



Eosen Yaşlı Çeltek Formasyonunun Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) Sahalarındaki Organik Jeokimyasal İncelemeleri ve Hidrokarbon Üretme Potansiyelleri

Organic Geochemical Investigations and Hydrocarbon Production Potentials of the Eocene Aged Çeltek Formation in the Çeltek (Amasya) and Sorgun (Yozgat) Fields

EBRU ERDOĞAN ^{1*}, ALİ SARI ², ABDURRAHMAN MURAT ³

¹ Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye

² Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

³ Netto Maden, Ankara, Türkiye

Geliş (*received*): 24 Kasım (November) 2023 Kabul (*accepted*): 11 Mayıs (May) 2024

ÖZ

Bu çalışmada, Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) saharındaki Eosen yaşlı bitümlü şeyllerin organik jeokimyasal özellikleri yardımıyla, bölgenin çökelim ortam koşullarının ve hidrokarbon potansiyellerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla da örneklerde; Rock-Eval piroliz, Gaz Kromatografisi (GC), Modified Fischer Assay (MFA) analizleri ve organik fasiyes değerlendirilmesi yapılmıştır. Bitümlü şeyllerin TOC değerleri mükemmel kaynak kaya özelliğine sahip olup bu değerler, Çeltek (Amasya) sahasında ortalama %9,71 ve Sorgun (Yozgat) sahasında ise ortalama %6,19'dur. HI, HI-OI, HI-T_{max}, S₂-TOC, S₂/S₃ parametreleri ve organik petrografik verilere göre kerojen tipleri; Çeltek (Amasya) sahasında Tip-I ve Tip-II, Sorgun (Yozgat) sahasında ise Tip-II'dir. Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) saharına ait örneklerin T_{max} ortalamaları sırasıyla 439,6°C ve 435,04°C'dir. Olgunlaşma ve Bitüm İndeksi değerlerine göre Çeltek (Amasya) sahasında örnekler atım başlangıcında iken Sorgun (Yozgat) sahasında ise hidrokarbon atımının olmadığı tespit edilmiştir. MFA analizine göre Çeltek (Amasya) sahasına ait örneklerin petrol verimleri (% ortalama) %5,13 olup orta derecede ekonomik bir potansiyelde iken Sorgun (Yozgat) sahası örneklerinin ortalama % 2,20 petrol verimi ile ekonomik değere sahip petrol potansiyellerinin olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitümlü şeyl, hidrokarbon potansiyeli, kerojen, MFA (modified fischer assay), organik fasiyes, organik madde

ABSTRACT

In this study, with the help of organic geochemical properties of Eocene aged bituminous shales in Çeltek (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields; It is aimed to evaluate the depositional conditions and hydrocarbon potentials of the region. For this purpose, in the examples; Rock-Eval pyrolysis, Gas Chromatography (GC), Modified Fischer Assay (MFA) analysis and organic facies evaluations were performed. The TOC values of bituminous shales have excellent source rock properties and these values are on average 9.71% in the Çeltek (Amasya) field and 6.19% on average in the Sorgun (Yozgat) field. Kerogen types according to HI, HI-OI, HI-Tmax, S₂-TOC, S₂/S₃ parameters and organic petrographic data; It is Type-I and Type-II in the Çeltek (Amasya) field, and Type-II in the Sorgun (Yozgat) field. The T_{max} averages of samples from Çeltek (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields are 439.6°C and 435.04°C, respectively. According to the maturation and Bitumen Index values, it was determined that the samples in the Çeltek (Amasya) field were at the beginning of expulsion, while there was no HC expulsion in the Sorgun (Yozgat) field. According to MFA analysis: The (average %) oil yield of the samples from the Çeltek (Amasya) field is 5.13% and has a medium economic potential; in the Sorgun (Yozgat) field, it was determined that the samples did not have an economic oil potential with an oil yield of 2.20%.

Keywords: Bituminous shale, hydrocarbon potential, kerogen, MFA (modified fischer assay), organic facies, organic matter

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1395438>

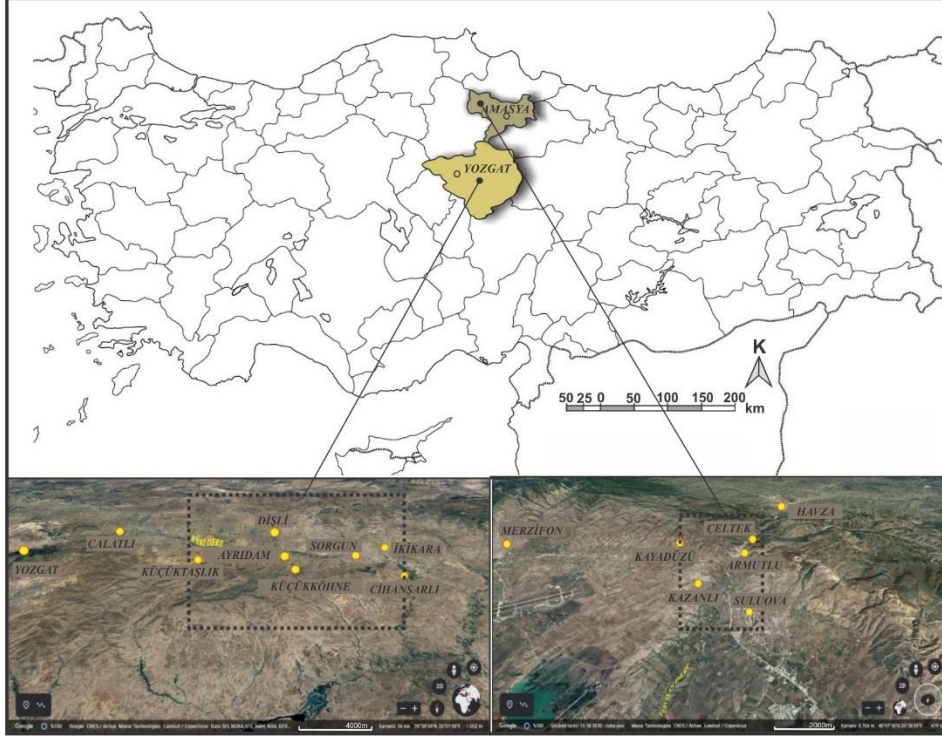
*Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: erdoganee@outlook.com

GİRİŞ

Bu çalışmada her iki sahada yüzlek veren koyu gri, koyu kahverengi organik maddece zengin bitümlü şeyller incelenmiş olup organik madde (OM) miktarları, kerojen tipleri, OM olgunlaşmaları ile OM çökelim ortamları tespit edilerek hidrokarbon potansiyelleri ortaya konulmuştur. İnceleme alanları; Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahalarında yer almaktadır. Çeltek sahası, Samsun ve Amasya illeri arasında yer alırken diğer bir inceleme alanı olan Sorgun (Yozgat) sahası ise Yozgat ili, Sorgun ilçesi sınırları içerisinde yer alır (Şekil 1). Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaları günümüze kadar genel (Öztürk 1968, 1979; Gümüşsu 1980, 1984; Özcan 1980; Yılmaz 1981; Özdemir ve Bekmezci, 1983; Erler 1991; Şener vd. 1992; Atalay 2001; Koç 2002; Akçay ve Beyazpirinç, 2017) ekonomik ve kömür jeolojisi (Blumenthal, 1937; Hezarfen, 1974; Cicioğlu 1995) kapsamında çalışmalara konu olmuştur. Ekonomik krizler, afetler,

savaşlar, alınan siyasi kararlar, rafineri kapasitesi gibi problemler sebebiyle yükselen petrol fiyatları ve dünyada sürekli artan enerji talebi nedeniyle petrole alternatif enerji kaynaklarının aranması yoluna gidilmektedir. Ülkemizde 2022 yıl sonu itibarıyla ham petrol rezervi 507 milyon varil, doğalgaz rezervi ise 543 milyar m³tür (MAPEG, 2024). Genel enerji dağılımına göre Türkiye’de, kullanım oranı en yüksek enerji kaynakları sırasıyla petrol (%28,81), kömür (%27,24) ve doğalgaz (%26,86)’dır. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda fosil yakıtların kullanım oranının %83 (82,91) ile yüksek bir düzeyde olduğu tespit edilmiştir (Arı ve Yılmaz, 2023).

Petrol fiyatlarındaki aşırı dalgalanmaların ve enerji faturalarındaki artışın önlenmesi, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması dolayısıyla sürdürülebilir enerji arzı için yerli kaynakların artırılması, özellikle de geleneksel olarak üretilen petrole alternatif olabilecek



Şekil 1. İncelenen alanların yer bulduru haritası

Figure 1. Location map of study areas

geleneksel olmayan doğal kaynakların başında gelen bitümlü şeylerden üretilebilecek sentetik petrol ihtiyacı önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahalarında mostralar veren Alt Eosen yaşlı Çeltek Formasyonuna ait bitümlü şeylerin organik jeokimyasal özelliklerini inceleyerek, çökelim ortamlarının ve organik madde (OM) miktarının belirlenmesi, kerojen tipinin tayin edilmesi, organik maddenin olgunluğunun ve en önemlisi de bitümlü şeylerin petrol verimlerinin ekonomik miktarlarda olup olmadıklarının değerlendirilmesidir.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, Çeltek formasyonuna ait bitümlü şey örnekleri üzerinde çeşitli organik jeokimyasal ve organik petrografik analizler

gerçekleştirilmiştir. Örneklerin analizleri, TPAO Ar-Ge Merkezi Müdürlüğü laboratuvarında yapılmıştır. Çeltek (Amasya) sahasına ait ölçülü stratigrafik kesitten (ÖSK) 20 adet, yüzey örneğinden 2 adet; Sorgun (Yozgat) sahasına ait ÖSK'den 22 adet, yüzey örneğinden 2 adet örnek üzerinde piroliz analizleri yapılmıştır. Piroliz ölçümlerinde, Rock Eval-VI cihazı ile IFP 160000 standardı kullanılmıştır. Bu analiz sonucunda TOC (Toplam Organik Karbon), S₁, S₂, S₃, T_{max}, RC (Rezidüel karbon), PC (Piroliz edilebilir karbon) değerleri elde edilmiş ve bu değerlere göre HI (Hidrojen İndeksi), OI (Oksijen İndeksi), PI (Üretim İndeksi), Hidrokarbon Tip İndeksi (S₂/S₃), Potansiyel Ürün (PY) ve Bitüm İndeksi (S₁/TOC) değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 1'de verilen TOC, HI ile OI değerleri ve Çizelge 2'de verilen organik petrografi (kerojen tip tayi-

ni) analizlerine göre Çelttek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaslarından seçilen 10 adet örnek, organik fasiyes analizinde kullanılmıştır. Bitümden (S₁) ve kerojenden kazanılacak sentetik petrol içeriğini (% ağırlık/ağırlık) tespit etmek amacıyla American Society for Testing

and Materials (ASTM D) 3904 standardına uygun olarak Modified Fischer Assay (MFA) analizi uygulanmıştır. Örneklerin petrol verimlerini değerlendirebilmek adına, petrol içeriği (%) - TOC, petrol içeriği (%) - S₁+S₂ arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. İncelenen örneklerin Rock-Eval Piroliz analizi sonuçları

