



**Seyitömer (Kütahya) Yöresinde Kömür-Bitümlü Marn Birlikteliğinin
Çökelleme Ortamı ve Organik Fasiyes Özellikleri**
*Depositional Environment and Organic Facies of Coal-Bituminous Marl Association
in Seyitömer (Kütahya) Region*

Dila Dikmen^{1,2} , M. Namık Yalçın^{1,3*} 

¹İstanbul Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

²Güncel İletişim Adresi/Current Contact Address: Emirgan Mektebi Sokak No 27, Kat 2, Sarıyer-İstanbul

³Güncel İletişim Adresi/Current Contact Address: Suadiye, Öncü Sokak 7/8, Kadıköy-İstanbul

• Geliş/Received: 03.01.2020

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 11.03.2020

• Kabul/Accepted: 16.03.2020

• Çevrimiçi Yayın/Available online: 22.04.2020

• Baskı/Printed: 20.06.2020

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Ege Bölgesindeki Neojen yaşlı havzaların birçoğunda kömür damarları ile bitümlü şeyl ve/veya bitümlü marnlar bir arada bulunmaktadır. Hümik kömürler ile sapropelik organik maddece zengin bitümlü çökellerin bu birlikteliği alışıldık değildir. Bunun nedenlerinin ortaya konması amacıyla, Seyitömer-Kütahya yöresindeki kömür-bitümlü marn geçişinin gözlemlendiği kesimin litolojik ve petrografik özellikleri, mineralojik ve jeokimyasal bileşimleri, çökelleme ortamındaki su kütlesinin kimyasal özellikleri, redoks potansiyeli ile çökellerdeki organik maddenin miktar, tür ve olgunluklarının ışığında bu birimlerin çökelleme ortamları ve organik fasiyes özellikleri araştırılmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda kömür-bitümlü marn geçişinin gözlemlendiği kesimde iki zon ayırt edilmiştir. Tabanda yer alan 4 m'lik kesim, karasal organik maddece zengin ince kırıntılı çökellerin ve zaman zaman hümik kömürlerin, düşük enerjili, redoks potansiyeli yüksek bir tatlı su ortamında çökeldikleri bir evreyi temsil etmektedir. Bu evreyi, kimyasal çökellemin artması sonucu karbonatca zengin ince kırıntılı ve sapropelik organik maddece zengin litolojilerin çökeldiği, redoks potansiyelinin düşmesine rağmen anoksik-disoksik koşulların süregeldiği ve su kimyasının zaman zaman acı ve hatta tuzlu su yönünde değiştiği bir dönem izlemiştir.

İstifin sedimantolojik ve organik fasiyes özellikleri genel anlamda su derinliği değişken bir göl ortamına işaret etmektedir. Başlangıçta bitki topluluklarının zenginleşmesi için elverişli olan ılıman ve yağışlı iklimsel koşullarda, dengeli dolan bir tatlı su gölünü temsil eden çökelleme ortamı, daha sonra kuraklaşan iklime bağlı olarak ortaya çıkan yağışlardaki azalmanın etkisiyle zaman zaman bir acı su gölüne dönüşmüştür. Bunun sonucunda da göle kırıntılı malzeme gelimi azalmış ve kimyasal çökelleme artmıştır. Orta Miyosen dönemi sonlarında iklimde yaşanan bu değişimin, Seyitömer yöresindeki kömürlerden bitümlü marnlara geçişi kontrol eden temel etken olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Neojen, Batı Anadolu, Çökel Jeokimyası, Paleoklim

Abstract: In Neogene basins in the Aegean region of Turkey, the association of coal seams with bituminous shales and/or bituminous marls is common. The association of humic coals consisting of terrestrial organic matter with bituminous shales/marls rich in sapropelic organic material is rather unusual. In order to investigate the causes of this unusual association, a lithological section in Seyitömer-Kütahya region was studied for its different properties. Lithological, petrographic, mineralogical and geochemical composition of sediments, chemistry and redox potential of water-column, amount, type and maturity of organic material in sediments, depositional environment and organic facies were investigated. The evaluation and interpretation of the analytical data resulted in differentiation of two intervals along the coal-bituminous marl transition. The four-meter-thick interval at the base of the section

represents a period when fine clastics rich in terrestrial organic matter and even humic coals were deposited in a low energy fresh water environment with high redox potential. The following section is represented by carbonate-rich fine clastics, which were deposited as a result of enhanced chemical sedimentation in brackish to saline water. These units are rich in sapropelic organic material, indicating that reducing conditions still continued.

Sedimentological and organofacies properties of the coal-bituminous marl transition indicate a lacustrine environment with fluctuating water level in general. At the beginning the depositional environment was a balanced-fill fresh water lake, where coal and fine clastics were deposited under temperate and humid conditions suitable for flourishing flora. The lake was then converted from time to time into a lake with brackish water due to climate changing towards drier conditions. Thus, material transport into the lake was reduced and chemical deposition was dominant. This paleoclimatic change at the end of the mid-Miocene was the main cause of the transition from humic coals to bituminous marls in the Seyitömer region.

Keywords: Neogene, Western Anatolia, Sediment Geochemistry, Paleoclimate

GİRİŞ

Seyitömer Neojen Havzasındaki Miyosen istifi, içerdiği çok farklı çökeltme ortamları ürünü olan kömür ve bitümlü marn (petrol marnı) birlikteliği nedeniyle, çökeltme ortamı özelliklerinin zamansal değişimi açısından ilginç bir örnek oluşturmaktadır.

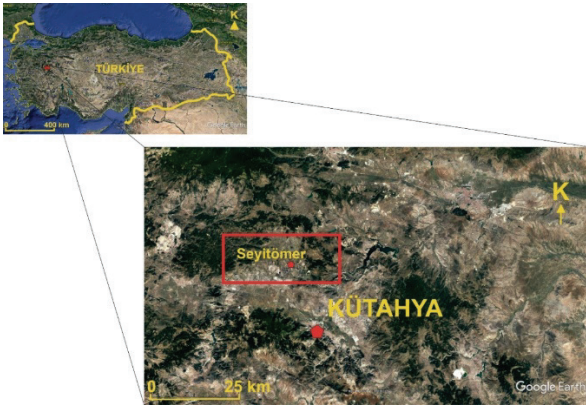
Yöredeki önceki çalışmalar, ya kömür damarları içeren kesimi (Maucher, 1936; Lebküchner, 1959; Nakoman, 1968; Yavuz, vd., 1995; Yavuz, 1999; Çelik ve Karayığit, 2004a; 2004b), ya da bitümlü marnların özelliklerini ele alan ve bu anlamda ağırlıklı olarak ekonomik ve teknolojik açılarından bir değerlendirmenin yapıldığı çalışmalardır (Pütün, vd., 1988; 1991; Hufnagel, 1989; Şengüler, 1999; Emre, 1999; Kök, 2001; Kök, vd., 2001; Yalçın vd., 2007). Bunun yanısıra, bölgesel jeoloji, palinoloji ve kömürlü birimlerin çökeltme ortamı özelliklerinin ele alındığı çalışmalar da bulunmaktadır (Ziegler, 1936; Reul, 1955; Nebert, 1960; Kaya, 1979; Akdeniz ve Konak, 1979; Baş, 1983; Helvacı, vd., 1987; Yavuz-Işık, 2007; Akkiraz, vd., 2012; Erkoyun, vd., 2017).

Ancak, yöredeki kömür-bitümlü marn birlikteliğinin ve kömürlü birimlerden bitümlü marnlara geçişin özellikleri ile bu geçişin nedenleri ayrıntılı olarak araştırılmamıştır. Bu çalışmada,

Seyitömer Neojen Havzası'ndaki kömür ve bitümlü marn birlikteliğine neden olan ortam koşullarının ve bu birlikteliğin organik fasiyes özelliklerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Benzer kömür ve bitümlü çökel birlikteliği Seyitömer havzasıyla sınırlı olmayıp, Batı Anadolu'un Neojen havzaları olarak bilinen tüm havzalarında gözlenmektedir (Şener vd., 1995; Bulkan, 2003; Dikmen, 2005; Bulkan vd., 2005; Kara-Gülbay ve Korkmaz, 2008). Bu nedenle, kömür ve bitümlü çökeller birlikteliğinin, bir diğer tanımlama ile hümit (karasal) kömürlerden, sapropelik algere geçişin temsil ettiği önemli bir ortamsal değişimin nedenlerini araştırmak, sadece Seyitömer Havzasıyla sınırlı kalmayarak, tüm Batı Anadolu için yeni bilgilere ulaşılmasına olanak sağlayacaktır.

Çalışmanın amacı doğrultusunda kömür bitümlü marn geçişini içeren temsilci bir kesimde yüksek çözünürlüklü bir stratigrafi kesiti ölçülmüş, kesit boyunca derlenen örneklerin litolojik, mineralojik, kimyasal ve organik jeokimyasal özellikleri belirlenmiş, ortamın su kimyası, redoks potansiyeli ve organik fasiyes özellikleri saptanmıştır.

Kütahya ilinin yaklaşık 25 km kuzeybatısında bulunan çalışma alanı, DKD-BGB uzanımlı bir Neojen Havzası içinde bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı bulduru haritası

Figure 1. Location map of the study area

KAPSAM ve YÖNTEMLER

Arazi çalışmalarında ölçülen Aslanlı kesiti (39° 35' 05" Kuzey, 29° 49' 43" Doğu) boyunca 13,5 m'lik bir istif incelenmiştir. Kesit boyunca çeşitli analizler için 79 örnek derlenmiştir. Kömür-bitümlü marn geçiş zonunda makroskopik olarak litolojinin farklılaştığı her katmandan bir, katman 30 cm'den kalınsa iki veya üç örnek (alt/orta/üst) alınmıştır. Geçiş zonunun taban ve tavan kesimlerinde ise daha seyrek aralıklarla, o kesimin genel özelliklerini yansıtan örnekler de derlenmiştir.

Derlenen örneklerin kimyasal ve mineralojik bileşimi ile organik jeokimyasal özelliklerini belirlemek üzere bir dizi analiz yönteminden yararlanılmıştır. Bu kapsamda kullanılan analiz yöntemleri; Leco, Rock-Eval piroliz analizi, X ışınları difraksiyon analizi (XRD), nötron aktivasyon analizi ve ince kesit petrografisidir. Bu analizlerin hangilerinin hangi örneklerde gerçekleştirildiği Çizelge-1'de listelenmiştir. Bunlardan Leco analiz yöntemi çökeller içerisindeki toplam organik karbon (TOC), toplam karbon (TC) ve toplam kükürt (TS) miktarlarının saptanması amacıyla kullanılmıştır. Bu analizler, standart örnek hazırlama ve ölçme süreçleri kullanılarak (Jarvie, 1991), Federal Almanya,

Jülich Araştırma Merkezi Sedimenter Sistemler Enstitüsü laboratuvarlarındaki LECO CS-225 cihazında yapılmıştır.

Rock-Eval piroliz yöntemi organik madde tipinin ve termal olgunluğun belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Analizler standart süreçler kullanılarak (Espitalie vd., 1977; Philp ve Galvez-Sinibaldi, 1991) Jülich Araştırma Merkezi Sedimenter Sistemler Enstitüsü laboratuvarlarındaki Rock-Eval-II piroliz cihazında gerçekleştirilmiştir.

XRD yöntemiyle örneklerin mineralojik bileşimlerinin kalitatif ve yarı kantitatif olarak saptanması amaçlanmıştır. Analiz, Jülich Araştırma Merkezi Merkez Laboratuvarlarındaki X-ışını difraktometresi cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz Debyscherrer tekniği ile çalışmaktadır ve analizde $\lambda=1,7889$ nm dalgaboyunda x-ışını üreten Co-K lambası kullanılmıştır. Her bir örnek için 5-70 arasındaki 2 θ değerleri arasında ölçüm yapılmıştır. Bu çalışma da örneklerin kalitatif değerlendirmesi SIROQUANT XRD-software V.2.5 programı kullanılarak yapılmıştır (Taylor, 1991; Taylor ve Clapp, 1991).

Çökellerdeki uranyum ve toryum miktarları nötron aktivasyon analizi yöntemi ile belirlenmiştir. Bu yöntemde örnek, akısı ϕ olan yüklü veya yüksüz taneciklerle içindeki elementlerin çoğunun radyoaktif hale geçebileceği bir t süresi kadar bombardıman edilmektedir. Analiz, reaksiyon sırasında oluşan radyoaktif izotopun bozunurken yayınladığı gama ışınlarının, o elementin miktarıyla orantılı olmasından yararlanarak yapılır. Bu analiz TAEK, Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Çökellerin sedimenter petrografik ve petrolojik özelliklerini tanımlayabilmek amacıyla hazırlanan ince kesitler, İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Leitz Ortoplan polarizan mikroskop yardımıyla incelenmiştir.

Çizelge 1. Aslanlı kesiti boyunca derlenmiş örneklerin listesi. Her bir örnek için yapılan analizler (*) simgesiyle gösterilmiştir.

Table 1. Samples obtained from the Aslanlı section. Analysis conducted for each sample is marked with (*).

