

HİMMETOĞLU HAVZASI'NDAKİ (GÖYNÜK-BOLU) KÖMÜR-BİTÜMLÜ ŞEYL BİRLİKTELİĞİNİN PALEO-ORTAM KOŞULLARI

PALEO-ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF THE COAL-OIL SHALE NEIGHBOURHOOD IN THE HİMMETOĞLU BASIN (GÖYNÜK-BOLU)

Özlem BULKAN YEŞİLADALI¹, M. Namık YALÇIN¹, Ulrich MANN²

¹ İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar, İstanbul, Türkiye

² Research Centre Jülich, D-52425 Jülich, Germany

ÖZ: Himmetoğlu Neojen Havzası, farklı ortamların ürünü olmalarına rağmen bir arada bulunan hümik kömürler ve bitümlü şeyller içermesiyle dikkat çekicidir. Bu çalışmada bu birlikteliğin iyi gözlemlendiği yaklaşık 34m'lik bir kesit ölçülerek, 84 örnek derlenmiştir. Organik madde (OM) içeriğini karasal bitkilerin oluşturduğu hümik kömürler, incelenen istifin alt 8.5m'lik kesiminde; sapropelik OM kaynaklı bitümlü şeyller ise istifin üst kesimlerinde (>12.5m) baskın olarak bulunmaktadır. Aradaki 4m'lik kesimde ise kömür ve bitümlü şeyller ardalanmalı olarak yer almakta ve bu nedenle çökme ortamındaki ani ve tekrarlı değişimlere işaret etmektedir. Bu çalışma kapsamında, kömür ve bitümlü şeyllerin çökmesine ve OM'nin önemli miktarlarda korunmasına elverişli paleo-ortam koşulları değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla çökme ortamının ürünü olan lito-fasiyes özellikleri, biyojeokimyasal parametreler ve su kütlesindeki değişimler (tuzluluk, redoks) birlikte değerlendirilmiştir. Fasiyes ayrımlarında, litoloji, mineraloji, OM tür ve miktarı, tane boyu dağılımı ve sedimentler yapıları gözlemlenmiştir. Tüm verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda hümik kömür ve karasal OM'ce zengin ilk 8.5m'lik kesimin su fazlası olan oksik bir gölde; 12.5m'den sora gözlenen sapropelik OM'ce zengin kesimin ise kapalı ve su derinliği değişken anoksik-disoksik bir göl ortamında çökelediği sonucuna varılmıştır. Bu iki farklı ortam arasında bulunan 8.5-12.5m'ler arasındaki kesim ise birinden diğerine geçişin gerçekleştiği evrenin ürünüdür. Bu zonda açık ve kapalı göl sistemlerine ait fasiyes topluluklarının birkaç kez tekrarlanması, geçişin dereceli değil de, dönemsel tekrarlanmalar şeklinde gerçekleştiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Neojen, Himmetoğlu Havzası, Kömür, Bitümlü Şeyl, Paleo-Ortam

ABSTRACT: The Neogene Himmetoglu Basin is characterized by a close neighborhood of two distinct organic rich sediments, namely humic coals and oil shales, although they are products of two different environments. In this study, a 34m thick section, where this neighborhood is well represented, is investigated in detail by sedimentological, mineralogical and organic geochemical analyses of 84 samples. In the 8.5m thick lower part of the section humic coals, in the upper part above 12.5m oil shales are dominant. In between coal and oil shales alternate within a 4m thick middle interval, indicating fast and periodical environmental changes. In this study, paleo-environmental conditions of coal and oil shale deposition and of organic matter (OM) preservation are investigated. For this purpose, indicators of depositional environment such as lithofacies, bio-geochemical parameters and properties of water column (salinity, redox) are studied. It is concluded that the terrestrial OM rich 8.5m thick lower interval was deposited in an over-filled, open, fresh-water lake with an oxic water column. The sapropelic OM rich upper interval above 12.5m was deposited in a balanced-filled, closed lake, which had a dominantly brackish/salty water column. Finally, the interval between 8.5-12.5m was formed during a transitional period from an open lake to a closed lake. In this interval open and closed lake facies associations are represented as an alternating sequence.

Keywords: Neogene, Himmetoglu Basin, Coal, Oil Shale, Paleo-Environment

GİRİŞ

Himmetoğlu Neojen Havzası, yüksek miktarlarda (%2-60 TOC) organik madde ile, hümit ve sapropelik olmak üzere farklı organik madde türleri içeren bir istifte temsil edilmektedir. Havzada hümit kömürler ve bitümlü şeyller birlikte ve araldanmalı olarak bulunmaktadır. Bu iki kayaç türü farklı ortamların ürünüdür ve aynı istif içerisinde yer almaları, çökeltme ortamında meydana gelmiş değişimlerin bir işaretidir.

Havza, bölge jeolojisine (Abdülselemoğlu, 1959; Saner, 1980; Sonel vd., 1987; Besbelli, 1991) ve son yıllarda da bitümlü şeyl zonuun ekonomik önemini belirlemeye yönelik amaçlarla çalışılmış olup, (Beseme, 1967; Ataman ve Beseme 1972; Sarı, 1985; Taka, 1988; Hufnagel vd., 1991; Şener, 1992; 1993; Şener ve Gündoğdu, 1998) farklı organik madde içeren bu kayaçlar (kömür ve bitümlü şeyller)'in oluşumunda rol oynayan etkenler ve çökeldikleri ortamın özellikleri ayrıntılı olarak değerlendirilmemiştir.

Oluşumları açısından, kömür ve bitümlü şeyl arasındaki temel ayrım, organik madde türünü belirleyen kaynak organizmaların ve bunların yaşam ortamlarının farklı oluşuna dayanmaktadır (Huc, 1988; Tyson ve Pearson, 1991; Littke, 1993). Kömür yüksek bitki kökenli olup, daha çok karasal ortamlarda oluşur. Bitümlü şeyl ise alglerden türemektedir ve bu canlıların yaşam ortamları belirli özellikleri olan su kütleleridir. Bu bağlamda, çökellerdeki organik madde zenginleşmesinde, çökeltme ortamının kimyasal ve biyokimyasal özelliklerinin etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle ortamın yorumlanmasında, su kütesinin kimyasal özellikleri (tuzluluk, redoks), dinamik koşullar ve biyojeokimyasal özelliklerin gözetilmesi gerekmektedir.

Himmetoğlu formasyonu gibi yüksek miktarlarda organik madde içeren çökel istifleri, organik madde üretiminin ve korunumunun yüksek olduğu alanların ürünüdür (Tissot ve Welte, 1984; Flead ve Brodes, 1987). Genç çökellerdeki organik madde zenginliği, yüzey suyundaki besin desteğinin ve güneş ışığının etkisiyle gerçekleşen yüksek biyolojik üretiminin bir sonucudur. Bunların çökellerde korunabilmesi, yani kayaçlarda yüksek miktarda organik madde depolanması ise, oksijensiz ya da düşük oksijenli (anoksik ya da suboksik) çökel-su arayüzünün bulunduğu ortamlarda gerçekleşebilmektedir (Kelts, 1988). Bu açıdan havzadaki organik maddece zengin çökellerin oluşmasında ve korunabilmesinde, su kütesinin kimyasal özellikleri (ortamın indirgen ya da yükseltgen oluşu) önem kazanmaktadır. Himmetoğlu formasyonunda, düşey istif boyunca kömür ve bitümlü şeyllerin çok kısa aralıklarla araldanması, çökeltme koşullarındaki tekrarlı ve hızlı değişimlerin bir kanıtıdır.

Ortamsal değişimlerinin tanımlanması ve nedenlerinin saptanması amacıyla, bu çalışmada, istifin stratigrafik, litolojik, sedimentolojik, organik/inorganik jeokimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Kömür ve bitümlü şeyllerin özellikle istifin belirli bir kesiminde cm ölçeğinde araldanması, litostratigrafik ayrımlarının ayrıntılı yapılmasını gerektirmiştir. Bu nedenle, 34 m'lik bir kesit ölçülerek, kömür-bitümlü şeyl geçişi daha ayrıntılı olmak üzere, örneklenmiştir. Kesit boyunca litolojik, mineralojik, kimyasal özelliklerdeki ve organik maddenin miktar ve türündeki değişimler, gözlem ve analiz sonuçları yardımıyla ortaya konmuştur. Ayrıca bu özelliklerin istif boyunca farklılaşmalarının, ortamın fiziksel, kimyasal, biyolojik koşullarındaki değişimlerin sonucunda gerçekleşmiş olabileceği düşüncesinden yola çıkarak, su kütesinin kimyasal özelliklerinin ve redoks potansiyelinin etkisi incelenmiştir.

YÖNTEMLER ve ÖRNEKLER

Birimin organik madde içeren ilk kesiminden başlanarak 34 m'lik bir kesit ölçülmüş, kesit boyunca 84 örnek derlenmiştir. Örnekler içerisindeki toplam organik karbon miktarının belirlenmesi amacıyla LECO CS-225 analizi, organik madde türünün ve termal olgunluğunun belirlenmesi amacıyla Rock-Eval Piroliz yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla, Delsi firmasının geliştirdiği Rock-Eval-II piroliz cihazı kullanılmıştır. Örneklerin tane boyu dağılımları ise Fritsch Analysette 22 analiz cihazında belirlenmiştir. Bu analiz sonucunda 0,1-1000 µm aralığındaki tane boyu dağılım ve sıklıkları tespit edilmiştir.

Pirite bağlı kükürt miktarının saptanabilmesi amacıyla seçilen bir dizi örneğin organik bileşenleri yakılarak organik maddeye bağlı bulunan kükürt uzaklaştırılmış ve bu örnekler İstanbul Üniversitesi İleri Tetkikler Laboratuvarında bulunan Thermo Finnigan Flash EA 1112 Serisi Elemental Analiz Cihazı ile analiz edilmiştir. Leco analizi ile toplam kükürt miktarı (TS) saptanan örnekler ile pirite bağlı kükürt arasında bir korelasyon bulunmuş ve TS miktarları bilinen tüm örneklerin pirite bağlı kükürt içerikleri, bulunan bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

Radyoaktif elementlerden Uranyum ve Toryum miktarları, nötron aktivasyon analizi yöntemi ile TAEK, Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi Laboratuvarında belirlenmiştir. Bu analiz tekniği, reaksiyon sırasında oluşan radyoaktif izotopların bozunurken yayınladığı gama ışınlarının miktarının, söz konusu elementin miktarıyla orantılı oluşu ilkesine dayanmaktadır.

Kayaçların mineralojik bileşimlerini belirleyebilmek için tüm kayaçlara ait toz örneklerin, STOE Firmasının geliştirdiği x ışını difraktometresi (x-ray transmission-diffractometer) cihazında analizleri yapılmıştır. Bu cihaz Debye-Scherrer tekniği ile

çalışmaktadır. Cihazın ürettiği x ışınlarının dalga boyu 1,78897 nm'dir ve Co-K α lambası tarafından üretilmektedir. Her bir örnek için 5-70⁰ arasındaki 20 değerleri arasında ölçüm yapılmıştır. Her bir örneğin mineralojik bileşiminin belirlenmesini sağlayan kalitatif mineralojik tanımlamaların ardından, Leco analizi sırasında belirlenen CaCO₃ değerleri ve XRD difraktogramları ile yarı kantitatif bir değerlendirme yapılmış ve her örneğin bileşiminde bulunan minerallerin yüzde olarak miktarı hesaplanmıştır. Organik petrografi analizleri kayaçlar içindeki katı halde bulunan organik maddenin fiziksel ve optik özelliklerinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında Leitz Orthoplan/MPV-SP Photometer tip mikroskop (üsten aydınlatmalı), 50X'lik objektif, 546 nm dalgaboyu ve ışığı kırma indisi 1.516 olan immersiyon yağı kullanılmıştır. Leco, Rock-Eval ve Nötron aktivasyonu analiz sonuçları üçüncü dereceden hareketli ortalamalar yöntemine dayalı bir trend analizi ile yorumlanmıştır.

