

Gölbaşı Harmanlı (Adıyaman) Kömürlerinin Organik Jeokimyasal ve Petrografik Özellikleri

Organic Geochemical and Petrographic Properties of Gölbaşı Harmanlı (Adıyaman) Coals

Orhan KAVAK¹, Selami TOPRAK²

¹Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, DİYARBAKIR

²MTA Genel Müdürlüğü, MAT Dairesi, ANKARA

ÖZ

Bu çalışma, Adıyaman–Gölbaşı–Harmanlı Mevkii’nde yer alan kömür oluşumunun olduğu havzada yapılmıştır. Tersiyer yaşlı kömürlerin kimyasal ve petrografik analizleri yapılmış, organik jeokimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Kömür kalite değerlendirmesi, kimyasal (nem, uçucu madde, sabit karbon, kül) ve elementer analizler (C, H, O, S, N) yapılarak ortaya konmuştur. Hüminit Ro yansıtma değerleri organik maddece zengin ve kömürlü düzeylerde %0.28 ve %0.516 arasında değişmekte olup, düşük olgunluk düzeyine karşılık gelmektedir. Bu parametre floresans renkleri, kalorifik değer (ortalama orijinal 2736, kuru 3727 Kcal/kg) ve ortalama T_{max} (422 C°) ile uyumludur. İncelenen kömürlerde organik maddeler düşük litostatik basınç nedeniyle düşük dereceli dönüşüm gösterir. GC analizinde, n-C₁₇, n-C₂₇, n-C₃₀ ve n-C₃ gibi düşük karbon sayılı n-alkanlar ile CS₂ ve benzen belirlenmiştir. Örneklerin GC-MS verileri triterpanoid bileşenleri mevcut olduğu saptanmış ve bunların yüksek karasal bitki bileşimlerine, gammaceran değerlerinin ise hipersalin çökelim koşullarına işaret ettiği sanılmaktadır. Organik petrografik analizlere ve kimyasal analiz verilerine bağlı olarak, Gölbaşı kömürlerinin düşük olgunlaşma derecesi gösterdikleri ve alt-bitümlü kömür - linyit kömürleşme derecelerine sahip olduğu belirlenmiştir. Rock-Eval analiz sonuçları TİP II/III karışımı ve TİP III kerojeni, ortalama 422 C° T_{max} değeri hidrokarbon türümü için olgunlaşmamış ve erken olgun düzeyi ifade eder. Kömürler baskın olarak hüminit maserallerinden meydana gelmekte, az miktarlarda da inertinit ve liptinit maseralleri içermektedirler. Gölbaşı kömürleri egemen olarak gelinit olmak üzere yüksek hüminit içerikleri ile karakteristiktir. Mineral maddeleri ise başlıca kalsit, killer ve sülfürlü minerallerdir.

Anahtar Kelimeler: Adıyaman - Gölbaşı, Harmanlı, Organik jeokimya, Organik petrografi, Tersiyer kömürleri.

ABSTRACT

This study was carried out in Gölbaşı-Harmanlı (Adıyaman) region where coal basin exists. Chemical, petrographical and organic geochemical analyses of the Tertiary aged coals were taken into consideration. Coal quality investigation along with proximate (moisture, volatile matter, fixed carbon,

ash) and elemental analyses (C, H, O, S, N) were performed. The huminite reflectances of organically abundant matter and coal levels were found to be between 0.28% and 0.516% which refer to low maturity levels. This parameter is compatible with fluorescence colors, calorific value (average original 2736 - dry 3727 Kcal/kg) and average T_{max} (422 °C). Organic matters of the investigated coals exhibit a low grade transformation, due to a low lithostatic pressure on them. In GC analyses, n-alkanes with low carbon numbers as n-C₁₇, n-C₂₇, n-C₃₀ and n-C₃ and CS₂ as well as benzen were detected. Triterpanoid component was determined with GC-MS data and tends to imply high ground continental vegetation, but gammacera values to hypersaline depositional conditions. Gölbaşı coals show sub-bituminous and lignite coalification ranks. Rock Eval analysis results show TYPE II/III and III kerogen, with average T_{max} value is 422 °C, and corresponding to the immature and premature rank for hydrocarbon generation. The coals are characterised with their abundance of huminite maceral group with small amount of inertinite and liptinite macerals. Mineral matters of the Gölbaşı coals are calcite, clays, and sulfur bearing minerals.

Key Words: Adıyaman Gölbaşı, Harmanlı, Organic geochemistry, Organic petrography, Tertiary aged coals.

GİRİŞ

Kömür önemli enerji kaynaklarımızdan biri olup, hayatımızda da önemli bir yere sahiptir. Teknolojinin gelişimine paralel olarak, insanlar bu enerji kaynağından farklı şekillerde yararlanma ihtiyacı duymuşlardır. Kömürün kullanım alanları incelendiğinde, çoğunlukla termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde yakıt hammaddesi olarak, ısınmada, endüstride ve demir çelik fabrikalarında kok üretiminde, gaz üretiminde kullanıldığı görülmektedir.

Ülkemizde ve dünyada endüstrinin gelişmesi ve nüfusun hızla artışı ile birlikte, enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmesi, yeni rezervlerin bulunmasını veya farklı enerji kaynaklarının ortaya konmasını zorunlu kılmaktadır. Petrolün tükenbilir ve rezervinin çok sınırlı olması, ve buna karşın modern hayatta petrokimyasal ürünlerin oldukça geniş tüketim perspektifi sunması nedeni ile var olan rezervler dışında yeni kaynakların belirlenmesi ve kömür kökenli hidrokarbon türüm potansiyellerinin ortaya konması konuları son

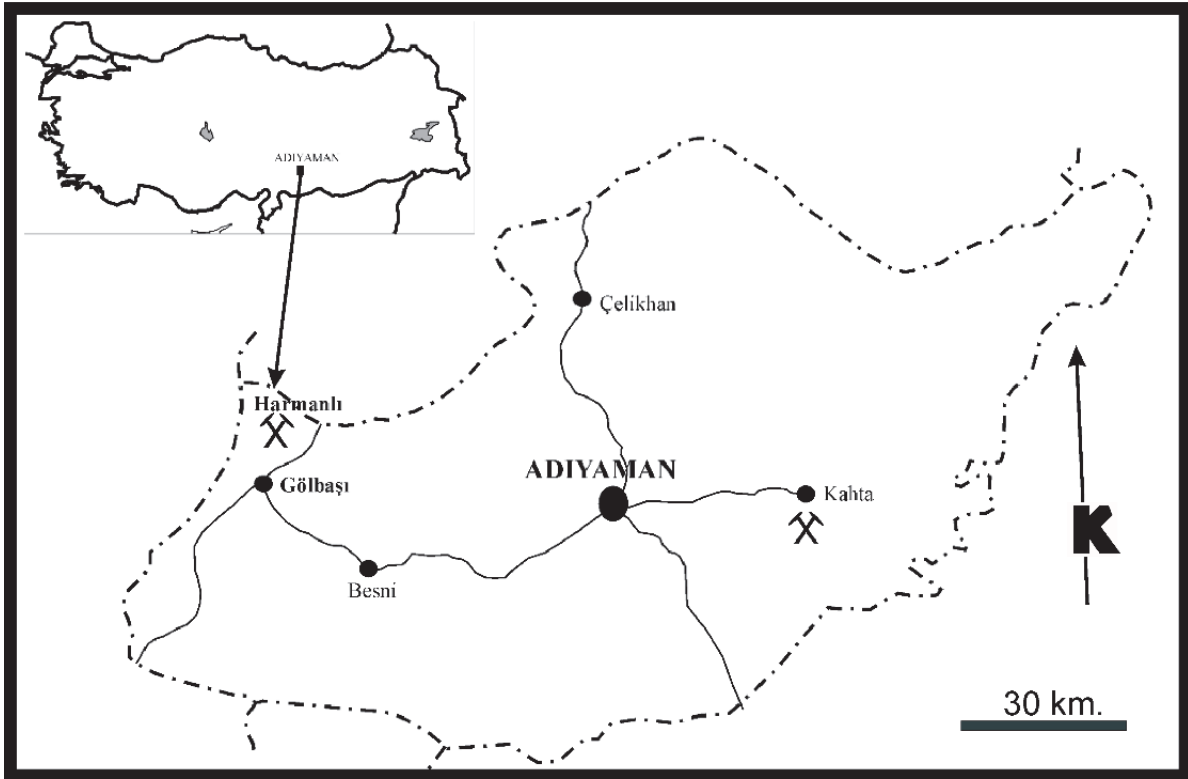
yıllarda ciddi bir şekilde araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Özellikle karasal sedimanlar içinde yer alan organik maddelerin, basenin gömülmesiyle artan ısı ile petrol veya gaz türüm potansiyeline sahip olabileceğini gösteren bazı çalışmalar, ayrıntılı araştırmalar için temel oluşturmuştur (Hubbard, 1950). Piroiliz analizi gibi bazı laboratuvar incelemeleri sonucunda hümik özellikteki kömürlerin gaz türüm potansiyeli olduğu anlaşılmış ve çalışmalar bu alanda yoğunlaşmıştır (Durand ve Paratte, 1983; Espitalié vd., 1977, 1985; Kalkreuth vd., 1998).