Örnek No	Tabandan					
	Mesafe (m)	Leco	Rock-Eval	XRD	Petrografi	Th-U
ARS 1	0,01	*	*			
ARS 2	0,06	*	*			
ARS 3	0,10	*	*			
ARS 4	0,14	*	*			
ARS 5	0,17	*	*			
ARS 6	0,21	*	*			
ARS 7	0,24	*	*			
ARS 8	0,26	*	*			
ARS 9	0,30	*	*			
ARS 10 A	0,38	*	*			
ARS 10 B	0,54	*	*			
ARS 10 C	0,69	*	*			
ARS 11	0,76	*	*			
ARS 12	0,82	*	*			
ARS 13 A	0,90	*	*			
ARS 13 C	1,09	*	*			
ARS 14	1,14	*	*			
ARS 15	1,20	*	*			
ARS 16	1,27	*	*			
ARS 17 A	1,38	*	*			
ARS 17 B	1,66	*	*			
ARS 17 C	1,95	*	*			
ARS 17 D	2,02	*	*			
ARS 18	2,03	*	*			
ARS 19	2,12	*	*			
ARS 20	2,21	*	*			
ARS 21	2,29	*	*			
ARS 22	2,35	*	*			
ARS 23 A	2,41	*	*			
ARS 23 B	2,51	*	*			
ARS 23 C	2,60	*	*			
ARS 23 D	2,69	*	*			
ARS 24	2,79	*	*			
ARS 25 A	2,83	*	*			
As1	2,87	*	*	*		*
A0	2,90	*	*	*		
ARS 25 B	2,92	*	*			

Çizelge 1'in devamı / Continuation of Table 1

Örnek No	Tabandan					
	Mesafe (m)	Leco	Rock-Eval	XRD	Petrografi	Th-U
As2	2,94					*
As3	2,98	*	*	*		
ARS 26	2,98	*	*			
ARS 27 A	3,05	*	*			
ARS 27 B	3,10	*	*			
A1	3,13	*	*	*		
As5	3,14					*
ARS 27 C	3,17	*	*			
As6	3,18	*	*	*	*	*
A2	3,43	*	*	*		
As9	3,50	*	*	*	*	
As11	3,67	*	*	*		*
As12	3,77	*	*	*		
As13	3,83			*		*
As16	3,98				*	
A3	4,03	*	*	*		*
As18	4,18	*	*	*	*	
As19	4,40	*	*	*	*	*
As20	4,71	*	*	*		
A4	5,03	*	*	*		
As22	5,12	*	*	*		*
As23	5,54				*	
As24	5,92	*	*	*		
As25	6,01	*	*	*		
A5	6,03	*	*	*		
As27	6,21	*	*	*		
As28	6,31	*	*			
As29	6,57	*	*	*		*
As30	6,68				*	
As31	6,83	*	*	*		
A6	7,03	*	*	*		
As33	7,19	*	*	*	*	
As35	7,78	*	*	*	*	
As36	7,99	*	*	*		
A7	8,03	*	*	*		
A8	8,33	*	*	*		*
As37	9,50				*	
A9	10,03	*	*	*		
As38	10,13	*	*	*		*
As39	12,42	*	*	*		
A10	13,03	*	*	*		
As41	13,14	*	*	*		*

BÖLGESEL JEOLJİ

Bu çalışmada ayrıntılı bir jeoloji çalışması yapılmamıştır. Arazi gözlemleri ve kesit ölçümü sırasında kömür ve bitümlü marnların bulunduğu kesimin Lebküchner'in (1959) ayırıcına uygun bir stratigrafi sunduğu gözlenmiştir. Bu ayırdı benimseyerek, Şengüler (1999) tarafından stratigrafi adlama kurallarına oldukça uygun olarak yapılmış litostratigrafik ayırt bu çalışmada da kullanılmıştır. Buna göre havzanın temelini Kretase yaşlı Ayvalı formasyonu oluşturmaktadır. Bu birim serpantin, radyolarit ve kristalize kireçtaşlarından oluşur. Ayvalı formasyonu üzerine uyumsuz olarak Elmacık formasyonu gelir. Bu birim konglomera, kumtaşı ve kilaşlarından oluşmaktadır. Üzerine gelen Seyitömer formasyonu beş üyeye ayrılarak incelenmiştir. Bunlar alttan üste doğru; yeşil kil üyesi, alt linyit üyesi, bitümlü marn üyesi, üst linyit üyesi ve sarı kil üyesidir. Seyitömer formasyonunun yaşı konusunda değişik araştırmacılar tarafından Erken Miyosenden Geç Miyosene kadar uzanan bir aralık tanımlanmıştır (Özcan, 1987; Kaya, 1993; Yavuz, 1999; Saraç, 2003; Akgün vd., 2007; Yavuz-Işık, 2007). Henüz kesin olmasa da birimin yaşının Geç Erken-Orta Miyosen olduğu kabul edilmektedir (Akkiraz, vd., 2012). Seyitömer formasyonu üzerine Pliyosen yaşlı İshakçılar formasyonu uyumsuzlukla gelmektedir. Bu birim, marn ve tuf aralanmalı silisifiye kireçtaşlarından oluşmaktadır. Pleyistosen yaşlı Kocayataktepe formasyonu az tutturulmuş kum, kil ve çakıl içerir. İstifin farklı düzeyleri Kuvaterner yaşlı alüvyon ile örtülmektedir (Şekil 2).

Bu çalışmanın konusu olan kömür-bitümlü marn birlikteliği Seyitömer Formasyonu içinde bulunmaktadır. Bu nedenle bu formasyonda ayırtlanmış olan üyeler aşağıda kısaca tanıtılmıştır:

Devre	Litostratigrafi Birimleri	
Pleyistosen	Kocayataktepe Formasyonu	
Pliyosen	İshakçılar Formasyonu	
Erken-Orta Miyosen	Seyitömer Formasyonu	Sarı kil üyesi
		Üst linyit üyesi
		Bitümlü marn üyesi
		Alt linyit üyesi
		Yeşil kil üyesi
Erken Miyosen	Elmacık Formasyonu	
Geç Kretase Öncesi	Ayvalı Formasyonu	

Şekil 2. Seyitömer Havzası Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti (Şengüler, 1999'dan değiştirilerek).

Figure 2. Generalized stratigraphic section of Seyitömer Basin (modified from Şengüler, 1999).

Yeşil Kil Üyesi

Bu üye genellikle mavi-yeşil ve açık yeşil renkli plastik özellikteki killerden oluşmaktadır. Birimin alt seviyelerinde Elmacık formasyonu ile geçiş yansıtan kumtaşı ve kumlu kilaşı seviyeleri, üst seviyelere doğru ise gri renkli kilaşı ile yer yer bitki kalıntılara rastlanmaktadır. Yeşil kil üyesinin ortalama kalınlığı 50 m'dir. Birimin çökmesinin göl ortamında gerçekleştiği düşünülmektedir (Şengüler, 1999).

Alt Linyit Üyesi

Bu birim linyit, killi linyit, kumtaşı, silttaşı, kilaşı ve marn aralanmasından oluşmaktadır. Birimin alt seviyelerinde kalınlığı 3-6 m arasında değişen linyit damarı, yer yer yeşil renkli kilaşı aralanmalıdır ve birimin üst seviyelerinde de kumtaşı, kilaşı ve marn aralanması yer almaktadır. Alt linyit üyesinin ortalama kalınlığı 20 m'dir.

Bitümlü Marn Üyesi

Birim genellikle gri, yeşilimsi gri renkli kireçtaşı, silisifiye kireçtaşı, bitümlü marn, yer yer çört ar dalanmasından oluşmaktadır. Kireçtaşları yüksek kil içerikli olup, sarımsı boz renklidir. Marnlar kısmen plastik özellikte ve yer yer silisifiedir. Bitümlü marnlar 1-5 mm kalınlığında laminalı bir yapı sunmaktadır. Birimin ortalama kalınlığının 5-30 m arasında olduğu saptanmıştır. Birimin alt sınırı alt linyit üyesiyle, üst sınırı üst linyit üyesi ile geçişlidir. Birimin çökme ortamı litoloji ve fauna özelliklerine dayanılarak göl olarak yorumlanmıştır (Şengüler, 1999).

Üst Linyit Üyesi

Bu üye, linyit ile gri, açık gri marn ar dalanmasından oluşmaktadır. Üst seviyelerinde açık sarı kil ve ince silisifiye kireçtaşı bantları bulunmaktadır. Birimin ortalama kalınlığı 10 m'dir. Birimin çökme ortamının alt linyit üyesi ile aynı olduğu belirtilmiştir (Şengüler, 1999).

Sarı Kil Üyesi

Birim açık sarı, gri yeşilimsi gri ve krem renkli marn ve yer yer silisifiye kireçtaşı mercekli tuf ve diyatumlu marn ar dalanmasından oluşmaktadır. Birimin ortalama kalınlığı 25 m'dir. Birimin üst sınırı İshakçılar formasyonu ile uyumsuzdur.

KÖMÜR-BİTÜMLÜ MARN BİRLİKTELİĞİNİN ÖZELLİKLERİ

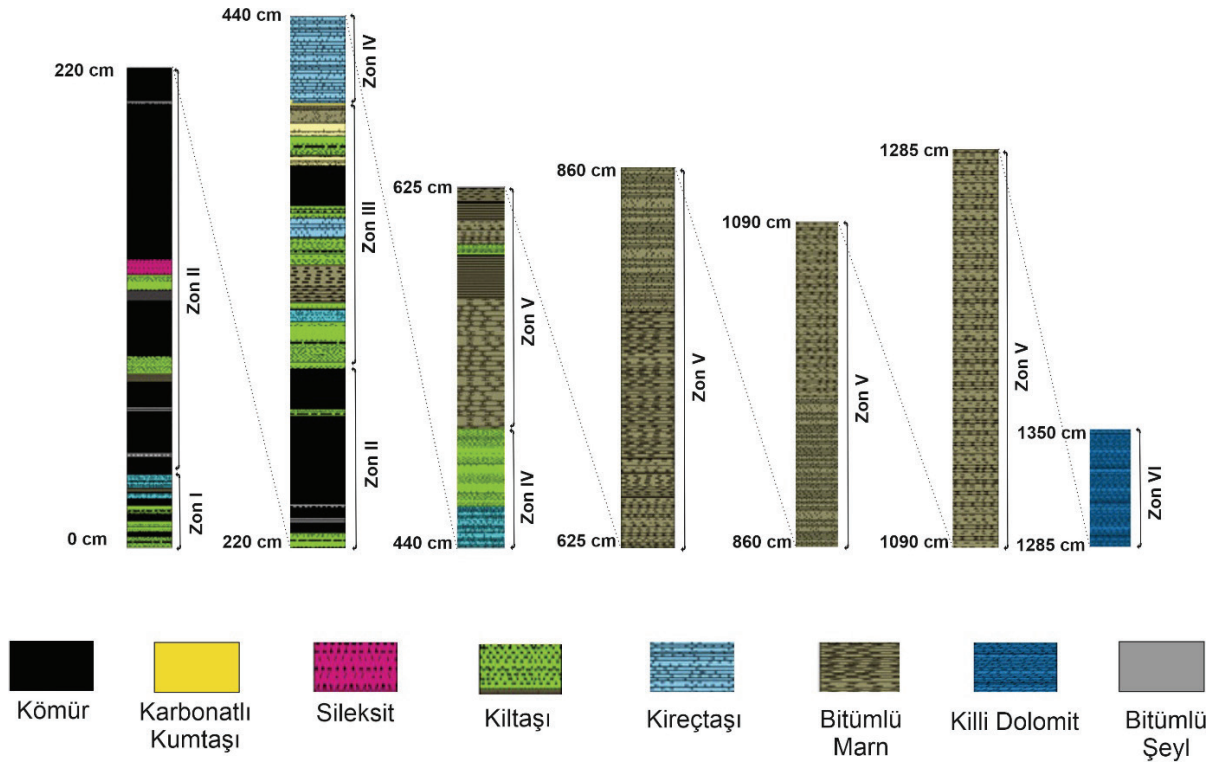
Bu bölümde önce kömür-bitümlü marn birlikteliğinin gözlemlendiği kesimin stratigrafik konumu, daha sonra da çeşitli parametreler ışığında litolojik ve sedimentolojik özellikleri belirlenecektir. Bunun yanı sıra ortamdaki su kütlesinin su kimyası ve redoks potansiyeli ele alınacaktır. Litolojik özellikleri saptamak içinse makroskopik gözlemlerden, ince kesit petrografisinden, mineralojik ve kimyasal bileşimden yararlanılmıştır.

Stratigrafik Konum ve Litostratigrafi

Kömür-bitümlü marn geçişi Seyitömer formasyonuna ait alt linyit üyesinin üst kesimi ile bitümlü marn üyesinin alt kesimine karşılık gelmektedir (Şekil 3). Aslanlı kesiti boyunca kömür-bitümlü marn geçişi, litolojik özelliklerine göre altı zona ayrılabilir. Tabandan itibaren ilk 0,33 m'lik seviye ince kömür, kırıntılı ve karbonatça zengin litolojilerin az çok eşit oranda temsil edildiği bir zondur. İkinci zon 0,33 m ile 2,90 m arasındaki kesimdir. Bu kesimde kalın kömür damarları baskındır. Kömürün yanı sıra çok daha az oranda ince kırıntılı litolojiler de bulunmaktadır. Üçüncü zon 2,90 ile 4,00 m'ler arasındaki kesimdir. İnce kırıntılıların yanı sıra siltli, kumlu ve karbonatlı litolojilerle bitümlü marn ve kömürün tekrarlandıkları bir zondur. Dördüncü zon 4,00 ile 5,00 m arasında kireçtaşı ve karbonatça zengin diğer litolojilerle temsil edilen kesimdir. 5,00 ile 12,85 m arasındaki beşinci zonda bitümlü litolojiler yaygındır. Altıncı zon 12,85 ile 13,50 m arasındaki kesimdir. Bu zon dolomitik litolojilerle temsil edilmektedir (Şekil 3).