Table 1. Rock-Eval Pyrolysis analysis results of the examined samples

Örnek Numarası	TOC (wt %)	S ₁ (mg HC/g kaya)	S ₂ (mg HC/g kaya)	S ₃ (mg CO ₂ /g kaya)	HC Tip İndeksi (S ₂ /S ₃)	PY (S ₁ +S ₂)	PI S ₂ /(S ₁ +S ₂)	Tmax (°C)	HI (S ₂ /TOC)×100	OI (S ₂ /TOC)×100	Bitümen İndeksi, S ₁ /TOC	RC (%)	PC (%)
EÇ-1	8,91	1,04	34,85	1,41	24,72	35,890	0,03	439	391	16	0,12	5,79	3,12
EÇ-2	7,55	1,34	19,15	1,37	13,98	20,490	0,07	434	254	18	0,18	5,56	1,99
EÇ-3	9,15	1,71	39,13	1,19	32,88	40,840	0,04	439	428	13	0,19	5,57	3,58
EÇ-4	9,26	1,73	43,86	1,25	35,08	45,590	0,04	436	474	13	0,19	5,25	4,01
EÇ-5	10,32	1,59	51,93	1,21	42,92	53,520	0,03	442	503	12	0,15	5,73	4,59
EÇ-6	9,62	1,52	48,79	1,66	29,39	50,310	0,03	439	507	17	0,16	5,22	4,40
EÇ-7	13,67	2,40	78,34	1,28	61,20	80,740	0,03	439	573	9	0,18	6,78	6,89
EÇ-8	10,81	2,48	57,26	1,17	48,94	59,740	0,04	440	530	11	0,23	5,65	5,16
EÇ-9	9,36	1,58	59,93	1,09	54,98	61,510	0,03	444	640	12	0,17	4,13	5,23
EÇ-10	9,81	1,89	59,28	1,10	53,89	61,170	0,03	444	604	11	0,19	4,61	5,20
EÇ-11	8,62	1,58	56,21	0,90	62,46	57,790	0,03	442	652	10	0,18	3,69	4,93
EÇ-12	7,44	1,33	40,16	1,80	22,31	41,490	0,03	438	540	24	0,18	3,86	3,58
EÇ-13	8,37	1,83	53,38	0,81	65,90	55,210	0,03	440	638	10	0,22	3,68	4,69
EÇ-14	8,86	1,83	56,74	1,15	49,34	58,570	0,03	440	640	13	0,21	3,87	4,99
EÇ-15	8,08	1,54	55,04	0,95	57,94	56,580	0,03	443	681	12	0,19	3,27	4,81
EÇ-16	11,85	2,17	89,60	0,81	110,62	91,770	0,02	445	756	7	0,18	4,10	7,75
EÇ-17	8,08	1,90	46,27	1,06	43,65	48,170	0,04	431	573	13	0,24	3,96	4,12
EÇ-18	11,14	1,65	76,19	1,10	69,26	77,840	0,02	442	684	10	0,15	4,53	6,61
EÇ-19	16,17	2,53	121,50	1,02	119,12	124,030	0,02	446	751	6	0,16	5,71	10,44
EÇ-20	7,07	1,23	9,67	1,24	7,80	10,900	0,11	429	137	18	0,17	6,02	1,05
Ortalama	9,71	1,74	54,86	1,18	50,32	56,608	0,04	439,6	547,8	12,75	0,182	4,85	4,86
SR-1	7,29	0,26	32,07	0,46	69,72	32,330	0,01	440	440	6	0,04	4,5	2,79
SR-2	6,56	0,25	30,15	0,50	60,3	30,400	0,01	440	460	8	0,04	3,95	2,61
SR-3	2,34	0,14	8,59	0,24	35,79	8,730	0,02	437	367	10	0,06	1,58	0,76
SR-5	4,89	0,25	15,54	0,44	35,32	15,790	0,02	433	318	9	0,05	3,51	1,38
SR-6	2,46	0,11	4,91	0,27	18,18	5,020	0,02	433	200	11	0,04	2,00	0,46
SR-7	7,78	0,33	22,88	0,50	45,76	23,210	0,01	435	294	6	0,04	5,74	2,04
SR-9	9,66	0,30	19,08	0,78	24,46	19,380	0,02	432	198	8	0,03	7,92	1,74
SR-10	2,79	0,19	7,40	0,32	23,12	7,590	0,03	431	265	11	0,07	2,11	0,68
SR-11	4,33	0,25	14,90	0,56	26,61	15,150	0,02	432	344	13	0,06	3,01	1,32
SR-13	6,22	0,30	15,53	0,67	23,18	15,830	0,02	431	250	11	0,05	4,81	1,41
SR-14	10,05	0,54	37,71	0,91	41,44	38,250	0,01	434	375	9	0,05	6,75	3,3
SR-15	9,54	0,84	32,21	0,90	35,79	33,050	0,03	432	338	9	0,09	6,67	2,87
SR-16	10,60	0,36	17,38	1,13	15,38	17,740	0,02	428	164	11	0,03	8,95	1,65
SR-17	3,83	0,26	15,01	0,78	19,24	15,270	0,02	434	392	20	0,07	2,49	1,34
SR-18	3,50	0,24	17,86	0,47	38	18,100	0,01	439	510	13	0,07	1,95	1,55
SR-19	4,38	0,21	17,54	0,48	36,54	17,750	0,01	437	400	11	0,05	2,83	1,55
SR-20	3,20	0,27	17,39	0,26	66,88	17,660	0,02	440	543	8	0,08	1,69	1,51
SR-21	6,54	0,88	41,71	0,41	101,73	42,590	0,02	442	638	6	0,13	2,94	3,6
SR-22	12,57	1,13	86,03	0,57	150,93	87,160	0,01	441	684	5	0,09	5,22	7,35
SR-23	5,88	0,60	40,28	0,40	100,7	40,880	0,01	443	685	7	0,10	2,42	3,46
SR-24	5,36	1,39	32,98	0,41	80,44	34,370	0,04	440	615	8	0,26	2,43	2,93
SR-25	6,48	0,43	18,42	0,59	31,22	18,850	0,02	417	284	9	0,07	4,82	1,66
Ortalama	6,19	0,43	24,45	0,55	49,12	25,232	0,02	435,04	398,36	9,5	0,07	4,01	2,18
ÇM	6,84	1,02	47,12	0,65	72,49	48,140	0,02	436	689	10	0,15	2,74	4,1
ÇP	12,34	29,37	51,52	1,11	46,41	80,890	0,36	433	418	9	2,38	5,52	6,82
Ortalama	9,59	15,20	49,32	0,88	59,45	64,515	0,19	434,5	553,5	9,5	1,265	4,13	5,46
SR-A	10,98	0,31	22,03	1,33	16,56	22,340	0,01	423	201	12	0,03	8,95	2,03
SR-B	6,49	0,37	41,9	0,46	91,09	42,270	0,01	438	646	7	0,06	2,92	3,57
Ortalama	8,74	0,34	31,97	0,90	53,83	32,305	0,01	430,5	423,5	9,5	0,045	5,94	2,8

*EÇ numaralı örnekler Çelttek (Amasya) sahasına ait olup ölçülü stratigrafik kesit (ÖSK) örnekleridir.

*SR numaralı örnekler Sorgun (Yozgat) sahasına ait olup ölçülü stratigrafik kesit (ÖSK) örnekleridir.

*ÇM, ÇP yüzey örnekleri Çelttek (Amasya) sahasından alınmıştır.

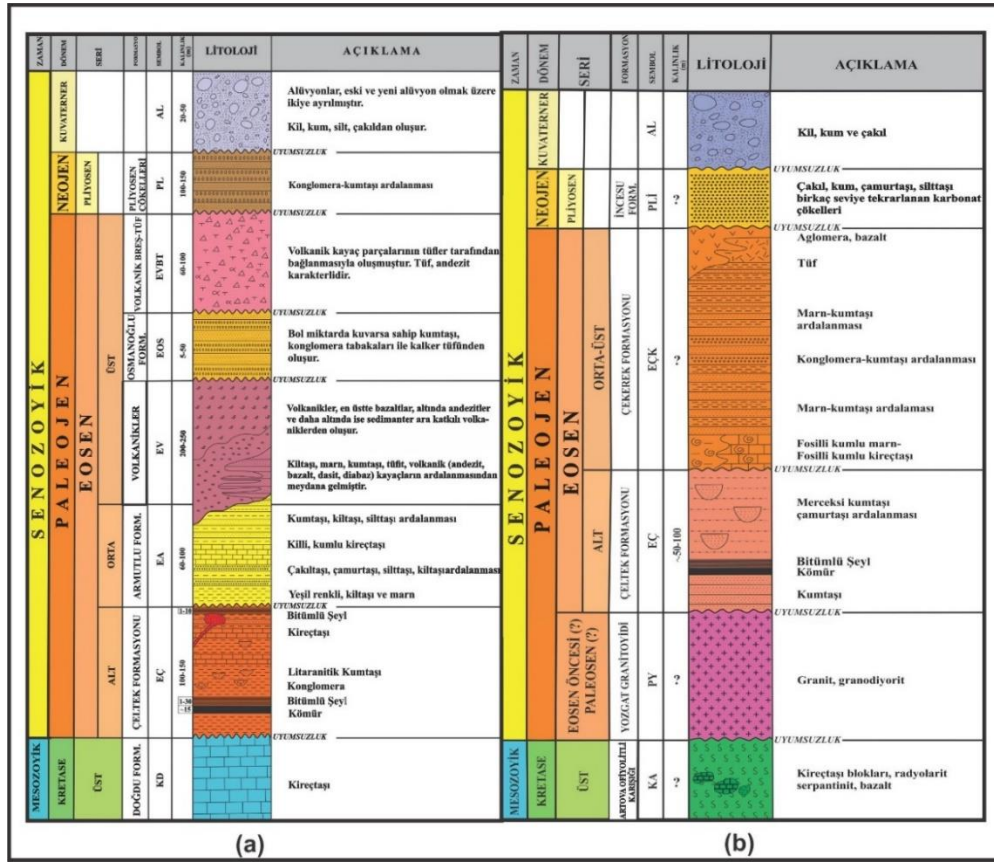
*SR-A, SR-B yüzey örnekleri Sorgun (Yozgat) sahasından alınmıştır.