Türkiye'de, özel şirketler tarafından işletilen küçük rezervli kömür yatakları, ekonomik ve endüstriyel anlamda kullanılabilecek bir enerji kaynağı olarak yeterli özelliklere sahip değildir. Özellikle ülkemizde artan enerji talebi, petrolün ithal edilmesi ve artan petrol fiyatları, kömürlerin daha verimli kullanımını ve kömür kökenli hidrokarbon türüm potansiyellerinin araştırılmasını gündeme getirmiştir. Bu konuda Zonguldak-Amasra civarındaki taşkömürlerinin gaz türüm özellikleri ile ilgili önemli çalışmalar yapılmış olup, günümüzde de bu konularda

devam eden projeler bulunmaktadır (İnan, 2007; Yalçın vd., 2007).

Bölgede, Adıyaman ili Eskikahta kuzey-doğusunda denizel marn ve kumtaşları içerisinde ince ve en fazla kalınlığı 0.02 cm olan parlak linyitler vardır. Ancak ekonomik değer taşımadıkları için bu çalışmada sadece Adıyaman-Gölbaşı-Harmanlı mevkiinde yer alan linyit

oluşumları araştırılmıştır. İnceleme alanı, Adıyaman iline bağlı Gölbaşı ilçesinin kuzey doğusundaki Harmanlı (Perveri) ve Ozan köyleri arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 1). Linyit sahasının deniz seviyesinden yüksekliği 900–1000 metre arasında değişmektedir. Gölbaşı Harmanlı (Perveri) linyit kömürleri endüstrinin değişik alanlarında kullanılmaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

Figure 1. Location map of the study area

Kömür seviyesi, Doğu Anadolu Fayı (DAF) kontrolünde gelişmiş dar bir havzada, tabanda kırmızı renkli çamurtaşı, beyaz renkli tebeşirli kiltası ve marn ardalanması ile başlayan; üstte ise beyaz renkli tebeşirli, çok az tutturulmuş kiltası, şeyl, marn ve kireçtaşı ile temsil edilen Üst Pliyosen yaşlı birim içinde yer almaktadır. Açık işletme sahasında kömürün içinde yer

aldığı birimin asimetrik olarak kıvrımlandığı görülmektedir. Kömürler çökelimden sonra DAF tarafından sol yanal olarak ötelenmiştir. Kömür kalınlıkları değişken olup, havza ortasında kömür en büyük kalınlığa ulaşmaktadır. Sondaj çalışmalarında toplam kömürün dikey kalınlığının 3.90 - 87 m arasında değiştiği gözlenmiştir (Aydoğan, 1985; Soykan, 1997).

Kömür sahasında görünür, muhtemel ve mümkün olmak üzere toplam 60 milyon ton rezerv bulunmaktadır. Saha da 100 MW gücüne sahip “Termik Santral” ve sanayide ve ısınmada kullanılacak kömürün kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla “Kurutma Tesisi” kurulması için fizibilite çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Adıyaman Gölbaşı Harmanlı (Perveri) linyit sahasındaki kömürlerin organik jeokimyasal, organik petrografik ve kömür kalite özelliklerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda, daha çok yüzey örneklerinden yararlanılarak yapılan incelemelerle, kömürlerin endüstriyel özelliklerinin yanı sıra, hidrokarbon kaynak kaya potansiyelleri de belirlenebilmiştir.

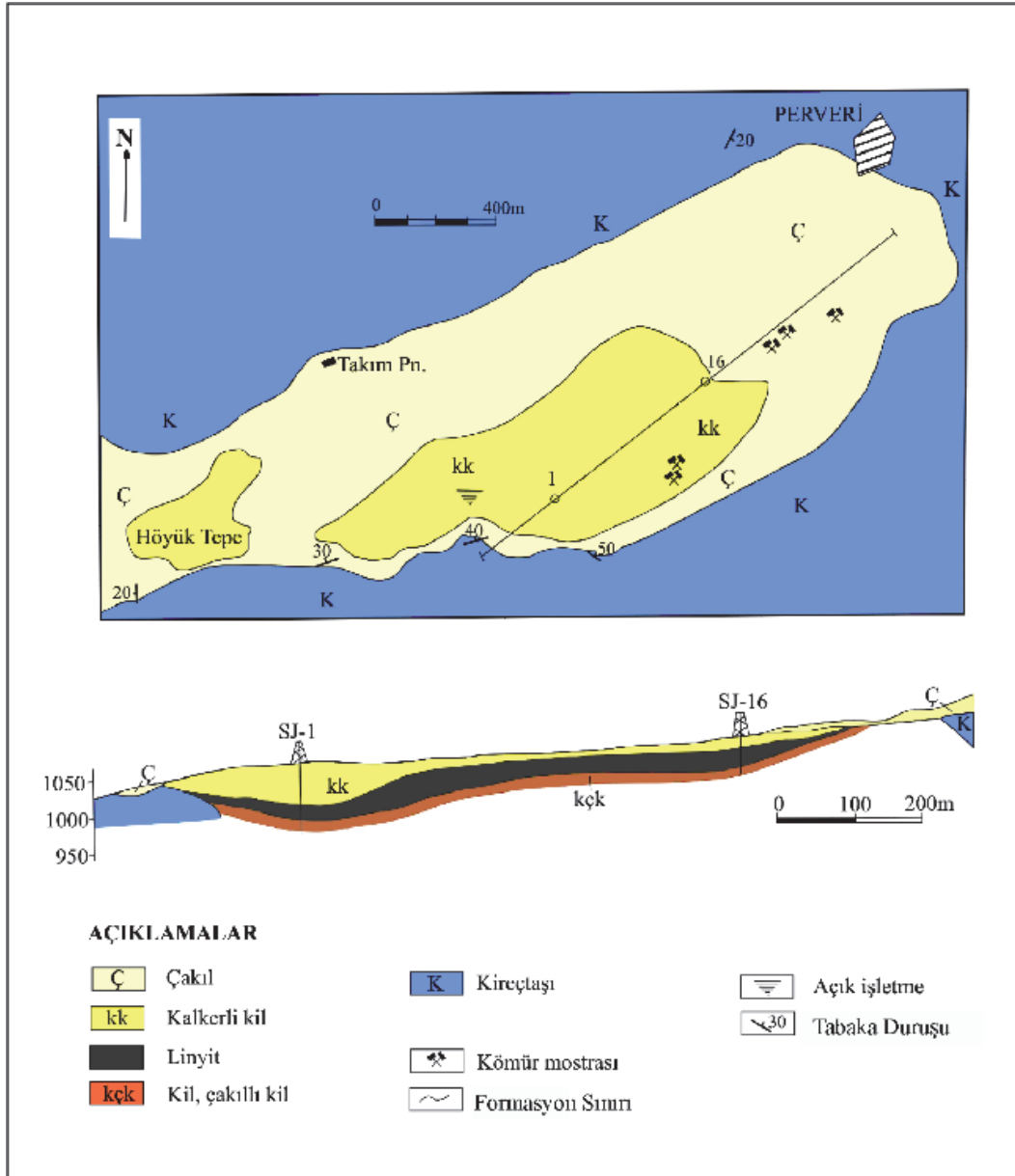
JEOLOJİK DEĞERLENDİRME

Jeoloji

İnceleme alanı Adıyaman iline bağlı Gölbaşı ilçesinin kuzeydoğusundaki Harmanlı (Perveri) ve Ozan köyleri arasında kalan bölgeyi kapsamaktadır. Gölbaşı'nın Ozan Köyü'ne olan uzaklığı 5 km, Harmanlı (Perveri) Köyü'ne ise 8 km'dir.

Bölge Güneydoğu Anadolu kıvrımlanmış kenar kuşağı üzerinde ve Hassa-Kahramanmaraş istikametinden gelen fay zonunun Toros yükselimi ile kesiştiği Gölbaşı civarındadır. Hassa-Kahramanmaraş-Gölbaşı çukurluğu topografik olarak bir graben görünümünde olmasına rağmen, çok yönlü ve doğrultu atımlı bir fay üzerinde yer almaktadır. Alanda Pliyosen sonrası bir tektonik hareket gözlenmemiştir. Kömürlü sahada küçük ve normal atımlı faylar vardır. İnceleme alanı genel olarak Kuvaterner birimlerle örtülü olmasından dolayı detaylı olarak çalışılmamıştır. Bölgenin en büyük kırık hattı Doğu Anadolu Fayı'dır.

