

## MENGEN (BOLU) CİVARI BİTÜMLÜ ŞEYLLERİNİN HİDROKARBON POTANSİYELİ

### HYDROCARBON POTENTIAL OF THE BITUMINOUS SHALES AROUND MENGEN (BOLU)

Ali SARI<sup>1</sup>, Burak ÜZMEZ<sup>1</sup>, Saday Azadođlu ALİYEV<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Ank. Üni. Müh. Fak. Jeoloji Müh. Böl., 06100, Beşevler-Ankara/Türkiye

<sup>2)</sup> Ank. Üni. Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi, 06100, Beşevler-Ankara/Türkiye

**ÖZ:** Mengen-Gökçesu Havzası Eosen yaşlı tortullarından derlenen şeyl örnekleri organik jeokimya, organik petrografi ve ince tabaka kromatografisi analizlerine tabii tutularak bunların hidrokarbon potansiyelleri değerlendirilmiştir. Organik maddeler çoğunlukla petrol ve az miktarda gaz türetebilecek (Tip I ve Tip II kerojen) tiptedir. Örneklerin ısıl olgunlaşma düzeyleri piroliz analizleri (Tmax), üretim indeksi (PI) ve spor-renk indeksi (SCI) ile belirlenmiş ve ısıl olgunlaşma düzeyinin diyajenetik ve erken-orta olgun petrol türüm evresinde olduğu belirlenmiştir. Mengen havzasına ait şeyller organik karbon yönüyle orta-mükemmel kaynak kaya potansiyeline sahiptirler. Organik maddenin bileşimi, oluşumu ve diyajenetik durumu göz önüne alınarak yedi ayrı organik fasiyes ayrılanmaktadır. Yapılan organik jeokimyasal analizler ve mikroskopik incelemelere göre Tokmaklar formasyonunun organik fasiyeslerinin A, AB ve B olduğu ve bu birimin petrol ve gaz türetebileceği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bitümlü şeyl, organik madde, organik karbon, kerojen, organik fasiyes

**ABSTRACT:** Hydrocarbon potential of shale samples collected from the sediments of Mengen-Gökçesu basin of Eocene age were evaluated through the organic geochemical, organic petrographical and iatroskan chromatographic analysis. Organic matters are mostly of oil prone type (Type I and Type II kerogen). The thermal maturation of the samples were determined through pyrolysis analysis (Tmax), production indeks (PI) and spor-colour index (SCI) and it falls into the diagenetic and at the beginning of oil generation zone. Shales of the Mengen basin bears moderate-perfect source rock potential in regard to their organic carbon contents. Seven types of organic facies are defined considering the composition, formation and diagenetic condition of organic matter. As a result of a series of analyses, it was found that Tokmaklar formation can produce oil and gas and bears organic facies of A, AB and B.

**Key words:** Bituminous shale, organic matter, organic carbon, kerogen, organic facies.

### GİRİŞ

İnceleme alanı Bolu iline bağlı Mengen ilçesi çevresi olup, yaklaşık 144 km<sup>2</sup>’lik bir alanı içerisine alır (Şekil 1). İnceleme alanında Siluriyen’den günümüze kadar zaman zaman kesintiye uğramakla birlikte oldukça kalın bir sedimanter istif yer alır. Bu birimlerden özellikle Eosen yaşlı Tokmaklar formasyonu bölgede oldukça yaygın olup, kalınlığı 60-80 m’ye varan bitümlü şeyl seviyeleri içermektedir. İnceleme alanı yakın civarında bugüne kadar jeolojinin çeşitli konularında ve bunun yanısıra bitümlü şeyllerin ekonomik olup-olmadığı ve ekonomik açıdan işletilebilirliğine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Araştırmacılar bitümlü şeyllerin kalınlığının 0.15-5 m arasında olduğunu ve rezervinin ise 7.6-37.5 milyon ton arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: Harve ve Gerenton, (1936), Blumenthal (1937), Beseme (1969), Akarsu (1974), Cerit (1983), Erdem ve Akalın (1983), Saner (1980), Şeker ve

Keskin (1991), Sarı (1999a,b), Sarı ve Sonel (1995), Sarı ve diğ. (2004), Sonel ve diğ. (1987a,b), Şener ve Şengüler (1998), Şengüler ve diğ. (1988), Tekin ve Sarı (1999, 2000). Bitümlü şeyller öncelikle şeyl petrolü eldesinin yanı sıra termik santrallerde belirli oranlarda kömürlerle karıştırılarak elektrik üretilmesinde kullanılmaktadır. Bunun yanında, bitümlü şeyller gelişen yüksek teknolojilerin ihtiyaç duyduğu asal ve iz element kaynağı olmaları yönünden önemlidirler. Bu gerekçelerle Mengen havzasında başlatılan bir proje dahilinde bitümlü şeyllerin hidrokarbon üretme potansiyelleri, termik santrallerde yakılabilme özellikleri ile asal ve iz element kaynağı olma yönünden potansiyelinin incelenmeleri amaçlanmaktadır. Bu çalışmada ise Mengen (Bolu) yöresindeki bitümlü şeyllerin çeşitli organik jeokimyasal ve organik petrografik yöntemlerle hidrokarbon potansiyelleri ortaya konulmuştur.



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası  
Figure 1. Location map of the study area.

## MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada Mengen (Bolu) bölgesine ait Eosen yaşlı Tokmaklar Formasyonundan çukur kazma yöntemiyle (yaklaşık 30 cm derinliğinde) alınan bitümlü şeyl örnekleri çeşitli organik jeokimyasal ve organik petrografik analizlere tabii tutulmuşlardır.

Toplam organik karbon analizleri (TOC %) WR – 12 tipindeki karbon analiz cihazında yapılmıştır. TOC analizlerinin ardından piroliz cihazı (Oil Show Analyser) kullanılarak  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $T_{max}$ , Oksijen İndeksi (OI) ve Hidrojen İndeksi (HI), Üretim İndeksi (PI) değerleri elde edilmiştir.

Bitümlerin doymuş, aromatik ve NSO (resin + asfalten) bileşenlerinin yüzde değerleri İnce Tabaka Kromatografisi yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Organik petrografik incelemeler ise Ortoplan MPV-2 alttan aydınlatmalı mikroskop kullanılarak yapılmış ve bu suretle organik madde türleri, bağıl bollukları ve olgunlaşma parametreleri (SCI) elde edilmiştir.