GENEL JEOLJİ:

Çalışma alanı, Batı Pontidlerin, Sakarya Kıtası adı verilen parçasında yer almaktadır. Sakarya Kıtası, güneyde Anadolu Levhası kenet kuşağı zonu ile, kuzeyde İstanbul-Zonguldak zonuyla sınırlanmaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981). Sakarya Kıtasına ait çökel istifleri tarafından tabanlanan Himmetoğlu Formasyonunun yakın çevresinde Mesozoyik'den, Kuvaternere kadar ulaşan birimler bulunmaktadır (Şekil 1, 2a). Bu birimlerin ilki duraylı bir şelf ortamında çökelen Maastrihtiyen yaşlı Seben formasyonudur (Beseme, 1967). Üzerindeki kumtaşlarından oluşan Taraklı formasyonu (Üst Kretase/Paleosen) bölgede başlayan regresyonun ilk ürünü olup, bu etkinin devam etmesi sonucunda resifal özellikteki Selvıplar formasyonu çökelmiştir (Saner, 1980). İlerleyen dönemde bölgedeki ilk karasal birim olan Kızılçay formasyonunun çökelişi başlamıştır (Saner, 1980). Bu incelemenin esas konusu olan Himmetoğlu formasyonu (Üst Miyosen), bu formasyon üzerine uyumsuz olarak gelmektedir (Turgut ve Dümenci, 1980). Birimin üstündeki Kuvaterner yaşlı birimlerle olan ilişkisi uyumsuzdur.

Bu çalışma kapsamında Himmetoğlu formasyonu litolojik, sedimentolojik, kimyasal, mineralojik ve organik jeokimyasal özellikleri ışığında 4 farklı zona ayrılmıştır. Bunlardan ilki OM içermeyen, yeşil kil ve konglomeralardan oluşan "*alt kömürsüz zon*"dur ve bu çalışmada incelenmemiştir. Bu zonun üstünde bulunan kesim yüksek oranda karasal OM içermektedir (hümik kömür ve hümik OM'ce zengin kilitaşları) ve "*kömür zonu*" olarak adlandırılmıştır. Kömür zonundan, hümik OM'nin yanı sıra sapropelik OM'nin de bulunmasıyla ayrılan kesim "*kömür-bitümlü şeyl zonu*" olarak tanımlanmıştır. En üstteki sadece sapropelik OM içeren

kesim ise "*üst kömürsüz zon*" olarak adlandırılmıştır. Himmetoğlu kesiti boyunca, kömür zonunun kalınlığı 9m, kömür-bitümlü şeyl zonunun kalınlığı 4.4m'dir. Tamamı ölçülmemiş olan üst kömürsüz zonun yaklaşık 21m'lik bir kesimi incelenmiştir (Şekil 2b, c).

ÇÖKEL İSTİFİN ÖZELLİKLERİ

Çökel istifinin özellikleri; sırasıyla, sedimentolojik özellikler, kimyasal bileşim, mineralojik bileşim ve organik jeokimyasal özellikler başlıkları altında incelenmiştir.

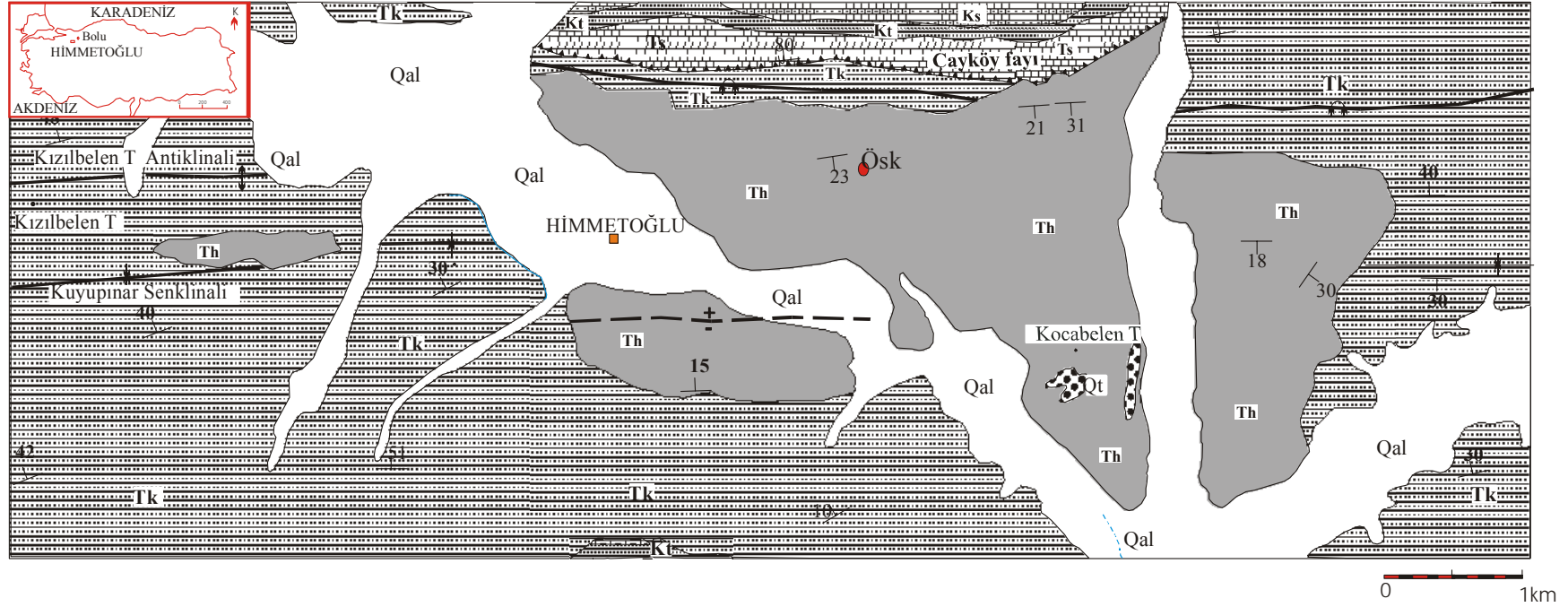
Sedimentolojik Özellikler

Sedimenter yapılar ve doku (özellikle tane boyu) gibi sedimentolojik özellikler çökelme ortamlarının enerji düzeyi hakkında bilgi sağlayabilmektedir. Arazi gözlemleri sırasında belirlenen sedimenter yapılar ve analitik olarak saptanan tane boyu dağılımları gözetilerek, çökelme ortamı değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Kesit boyunca rastlanan en önemli sedimenter yapı ince ve belirgin laminasyondur ve kesitte 9.5m'nin üzerindeki bazı seviyelerde gözlenmiştir. Bunların en belirginleri, H11/10.76m, H13/11.34m, H16/11.54m, H19/11.97m, Hm22/12.24m seviyeleridir (Şekil 2). İnce laminalı ve organik maddece zengin olan ince taneli kırıntılı kayaçlar, dalga yüzeyinin altındaki çökelme koşullarına işaret etmektedir (Littke, 1993). Bir başka tanımla çökelme ortamı açısından düşük enerjili evrelere karşılık gelmektedir. Kireçtaşı seviyelerinde ise (H5/8.93m, H8/9.58m, H10/10.44m) çökel yapılardan yoksun, taneli ve gözenekli bir doku egemendir. Bu seviyelerin tabandaki bir çamurtaşı seviyesinin üzerinde çökeldeği konumlarda, yük kalıpları oluşmuştur. Bazı seviyelerde (H4/8.78m, H7/9.35m) ise enerji düzeyinin arttığı dönemlere işaret eden intraklastlara rastlanmıştır.

Kesit boyunca sırasıyla 9.35-10.44-14.5-18.71-20.88-25.36-30.63m'lerini temsil eden 7 farklı örneğin (H7, H10, Hm25, Hm26, Hm27, Hm28, Hm29) tane boyu dağılımları saptanmıştır. Örneklerin ortalama tane boyutları (median=ortanca değerleri, "M") 8,9-13,93 μ m arasında değişmekte olup, kil/silt aralığında bulunan, ince taneli kayaçlara işaret etmektedir. Bu da, bu seviyelerin çökmesi sırasında, ortamının enerji seviyesinin oldukça düşük olduğunu göstermektedir.

Tane boyuna yönelik istatistiksel yaklaşımlar, çökelme ortamının dinamik özellikleri hakkında tek başlarına çok güvenilir bilgi sağlamasa da, bu çalışmadaki diğer verilerle uyumları gözetilerek, ortamın enerji düzeyinin ve olası değişimlerin belirlenmesi amacıyla bunlardan faydalanılmıştır. En kaba tanenin yüzdesi olarak tanımlanan katsayı (C) ile ortalama tane boyu (M) arasındaki ilişki, çökelme ortamının dinamiklerini belirlemede kullanılan göstergelerden bir tanesidir (Passega, 1957, 1964). Bu ilişki doğrultusunda çizilen C-M diyagramı,