Mineralojik Bileşim

Aslanlı kesitinden seçilen 33 adet örneğin mineralojik bileşimi XRD analiz sonuçlarının yarı kantitatif olarak değerlendirilmesi yoluyla saptanmıştır (Çizelge 2). Kristalin fazda saptanan mineral miktarlarının kesit boyunca değişimi sistematik bir artış ve azalış göstermediği için bir trend analizi yapılamamıştır. XRD analiz sonuçları istifin karbonat ve kil grubu minerallerince zengin olduğunu göstermektedir. Kil minerallerinin değişen miktarlarda da olsa tüm istif boyunca bulunması, tüm çökme dönemi süresince ortama ince kırıntılı malzeme geliminin sürdüğüne ve düşük enerji koşullarının etkili olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 3. Aslanlı Ölçülmüş Stratigrafi Kesiti ve litostratigrafik olarak ayrılmış zonlar

Figure 3. Aslanlı measured stratigraphic section and lithostratigraphically differentiated zones

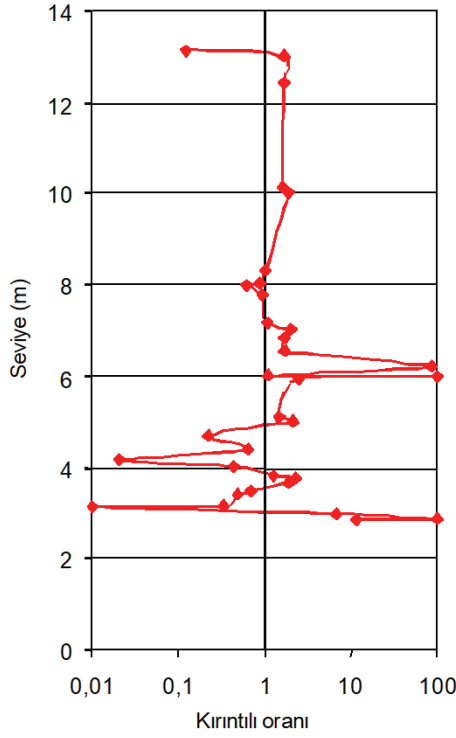
Genellikle kayaç taneleri olarak ortama dışarıdan taşınan mineraller ile ortamda kimyasal olarak türeyen minerallerin oranları gözetilerek belirlenen kırıntılı oranının Aslanlı kesitinin alt kesiminde dalgalı bir seyir izlediği görülür (Şekil 4). Bunda sayıları az da olsa kireçtaşı seviyeleri ile diyajenetik kuvarsın etkili olduğu anlaşılmaktadır. Kırıntılı oranının yaklaşık 6. m'den sonra 1'e kadar azalarak bu değeri koruması, ortama taşınan malzeme anlamında dengeli bir rejime ulaşıldığı şeklinde yorumlanmıştır (Şekil 4).

Ortamda kimyasal çökeltmenin baskın olduğu evrelerin ayrılanması için karbonat/kil mineralleri oranı grafiğinden yararlanılmıştır. Tabandan yaklaşık 5. m'ye kadar karbonat/kil oranı değişkendir. 5,0-7,5 m'lerarasındaki kesimde ise kil baskındır. Daha üstte karbonat ve kil miktarlarının dengede olduğu bir seviye bulunmaktadır (Şekil 5). Karbonat minerallerince zengin olan örneklerde,

bu minerallerin kökenlerine bir açıklama getirmek amacıyla düşük ve yüksek Mg'lu kalsit, aragonit ve dolomit ve ayrıca jipsin bağlı yüzdeleri bir diyagram üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6). Yapılan makro ve mikro gözlemler karbonat minerallerince zengin seviyelerde büyük miktarda fosil kavkılarının bulunmadığını göstermiştir. Bu nedenle, kalsit, aragonit ve Mg'ca zengin kalsitin kaynağının fosil kavkılarının olmadığı, bunların su kimyası ve sıcaklık kontrolünde çökdikleri sonucuna varılmıştır (Müller, vd., 1972). Mg'un kaynağı hidrotermal sular, volkanik aktivite veya tuzlu su olabilmektedir. Aragonit ise kavkılardan kaynaklanmadığı durumlarda çoğunlukla sıcak su kaynakları ile ilişkili oluşan bir karbonat mineralidir (Müller, 1970; Müller, vd., 1972). Mikrokristalen yapı nedeniyle dolomitlerin birincil mi, yoksa diyajenetik mi oldukları saptanamadığından, bu konuda bir değerlendirme yapılmamıştır.

Çizelge 2. Aslanlı Kesiti boyunca derlenmiş örneklerin mineralojik bileşimi**Table 2.** Mineralogical composition of samples from Aslanlı section

Örnek No	Seviye (m)	Mineralojik Bileşim (%)								
		Kil Mineralleri	Kuvars	Opal-CT	Kalsit		Aragonit	Dolomit	Jips	Pirit
					Düşük Mg-Kalsit (<%4)	Yüksek Mg-Kalsit (>%4)				
As-1	2,87	86	6	-	8	-	-	-	-	-
A-0	2,90	72	28	-	-	-	-	-	-	-
As-3	2,98	68	19	-	13	-	-	-	-	-
A-1	3,13	1	-	-	-	95	-	-	-	4
As-6	3,18	22	3	9	-	9	-	5-	4	3
A-2	3,43	31	2	14	-	5	-	-	-	3
As-9	3,50	39	2	5	-	54	-	-	-	-
As-11	3,67	54	11	-	-	-	13	-	22	-
As-12	3,77	62	-	-	-	-	-	-	16	11
As-13	3,83	49	7	-	13	-	-	-	14	17
A-3	4,03	30	-	-	-	11	59	-	-	-
As-18	4,18	2	-	-	-	98	-	-	-	-
As-19	4,40	37	2	13	-	-	-	42	2	4
As-20	4,71	13	5	5	-	-	71	-	3	3
A-4	5,03	64	4	17	-	15	-	-	-	-
As-22	5,12	49	11	-	4	-	26	-	4	6
As-24	5,92	61	10	19	-	10	-	-	-	-
As-25	6,01	9	90	-	1	-	-	-	-	-
A-5	6,03	50	2	9	-	-	-	39	-	-
As-27	6,21	75	12	-	-	-	-	-	-	-
As-29	6,57	45	19	-	25	-	-	-	-	11
As-31	6,83	56	8	-	-	-	-	36	-	-
A-6	7,03	55	12	-	-	33	-	-	-	-
As-33	7,19	51	-	12	-	-	-	33	-	4
As-35	7,78	45	3	-	-	11	-	41	-	-
As-36	7,99	31	7	-	-	-	53	-	9	-
A-7	8,03	38	9	-	-	-	46	-	-	7
A-8	8,33	44	6	-	-	-	50	-	-	-
A-9	10,03	59	6	7	-	-	28	-	-	-
As-38	10,13	51	11	-	-	38	-	-	-	-
As-39	12,42	55	8	-	-	37	-	-	-	-
A-10	13,03	46	17	-	-	-	37	-	-	-
As-41	13,14	11	-	-	-	-	-	89	-	-



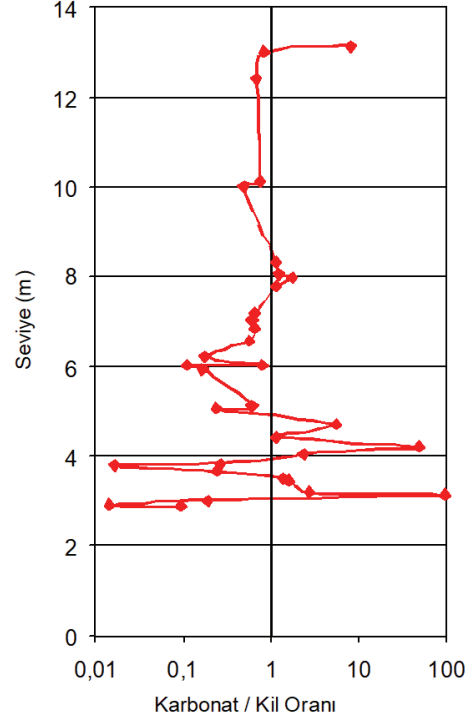
Şekil 4. Aslanlı kesiti boyunca “Kırıntılı Oranın” değişimi.

Figure 4. Changes in “Clastic Ratio” along the Aslanlı section

Genel olarak olağan koşullarda kalsit çökelirken, su sıcaklığının nispeten daha yüksek olduğu evrelerde aragonit ve Mg’ca zengin kalsit çökelmiştir. Jips buharlaşmanın etkili olduğu dönemleri karakterize etmektedir. Buna göre istifin ilk 6 m’lik kesiminde çökelen karbonat minerallerinin değişken oluşu bu evrede su sıcaklığının da değişken olduğunu düşündürmektedir. İstifin üst seviyelerine doğru aragonit ve dolomit minerallerinin varlığı bu evrede su sıcaklığının daha da arttığını göstermektedir.

Petrografik Özellikler

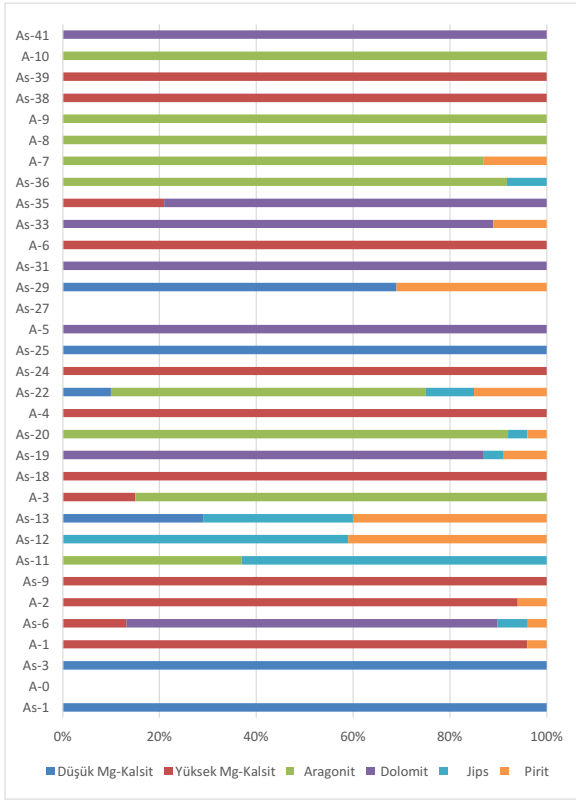
Aslanlı kesiti boyunca derlenmiş örneklerin petrografik incelemeleri, bunların kilce zengin, karbonatça zengin ve kil ve karbonatça zengin olmak üzere üç grupta toplandığını göstermiştir.



Şekil 5. Aslanlı kesiti boyunca “Karbonat/Kil Mineralleri Oranının” değişimi

Figure 5. Changes in “Carbonate/Clay Minerals Ratio” along the Aslanlı section

Kil minerallerince zengin örneklerin az sayıda olduğu, laminalı yapı gösterdikleri ve organik maddece zengin oldukları saptanmıştır. Karbonatça zengin örnekler mikritik çimentolu olup, yer yer kil mineralleri ve kuvars taneleri içerirler. Bazı örneklerde ikincil opal-CT, ostrakod ve gastropod kavkı parçaları ve markasite raslanmıştır. Örneklerin çoğu kil ve karbonatça eşit oranda zengindir. Bu örneklerin genelinde laminalı yapı gözlenmiştir. Örneklerin mikrokristalen yapıda oluşu nedeniyle kil ve karbonat grubu minerallerinin türleri saptanamamıştır. Karbonatlı litolojiler mikritik çimentoludur ve açık gri renkli olarak gözlenmiştir. Organik maddece zengin olanlar ise kahverengidir. Yer yer gözenek dolgusu olarak Opal-CT saptanmıştır. Opal-CT gri rengi ve ışınal kristal yapısıyla ayırdedilmiştir.



Şekil 6. Aslanlı Kesiti boyunca karbonat grubu minerallerinin dağılımı.

Figure 6. Proportions of carbonate group minerals in samples from Aslanlı section

Örneklerin yukarıda tanımlanan petrografik özellikleri çökelme ortamının kil ve karbonat çökelişiminin gerçekleşmesine uygun özellikler sergilediğini, ortama önemli miktarda kaba kırıntılı malzemenin taşınmadığını, mikrolaminalanmaya izin veren sakin ve düşük enerjili bir ortamın söz konusu olduğunu, markasit ve iyi korunmuş organik maddenin bulunuşu ise ortamın indirgen özellikler taşıdığını göstermektedir. Kaba kırıntılıların bulunmayışı ve laminalanma, hem kara alanında

önemli bir erozyonun gerçekleşmediğini, hem de ortama ulaşan güçlü akıntılarının bulunmadığını düşündürmektedir.

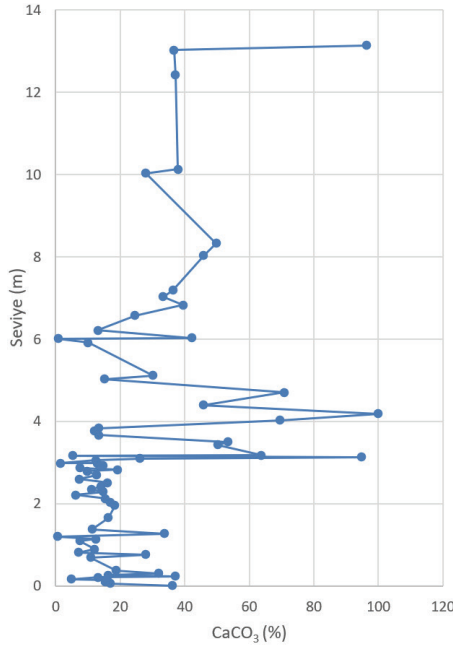
Kimyasal Bileşim

Karbonat Miktarı

Örneklerdeki karbonat (CaCO_3) miktarı Leco analiziyle ölçülmüş olan toplam organik karbon (TOC) ve toplam karbon (TC) miktarları ve aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır (Bernard, vd., 1995).

$$(\% \text{ TC} - \% \text{ TOC}) \times 8,33 = \% \text{ CaCO}_3 \quad (1)$$

CaCO_3 miktarının %50'den büyük olduğu örnekler kireçtaşı, %25-50 arasındaki miktarlarda kalsiyum karbonat içerenler ise marn olarak adlanmıştır. Aslanlı kesiti boyunca karbonat miktarları %0,54-100,0 arasında değişmektedir (Çizelge 3; Şekil 7). Tabandan itibaren ilk 1,30 m'lik kesim, %10-40 arasında sık aralıklarla değişen karbonat miktarlarıyla temsil edilmektedir. Bunu karbonat miktarının %20'nin altında olduğu ve büyük değişimler göstermeyen 1,30-3,10 m'ler arasındaki zon izler. 3,10-3,70 m'ler arası %50'den büyük CaCO_3 miktarlarının gözlemlendiği bir kesimdir. Bunu üzerleyen 3,70-4,00 m'ler arasındaki zonda karbonat miktarı hızla %20'lerin altına düşmektedir. 4,00-4,90 m'ler arasında CaCO_3 miktarının tekrar %50'lerin üzerine çıktığı bir kesim ve 4,90-6,00 m'ler arasında düşük CaCO_3 ile karakteristik bir diğer kesim yer alır. 6,00-7,40 m'ler arasında tekrar artan CaCO_3 miktarı %40'lara kadar ulaşarak, 7,40-9,00 m'ler arasında kireçtaşı olarak adlanabilecek oranda (%50<) CaCO_3 içeren bir zona geçer. 9. metreden itibaren CaCO_3 miktarı %40'lar dolayında bir seyir izler (Şekil 7).