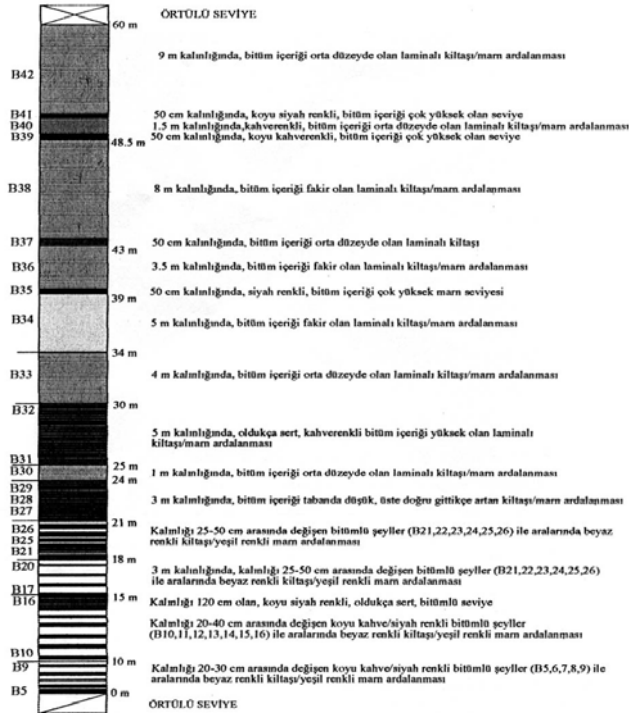
## STRATİGRAFİ

İnceleme alanında havzanın temelini Ordovisiyen-Silüriyen yaşlı mağmatik ve metamorfik kayaç topluluklarından oluşan diyorit, granidiyorit, granit, kuvarsit ve mermerler oluşturur. İnceleme alanımızdaki sedimenter birimler Devoniyen – Neojen zaman aralığında zaman zaman kesintiye uğrayarak depolanmıştır (Şekil 2). Çalışma alanındaki en yaşlı birim temeli oluşturan Ordovisiyen – Silüriyen yaşlı Bolu Granotoyitidir. Üzerine Devoniyen yaşlı Aksudere Formasyonu uyumsuz olarak gelir ve birim çamurtaşı,

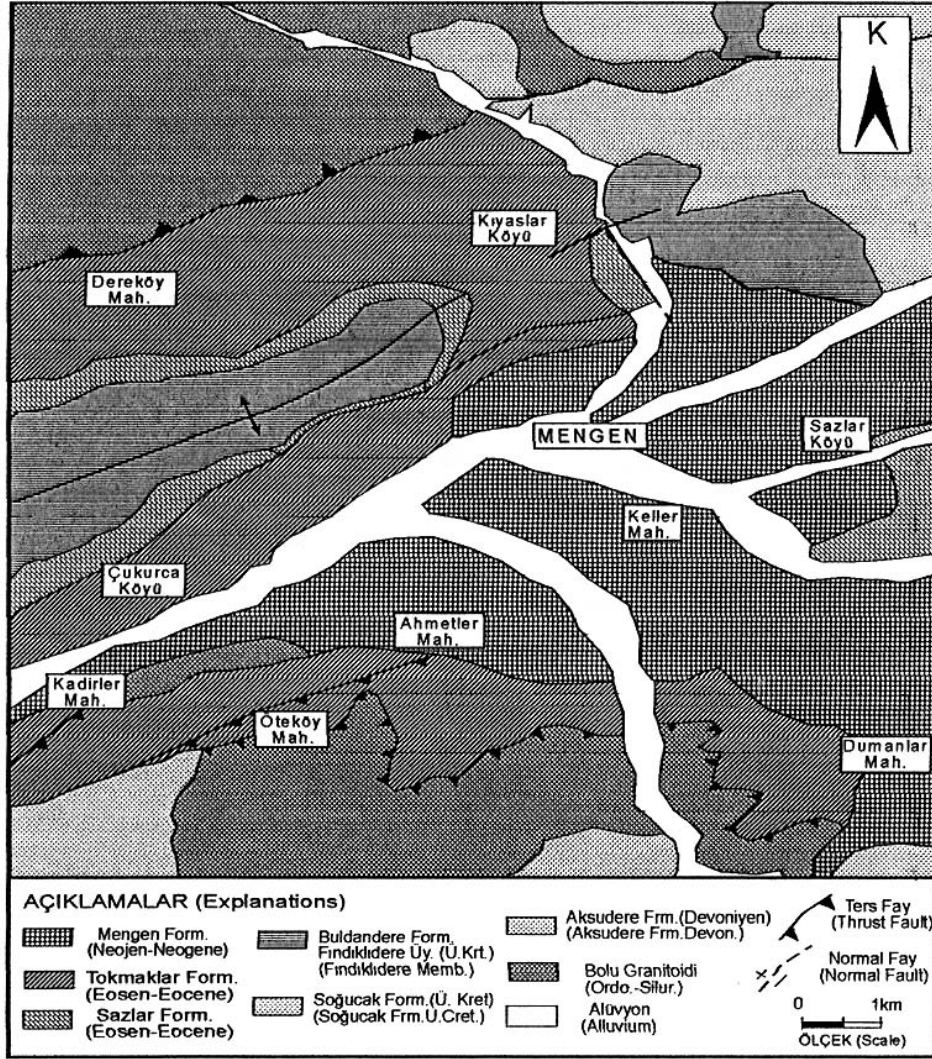
şeyl, kumtaşı ve kireçtaşı araldanmasından oluşur. Aksudere Formasyonu üzerine yine uyumsuz olarak Üst Kretase yaşlı Soğucak Formasyonu gelmektedir. Soğucak Formasyonu; kireçtaşı, granit, volkanit, metamorfik blokları ve killi silttaşlarından oluşur. Bu birim üzerine uyumsuz olarak gelen Üst Kretase – Paleosen yaşlı Buldandere Formasyonu Erendil ve diğ. (1991) tarafından Fındıklıdere ve Devretkaya üyelerine ayrılmıştır. Soğucak Formasyonu üzerine uyumsuz olarak oturan Fındıklıdere üyesi Üst Kretase yaşlı olup, kumlu kireçtaşı, marn ve kumtaşlarından oluşur. Fındıklıdere üyesi üzerine gelen Devretkaya üyesi ise Paleosen yaşlı olup, kireçtaşlarından oluşmaktadır. Devretkaya üyesi üzerine Eosen yaşlı Sazlar Formasyonu uyumlu olarak oturur ve kireçtaşlarından oluşur. Sazlar Formasyonu üzerine yine uyumlu olarak gelen Eosen yaşlı Tokmaklar Formasyonu bölgede oldukça yaygın olup, bitümlü şeyl içeriği yönünden oldukça zengindir. Birim içerisinde bitümlü şeyl zonu kalınlığı 60-80 m arasında değişmektedir. Bitümlü zonların bazı seviyelerdeki kalınlığı 4-6 m kadar olup, hidrokarbon üretimi açısından önemlidir (Şekil 3). Bu birim ayrıca kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşları içermektedir. Tokmaklar Formasyonu üzerine ise çalışma alanında uyumsuz olarak Neojen yaşlı Mengen Formasyonu gelmektedir. Mengen Formasyonu gevşek, tutturulmamış konglomera ve kireçtaşlarından oluşmakta olup, inceleme alanında oldukça geniş bir yayılıma sahiptir. Çalışma alanına ait jeolojik harita Şekil 4’te verilmiştir.