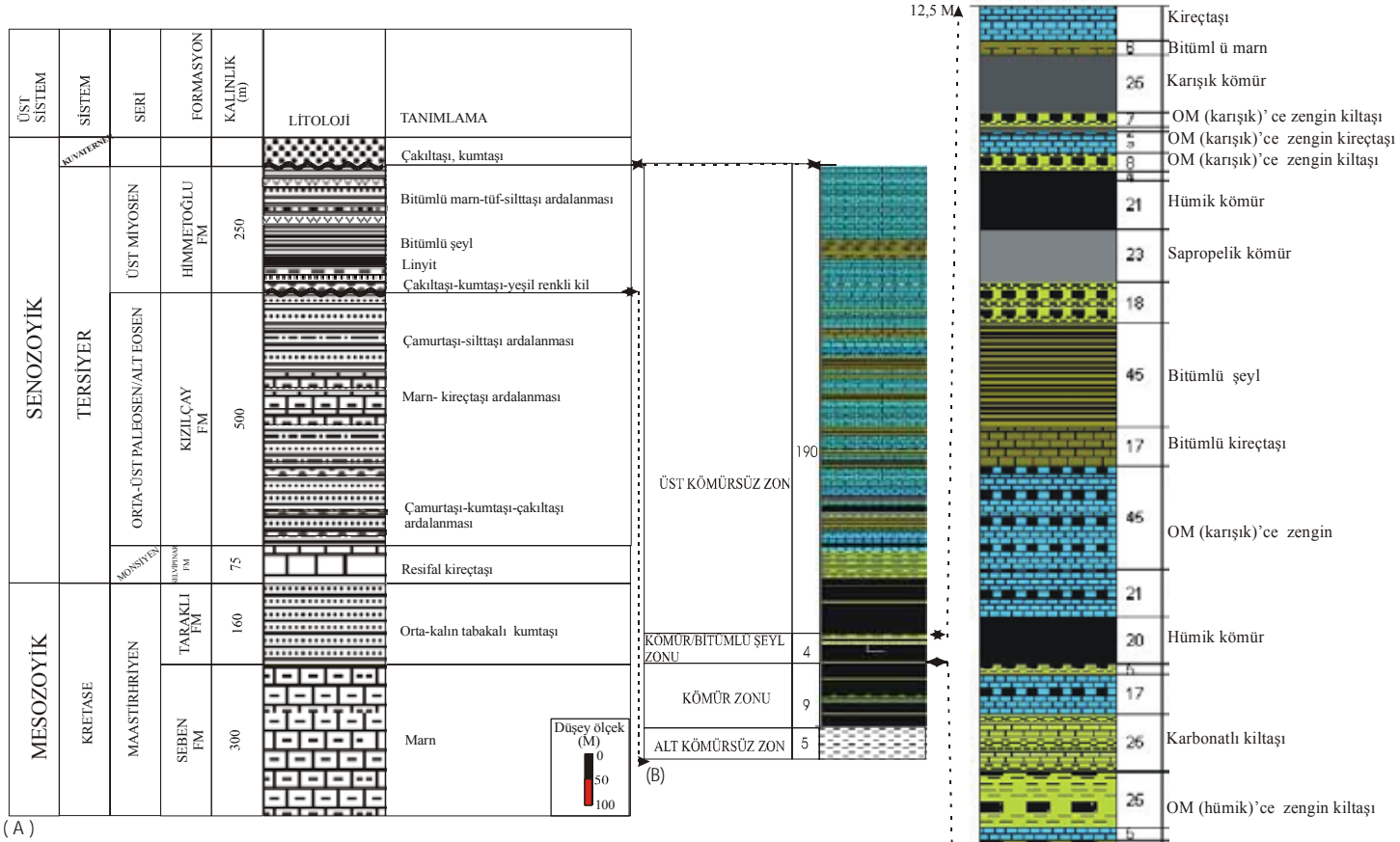


ACIKLAMALAR

Alüvyon	Selvıpınar Kireçtaşları	Formasyon sınırı	Normal Fay	Devrik senklinal
Kocabelen Tepe Çakılları	Taraklı Formasyonu	Tabaka konumu	Ters Fay	Antiklinal
Himmetoğlu Formasyonu	Seben Formasyonu	Devrik tabakalanma	Doğrultu atımlı Fay	Senklinal
Kızılçay Formasyonu				

Şekil 1. Himmetoğlu bölgesine ait jeoloji haritası (Şener, 1992'den değiştirilecek).

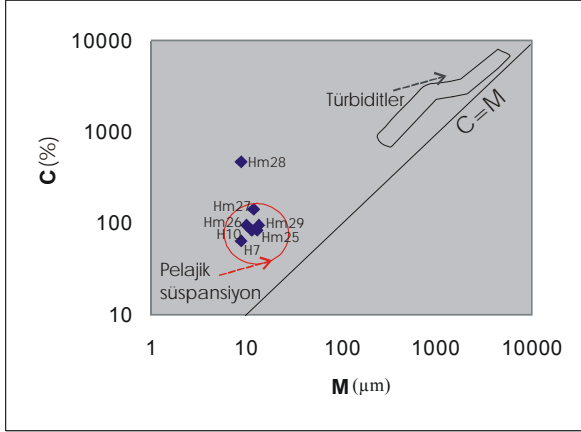
Figure 1. Geological map of the Himmetoğlu Area (Modified from Şener, 1992)



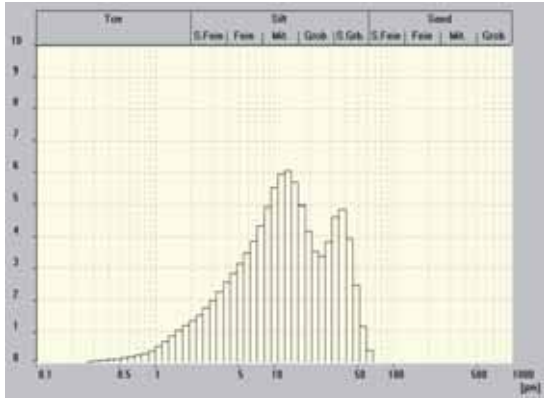
Şekil 1. a) Genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Şener, 1992'den değiştirilerek);
b) Himmetoğlu formasyonu içindeki zon ayrımları (Bulkan, 2002)
c) Himmetoğlu formasyonunun ayrıntılı olarak incelenen kömür/bitümlü şeyl zonuna ait ölçülmüş stratigrafi kesiti.

Figure 2. a) Generalized Stratigraphic section of the Himmetoglu Area (modified from Şener, 1992),
b) Detailed stratigraphic section of the Himmetoglu formation (Bulkan, 2002),
c) Detailed stratigraphic section of the coal/oil shale transition in the Himmetoglu formation

plaj ortamından çeşitli süspansiyon biçimlerine kadar çok farklı dinamik özellikleri olan ortamların ayırımında kullanılmaktadır. Himmetoğlu formasyonuna ait örneklerin pelajik süspansiyon alanında kümelenmeleri, çökme ortamının enerji seviyesinin düşük oluşunun bir diğer göstergesidir (Şekil 3a).



(a)



(b)

Şekil 3: a) Tane boyu analizi yapılan örneklerin C/M diyagramındaki konumu; b) Hm26 örneğine ait tane boyu dağılım grafiği

Figure 3: Position of the samples used for grain size analysis; a) samples locations in the C/M diagram; b) grain size distribution of sample Hm26.

Tane boyu dağılımlarının en sık rastlanılan değerleri (mod = tepe değerleri) de çökme dinamiklerine ışık tutmaktadır. İncelenen örnekler, ilki orta silt, ikincisi kaba silt/ince kum boyutunda olan iki farklı mod'lu, bimodal tane boyu dağılımına sahiptir (Şekil 3b). 5-50 µ aralığında iki farklı mod değerinin bulunması, ortamı şekillendiren iki farklı dinamik etkinin sonucudur. Ancak mod değerlerinin bulunduğu bu aralık, çökelinin iki farklı etkiyle de olsa, sudaki aşılı maddeden gerçekleştiğini göstermektedir. Bu farklılık yağış miktarlarının dönemsel farklılaşmasına bağlı

olarak, kuvvetli yağış dönemlerinde daha kaba tanelerin, diğer dönemlerde ise daha ince tanelerin çökelmiş olabileceğini düşündürmektedir (Sun vd., 2002).

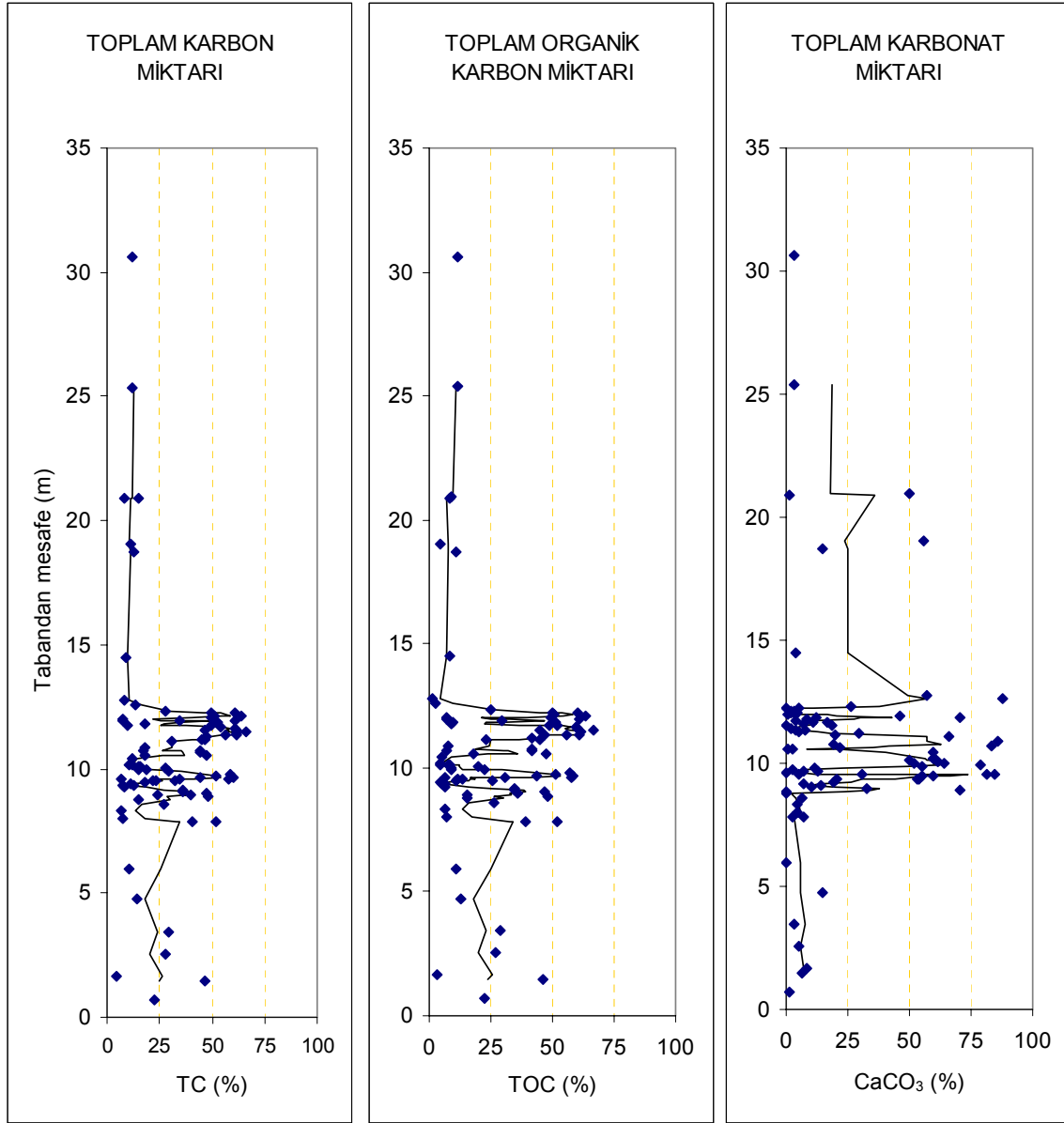
Laminalanma sunan ve süspansiyondan çökelim gösteren durgun dönemlerde oluşmuş seviyeler ile intraklastlı ve taşınmış kavkı/organik madde içeren seviyelerin konumları kesit boyunca değerlendirilerek, istif genelindeki dinamik koşullara yönelik yorum yapılabilir. Buna göre çökel yapısı göstermeyen ve yer yer kum seviyeleri, intraklastlar ve taşınmış organik parçalar içeren ilk 9.5m'lik kesimin enerji düzeyi göreceli olarak daha yüksektir. Bu kesimin üzerinde bulunan 9.5-12.5 m arasındaki istif, taşınma sonucu gelişmiş kavkılı zonlar ve masif seviyeler ile bunlarla ardalaşımli olarak bulunan laminalı zonlardan oluşmaktadır. Bu ardalanma ortamın enerji seviyesinin zaman zaman yükseldiğine ve zaman zaman durgunlaşığına işaret etmektedir. 12.5m'nin üzeri ise genellikle laminalı ve yer yer masif karbonat yığılımlarından oluşan ardalanmalı bir istifte temsil edilmektedir. Bu dönemde ortam oldukça durgun bir özellik kazanmıştır.