İnceleme alanında Üst Kretase flişi üzerine, diskordans ile Eosen kireçtaşları ve Neojen sedimanları gelmektedir. Eosen yaşlı kireçtaşları Alp Orojenezi'nin etkisi ile kıvrılmıştır. Eosen sonrası epirojenik hareketlerle KD-GB doğrultusunda Gölbaşı çöküntüsü meydana gelmiştir (Şekil 2). Burada görüldüğü gibi kömür güneydoğuya doğru eğimli olup, bir senklinal yapma eğilimindedir. Stratigrafik dizilişi üç bölümde incelemek yerinde olacaktır: **1**) Neojen öncesi kayaçlar **2**) Neojen çökelleri **3**) Neojen sonrası çökeller



Şekil 2. Jeoloji haritası ve jeolojik kesiti (Gökmen vd., 1993'den geliştirilmiştir).

Figure 2. Geological map and geologic section (developed from Gökmen et al., 1993).

1) Neojen öncesi kayalar: Fliş, ofiyolitler ve kireçtaşlarından oluşan kayalar Neojen'in temelini oluşturmaktadır. Fliş, inceleme alanının en yaşlı kayacıdır. Fliş serisi alacalı, yeşilimsi gri renkli marn, kumtaşı ve kireçtaşı tabakalarının ardalanmasından meydana gel-

miştir. Kumtaşı ince ve kalın taneli tabakalar halinde olup, kalker çimentoludur. Serinin üst seviyelerinde kireçtaşları baskın durumdadır. Bu kalkerlerin tavanında serpantin çakıllı demir çimentolu kırmızı renkli konglomeralar yer almaktadır. Bu durum, fliş tabakalarının,

tektonizma etkisi ile ultrabazik intrüzyonlar tarafından kesilmesi şeklinde açıklanabilmektedir. Fliş serisinin, çevrede yapılmış incelemelerden, Üst Kretase yaşında olduğu kabul edilmiştir. Bölgede görülen ofiyolitler serpantinleşmiş peridotitlerdir. Bu birim inceleme alanının dışında, fliş tabakaları ile girift bir yapı görünümündedir. Renkleri gri, koyu yeşil olan serpantinler, fliş serilerini kesmektedir. Bu seriler Tersiyer birimleri tarafından örtülmektedir. Serpantinlerin yaşları Üst Kretase olarak kabul edilmektedir. Üst Kretase fliş serileri üzerine diskordans olarak gri beyaz renkli marnlı kalkerlerle hafif sarı renkli kalkerler gelmektedir. Neojen birimlerini çevreleyen kayalar tamamen bu kireçtaşlarından ibarettir. Bu birim 10 ile 200 m arasında değişen bir kalınlık göstermektedir. Bu seriler bol miktarda Nummulit fosilleri içerirler. Yaşları Eosen olarak belirlenen bu birimler arasında 5 - 20 cm'lik silis bantları görülmektedir (Aydoğan, 1985; Soykan, 1997).

2) Neojen çökelleri: Neojen çökelleri taban konglomerası, kıltaşı - silttaşı ve killi kalkerlerden ibarettir. İnceleme alanında, Neojen yaşlı transgresif seri taban konglomerası ile başlar. En iyi görüldüğü yer açık işletme sahasının güneybatısında Çerkez Kayası Mevkii ile Büyük Tepe'nin güneybatısıdır. Taban konglomerası küçük boyutlardadır. Taban konglomerasının içerisindeki çakılların boyutları 1 - 25 cm arasındadır. Konglomeranın çakılları yuvarlak olup, Eosen kireçtaşları ve sileks gibi temel taşlarından oluşmuşlardır. Çimento gevşek olup, taban konglomerasının kalınlığı 1 - 3 metre arasında değişmektedir. Taban konglomerasında yaş tayinine yararlı olacak herhangi bir fosil bulunamamıştır. Kömür tabakası için belirlenen Plio - Pleistosen yaşı bu seviye içinde geçerli sayılmıştır. Bu alanda görülmeyen bu birim, ancak sondajlar aracılığı ile belirlenmiştir. Neojen çökelleri seviyesinin kalınlığı 200 m'nin

üzerindedir. Gri renkli olup, kömürlü serinin altında yer almaktadır. Tabandaki kil - silttaşı ve konglomera üzerine, kalkerli killerden oluşan ve kömür damarları içeren bir düzey gelmektedir. Beyaz renkli kalkerli killerin kalınlığı 4.00 - 74 metre arasında değişmekte olup, Kuvaterner serileri tarafından örtülmüştür. Bu birim yüzeysel ayrışma ile kaolinleşmiştir. Beyaz görünümü ile adlandırıldığı Akyer ismini doğrulamaktadır. Kömür damarı kalkerli killerin içinde alt düzeyde bulunmaktadır. Sahada Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yapılan sondajlardan alınan örneklerin palinolojik sonuçlarında kömürlerin, Plio - Pleistosen yaşlı oldukları tespit edilmiştir (Aydoğan, 1985; Soykan, 1997).

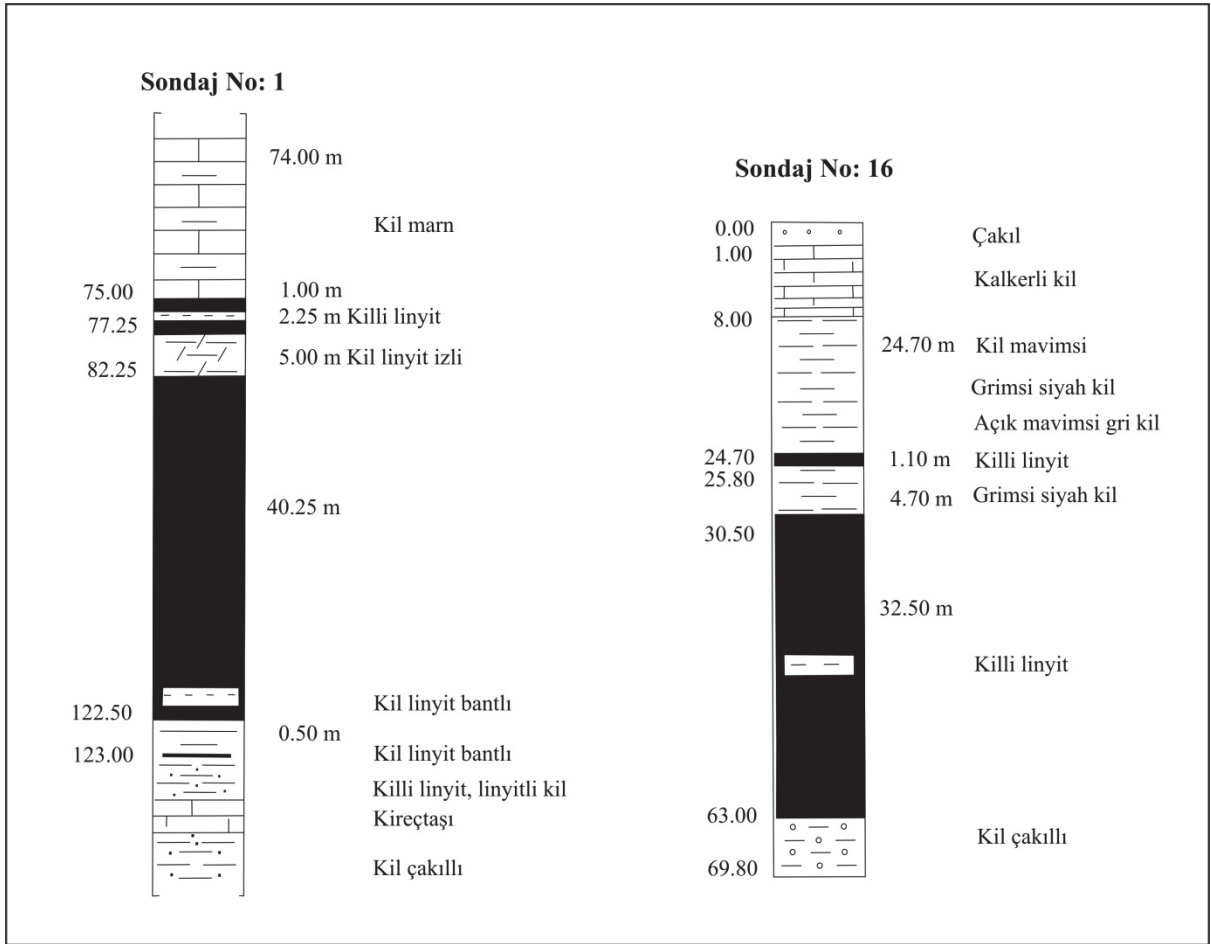
3) Neojen sonrası çökeller (Kuvaterner): İnceleme alanının Neojen sonrası oluşukları çakıl ve alüvyonlardan ibarettir. Kuvaterner olarak tahmin edilen çakıllar inceleme alanının büyük bir bölümünü kaplar. Kuvaterner birimleri Plio-Pleistosen oluşuklarını örtmektedir. Bol miktarda temel çakılları içerir. Çakıllar genellikle yuvarlak olup, yer yer köşelidir. Gölbaşı Gölü'nün kuzeydoğusu tamamen alüvyon sahası olup, alüvyonlar ince taneli malzemenin ibarettir. Gölbaşı Gölü, alüvyon sahasında büyük bir bataklık meydana getirmektedir.