Ust Sistem (Upper Sys.)	Sistem (System)	Seri (Serie)	Form. (Form.)	Üye (Member)	Litoloji (Lithology)	Açıklamalar (Explanation)
SENDZÖYİK (Sensoic)	TERRSİYER (Tertiary)	NEOJEN (Neogene)	Mengen			Gevşek tutturulmuş konglomera ve kumtaşı (Loose, not cemented conglomerate and sandstone)
		PALEOJEN (Paleogene)	Eosen (Eocene)	Tokmaklar		Kumtaşı, kireçtaşı, çamurtaşı ve oldukça zengin bitümlü şeyller (Sandstone, limestone, mudstone and rather rich bituminous shales)
			Sazlar		Kireçtaşları (Limestones)	
		Paleosen (Palaeocene)	Diyetkaya		Kireçtaşları (Limestones)	
MESOZÖYİK (Mesozoic)	Kretase (Cretaceous)	Üst Kretase (Upper Cretaceous)	Buldandaz	Finciklides		Kumlu kireçtaşı, marmer ve kumtaşı (Sandy limestones, marl and sandstones)
			Soğucak		Kireçtaşı, granit, volkanit, metamorf bloklar ve idli silttaşlar (Limestones, granite, volcanic, metamorphic blocks and clayey siltstones)	
PALEOZÖYİK (Palaeozoic)	Devoniyen (Devonian)	Siluriyen (Silurian)	Bolu Granitoidi	Aksuçere		Çamurtaşı şeyl, kumtaşı ve kireçtaşı açıklanması (Alternation of mudstone, shale, sandstone and limestone)
						Magmatik ve metamorfik kayalar türleri diyorit, granitdyorit, granit, kuvarsit ve mermer (Types of magmatic and metamorphic rocks)
						Çizeksiz (Not to Scale)

Şekil 2. İnceleme alanına ait genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.  
Figure 2. Generalized stratigraphic section of the study area.



Şekil 3. Tokmaklar formasyonuna ait ölçülü stratigrafik kesit.  
Figure 3. Measured stratigraphic section of the Tokmaklar formation.



Şekil 4. İnceleme alanının jeoloji haritası  
Figure 4. Geological map of the study area

### ORGANİK JEOKİMYASAL İNCELEMELER

Tokmaklar formasyonundan ölçülen stratigrafi kesitine ait 42 adet örnek ile birimden derlenen sistematik ve nokta örnekleri çeşitli organik jeokimyasal analizler ile organik petrografik analizlere tabi tutularak birimin hidrokarbon potansiyelinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllere ait 24 adet örnek üzerinde Toplam Organik Karbon (% TOC) ve 9 adet örnek üzerinde ise piroliz analizleri yapılmıştır. Piroliz analizi yapılan örneklerden 4 adedi üzerinde İnce Tabaka Kromatografi Analizleri yapılarak toplam özüt miktarları da belirlenmiştir.

### Organik Madde Miktarı

Kayacın içindeki kerojene ait karbon miktarı ile bu kerojenden türemiş fakat kayacın dışına atılamamış hidrokarbonlara ait karbonların toplamı toplam organik madde olarak adlandırılır. Petrol türeten kaynak kayaların sahip oldukları organik madde miktarının karbonatlar için  $> 0,3\%$  ve şeyller için  $> 0,5\%$  olması gereklidir (Peters ve Moldowan, 1993).

Tokmaklar Formasyonuna ait bitümlü şeyllerin organik madde miktarı  $0,55$  ile  $14,88$  arasında değişmekte olup (Tablo 1), ortalama değer  $4,03$ 'dür. Bu değerler birimin orta dereceden mükemmel kadar değişen bir kaynak kaya potansiyeline sahip olduğunu gösterir.

**Table 1.** Tokmaklar formasyonuna ait toplam organik karbon (TOC %) analiz sonuçları.**Table 1.** Results of the total organic carbon (TOC %) of Tokmaklar formation.

Örnek No (sample no)	Toplam Organik Karbon (TOC) % (total organic carbon %)
B5	4.17
B6	0.56
B7	0.55
B8	1.23
B9	0.62
B10	2.67
B11	1.29
B12	1.23
B13	4.12
B14	1.72
B15	2.67
B16	2.36
B17	1.92
B18	2.69
B19	1.96
B20	2.29
B21	1.44
B22	1.34
B23	2.18
B24	3.95
B25	14.85
B29	11.90
B35	14.34
B37	14.88

### Organik Madde Tipi

Kaynak kayaların üretmiş oldukları hidrokarbonların petrol ve/veya gaz olması içerdikleri organik maddenin/kerojenin tipiyle ilişkilidir. Kerojen genellikle olağan organik çözücülerde çözilemeyen, kaynak kayalar içerisinde bulunan organik materyallerdir. Tip I kerojenler alg kökenli organik maddelerden oluşurlar. Bunlar lignin ve selüloz içermezler. Bu tip kerojenler genellikle yüksek oranlarda alkanlar ve yağ asitleri içerirler ve bu yüzden de hidrojen zengindirler. Tip II kerojenler lipidlerden (yağ ve parafin) ve özellikle de polen tanelerinin parafinli dış kabuklarından ve sporlardan oluşur. Bunlar çoğunlukla bakteri topluluklarından oluşmakta ya da içermektedir. Tip II kerojenler de hidrojen zengindirler. Tip III kerojen odunsu materyallerden oluşur. Bunlar algal kerojenlerden daha fazla oksijen içerirler, çünkü bunlar oksijen zengin olan hem selüloz ve hem de ligninden meydana gelirler.