İncelenen alanlara ait 4 adet yüzey örneği (Çeltek Sahası: ÇM, ÇP; Sorgun Sahası: SR-A, SR-B) üzerinde GC (Gaz Kromatografi) incelemeleri ASTM D 5307-97 standardına uygun olarak, Agilent 6850 GC cihazında yapılmıştır. Ayrıca, 4 adet yüzey örneği (ÇM, ÇP; SR-A, SR-B) üzerinde, İatroscan-MK5 cihazında Norveç Petrol Standardı kullanılarak İnce Tabaka Kromatografi analizi gerçekleştirilmiştir.

BÖLGENİN JEOLJİSİ

Çalışma sahaları, Alpin Orojenezi'nin etkisinde kalmakla beraber, Pontid Tektonik Ünitesinin yakınında yer almaktadır (Ketin, 1966). Her iki sahanın temelinin, Kretase yaşlı kaya birimleri oluşturmaktadır (Şekil 2a,b). Çeltek (Amasya) sahasında, inceleme alanının temel kayası Öztürk (1968) tarafından Doğdu Formasyonu olarak adlandırılan kireçtaşlarından oluşmakta, Sorgun (Yozgat) sahasının temeli ise Özcan vd. (1980) tarafından tanımlanan, Artova Ofiyolitli Karışığından meydana gelmektedir. Artova Ofiyolitli Karışığının üzerine uyumsuz olarak gelen Yozgat Granitoidi, Eosen öncesi (Paleosen?) yaşında olup BGB-DKD yönlü uzanan bir batolittir (Erler vd., 1991). Her iki sahada da Eosen yaşlı birimler, Alt Eosen yaşlı Çeltek Formasyonu ile başlamaktadır. Çeltek (Amasya) sahasındaki Çeltek Formasyonu kömür, bitümlü şeyl, konglomera ve kumtaşları ile temsil edilir. Gümüştü (1984) tarafından adlandırılmış olan Alt Bitümlü Şeyller, kıltaşı, siltaşı ve kumtaşları ile ardalanmalı olarak görülmekte, sahada oldukça kalın tabakalar halinde bulunmakta ve kalınlığı 1-30 m arasında değişmektedir. Gümüştü (1984) tarafından adlandırılan Üst Bitümlü Şeyl üyesi, Armutlu Formasyonu ile Çeltek Formasyonu arasında görülmekte ve bu üyenin kalınlığı 1-

10 m arasındadır. Çeltek Formasyonu, içerdikleri kömürlerin ve çökelme koşullarının benzerliğine istinaden Cicioğlu (1995) tarafından, Sorgun (Yozgat) sahasında da aynı adla Çeltek Formasyonu olarak kullanılmıştır. Formasyon tabanda kumtaşı, üzerine kömür, devamında 2-3 m olan kahverengi, 5-10 cm'lik kumtaşı tabakalarının olduğu bitümlü şeyller ve merceksi kumtaşı ile çamurtaşının yer aldığı birimlerden oluşur (Cicioğlu, 1995). Çeltek (Amasya) sahasında, Alt Eosen üzerine uyumsuz olarak Orta Eosen yaşlı Armutlu Formasyonu, onun da üzerine uyumlu olarak volkanikler gelir. Üst Eosen yaşlı Osmanoğlu Formasyonu ise volkanikleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. Osmanoğlu Formasyonu ile devam eden seri, üzerine uyumsuz olarak gelen Üst Eosen'in en genç birimi olan Volkanik Breş ile sonlanır (Gümüştü, 1984). Sorgun (Yozgat) sahasında ise Orta-Üst Eosen yaşlı birimler, Özcan vd. (1980) tarafından tanımlanan Çekerek Formasyonu adı altında fosilli marn, fosilli kumlu kireçtaşı, kumtaşı, konglomera, tuf, aglomera ve bazaltlar ile temsil edilir (Cicioğlu, 1995). Çeltek (Amasya) sahasında Eosen yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak Pliyosen çökelleri gelir. Sorgun (Yozgat) sahasında ise Pliyosen birimleri Yılmaz (1981) tarafından adlandırılan İncesu Formasyonu ile temsil edilir. Her iki sahada da en genç birimler kil, kum ve çakıllardan meydana gelmiş Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşur. İncelenen sahalarda Çeltek Formasyonu'ndaki bitümlü kayaç seviyesinden, ölçülü stratigrafik kesit alınmıştır. Çeltek (Amasya) sahasındaki bitümlü kayaç seviyeleri 11,25 metrelik istiften oluşmakta olup bu bölümden 20 adet örnek, Sorgun (Yozgat) sahasından ise 40,05 metrelik istiften 22 adet örnek alınmıştır (Şekil 3 a, b).



Şekil 2. (a) Çeltek (Amasya), (b)Sorgun (Yozgat) sahalarına ait litostratigrafik birimler (Gümüşsu, 1980, 1984; Özdemir ve Bekmezci, 1983; Cicioğlu 1995; Atalay, 2001; Koç, 2002; Akçay ve Beyazpırınç 2017; Erdoğan, 2023; ölçeşsizdir)

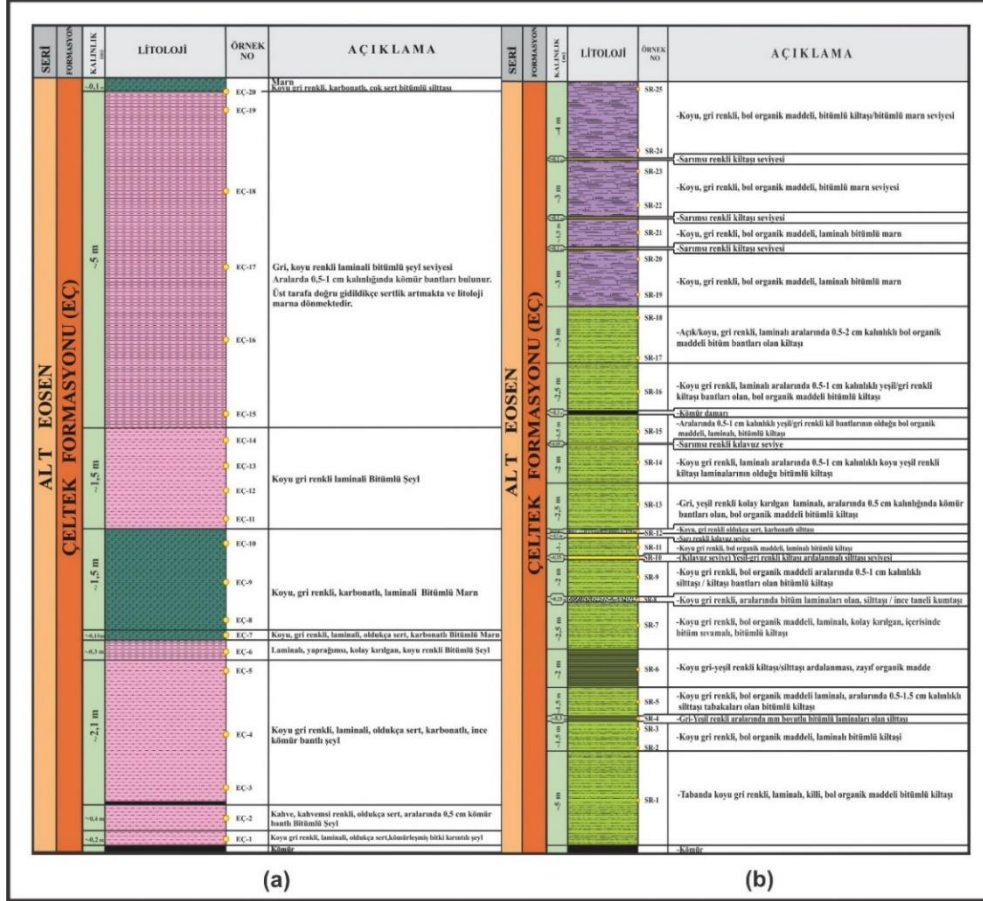
Figure 2. Lithostratigraphic units of (a) Çeltek (Amasya), (b)Sorgun (Yozgat) fields (Gümüşsu, 1980, 1984; Özdemir ve Bekmezci, 1983; Cicioğlu 1995; Atalay, 2001; Koç, 2002; Akçay ve Beyazpırınç 2017; Erdoğan, 2023; not to scale)

ORGANİK JEOKİMYASAL İNCELEMELER

Organik Madde Miktarı ve Kaynak Kaya Potansiyeli

Çeltek (Amasya) sahasında incelenen 20 adet bitümlü şeyl örneğinin TOC değeri ağırlıkça %7,07-16,17 arasında (ortalama %9,71) değişmekte, Sorgun (Yozgat) sahasında incelenen 22 adet bitümlü şeyl örneğinin TOC değerleri ise ağırlıkça %2,34-12,57 arasında (ortalama %6,19) değişmekte olup, bu değerler ile incelenen örneklerin Tissot ve Welte

(1984)'e göre zengin (ağırlıkça %2-10), Jarvie (1991)'e göre yeterli (ağırlıkça % > 1), Peters ve Cassa (1994)'e göre ise mükemmel (ağırlıkça % > 4) kaynak kaya potansiyeline işaret etmektedir. S₁ hidrokarbonları, 300°C'ye kadar olan düşük sıcaklıklarda ve aynı zamanda bakteri faaliyetleri sonucu, genç ya da olgun olmayan sığ derinliklerde oluşan kaynak kaya içerisindeki serbest bitümdür. Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahalarındaki ÖSK'lerden alınmış bitümlü şeyl örneklerinin S₁ hidrokarbon değerleri 1,04-2,53



Şekil 3. (a) Çeltek (Amasya), (b) Sorgun (Yozgat) sahalarına ait ölçülü stratigrafik kesitler

Figure 3. Measured stratigraphic sections of (a) Çeltek (Amasya), (b) Sorgun (Yozgat) fields

mg HC/g kaya ve 0,11-1,39 mg HC/g kaya (ort:0,43 mg HC/g kaya)'dır. Peters ve Cassa (1994)'e göre Çeltek (Amasya) sahası S_1 değerleri büyük oranda iyi ($1 < S_1 < 2$) petrol potansiyelinde; Sorgun (Yozgat) sahasının S_1 hidrokarbon değerleri ise zayıf ($0 < S_1 < 0,5$) petrol potansiyeline sahiptir. S_2 hidrokarbonları (mg HC/g kaya), numunenin termal pirolizi sırasında oluşan hidrokarbonların hacmidir (Peters, 1986). Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahalarından alınan örneklerin S_2

değerleri 9,67-121,5 mg HC/g kaya (ort: 54,86 mg HC/g kaya) ve 4,91-86,03 mg HC/g kaya (ort: 24,45 mg HC/g kaya) olup Peters ve Cassa (1994)'e göre büyük oranda mükemmel ($20 < S_2$) petrol potansiyeline işaret etmektedir. Aynı zamanda Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahalarındaki tüm örneklerin S_2 değerinin S_1 'den büyük olması, bitümlü şeyllerde herhangi bir organik kirlenmenin olmadığını gösterir (Çizelge 1).