Kimyasal Bileşim

Himmetoğlu kesiti boyunca incelenen istifin kimyasal bileşimi, toplam karbon (TC), toplam organik karbon (TOC), toplam karbonat (CaCO_3), toplam kükürt (TS) ve piritte bağlı kükürt (Sp) bileşenleri gözlemlenerek değerlendirilmiştir (Şekil 4).

Toplam karbon (TC) miktarı, istif boyunca %4-66 arasında değişmekte olup, ortalama %30 dolayında bulunmaktadır. Bu ortalama değer, istifin farklı kesimlerinde %1,5-66 arasındaki oranlarda bulunan toplam organik karbonun (TOC) ortalama miktarına (%28) oldukça yakındır. İki ortalama arasındaki yakınlık, kayaçlarda bulunan karbonun önemli kısmının organik kökenli olduğunun bir göstergesidir. Geriye kalan inorganik karbon miktarı ise karbonat (CaCO_3) olarak hesaplanmış olup, bu değerler %0-87 arasında değişmektedir.

TC, TOC ve CaCO_3 miktarlarının istif boyunca değişimlerini değerlendirebilmek için, bu bileşenlerin derinlikle değişimlerini gösteren diyagramlar hazırlanmıştır (Şekil 4). Her üç bileşene ait genel gidişler, bu özelliklerin, kesitin iki farklı seviyesinden itibaren değiştiğini göstermektedir. Bunlardan ilki tabandan itibaren 8.5m kalınlığındaki kesim olup, bu kesimde kimyasal bileşim oldukça homojendir. Bu özellik, çizgisel gidişler ile karakterize edilmektedir ve çökme sırasında kimyasal bileşimi etkileyen koşulların çok fazla değişmediğini göstermektedir. Ayrıca TOC ve TC miktarlarının %25 değerinde sabit bir gidiş sunması, karbonun hemen hemen tümünün organik kökenli, bir başka tanımla bu ilk seviyenin organik madde açısından oldukça zengin olduğunu göstermektedir. İnorganik karbon ise oldukça düşük miktarlarda (<%5) bulunmaktadır. Bu özellik, bu dönemde kimyasal çökelinin bulunmayışının bir sonucudur.



Şekil 4: Toplam karbon (TC), Toplam organik karbon (TOC) ve toplam karbonat (CaCO_3) miktarlarının Himmetoğlu ölçülmüş stratigrafi kesiti (ÖSK) boyunca değişimleri: Noktalar ölçüm değerlerini, sürekli çizgi ise kayan ortalamalar yöntemiyle saptanmış 3. dereceden trendi göstermektedir.

Figure 4: Variations of Total Carbon (TC), Total Organic Carbon (TOC) and Total Carbonate (CaCO_3) along the Himmetoğlu section: Points indicates measured values, line shows the trend according to gliding mean values of third order.

Kimyasal bileşimde değişimlerin görüldüğü ikinci seviyeye (12.5m) kadar olan kesimde (8.5-12.5m), TOC, TC ve CaCO_3 miktarları büyük dalgalanmalar sergilemektedir. Bu aralıkta, bu üç bileşene ait değerler, tekrarlı olarak minimum ve maksimuma ulaşmaktadır. Sonuç olarak bu kesimde kimyasal bileşimin çok değişken olduğu anlaşılmaktadır.

12.5-34m aralığının TC ve TOC miktarları yaklaşık %10 değerinde sabit bir gidiş sunmaktadır. Bu aralık, istifde organik madde miktarının en düşük olduğu kesimdir. Buna karşın CaCO_3 miktarı oldukça yüksektir (>%25). Bu özellik, bu seviyenin, kimyasal çökelimin de etkili olduğu bir evrenin ürünü olduğuna işaret etmektedir.

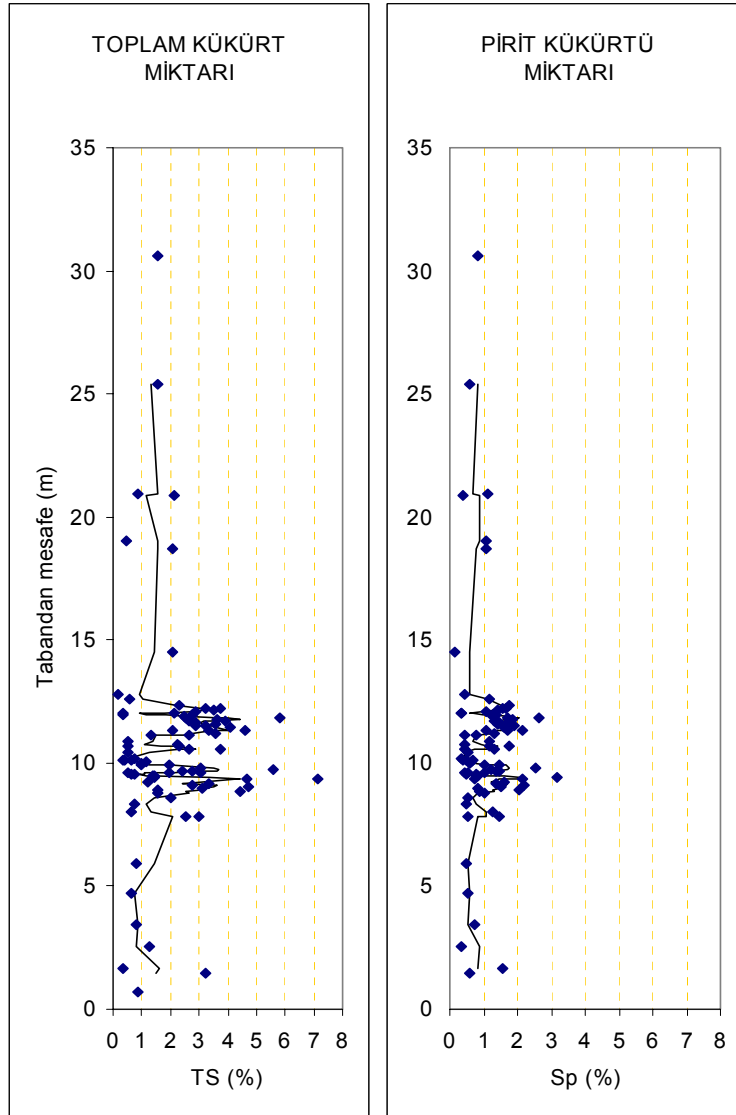
Toplam kükürt miktarları (TS) %0.3-7.0 arasında değişim göstermekte ve %2.2'lik bir ortalama değer ile

temsil edilmektedir. Bu ortalama değerin yaklaşık %1'lik kısmı inorganik kükürt (pirite bağlı kükürt)'dür ve örneklerdeki miktarı %0.2-4.0 arasında değişmektedir (Şekil 5).

TS miktarının istif boyunca değişimini belirlemek için karbon değerlendirmesine benzer bir yöntem izlenmiştir (Şekil 5). TS bileşeninin genel gidişi, TC, TOC ve CaCO₃ bileşenleri ile benzer olup, 0-8.5m aralığında yaklaşık %1, 12.5-34m aralığında %1.5 değerinde çizgisel karakterdedir. 8.5-12.5m aralığı ise %0.5-5.7 arasında değişen maksimum ve minimum

değerlerin aralanmalı olarak bulunması nedeniyle tekrarlı değişimler sergiler. Ancak buradaki kükürt miktarı genel olarak alt ve üstündeki diğer iki seviyeden daha yüksektir.

Pirite bağlı kükürt (Sp) değerlerinin istif boyunca değişimleri sırasıyla ilk aralıkta en düşük (%1), üçüncü aralıkta ise en yüksek değerleri (%1.5) almaktadır. Ancak bunların arasındaki kesim, tekrarlanan değişimler göstermesi nedeniyle, diğer kesimlere benzememektedir.



Şekil 5. Toplam kükürt (TS) ve pirit kükürtü (Sp) miktarlarının Himmetoğlu ölçülmüş stratigrafi kesiti (ÖSK) boyunca değişimleri: Noktalar ölçüm değerlerini, sürekli çizgi ise kayan ortalamalar yöntemiyle saptanmış 3.dereceden trendi göstermektedir.

Figure 5. Variations of Total Sulphur (TS) and Pyrite Sulphur (Sp) along the Himmetoğlu section: Points indicates measured values, line shows the trend according to gliding mean values of third order.

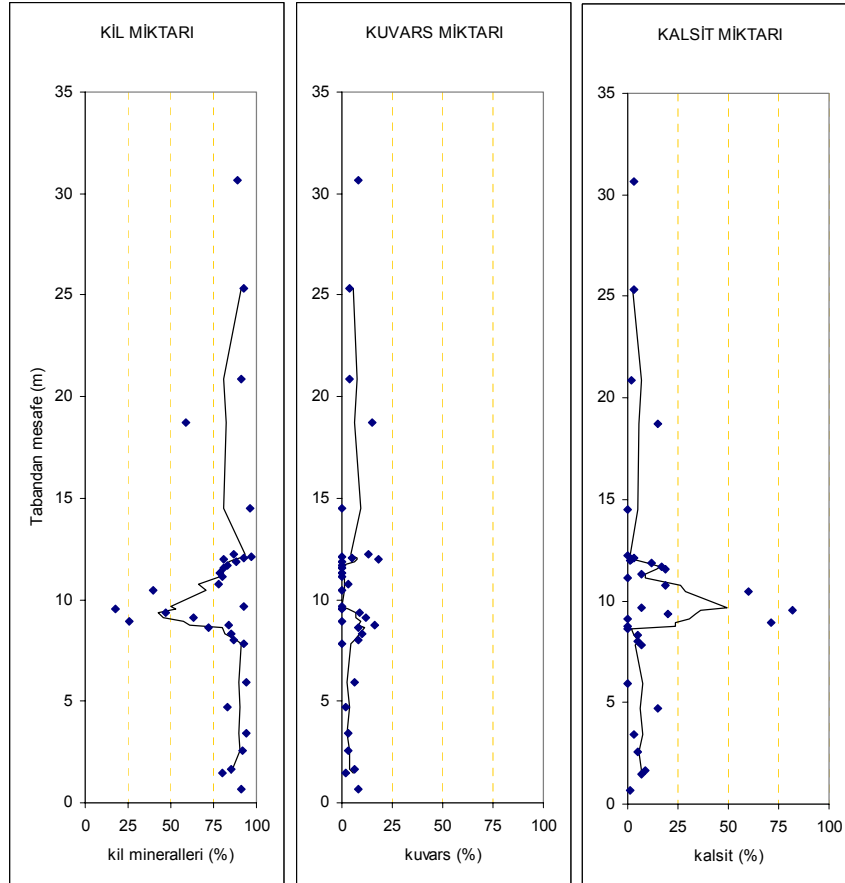
Mineralojik Bileşim

İncelenen örneklerde, kalsit, aragonit, kuvars, pirit, jips ve kil mineralleri saptanmıştır. Bunlardan kil mineralleri istifteki bir kaç seviye dışında inorganik bileşenlerin %60'ından fazlasını oluşturmaktadır. İkinci önemli mineral grubu karbonat mineralleridir. En yaygın karbonat minerali kalsitir (%0-82). Ayrıca üç farklı seviyede aragonit (%0-20) belirlenmiştir. Bu iki grubun dışında sırasıyla, %0-18, %0-10, %0-15 arasında değişen miktarlarda, kuvars, pirit ve jips mineralleri bulunmaktadır.