Sapropelik kerojenler Tip I ve Tip II kerojenlerden oluşmakta olup, çoğunlukla petrol üreten algal, amorf ve otsu materyallerden oluşur. Algal ve amorf organik maddeler Tip I ve Tip II kerojenlerden,

otsu (sporinit, kutinit ve resinit) kerojenler ise Tip II kerojenlerden oluşurlar. Algal ve amorf organik maddelerden oluşan Tip I ve Tip II kerojenlerin organik kaynakları denizel/gölsel iken, otsu organik maddelerden oluşan Tip II kerojenlerin organik kaynakları ise karasaldır (Hunt, 1979).

Tokmaklar formasyonuna ait bitümlü şeyllerin kerojen tipleri, piroliz analizlerden (Tablo 2) elde edilen HI - T<sub>max</sub> diyagramı ve ayrıca organik petrografi yöntemi ile belirlenmiştir. HI - T<sub>max</sub> diyagramına göre birim Tip I ve Tip II kerojen içermektedir (Şekil 5). Optik mikroskopi teknikleri kullanarak organik maddenin, özellikle gömülme sürecindeki gelişimini incelemek mümkün olur. SCI analiz tekniği palinomorflarda ısı/derinlik artışına bağlı olarak ortaya çıkan renk değişim evrelerinin tanımlanmasına dayalıdır. Floresan tekniği mikroskoba monte edilmiş bir floresan kaynağından, örnek üzerine gönderilen floresan ışığının yansıtılması özelliğine dayalıdır ve görsel olarak test edilir. Hidrojen zengin organik maddeler, fakir olanlara göre daha fazla hidrokarbon türetme potansiyeline sahiptirler ve bunlar floresan ışık altında açık sarı-turuncu tonlarda renk verirler. Bu tip

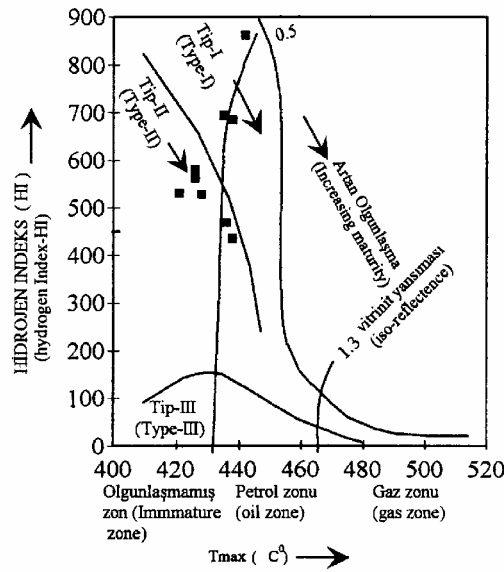
organik maddeler ağırlıklı olarak liptinitlerden (algal-amorf, otsu) oluşurlar. Orijinal olarak veya az değişmiş organik maddenin, renksiz, açık sarı-açık kahverengi olan rengi gömülme sürecince siyahlaşır ve opaklaşır. Amorf veya amorf materyalce çok zengin olan organik madde genellikle koloidal, algal, sapropelik veya denizel olarak tanımlanır. Sapropelik terimi “yosundan türeyen” anlamında kullanılmakla beraber, organik birikimden oluşmuş, havasız bir ortamda fosilleşmiş bir jel olarak tanımlanmaktadır. Amorf materyalin tanımında; sapropelik, algal ve denizel terimleri aynı zamanda kullanılmalıdır. Çünkü çok miktarda algal birikim gözlenebilse bile, bu durum ne denizel orijine yorulabilir ne de sadece amorf karaktere dayalı algal bir orijin önerilebilir. Opak hale gelmiş organik madde birikimi özellikle odunsu birikim açısından zengin organik maddeleri ifade eder. Opak

birikimler genellikle; odunsu, kömürsü, humik veya karasal olarak tanımlanmaktadır. Teorik olarak, bu terimler organik maddenin kömür veya karasal bir çökeltme ortamından kaynaklanmakta olduğu anlamını taşırlar (Durand, 1980).

Organik petrografi yöntemi ile kerojen tip tanımlamasına göre incelenen örneklerin çoğunlukla amorf organik maddeden oluştuğu, B13 nolu örneğin ise % 75 amorf organik maddeden, % 15 otsu ve % 10 odunsu organik materyalden oluştuğu görülmektedir (Tablo 3). Organik petrografik incelemeleri yapılan bitümlü şey örnekleri organik madde tiplerine göre Algal/Amorf, inertinit ve vitrinit'ten oluşan üçgen diyagram üzerinde yorumlandıklarında organik madde tiplerinin petrol türümüne uygun olduğu görülmektedir (Şekil 6).

**Tablo 2.** Tokmaklar formasyonuna ait piroliz analizi sonuçları.  
**Table 2.** Results of the pyrolysis analysis of Tokmaklar formation.