Organik Maddenin Tipi

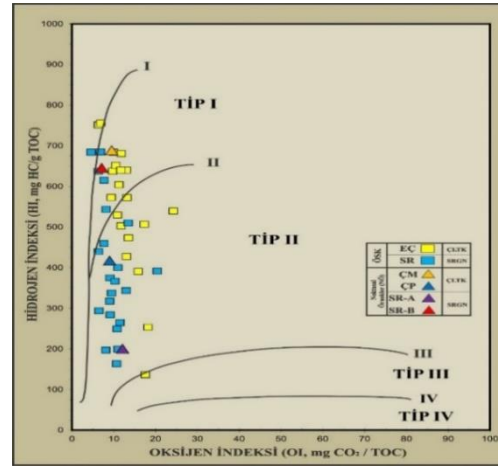
Çeltik (Amasya) sahasında bitümlü şeyl örneklerinin HI değerleri 137-756 mg HC/g TOC (ort: 547,8 mg HC/g TOC) (Çizelge 1) arasında değişmekte olup kerojen tipi Peters ve Cassa (1994)'e göre Tip-I (HI>600) ve Tip-II (300<HI<600); Sorgun (Yozgat) sahasında ise 164-685 mg HC/g TOC (ort: 398,36 mg HC/g TOC) (Çizelge 1) arasında değişmekte olup kerojen tipi Peters ve Cassa (1994)'e göre Tip-II (300<HI<600)'dir. HI-OI ve HI-T_{max} diyagramlarına göre (Şekil 4 ve 5), Çeltik (Amasya) sahasından alınmış örneklerin kerojen tipleri Tip-I ve Tip-II, Sorgun (Yozgat) sahasının kerojen tipi ise Tip-II'dir.

Çeltik Formasyonundan alınan organik maddece zengin örneklerin organik madde türünü belirlemek için Çeltik (Amasya) sahasından 5, Sorgun (Yozgat) sahasından da 5 adet olmak üzere toplamda 10 adet örnekte organik petrografik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizlere göre her iki sahaya ait 8 adet örneğin kerojen tipinin %100 algal+amorf, 2 adet örneğin ise % 95 algal+amorf olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çeltik sahasına ait örneklerin Hidrokarbon Tip İndeksi (S₂/S₃) değerleri 7,80-119,12 (ort: 50,32)'dir. Sorgun (Yozgat) sahasında ise 15,38-150,93 (ort: 49,12)'dür. Her iki sahada da incelenen örneklerin Hidrokarbon Tip İndeksi değerleri S₂/S₃>15 olup Peters ve Cassa (1994)'e göre kerojen tipleri Tip-I olarak belirlenmiştir.

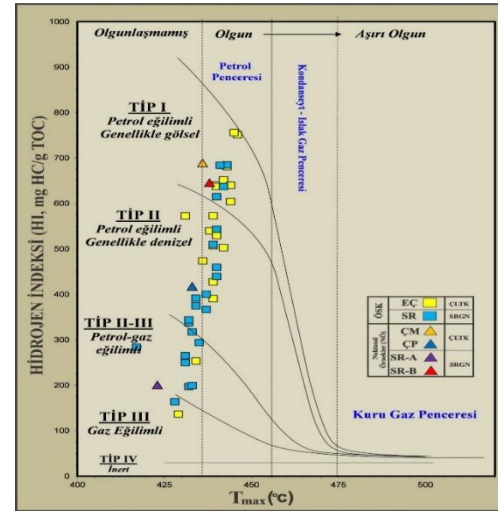
Organik Maddenin Isısal Olgunluğu

Organik maddelerin ısısal olgunluğu T_{max}, PI ve Spor Renk İndeksi'ne göre belirlenmiştir. Çeltik (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaslarına ait ÖSK'den alınmış rastgele seçilen 10 adet örnek üzerinde yapılan Spor



Şekil 4. Çeltik (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaslarına ait HI-OI diyagramı (Van Krevelen, 1993)

Figure 4. HI-OI diagram of Çeltik (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields (Van Krevelen, 1993)



Şekil 5. Çeltik (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaslarına ait HI-T_{max} diyagramı (Hunt 1995, Mukhopadhyay vd., 1995)

Figure 5. HI-T_{max} diagram of Çeltik (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields (Hunt 1995, Mukhopadhyay et al., 1995)

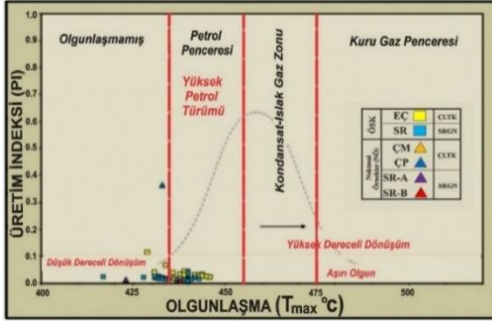
Çizelge 2. Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahalarına ait bitümlü şeyl örneklerinin organik petrografik sonuçları

Table 2. Organic petrographic results of bituminous shale samples belonging to Çeltek (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields

		ANALİZ SONUÇLARI			
	Örnek Adı	% Amorf + Alg	% Otsu	% Odunsu	% Kömürsü
ÇELTEK (AMASYA) ÖSK	EÇ-3	100			
	EÇ-6	100			
	EÇ-11	95	5		
	EÇ-15	100			
	EÇ-19	100			
	SR-9	100			
	SR-13	100			
SORGUN (YOZGAT) ÖSK	SR-16	100			
	SR-20	100			
	SR-25	95	5		

Renk İndeksi incelemeleri, bu örneklerin olgunlaşmamış bir seviyede (2,5-3) olduklarını göstermektedir (Ediger ve Soylu, 1993). İncelenen bitümlü şeyl örneklerinin T_{max} (°C) değerleri Çeltek (Amasya) sahasında 429-446°C (ort:439,6°C); Sorgun (Yozgat) sahasında ise 417-443°C (ort:435,04°C)'dir. İncelenen örneklerin olgunlaşma parametreleri Éspitalié vd. (1985)'in T_{max} (°C) modeline göre petrol penceresinde ($430 < T_{max} < 460$), Peters ve Cassa (1994)'ün T_{max} modeline göre erken olgun ($435 < T_{max} < 445$) aşamada yer almaktadır. Çeltek (Amasya) sahasında 17 adet örneğin T_{max} (°C) değerinin 435 °C'den büyük olması nedeniyle olgun zon-petrol türetme penceresinde olduğu, 3 adet örneğin (EÇ-2, EÇ-17, EÇ-20) ise 435 °C'den küçük olması sebebiyle olgunlaşmamış zona düştüğü, yani hidrokarbon türetmeyeceği anlaşılmaktadır (Şekil 5). Sorgun (Yozgat) sahasında 10 adet örneğin T_{max} (°C) değerinin 435 °C'den büyük olması nedeniyle olgun zon-

petrol türetme penceresinde olduğu, 12 adet örneğin ise T_{max} (°C) değerinin 435 °C'den küçük olması sebebiyle olgun olmayan bir pencerede yer aldığı ve hidrokarbon türetmeyeceği belirlenmiştir. (Hunt, 1995; Mukhopadhyay vd., 1995). Éspitalié vd. (1985)'in T_{max} (°C) modeline göre Çeltek (Amasya) sahasına ait yüzey örneklerinden ÇM petrol penceresi (T_{max} : 436°C) içerisinde iken ÇP'nin ise olgunlaşmamış (T_{max} : 433°C) olduğu görülmekte, Sorgun (Yozgat) sahasına ait yüzey örneklerinden SR-A'nın olgunlaşmamış (T_{max} : 423°C), SR-B'nin ise petrol penceresinde (T_{max} : 438°C) olduğu görülmektedir (Şekil 5). İncelenen örnekler Şekil 6'da görüleceği üzere genellikle petrol penceresi aralığında bulunmasına rağmen PI değerlerinin 0,1'den daha düşük olması sebebiyle, düşük dereceli dönüşüm aralığına düştüğü, buna bağlı olarak hidrokarbon türünün olmadığı görülmektedir.

