aşamasında olgunlaşmamış ana kayaçlar, % 0.5-2 arasında olanlar katajenez aşamasında olgun (petrol üreten) ana kayaçlar ve % 2-4 arasında olanlar da metajenez aşamasında aşırı olgun (yalnızca kuru gaz üreten) ana kayaçlardır. Wapples (1988) ise; vitrinit yansımasının % 0.5-1.35 değerlerinde petrol oluşumunun gerçekleştiğini, % 2'ye kadar ıslak gazların oluştuğunu, % 3 yansıma değerine kadar da kuru gazların meydana geldiğini açıklamaktadır. Baskin (1997)'in sınıflamasında vitrinit yansımasının % 0.60'dan düşük değerleri olgunlaşmamış, % 0.60-0.90 arasındaki değerleri olgunlaşma başlangıcı, % 0.90-1.20 arasındaki değerleri olgun ve % 1.20'den daha büyük değerleri ise aşırı olgun ana kayaçları göstermektedir.

Karbonifer yaşlı Çelmeliler formasyonundan toplam 17 adet örnekte vitrinit yansıması değeri ölçülebilmiştir. Parlatılmış kesitlerde taşınmamış vitrinitlerde belirlenen değerler % 1.86-2.42 arasında değişmektedir (Çizelge 3). İnceleme alanının batısındaki yüzleklerinden Kuruçay kesitinde ortalama % 2.19 vitrinit yansıması ölçümleri elde edilirken (Şekil 7a), kuzey ve doğuya doğru olan yüzleklerinden Bartlı kesitinde ortalama % 2.22 (Şekil 7b), İsalı kesitinde de ortalama % 2.27 (Şekil 7c) vitrinit yansıması değerleri elde edilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar dikme kesitler üzerine işaretlendiğinde, birimin farklı düzeylerinde fazla değişikliklerin olmamasına karşın, az da olsa, tavandan tabana doğru yükselen değerlerin olduğu söylenebilir. Tüm bu değerlerin ortalaması ise % 2.21'dir. Bu sonuçlar, hem Tissot ve Welte (1984)




Şekil 6. Karadağ kireçtaşının toplam organik karbon dağılımı, a- Erenler Tepe kesiti, b- Kuruçay Yayla kesiti, c- Bartlı kesiti

*Figure 6. Total organic carbon distribution of the Karadağ limestone. a- Erenler Tepe section, b- Kuruçay Yayla section, c- Bartlı section*

hem de Wapples (1988)'ın sınıflamasında kuru gaz oluşumlarının gerçekleştiği termal olgunluk aşamasına işaret etmektedir. Rock-Eval pirolizi ile mikroskobik çalışmalardan çıkarılan sonuçlara göre formas-yona ait organik maddelerin 3. tip kerojenlerden oluştuğu düşünülürse ve vitrinit yansıması so-nuçları da dikkate alınıp Tissot ve Welte (1984)' nin diyagramına uygulanırsa bunların kuru gaz zonu içinde yer aldıkları görülür (Şekil 8).

Karadağ kireçtaşında toplam 16 örnekte vitrinit yansıması değeri elde edilmiştir (bknz. Çizelge 3). Kuruçay Yayla ölçülü dikme kesitinde ortalama % 0.93 (Şekil 9a), Bartlı ölçülü dikme kesitinde, bir örnek hariç tutulursa, ortalama % 1.15 (Şekil 9b) ve Erenler Tepe ölçülü dikme kesitinde ortalama % 1.18 vitrinit yansıması değerleri ölçülmüştür (Şekil 9c). Tüm bu değerlerin ortalaması ise % 1.16' dır. Stratigrafik dikme kesitlerin yerleri ve elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiği zaman, inceleme alanının kuzeybatısından güneydoğusuna doğru vitrinit yansıması değerlerinde bir artışın olduğu söylenebilir. Herbir dikme kesitte birimin tavanından tabanına doğru yansıma değerleri

Çizelge 2. Rock-Eval Pirolizi sonuçları, TOC= Toplam organik karbon (%), S1= Kaya içindeki serbest hidrokarbonlar (mg HC/gTOC), S2= Kerojenin termal parçalanması sonucu oluşan hidrokarbonlar (mgHC/gTOC), S3=$CO_2$ miktarı (mg$CO_2$/gTOC), HI=Hidrojen indeksi (mgHC/gTOC), OI=Oksijen indeksi (mg$CO_2$/gTOC), PI= Üretim indeksi (mgHC/gTOC), RC= Kalıntı karbon (%)

*Table 2. Rock-Eval pyrolysis results, TOC= Total organic carbon (%), S1= Already - existing hydrocarbon in rock (mgHC/gTOC), S2=Hydrocarbon generated from the thermal breakdown of kerogen (mgHC/gTOC), S3= $CO_2$ value (mg$CO_2$/gTOC), HI= Hydrogen index (mgHC/gTOC), OI= Oxygen index (mgCO2/gTOC), PI= Production index (mgHC/gTOC), RC= Rezidual carbon (%)*