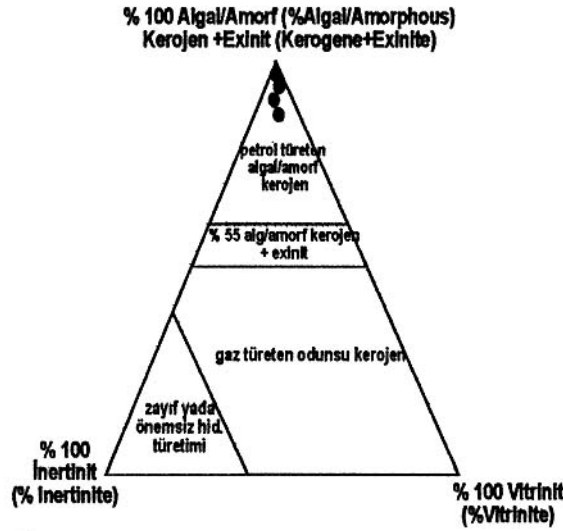
Örnek No	TOC	S <sub>1</sub> (ppm)	S <sub>2</sub> (ppm)	S <sub>3</sub>	T <sub>max</sub>	HI	OI	PI	RC	HC
B5	4.17	930	29.02	1.74	435	695	41	0.03	1.68	29950
B10	19.14	3750	165.19	1.67	442	863	9	0.02	5.12	168940
B13	4.12	350	19.35	2.03	436	469	49	0.02	2.48	19700
B15	2.67	260	11.66	1.59	438	436	59	0.02	1.68	11920
B24	3.95	900	20.99	1.81	421	531	45	0.04	2.13	21890
B25	14.85	3920	83.60	7.04	426	563	47	0.04	7.59	87520
B29	11.90	90	81.64	4.10	438	686	34	0.04	4.87	81730
B35	14.34	5410	83.45	4.81	426	582	34	0.06	6.96	88860
B37	14.88	5720	78.65	6.66	428	529	45	0.07	7.88	84370



**Şekil 5.** HI-Tmax diyagramı (Espitalie ve diğ.,1977).  
**Figure 5.** HI-Tmax Diagram (from Espitalie at al.,1977).

**Tablo 3.** Tokmaklar formasyonuna ait organik petrografi analiz sonuçları.**Table 3.** Results of the organic petrographic analysis of Tokmaklar formation.

Örnek No	Amorf % (amorphous %)	Otsu % (herbeceous %)	Odunsu % (woody %)	Kömürsü % (coaly %)	SCI
B13	75	15	10	-	5.0-5.5
B25	100	-	-	-	3.0
B35	90	10	-	-	3.0
B37	85	10	5	-	3.0-3.5

**Şekil 6.** Maseral grup bileşimi ve hidrokarbon türüm potansiyeli üçgen diyagramı**Figure 6.** Ternary diagram of hydrocarbon generation potential and composition of maceral groups.

### Isısal Olgunlaşma

Kaynak kaya potansiyeline sahip kayalar diyajenez safhasında biyojenik gaz (metan), katajenez safhasında petrol/gaz (ıslak gaz) ve metajenez safhasında ise kuru gaz üretme potansiyeline sahiptirler. Kaynak kaya potansiyeline sahip birimlerin hidrokarbon ürebilmeleri olgunlaşma düzeyleri ile ilgilidir.

Kaynak kayalar yeterli organik madde miktarına ve petrol ve/veya gaz türümüne uygun kerojen tipine sahip olsalar dahi yeterli derinliğe gömülmedikleri takdirde hidrokarbon üretmezler (Durand, 1980).

Bu çalışmada Tokmaklar Formasyonuna ait bitümlü şeyllerin ısısal olgunlaşması piroliz analizleri ( $T_{max}$ , PI) ve organik petrografik yöntemlerle (spor renk indeksi) belirlenmiştir. Üretim indeksi ( $PI < 0,1$ ) ve  $T_{max} (< 435^{\circ}C)$ 'ın düşük değerleri olgun olmayan organik maddeyi,  $PI (> 0,4)$  ve  $T_{max} (> 465^{\circ}C)$ 'ın yüksek değerleri ise aşırı olgunlaşmayı (kuru gaz zonu) işaret ederler (Peters, 1986).

Tokmaklar Formasyonuna ait bitümlü şeyllerin PI değerleri 0,02-0,07 ve  $T_{max}$  değerleri ise 421-442°C arasında değişmektedir (Tablo 2). Organik petrografik incelenmesi yapılan aynı şeyl örneklerinin spor renk

indeksi (SCI) değerleri ise 3.0-5.5 arasında değişmektedir (Tablo 3).

Piroliz ve spor-renk indeksi analizlerine tabi tutulan şeyl örnekleri  $T_{max}$  değerlerine göre olgunlaşmamış/erken – orta olgun, PI değerlerine göre olgunlaşmamış ve spor renk indeksi değerlerine göre ise yine olgunlaşmamış/olgunlaşma başlangıcı safhasındadır. Buna göre, birimin petrol üretme evresinin başlangıcında olduğu söylenebilir.

### HİDROKARBON OLUŞTURMA POTANSİYELİ

İnce tabaka kromatografi analizleri ile asfaltenlerden arındırılmış petrol veya bitümün üç ana fraksiyonu olan doymuş hidrokarbonlar, aromatik hidrokarbonlar ve polar (resin + asfalten) miktarları yüzde olarak belirlenir. Doymuş ve aromatik hidrokarbonlar ile NSO bileşenleri miktarlarının köşelerinde % 100 olarak yer aldığı üçgen diyagramlar petrolleri kabaca sınıflandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Doymuş hidrokarbonlar genellikle olgunlaşma ve petrolün göçü ile artarken, bakteri etkisi, rezervuardaki petrolün su tarafından yıkanması gibi faktörlerle de azalır. Kökensel olarak ( $> 20\%$ ) asfalt

yüzdeleri erken olgun karbonat kayalardan türeyen petroler ile ileri olgun petrolerde görülmektedir.

Tokmaklar Formasyonu bitümlü şeyl örneklerine ait 4 adet örneğin ince tabaka kromatografi analizi yapılmış ve doymuş hidrokarbonlar, aromatik hidrokarbonlar ile resin + asfaltin yüzdeleri belirlenmiştir (Tablo 4). Bu amaçla incelenen örneklerin toplam özüt miktarları da ölçülmüştür (Tablo 5). İnce tabaka kromatografi analizi sonucunda elde edilen bileşenler Aromatik HC, Doymuş HC ve NSO bileşiklerinden oluşan üçgen diyagram üzerinde yorumlandıklarında örneklerinin doymuş HC'lar ve aromatik HC'larca fakir, NSO bileşiklerince zengin köşe içerisinde yer aldıkları görülür (Şekil 7). İncelenen örneklerin NSO bileşenlerince zengin köşe içerisinde yer almaları olgunlaşmanın düşük olmasının yanı sıra kaynak kayanın karbonat içeriğinin yüksek olması nedeniyledir. Organik olgunlaşmalarının artmasıyla

yükselen aktivasyon enerjileri kimyasal yapı içerisinde karbonlara daha zayıf bağlarla bağlanan azot, kükürt ve oksijenli bağların koparak yapıdan uzaklaşmalarına, dolayısıyla da NSO bileşiklerinin azalmasına ve sonuç olarak doymuş-aromatik hidrokarbonların da artmasına yol açar. Ayrıca Şekil 8'den de görüleceği üzere karbonat kaynak kaya litolojilerinden türeyen bitümlerin NSO oranları, şeylli litolojilerden türeyen kayalara nazaran daha yüksek değerler sunarlar (Tissot ve diğ., 1977).