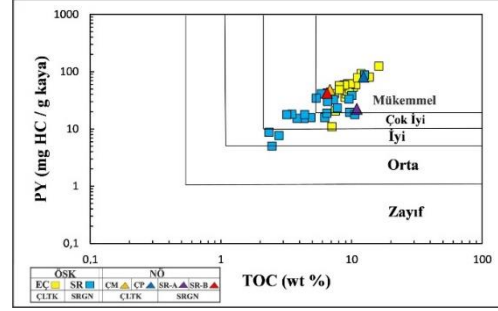


Şekil 6. Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaslarına ait PI- T_{max} olgunlaşma ile kerojen dönüşüm diyagramı (Peters, 1986)

Figure 6. Kerogen transformation diagram with PI- T_{max} maturation of Çeltek (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields (Peters, 1986)

Organik Maddenin Hidrokarbon Üretme Potansiyelleri

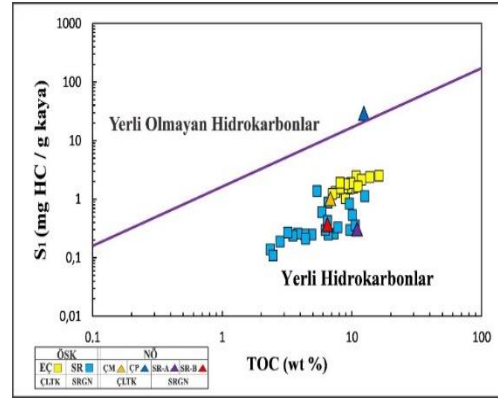
Kaynak kayanın ürettiği petrolü dışarı atmaya başladığı derinliğin hesap edilmesinde Bitüm İndeksi (S_1/TOC) kullanılır (Hunt, 1995). Çeltek (Amasya) sahasına ait S_1/TOC değerlendirmesinde incelenen 16 örnek türüm başlangıcında ($0,1 < S_1/TOC < 0,2$), 4 örnekte ise türümün yüksek ($0,2 < S_1/TOC$) olduğu tespit edilmiştir. Sorgun (Yozgat) sahasında ise 19 örnekte henüz türümün olmadığı ($0 < S_1/TOC < 0,1$), 2 örneğin türüm başlangıcında ve 1 örnekte ise türümün yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). İncelenen bitümlü kayaçların Clementz (1979)'a ve Peters (1986)'ya göre Hidrokarbon Tip İndeksi (S_2/S_3) değerleri Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahasında sırasıyla ortalama 50,32 ve 49,12 olup örneklerin petrol türetme ($5,0 < S_2/S_3$) potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). Kaynak kayaların petrol türüm verimliliğini temsil eden Potansiyel Ürün (PY) değerleri Çeltek sahasında 56,608 ppm,



Şekil 7. Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaslarına ait PY-TOC diyagramı (Ghori, 2002)

Figure 7. PY-TOC diagram of Çeltek (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields (Ghori, 2002)

Sorgun (Yozgat) sahasında ise 25,232 ppm olup, bu değerler Ghori (2002)'ye göre bitümlü şeyllerin çok iyi-mükemmel kaynak kaya potansiyelinde olduklarına işaret eder (Şekil 7). Göç etmiş hidrokarbonları yerinde oluşan hidrokarbonlardan ayırmak amacıyla kullanılan S_1/TOC diyagramında örneklerin ürettiği hidrokarbonların yerli olduğu anlaşılmış, dışardan herhangi bir organik kirlenmenin olmadığı tespit edilmiştir (Şekil 8).

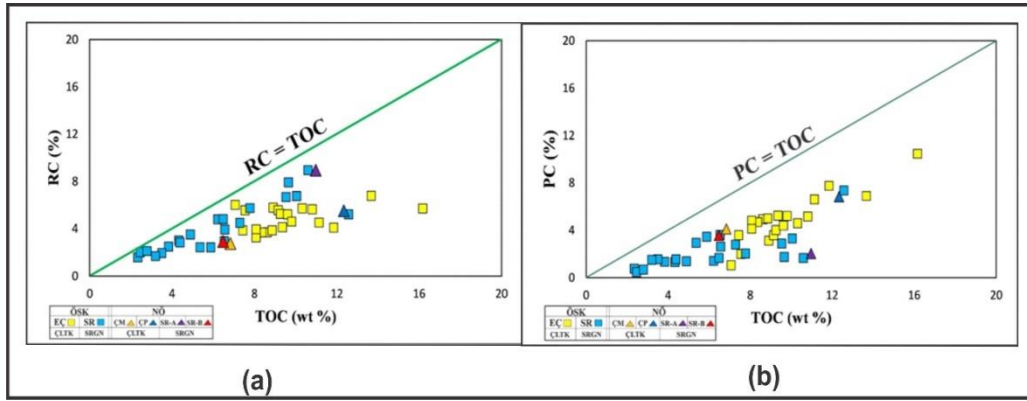


Şekil 8. Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaslarına ait S_1 -TOC diyagramı (Hunt, 1995)

Figure 8. S_1 -TOC diagram of Çeltek (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields (Hunt, 1995)

Kaynak kayaların pirolizi esnasında kayaçtaki TOC'nin bir kısmı piroliz edilebilirken (%PC) bir kısmı da piroliz edilemeden (%RC) kalır (Peters, 1986). Örnekler TOC=PC çizgisinde ya da yakın ise bu piroliz edilebilecek hidrokarbonun, TOC'nin önemli bölümünü oluşturduğunu gösterir. İncelenen örneklerin

piroliz edilebilen TOC=PC çizgisinden uzakta olması, kayaç içerisindeki hidrokarbonun bir kısmının piroliz edilebildiğini (%PC) fakat önemli bir kısmının ise piroliz edilemediğini ve kalıntı karbon (%RC) olarak kaldığını göstermektedir (Şekil 9 a,b).



Şekil 9. (a) Çeltik (Amasya), (b) Sorgun (Yozgat) sahalarına ait RC(%)-TOC(%) ve PC(%)-TOC(%) diyagramı (English vd., 2004)

Figure 9. RC(%)-TOC(%) and PC(%)-TOC(%) diagram of (a) Çeltik (Amasya), (b) Sorgun (Yozgat) fields (English et al., 2004)

Modified Fischer Assay (MFA) İncelemeleri

Çalışma alanlarına ait bitümlü şeyl örneklerinin petrol, su ve gaz içeriklerinin retortlama yöntemi ile tespit edilmesi amacıyla Modified Fischer Assay (MFA) analizleri uygulanmıştır. MFA analizleri ile organik maddeye (TOC, %) ait bitüm (S_1) ve kerojenin (S_2) türeteceği petrol ve gaz hidrokarbonlarının miktarı (MFA verimi), petrol içeriği %, varil/ton, litre/ton cinsinden tespit edilmektedir. İncelenen bitümlü şeyllere ait verilen petrol %'leri (Çizelge 3) Tao vd. (2010)'a göre (Çizelge 4) değerlendirilmiş ve

%TOC ve petrol içeriği (ağırlık/ağırlık) ; S_1+S_2 ve petrol içeriği (ağırlık/ağırlık) arasında ilişki kurularak değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Petrol içeriği % ve TOC % arasındaki ilişki

Tao vd. (2010)'a göre (Çizelge 4) yapılan değerlendirmede örnekler endüstriyel seviyelerine göre değerlendirilmiş ve sırasıyla Çeltik (Amasya) sahası orta kalitede bitümlü şeyl potansiyeline sahipken, Sorgun (Yozgat) sahasında 6 örneğin hidrokarbon veriminin olmadığı, 6 örneğin ise orta kalitede potansiyel sunduğu gözlenmiştir (Şekil 10 a,b).

Çizelge 3. Çelték (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahalarına ait bitümlü şeyl örneklerinin Petrol % verimi

Table 3. % Oil yield of bituminous shale samples belonging to Çelték (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields

Örnek No	Petrol içeriği (% w/w)	TOC (wt %)	S ₁ +S ₂ (ppm)
EÇ-1	3,39	8,91	35.890
EÇ-2	2,13	7,55	20.490
EÇ-3	3,71	9,15	40.840
EÇ-4	4,15	9,26	45.590
EÇ-5	4,71	10,32	53.520
EÇ-6	5,82	9,62	50.310
EÇ-7	5,76	13,67	80.740
EÇ-8	5,40	10,81	59.740
EÇ-9	6,44	9,36	61.510
EÇ-10	6,31	9,81	61.170
EÇ-11	5,57	8,62	57.790
EÇ-12	5,81	7,44	41.490
EÇ-13	6,31	8,37	55.210
EÇ-14	4,73	8,86	58.570
EÇ-15	5,57	8,08	56.580
EÇ-16	5,33	11,85	91.770
EÇ-17	7,96	8,08	48.170
EÇ-18	5,07	11,14	77.840
EÇ-19	6,46	16,17	124.030
EÇ20	7,20	7,07	10.900
SR-1	2,24	7,29	32.330
SR-2	1,97	6,56	30.400
SR-5	0,71	4,89	15.790
SR-7	1,37	7,78	23.210
SR-9	0,70	9,66	19.380
SR-13	0,98	6,22	15.830
SR-14	1,89	10,05	38.250
SR-15	1,78	9,54	33.050
SR-16	1,85	10,6	17.740
SR-19	1,36	4,38	17.750
SR-21	8,01	6,54	42.590
SR-22	4,86	12,57	87.160
SR-25	0,91	6,48	18.850

Çizelge 4. Fischer Assay verimi (petrol içeriği) ile ilgili ekonomik değerlendirmeler (Tao vd., 2010'dan değiştirilerek)

Table 4. Economic evaluations of Fischer Assay yield (oil content) (modified from Tao et al., 2010)

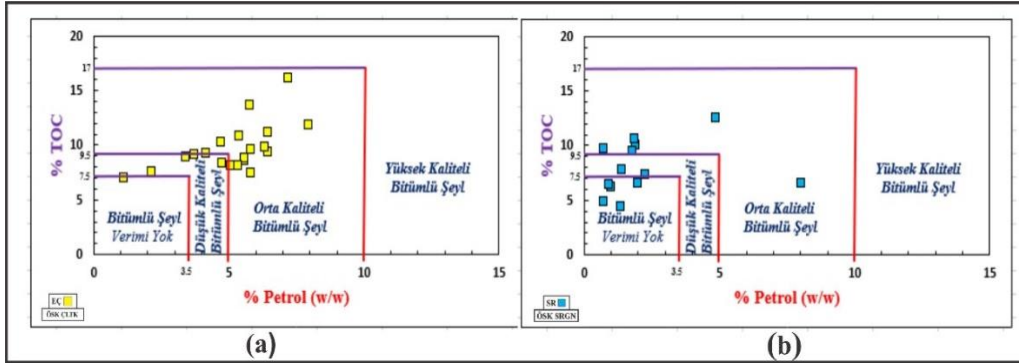
Endüstriyel Kalite	Bitümlü Şeyl Verimi yok	Düşük Kaliteli Bitümlü Şeyl	Orta Kaliteli Bitümlü Şeyl	Yüksek Kaliteli Bitümlü Şeyl
Petrol Verimi (%)	< 3.5	3.5-5	5-10	> 10
TOC %	< 7.5	7.5-9.5	9.5-17	> 17
S ₁ +S ₂	< 34	34-48	48-90	> 90

Petrol içeriği % - S₁+S₂ arasındaki ilişki

Çelték (Amasya) sahasına ait örneklerde petrol içeriği % (ağırlık/ağırlık)-S₁+S₂ arasındaki korelasyon katsayısı 0,72 olup kuvvetli bir korelasyon gözlenmektedir. Sorgun (Yozgat) sahası örnekleri ise 0,42 değeriyle orta derecede bir korelasyon sunmaktadır. Bu sonuçlara göre, Çelték (Amasya) sahasından alınan örnekler orta kalitede bir petrol türüm potansiyeli sunarken Sorgun (Yozgat) sahasına ait örneklerin ise petrol verimi yoktur (Şekil 11a,b).