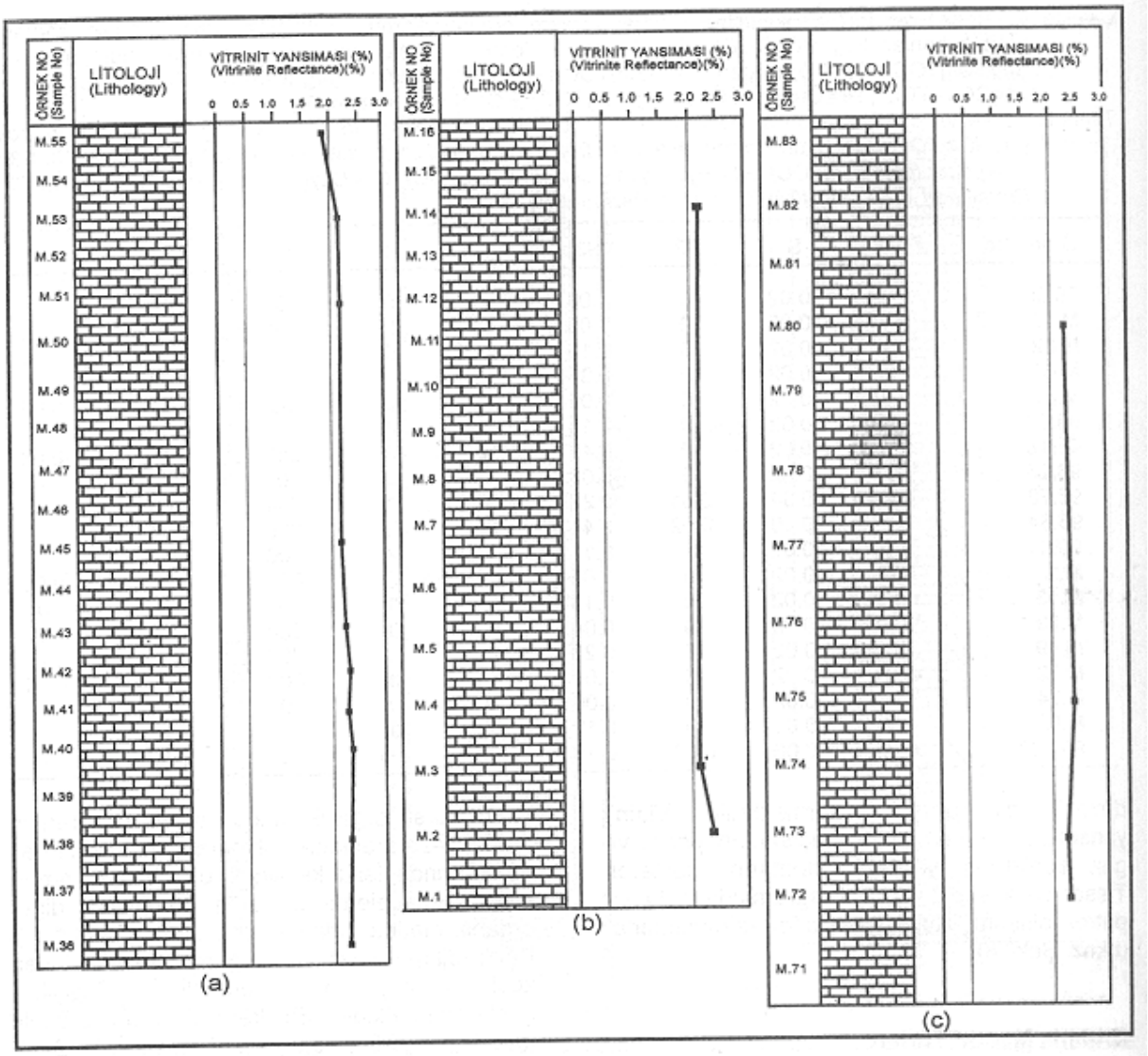
| Örnek No. | TOC | S1 | S2 | S3 | $T_{max}$ | HI | OI | PI | RC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 96.35 | 0 | 0.02 | 0 | 0.08 | - | 0 | 0 | 1 | - |
| M.17 | 0.01 | 0.02 | 0 | 0.05 | - | 0 | 500 | 1 | 0.01 |
| M.32 | 0 | 0.02 | 0 | 0.13 | - | 0 | 0 | 1 | - |
| M.61 | 0 | 0.02 | 0 | 0.31 | - | 0 | 0 | 1 | - |
| M.67 | 0.04 | 0.02 | 0 | 0.09 | - | 0 | 225 | 1 | 0.04 |
| 96.13 | 0 | 0.02 | 0 | 0.13 | - | 0 | 257 | 1 | - |
| 96.18 | 0.06 | 0.02 | 0 | 0.41 | - | 0 | 683 | 1 | 0.06 |
| 96.26 | 0 | 0.02 | 0 | 0.03 | - | 0 | 0 | 1 | - |
| 96.78 | 0.09 | 0.04 | 0.01 | 0.22 | 432 | 11 | 244 | 0.8 | - |
| 96.84 | 0.07 | 0.06 | 0.02 | 0.44 | 385 | 29 | 629 | 0.75 | - |
| 96.91 | 0.16 | 0.07 | 0 | 0.17 | - | - | 106 | 1 | - |
| M.1 | 0.01 | 0.02 | 0 | 0.06 | - | 0 | 600 | 1 | 0.01 |
| M.13 | 0 | 0.02 | 0 | 0.13 | - | 0 | 0 | 1 | 0 |
| M.39 | 0.02 | 0.02 | 0 | 0.04 | - | 0 | 200 | 1 | 0.02 |
| M.49 | 0.03 | 0.02 | 0 | 0.23 | - | 0 | 766 | 1 | 0.03 |
| M.72 | 0.01 | 0.02 | 0 | 0.08 | - | 0 | 800 | 1 | 0.01 |
| M.74 | 0 | 0.02 | 0 | 0.06 | - | 0 | 0 | 1 | - |
| M.82 | 0 | 0.02 | 0 | 0.12 | - | 0 | 0 | 1 | - |
| 96.182 | 0.81 | 0.08 | 0.07 | 0.18 | 382 | 8.6 | 22 | 0.53 | - |

düzenli bir artış göstermektedir. Vitrinit yansıması ve kerojen tipi açısından petrol ve gaz zonlarının yaklaşık sınırlarını gösteren Tissot ve Welte (1984) diyagramında noktalar petrol oluşum zonu içerisinde kalmaktadırlar (bknz. Şekil 8).

## Organik Madde Türleri

Çelmeliler formasyonundan alınan 25 örnekte organik yoğunlaştırma işlemleri yapılarak kerojen slaytları hazırlanmıştır. Belirlenen organik madde türleri dikme kesitler üzerinde yüzdelerine göre işaretlenmiş ve bolluk dereceleri şekillerle ifade edilmiştir. Formasyondan alınan her üç kesitte de egemen organik madde türü amorftur. İsalı kesitinde amorf organik madde miktarı % 65-75, otsu organik madde % 5-10 arasında, odunsu organik madde % 5-15 ve kömürsü organik madde de % 10-15 arasındadır (Çizelge 4). Bu kesitte orta ve üst düzeylerdeki organik madde türlerindeki oranlar önemli bir değişiklik göstermezken, alt düzeylerde amorf organik madde türü diğer düzeylere göre biraz daha fazladır (Şekil 10a). Kuruçay dikme kesitinde amorf organik madde % 70-90, otsu organik madde % 2-5, odunsu organik madde % 2-10 ve kömürsü organik madde türündeki oranları da % 3-25 arasında bulunmaktadır. Kesitin alt düzeylerinde İsalı kesitinde olduğu gibi amorf organik madelerde bir artış görülürken diğer organik madde türleri azalmaktadır (Şekil 10b). Bartlı dikme kesitinde organik madde türleri kesit boyunca önemli değişiklik göstermemektedir. Bu kesitte amorf organik madde % 55-85, otsu organik madde % 2-10, odunsu organik madde % 2-25 ve kömürsü organik madde türü de % 3-15 arasındadır (Şekil 10 c).