Şekil 7. Aslanlı kesiti boyunca kalsiyum-karbonat (CaCO_3) miktarının değişimi

Figure 7. Changes in calcium carbonate (CaCO_3) content along the Aslanlı section

Çizelge 3. Aslanlı Kesiti boyunca derlenmiş örneklerin farklı jeokimya analizleriyle saptanmış; Toplam Organik Karbon (TOC), Toplam Karbon (TC), Toplam Kükürt (TS), Kalsiyum Karbonat (CaCO_3), Rock-Eval Piroliz S1, S2, S3, Hidrojen İndeksi (HI), Oksijen İndeksi (OI) ve Tmax değerleri. (*) ölçülememiş parametreler, (+) olası en yüksek değer.

Table 3. Total Organic Carbon (TOC), Total Sulfur (TS), Calcium Carbonate (CaCO_3), Rock-Eval Pyrolysis S1, S2, S3, Hydrogen Index (HI), Oxygen Index (OI) and Tmax data for samples from Aslanlı section, determined by various geochemical analyses. (*) not determined, (+) determined as possible highest value.

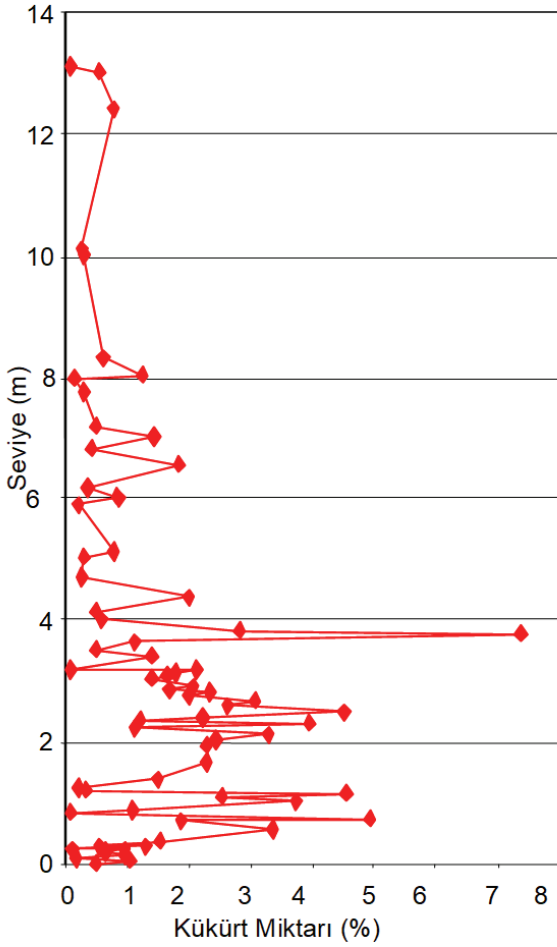
Örnek No	Tabandan Mesafe (m)	TOC (%)	TC (%)	TS (%)	CaCO_3 (%)	S1 (mgHC/g örnek)	S2 (mgHC/g örnek)	S3 (mgCO ₂ /g örnek)	HI (mgHC/g TOC)	OI (mgCO ₂ /g TOC)	Tmax (°C)
ARS 1	0,01	14,44	18,77	0,49	36,12	2,86	79,84	4,45	553	31	430
ARS 2	0,06	54,81	56,84	1,08	16,92	3,17	71,63	35,05	131	64	400
ARS 3	0,10	2,20	4,03	0,19	15,25	0,09	1,30	3,53	59	160	425
ARS 4	0,14	54,85	56,78	0,98	16,08	3,18	74,90	34,79	137	63	403
ARS 5	0,17	33,69	34,28	0,66	4,87	1,06	33,87	20,74	101	62	414
ARS 6	0,21	47,76	49,33	0,96	13,12	1,63	57,89	25,26	121	53	411
ARS 7	0,24	1,53	5,97	0,14	37,00	0,07	1,12	3,25	73	212	429
ARS 8	0,26	32,55	34,49	1,33	16,17	12,07	201,05	11,95	618	37	428
ARS 9	0,30	10,49	14,32	0,58	31,87	1,21	34,87	6,44	332	61	429
ARS 10 A	0,38	58,23	60,49	1,54	18,79	2,00	69,06	32,04	119	55	399
ARS 10 C	0,69	44,93	46,23	1,88	10,79	4,60	121,41	27,53	270	61	414
ARS 11	0,76	21,56	24,92	4,91	28,00	1,34	56,02	14,21	260	66	419
ARS 12	0,82	0,88	1,73	0,10	7,08	0,04	0,36	1,76	40	200	428
ARS 13 A	0,90	38,82	40,27	1,10	12,12	3,48	76,95	21,16	198	55	403
ARS 13 C	1,09	51,52	52,42	2,53	7,50	2,46	71,06	34,65	138	67	404
ARS 14	1,14	52,93	54,41	4,54	12,33	8,08	291,03	22,35	550	42	423
ARS 15	1,20	0,86	0,93	0,36	0,54	0,05	0,29	0,70	34	81	409

Kükürt Miktarı

Kükürt kayaçların bünyesinde, organik maddenin bileşiminde ve/veya inorganik olarak iki ayrı şekilde bulunabilmektedir. Aslanlı kesiti boyunca incelenen istif genelinde saptanan kükürt miktarı %0,09-7,36 arasında değişim göstermektedir (Çizelge 3). İstif'in ilk dört metresinde kükürt miktarı sık aralıklarla değişmektedir. Ancak genel olarak %1'den büyüktür. 4-13 m'ler arasında ise kükürt miktarı %0,5-2,0 arasındadır. Ancak büyük salınımlar yapmamaktadır (Şekil 8). Hem kükürt içeren minerallerin varlığı, hem de organik maddece zengin düzeylerin bulunuşu nedeniyle örneklerdeki kükürt her ikisinden kaynaklanıyor olmalıdır.

Çizelge 3'in devamı / Continuation of Table 3

Örnek No	Tabandan Mesafe	TOC	TC	TS	CaCO ₃	S1	S2	S3	HI	OI	Tmax
	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mgHC/ g örnek)	(mgHC/ g örnek)	(mgCO ₂ / g örnek)	(mgHC/ g TOC)	(mgCO ₂ / g TOC)	(°C)
ARS 16	1,27	7,22	11,27	0,21	33,75	1,20	29,88	4,75	414	66	419
ARS 17 A	1,38	57,72	59,06	1,51	11,17	2,31	87,67	31,83	152	55	406
ARS 17 B	1,66	58,62	60,57	2,28	16,29	3,77	103,95	29,40	177	50	418
ARS 17 C	1,95	57,22	59,42	2,67	18,29	4,22	80,05	38,28	140	67	405
ARS 18	2,03	38,78	40,79	2,45	16,79	2,57	66,28	26,13	171	67	414
ARS 19	2,12	53,18	55,03	3,29	15,37	1,98	46,20	38,10	87	72	406
ARS 20	2,21	17,38	18,14	1,13	6,33	2,11	43,28	13,08	249	75	420
ARS 21	2,29	49,62	51,38	3,95	14,71	3,57	82,14	34,13	166	69	404
ARS 22	2,35	29,93	31,26	1,23	11,04	3,11	74,14	18,17	248	61	412
ARS 23 A	2,41	52,08	53,76	2,22	14,00	2,13	66,27	36,69	127	70	402
ARS 23 B	2,51	46,22	48,14	4,52	16,04	6,31	135,09	36,93	292	80	411
ARS 23 C	2,60	58,03	58,90	2,62	7,21	2,94	107,83	25,00	186	43	405
ARS 23 D	2,69	57,82	59,33	3,09	12,54	3,07	88,19	32,73	153	57	398
ARS 24	2,79	37,49	38,67	2,00	9,87	2,95	60,51	24,45	161	65	412
ARS 25 A	2,83	51,57	53,87	2,34	19,21	2,24	57,93	34,00	112	66	412
As1	2,87	29,40	30,30	1,69	7,50	1,19	38,01	*	129	*	423
A0	2,90	35,25	*	*	*	1,81	*	27,07	158	77	412
ARS 25 B	2,92	52,38	54,14	2,08	14,67	2,22	81,58	53,82	156	103	410
As3	2,98	2,26	2,43	0,14	1,42	0,09	1,33	1,72	59	76	418
ARS 26	2,98	33,25	34,80	1,13	12,92	1,59	57,44	*	173	*	420
ARS 27 A	3,05	36,04	37,53	1,42	12,42	1,80	63,93	22,06	177	61	423
ARS 27 B	3,10	32,83	35,96	1,66	26,12	1,75	51,75	23,03	158	70	424
A1	3,13	4,19	15,55	1,80	94,71	0,86	19,21	3,10	459	74	410
ARS 27 C	3,17	51,65	52,28	2,13	5,25	4,62	117,92	24,71	228	48	403
As6	3,18	2,60	10,25	0,10	63,75	0,48	12,93	*	497	*	422
A2	3,43	2,15	8,17	1,41	50,17	0,44	8,08	1,47	377	69	417
As9	3,50	4,18	10,60	0,51	53,50	1,28	24,50	*	586	*	426
As11	3,67	52,00	53,60	1,14	13,33	3,00	95,27	*	183	*	404
As12	3,77	3,40	4,85	7,36	12,08	0,08	0,47	*	14	*	411
As13	3,83	38,45	40,05	2,83	13,33	3,74	115,79	*	301	*	424
A3	4,03	8,06	16,40	0,61	69,54	3,37	55,69	4,12	692	51	426
As18	4,18	1,85	14,55	0,51	100,0*	0,19	9,07	*	491	*	422
As19	4,40	1,50	6,99	2,00	45,75	0,14	5,53	*	3689	*	419
As20	4,71	4,35	12,85	0,27	70,83	1,60	27,77	*	638	*	430
A4	5,03	3,07	4,89	0,32	15,13	1,37	20,82	1,28	678	42	416
As22	5,12	6,11	9,74	0,77	30,25	1,71	41,49	*	679	*	428
As24	5,92	5,17	6,37	0,21	10,00	1,15	36,66	*	709	*	426
As25	6,01	0,61	0,70	0,88	0,75	0,08	0,79	*	129	*	424
A5	6,03	5,55	10,60	0,86	42,13	3,91	44,47	2,07	802	37	430
As27	6,21	8,28	9,85	0,39	13,08	1,23	55,43	*	669	*	424
As29	6,57	34,45	37,40	1,86	24,58	11,40	314,20	*	912	*	437
As31	6,83	6,81	11,55	0,43	39,50	3,74	62,01	*	910	*	434
A6	7,03	16,65	20,65	1,43	33,33	6,81	138,26	5,45	830	33	431
As33	7,19	5,40	9,76	0,50	36,33	2,50	43,54	*	806	*	431
A7	8,03	10,25	15,75	1,25	45,83	3,95	68,22	4,44	666	43	419
A8	8,33	4,83	10,80	0,64	49,75	2,85	31,75	2,08	657	43	425
A9	10,03	4,87	8,22	0,32	27,92	1,73	29,56	2,21	608	45	422
As38	10,13	3,69	8,23	0,27	37,83	0,86	26,55	*	720	*	427
As39	12,42	10,35	14,80	0,78	37,08	2,67	84,17	*	813	*	432
A10	13,03	4,95	9,37	0,57	36,79	2,73	26,32	2,26	531	46	424
As41	13,14	2,75	14,30	0,09	96,25	0,34	27,15	*	987	*	435



Şekil 8. Aslanlı kesiti boyunca kükürt miktarının değişimi

Figure 8. Changes in sulfur content along the Aslanlı Section

Su Kütlesinin Özellikleri

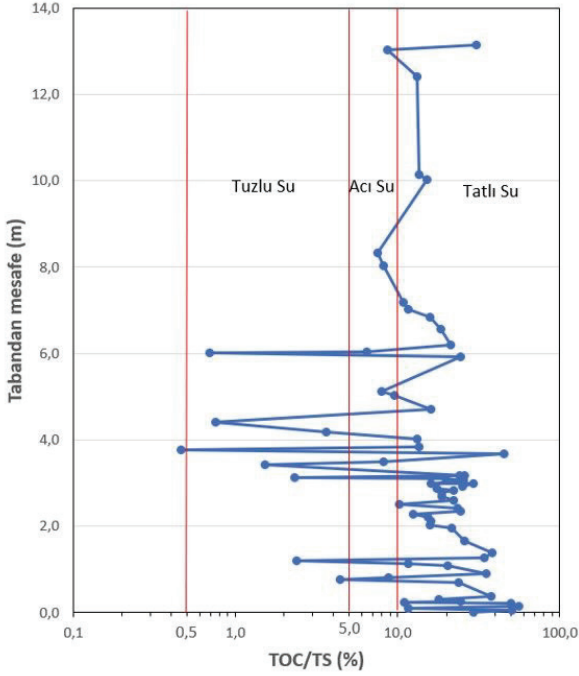
Su Kimyası

Çökeltme ortamındaki su kütlesinin kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla toplam organik karbon (TOC) ve toplam kükürt (TS) miktarları kullanılmıştır. Bu yaklaşımın temelini, bir ortamda sülfat indirgenmesi sürecinde etkili olan sülfat ve organik madde miktarı arasındaki denge oluşturmaktadır. Denizel ortamlarda yeterli sülfat (ortalama, 28mmol/L SO_4) bulunduğu için pirit indirgenen sülfat için sınırlayıcı faktör, sudaki demir ve/veya organik madde miktarı olurken,

tatlı su ortamlarında yeterli sülfatın bulunmayışı bu dengeyi bozmakta, erken diyajenez süresince oluşacak pirit miktarını sınırlamaktadır (Berner, 1970; 1981; 1982; Leventhal, 1983; 1987; Westrich, 1983). Sonuç olarak, tatlı su çökellerinde denizel çökellere göre daha fazla miktarda organik madde ve Fe mineralleri bulunsu bile daha az pirit ve buna bağlı olarak daha az kükürt oluşmaktadır (Berner, 1981; Leventhal, 1987). Bu nedenle de, TS-TOC diyagramı ve TOC/TS oranı yardımıyla su kütlesinin özellikleri saptanabilmektedir (Berner ve Raiswell, 1983; Raiswell ve Berner, 1985). 0.5-5 arasındaki TOC/TS oranları denizel-tuzlu su ortamına, 5-10 arasındaki değerler acı su ortamına, 10'dan büyük değerler ise tatlı su ortamına işaret etmektedir.