Tokmaklar Formasyonuna ait 9 adet bitümlü şeyl örneğinin analiz sonuçları HI – TOC diyagramı (Şekil 9) üzerinde değerlendirildiğinde organik maddenin iyi-mükemmel petrol kaynağı olabileceği görülebilir. Aynı örnekler HC – TOC diyagramı (Şekil 10) üzerinde yorumlandıklarında ise bir adet örneğin iyi, üçer adet örneğin ise çok iyi ve mükemmel derecede petrol ve gaz türetebilecek potansiyele sahip oldukları görülmektedir.

**Tablo 4.** Tokmaklar formasyonuna ait özütlerin ince tabaka kromatografi analiz sonuçları.

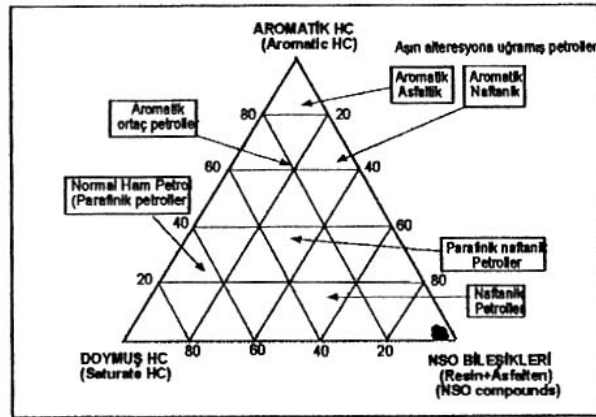
**Table 4.** Results of the iotrascan chromatographic analysis of extracts of Tokmaklar formation.

Örnek No (sample no)	Doymuş HC % (saturate HC)	Aromatikler % (aromatics %)	NSO % (Resin+Asfaltin) (NSO %-resin+asphaltenes)
B25	6.36	1.16	92.48
B35	7.61	0.29	92.10
B37	5.24	1.21	93.55
B41	6.01	0.00	93.99

**Tablo 5.** Tokmaklar formasyonuna ait toplam özüt miktarları.

**Table 5.** Amounts of total extract of Tokmaklar formation.

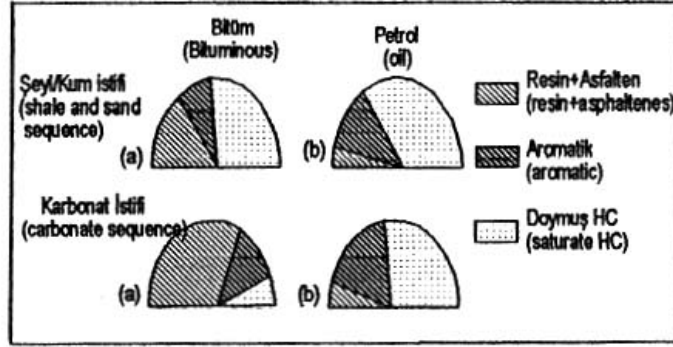
Örnek No (sample no)	Toplam Özüt (ppm) (total extract, ppm)
B25	6375
B35	7436
B37	11133
B41	2250



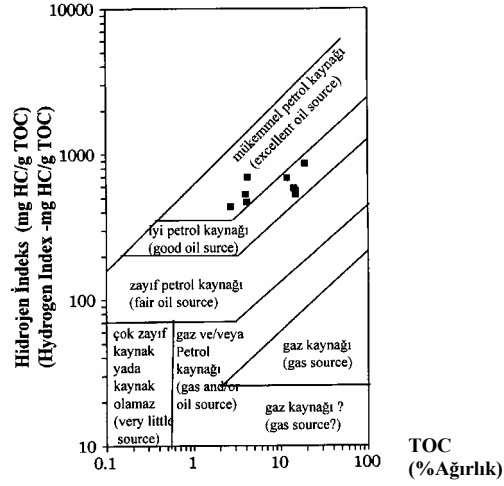
**Şekil 7.** Petrol ve bitümlerin kimyasal bileşimlerine ait üçgen diyagram (Tissot ve Welte, 1984).

**Figure 7.** Ternary diagram showing chemical composition of petroleum and bitumens (from Tissot and Welte, 1984).

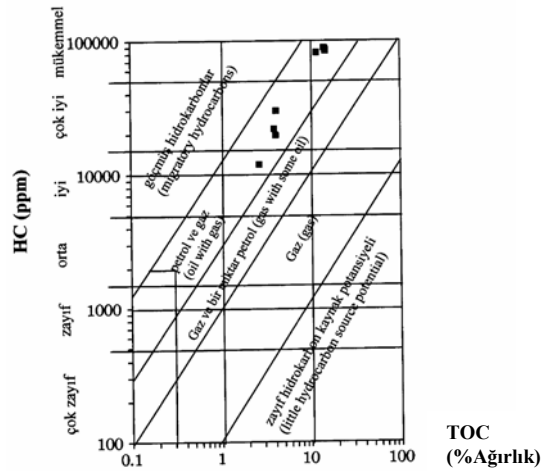




**Şekil 8.** Şeyl/kum ve karbonat istifindeki ham petrol ve bitümlerin kimyasal bileşimlerinin karşılaştırılması (Tissot ve Pelet,1971).  
**Figure 8.** Comparison of chemical composition of crude oils and source rock bitumens in a shale/sand and carbonate sequence (from Tissot and Pelet,1971).



**Şekil 9.** HI-TOC diyagramı (Jackson ve diğ., 1985)  
**Figure 9.** HI-TOC Diagram (from Jackson et.al., 1985).



**Şekil 10.** HC-TOC diyagramı (Wehner,1989)  
**Figure 10.** HC-TOC Diagram (from Wehner,1989).

### ORGANİK FASİYES İNCELEMELERİ

H/C atomik oranı, hidrojen indeksi (HI) ile oksijen indeksi (OI) içeren Rock-Eval piroliz verileri ve egemen organik madde türlerine göre Jones ve Demaison (1982) tarafından 7 ayrı organik fasiyes ayırtlanmaktadır (Tablo 6). Jones (1987)'un geliştirdiği ve Altunsoy ve Özçelik (1993) tarafından değiştirilerek Şekil 11 ile verilen bu fasiyesler A, AB, B, BC, C, CD ve D organik fasiyesleridir.