Sedimentasyon

Harmanlı kömürleri limnik havza tipine uygun bir ortamda çökelmiştir. Kömürlerin oluşumları sırasında monoton şartların baskın olduğu düşünülmektedir. Havza dar bir koridor şeklinde olup, kuzeyden Doğu Anadolu Fayı ile sınırlanmıştır. Kömür seviyesinin kalınlığı değişkendir. Havza ortasında kömür en büyük kalınlığına ulaşır. Havzada kömürlü seviye kalınlığı 3.90 - 87 m arasında değişmektedir. Kömür kalınlıklarının içinde 0.50 m den daha

kalın kömür izli killler, kalkerli killler ve kömürlü killler ara kesme olarak değerlendirilmiştir. Kömürün taban kayaçları; üstte kömür izli kil, kil, marnlı seviyeler, daha altta ise, siltli kumlu ve çakıllı litolojilerden oluşmaktadır (Şekil 3).

Tavan kayaçları ise; çakıl, kalkerli kil ve mavi renkli kilden oluşmakta olup, kalınlıkları 4 – 74 m arasında değişmektedir (Aydoğan,1985; Soykan, 1997).



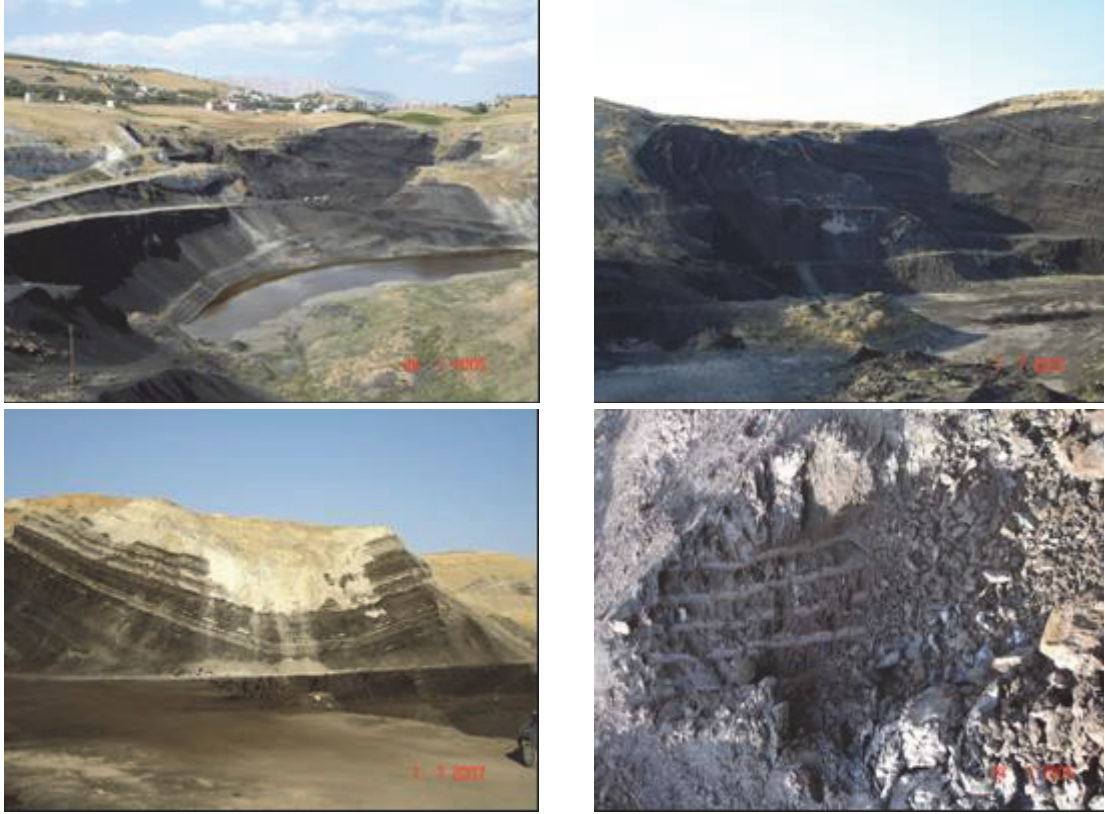
Şekil 3. İncelenen kömürlere ait sondaj kesitleri.

Figure 3. Drilling sections of the studied coals.

MATERYAL VE YÖNTEMLER

İnceleme alanı olan Adıyaman iline bağlı Gölbaşı ilçesinin kuzeydoğusundaki Harmanlı (Perveri) ve Ozan Köyleri arasında kalan bölgede kömür damarı bulunmaktadır. Bu alanda MTA tarafından 18 adet sondaj yapılmıştır (1979 – 1984 arası). Sondajların bazılarında kömür kesilmiş, bazılarında

kesilmemiştir. Bu sondajlar sonucunda kömür kalınlıkları belirlenmiştir. Kömür yarmalarından sistematik olarak 20 adet örnek, yaklaşık 5 – 10 cm aralıklarda, kanal örneği şeklinde alınmıştır. Kanal örnekleri, her kömür damarından sistematik aralıklarda alındığı için, organik jeokimyasal ve organik petrografik analizler tam olarak kömür damarını temsil edebilmektedir (Şekil 3 ve 4).



Şekil 4. İncelenen kömürlerin arazi görünümleri.

Figure 4. Field views of the studied coals.

Kömürlü serideki inorganik bileşenlerin özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla 15 örnekte X-ışınları tüm kayaç difraksiyonu incelemesi Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Ankara Araştırma Merkezi Laboratuvarları'nda yapılmıştır (Şekil 5). Kimyasal ve elementer analizler için kömür örnekleri ASTM (1983) standartlarına göre tane boyu <100 mesh olacak biçimde öğütülerek homojenleştirilmiş ve

analiz edilmiştir. Bu analizler MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı (MAT) Ankara Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Kömürde kimyasal analiz (toplam nem, kül, uçucu madde, sabit karbon ve kalorifik değer) incelemeleri İKA 4000 adiabatik kalorimetre ile TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK-MAM) Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Toplam kükürt,

karbon, hidrojen ve azot bileşimlerini kapsayan elementer analizler ise aynı laboratuvarında LECO analizatörü ile yapılmıştır. Petrografik analiz için 6 adet örnek ICCP (1998 ve 2001) standart tekniklerine göre hazırlanmıştır. Maseral ve mineral bileşimlerinin belirlenebilmesi amacıyla yansımali, beyaz ışık ve floresan mikroskopları kullanılmıştır. Petrografik ve mineralojik bileşim değerlendirmeleri Leitz MPV-SP mikroskobu ile saptanmış, hüminit, liptinit ve inertinit maseral grup oranlarının belirlenmesi mümkün olmuştur. Parlatılmış örnekler, önce 50 büyültmeli yağlı objektifle ve 20 bölmeli 10x büyültmeli okülerle taranmıştır. Her bir örnekte yansımali beyaz ışıkta en az 500 nokta sayılmıştır. Örneklerin aynı büyültme ve 546 nm'deki yansıma değerleri (önce R_{max} , R_{mean} ve R_{min} değerleri) ayrı ayrı, safir standardı ($R_{max} = \% 0.534$) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. R_o yansıma değerleri, yansımalarda yağlı objektifteki R_{mean} değerlerini temsil etmektedir. Yansıma ölçümlerinde, 50x yağlı objektifler kullanılmıştır. Örneklerde yansıma ölçümlerinde kırılma indisi (n) 1.518 olan özel yağlar kullanılmış ve minimum 100 nokta ölçümü esas alınmıştır. Bunun için MPV Geor yazılımı kullanılmıştır. Örnek hazırlama ve yansıma ölçümleri MTA MAT Dairesi Laboratuvarı'nda (Ankara) gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanından alınan 5 adet örneğin, standart palinolojik yöntemlerle (Durand ve Nicaise, 1980; Tissot ve Welte, 1984) kerojen slaytları hazırlanmış ve alttan aydınlatmalı mikroskopta değerlendirilerek bileşimini oluşturan organik madde türleri, kerojen alterasyon ve spor renk indeksleri belirlenmiştir.