TOC/TS oranının Aslanlı kesiti boyunca değişimi Şekil 9'da görülmektedir. İstifin ilk dört m'inde, kısa süreli sapmalar olsa da, değerler çoğunlukla tatlı su ortamına işaret etmektedir. 4-6 m'ler arasında acı ve tuzlu su ortamı söz konusudur. 6-13 m arasında genel olarak tekrar tatlı su ortamı görülmektedir. Ancak, 6-8 m arasında acı su alanına düşen örnekler de bulunmaktadır (Şekil 9). Bu verilerin ışığında kömür-bitümlü marn geçişinin gerçekleştiği dönemlerde su kütlesinin tatlı sudan önce acı - tuzlu suya ve tekrar tatlı suya değiştiğini söylemek olasıdır.

Ortamın TOC-TS ilişkisi yardımıyla tanımlanması için Leventhal (1987) tarafından geliştirilen grafik kullanılmıştır. Bu grafikte ortamlar; öksinik denizel, normal denizel ve denizel olmayan ortamlar olarak ayırtlanmıştır. Bu yöntemin TOC miktarı <10 olan örneklerde uygulanmasının daha güvenilir olduğu önerilmekte ise de (Berner ve Raiswell, 1983), bu çalışmada test amacıyla TOC miktarı gözletilmeksizin tüm örnekler değerlendirilmiştir. Test, TOC miktarı %10'dan büyük ve küçük olan örneklerin kümelendiği alanların değişmediğini ve örneklerin büyük çoğunluğunun denizel olmayan alanda yoğunlaştığını göstermiştir (Şekil 10).



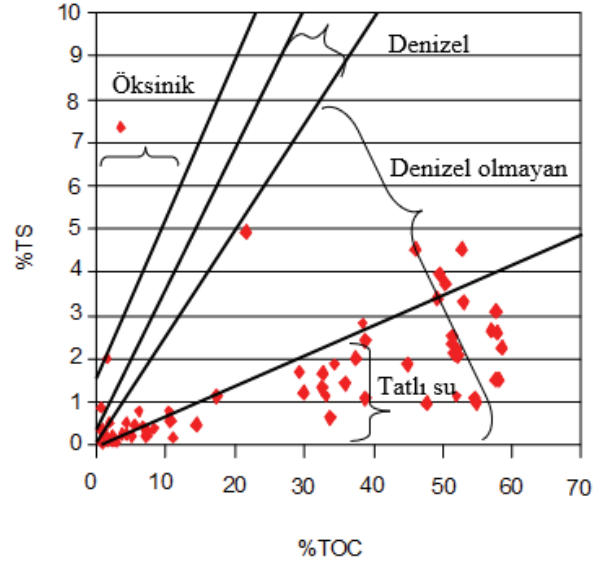
Şekil 9. Aslanlı kesitinden derlenen örneklerin çökeltme ortamlarının TOC/TS oranına göre saptanmış su kimyası özellikleri.

Figure 9. Water chemistry of depositional environment for samples from Aslanlı section defined according to TOC/TS ratio.

Karbonat minerallerinin çeşitliliği de su kimyası için bir diğer göstergedir. Göller de ilksel aragonit, $Mg/Ca > 12$ ve Mg' ca zengin kalsit Mg/Ca 2-12 oranına ulaştığında oluşmaktadır (Müller, 1970; Müller, vd., 1972). Mg miktarının artışı, ortamın alkali ve tuzlu olduğunu göstermektedir. Nitekim Aslanlı Kesitinde Mg' ca zengin kalsit ve dolomit minerallerinin bulunduğu seviyeler TOC/TS sonuçlarına göre acı ve tuzlu suyun bulunduğu evrelere karşılık gelmektedir.

Redoks Potansiyeli

Redoks potansiyeli bir ortamın kimyasal olarak yükseltici ya da indirgeyici özellikte olup olmadığının göstergesidir. Bu çalışmada, ortamın paleoredoks koşullarını saptamak için Th/U oranı



Şekil 10. Aslanlı kesitinden derlenen örneklerin çökeltme ortamlarının bu ortamlardaki su kütlelerinin kimyasal özelliklerine göre tanımlanması.

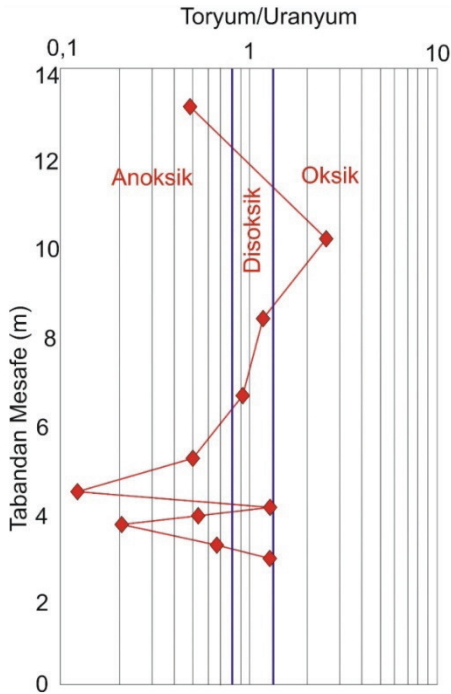
Figure 10. Water chemistry of depositional environment for samples from Aslanlı section defined according to TOC and TS contents.

ve TOC-TS ilişkisinden yararlanılmıştır. Th/U oranının redoks potansiyelinin bir göstergesi olarak kullanılmasının nedeni, suda çözülmüş olan Uranyumun (U^{+6}) indirgeyici koşullarda çözülmüş olarak ayrılacak şekilde çökmesi (Morford ve Emerson, 1999), buna karşın Toryumun mineral madde içinde sabit kalmasıdır (Langmuir, 1978; Jones ve Manning, 1994). U^{+6} 'nın U^{+4} 'e indirgenerek çökmesi çökeltilerdeki uranyum miktarının artmasına neden olmaktadır. Toryum ise sudaki oksijen konsantrasyonundan etkilenmeksizin duraylılığını korumaktadır. Bundan yola çıkarak, Wignall ve Myers (1988) otojenik uranyum miktarının bir redoks göstergesi olarak kullanabileceğini öne sürmüşlerdir. Bu araştırmacılar olağan oksijenli koşullarda oluşmuş çökeltilerdeki U miktarının Th'dan 3 kat daha az olduğunu deneysel olarak saptamışlar ve bu yolla ortamdaki oksijen miktarına bağlı redoks potansiyelinin saptanabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada

Tyson ve Pearson (1991) tarafından önerilen Th/U eşik değerleri kullanılmıştır. Buna göre Th/U oranının 0,1-0,8 arasında olduğu değerler anoksik, 0,8-1,33 arasındaki değerler yarıoksik (suboksik, disoksik), 1,33-10,0 arasındaki değerler ise oksik (oksitleyici) ortamı karakterize etmektedir.

Şekil 11’de Th/U oranına göre Aslanlı kesiti boyunca redoks potansiyelindeki değişimler görülmektedir. Buna göre istif iki kesime ayrılabilir. İstifin ilk 6 m’si anoksik-oksik değişimler göstermesine rağmen genellikle anoksik-disoksik koşullarla karakterize edilmektedir.

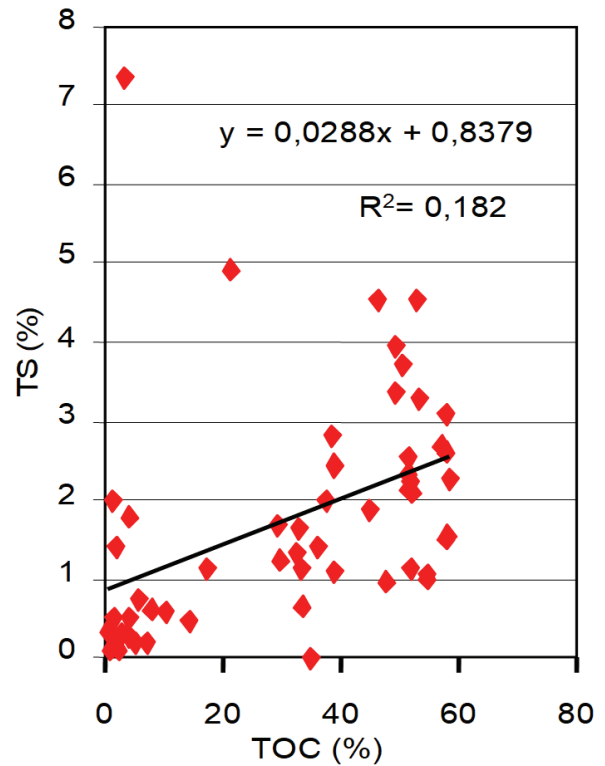
İkincisi 6-13,5 m arasındaki kesimdir. Bu seviyede de ortam koşulları değişkenlik göstermektedir. Ortam burada disoksik koşullardan, önce oksik ve daha sonra da anoksik koşullara doğru değişmektedir (Şekil 11). Bununla beraber alt kesimlere göre indirgeyici koşulların daha az etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Aslanlı kesiti boyunca Th/U oranının ve redoks potansiyeli özelliklerinin değişimi

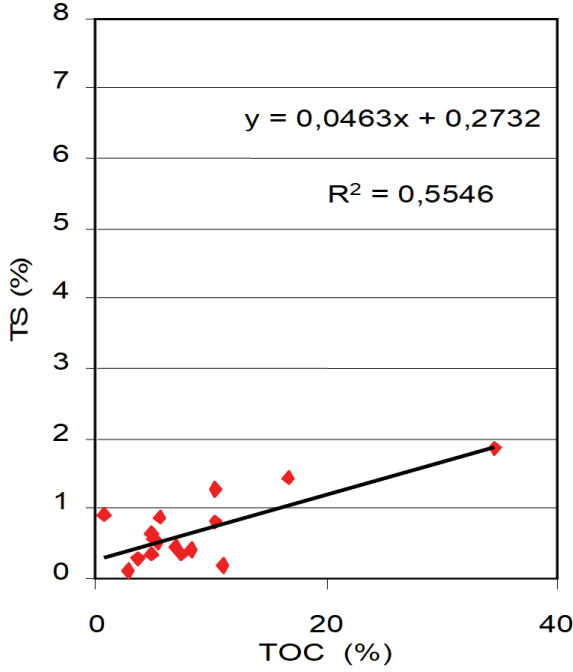
Figure 11. Changes in Th/U Ratio and redox potential along the Aslanlı section

Paleoredoks koşullarının TOC-TS ilişkisi gözetilerek değerlendirilmesinde, Th/U oranı sonuçları gözönüne alınarak bir gruplandırma yapılmıştır. Bu bağlamda istifin ilk 6 m’si ile bunun üzerindeki kesim ayrı ayrı ele alınmıştır. İstifte ilk 6 m’lik kesimi temsil eden örneklerdeki ortalama trend TS eksenini 0,84 gibi pozitif bir değerde kesmektedir (Şekil 12). Buna göre, bu kesimin çökmesi sırasındaki ortam koşulları indirgen olup, redoks potansiyelinin yüksek olduğu bir evre söz konusudur. 6,0-13,5 m arasındaki ikinci seviyede %TOC ve %TS değerlerinin izlediği ortalama trend ise TS eksenini 0,27’de kesmektedir. Bu değer ilk seviyeye oranla daha küçük olması, ortamın anoksiklik düzeyinin daha düşük olduğuna işaret etmektedir (Şekil 13).



Şekil 12. TOC-TS ilişkisine göre Aslanlı kesitinin tabandaki 6 m’lik kesimi için redoks potansiyelinin değerlendirmesi.

Figure 12. Redox potential of the first 6 meters of Aslanlı section according to TOC-TS contents



Şekil 13. Aslanlı kesitin 6-13,5 m'ler arasındaki kesimi için redoks potansiyelinin TOC-TS ilişkisine göre değerlendirmesi.

Figure 13. Redox potential of the interval between 6 and 13.5 meters of Aslanlı section according to TOC-TS contents.

Organik Fasiyes Özellikleri

Organik fasiyes, bir birimin inorganik özellikleri dikkate alınmaksızın, sadece içerdiği organik maddenin özelliklerine göre, birlikte bulunduğu diğer birimlerden ayırt edilmesini ve ayrı haritalanmasını sağlayan özelliklerin toplamı olarak tanımlanmaktadır (Jones, 1987; Jacobson, 1991). Aslanlı kesiti boyunca istifin organik fasiyes özellikleri örneklerdeki organik madde miktarı, türü ve olgunluğu saptanarak değerlendirilmiştir.