Karadağ formasyonundan alınan örneklerde yapılan organik yoğunlaştırma çalışmaları sonucunda, 18 adet kerojen slaytı hazırlanmış ve organik madde türleri belirlenmiştir. Erenler Tepe kesitinde amorf organik madde türü % 70-90 arasındadır. Amorf organik maddeler bu kesitin üst düzeylerinde % 70 dolayında alt düzeylerinde % 90 oranında görülmektedirler (Şekil 11a). Erenler Tepe dikme kesitinde otsu organik madde türü son derece düşük oranlardadır. Yalnızca bir örnekte % 25'lik bir miktar belirlenmiş olmasına rağmen dikme kesit boyunca alınan diğer örneklerde en fazla % 5 değeri bulunmuştur. Odunsu organik maddenin oranı % 5-20 arasında değişmektedir. Kömürsü organik madde oranları da son derece düşüktür.

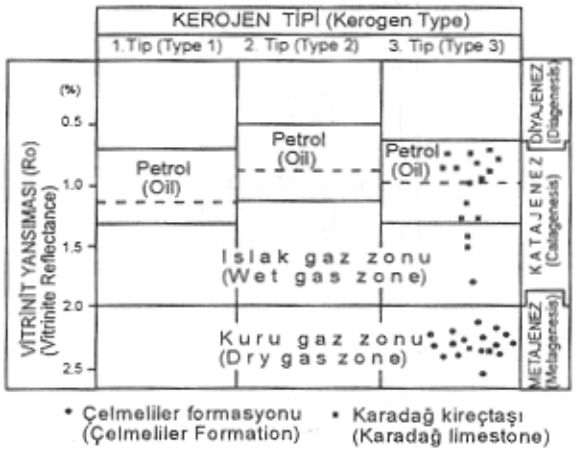



Şekil 7. Çelmeliler formasyonunun vitrinit yansıması dağılımı, a- Kuruçay kesiti, b- Bartlı kesiti, c- İsalı kesiti
*Figure 7. Vitrinite reflection distribution of the Çelmeliler Formation, a- Kuruçay section, b- Bartlı section, c- İsalı section*

Birçok örnekte kömürsü organik maddeler yok denecek kadar azdır. Birkaç tanesinde % 5'lik oranlar bulunmuştur. Kuruçay Yayla dikme kesitinde amorf organik madde miktarı % 60-85 arasındadır. Kesitin üst düzeylerinde daha yüksek, alt düzeylerinde ise daha düşük amorf organik madde türü değerleri yer almaktadır (Şekil 11b). Otsu organik maddeler kesit boyunca % 5'lik bir oranda dağılım gösterirken, yalnızca bir örnekte % 20 değeri elde edilmiştir. Bu kesitte odunsu organik maddeler % 5-20 arasında değişirken, kömürsü organik maddeler de % 5-15 arasında bulunmaktadır. Bu son iki organik madde türünde dikme kesit boyunca belirgin farklılıklar yoktur. Karadağ formasyonunun Bartlı ölçülü dikme kesitinde, diğer kesitlerde olduğu gibi egemen organik madde türü amorf olanlardır. Bunların oranı % 70-85 arasında gözlenir. Amorf organik maddeler dikme kesitin alt düzeylerine doğru düzenli bir artış gösterirler (Şekil 11c). Bu kesitte otsu organik maddeler % 2-5, odunsu organik maddeler ise % 3-10 arasındadır. Kömürsü organik maddelerin de % 10-15 değiştiği belirlenmiştir. Son üç organik madde türünün dağılımı Bartlı dikme kesiti boyunca fazla değişiklik göstermemektedir.

Çizelge 3. Vitrinit yansıması sonuçları (Ro)
*Table 3. Vitrinite reflectance results (Ro)*

| Formasyon | Örnek No. | Vitrinit Yansıması (%) | Formasyon | Örnek No. | Vitrinit Yansıması (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | M.18 | 2.32 | | M.2 | 2.42 |
| | M.22 | 1.33 | | M.3 | 2.14 |
| | M.23 | 0.78 | | M.14 | 2.11 |
| | M.24 | 2.31 | | M.36 | 2.24 |
| | M.29 | 0.66 | | M.38 | 2.24 |
| | M.30 | 0.64 | | M.40 | 2.31 |
| | M.57 | 1.24 | | M.41 | 2.24 |
| Karadağ | M.60 | 1.03 | Çelmeliler | M.42 | 2.28 |
| kireçtaşı | M.61 | 0.90 | formasyonu | M.43 | 2.22 |
| | M.64 | 0.81 | | M.45 | 2.15 |
| | M.67 | 0.66 | | M.51 | 2.16 |
| | 96.32 | 1.52 | | M.53 | 2.15 |
| | 96.42 | 1.41 | | M.55 | 1.86 |
| | 96.43 | 1.30 | | M.72 | 2.30 |
| | 96.46 | 0.87 | | M.73 | 2.27 |
| | 96.50 | 0.81 | | M.75 | 2.31 |
| | | | | M.80 | 2.21 |