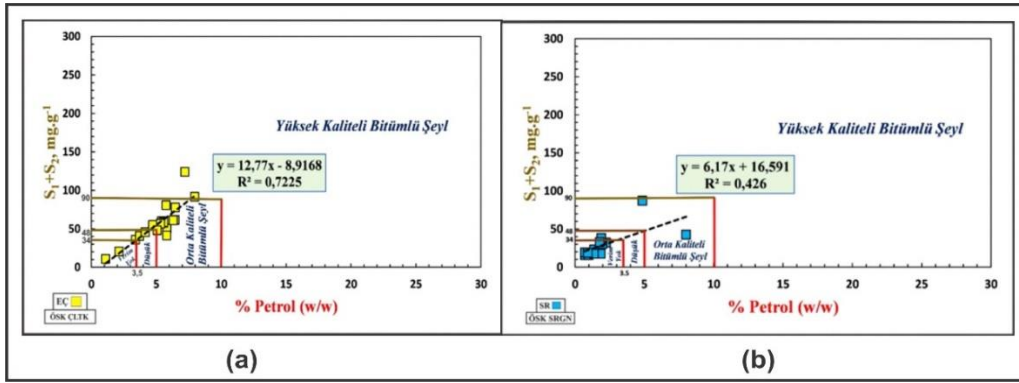
Petrol içeriği % (ağırlık/ağırlık) ve HI (mg HC/g TOC) arasındaki ilişki

Çelték (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahalarından alınmış, ÖSK'lere ait örneklerdeki % petrol içeriği (w/w); Committee Office of Mineral Resources in China (1987),



Şekil 10. (a) Çeltik (Amasya), **(b)** Sorgun (Yozgat) sahalarına ait petrol % - TOC diyagramı

Figure 10. %Oil-TOC diagram of (a) Çeltik (Amasya), (b) Sorgun (Yozgat) fields



Şekil 11. (a) Çeltik (Amasya), **(b)** Sorgun (Yozgat) sahalarının petrol içeriği % (ağırlık/ağırlık)-S₁+S₂ diyagramı

Figure 11. %Oil content (w/w)-S₁+S₂ diagram of (a) Çeltik (Amasya), (b) Sorgun (Yozgat) fields

Çizelge 5. Bazı araştırmacılara göre Fischer Assay verimi (petrol içeriği) ile ilgili ekonomik değerlendirmeler

Table 5. Economic evaluations regarding Fischer Assay yield (oil content) according to some researchers

Committee Office of Mineral Resources in China (1987), Liu vd. (2006), Liu vd. (2015)	
Fischer Assay Verimi (%)	Ekonomik Değerlendirme
< %3,5	Zayıf
%3,5 - %5,0	Orta
%5,0 - %10,0	İyi
> %10,0	Çok iyi

Liu vd. (2006), Liu vd. (2015)'e göre (Çizelge 3 ve 5) ve HI (mg HC/g TOC) değerleri Peters ve Cassa (1994)'e göre değerlendirilmiş olup Çeltek (Amasya) sahasına ait ÖSK'den alınmış 20 adet bitümlü şeyl örneğinden; 3 adedinin zayıf, 4 adet örneğin orta ve 13 adet örneğin (Tip I (HI>600) ve Tip II (300<HI<600)) ise iyi ekonomik bitümlü şeyl olduğu tespit edilmiştir. Sorgun (Yozgat) sahasına ait ÖSK'den alınmış 13 adet bitümlü şeylin; 11 adedinin zayıf (Tip II (300<HI<600) ve Tip III (50<HI<200)), 1 adet örneğin iyi ve 1 adet örneğin ise orta ekonomik bitümlü şeyl olduğu gözlenmiştir.

Gaz Kromatografi İncelemeleri

Çeltek ve Sorgun sahalardan alınan (ÇM, ÇP; SR-A, SR-B) bitümlü şeyl örneklerinden elde edilen özütlerin gaz kromatogramlarında her ne kadar humplar görülse de, genellikle baskın pikleri n-alkanlar oluşturmaktadır (Şekil 12). Didyk vd. (1978)'e göre Fristan/Fitan oranı (Pr/Ph) değerlendirmelerinde ÇM, SR-A, SR-B örneklerinin suboksik-disoksik redoks koşullarında (Pr/Ph=1) çökeldikleri, ÇP (Pr/Ph:4) örneğinin ise çökelim ortamının yükseltgen/oksijenli (Pr/Ph>1) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 6).

İzoprenoid/n-alkan oranı ile Ph/n-C₁₈ ve Pr/n-C₁₇'ye ait nispi bolluklar organik madde tipinin yorumlanması yanında farklı depolanma koşullarının açıklanmasında da kullanılmaktadır (Tissot ve Welte, 1984; Hunt, 1996). İzoprenoid/n-alkan oranında, yaygın olarak Ph/n-C₁₈ ve Pr/n-C₁₇ çift pikleri kullanılır. Yüksek pristana sahip örnekler yükseltgen oksitleyici bir kaynağa, yüksek fitana sahip örnekler ise indirgeyici ortama işaret eder. Çizelge 6'da Çeltek (Amasya) ve Sorgun

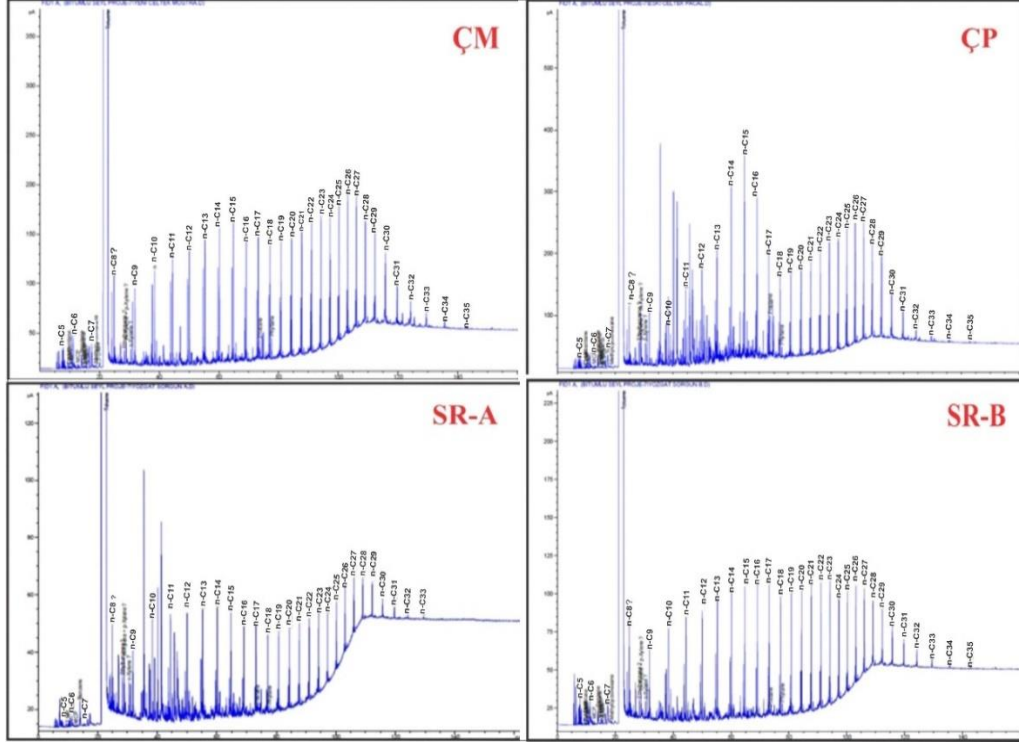
(Yozgat) sahalarda incelenen örneklere ait Ph/n-C₁₈ ve Pr/n-C₁₇'nin oranca değerleri gösterilmiştir. Çeltek (Amasya) sahasına ait bitümlü şeyl örnekleri Ph/n-C₁₈ ve Pr/n-C₁₇ diyagramında (Liu vd. 2018) değerlendirildiğinde ÇP örneğinin yükseltgen ortamda çökeldiği, karasal organik maddeye sahip olduğu ve ÇM örneğinin ise indirgen ortamda depolandığı, geçiş sınırında algal/planktonik kerojenlerden oluştuğu görülmektedir. Sorgun (Yozgat) sahasından alınmış bitümlü şeyl örnekleri Ph/n-C₁₈ ve Pr/n-C₁₇ diyagramında (Liu vd. 2018) değerlendirildiğinde ise SR-A ve SR-B yüzey örneklerinin indirgen ortamda depolandığı, karışık kerojen sınırında, nispeten olgun seviyede oldukları ayrıca örneklerin diyagram üzerinde birbirine yakın ve aynı alanda olması da bu örneklerin kökensel olarak ilişkili olduklarına işaret eder (Şekil 13).

İnce Tabaka Kromatografi İncelemeleri

Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahalardan alınmış örneklerin ince tabaka kromatografi analiz sonuçları Çizelge 7'de verilmiştir. İncelenen örneklerin doymuş hidrokarbonlarca zengin, asfalten ve resinlerce fakir olduğu gözlenmiş, örneklerin düştüğü alanın, dünyadaki birçok petrolün içinde yer aldığı ve normal petroler olarak adlandırılan çizgilerle sınırlandırılmış bir bölge içinde yer aldığı gözlenmiştir. (Şekil 14).