Baskın mineral grupları olan kil ve kalsit minerallerinin miktarı, istifin ilk 8.5m'lik kesiminde sırasıyla %90 ve %5'lik çizgisel gidişler sunmaktadır (Şekil 6). Bu durum, kil minerallerinin istifin baskın mineralojik bileşimini oluşturduğunu göstermektedir. 8.5-12.5m aralığında ise kil ve karbonat miktarına ait gidişlerde dalgalanmalar görülmektedir. Bu aralığın karbonat içeriği oldukça yüksektir (%50) ve 10m seviyesinde, en yüksek değere ulaşmaktadır. Buna

karşın bu kesimin alt ve üst sınırlarında %0' a varan düşüşler görülmektedir. Kil miktarı ise ilk aralığa göre oldukça düşüktür. Bu durum büyük oranda karbonat minerallerinden oluşan bir kesime işaret etmektedir. 12.5m'nin üzerindeki seviyelerde karbonat miktarları tekrar düşüş (%10) eğilimi gösterirken, kil mineralleri yaklaşık %80 oranında bulunmaktadır.

Buna göre kil ve karbonat miktarı arasında kesit boyunca negatif bir korelasyon göze çarpmaktadır. Sonuç olarak baskın mineral gruplarına göre yapılan bu değerlendirme istifin, mineralojik bileşimi farklılıklar sunan üç kesimden oluştuğunu göstermektedir. Kil minerallerinin baskın olduğu 0-8.5m aralığı kırıntılı malzeme geliminin yüksek olduğu şartların ürünü olup, 8.5-12.5m aralığı zaman zaman kırıntılı malzeme geliminin ve zaman zaman da kimyasal çökelinin etkili olduğu değişken bir çökeltme ortamının ürünüdür. 12.5m'nin üzerinde ise kırıntılı ve karbonat çökelinin bir dengeye ulaştığı koşullara işaret etmektedir.



Şekil 6. Kil, kuvars ve kalsit minerallerinin Himmetoğlu ölçülmüş stratigrafi kesiti (ÖSK) boyunca değişimleri: Noktalar ölçüm değerlerini, sürekli çizgi ise kayan ortalamalar yöntemiyle saptanmış 3.dereceden trendi göstermektedir.

Figure 6. Variations of Clay, Quartz and Calcite along the Himmetoglu section: Points indicates measured values, line shows the trend according to gliding mean values of third order.

Organik Jeokimyasal Özellikler

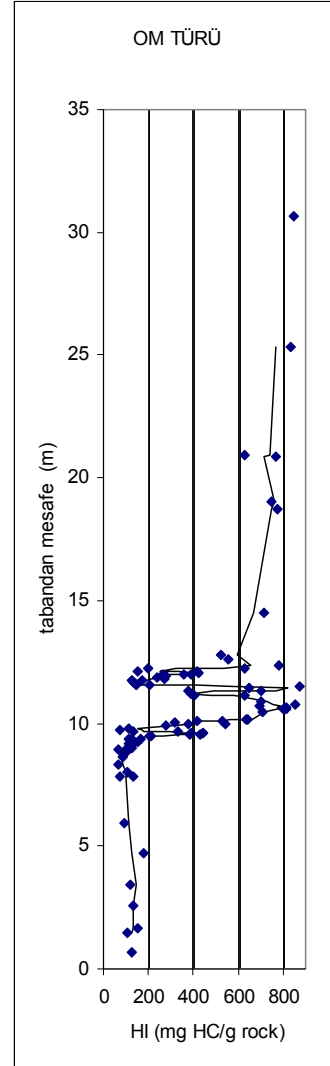
Örneklerin organik jeokimyasal karakterizasyonu, kayalardaki organik maddenin miktarı ya da zenginleşmesi ile türü ya da kalitesi olarak adlandırılan iki temel parametreye göre yapılmıştır. Bunlardan organik madde zenginliği, toplam organik karbon (TOC) miktarları, organik madde türü ise Hidrojen indeksi (HI) değerleri yardımıyla değerlendirilmiştir. TOC miktarının %5'in üzerinde olması organik maddece zengin kayaların göstergesidir. Bu değerlerin %50'nin üzerine çıkması durumunda bu kayalar "kömür" olarak adlandırılmaktadır. HI değerleri ise, 0-200 mg HC/ g TOC arasında hümit (karasal), 200-600 mg HC/ g TOC arasında karışık, 600-1000 mg HC/ g TOC arasında sapropelik (alg türü) organik madde türünün göstergesidir.

İstifte TOC (%3-61) ve HI miktarlarının (60-940 mg HC/gTOC) aldığı değerler, organik madde tür ve miktarının oldukça değişken olduğunu göstermektedir (Şekil 4, 7). TOC ve HI parametrelerinin kesit boyunca değişimi, kimyasal ve mineralojik bileşimde olduğu gibi, sırasıyla 0-8.5m, 8.5-12.5m ve 12.5-34m aralıklarında farklılıklar göstermektedir. İlk aralıkta (0-8.5m) toplam organik madde miktarı (TOC) %25'lik, hidrojen indeksi değeri ise yaklaşık 150 mg HC/grTOC'lik çizgisel gidişler sunar. Bu değer organik madde türünün hümit (karasal) olduğuna işaret etmektedir. Buna karşın ikinci aralıkta (8.5-12.5 m) organik madde tür ve miktarlarında büyük dalgalanmalar görülmektedir. Bu kesimde her üç türde organik madde bulunmaktadır. Organik madde miktarı ise genel olarak alttaki kesime göre yükselme eğilimindedir (%5<TOC<%65). Üçüncü aralıkta (12.5-34m) TOC içeriği daha düşüktür (TOC<%15) ve sadece sapropelik organik madde bulunmaktadır (HI>600 mg HC/grTOC).

Sonuç olarak istif organik madde tür ve miktarına göre de üç farklı seviyeye ayrılmaktadır. Bunlardan ilki (0-8.5m) hümit (hümit OM'ce zengin kilaşları ve kömürler), ikincisi (8.5-12.5m) karışık (sapropelik/hümit/karışık OM'ce zengin kilaşları/ kireçtaşları/kömürler), üçüncüsü (12.5m) ise sapropelik organik maddenin zengin olduğu (bitümlü şeyl aralanmalı kireçtaşı/kilaşı/marn) seviyelerdir.

SU KÜTLESİNİN VE ÇÖKEL/SU ARA YÜZÜNÜN ÖZELLİKLERİ

Farklı tür ve miktarlarda OM içeriğine sahip Himmetoğlu istifinin çökeltme ortamındaki kimyasal koşullar, su kütlesi ve çökelt/su ara yüzünün redoks ve tuzluluk özelliklerinin ışığında değerlendirilmiştir.



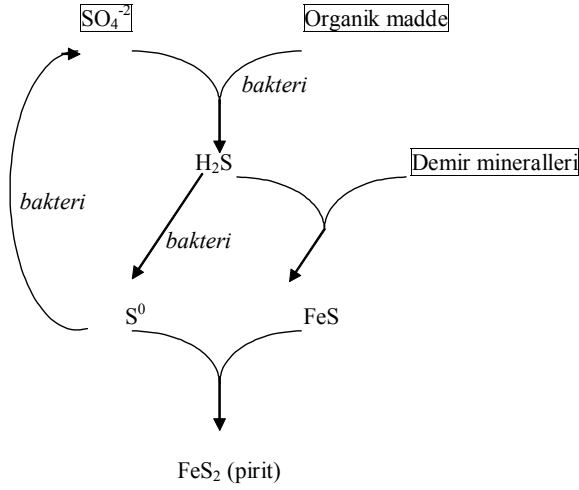
Şekil 7. Hidrojen indeksi (HI) değerinin Himmetoğlu ölçülmüş stratigrafi kesiti (ÖSK) boyunca değişimi: Noktalar ölçüm değerlerini, sürekli çizgi ise kayan ortalamalar yöntemiyle saptanmış 3. dereceden trendi göstermektedir

Figure 7. Variations of Hydrogen Index (HI) along the Himmetoglu section: Points indicates measured values, line shows the trend according to gliding mean values of third order.

Tuzluluk

Çökellerdeki kükürt (pirite bağlı kükürt) organik madde miktarı ilişkisi (TOC/Sp) güncel ve eski ortamların tuzluluk düzeyi hakkında fikir vermektedir. Normal tuzluluğa sahip denizel ortamlar, tatlı su ortamları ve öksinik ortamlar kendilerine özgü TOC/Sp değerlerine sahiptir (Berner, 1970; 1982; Goldhaber ve Kaplan, 1974; Leventhal, 1983; Berner ve Raiswell, 1983). Çökellerdeki TOC ve Sp miktarları, indirgeyici koşullarda, OM, sülfat, demir miktarlarına ve bakteri

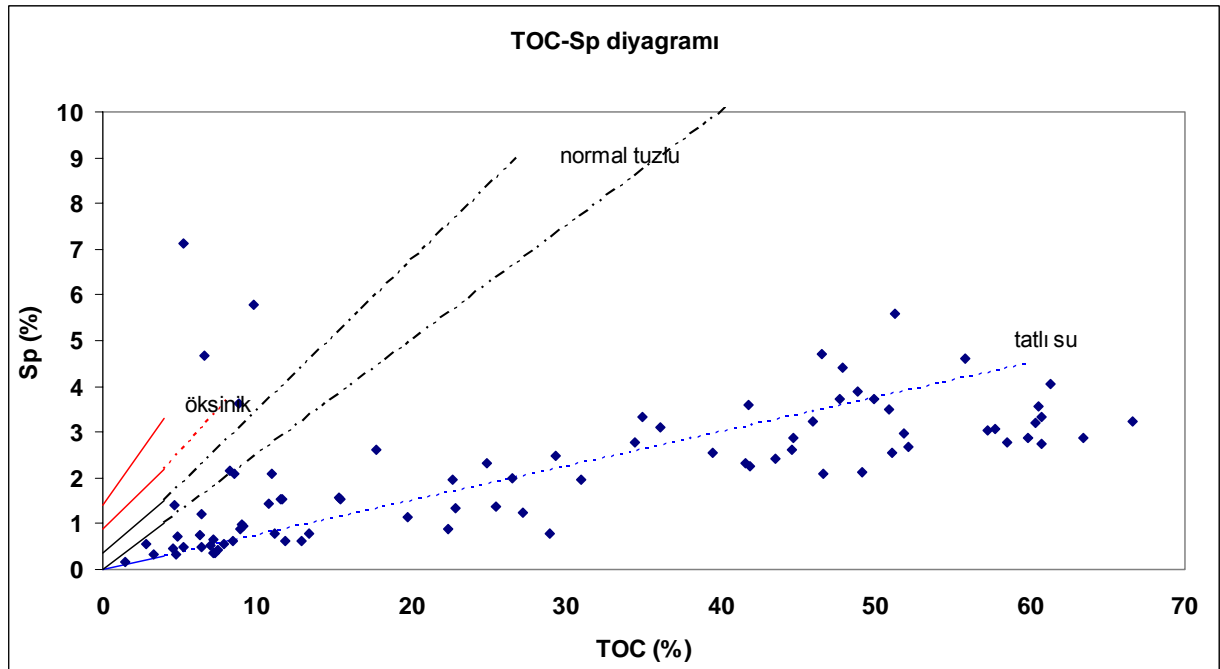
etkinliğine bağlı olarak gelişen ve pirit oluşumuyla son bulan bir dizi reaksiyon tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Pirit oluşumuna kadar gerçekleşen sülfat indirgenme süreçleri ve bakteri etkinliğinin rolü (Berner, 1970'den alınmıştır).