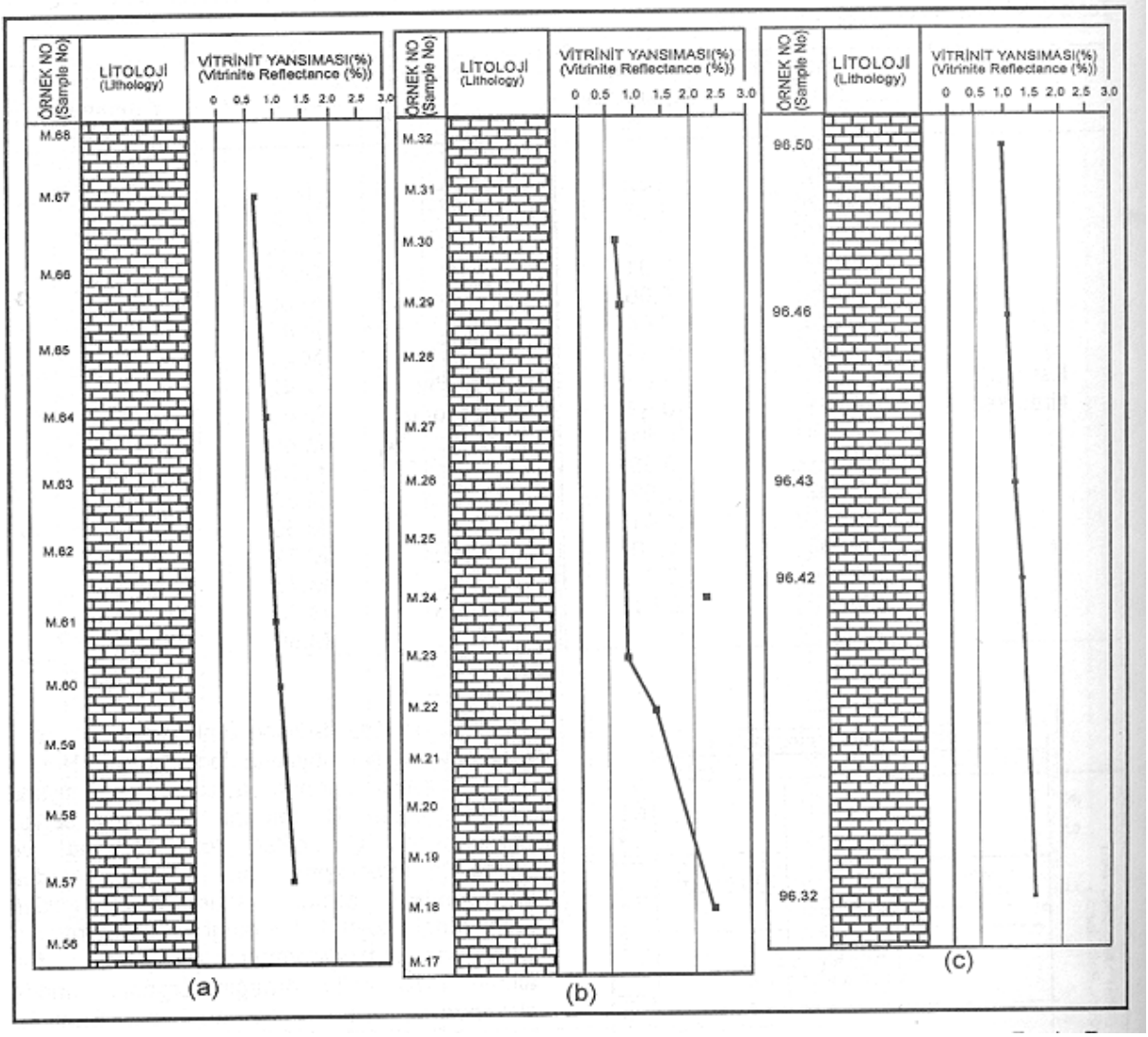

Şekil 8. Vitrinit yansıması ve kerojen tipi açısından petrol ve gaz zonlarının yaklaşık sınırları (Tissot ve Welte, 1984)

*Figure 8. Approximate boundaries of the oil and gas zones in term of vitrinite reflectance and kerogen type (Tissot and Welte, 1984)*

Derinlik artışı ile birlikte ısı artışının olması organik maddeler ve spor-polenlerin renklerinde değişime neden olmaktadır. Alttan aydınlatmalı mikroskopta gözlenen bu renk değişimleri bir olgunlaşma parametresi olarak kullanılmaktadır. Staplin (1975) polinomorf renk değişimleri için ilk olarak renk - sayı ölçeği ortaya koymuş, sarı ile siyah arsında değişen renk tonlarını 1 ile 4 arasında değişen sayılarla ifade etmiştir. Harput (1987), çalışmalarında açık sarıdan siyaha kadar değişen 10 rakamlı renk-sayı cetveli geliştirmiştir. Çelmeliler formasyonuna ve Karadağ kireçtaşına ait organik madde slaytlarında termal alterasyon renkleri kahverengi, koyu kahverengi ve siyahımsıdır. Çelmeliler formasyonunun İsalı tip kesitinden alınan M76 no'lu örneğin organik madde slaytında kırmızımsı kahverengi spor, Bartlı tip kesitinden alınan M7 ve M8 no'lu örneklerin organik madde slaytlarında ise koyu kahverengi ve siyahımsı sporlar görülmüştür. Karadağ kireçtaşının Kuruçay Yayla tip kesitinden alınan M17 ve M18 no'lu örneklerin organik madde slaytlarında da siyahımsı renklerde sporlar bulunmuştur (Özçelik ve Altunsoy, 1998). Yukarıda belirtilen termal alterasyon ve spor renkleri hem Çelmeliler formasyonunun, hem de Karadağ kireçtaşının termal olarak olgunlaştığını göstermektedir.

**Kil Minerali Çalışmaları**

Organik jeokimyasal çalışmaları desteklemek amacıyla kil minerali incelemelerinin sonuçlarından da yararlanılmıştır. Bazı kil minerali çeşitleri sıcaklığa karşı oldukca hassas davranışlar sergiler. Özellikle simektit grubu