Bu çalışmada Tokmaklar formasyonun organik fasiyes tanımlamaları arazi gözlemleri, organik jeokimyasal analiz sonuçları ile organik petrografik

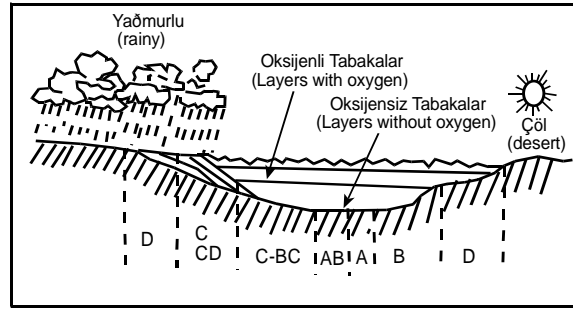
verilere göre yapılmıştır. Birimin toplam organik karbon içeriği B6, B7 ve B9 nolu örnekler dışında (% 0.56, 0.55 ve 0.62) oldukça yüksek olup, % 1.23-14.88 arasında değişmektedir.

İncelenen örneklere ait ortalama TOC değeri % 4.03'dür. Organik petrografi yöntemi ile kerojen tip tanımlamasına göre ise incelenen örneklerin çoğunlukla amorf organik maddeden oluştuğu, B13 nolu örneğin ise % 75 amorf organik maddeden % 15 otsu ve % 10 odunsu organik materyalden oluştuğu görülmektedir (Tablo 3).

**Tablo 6.** Organik Fasiyeslerin Genelleştirilmiş Mikroskopik ve Kimyasal Karakteristikleri (Jones, 1987)

**Table 6.** Generalized microscopic and chemical characteristics of organic facies (from Jones, 1987).

Organik Fasiyes (Organic Facies)	R <sub>0</sub> % 0.5'de H/C	Piroliz Verileri (Pyrolysis Data)		Egemen Organik Madde (Dominant Organic Matter)
		HI	OI	
A	1.45	> 850	10-30	Algal, amorf
AB	1.35-1.45	650-850	20-50	Amorf, çok az karasal
B	1.15-1.35	400-650	30-80	Amorf, yaygın karasal
BC	0.95-1.15	250-400	40-80	Karışık, bazen okside
C	0.75-0.95	125-250	50-150	Karasal, bazen okside
CD	0.60-0.75	50-125	40-150	Okside, taşınmış
D	0.60	50	20-200	Yüksek okside, taşınmış



**Şekil 11.** Organik fasiyeslerin şematik görünümü (Altunsoy ve Özçelik, 1993).

**Figure 11.** Schematic illustration of organic facies (from Altunsoy and Özçelik, 1993).

Rock-Eval pirolizi yapılan 10 adet örneğin hidrojen indeksi (HI) değerleri 436-863 mg HC/g TOC arasında değişmektedir. Aynı örneklere ait oksijen indeksi (OI) değerleri ise 9-59 mg CO<sub>2</sub>/g TOC arasında değişir.

İncelenen örneklerin Toplam organik karbon içerikleri, organik madde türleri, hidrojen indeksi (HI) ve oksijen indeksi (OI) değerlerine göre Tokmaklar formasyonu bitümlü şeyllerinin organik fasiyesleri A, AB ve B'dir. A, organik fasiyesinde yaygın olarak petrol oluşur. AB ve B organik fasiyeslerinde yine

yaygın olarak petrol oluşurken, bir miktar da gaz oluşabilir.

### SONUÇLAR

Tokmaklar Formasyonuna ait bitümlü şeyllerin toplam organik karbon değerleri %0,55 ile 14.88 arasında değişmektedir.

Organik maddenin organik jeokimyasal analizler sonucunda Tip I ve Tip II kerojenlerden oluştuğu, organik petrografi yöntemine göre ise çoğunlukla amorf organik maddeden oluştuğu görülmektedir.

Birimin olgunlaşması, olgunlaşma değerlerine göre ( $T_{max}$ , Üretim İndeksi ve Spor Renk İndeksi) diyajenez ile erken-orta olgun aşamadır.

Arazi gözlemleri, toplam organik karbon miktarı, organik madde türü, hidrojen indeks (HI) ve oksijen indeks (OI) değerlerine göre Tokmaklar formasyonunun organik fasiyeslerinin A, AB ve B olduğu belirlenmiştir.

#### KATKI BELİRTME

Bu proje Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Müdürlüğü tarafından desteklenmekte olan 20010705062 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bilimsel Araştırmalar Proje Müdürlüğü ve çalışan elemanlarına projenin her aşamasındaki katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

#### SUMMARY

The study was carried out in an area of about 144 km<sup>2</sup> in the Mengen (Bolu) region. The investigated Eocene Tokmaklar Formation is widely exposed around the Mengen, Gökçesu and Salıpazarı regions and it represents a shallow to deep marine depositional sequence. In general, it is composed of sandstone, limestone, claystone, marl and bituminous shale. Bituminous shale of Eocene Tokmaklar Formation is widespread in the region and its thicknesses is about 60-80 m. Organic matter content of shale varies from 0.55 wt % to 14.88 wt %, with an average value of 4.03 wt %. Kerogen type of the unit is Type I and Type II, which can produce oil and minor gas. Thermal maturation of the formation fall into diagenesis and at the beginning of oil generation zone. Seven types of organic facies are identified in relation to composition, formation and diagenetic condition of organic matter. As a result of a series of analyses, it was found that Tokmaklar Formation has an organic facies of A, AB and B. On the basis of organic geochemical and petrographical results, it was determined that Eocene Tokmaklar Formation around the Mengen area has an excellent source rock potential.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- Akarsu İ., 1974,** Göynük-Gölpazarı-Bolu-Nallıhan-Beypazarı yöresi ile geniş çevresinin bitümlü şeyl ve petrol olanakları hakkında rapor. TPAO Rapor No: 898.
- Altunsoy M., Özçelik O., 1983,** Organik fasiyesler: Jeoloji Mühendisliği, vol. 43, p.34-39.
- Beseme P., 1969,** Kabalar bitümlü senklineali. MTA Rapor No 465 (216), B 554 k.
- Blumenthal M., 1937,** Bolu Vilayeti dahilindeki Gökdağ Mıntıkası bitümlü şist sahasının jeolojisi hakkında rapor. MTA rap.no: 269.