Organik Fasiyes İncelemeleri

Jones (1987); TOC, OI, HI verileri, O/C ile H/C atomik oranları ve egemen organik madde türüne göre 7 farklı organik fasiyes ayırtlaması yapmıştır. Çeltek (Amasya) sahasından



Şekil 12. Çelték (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaları yüzey örneklerine ait Gaz kromatogramları
Figure 12. Gas chromatographs of surface samples of Çelték (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields

Çizelge 6. Çelték (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahalarındaki bitümlü şeyl örneklerinin Pr/Ph, Ph/n-C₁₈ ve Pr/n-C₁₇ oranları

Table 6. Pr/Ph, Ph/n-C₁₈ and Pr/n-C₁₇ ratios of bituminous shale samples in Çelték (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields

Örnek No	Pr/Ph	Pr/n-C ₁₇	Ph/n-C ₁₈
ÇM (ÇLTK)	1	0,17	0,18
ÇP (ÇLTK)	4	0,40	0,13
SR-A (SRGN)	1	0,11	0,13
SR-B (SRGN)	1	0,08	0,08

alınmış örneklerle ilişkin Hidrojen İndeks (HI) değerlerinin 137-756 mg HC/g TOC (ort: 547,8 mg HC/g TOC) aralığında yer aldığı ve TOC değerlerinin de ağırlıkça %7,07-16,17 (ort: ağırlıkça %9,71) arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 1). Örneklerden, EÇ-11 dışında 4 örneğin (EÇ-3, 6, 15 ve 19) %100 algal + amorf olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2).

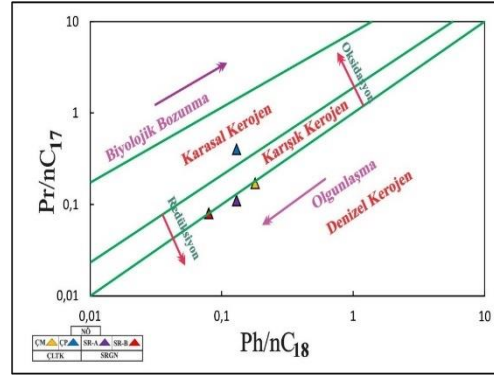
Sorgun (Yozgat) sahasındaki örneklerle ilişkin Hidrojen İndeksi değerlerinin 164-685 mg HC/g TOC (ort: 398,36 mg HC/g TOC) ve TOC değerleri de ağırlıkça %2,34-12,57 (ort: ağırlıkça %6,19) aralığında yer alır. Örneklerden SR-25 numaralı örnek hariç diğer örneklerin (SR-9, 13, 16 ve 20) %100 algal + amorf olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2). İncelenen örneklerin %TOC, Hidrojen İndeks (HI), Oksijen İndeks (OI) ve organik petrografik verileri dikkate alındığında Çeltek (Amasya)

Çizelge 7. Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaslarından alınmış yüzey örneklerinin ince tabaka kromatografi analiz sonuçları

Table 7. Thin layer chromatography analysis results of point samples taken from Çeltek (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields

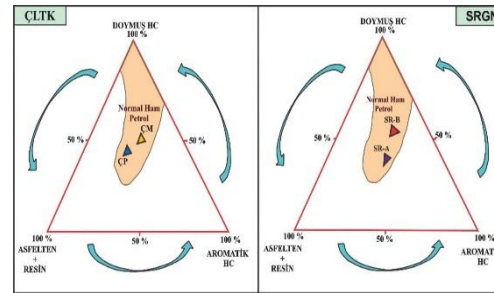
Noktasal Örnekler	Asfelten (%)	Doymuş HC (%)	Aromatik (%)	Resin (%)
ÇM	0,13	52,63	27,05	20,19
ÇP	0,53	45,33	22,29	31,85
SR-A	0,12	40,4	29,57	29,91
SR-B	0,09	54,29	27,64	17,98

sahasında AB-B organik fasiyesinin, Sorgun (Yozgat) sahasında ise B-BC fasiyesinin egemen olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13. Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaslarının yüzey örneklerine ilişkin Ph/n-C₁₈ ve Pr/n-C₁₇ diyagramı (Liu vd.2018)

Figure 13. Ph/n-C₁₈ and Pr/n-C₁₇ diagram for surface samples of Çeltek (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields (Liu et al.2018)



Şekil 14. Temel bileşen üçgen diyagramında Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahaslarından alınan yüzey örneklerinin konumları (Tissot ve Welte, 1978'den değiştirilerek)

Figure 14. Positions of surface samples taken from Çeltek (Amasya) and Sorgun (Yozgat) fields in the principal component triangle diagram (modified from Tissot and Welte, 1978)

TARTIŞMA

Bitümlü kayaçlar olarak adlandırılan bitümlü çamurtaşları; bitümlü şeyl, bitümlü kilitaşı ve bitümlü marnlardan oluşur. Ülkemizde bu kayaçların genel olarak kömür sahalarında kömürlü seviyelerin üzerinde yer aldıkları görülürken (örneğin; Beypazarı (Ankara), Seyitömer (Kütahya), Çeltek (Amasya), Sorgun (Yozgat), Ilgın (Konya), Himmetoğlu (Bolu)), bazı sahalarda ise (örneğin; Nallıhan (Ankara), Göynük (Bolu) ve Bayramören (Çankırı)) bu kayaçların altında kömür oluşumları görülmez. Ülkemizde kömür damarlarının üzerinde yer alan bu kayaçların genel olarak Miyosen yaşlı oldukları gözlenirken, kömür oluşumunun görülmediği sahalarda ise genellikle Eosen yaşlı oldukları görülmektedir. Ülkemizde gerek Miyosen gerekse de Eosen yaşlı olan bu kayaçların organik madde miktarları (%TOC) genel olarak %5-56 arasında değişmektedir. Bu sahalarda organik madde miktarı en yüksek olan saha ise Himmetoğlu (Bolu) olup, %6,83-56,34 arasındadır (Sarı ve Geze, 2008). Çalışmamıza konu olan Çeltek (Amasya) sahasında organik madde miktarı %7,07-16,17 (ortalama %9,71) arasında iken, Sorgun (Yozgat) sahasında ise %2,34-12,57 (ortalama %6,19) arasında değişmektedir.

Bu makaleye konu olan Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahası bitümlü kayaçları da dahil ülkemizdeki bitümlü kayaçlar, genel olarak tatlı su ortamlarında depolanmış bitümlü şeyl ve bitümlü marnlardan oluşmaktadır ve organik madde tipleri de büyük çoğunlukla fitoplankton alglerden oluşan Tip-I kerojendir. Ancak, Ilgın (Konya) sahası bitümlü kayaçları

ise tuzlu su ortamında depolanmış olan bitümlü kilitaşlarından oluşmakta ve organik madde tipleri de diyatome türü fitoplankton alglerden oluşan Tip-II kerojendir (Sarı vd. 2024).

Ülkemizde yüzlek veren bitümlü kayaçların genel olarak T_{max} ısısal olgunlaşmaları 415–453 °C arasında değişmekte olup, çoğunlukla da ısısal olgunlaşmaları düşük olduğu için petrol türetmezler. İncelememize konu olan Çeltek (Amasya) sahası bitümlü kayaçlarında T_{max} değerleri 429-446°C (ort:439,6 °C), Sorgun (Yozgat) sahasında ise 417-443°C (ort:435,04 °C)'dir. Ancak, Bayramören (Çankırı) sahası bitümlü marnlarının T_{max} değerleri 443-453 °C arasında olup, ısısal olgunlaşmaları oldukça yüksek olan bu kayaçlar petrol türüm evresindedirler (Büyük, 2024).

Bitümlü kayaçların Modified Fischer Assay (MFA) petrol verimleri, sahip oldukları %TOC ve kerojen tipleri (Hidrojen İndeks (HI)) ile ilişkilidir (Büyük ve Sarı, 2021). Ülkemizdeki gerek Miyosen ve gerekse de Eosen yaşlı bitümlü kayaçların genel olarak Hidrojen İndeks (HI) değerleri 130-963 (mg HC/g TOC) arasında değişmektedir. İncelememize konu olan Çeltek (Amasya) sahası bitümlü kayaçlarında HI değerleri Çeltek (Amasya) sahasında 137-756 mg HC/g TOC, Sorgun (Yozgat) sahasında ise 164-685 mg HC/g TOC arasında olup, bu değerlere göre incelenen kayaçların Modified Fischer Assay petrol verimleri de düşük veya orta-iyi ekonomik seviyededir. Ancak, Göynük (Bolu) sahası bitümlü marnlarında HI değerleri 740-963 mg HC/g TOC (Murat vd. 2016) arasında olup bu

kayaçların Modified Fischer Assay petrol verimleri iyi-mükemmel ekonomik seviyededir. Bu nedenle, Göynük (Bolu) sahası bitümlü marnlarından sentetik petrol retortlamak için Enefit (Estonya) Firması ile TKİ ve TPAO ortaklığında bir retort tesisi kurma çalışmaları halen devam etmektedir.

SONUÇLAR

Çeltek (Amasya) sahası örnekleri ortalama % ağırlıkça 9,71 TOC, Sorgun (Yozgat) sahası örnekleri ortalama % ağırlıkça 6,19 TOC ile mükemmel kaynak kaya potansiyelindedir.

Kerojen tiplerinin, Çeltek (Amasya) sahasında Tip-I ve II, Sorgun (Yozgat) sahasında ise Tip-II olduğu tespit edilmiştir.

T_{max} (°C) olgunluk değerleri Çeltek (Amasya) sahasında ortalama 439,6 °C ve Sorgun (Yozgat) sahasında ise ortalama 435,04 °C olup, örnekler baskın olarak erken olgun durumdadır. Her iki sahaya ait rastgele seçilmiş olan 10 adet örneğin SCI analiz sonuçları ise olgunlaşmamış aşamadır.

Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahasına ait bitümlü kayaçların ürettikleri hidrokarbonların yerli olduğu ve herhangi bir organik kirlenmenin olmadığı tespit edilmiştir.

Çeltek ve Sorgun sahalarına ait bitümlü şeyl örneklerinden elde edilen özütlerin gaz kromatogramlarında genellikle baskın pikleri n-alkanlar oluştururken, düşük karbon numaralı n-alkanların baskın olmasının yanında izoprenoidlerin de yaygın olduğu gözlenmektedir.

İncelenen örneklerin Pr/Ph ve Ph/n-C₁₈ ve Pr/n-C₁₇ oranlarına göre baskın olarak indirgen, suboksik/disoksik koşullarda çökeldikleri belirlenmiştir.

Çeltek (Amasya) sahasına ait 20 adet bitümlü şeyl örneğinin Modified Fischer Assay petrol içeriği ortalama %5,13 olup, bu değerler retort edilebilecek sentetik petrolün orta ekonomik ile iyi ekonomik potansiyelde olduğunu göstermektedir.