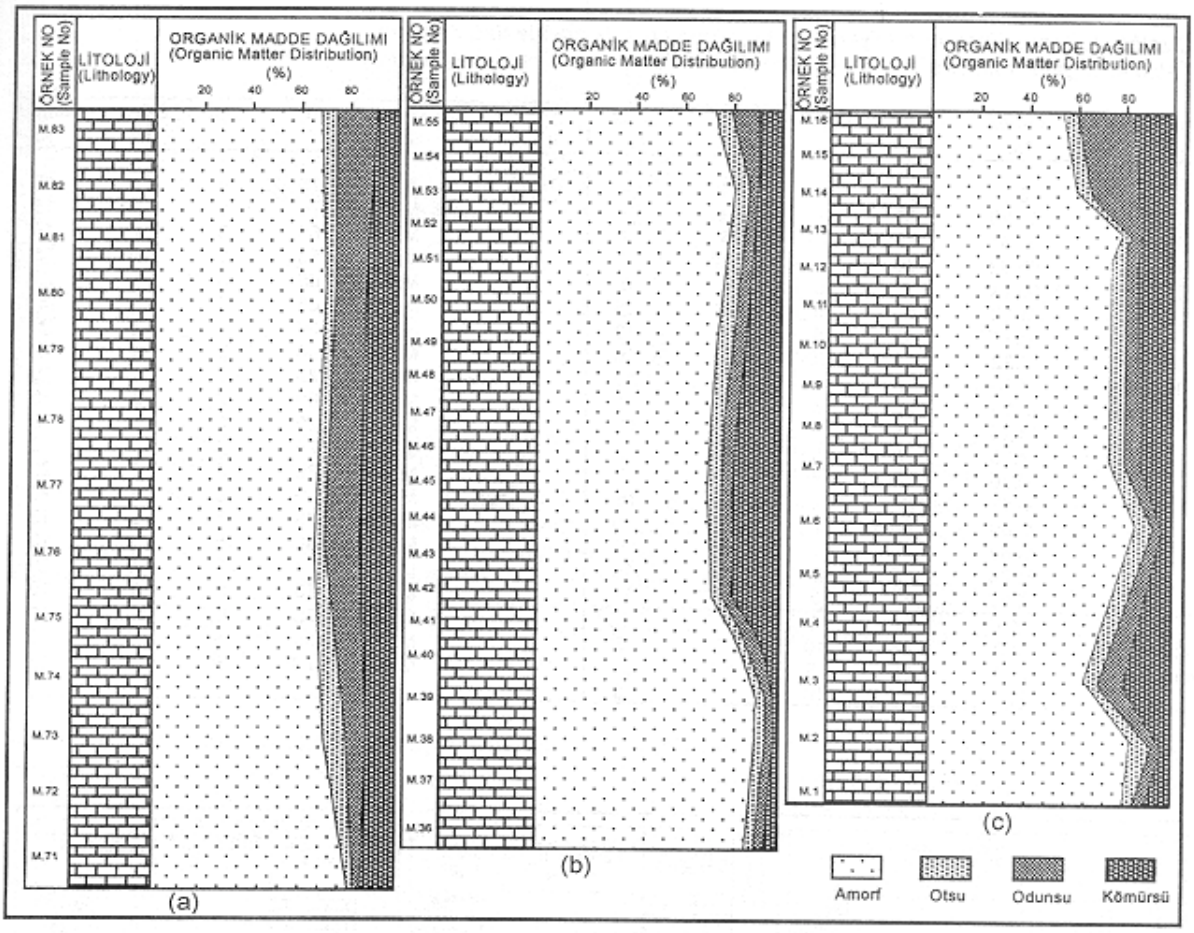

Şekil 9. Karadağ kireçtaşının vitrinit yansıması dağılımı, a- Kuruçay Yayla kesiti, b- Bartlı kesiti, c- Erenler Tepe kesiti

*Figure 9. Vitrinite reflectance distribution of the Karadağ limestone, a- Kuruçay Yayla section, b- Bartlı section, c- Erenler Tepe section*

sıcaklığın ve derinliğin artışına paralel olarak bünyesindeki tabakalar arası suyu kaybetmekte ve zamanla illite dönüşmektedir. Smektitin illite dönüşüm sıcaklığı, hidrokarbon oluşum zonu olan 60-150$^{o}$C arasındaki bir ısıya karşılık gelir (Burst, 1969; Weaver ve Beck, 1971).

Organik maddenin termal olgunluk derecesinin belirlenmesinde kullanılan diğer bir kil minerali çalışması da illit kristallik derecesidir. Bunun için illitlerin diyajenetik olması ve gömülme derinliğine bağlı olarak düzenli bir yapıda bulunmaları gerekir.

Çelmeliler formasyonu genel olarak karbonat litolojilerinden oluşmasına rağmen çok az da olsa killi düzeyleri de içermektedir. Bozkaya ve Yalçın (1997) ile Yalçın (1997) tarafından bu formasyonun kil minerali parajenezleri belirlenmiştir. Bu kil minerali parajenezleri illit, illit-simektit, simektit-klorit, klorit-vermikülit ve kaolinitlerden oluşmaktadır. Çelmeliler formasyonunun alt düzeylerinden üst düzeylerine doğru gidildiğinde illit ve illit-simektit miktarı azalırken klorit, klorit-simektit ve klorit-vermikülit miktarı artmaktadır (Yalçın, 1997). Karadağ formasyonunda da Çelmeliler formasyonunda gözlenen benzer kil minerali parajenezleri bulunmaktadır.




Şekil 10. Çelmeliler formasyonunun organik madde türü dağılımı, a- İsalı kesiti, b- Kuruçay kesiti, c- Bartlı kesiti
*Figure 10. Organic matter type distribution of the Çelmeliler Formation, a- İsalı section, b- Kuruçay section, c- Bartlı section*

Bunlar; illit, illit-simektit, klorit, simektit-klorit ve kaolinit kil minerali parajenezleri şeklinde sıralanmaktadır (Yalçın, 1997).

Bozkaya ve Yalçın (1997) tarafından illitler üzerinde yapılan illit kristallik derecesi belirlemelerinde Çelmeliler formasyonu için ortalama 0.84, Karadağ kireçtaşı için ortalama 0.94 sonuçları bulunmuştur. Bu sonuçlar Kübler indeksine göre diyajenetik bir zonu temsil etmektedir. Ancak petrol oluşum zonlanmasında katajenez-metajenez evresine karşılık geldiği görülmektedir.

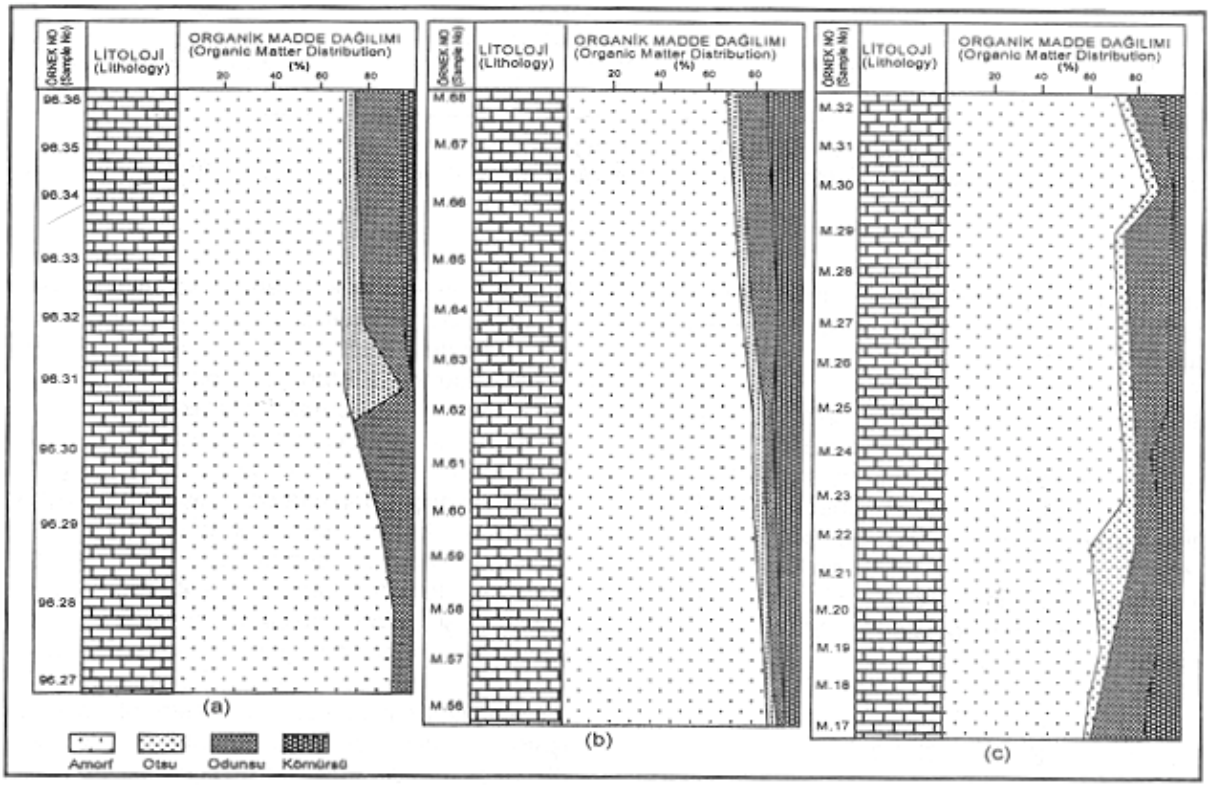
## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Çelmeliler formasyonu, organik madde içeriği açısından son derece zayıftır (% 0.01 - 0.28). Formasyondan alınan örneklerin makroskobik görüntüleri ve petrografik ince kesit incelemelerinde organik madde izlerinin önemli miktarlarda olmasına rağmen, laboratuvar analizlerinde bunların ortalama % 0.06 toplam organik karbon miktarı gibi çok düşük oranları saptanmıştır. Makroskobik olarak görülebilen bu izlerin büyük bir bölümünün rezidüel karbondan oluştukları (% 0.01 - 0.06) çeşitli organik jeokimyasal çalışmalarla da ortaya konulmuştur. Genellikle ince taneli organik maddelerin egemen olduğu, bunun yanında taşınmış tanelerin de yer aldığı 3. ve 4.tip kerojenler belirlenmiştir. Formasyona ait örneklerin vitrinit yansıması sonuçları genel olarak % 2'nin üzerindedir (bknz. Çizelge 3). Bu sonuçlar metajenez aşamasında olan aşırı olgun zona işaret etmektedir. İllit kristallik derecesi ölçümlerinde de 0.84 mm değeri bulunmuştur (Bozkaya ve Yalçın, 1997). Bu değer, diğer organik jeokimyasal sonuçları desteklemektedir.