Organik Madde Miktarı

Aslanlı kesiti boyunca toplam organik karbon miktarı (TOC) %1-58 arasında değişmektedir (Çizelge 3). Organik karbon miktarının değişimi gözetildiğinde iki kesim ayırt edilmektedir (Şekil 14). İstifin ilk 4 m'lik kesimi organik maddece zengin olup, organik karbon miktarı genel

olarak %30-40'dan yüksektir. İstifin 4,0-13,5 m'ler arasındaki kesiminde ise organik madde miktarında belirgin bir azalış gözlenmektedir. Bu kesimde organik madde miktarı ortalama olarak %10'dur. Çökellerdeki organik madde miktarı biyolojik üretkenlik ve korunmayı kolaylaştıran faktörlerin etkinliğine bağlı olarak artmaktadır (Tissot ve Welte, 1984; Littke, vd., 1997). Aslanlı kesitindeki ilk 4 m'lik kesiminde organik madde miktarının yüksek oluşu, ortam koşullarının biyolojik üretkenlik ve sedimentler süreçler bakımından çok elverişli bir düzeyde olduğunu yansıtmaktadır. İstifin 4,0-13,5 m. arasındaki kesimde organik madde miktarının azalmış olması, ortam koşullarının organik madde zenginleşmesinin aleyhine değiştiği bir dönemi düşündürmektedir. Ortamın indirgenliğinin (redoks potansiyelinin) bu kesimde de büyük ölçüde korunduğu gözetildiğinde, organik madde miktarındaki azalma biyolojik üretkenlikle ilişkili olmalıdır. Bu husus, bu kesimdeki organik maddenin büyük ölçüde alglerden oluşmasıyla da desteklenmektedir. Olumsuz koşullarda da yaşamını sürdürme becerisine sahip Botryococcus türü alglerin baskın oluşu, biyolojik çeşitliliğin azaldığını göstermektedir (Dikmen, 2005). Bu husus ayrıca, bitkisel (karasal) organik maddenin ortama taşınmasında da bir kesikliğın söz konusu olduğunu düşündürmektedir.

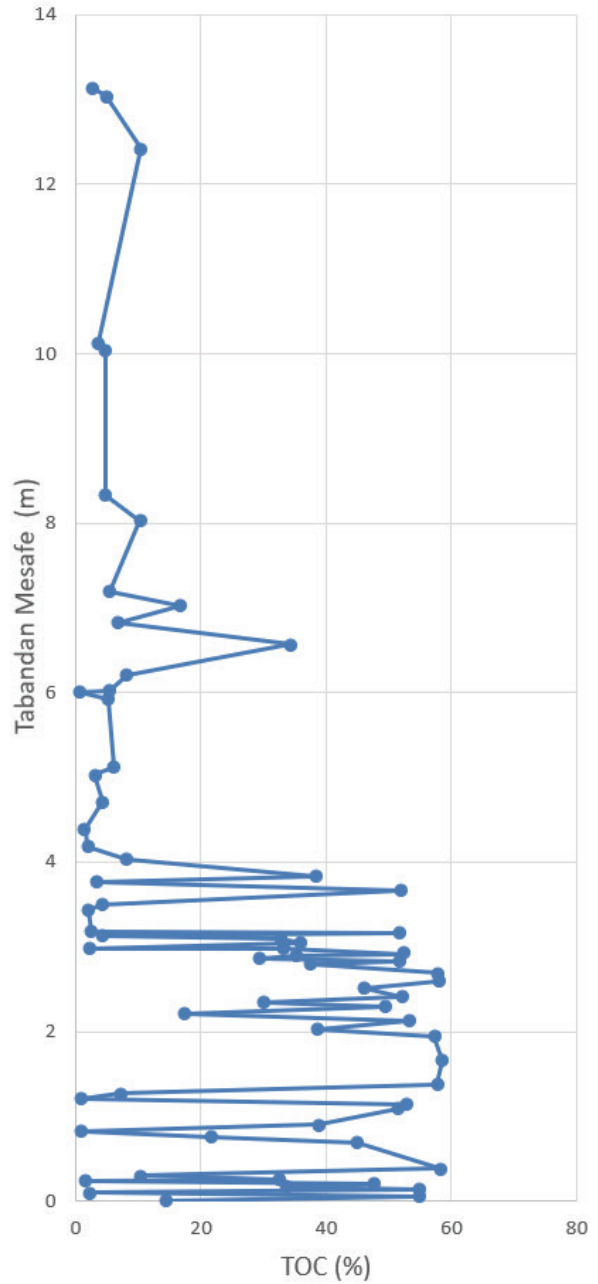
Organik Madde Türü

Organik madde türünün belirlenmesi için organik jeokimyasal (Rock-Eval Analizi) incelemelerden yararlanılmıştır. Rock-Eval piroliz yöntemiyle, organik madde türü tayininde HI-T_{max} ve S2-TOC diyagramları kullanılmıştır. Şekil 15'de Aslanlı kesiti örneklerinin üç farklı tür organik maddeyi temsil eden alanlara dağıldığı görülmektedir. Aslanlı kesiti için S2-TOC sonuçları HI-T_{max} ilişkisine göre saptanan sonuçları doğrulamaktadır (Şekil 16). Buna göre Aslanlı kesiti boyunca, Tip I, Tip II ve Tip III olarak adlanan üç farklı organik madde türünü içeren seviyeler bulunmaktadır.

Gerek HI-Tmax ve gerekse S2-TOC diyagramları incelenen istifte her üç türde organik maddenin bulunabileceğini göstermişse de, diyagramların tabiatı gereği organik madde türünün kesit boyunca sistematik bir değişim gösterip göstermediği bu aşamada saptanamamıştır. Bu yönde bir yaklaşım, hidrojen indeksi değerlerine göre organik maddenin hümik, karışık ve sapropelik olarak ayırtlanması yoluyla denenmiştir. Bu ayırt için kullanılan eşik değerleri şunlardır: Hümik Organik Madde, HI < 200 mgHC/gTOC; Karışık Organik Madde, 200 < HI < 600 mgHC/gTOC; Sapropelik Organik Madde, HI > 600 mgHC/gTOC. Aslanlı kesiti boyunca oldukça sık aralıklarla değişen HI değerlerine göre istif iki zona ayrılabilir. Tabandan ilk 4 m'lik kesim genel anlamda hümik organik maddece zengindir. Bu kesimde karışık olarak adlanabilecek bir organik madde içeren seviyeler de bulunmaktadır. İstifin 4-13,5 m'ler arasındaki kesimi ise, karışık organik madde içeren ince birkaç seviye dışında, sapropelik organik madde bakımından zengindir (Şekil 17).

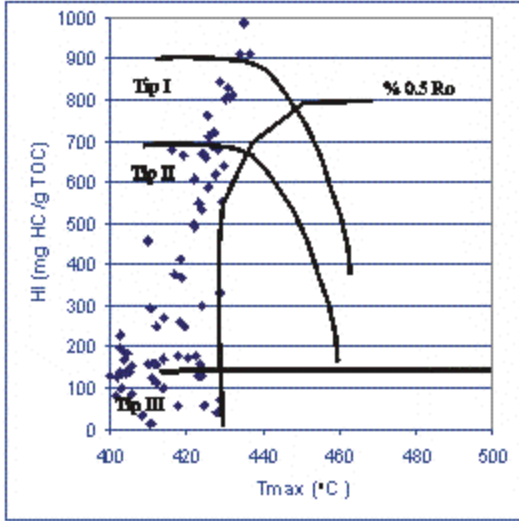
Organik Maddenin Olgunluğu

Organik maddenin kimyasal ve fiziksel özellikleri artan gömülmeye (sıcaklığa) bağlı olarak değişmektedir. Olgunlaşma olarak adlanan bu sürecin aşamaları organik maddenin bazı özelliklerinin ölçülmesi yoluyla saptanabilmektedir. Bunların en başında vitrinit yansıması değerleri gelmektedir (Stach vd., 1982; Tissot ve Welte, 1984). Rock-Eval Piroliz analizi sırasında ölçülen T_{max} değeri de yaygın olarak kullanılan göstergelerden biridir (Espitalié, vd., 1977). Aslanlı kesitinde organik madde olgunluğu T_{max} değerleriyle saptanmıştır. Örneklerin büyük çoğunluğunda T_{max} değerlerinin <435 °C olması nedeniyle organik maddenin henüz olgunlaşmamış olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 15). Organik maddenin henüz olgunlaşmamış ve miktarının yüksek oluşu, çökel istifinin “bitümlü çökeller” olarak adlanmasının isabetli olduğunu göstermektedir.



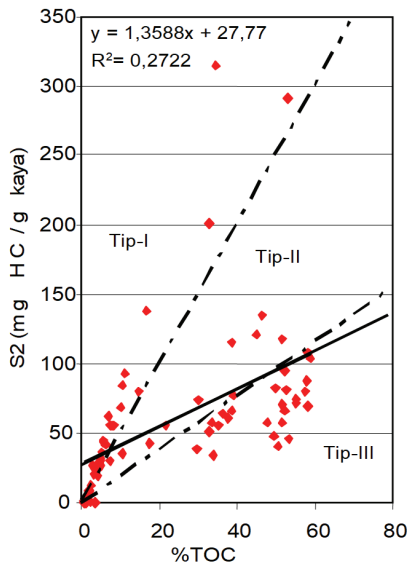
Şekil 14. Toplam Organik Karbon (TOC) miktarının Aslanlı kesiti boyunca değişimi

Figure 14. Changes in Total Organic Carbon (TOC) content along Aslanlı section



Şekil 15. HI-Tmax diyagramında Aslanlı Kesiti boyunca gözlenen organik madde türleri. Her üç organik madde türüne (Tip I, Tip II, Tip III) sahip örneklerin bulunduğu ve bunların olgunluğunun % 0,5 Ro vitrinit yansıması değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Figure 15. The HI-Tmax diagram for the Aslanlı section. Samples contain all the three types of kerogen (Type I, II, III), which are immature (maturity is < 0.5% Ro)



Şekil 16. S2-TOC ilişkisine göre Aslanlı kesitinden derlenen örneklerin organik madde türleri

Figure 16. Type of organic material in samples from Aslanlı section according to S2-TOC data

Organik Fasiyes ve Değişimleri

Aslanlı Kesiti boyunca organik maddenin yukarıda değinilen özelliklerinin (organik madde miktarı, türü ve olgunluğu) ışığında Jones (1987)'e göre saptanmış olan organik fasiyesler Çizelge-4'de listelenmiştir. 13,5 metrelik kesit boyunca organik fasiyesleri farklı 29 düzey belirlenmiştir.

Çökel istifin organik fasiyes özellikleri tabandan tavana doğru, bitkisel kökenli organik maddeye baskın bir fasiyesten alg kökenli organik madde türünün baskın olduğu bir fasiyese doğru değişmektedir. Bu bağlamda istif üç kesime ayrılabilir. Birinci kesim istifin tabanından 3,96 m'ye kadar olan kesimdir ve bu kesimde C ve CD fasiyesleri baskındır (Şekil 20). Yukarıda da belirtildiği gibi, C ve CD fasiyes türü bitkisel kökenli organik maddeyi temsil etmektedir. Bu kesimdeki organik madde miktarı da yüksektir. Organik madde miktarının yüksek oluşu birincil üretimin fazla ve korunumun iyi olduğunu göstermektedir. Bu evredeki organik maddenin bitkisel kökenli oluşu, bölgedeki iklim koşullarının bitki örtüsünün gelişmesine uygun, nemli ve ılıman olduğunu yansıtmaktadır. İkinci kesim; 3,96-6,02 m'ler arasındaki kesimdir. Bu kesimde AB fasiyes türleri baskınsa da, aralarında zaman zaman karasal kökenli organik madde içeren zonlara da rastlanmaktadır. Bu kesimde organik fasiyesin yanı sıra organik madde miktarları da değişkendir. Bu veriler bitkisel fasiyesten, algal fasiyese geçiş aşamasında organik madde türü ve korunumu bakımından hızlı değişimlerin yaşandığına işaret etmektedir (Şekil 20). 6,02-13,55 m'ler arasındaki üçüncü zon algal organik madde ile karakterize edilen A ve AB fasiyesi özellikleri göstermektedir. Bu zonda organik madde miktarı ilk zona göre daha düşüktür. Bu durum ortam şartlarının organik madde üretimi ve korunumunu kısıtlayacak şekilde değiştiğine işaret etmektedir. Bu evredeki organik madde türünün neredeyse sadece tek bir cinsle temsil edilen alg kökenli olması, ekolojik koşulların önceki evrelere göre daha olumsuz olduğunu göstermektedir. Su kimyasındaki acı

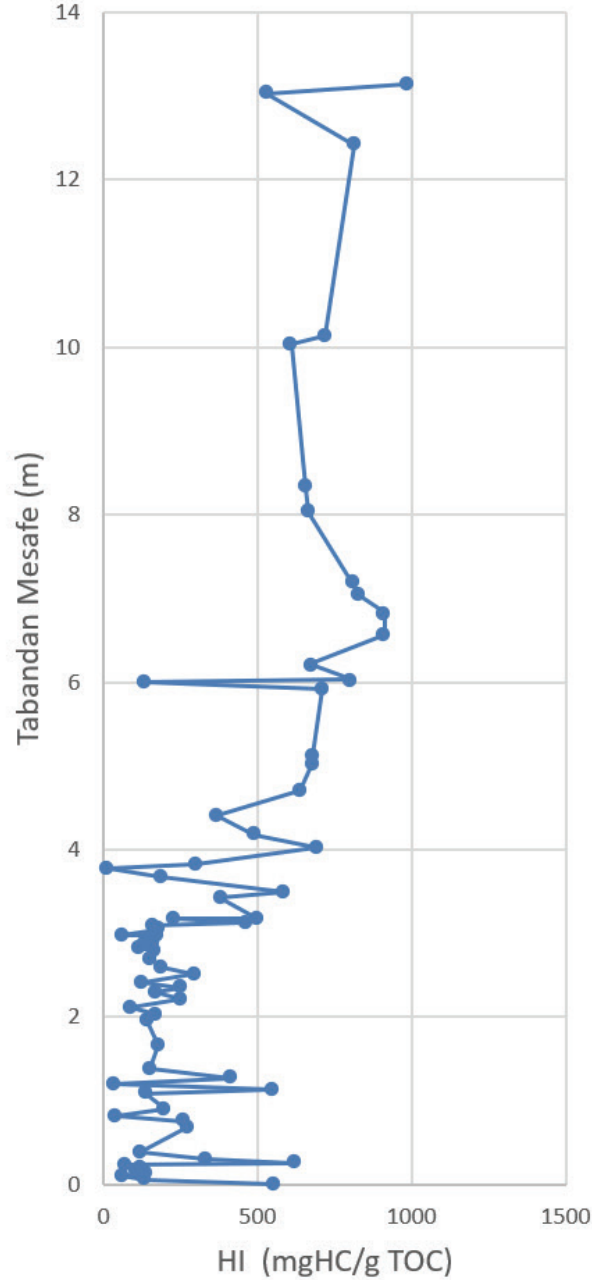
su-tuzlu su yönündeki değişim de bunun bir göstergesidir.