Sorgun (Yozgat) sahasına ait 13 adet bitümlü şeyl örneğinin Modified Fischer Assay petrol içeriği ortalama %2,20 olup, bu değerler retort edilebilecek sentetik petrolün ekonomik olmayacağını göstermektedir.

Çeltek ve Sorgun sahalarına ait bitümlü şeyl örneklerinin potansiyel petrol verimlerinin kerojen tiplerine ve %TOC değerlerine bağlı olduğu ve örneklerin petrol verimlerinin %TOC değerlerinin yükselmesiyle birlikte arttığı belirlenmiştir.

Çeltek ve Sorgun sahalarına ait bitümlü şeyl örneklerinde Hidrojen İndeks (HI) parametresi ile S₁+S₂ toplamının beklendiği üzere Modified Fischer Assay petrol verimiyle pozitif bir ilişkisinin olduğu tespit edilmiştir.

KATKI BELIRTME

Bu çalışmanın materyalleri Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Genel Müdürlüğü tarafından temin edilmiş olup, kurumun katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bunun yanında makaleyi değerlendirerek katkılarını esirgemeyen hakemlere de teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Arı, F. ve Yılmaz, V. 2023. Türkiye'de ve Dünyada enerji kaynaklarının genel görünümü ve alternatif enerji kaynaklarının önemi, *Düsbed*, 34, 496-519.
- Akçay, A. E. ve Beyazpınar, M. 2017. Sorgun (Yozgat)-Yıldızeli (Sivas) Önülke Havzası'nın jeolojik evrimi, havzada etkin olan volkanizmanın petrografik, jeokimyasal özellikleri ve jeokronolojisi, *MTA*, (155), 1-32.
- Atalay, Z. 2001. Amasya yöresindeki linyitli Çeltek Formasyonu'nun stratigrafisi, fasiyesi ve çökelme ortamı özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 44(2), 1-22.
- Blumenthal, M. M. 1937. Amasya vilayetine tabi Çeltek'teki linyitli arazinin jeolojik teşekkülü hakkında rapor. *MTA*, Der. No: 157.
- Büyük, F. ve Sarı, A. 2021. Bozcahüyük (Seyitömer/Kütahya) Havzasındaki bitümlü marnların organik jeokimyasal özellikleri, çökelme ortamı ve hidrokarbon potansiyeli. *MTA dergisi*. 164:55-77.
- Büyük, F. 2024. Çankırı Havzasındaki (Bayramören KF'su) Orta Eosen yaşlı Ilica Formasyonunun biyo-jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi (İç Anadolu, Türkiye). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. Org. Jeo. Analiz Sonuçları (Yayınlanmamış).
- Cicioğlu, E. 1995. Sorgun (Yozgat) kömürlerinin kimyasal ve petrografik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi.
- Clementz, D. M. 1979. Effect of oil and bitumen saturation on source-rock pyrolysis: *AAPG Bulletin*, 63(12), 2227-2232.
- Committee Office of Mineral Resources in China. 1987. Reference Manual of Mining Industry Demands. Geology Publishing House, Beijing, 312-315.
- Didyk, B. M., Simoneit, B. R., Brassel, S. C. and Englington, G. 1978. Organic geochemical indicators of paleoenvironmental conditions of sedimentation. *Nature*, 272(5650), 216-222.
- Ediger, V. Ş. ve Soylu, C. 1993. Petrol jeologları için organik jeokimya. TPAO Araştırma Merkezi Grubu Eğitim Yayınları, No. 23, 169 s.
- English, J. M., Fowler, M., Johnston, S. T., Mihalynuk, M. G. and Wight, K. L. 2004. The thermal maturity in the Central Whitehorse Trough, Northwest British Columbia, Resource Development and Geosciences Branch, British Columbia Ministry of Energy and Mines, pp.79-85.
- Erdoğan, E. 2023. Eosen Çeltek Formasyonunun Çeltek (Amasya) ve Sorgun (Yozgat) sahalarında organik jeokimyasal incelemesi ve hidrokarbon türüm potansiyeli. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi. 212s, Ankara,
- Erlar, A., Akıman, O., Unan, C., Dalkılıç, F., Dalkılıç, B., Geven, A. ve Önen, P. 1991. Kaman (Kırşehir) ve Yozgat yörelerinde Kırşehir Masifi magmatik kayaların petrolojisi ve jeokimyası. *Tübitak Doğa*,

- Mühendislik ve Çevre Bilimleri Bülteni, 15: 76-100.
- Espitalié, J., Deroo, G., Marquis, F. 1985. La pyrolyse Rock- Eval et ses applications. Partie 1. Rev. Inst. Fr. Pet. 40, 563–579pp.
- Ghori, K. 2002. Modelling the hydrocarbon generative history of the Officer Basin, Western Australia. PESA Journal, No. 29, pp. 29-42.
- Gümüşsu, M. 1980. Amasya ili Merzifon, Suluova ilçeleri kömür jeolojisi. MTA Der.No 7063, Ankara.
- Gümüşsu, M. 1984. Amasya ili Çeltek Kömür Havzası'nın jeolojisi ve kömür potansiyelinin değerlendirilmesi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hezarfen, C. 1974. Çeltek (Amasya-Suluova) kömür işletmesi civarının jeolojik raporu. MTA, Der. No:6137, Ankara.
- Hunt, J. M. 1995. Petroleum geochemistry and geology. W. H. Freeman and Company, New York, 743 p.
- Hunt, J. M. 1996. Petroleum geochemistry and geology (second edition), W. H. Freeman and Company, New York, 743p.
- Jarvie, D. M. 1991. Factors affecting rock-evalderived kinetic parameters: Chemical Geology, 93, 79-99.
- Jones, R. W. 1987. Organic facies, In: Advances in petroleum geochemistry. Brooks, J. and Welte, D. (eds), Academic Press, 2, pp. 1-91, London.
- Ketin , İ. 1966. Anadolu'nun tektonik birlikleri. MTA dergisi, 66(20).
- Koç, C. 2002. Suluova (Amasya) kuzeybatısındaki Eosen çökellerinde sedimantolojik incelemeler. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Liu, Z. J., Dong, Q. S., Ye, S. Q., Zhu, J. W., Guo, W., Li, D. C., Liu R., Zhang H. and Du, J. F. 2006. The situation of oil shale resources in China. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 36(6), 869–876.
- Liu, R., Liu, Z., Guo, W. and Chen, H. 2015. Charecteristics and compherensive utilization potential of oil shale of the Yin'e basin, Inner Mongolia, China, Vol: 32, No:4, pp 293-312.
- Liu, S., Qi, S., Luo, Z., Liu, F., Ding, Y., Huang, H., Chen Z. and Cheng, S. 2018. The origin of high hydrocarbon groundwater in shallow Triassic aquifer in Northwest Guizhou, China. Environmental Geochemistry and Health, 40(1), 415-433.
- Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) 2024. 2022 yılı ham petrol ve doğalgaz üretim ve rezerv istatistikleri. Web Sitesi: <https://www.mapeg.gov.tr/Sayfa/Petrolistatistik>, Erişim Tarihi: 28.01.2024.
- Mukhopadhyay, P. K., Wade, J. A. and Kruge, M. A. 1995. Organic facies and maturation of Jurassic/Cretaceous rocks and possible oil-source rock correlation based on pyrolysis of asphaltenes, Scotion Basin, Canada, Organic Geochemistry, 22(1), 85-104.

- Murat, A., Sarı, A., Uğur, F. A., Kabadayı, E., 2016. Hydrocarbon potential of Göynük (Bolu-Turkey) oil shale resources and investment research Project of TKİ-TP. International Symposium Oil Shale 100 Years. Estonia, Sept. 20-23. p. 27-28.
- Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Oral, A., Özer, S., Sümengen, M. ve Tekeli, O. 1980. Kuzey Anadolu Fayı-Kırşehir Masifinin arasının temel jeolojisi. MTA Raporu, Der. No:6722, Ankara.
- Özdemir, İ. ve Bekmezci, F. 1983. Suluova (Amasya ili) Çeltek linyit sahalarının jeoloji ve sondajlı aramalar raporu. MTA Der. No: 7396, Ankara.
- Öztürk, A. 1968. Çerkeş-Eskipazar-Gerede Bölgesinin Jeolojisi. A.Ü. Fen Fakültesi Jeoloji Kürsüsü, Ankara. (Yayımlanmamış).
- Öztürk, A. 1979. Ladik-Destek Yöresinin Stratigrafisi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, V.22, 27-34. Ankara.
- Peters, K. E. 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V.70, No: 3, pp. 318-329.
- Peters, K. E. and Cassa, M. R. 1994. Applied source rock geochemistry, in L.B. Magoon and W.G. Dow, eds., The petroleum system from source to trap: AAPG Memoir 60, p. 93-120.
- Sarı, A., Geze, Y., 2008. Organic Geochemical Evaluations of Bituminous Rock and Coals in Miocene Himmetoglu Basin (Bolu, Turkey). Petroleum Science and Technology. 26 (6), 649-664.
- Sarı, A., Erol, F ve Ismayılzade, K., 2024. Ilgın (Konya) Bitümlü Kıltaşı Çökeli Havzasında Paleo-Tuzluluk İncelemeleri: Diyatome Türü Algilerle Tuzluluk Arasındaki İlişki. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (baskıda).
- Şener, M., Şengüler, İ. ve Taka, M. 1992. Çeltek (Amasya) yöresi bitümlü şeyllerinin jeolojisi ve kullanım olanakları. MTA, Der. No:9493.
- Tao, S., Tang, D. Z., Li, J. J., Xu, H., Li, S. and Chen, X. Z. 2010. Indexes in evaluating the grade of bogda mountain oil shale in China. Oil Shale, 27(2).
- Tissot, B. P. and Welte, D. H. 1978. Petroleum formation and occurrence, Springer-Verlag, Berlin.
- Tissot, B. P. and Welte, D. H. 1984. Petroleum formation and occurrence. Springer-Verlag, Berlin, 699 p.
- Van Krevelen, D. W. 1993. Coal. 3rd Edition, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Yılmaz, A. 1981. Tokat ile Sivas arasındaki bölgede ofiyolitli karışığın iç yapısı ve yerleşme yaşı. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, C. 24 s.31-36, Ankara.