Organik jeokimyasal çalışmaların yapıldığı birimlerin içerdikleri toplam organik madde ile

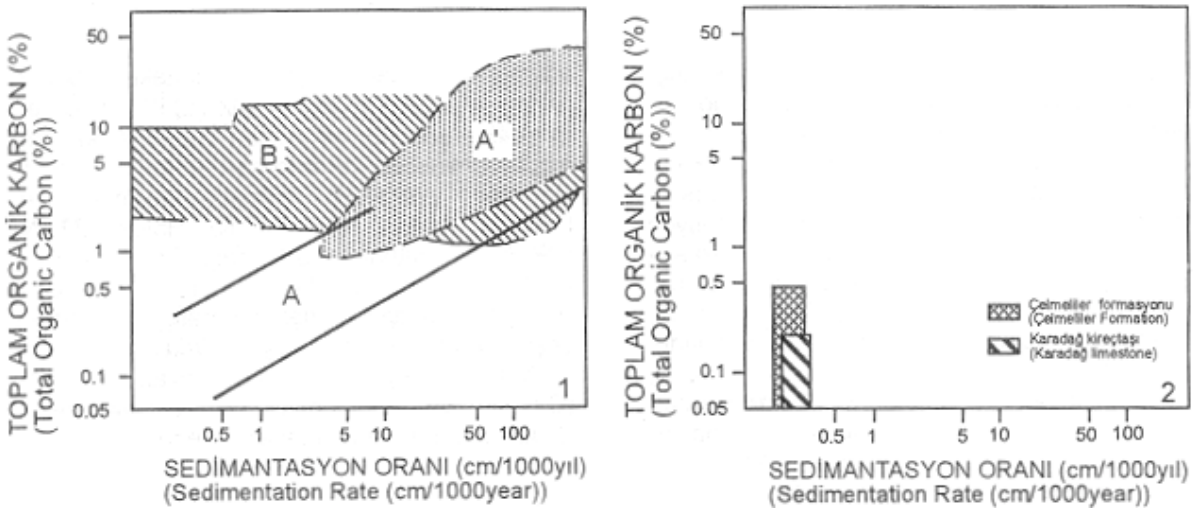
Çizelge 4. Karbonifer ve Permiyen yaşlı birimlerin organik madde türü dağılımı
*Table 4. Organic matter distribution of the Carboniferous and Permian aged units*

| | Örnek No. | Amorf | Otsu | Odun-su | Kömür-sü |
|---|---|---|---|---|---|
| Karadağ kireçtaşı | 96.23 | 90 | - | 10 | - |
| | 96.29 | 85 | - | 15 | - |
| | 96.31 | 70 | 25 | 5 | - |
| | 96.32 | 70 | 5 | 20 | 5 |
| | 96.34 | 70 | 5 | 20 | 5 |
| | M.18 | 60 | 5 | 20 | 15 |
| | M.19 | 65 | 5 | 20 | 10 |
| | M.22 | 60 | 20 | 10 | 10 |
| | M.23 | 75 | 5 | 10 | 10 |
| | M.24 | 75 | 5 | 5 | 15 |
| | M.25 | 75 | 5 | 10 | 10 |
| | M.29 | 70 | 5 | 20 | 5 |
| | M.30 | 85 | 5 | 5 | 5 |
| | M.57 | 85 | 2 | 3 | 10 |
| | M.60 | 80 | 5 | 5 | 10 |
| | M.62 | 80 | 2 | 3 | 15 |
| | M.64 | 75 | 5 | 10 | 10 |
| | M.67 | 70 | 5 | 10 | 15 |
| Çelmeliler formasyonu | M.1 | 80 | 5 | 5 | 10 |
| | M.2 | 85 | 10 | 2 | 3 |
| | M.3 | 65 | 5 | 10 | 20 |
| | M.6 | 85 | 10 | 2 | 3 |
| Çelmeliler formasyonu | M.7 | 75 | 5 | 5 | 15 |
| | M.12 | 75 | 5 | 5 | 15 |
| | M.14 | 60 | 5 | 20 | 15 |
| | M.16 | 55 | 5 | 25 | 15 |
| | M.17 | 60 | 5 | 10 | 25 |
| | M.37 | 85 | 5 | 5 | 5 |
| | M.38 | 90 | 5 | 2 | 3 |
| | M.39 | 90 | 2 | 3 | 5 |
| | M.40 | 85 | 2 | 3 | 10 |
| | M.41 | 80 | 2 | 8 | 10 |
| | M.42 | 70 | 2 | 3 | 25 |
| | M.43 | 75 | 2 | 3 | 20 |
| | M.45 | 70 | 5 | 5 | 20 |
| | M.47 | 70 | 5 | 5 | 20 |
| | M.49 | 75 | 5 | 5 | 15 |
| | M.53 | 80 | 5 | 5 | 10 |
| | M.55 | 75 | 5 | 10 | 10 |
| | M.72 | 75 | 5 | 5 | 15 |
| | M.73 | 70 | 10 | 10 | 10 |
| | M.76 | 65 | 5 | 15 | 15 |
| | M.80 | 70 | 5 | 10 | 15 |