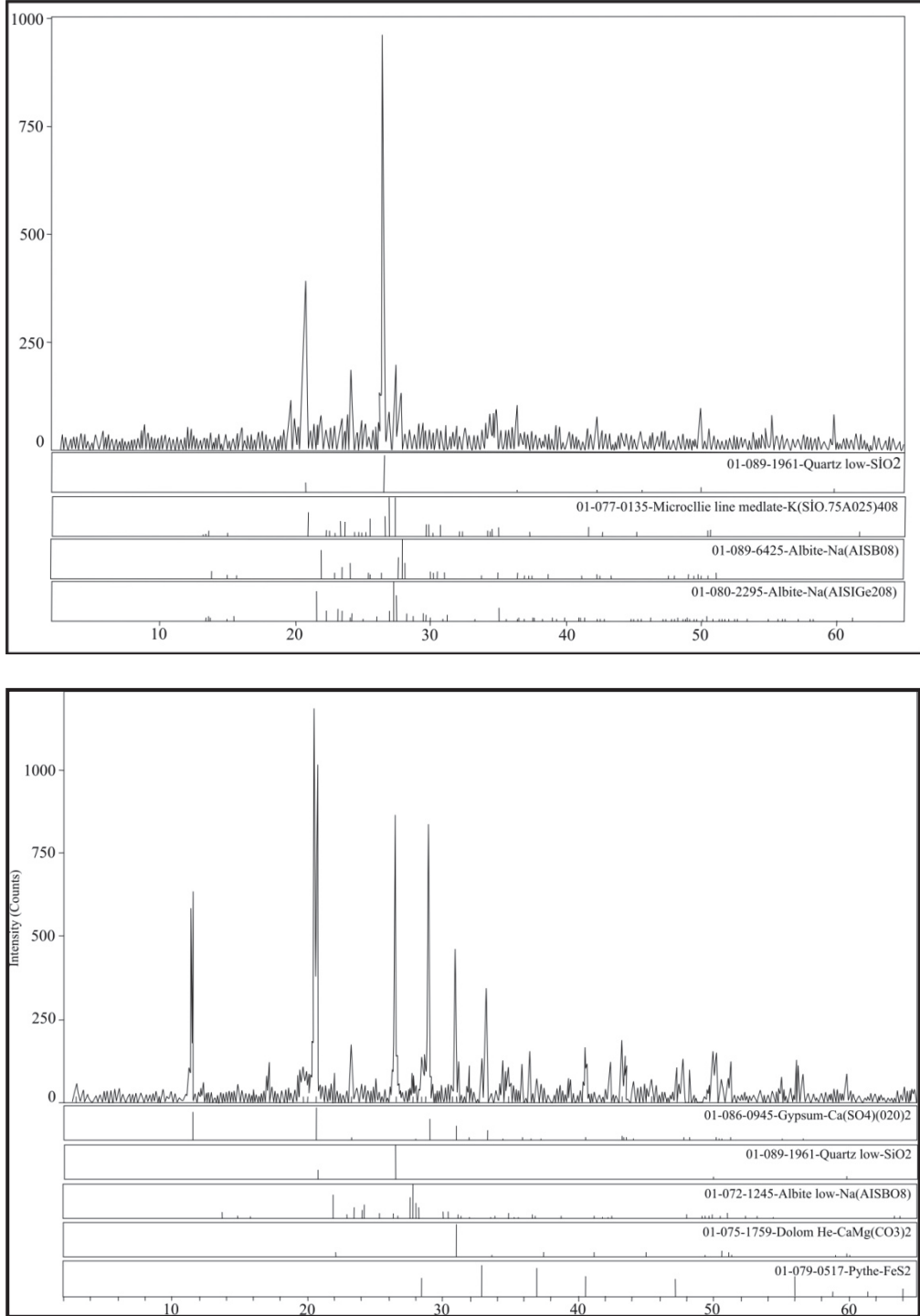
Organik Petrografik (kerojen çalışmaları) değerlendirmeleri TPAO Araştırma Merkezi Laboratuvarları'nda (Ankara) yapılmıştır.

Hidrokarbon ana kaya özellikleri TOC-Rock Eval piroliz analizi ile toplam 15 örnekte değerlendirilmiştir. Biyomarker analizleri için Rock-Eval, TOC sonuçlarına göre ayırtılan 5 örnek yaklaşık 40 saat Diklorometan ile ASE 300 (Accelerated Solvent Extraction) de çözme işlemine tabi tutulmuştur. Çözünmeden sonra özütler Kolon Kromatografi ile asfalttan arındırılarak, doymuş kısımların analizleri Agilent 6850 tüm özüt GC aleti ile, Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometre analizleri ise Agilent 7890A/5975C GC-MS aleti ile TÜBİTAK MAM Laboratuvarları'nda yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kimyasal ve Elementer Analiz (Mineral Madde Bileşim) Değerlendirmeleri

Kömür örneklerinin elementer analiz değerleri C, H, N+O ve S'den oluşmaktadır. İncelenen 6 örnekteki elementer analizler sonucunda orijinal örneklerde egemen element C (% 22.33 -25.22)'dir. Element H % 1.97 – 2.28, N+O % 9.95 – 13.40, ve element S (% 0.60 – 0.68) mertebelerindedir. Havada kuru örneklerde ise yine egemen element C (% 35.60 – 36.27)'dir. H % 3.11 – 3.23, N+O % 15.21 – 16.01, S % 1.08 – 1.12 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1).



Şekil 5. Örneklerin X-ray grafikleri.

Figure 5. X-ray graphics of the samples.

Çizelge 1. Adıyaman-Gölbashi kömürlerinin elementer analiz sonuçları

Table 1. Results of elementary analysis of Adıyaman-Gölbashi coal

Örnek No	Orijinal Örnekte				Kuru Örnekte			
	C (%)	H (%)	(N+O) (%)	S (%)	C (%)	H (%)	(N+O) (%)	S (%)
AOK-2	25.22	2.28	13.40	0.60	35.60	3.22	15.54	1.08
AOK-4	22.33	1.97	9.95	0.68	36.21	3.11	15.42	1.10
AOK-6	23.42	2.11	10.13	0.65	35.88	3.18	16.01	1.12
AOK-8	25.17	2.23	12.50	0.63	36.27	3.19	15.73	1.09
AOK-10	24.47	2.18	13.20	0.61	35.96	3.21	15.72	1.08
AOK-12	23.01	2.21	12.79	0.64	36.13	3.23	15.21	1.11

Kömür örneklerinin kül bileşenleri ise 15 örnekte belirlenmiştir. Baskın bileşen olarak SiO_2 değeri % 32.41 – 45.41'dir. $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ % 13.07 – 19.36, Fe_2O_3 % 7.84 – 8.71, CaO % 11.69 – 21.92, MgO % 4.50 – 5.81, SO_3 % 10.60 – 16.56, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ % 1.41 – 1.50 olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Yüksek orandaki kalsiyum, ortama ikincil kalsiyum girişini işaret etmektedir. Kömürler ve killi düzeylerde pirit oranı oldukça yüksek olup, genellikle framboidal pirit şeklinde izlenmektedir. Bu pirit tipi bakteri faaliyetlerine işaret etmektedir ve mineral ile maseraller içinde değişik biçim ve kalınlıklardaki bantlar, boşluk dolguları ve çatlak dolguları şeklinde izlenirler.

Çizelge 3'te incelenen kömür örneklerindeki toplam nem, kül, kükürt, uçucu madde ile kalori ve Çizelge 4'te petrografik bileşenleri ve hüminit yansıma (R_o) değerleri verilmiştir. Çizelge 5'te yansıma değerleri ve kömürleşme dereceleri ayrıntılı olarak görülmektedir. İncelenen örneklerde kül içeriği yüksek olup (% 16.01 – 37.05, orijinal örnekte % 21.25 – 54.08 kuru), petrografik değerlendirmelerde izlenen mineral madde

miktarı ile uyumludur. Bu veri acı su koşullarında oluşan kömürlerdeki yoğun organik madde bozunması ve bunun sonucunda inorganik bileşenlerin artışına işaret etmektedir. (Teichmüller vd., 1998). İncelenen kömürler ortalama % 1.28 – 5.11 orijinal, %1.74 – 6.43 kuru numunede kükürt ve yüksek kül değerleri ile ortama kükürt ve kırıntı girdilerinin olduğuna işaret etmektedir. Uçucu madde içeriği (% 22.99 – 38.40 orijinal, % 34.01 – 50.97 kuru) ve elementer analiz verileri (Çizelge 2 ve 3), kömür rankı ile uyumluluk göstermektedirler (Çizelge 4 ve 5). Bu Çizelgelerden de anlaşılacağı gibi kömürleşme dereceleri düşük kömürleşme (linyit ve alt bitümlü kömür) derecelerine karşılık gelmektedir (Stach vd., 1982). Kömürlerin yansıma değerlerinin kısmen yüksek (alt bitümlü kömür) dereceler göstermesinin, yöreye yakın tektonik etkileşimlerden kaynaklandığı sanılmaktadır. Zira bölgenin çok yakınındaki Sincik bölgesindeki organik oluşumların yüksek kömürleşme derecelerine ulaştığı, grafitte dönüştüğü ve % 11 civarında R_{\max} değerleri sunduğu saptanmıştır (Toprak, 2009).