Figure 8. Processes of sulfate reduction leading to sedimentary pyrite formation (Berner, 1970).

İlk reaksiyon, anoksik koşullarda serbest sülfatın (SO_4^{2-}), bakteriler tarafından organik madde ile birlikte kullanılarak hidrojen sülfür'e (H_2S) indirgenmesiyle başlar. Daha sonra ortamda demir mineralleri varsa (kırıntılı demir), yine bakteri etkinliğine bağlı olarak ikinci adım gerçekleşir ve pirit oluşur. Normal tuzluluğa sahip denizel ortamlarda, sülfat yeterli miktarda bulunduğu için, bu reaksiyon için kısıtlayıcı etkenler söz konusu değildir. Tüm sülfat, bir miktar OM kalıntısı bırakarak tamamen indirgenebilir. Sülfat konsantrasyonunun düşük olduğu (deniz suyundan 200 kat daha az) tatlı su ortamlarında, bu oluşum sınırlı miktarlarda gerçekleşmektedir (Goldhaber ve Kaplan, 1974). Reaksiyona giren sülfat miktarı az olduğundan tüm OM tüketilemez, TOC/Sp oranı normal tuzluluktaki ortamlardan çok daha yüksek olur (Leventhal, 1983). Öksinik ortamlarda ise tatlı su ortamlarının aksine, kükürt indirgenmesi normal tuzluluktaki ortamlardan daha yüksektir. Bunun nedeni anoksik koşullarının (serbest H_2S içeren) tüm su kütlelerinde ve çökel/su arayüzünde etkili oluşudur. Bakteri etkinliği hem su kütlelerinde hem de çökel/su arayüzünde etkili olduğundan, normal denizel ortamlardan daha fazla pirit oluşur (Berner, 1970; 1982). Bunların ışığında, TOC, Sp ilişkisi normal tuzlu (denizel)/tatlısu/öksinik (denizel) ortamların ayrımı için kullanılabilir (Şekil 9).



Şekil 9. TOC-Sp diyagramına göre, Himmetoğlu Havzası çökellerinin, çökelediği ortamın su kütlesi özellikleri.

Figure 9. Properties of the water column of the depositional environment of Himmetoğlu Basin deposits according to TOC-Sp diagram.

Himmetoğlu formasyonundan alınan örneklerin TOC/Sp grafiği üzerindeki konumları, çökelenin genel olarak bir tatlı su ortamında gerçekleştiğini göstermektedir.

TOC-Sp arasındaki ilişkinin ışığında, farklı tuzluluk düzeyine sahip ortamların, kendilerine özgü TOC/Sp oranlarına sahip oldukları anlaşılmıştır (Berner ve Raiswell, 1983). Buna göre, TOC/Sp oranı 0,5-5 aralığında tuzlu su, 5-10 aralığında acı su, >10 tatlı su koşullarını karakterize etmektedir.

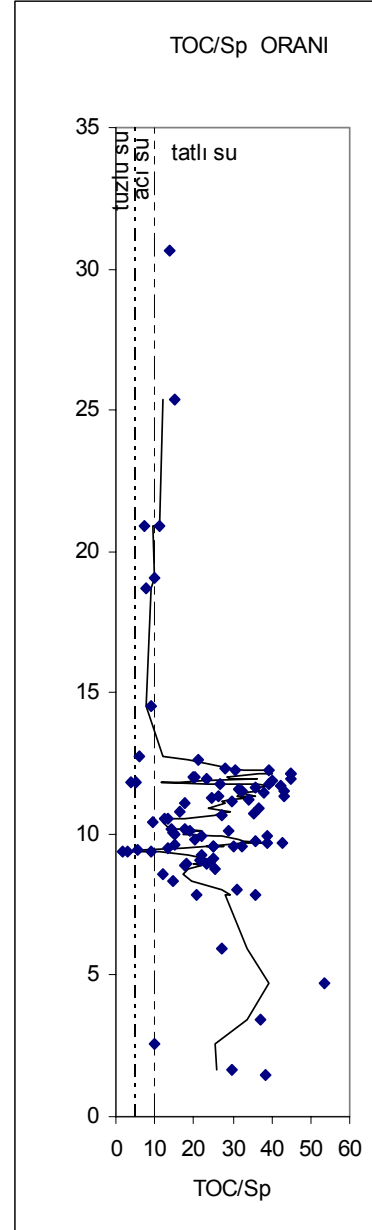
Himmetoğlu kesitinin farklı seviyelerinin TOC/Sp oranlarına göre olan konumları, çökelenin büyük bir bölümünün tatlısu ile tatlusu-acısu geçişinde gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 10). Buna göre ilk 8.5m'lik kesim tatlı su, 12.5-34m aralığı ise acı su koşullarında çökelmiştir. Ancak istifin 8.5-12.5 m aralığının farklı kesimlerinde çökeltme ortamı tatlı/tuzlu/acı su özellikleri göstermektedir. Bir diğer tanımla, bu aralık su kimyasının hızlı değişimler gösterdiği bir dönemin ürünüdür. Su kimyasının ani değişimler gösterdiği en belirgin iki farklı stratigrafik seviye, H7, HMT3B/3C örnekleriyle temsil edilen, 9.17-9.42m ve HMT14A/B örnekleriyle temsil edilen, 11.77-11.86m aralıklarıdır. Bunlardan ilk seviye karbonatlı kiltası, ikinci seviye ise karışık OM ce zengin kavkı ara katkılı kiltaların oluşmaktadır (Şekil 2). Bu seviyelerde ortamda ani olarak, tuzlu/acı su koşulları etkili olmuştur. Bunun ortama tatlı su geliminin azalması ve/veya buharlaşmanın artmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Redoks

Paleo-redoks koşullarının saptanması için piritleşme derecesi (DOP), TOC-Sp ilişkisi, otojenik uranyum miktarı, V/Cr, Ni/V; (Cu+Mo)/Zn ve U/Th oranları gibi pek çok parametre kullanılmaktadır (Adams ve Weaver, 1958; Rogers ve Adams, 1969; Raiswell ve Berner, 1985; Bein vd., 1990; Jones ve Manning, 1994). Bu çalışmada çökeltme ortamının redoks potansiyelinin saptanması amacıyla, TOC-Sp ilişkisinden ve Th/U oranından yararlanılmıştır.

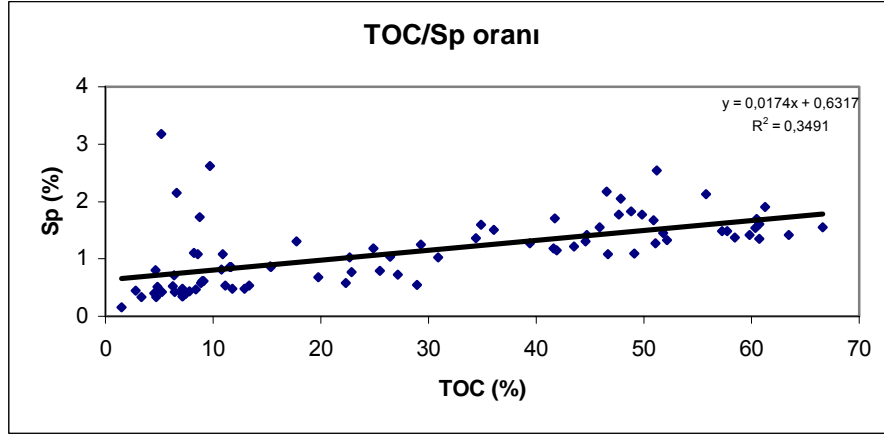
TOC-Sp ilişkisini temsil eden regresyon doğrusunun düşey eksenini (kükürt eksenini) kestiği nokta redoks koşulları hakkında bilgi vermektedir. Bu doğru oksijenli koşullarda oluşan çökellerde yaklaşık olarak orijinden geçmektedir. Buna karşın, anoksik ortam ve oksijensiz çökeltme/su ara yüzü koşullarında doğru, kükürt eksenini pozitif bir değerde keser (Raiswell ve Berner, 1985). Farklı seviyeleri temsil eden regresyon doğrusu, Sp eksenini yaklaşık 0.35 gibi bir değerde kesmektedir (Şekil 11). Bu değere göre istifin genel olarak indirgeyici bir ortamın ürünü olduğu söylenebilir. Demirin limitli olduğu açık deniz ortamlarında, kükürtün çoğu organik kükürt olarak indirgendiğinden,

TOC-Sp ilişkisi paleo-ortamsal bir göstere olmayabilir (Bein, 1990). Ancak, göl ortamlarına açık denizel ortamlara oranla daha fazla kırıntılı demir sağlandığından, bu olasılık söz konusu değildir.



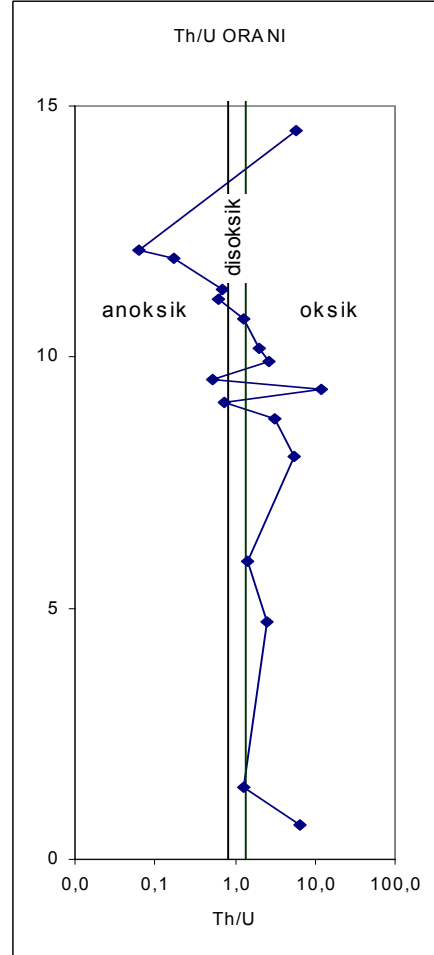
Şekil 10. TOC/Sp oranının Himmetoğlu ölçülmüş stratigrafi kesiti (ÖSK) boyunca değişimi: Noktalar ölçüm değerlerini, sürekli çizgi ise kayan ortalamalar yöntemiyle saptanmış 3. dereceden trendi göstermektedir.