Şekil 11. Karadağ kireçtaşının organik madde türü dağılımı, a- Erenler Tepe kesiti, b- Kuruçay Yayla kesiti, c- Bartlı kesiti

*Figure 11. Organic matter type distribution of the Karadağ limestone, a- Erenler Tepe section, b-Kuruçay Yayla section, c- Bartlı section*

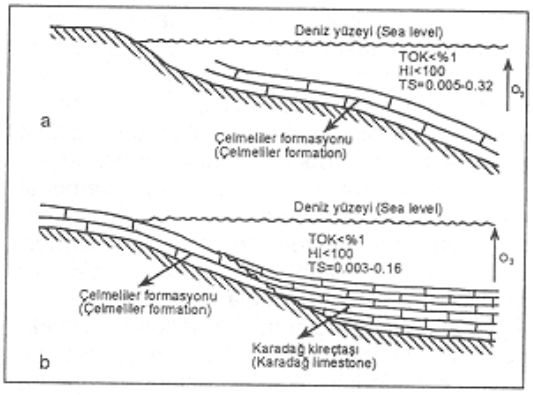



Şekil 12. Sedimantasyon oranı - Toplam organik karbon oranı arasındaki ilişki (Stein, 1986). 1-) A= Oksik ortam, A' = Yüksek organik üretkenlik ve yüksek sedimantasyon oranı ile karakterize olan ortam, B= Anoksik ortam. 2-) Çelmeliler formasyonu ve Karadağ kireçtaşının çökelme ortamları

*Figure 12. Correlation between sedimentation rate - Total organic carbon content (from Stein, 1986). 1-) A= Oxic environment, A' = Conditions of high organic productivity characterized by high total organic carbon values and high sedimentation rates, B= Anoxic environment. 2-) Depositional environments of the Çelmeliler Formation and Karadağ limestone.*

sedimantasyon oranları Stein (1986) tarafından geliştirilen modele uygulanmıştır (Şekil 12). Buna göre, Çelmeliler formasyonu düşük organik karbon ve düşük derecede sedimantasyon oranı ile karekterize olmaktadır. Formasyon, model üzerindeki konumuna göre yüksek organik üretkenlik ve anoksik ortamın çok uzağında bulunmaktadır. Oluşum ortamının paleocoğrafik koşullarını belirlemek amacıyla kullanılabilen bazı organik parametrelere göre, ortamın jeokimyasal karekteristiklerinin modelize edildiği enine kesit üzerinde (Şekil 13) gösterilmiş olup, çökelim alanındaki topografyanın değişkenlik göstermediği, su kolonunun yüksek olmadığı ve okside bir ortamın bulunduğu gözlenmiştir. Toplam organik karbon oranının % 1'den az, hidrojen indeksi değerinin 100 mgHC/gTOK'dan az, toplam sülfür değerinin % 0.05 - 0.32 arasındaki değişimi (Yalçın, 1997) ortamın derin olmayan, organik materyal gelintisinin az ve de deformasyon izlerinin yoğun olmadığı sonucunu verir. Yukarıda anlatılan organik jeokimyasal karekteristikler ve ortam koşulları Çelmeliler formasyonunun herhangi bir ekonomik potansiyel taşımadığını gösterir.

Karadağ kireçtaşında da organik madde miktarı düşüktür. Toplam organik karbon miktarı ölçümlerinde ortalama % 0.057'lik değer elde edilmiştir. Kalıntı karbon oluşumları Rock - Eval pirolizi çalışmalarına göre % 0.01 - 0.06, üretim indeksi (PI) ise 0.53 ile 1 arasında değişmektedir. Hidrojen indeksi belirlenen örneklerde bu değerlerin çok düşük oluşu buna karşın çok yüksek oksijen indeksi sonuçları 3. ve 4.tip kerojenlere işaret eder. Aynı şekilde kerojenin mikroskobik incelemeleri de benzer




Şekil 13. Çelmeliler formasyonu ve Karadağ kireçtaşının organik jeokimyasal karekteristiklerini gösteren basitleştirilmiş model kesiti. TOK= Toplam organik karbon (%), HI= Hidrojen indeksi (mgHC/gTOC), TS= Toplam sülfür (%), O= Oksijen

*Figure 13. Simplified model section of Çelmeliler Formation and Karadağ limestone showing organic geochemical characteristics. TOK= Total organic carbon (%), HI= Hydrogen index (mgHC/gTOC), TS= Total sulphur (%), O= Oxygen*

sonuçlar vermektedir. Vitrinit yansıması sonuçları derinlere doğru düzenli bir artış göstermektedir. Ölçülen değerler % 0.64-2.32 arasında olup, ortalama % 1.16'dır. Bu durum katajenez aşamasındaki olgun zona karşılık gelmektedir. İllit kristallik derecesi bu formasyon için ortalama 0.94 mm değerindedir (Bozkaya ve Yalçın, 1997). Bu sonuç katajenez aşamasındaki olgun zona işaret eder. Birim, TOK/sedimantasyon oranı diyagramı üzerinde, oksik ortam alanında kalmaktadır ve hidrokarbon üretimi için olumsuzluğu göstermektedir (Şekil 12). Jeokimyasal karekteristikler paleotopografyanın tek düze olduğu, su kolonunun yüksek olmadığı ve bol oksijenli sulu bir ortamı belirtir (Şekil 13). Bu özellikler Çelmeliler formasyonuna ait olanlar ile yaklaşık eşdeğerdedir. Organik materyal gelintisi düşük ve havzanın deformasyonu yoğun bir aktivite içinde değildir. Karadağ kireçtaşı, organik madde içeriği açısından zayıf, çeşitli organik maddelerin karışımından oluşan ve sıvı petrol oluşumlarının gerçekleştiği bir ısısal olgunluğa sahiptir. Ancak, organik madde miktarının azlığı ve içerdiği organik madde türleri formasyonun hidrokarbon oluşumları açısından herhangi bir ekonomik potansiyel taşımadığını gösterir.

Çelmeliler formasyonu ile Karadağ kireçtaşının bol kavkı izleri içermesi ve kayaçların gri, koyu gri ve siyaha varan renk tonlarına rağmen düşük TOK miktarı okside ortamı gösterir. Yüksek orandaki sülfür içeriği, Rock-Eval pirolizlerinde düşük hidrojen indeksi ve yüksek oksijen indeksine neden olabilmektedir. Ancak incelenen birimlerde düşük sülfür değerlerinin bulunması düşük toplam organik karbon sonucunu açıklamamaktadır. Bu durum karbonat matriks etkisini gündeme getirmektedir. Karbonat kayaçların kısmen de olsa kil içermesi durumunda gerek karbonat matriks, gerekse kil matriks adsorbsiyonu toplam organik karbon değerlerinin düşük çıkmasına neden olabilmektedir. Her iki formasyonda da toplam organik karbon değerlerinin % 0.5'in altında olması bu nedenlere bağlanabilir. S2 değerlerinin yeterli olmamasına ve TOK-S2 diyagramının oluşturulamamasına karşın, TOK ve S2 değerlerinden elde edilebilecek diyagrama ait noktaların regresyon eğrisinin uzağında yer alması mineral matriks etkisine bir kanıttır.