Kavak ve Toprak

Çizelge 2. Adıyaman-Gölbashi kömür örneklerinin kül bileşimleri

Table 2. Ash components of the Adıyaman-Gölbashi coal samples

Örnek No	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Na ₂ O+K ₂ O (%)
AOK-1	44.53	17.16	8.71	12.69	4.81	10.66	1.44
AOK-2	32.41	17.12	8.18	20.05	4.50	16.33	1.41
AOK-3	42.30	15.70	7.84	14.35	5.81	12.50	1.50
AOK-4	33.45	18.15	8.18	18.01	4.50	16.30	1.41
AOK-5	43.40	16.14	8.76	14.79	4.87	10.60	1.44
AOK-6	35.44	15.09	8.22	20.01	4.60	16.22	1.42
AOK-7	41.35	15.10	8.24	13.62	4.85	15.39	1.45
AOK-8	36.48	13.07	8.20	21.05	4.70	15.02	1.41
AOK-9	34.24	15.09	8.22	21.92	4.90	14.20	1.43
AOK-10	41.55	16.99	8.41	14.99	4.80	11.88	1.47
AOK-11	39.33	19.36	8.43	11.97	4.90	14.56	1.45
AOK-12	45.41	16.23	8.21	11.69	4.55	12.43	1.48
AOK-13	37.42	13.95	8.27	19.08	4.58	15.21	1.49
AOK-14	35.40	15.13	8.21	19.09	4.62	16.14	1.41
AOK-15	37.33	14.36	8.43	14.97	4.90	16.56	1.45

Çizelge 3. Adıyaman-Gölbashi kömür örneklerinin kaba kimyasal (proximate) analiz sonuçları

Table 3. Results of proximate analysis of Adıyaman-Gölbashi coal samples

Orijinal Örnekte						
Örnek No	Nem %	Uçucu %	Kül %	Toplam Kükürt %	Üst Isıl Değer (Kcal/gr)	Alt Isıl Değer (Kcal/gr)
AOK-2	32.4	22.99	37.05	1.28	1646	1375
AOK-4	20.55	35.95	27.32	5.11	2951	2685
AOK-6	35.31	30.89	17.40	1.95	2699	2371
AOK-8	24.83	31.22	29.62	2.00	2632	2361
AOK-10	24.67	38.40	16.01	1.31	3383	3082
AOK-12	23.28	36.44	21.95	1.67	3107	2824
Kuru Örnekte						
Örnek No	Uçucu %	Kül %	Toplam Kükürt %	Üst Isıl Değer (Kcal/gr)	Alt Isıl Değer (Kcal/gr)	
AOK-2	34.01	54.8	1.89	2435	2298	
AOK-4	45.24	34.38	6.43	3715	3522	
AOK-6	47.75	26.90	3.01	4172	3966	
AOK-8	41.53	39.40	2.66	3501	3323	
AOK-10	50.97	21.25	1.74	4490	4271	
AOK-12	47.50	28.61	2.17	4050	3848	

Üst ısıl değerler 1646 - 3383 Kcal/kg (ortalama 2736 orijinal örnekte Kcal/kg), 2435 - 4490 (ortalama kuru 3727 Kcal/kg) arasında değişmekte olup (Çizelge 3), ASTM kömürleşme derecesinin belirlenebilmesi için kalori değerleri BTU/lb'ye dönüştürülmüş, kuru

mineral maddesiz bazda değerlendirilmiştir. Elementer analiz sonuçları da Çizelge 4 ve 5'teki gibi kömürleşme dereceleri ile uyumluluk içindedir ve bu kömürlerin Alt bitümlü Linyit kömür tipinde olduğunu işaret etmektedir (ASTM D388).

Çizelge 5. Adıyaman-Gölbaşı kömür örneklerinin hüminit (vitrinit) yansıma değerleri ve kömürleşme dereceleri.

Table 5. Huminite (Vitrinite) reflection values of the Adıyaman-Gölbaşı coal samples and their corresponding ranks.

Örnek Kodu	R _{max} %	R _o (R _{mean}) %	R _{min} %	St.D. %	Kömürleşme Derecesi
AOK-2	0.504	0.420	0.350	0.019	Alt Bitümlü Kömür
AOK-4	0.421	0.383	0.337	0.018	Alt Bitümlü Kömür
AOK-6	0.361	0.305	0.259	0.027	Linyit
AOK-8	0.557	0.516	0.249	0.031	Alt Bitümlü Kömür
AOK-10	0.330	0.280	0.230	0.012	Linyit
AOK-12	0.411	0.384	0.345	0.02	Alt Bitümlü Kömür

Kül içeriğindeki artışla birlikte kalori değeri azalır, buna karşın kalori değeri ile doğru orantılı olarak, sabit karbon, karbon, uçucu madde değerleri artar. Sabit karbon değerleri kuru bazda olup Rock-Eval aleti ile belirlenen organik karbon değeri ile uyumludur. Hidrojen oranı arttığında ise karbon oranı artar, oksijen azalır. Kömür kalite değerlendirmesinde önemli veriler olan uçucu madde ve kül içeriği arasında da, uçucu madde arttıkça is yapma özelliği arttığı ve kül içeriği arttıkça kalori miktarı düştüğü için negatif ilişki bulunmaktadır.

İncelenen kömürlerdeki yüksek kükürt içeriği, kömür oluşum ortamını etkileyen göl suyu veya acı su şartları ile veya yüksek su tablasının yüksek pH ve düşük Eh koşullarını geliştirmesi ve turba oluşumu sırasında deniz sularındaki sülfat iyonlarının etkisi ile bol miktarda kükürtün gelişmiş olabileceği şeklinde açıklanabilir. Bunlara ek olarak, birincil organik maddeye ve çevre kayalara bağlı olarak artabileceği de belirlenmiştir (Stach vd., 1982).