- Cerit O., 1983,** Mengen (Bolu) yöresinin jeolojik incelemesi. Hacettepe Üni. Fen Bil.Ens. Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış),s.160, Ankara.
- Durand, B., 1980.** Kerogen: Insoluble organic matter from sedimentary rocks. Editions Technip-Paris.519 pp.
- Erendil M., Aksay A., Kuşçu İ., Oral A., Tunay G., Temren A., 1991,** Bolu masifi ve çevresinin jeolojisi. MTA rap.no.7998.
- Erdem İ., Akalın L., 1983,** Mengen-Salıpazarı-Merkeşler kömür sahası hakkında rapor. MTA rap.no:7421.
- Espitalie, J., Madec,M., Tissot,J., Menning, J., and Leplat,P., 1977.** Source rock characterization method for petroleum exploration. Proc.,9th Annual Offshore Technology Conf., 3, 439-448.
- Havre, M., and Gerenton, S., 1936.** Bolu bitümlü şistleri hakkında rapor.MTA, Rapor, No 261, Ankara.
- Hunt, J. M., 1979.** Petroleum Geochemistry and Geology. San Francisco: Freeman. 616 p.
- Jackson K. S., Hawkins P. J. Bennett A. J. R. 1985,** Regional facies and geochemical, evaluation of southern Denison Trough. APEA Jour. 20, 143-158.
- Jones R.W., 1987,** Organic facies: Advances in Petroleum Geochemistry (Brooks, J., and Welte, D., eds.), vol 2, pp. 1-9.
- Jones R.W., and Demaison, G.J., 1982,** Organic facies-a stratigraphic concept and exploration tool, *In A: Salvidar-Sali, ed.,* Proceedings of the second ASCOPE (ASEAN Council on Petroleum) conference and exhibition: October 1981, Manila, Philippines, p.51-68.
- Peters K. E. 1986,** Guidelines for evaluating petroleum source rocks using programmed pyrolysis: AAPG Bulletin, 70, 318-329.
- Peters K.E., Moldowan, J. M., 1993,** The biomarker guide, interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. Englewood Cliffs, Jersey, Prentice Hall, 363 p.
- Saner S., 1980,** Mudurnu-Göynük havzasının Jura ve sonrası çökelim nitelikleriyle paleocoğrafya yorumlaması. TJK Bült.,23, 1 S,39-52.
- Sarı A., 1999a,** Source rock evaluation of Kabalar Formation in the Göynük Basin, Bolu, Turkey. 19 th International meeting on Organic Geochemistry. 6-10 September, İstanbul, TURKEY. p.231-232.
- Sarı A., 1999b,** Himmetoğlu formasyonu (Göynük-Bolu) bitümlü şeyllerinin organik jeokimyasal incelemesi. 1. Batı Anadolu Enerji Sempozyumu, 8-14 Mart, İZMİR.

- Sarı A., Sonel, N., 1995,** Kayabaşı (Göynük-Bolu) Yöresinin Bitümlü Şeyl İncelemeleri. Türkiye Jeoloji Bülteni.C 2, S 2.
- Sarı A.,Koca D., Aliyev S.A.,2004,** Çakırköy civarı (Gökçesu-Bolu) bitümlü şeyllerinin organik jeokimyasal-organik petrografik incelemesi. Selçuk Üni. Müh.-Mim. Fak. Dergisi (Hakem İncelemesinde).
- Sonel N., Sarı A., Tozlu E., 1987a,** Himmetoğlu (Göynük-BOLU)Yöresinin Jeolojisi ve Linyit Oluşukları. S.Ü.Müh.Mim.Fak. Dergisi,C 2, 51-67.
- Sonel N., Kayabalı K., Sarı A., Tozlu E., 1987b,** Ahmetbeyler (Göynük-Bolu) Yöresinin Jeolojisi ve Yapısal Özellikleri. S.Ü.Müh.Mim.Fak. Dergisi.C 2, 37-50.
- Şeker H., Kesgin Y., 1991,** Nallıhan-Mudurnu- seben-Beypazarı arasında kalan bölgenin jeolojisi ve petrol olanakları.TPAO Rapor No: 2907.
- Şener M., Şengüler İ., 1998,** Geological, mineralogical and geochemical characteristics of oil shale bearing deposites in the Hatıldığ oil shale field. Göynük, Turkey. Fuel, v.8, p.871-880.
- Şengüler İ., Taka M., Işık A., 1988,** Mengen (Bolu) bitümlü şeyl sahasının jeolojisini ve ekonomik olanakları. MTA rap.no: 8460.
- Tekin E., Sarı A., 1999,** Kabalar formasyonu (Göynük-Bolu) bitümlü şeyllerinin petrografik ve mikrodokusal özellikleri. Yerbilimleri Sempozyumu 20-23 Ekim, ISPARTA.
- Tekin E., Sarı A., 2000,** Kabalar formasyonu (Göynük-Bolu) bitümlü şeyllerindeki hidrokarbon damlalarının morfolojileri. Yerbilimleri/Geosound Dergisi.sayı 36, s.107-121.
- Tissot B., Pelet R., 1971,** New data on the mechanism of formation and migration of petroleum: mathematical simulation and application to prospecting (in French): proc. 8<sup>th</sup> World Pet. Cong.2:35-46.
- Tissot B., Pelet R., Roueache J., Combaz A., 1977,** Use of alkanes as geochemical fossil indicators of geological environments (in French): in R. Campos and J. Goni, eds., Advances in Organic Geochemistry 1975: Madrid, Enadisma, pp. 117-154.
- Tissot B.P., Welte D.H., 1984,** Petroleum formation and occurrence. Second revised and enlarged edition, Springer-Verlag, Berlin, 699 p.
- Wehner H., 1989,** Organic-Geochemical studies in the Visayan basin, Philippines. Geol. Jb. 70, 317-348.

**Yayına Geliş - Received :** 22.03.2004

**Yayına Kabul - Accepted :** 16.12.2004