## KATKI BELİRTME

Yazar, Cumhuriyet Üniversitesi (C.Ü.) Araştırma Fonu tarafından desteklenen bu çalışmada, araştırmanın değişik bölümlerindeki katkıları nedeniyle Doç.Dr.Orhan ÖZÇELİK (C.Ü.)'e, Rock-Eval pirolizi ve toplam organik karbon analizlerinin yapılamasında yardımcı olan Dr.Peter WALKOO (Chester-İngiltere) ve H.İsmail İLLEEZ (TPAO) ile Haluk İZTAN (TPAO)'a, vitrinit yansıması ölçümlerinde yardmcı olan Doç.Dr.A.İhsan KARAYİĞİT (H.Ü.)'e, makalenin hazırlanması sırasındaki çeşitli yardımları nedeniyle Yrd.Doç.Dr. Işık YILMAZ (C.Ü.) ve Arş.Gör.Nazan YALÇIN (C.Ü.)'a ve ekonomik desteği nedeniyle C.Ü.Araştırma Fonuna teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

Ayyıldız, T. ve Sonel, N., 1992. Üzümdere-Akkuyu (Akseki-Antalya) civarının petrol ana kaya fasiyesleri ve petrol oluşumunun organik jeokimyasal yöntemlerle incelenmesi. Selçuk Üniversitesi Mimarlık - Mühendislik Fakültesi Dergisi, 7 (1-2), 18-30.

Baskin, D.K., 1997. Atomic H/C ratio of kerogen as an estimate of thermal maturity and organic matter conversion. American Association Petroleum Geologist Bulletin, 81 (9), 1437-1450.

Bozkaya, Ö. ve Yalçın, H., 1997. Bolkardağı Birliği (Orta Toroslar, Bozkır - Konya) Üst Paleozoyik - Alt Mesozoyik yaşlı diyajenetik - çok düşük dereceli metamorfik kayaçların mineralojisi ve petrografisi. Yerbilimleri, 19, 17-40.

Burst, J.F., 1969. Diagenesis of Gulf Coast clayey sediments and its possible relation to petroleum migration. Bulletin American Association Petroleum Geologist, 53, 73-93.

Harput, O.B., 1987. Güneydoğu Anadolu'daki dört petrol kuyusunda organik ve inorganik diyajenezin incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s (yayımlanmamış).

Illeez, H.İ. ve Gül. M.A., 1994. Orta Torosların kaynak kaya potansiyeli. Türkiye 10. Petrol Kongresi Bildirileri, 261-267.

Korkmaz, S. ve Gedik, A., 1990. Mut - Ermenek - Silifke (Konya - Mersin) havzasında ana kaya fasiyesi ve petrol oluşumunun

organik jeokimyasal yöntemlerle incelenmesi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 33 (1), 29-38.

Kraus, G.P. and Parker, K.A., 1979. Geochemical evaluation of petroleum source rock in Bonaparte Gulf-Timor sea Region. American Association Petroleum Geologist Bulletin, 63, 2021-2041.

Meriç., E. ve Özçelik, O., 1985. Yıldızlıdağ (Seydişehir-Konya) kuzeydoğusunda Kretase-Paleosen yaşlı istifin yapısal gelişimi hakkında yeni görüşler. Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi, III.Mühendislik Haftası Bildirileri, Bildiriler Kitabı, 213-218.

Monod, O, 1977. Recherches géologiques dans le Taurus occidental an sud de Beyşehir (Turquie). These, Université Paris Sud, Orsay, 442p.

Magara, K., 1991. Efficiency of petroleum concentration in major petroliferous basins. Journal of Petroleum Geology, 15, 71-86.

Özçelik, O., 1984. Toroslar'da Bozkır yöresinin jeolojisi, tektonik evrimi ve petrol olanakları. Selçuk Üniversitesi Mimarlık -Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 219s (yayımlanmamış).

Özçelik, O., 1985. Toroslar'da ofiyolitik bir melanj örneği: Sülek Karmaşığı. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri-A Yerbilimleri, 1 ( 2), 53-62.

Özçelik, O. ve Altunsoy, M., 1998. Suğla Gölü (Konya) güneyindeki Paleozoyik yaşlı birimlerin organik fasiyes özellikleri. Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi, No: M-79, 89s.

Özgül, N., 1971. Orta Torosların kuzey kesiminin yapısal gelişiminde blok hareketlerinin önemi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 14, 75-87.

Özgül, N., 1976. Torosların bazı temel jeolojik özellikleri. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19, 65-78.

Sonel, N., Sarı, A., Doğan, A.O. ve Bozuyük, İ., 1995. Üzümlü civarının petrol kaynak kaya fasiyesleri ve petrol oluşumunun organik jeokimyasal yöntemlerle incelenmesi. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 10, 34 - 40.

Staplin, F.L., 1975. Interpretation of thermal history from colour of particulate organic matter. Palynology, 1, 9-18.

Stein, R.,1986. Surface - water paleo-productivity as inferred from sediments deposited in oxic and anoxic deep water environments of the Mesozoic Atlantic Ocean,(Bio-geochemistry of black shales, E.T., Degens, P.A., Meyers, and S.C., Brassel (eds.), Mitteilungen aus dem Geologisch - Palaontologischen Institut der Universitat Hamburg (Spec. issue), 60, 55-70.

Thomas, B.M., 1979. Geochemical analysis of hydrocarbon occurrence in northern, Perth Basin, Australia. American Association Petroleum Geologist Bulletin, 63, 1092-1107.

Tissot, B. and Welte, D., 1984. Petroleum formation and occurrence. Revised Edition, Springer Verlag, New York, 699p.

Wapples, D.W., 1988. Geochemistry in petroleum exploration brown and ruth laboratories. Incorporation, Denver, Colorado, 232p.

Weaver, C. and Beck, K., 1971. Clay water diagenesis during burial: How mud becomes gneiss?. Geological Society American Bulletin, Special paper, 134p.

Yalçın, M.N., 1987. Adana Havzası petrol ve doğal gazın kökeni. Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildirileri, Bildiriler Kitabı, 427-441.

Yalçın, N., 1997. Toroslarda Bozkır (Konya) güneybatı yöresinin petrol ana kaya ve organik fasiyes özellikleri. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 142s (yayımlanmamış).