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu bölümde Seyitömer havzasındaki kömür bitümlü marn birlikteliği; önce çökme ortamı, ardından da bu ortamda gelişen organik fasiyes açısından tartışılacak ve ulaşılan sonuçlar sunulacaktır.

Aslanlı kesiti boyunca toplam kalınlığı 13,5 m'yi bulan istif, organik maddece zengin ince taneli kırıntılı ve karbonatlı litolojiler ile değişik nitelikli kömürlerin ardalanmasından oluşmaktadır. Mineralojik bileşimden yola çıkılarak oluşturulmuş değişik oranlar kömürce zengin düzeylerdeki çökmenin kırıntılı baskın veya karbonatça baskın gerçekleştiğini, bitümlü marnca zengin düzeylerin ise bu anlamda dengeli bir birliktelik sunduğunu göstermiştir.

Petrografik incelemeler, makrolitolojik gözlem ve mineralojik bileşim sonuçlarını desteklemiştir. Su kimyasına yönelik değerlendirmeler, başlangıçta tatlı olan suyun kimyasının zamanla acılaşıma ve tuzlanma yönünde değiştiğini göstermiştir. İstifin çökmesi sırasında genellikle anoksik bir ortam söz konusu olmuşsa da, redoks potansiyeli zaman zaman azalarak suboksik (disoksik), hatta kısa süreli oksik koşulların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu özellikler topluca değerlendirildiğinde çökme ortamının oldukça düşük enerjili, ince kırıntılı ve kimyasal çökmenin gerçekleştiği, organik madde üretimi ve korunması açısından uygun koşullara (tabakalı bir su kütlesi) sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Tüm bu özellikler, su derinliği değişken bir göl ortamını yansıtmaktadır. Bu fasiyes genellikle dengeli dolan göllerde gelişmektedir (Carrol ve Bohacs, 1999; Bohacs, vd., 2000). Dengeli dolan bu göl ortamındaki çökme koşullarının zamanla değiştiği görülmektedir. Nitekim kömür-bitümlü marn geçişinin gözlemlendiği kesim iki ayrı zona ayrılmaktadır. İlk zon tabandan itibaren ilk 4 m'lik kesimdir.



Şekil 17. Hidrojen İndeksinin (HI) Aslanlı kesiti boyunca değişimi.

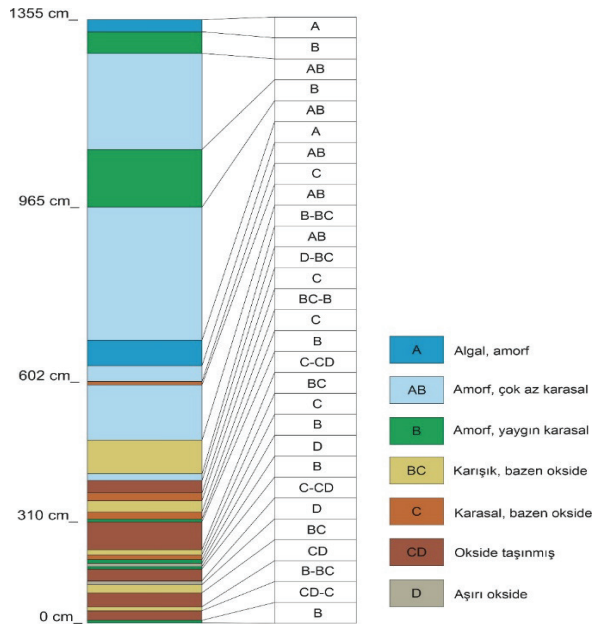
Figure 17. Changes in Hydrogen Index (HI) along Aslanlı section

Çizelge 4. Aslanlı Kesiti boyunca ayırtlanmış organik fasiyesler, kalınlıkları ve organik madde özellikleri
Table 4. Thickness and properties of organic facies differentiated along the Aslanlı section.

Kesit Tabanından Mesafe (cm)	Organik Fasiyes	Organik Madde Özellikleri
0-5	B	Amorf, yaygın karasal
5-25	CD - C	Okside, taşınmış – Karasal bazen okside
25-33	B - BC	Amorf, yaygın karasal - Karışık, bazen okside
33 - 62	CD	Okside, taşınmış
62-79	BC	Karışık, bazen okside
79-87	D	Aşırı Okside
87-112	C-CD	Karasal, bazen okside - Okside, taşınmış
112-117	B	Amorf, yaygın karasal
117-124	D	Aşırı Okside
124-131	B	Amorf, yaygın karasal
131-241	C (çok az CD)	Karasal, bazen okside (okside, taşınmış, çok az)
241-252	BC	Karışık, bazen okside
252-310	C-CD	Karasal, bazen okside - Okside, taşınmış
310-315	B	Amorf, yaygın karasal
315-330	C	Karasal, bazen okside
330-354	BC-B	Karışık, bazen okside - Amorf, yaygın karasal
354-370	C	Karasal, bazen okside
370-396	D – BC – karışık zon	Aşırı Okside - Karışık, bazen okside – karışık zon
396-410	AB	Amorf, çok az karasal
410-480	B -BC	Amorf, yaygın karasal- Karışık, bazen okside
480-595	AB	Amorf, çok az karasal
595-602	C	Karasal, bazen okside
602-635	AB	Amorf, çok az karasal
635-688	A	Algal, amorf
688-965	AB	Amorf, çok az karasal
965-1085	B	Amorf, yaygın karasal
1085-1285	AB	Amorf, çok az karasal
1285-1330	B	Amorf, yaygın karasal
1330-1355	A	Algal, amorf

Bu kesim, tane boyu kil-kaba silt arasında olan, laminalı litolojilerden oluşmaktadır. Baskın sedimenter yapının laminalanma oluşu ve küçük tane boyu havzaya gelen malzemenin zayıf akıntılarla taşındığına işaret etmektedir. Su kimyası genel olarak tatlı sudan acı suya geçişi göstermekteyse de, ortamda Mg²⁺ca zengin kalsit ve dolomit oluşumunun gerçekleştiği seviyelerde

acı sudan tuzlu suya geçiş de görülebilmektedir. 4,0-13,5 m arasında kimyasal çökelmenin arttığı ikinci bir zona geçilmektedir. Su kimyası tatlı sudan acı suya değişmiş, ortamın redoks potansiyeli disoksik ve anoksik koşulları karakterize etmektedir. Kesit boyunca gözlenen bu değişimler, göl ortamı değişmese de, koşulların zamanla değiştiğini göstermektedir.



Şekil 18. Aslanlı kesiti boyunca ayırtlanmış organik fasiyesler

Figure 18. Organic facies differentiated along the Aslanlı section

Çökel istifin organik fasiyes özellikleri tabandan tavana doğru, bitkisel kökenli organik maddece baskın bir fasiyesten alg kökenli organik madde türünün baskın olduğu bir fasiyese doğru değişmektedir. İstif organik fasiyese göre üç zona ayrılabilir. Birinci zon; tabandan 3,96 m'ye kadar olan kesimdir ve bitkisel kökenli organik maddeyle temsil edilen C ve CD fasiyeslerince karakterize edilir. Bu kesimde organik madde miktarı yüksektir (%0-50). Organik madde miktarının yüksek oluşu birincil üretimin fazla ve korunumun iyi olduğunu göstermektedir. Bu kesimdeki organik maddenin bitkisel kökenli (hüyük) oluşu, bitki örtüsünün gelişimine elverişli nemli ve ılıman iklim koşullarına işaret etmektedir. İkinci zon; 3,96-6,02 m'ler arasındaki kesimdir ve BC ve AB fasiyesleri arasında değişkenliğin sık gözlemlendiği bir dönemi yansıtmaktadır. Bu kesimde organik fasiyesin yanısıra organik madde miktarları da (%10-50) değişkendir. Bitkisel bir organik fasiyesten, algal fasiyese geçiş aşamasında organik madde

türü ve korunumu açısından hızlı değişimlerin yaşandığı anlaşılmaktadır. Su kimyasındaki acı su-tuzlu su yönündeki değişimler de bunun bir göstergesidir. 6,02-13,55 m'ler arasındaki üçüncü zon, alglerden oluşan bir organik madde ile karakterize edilen A ve AB organik fasiyeslerinin özelliklerini göstermektedir. Bu zonda organik madde miktarı ilk zona göre daha düşüktür (%0-10). Bu durum, ortam koşullarının organik maddenin üretimi ve korunmasını kısıtlayıcı bir şekilde değiştiğine işaret etmektedir. Bu evredeki organik madde türünün neredeyse sadece tek bir cinsle temsil edilen alg kökenli olması ekolojik koşulların ilk evreye göre daha olumsuz olduğunu göstermektedir.

Yukarıda özetlenen değerlendirmeler ve bu çalışmada saptanan diğer özellikler topluca gözetildiğinde, kömür-bitümlü marn birlikteliğini içeren çökel istifinin litolojik, mineralojik ve sedimentolojik özellikleri genel anlamda su derinliğinin değişken olduğu, dengeli dolan bir göl ortamına işaret etmektedir. Göl ortamı değişmemekle birlikte çevresel koşullarda yaşanan değişimler hem inorganik, hem de organik fasiyeste radikal bir değişime neden olmuştur. Çökelme ortamını ve çevresini etkileyen bu değişimler, çok büyük ölçüde bir iklim değişikliğiyle ilgili olmalıdır. Nitekim yörenin paleoiklim koşullarını farklı göstergeler yardımıyla inceleyen araştırmacılar Yavuz-Işık (2007) palinolojik veriler ışığında kömür ve ince kırıntılı litolojilerin yarı-tropik ılıman ve yağışlı bir dönemde oluştuğunu saptamıştır. Akkiraz vd. (2012) palinolojik verilerin "Birarada Olma Yaklaşımı (Coexisting Approach (CA))" yöntemiyle (Mosbrugger ve Utescher, 1997) değerlendirilmesi sonucu, sıcaklık ve yağışta küçük ölçekli döngüsel salınımlar içeren yarı-tropik iklim koşullarının etkili olduğunu öne sürmüşlerdir. Erkoyun vd. (2017) ise; jeokimyasal ve izotopik göstergeler yardımıyla istifin kömürlü ve ince kırıntılı kesiminin yarı-tropik, sıcak ve nemli koşullarda bir gölsel ortamda çökeldiklerini,

marnlı kesiminin ise yarı kurak-kurak koşulları temsil ettiğini belirtmişlerdir. Kömürlü kesimde yaygın olarak bulunan ve yarı-tropik bataklık ormanını temsil eden Taxodiaceae'lerin istifin üst kesiminde ortadan kalkışı (Yavuz-Işık, 2007), iklim koşullarındaki bu değişimin bir diğer belirteçidir.

Bu çalışmanın bulguları ve yukarıda tartışılan önceki çalışmaların verileri, Seyitömer Havzası'ndaki kömürlü birimlerin çökmesi sırasında ılıman ve yağışlı olan iklimin, kurak ve daha sıcak yönde değiştiğini ve bunun sonucunda da sapropelik organik maddece zengin bitümlü marnların çökmeye başladığını göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma; "MioEcoChange Projesi" kapsamında da TÜBİTAK, (Proje No: 101Y107) ve Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmb+f), Bonn/Almanya tarafından ve İstanbul Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından da yazarlardan Dila Dikmen'in Yüksek Lisans Tez Çalışması kapsamında (Proje No: T-405/08032004) desteklenmiştir. Dr. Ulrich Mann (Jülich Research Center) MioEcoChange Projesinin Almanya tarafındaki koordinatörü olarak çalışmaların her aşamasında önemli katkılar yapmıştır. Dr. Selman Er (İstanbul Üniversitesi) şekillerin oluşturulması sürecinde değerli yardımlarda bulunmuştur. Üç anonim hakem tarafından yapılan öneri ve eleştiriler makalenin iyileştirilmesini sağlamıştır. Tüm bu değerli destekler için teşekkürü borç biliyoruz.

EXTENDED SUMMARY

The Neogene basins in the Aegean region of Turkey are characterized by two distinct organic rich sediments with close proximity, namely humic coals and algae-rich bituminous shales and/or bituminous marls. Previous studies focused on either coals or bituminous sediments,

as well as their economic potential. Regional geological aspects of these Neogene basins, their stratigraphy and more recently even some aspects of the paleoclimate were addressed. However, the causes of the rather unusual close proximity of coals with oil shales and/or bituminous marls were not investigated before. In order to determine the causes of this unusual association, depositional conditions and organic facies of these organic rich sediments were studied with a multi-proxy approach.

A 13.5 m thick section in the Seyitömer-Kütahya region was studied in a high-resolution manner for its lithological and petrographic properties, mineralogical and geochemical composition, chemistry and redox potential of the water column, the amount, type and maturity of organic material in sediments and the depositional environment.

A total of 79 samples were collected along the profile, which were analyzed with Leco, Rock-Eval Pyrolysis, X-ray Diffraction, Neutron Activation and Sediment Petrography.

The Pre-Cretaceous ophiolitic basement forms the basement for a Neogene and Plio-Quaternary sedimentary sequence. The coal-bituminous marl association is located within the Seyitömer Formation and encompasses the upper part of the Lower Coal member and the lower part of the Bituminous Marl member. The age of the Seyitömer Formation is still debated but an Early to Late Middle Miocene age is commonly suggested. Mineralogical composition and petrographic examination of the samples showed that the conditions in the depositional environment were suitable for deposition of clay and carbonate, and for preservation of organic material, e.g., reducing conditions. The lack of coarse clastics and lamination indicates a low-energy environment. Appearance of temperature-sensitive minerals such as aragonite, dolomite and gypsum in the upper parts of the section indicates periods of enhanced water temperature in the

basin. Parameters obtained from Total Organic Carbon (TOC) and Total Sulfur (TS) content of the samples indicates a non-marine fresh water environment in general, where some brackish and even salt-water conditions also prevailed during the period of coal-bituminous marl transition. The redox potential of the depositional environment was determined using the thorium/uranium ratio and the TOC-TS amounts. Apart from a few oxic periods, anoxic to disoxic conditions were active during the entire period of the coal-bituminous marl transition. Nevertheless, anoxia is much more pronounced in the lower parts of the profile up to six meters from the base. Organic facies of the studied sequences were evaluated considering amount, type and maturity of the organic material in sediments. A total of 29 intervals with diverse organic facies were distinguished. The lowermost four meters of the section are characterized by organic facies types C and CD, representing terrestrial and oxidized organic material. The following interval between four and six meters is represented by organic facies types AB and BC, a mixture of amorphous and terrestrial organic material. The rest of the profile consists of mainly algal organic material representing organic facies types A and AB.