Figure 10. Variations of TOC/Sp ratio along Himmetoğlu section: Points indicates measured values, line shows the trend according to gliding mean values of third order.



Şekil 11: Himmetoğlu Havzası çökellerinin TOC-Sp içeriklerinin regresyon analizi sonucu saptanan genel trendi.
Figure 11: Regressional trend of TOC-Sp contents of the sediments of Himmetoglu Basin.

Çökellerin bileşiminde bulunan Toryum (Th) ve Uranyum (U) elementlerinin miktarları ve Th/U oranı da çökme ortamının oksijen seviyesini ve redoks koşullarını yansıtmaktadır (Adams ve Weaver, 1958; Rogers ve Adams, 1969; Jones ve Manning, 1994). İndirgen koşullarda suda çözümlü halde bulunan U^{+6} indirgenerek U^{+4} ’e dönüşür ve çökellerde depolanmaya başlar. Söz konusu şartlar sürdükçe U^{+4} çökellerde zenginleşmeye devam eder (Klinkhammer ve Palmer, 1991). Th ise sudaki redoks koşullarından etkilenmeksizin (düşük sıcaklık koşullarında) duraylılığını korumaktadır. Sonuç olarak indirgen koşullardaki Th/U oranı, oksik koşullardakinden daha düşük olur. Buna göre Th/U oranı, 0.1- 0.8 arasında anoksik, 0.8-1.33 arasında disoksik, 1.33-10 arasında ise oksik ortamın belirteçidir (Tyson ve Pearson, 1991). Th/U oranındaki kesit boyunca gözlenen değişimler, çökme ortamındaki redoks koşullarının zamana bağlı değişimlerini yansıtmaktadır. Buna göre, istif üç karakteristik aralığa ayrılabilir (Şekil 12). Kesitin ilk 8.5 m’lik kesimi, oksik/suboksik sınırında yer almaktadır ve oksijenli koşulların görece etkili olduğu bir çökel ortamının ürünüdür. Buna karşın istifin 8.5-12.5 m aralığında bulunan örnekler, çoğunlukla suboksik ve anoksik koşullarda çökelmiştir. Bu genellemenin dışında kalan 9.35 m-10.76 m aralığındaki kesim oksik koşulların etkili olduğu bir dönemi yansıtmaktadır. 12 m’nin üzerindeki tek bir örneğin analizi yapıldığı için bu aşamada bu kesim hakkında yorum yapılması doğru olmayacaktır.



Şekil 12. Th/U oranının Himmetoğlu ölçülmüş stratigrafi kesiti (ÖSK) boyunca değişimi: noktalar ölçüm değerlerini göstermektedir.

Figure 12. Variations of Th/U ratio along the Himmetoglu section: Points indicates measured values.

ORTAM YORUMU ve SONUÇLAR

Çökeltme modelinin ortaya konulması amacıyla, saptanan fasiyeler (Tablo 1), su kütlesine ait göstergeler ve inorganik/organik jeokimyasal özellikler birlikte değerlendirilmiştir. Çökel istifinin kimyasal/mineralojik bileşimi ile organik/inorganik jeokimyasal özellikleri yardımıyla tanımlanan gölsel fasiyeler, özellikle iklim ve hidrolojik rejim gibi dış etkenlerin, çökeltme koşullarının oluşumundaki rolü hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır.

Himmetoğlu kesiti boyunca incelenen ilk 8.5m'lik kesim, (kömür zonu) mineralojik bileşimi (<90 kil), egemen litoloji grupları (kilttaşları/silttaşları/kömürler ve ince kumtaşı bantları) ve OM türü (hümkik, HI<200) göz önünde bulundurulduğunda, tipik bir akarsu/göl fasiyesi (A fasiyesi) özelliği taşımaktadır (Tablo 1). Bu fasiyesin şekillenmesinde en etkin rolü, su ve malzeme (kıvrıntılı ve alloktan OM) gelimini kontrol eden hidrolojik rejim üstlenmektedir (Bohacs vd., 2000). Havzaya kesintisiz taze su gelimini sağlayan koşullar göl suyunun oksik, tatlı su özellikleri kazanmasına neden olmuştur (TS<2, TH/U:>1.33, TOC/Sp>10). Kömür zonu tüm bu özellikleriyle, dış süreçlerin kontrolünde şekillenen, yağış miktarının buharlaşmadan fazla olduğu, su fazlası göl modeline (açık göl sistemi) uyum göstermektedir (Şekil 13a).

12.5-34m aralığındaki kesimde (üst kömürsüz zon) sapropelik OM (HI>600) içerikli ve kalınlıkları yer yer 1m'yi geçen marn/kireçtaşı/şeyl türü litolojiler bulunmaktadır (Şekil 2). Bu litolojik birlikler, derinliği değişken göl fasiyesi (B fasiyesi) tanımına uyum göstermektedir (Bohacs vd., 2000). Bu dönemde, iklimin kuraklaşması ve hidrolojik rejimin etkisini yitirmesi kimyasal (organik/inorganik) çökeltim miktarının artmasına neden olmuş, yer yer %60'ın üzerinde karbonat içeren kireçtaşı seviyeleri çökeltmiştir.

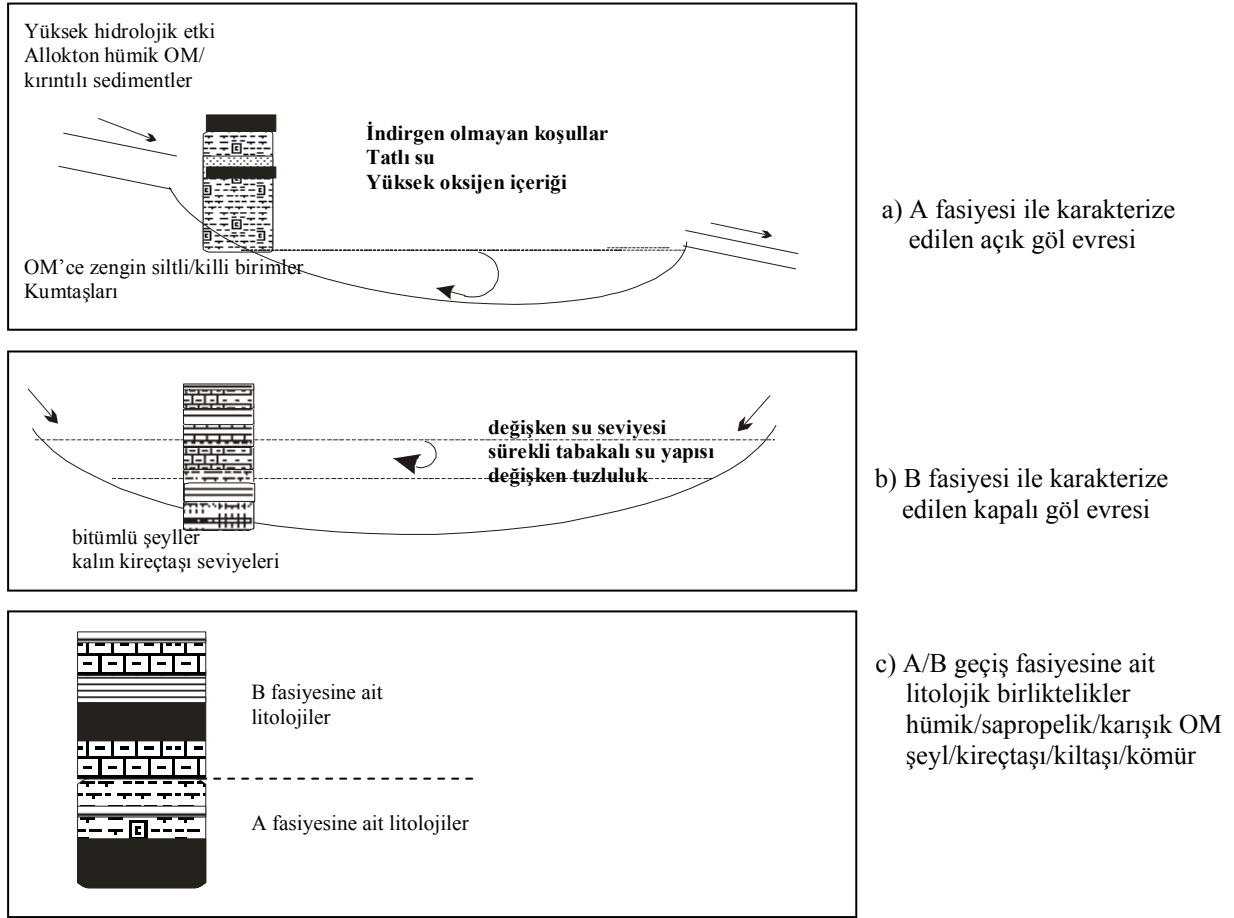
Bunlarla aralanmalı bulunan sapropelik OM (alg kaynaklı)'ce zengin seviyelerin oluşumu ise (bitümlü şeyl/marn/kireçtaşı ve sapropelik kömür), canlı çeşitliliğine elvermeyen kimyasal koşulların (tuzlu/acı su koşulları:TOC/Sp<10) geliştiği kısa dönemlerle ilişkilidir. Bu özellikleriyle istifin bu kesiminin, tipik bir kapalı (dengeli dolan) göl sisteminin ürünü olduğu düşünülebilir (Şekil 13b).

İstifin 8.5-12.5m aralığını kapsayan 4m'lik kesimi (kömür/bitümlü şeyl zonu) ise, mineralojik bileşim (karbonat: % 0-81, kil: %25-97), litoloji grupları (kilttaşları/kireçtaşları/şeyller), organik madde türü ve miktarı (%5<TOC<%65; 68<HI>900) açısından sık değişimlerin izlendiği bir kesimdir. Bu aralıkta, A fasiyesi karakteri gösteren önemli miktarlarda taşınmış malzeme içeren (organik/inorganik) kömür/kilttaş/silttaş litolojileri ile, B fasiyesi karakterindeki birincil (sapropelik) OM içeren, karbonat miktarının yer yer yüksek olduğu (kireçtaşları/marlar/şeyller) litolojiler aralanmalı olarak bulunur (Şekil 2). A ve B fasiyelerinin ardaşımından oluşan bu karakteristik zon (8.5-12.5m), A-B fasiyesi (Tablo 1, Şekil 13c) olarak adlandırılmıştır (Bulkan 2002). Bu dönemde, yağış/buharlaşma dengesi ve akarsu rejimlerindeki değişimler, su kimyasında (tatlı/tuzlu/acısu; 5<TOC/TS<30) ve redoks koşullarında ani ve tekrarlı değişimlerin (oksik/disoksik/anoksik; 0.8<Th/U>1.33) gelişmesine neden olmuştur. Tuzluluk ve redoks göstergelerine bağlı olarak bir genelleme getirildiğinde, A fasiyesi, oksik, tatlı su koşullarında, B fasiyesi ise tatlı/acı/tuzlu su koşullarına doğru değişimler gösteren ve oksijen seviyesinin düşük olduğu (disoksik/anoksik) bir su kütlesinde çökeltmiştir. Bu özellikler, bu dönemde, göl sisteminin dönüşümlü olarak açık ve kapalı göl özelliği kazandığını düşündürmektedir (Bohacs vd., 2000).

Tablo 1. Himmetoğlu formasyonundaki gölsel fasiyelerin Bohacs vd (2000)'ne göre ayrımı ve gölün ortamsal özelliklerindeki değişimler.