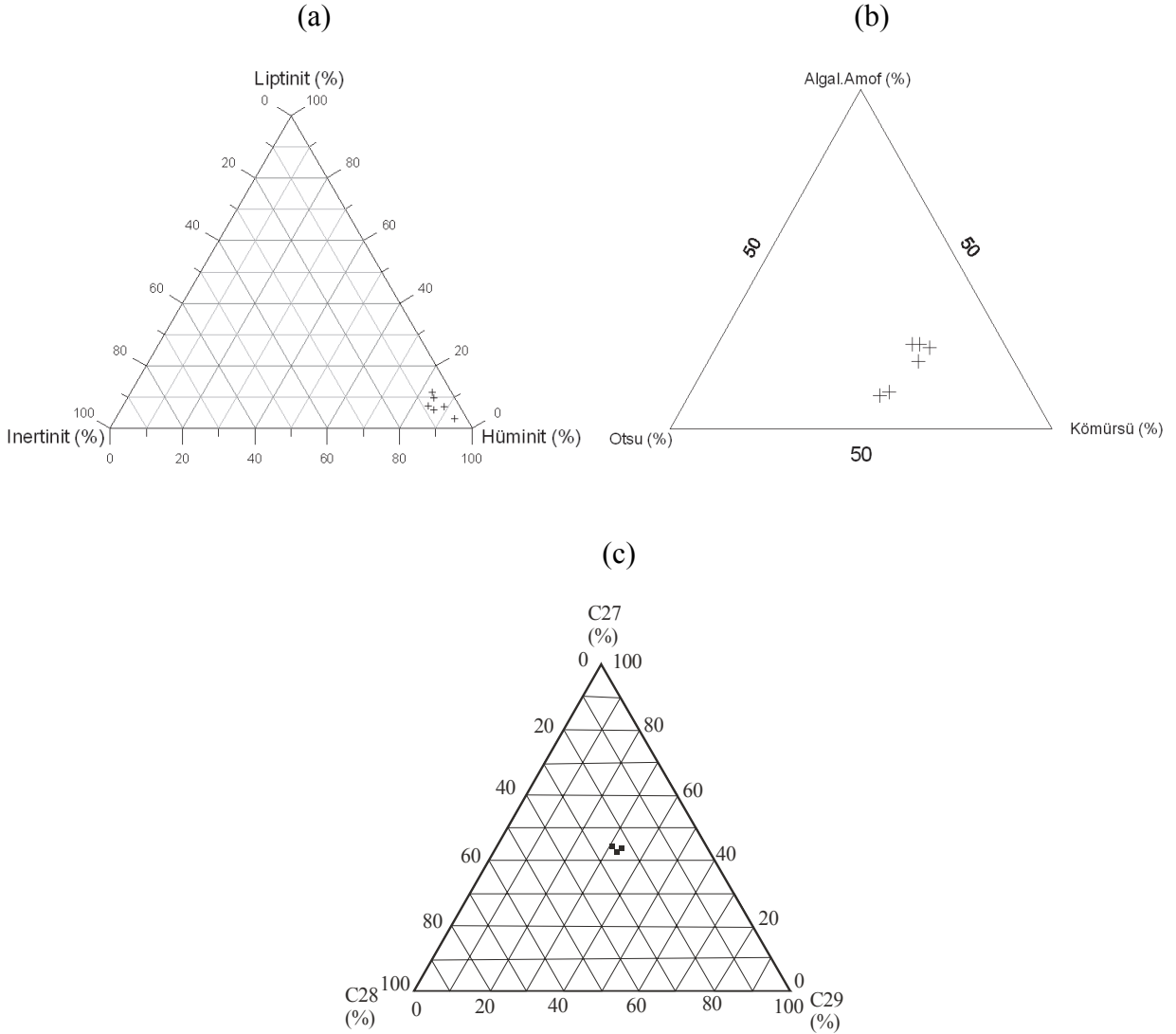
Organik Petrografik Değerlendirmeler

İncelenen kömür istifi egemen olarak mat, bunun yanı sıra mat bantlar ve bantlı litotip özelliklerinin araldanması olarak izlenir. Bu bantlar incelenen kömürlerin yüksek kül içeriği nedeniyle ayrıntılı olarak tanımlanamamıştır. Kömür örneklerinde petrografik değerlendirmeler Stach vd. (1982)'de belirtilen özelliklere göre yapılmış olup liptinit, hüminit ve inertinit maseral grupları tanımlanmış, bu veriler üçgen diyagramlarda sunulmuştur (Şekil 6). Organik petrografik bileşimin karmaşık özelliklere sahip olması, örneklerde turba gelişimi sırasında heterojen bir malzeme birikimi olduğunu göstermektedir. Kömürler hüminit maseral grubunca zengin olup (% 58 – 70), egemen maseral grubu gelinitlerdir. Gelinitler hüminit maseral grubunda hüresel yapı göstermeyen jelleşmiş özellikteki maseralerdir. Örnekler içerisinde kırıntılı maseralardan densinitler oldukça yaygındır (Şekil 7a,b,c,d). İntertinit ve liptinit maseral grupları hüminit grubuna göre daha düşük orandadır.

Çizelge 4. Adıyaman-Gölbashi kömür örneklerinin Maseral analiz sonuçları ve R_0 değerleri (%)Table 4. Results of maceral analysis and R_0 (%) values of the Adıyaman-Gölbashi coal samples

HTEL- Telohümit; DHUM- Detrohümit; HCOL- Gelohümit; TOP- toplam; HUM- hümit; LIP- Liptinit; İNER- İnerit; PIR- Pirit; Cl- Kil; Qz- Kuvars; Ca- Kalsit; INOR- İnorganik Madde; Tex- Tekstinit; Tul- Teksto-ülinit; Eul- Eu-ülinit; Att- Attrinit; Dn- Densinit; Gel- Gelinit; Kor- Korpolümit; Sp- sporinit; Alg- Alginit; Rs- Rezinit; Cut- kitinit; Ldt- Liptodetrinit; Fus- Füzinit; Ma- Makrinit; Fg- Funginit; İdet- İertodetrinit; Fr- Framboıdal; Eu- Euhedral kristal; Fil- Çatlak ve boşluk dolgusu pirit.

Örnek No	R_0	Hümit										Liptinit						İnerit						Pirit			INOR (Cl+Qz+Ca)
		HTEL			DHUM			HCOL		TOP HUM	Sp	Alg	Rs	Cut	Ldt	TOP LIP	Fus	Ma	Fg	İdet	TOP İNER	Fr	Eu	Fil	TOP PİR		
		Tex	Tul	Eul	Att	Dn	Gel	Kor																			
AOK-2	0.420	2	4	4	11	16	23	0	60	2	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2	3	1	0	4	30	
AOK-4	0.383	2	3	5	10	13	25	0	58	3	0	1	0	0	4	1	4	0	0	0	5	3	3	1	7	26	
AOK-6	0.305	3	5	4	9	14	26	2	63	3	0	1	1	0	5	0	3	0	0	0	3	3	1	0	4	25	
AOK-8	0.516	3	4	5	7	13	26	2	60	4	1	1	1	0	7	1	3	0	0	0	4	3	0	0	3	26	
AOK-10	0.280	1	3	8	4	15	38	1	70	3	1	0	2	0	6	2	4	0	1	7	2	1	0	3	14		
AOK-12	0.384	4	7	12	6	14	20	2	65	3	2	0	3	1	9	0	4	0	0	4	2	0	0	2	20		



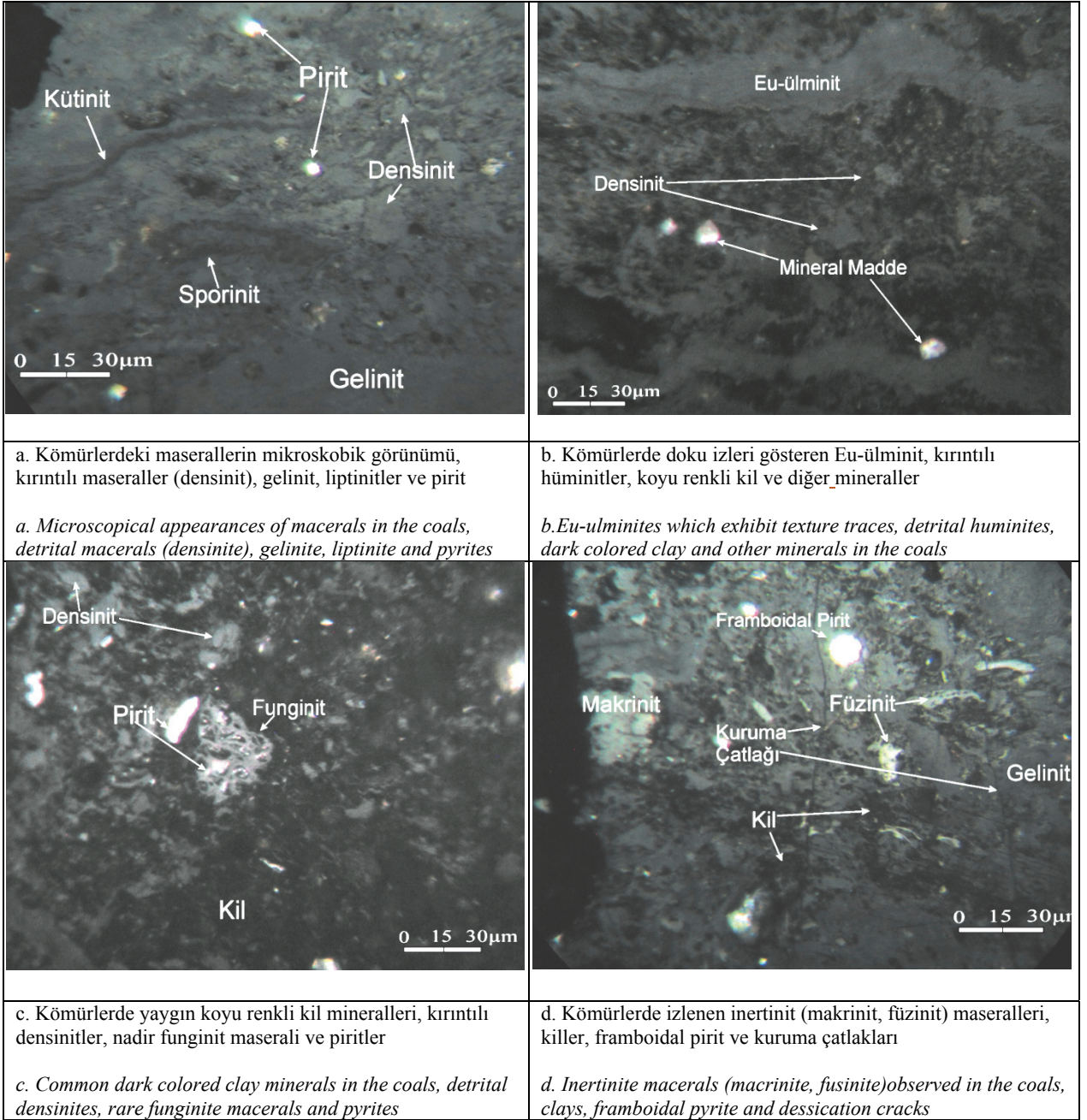
Şekil 6. a.b.c. Gölbaşı kömür örneklerinin organik madde tiplerinin üçgen diyagramları.