The diverse parameters summarized above enabled differentiation of two intervals along the coal-bituminous marl transition. The four-meter-thick interval at the base of the section represents a period when fine clastics rich in terrestrial organic matter and even humic coals were deposited in a low-energy fresh-water environment with high redox potential. The next part of the section is represented by carbonate-rich fine clastics, deposited occasionally as a result of enhanced chemical sedimentation in brackish to saline water. These units are rich in sapropelic organic material, indicating that reducing conditions were still present.

Sedimentological properties of the coal-bituminous marl transition indicate a lacustrine

environment in general. At the beginning, it was a balanced-fill fresh water lake, where coal and fine clastics were deposited under temperate and humid conditions, suitable for flourishing of flora. The lake then converted from time to time into a lake with brackish water due to a climate change towards drier conditions. This paleoclimatic change at the end of the mid-Miocene is most probably the main controlling factor of the transition from humic coals to bituminous marls in the Seyitömer region.

ORCID

Dila Dikmen  <https://orcid.org/0000-0001-7406-6529>

M. Namık Yalçın  <https://orcid.org/0000-0002-4542-1218>

DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

- Akdeniz, N., Konak, N., 1979. Simav, Emet, Tavşanlı, Dursunbey, Demirci yörelerinin jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Raporu, No. 6547 (yayımlanmamış).
- Akgün, F., Kayseri, M.S., Akkiraz, M.S., 2007. Paleoclimatic evolution and vegetational changes during the Late Oligocene–Miocene period in Western and Central Anatolia (Turkey). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 253, 56–90.
- Akkiraz, M.S., Akgün, F., Utescher, T., Wilde, V., Anneliese Bruch, A., Mosbrugger, V., Üçbaş, S.D., 2012. Palaeoflora and Climate of Lignite-bearing Lower-Middle Miocene Sediments in the Seyitömer and Tunçbilek Sub-basins, Kütahya Province, Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 213–235. DOI:10.3906/yer-1007-45.
- Baş, H., 1983. Domaniç-Tavşanlı-Kütahya-Gediz yöresinin Tersiyer jeolojisi. *Jeoloji Mühendisliği*, 27, 11–19.
- Bernard, B.B., Bernard, H., Brooks, J.M., 1995. Determination of Total Carbon, Total Organic Carbon and Inorganic Carbon in Sediments. TDI-Brooks International/B&B Laboratories Inc., College Station Texas, Vol. 1-5.

- Berner, R.A., 1970. Sedimentary pyrite formation. *American Journal of Science*, 268, 1-23.
- Berner, R.A., 1981. A new geochemical classification of sedimentary environments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 359-365.
- Berner, R.A., 1982. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in the modern ocean: its geochemical and environmental significance. *American Journal of Science*, 282, 451-473.
- Berner, R.A., Raiswell, R., 1983. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory. *Geochimica Cosmochimica Acta* 47, 855-862.
- Bohacs, K.M., Carrol, A.R., Neal, J.E., Mankiewicz, P.J., 2000. Lake-basin type, source potential and hydrocarbon character: an integrated-sequence-stratigraphic-geochemical framework, (Lake basins through space and time, Editörler: Gierlowski-Kordesch, E.H., Kelts, K.R.). *AAPG Studies in Geology*, 46, 3-34.
- Bulkan, Ö., 2003. Himmetoğlu (Göynük-Bolu) Yöresindeki Kömür-Bitümlü Şist Birlikteliğinin Paleoekolojik Nedenleri. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 132 s., (yayımlanmamış).
- Bulkan-Yeşiladalı, Ö., Yalçın, M.N., Mann, U., 2005. Himmetoğlu Havzası'ndaki (Göynük-Bolu) Kömür-Bitümlü Şeyl Birlikteliğinin Paleo-Ortam Koşulları. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 18, (1), 81-97.
- Carrol, A.R., Bohacs, K. M., 1999. Stratigraphic classification of ancient lakes: balancing tectonic and climatic controls. *Geology*, 27, 99-102.
- Çelik, Y., Karayığit, A.İ., 2004a. Chemical Properties and Petrographic Composition of the Lacustrine Seyitömer Lignites (Miocene), Kütahya, Turkey. *Energy Sources*, 26, (4), 339-352.
- Çelik, Y., Karayığit, A.İ., 2004b. Geological Setting and Quality of the Lignite Seams in the Seyitömer Basin, Kütahya, Turkey. *Geologica Belgica*, 7, (3-4), 259-265.
- Dikmen, D., 2005. Seyitömer (Kütahya) Yöresindeki Kömür-Bitümlü Marn Geçişinin Organik Fasiyes Özellikleri. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 128 s., (yayımlanmamış).
- Emre, H., 1999. Seyitömer (Kütahya) kömür havzasının ısıl değerlerine göre rezerv hesabı. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 12, 31-37.
- Erkoyun, H., Kadir, S., Külah, T., Huggett, J., 2017. Mineralogy, geochemistry and genesis of clays interlayered coal seams succession in the Neogene lacustrine Seyitömer coal deposit, Kütahya, western Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 172, 112-133.
- Espitalie, J., Madec, M., Tissot, B., Mennig, J. J., Leplat, P., 1977. Source rock characterization methods of petroleum exploration. *Proc. Offshore Technology Conference*, Paper 2935, 3, (9), 439-444.
- Helvacı, C., İnci, U., Yağmurlu, F., Yılmaz, H., 1987. Batı Anadolu'nun Neojen stratigrafisi ve ekonomik potansiyeli. *Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 3, 31-45.
- Hufnagel, H., 1989, Investigation of oil shale deposits in western Turkey. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Project no. 84.2127.3, Hannover, Germany, (yayımlanmamış).
- Jacobson, S. R., 1991. Petroleum Source Rocks and Organic Facies. in: R. K. Merrill (Ed.) *Source and Migration Processes and Evaluation Techniques*, AAPG Treatise of Petroleum Geology, Handbook of Petroleum Geology, 3-11.
- Jarvie, D. M., 1991. Total Organic Carbon (TOC) Analysis, (Source and Migration Processes and Evaluation Techniques, Ed.: Merrill, R.K.). AAPG Treatise of Petroleum Geology, Handbook of Petroleum Geology, 113-118.
- Jones, B., Manning, D.A.C., 1994. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleo-redox conditions in ancient mudstones. *Chemical Geology*, 111, 111-129.
- Jones, R.W., 1987. Organic Facies, (Advances in Petroleum Geochemistry Volume 2, Editörler: Brooks, J., Welte, D.). Academic Press, Londra, 1-91.
- Kara-Gülbay, R., Korkmaz, S., 2008. Organic geochemistry, depositional environment and hydrocarbon potential of the Tertiary oil shale deposits in NW-Anatolia, Turkey. *Oil Shale*, 25, (4), 444-464.

- Kaya, O., 1979. Ortadoğu Ege çöküntüsünün Neojen stratigrafisi ve tektoniği. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 22, 35-58.
- Kaya, T. 1993. First record of *Moropus elatus* (Chalicotheriidae-Perisscodatyla) in Turkey (Seyitömer-Kütahya). Turkish Journal of Earth Sciences, 2, 189-194.
- Kök, M.V., 2001. Thermal investigation of Seyitömer oil shale. *Thermochimica Acta*, 369, 149-155.
- Kök, M.V., Şengüler, İ., Hufnagel, H., Sonel, N., 2001. Thermal and geochemical investigation of Seyitömer oil shale. *Thermochimica Acta*, 371, 111-119.
- Langmuir, D., 1978. Uranium solution-mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 42, 547-569.
- Lebküchner, R.F., 1959. Seyitömer (Kütahya) Neojen sahasında jeoloji ve linyit ile ilgili olarak yapılan etüdler hakkında rapor. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Raporu, No.2985, (yayımlanmamış).
- Leventhal, J.S., 1983. An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicators of environments of deposition. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 47 (1), 133-137.
- Leventhal, J.S., 1987. Carbon and Sulfur relationship in Devonian shales from the Appalachian basins as indicator of environment of deposition. *American Journal of Science*, 287, 33-49.
- Littke, R., Baker, D. R., Rullkötter, J., 1997. Deposition of petroleum source rocks, (Petroleum and Basin Evaluation, Editörler: Welte, D.H., Horsfield, B., Baker, D.R.). Springer-Verlag, 271-333.
- Maucher, A., 1936. Seyitömer linyit havzasının petrografik raporu. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Raporu, No.108 (yayımlanmamış).
- Morford, J.L., Emerson, S., 1999. The geochemistry of redox sensitive trace metals in sediments. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 63, (11-12), 1735-1750.
- Mosbrugger, V., Utescher, T., 1997. The coexistence approach—a method for quantitative reconstructions of Tertiary terrestrial palaeoclimate data using the plant fossils. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 134, 61-86.
- Müller, G., 1970. High magnesian calcite and protodolomite in Lake Balaton (Hungary) sediments. *Nature*, 226, 749-750.
- Müller, G., Irion, G., Forstner, U., 1972. Formation and diagenesis of inorganic Ca-Mg carbonates in the lacustrine environment. *Naturwissenschaften*, 59, 158-164.
- Nakoman, E., 1968. Contribution a l'etude de microflore Tertiaire des lignites de Seyitömer (Turquie). *Pollen et Spores*, 10.
- Nebert, K., 1960. Tavşanlı'nın batı ve kuzeyindeki linyit ihtiva eden Neojen sahasının mukayeseli stratigrafisi ve tektoniği. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, 54, 7-35.
- Özcan, N., 1987. Seyitömer (Kütahya) Linyitlerinin Palinolojik Özellikleri, Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 70 s., (yayımlanmamış).
- Philp, R.P., Galvez-Sinibaldi, A., 1991. Characterization of organic matter by various pyrolysis techniques, (Source and Migration Processes and Evaluation Techniques, Ed.: Merrill, R.K.) AAPG Treatise of Petroleum Geology, Handbook of Petroleum Geology, 107-112.
- Pütün, E., Akar, A., Ekinci, E., Bartle, K. D., 1988. Chemistry and Geochemistry of Turkish Oil Shale Kerogens. *Fuel*, 67, 1106-1110.
- Pütün, E., Akar, A., Ekinci, E. And Bartle, K. D., Frere, K. D., Snape, C., E., Ciritoglu, M., 1991. Organic Geochemistry of the Göynük and Seyitömer Oil Shales of Turkey. *Journal of Petroleum Geology*, 14, (4), 459-464.
- Raiswell, R., Berner, R. A., 1985. Pyrite formation in euxinic sediments and semi-euxinic sediments. *American Journal of Science*, 275, 636-652.
- Reul, K., 1955. Seyitömer linyit yatakları hakkında jeolojik rapor. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Raporu, No.2383 (yayımlanmamış).
- Saraç, G., 2003. Türkiye Omurgalı Fosil Yatakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No. 10609, (yayımlanmamış).
- Stach, E., Mackowsky, M.-Th., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmüller, R., 1982. Stach's Textbook of Coal Petrology, Berlin, Gebrüder Borntraeger, 535 s.

- Şener, M., Şengüler, İ., Kök, M.V., 1995. Geological considerations for the economic evaluation of oil shale deposits in Turkey. *Fuel*, 74, (7), 999-1003.
- Şengüler, İ., 1999. Seyitömer (Kütahya) yöresi petrolü şeylllerinin ekonomik kullanım olanaklarının araştırılması. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (yayımlanmamış).
- Taylor, J.C., 1991. Computer Programs for Standardless Quantitative Analysis of Minerals Using the Full Powder Diffraction Profile. *Powder Diffraction*, 6, 2-9.
- Taylor, J.C., Clapp, R.A., 1991. New Features and Advanced Applications of SIROQUANT: a Personal Computer XRD Full Profile Quantitative Analysis Software Package. *Advances in X-Ray Analysis*, 35, 49-55.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer-Verlag, Berlin, 699 s.
- Tyson, R. V., Pearson, T. H. 1991. Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview, (Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia, Editörler: Tyson, R.V., Pearson, T.H.). Geological Society of London Special Publication, London, 58, 1-24.
- Westrich, J. T., 1983. The consequences and controls of bacterial sulfate reduction in marine sediments. Doktora tezi, Yale University, 530 s., (yayımlanmamış).
- Wignall, P., Myers, K.J. 1988. Interpreting benthic oxygen levels in mudrocks: A new approach. *Geology*, 16, 452-455.
- Yalçın, M.N., Schaefer, R.G., Mann, U., 2007. Methane generation from Miocene lacustrine coals and organic-rich sedimentary rocks containing different types of organic matter. *Fuel*, 84, (4), 504-511.
- Yavuz, N., 1999. Palynostratigraphy and coal petrography of the Seyitömer Basin (Kütahya) coals. Doktora tezi, Middle East Technical University, 190 s., (yayımlanmamış).
- Yavuz, N., Ediger, V.S., Erler, A., 1995. Palynology, organic petrography and geochemistry of the Lower-Middle Miocene coals of the Tavşanlı basin (Kütahya). *Yerbilimleri*, 17, 87-100.
- Yavuz-Işık, N., 2007. Pollen analysis of coal-bearing Miocene sedimentary rocks from the Seyitömer Basin (Kütahya), Western Anatolia. *Geobios*, 40, 701-708.
- Ziegler, J., 1936. Bericht über die montangeologischen Untersuchungen im Randgebiet des Kütahya Braunkohlenfeldes Seyitömer. Maden Teknik ve Arama Enstitüsü Raporu, No. 110, (yayımlanmamış).