Table 1. Lacustrine facies descriptions of Himmetoglu formation according to Bohacs et al. (2000) and the variations of environmental conditions

İstifteki Aralık	Sedimenter Yapı	Organik Madde Türü	OM Miktarı	Litoloji	Fasiyes	Göl Tipi
0-8.5 (m)	Yok	Tip III HI: <200	Hümkik OM'ce zengin TOC:>%3, <%45	Hümkik kömür, Hümkik OM içeren kil/silttaş/kireçtaşı	A (akarsu/göl)	Su fazlası (açık) göl evresi
8.5-12.5 (m)	Paralel laminasyon, oyu/dolgu/ yük kalıpları, intraklastlar taşınmış gastropod zonları	Tip I / II / III HI:100-950 Alg (tuzluluğa dayanımlı), Bitki (taşınmış)	Hümkik/ sapropelik/ karışık OM'ce zengin TOC:>%5, <%65	Hümkik/sapropelik/ karışık OM içerikli kilttaş/şeyl/kireçtaşı Hümkik/Sapropelik kömür	A-B (akarsu/göl- derinliği değişken göl)	Su fazlası- dengeli dolan göl (açık-kapalı) geçiş evresi
12.5-34 (m)	Paralel lamina	Tip I HI: >300	Sapropelik OM'ce zengin TOC: <%20	Marn, kireçtaşı, sapropelik OM içeren kilttaş	B (derinliği değişken göl)	Dengeli dolan (kapalı) göl evresi



Şekil 13. a) A fasiyesi ile karakterize edilen açık göl evresi, b) B fasiyesi ile karakterize edilen kapalı göl evresi, c) A-B geçiş fasiyesine ait litolojik birliktelikler.

Figure 13. a) Open lake environment which is characterized by facies A, b) Closed lake environment which is characterized by facies B, c) The lithological associations of the transitional facies A-B.

SUMMARY

The Upper Miocene Himmetoglu lacustrine basin is characterized by its distinct sequence of organic rich sediments. Sediments have either only sapropelic or humic organic material (OM) or a mixture of them (sapropelic/humic). In this study, the respective paleo-environmental variations were reconstructed.

For this purpose, a 34 m thick section was studied in detail. 84 samples were taken and studied by Leco, Rock-Eval Pyrolysis, XRD, optical microscopy of thin sections, reflected light microscopy of polished sections and a laser-aided granulometry. Analytical results are interpreted in respect to amount and type of OM, mineralogical composition of different lithologies and of the redox potential and chemistry of water column. Analytical results were then used to characterize properties and changes of the depositional environment.

Results indicated that three intervals, can be distinguished. The lowermost interval (0-8.5m) contains

high amounts of clay minerals (90%) and only humic OM. This interval was deposited in fresh water ($TOC/TS > 10$) and under moderate reducing conditions ($TS < 2\%$). The following interval (8.5-12m) is characterized by lithologies with variable OM and mineralogical composition. Different from lower interval, three types of OM (humic, sapropelic and mixture) were defined. This interval is composed of mostly carbonate rocks (0-80% Ca_2CO_3), which intercalate with clay rich layers. Intercalation of these distinct lithologies indicates fast and repeated variations of water chemistry, namely from brackish to fresh water. High sulphur content indicates that reducing conditions were affective. The uppermost interval (12.5-34m) contains variable amounts of only one type of OM (sapropelic) and consist of various lithologies such as marl, limestone, claystone and limy claystones. This interval seems to be deposited mainly under brackish ($5 < TOC/TS < 30$) and reducing conditions ($0.5 < TS < 7$).

Sedimentological properties, lithologies and OM associations of these three intervals showed that the depositional environment changed from an over-filled lake with a lacustrine-fluviative facies association to a balanced-filled lake with a fluctuating water level. The transition was not gradual and a frequent change of these associations took place, as observed within the middle interval (8.5-12.5m). It is concluded that all major environmental factors like as organic/inorganic material and fresh water supply, primary production, preservation, organic/inorganic matter transportation, water dynamics and chemistry were probably affected by climate-induced hydrological variations.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği'nin T-187/06032003 no'lu projesi olarak ve bir bölümünü oluşturduğu, *MioEcoChange* projesi kapsamında da TÜBİTAK, Ankara/Türkiye (proje no: 101Y107) ve Ministry of Education and Research (bmb+f), Bonn/Almanya tarafından desteklenmiştir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Abdülselemoğlu, M.S., 1959**, Almacık dolayısı ile Mudurnu ve Göynük Civarının jeolojisi: İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri (Tabii İlimler Kısmı), c. 14, 94s.
- Adams, J.A. and Weaver, C.E. 1958**, Thorium-uranium ratios as indicators of sedimentary processes: example of concept of geochemical facies. Bulletin American Association of Petroleum Geologists v. 42 (2), p.387-430.
- Ataman, G. et Beseme, P., 1972**, Decouverte de L'analclime Sedimantaire et Anatolie du Nord-Quest (Turquie): Mineralogist, Genese, Paragenese, Chem. Geol, v. 9, p. 203-225.
- Bein, A., Almogi-Labin, A., and Sass, E., 1990**, Sulfur sinks and organic carbon relationships in Cretaceous organic-rich carbonates, implications for evaluations of oxygen-poor depositional environments Am. J. Sci., v. 290, p. 882-911.
- Berner, R.A., 1970**, Sedimentary pyrite formation. Amer. J. Sci., v. 268, p. 1-23.
- Berner, R.A., 1982**, Burial of organic carbon and pyrite sulfur in the modern ocean: its geochemical and environmental significance. Amer. J. Sci., v. 282, p. 451-473.
- Berner, R.A., and Raiswell, R., 1983**, Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 47, p. 855-862.
- Besbelli, B., 1991**, Adapazarı H 25 b 1, b 4, c 1 paftalarının jeolojisi ve petrol olanakları: MTA raporu (yayınlanmamış).
- Beseme, P., 1967**, Kabalar senklinealinin (Göynük-Bolu) genel ve uygulamalı jeolojik etüdü: MTA raporu. No. 4629 (yayınlanmamış).
- Bohacs, K.M., Carroll, A.R., Neal, J.E., and Mankiewicz, P.J., 2000**, Lake-basin type, source potential, and hydrocarbon character: an integrated-sequence-stratigraphic-geochemical framework, in E.H. Gierlowski-Kordesch and K.R. Kelts, eds., Lake basins through space and time: AAPG Studies in Geology, v. 46, p. 3-34.
- Bulkan, Ö., 2002**, Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Yöresindeki Kömür-Bitümlü Şist Birlikteliğinin Paleokolojik Nedenleri, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 132s.
- Fleed A.J. and Brodes J., 1987**, Marine Petroleum Source Rocks, Geol. Soc. Spec. Publ., v. 26,p.1-14.
- Goldhaber, M.B., and Kaplan, I.R., 1974**, The sulfur cycle., in Goldberg, E.G., ed., The Sea, New York, John Wiley, v.5, p. 569-655.
- Huc, A.Y., 1988**, Aspects of depositional processes of organic matter in sedimentary basins. In: Mattavelli, L. And Novelli, L.,(eds): Advances in organic geochemistry 1987, Org. Geochem., v. 13, p. 263-272.
- Hufnagel, H., 1991**, Investigation of oil shale deposits in Western Turkey. Part II:Himmetoğlu and Hatıldığ: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover. 72 p.
- Jones, B. and Manning, D.A.C., 1994**, A comparison and correlation of different geochemical indices used for the interpretation of depositional environments in ancient mudstones. Chemical Geology, v. 111, p.111-129.
- Kelts, K., 1988**, Environments of deposition of lacustrine petroleum source rocks: an introduction, in A.J.Fleet, K.Kelts, and M.R.Talbot, eds., Lacustrine Petroleum Source Rocks: Oxford, Geological Society Special Paper, v. 40, p.3-26.
- Klinkhammer, G.P., and Palmer, M.R., 1991**, Uranium in the oceans: Where it goes and why: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 55, p. 1799-1806.
- Leventhal, J.S., 1983**, An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicators of environments of deposition. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 47, p. 133-137.
- Littke, R., 1993**, Deposition, Diagenesis and Weathering of Organic Matter- Rich Sediments, Springer Verlag., 193 p.
- Passega, R., 1957**, Textures as characteristic of clastic deposition. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., v. 41, p. 1952-1984.
- Passega, R., 1964**, Grain-size representation by C-M patterns as a geological tool. J. Sedim. Petrol., v. 34, p. 840-847

- Raiswell, R., and Berner, R. A., 1985**, Pyrite formation in euxinic sediments and semi-euxinic sediments *Am, J. Sci.*, v. 275, p. 636-652.
- Rogers, J.J.W., and Adams, J.A.S. 1969**, Uranium. In K.H. Wedpohl (ed.) Handbook of geochemistry. Springer-Verlag, New York.
- Saner, S., 1980**, Mudurnu-Göynük havzasının Jura ve sonrası çökelim nitelikleriyle paleocoğrafya yorumlaması: Türkiye Jeol. Kur. Bült., c.23(1), s. 39-53.
- Sarı, A., 1985**, Himmetoğlu yöresinin ekonomik jeolojisi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniv. Fen Fak. Arşivi.
- Sonel, N., Sarı, A. ve Tozlu, E., 1987**, Himmetoğlu-Göynük-Bolu yöresinin jeolojisi ve linyit oluşukları: S. Ü. Müh. Mim. Fak. Derg., c. 2, s. 51-67.
- Sun, D., Bloemendal, J., Rea, D.K., Vandenmberghe, J., Jiang, F., An, Z., and Su, R., 2002**, Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components, *Sedimentary Geology*, v. 152/3-4, p. 263-277.
- Şener, M. and Gündoğdu, M.N, 1998**, Geochemical and petrographic investigation of Himmetoğlu oil shale field, Göynük, Turkey, *Fuel* v. 75, s. 11, p. 1313-1322.
- Şener, M., 1992**, Himmetoğlu (Bolu-Göynük) Neojen Basenin jeolojik-mineralojik ve jeokimyasal incelemesi. H. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 160s.
- Şener, M., 1993**, Neojen Yaşlı Himmetoğlu (Bolu-Göynük) bitümlü şeyl sahasının litostratigrafik ve tektonik özellikleri. Türkiye Jeolojisi Bülteni, c. 36(2), s. 45-54.
- Şengör, A.M.C., and Yılmaz, Y., 1981**, Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach: *Tectonophysics*, v. 75, p. 181-241.
- Taka, M., 1988**, Himmetoğlu (Göynük-Bolu) sahasının bitümlü şeyl olanakları ve sondajları: MTA raporu, No. 08533 (yayınlanmamış).
- Tissot, B.P. and Welte, D.H., 1984**, Petroleum formation and occurrence. Springer, Berlin p. 207-224.
- Turgut, A. ve Dümenci, S., 1980**, Bolu-Göynük linyit havzasına ait jeolojik rapor: MTA raporu No. 6885 (yayınlanmamış).
- Tyson, R.V. and Pearson, T.H., 1991**, Modern and ancient continental shelf anoxia. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, v. 58, 470p.

Yayına Geliş - *Received* : 31.03.2005

Yayına Kabul - *Accepted* : 24.06.2005