Figure 6. a.b.c. Triangular diagrammes of organic material types of Gölbaşı coal samples.

Liptinit bileşimi % 2 - 9 arasında belirlenmiş olup, sporinit, resinit ve kütinit maseralleri en yaygın liptinit maseralleridir. İnertinit grubu maseralleri ise başlıca makrinit ve fusinitten oluşmaktadır (% 2 - 7). Maser

gruplarının oranları ve hüminit yansıma değerleri Çizelge 4'te sunulmaktadır. Karakteristik maseral tipi ve değişik maseral birliktelikleri mikro fotoğraflarda gösterilmektedir (Şekil 7a,b,c,d).

Kavak ve Toprak



Şekil 7. Gölbaşı kömürlerinin Petrografik görüntüleri.

Figure 7. Petrographic images of the Gölbaşı coals.

Yüksek gelinit miktarı organik maddelerin dokularının bozulduğuna, oluşumu esnasında pH değerlerinin nötr değerlere yakınlaştığına işaret etmekte, füsinit ve makrinit gibi inertinit maseralleri de bataklıklarda gelişen oksidasyon şartlarının artışı ve azalan su düzeyini göstermektedir (Şekil 7d) (Flores, 2002; Stach vd., 1982). İncelenen kömürler ayrıca sporinit ve kil mineralleri bakımından zengin olup (Şekil 7a), sazlık ortamdaki sualtı koşullarında, yüksek bakteriyel aktivite faaliyeti ile bozunmayı işaret etmektedir. Mineral madde oranı % 14 - 30 olup, başlıca karbonatlar, killer ve silikat minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 7b ve c). Bu düzeyler, turba gelişimi sırasında organik maddece zengin düzeylerin yerini zaman zaman inorganik maddelerin aldığı göstermektedir. Yüksek oranda mineral madde içeriği, kırıntılı maseral içeriği ve dokuların seyrek oluşu, kömürlerin bulunduğu ortamda taşınma ve tektonik hareketlere maruz kalma izlenimi vermektedir. Şekil 7d'de kömürlerde mikro izler halinde bile olsa kuruma çatlaklarının görülmesi yüksek oranlarda su tutan kil mineralleri gibi mineral maddelerin fazla olduğuna ve nem kaybına işaret etmektedir. Kömürlerin petrografik bileşenleri Toprak (2009)'da belirtildiği gibi benzer özellikler göstermekte ve gölsel oluşum izlenimi vermektedir. Bu durum diğer bulgular ile de ortaya konmaktadır. Stach vd. (1982), bu özellikte ve yüksek oranda densinit gibi kırıntılı maseral bileşenlerine sahip oluşum tipini "hipotokton" yani çökme ortamı içerisinde taşınmalar göstermiş kömürler olarak yorumlamaktadırlar. Yansıma ölçümlerinin ülkemizde bulunan aynı kalitedeki kömürlere kıyasla daha yüksek oluşu da, muhtemelen, kömürlerin bulunduğu ortamın, çok önemli tektonik hatlara (Arap Kalkanı Sütur Zonu'na ve DAF'a) yakınlığındandır.

İncelenen kömürlerde de olduğu gibi yüksek kalsiyum oranı, alkalın çökelim ortamlarını işaret eder ve bakteriler hümit jellerin oluşumu nitrojen veya hidrojen zengin kömürleşme ürünlerinin oluşumu gibi farklı etkilere yol açabilir (Teichmüller vd., 1998). Bu özellikler Amynteo Baseni'ndeki (Yunanistan) Pliosen yaşlı linyitlerde de benzer şekilde izlenmiştir (Iordanidis ve Georgakopoulos, 2003). Bu çalışmada TPI (Doku korunma düzeyleri, turba gelişimi sırasında, organik indeks) ile VI (bitki örtüsü İndeks) değerleri organik maddece zengin düzeyleri gösterir (Georgakopoulos ve Valceva, 2000) ve GWI (yeraltı suyu indeksi) ise azaldığında inorganik maddelerin arttığına işaret eder. GI (jelleşme indeksi) değerleri ise Diessel (1986)'ya göre belirlenmiştir. Düşük TPI değerleri ya bitkisel malzemenin tipine (yüksek angiosperm/gymnosperm oranı) ya da düşük doku korunma şartlarına bağlı olarak gelişmiştir (Kolcon ve Sachsenhofer, 1999). Gölbaşı kömür örneklerinde TPI değeri 0.03 - 0.08 arasında değişmektedir. GI değeri yeraltı su seviyesini ve/veya pH düzeyini işaret eder. Diessel (1986) grafiğinde, GI değerinin 1 değerinden az olması durumunda yeraltı su tablasının altında oluşan kömürleşmelere işaret edilmektedir. Jelleşme için düzenli su akışı, bakteri faaliyetleri ve düşük asidik şartlar gerekir (Kolcon ve Sachsenhofer, 1999). Gölbaşı örneklerinde GI değeri 8 - 37.5, GWI değerleri 1.09 - 1.27, VI değerleri ise 0.06 - 0.30 arasında değişmekte olup bu durum gölsel çökelim ortamını ve yeraltı su tablasının altında oluşan organik birikimi ortaya koymaktadır.

TPI değerlerinin 0.5'ten küçük, GI değerlerinin 5'ten büyük, GWI değerinin 1'den büyük, VI değerinin ise 1'den küçük oluşu, ayrıca yüksek pirit içeriği ve gastropod kavkaları limnik ortamı işaret etmektedir. Kömürleşme

yüksek yeraltısuyu düzeyinde ve ortalama gömülme oranıyla otoktondan hipotoktona kadar değişen şartlarda meydana gelmiştir. Düşük TPI değerleri yüksek bakteriyel faaliyet ve yüksek pH değerlerinin belirteçidir. Gastropod kavkılarının yaygın olarak bulunuşu da Amyneto Baseni'ndeki gibi (Yunanistan) alkalın ortam şartlarını destekleyen bir veridir (İordanidis ve Georgakopoulos, 2003).

Organik Jeokimyasal Değerlendirmeler

Organik jeokimyasal değerlendirmeler kapsamında incelenen kömür örnekleri Organik Madde Miktarı Toplam Organik Karbon (% TOC), Organik Madde Tipi (Türü) ve Olgunlaşması ise Rock-Eval Piroliz analizi ile belirlenmiştir. GC, GC-MS ve GC-IRMS analizleri ile de biyomarker verileri sağlanmıştır.

İncelenen örneklerin organik maddece zenginliği, organik madde tipi, diyajenetik gelişim süreci ve kaynak kaya potansiyeli Rock-Eval Piroliz verileri ile değerlendirilmiştir. Genellikle kaynak kaya özelliği araştırılan karbonatlar ve şeyllerde uygulanmakta olan bu tekniğin, özellikle Rock-Eval 6 cihazının kömürlü örneklerde daha iyi sonuç vermesi, petrografik bilgilere katkıda bulunması nedeniyle kömürlü örneklerde de kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Teichmüller ve Durand, 1983; Durand ve Paratte, 1983; Fowler

vd., 1991; Korkmaz ve Kara Gülbay, 2007, Erik vd., 2008).

Organik Madde Miktarı (Toplam Organik Karbon)

Toplam Organik Karbon (% TOC) analizi 15 örnekte yapılmış olup, değerler % 20.29 – 45.54 arasında değişmektedir (Çizelge 6). Bu sonuçlar Gölbaşı kömürlerinin organik madde içeriği bakımından zengin olduğunu (TOC > 0.5) ve kaynak kaya olarak düşünülebileceklerini göstermektedir. TOC değerlerinin düzensiz olmasının sebebi olasılıkla organik madde miktarını etkileyen birincil biyolojik üretkenlik, fiziko-kimyasal koşullar, tane boyu, sedimentasyon hızı ve kayacın cinsi ile bağlantılı olarak değişebilmektedir. Organik maddeler oksijenli ortamlarda olmayıp, süratle bozularak su ve karbondioksite dönüşürler. Organik maddenin korunması için anoksik ve asidik kimyasal şartlar gereklidir. Organik madde miktarı kayacın litolojisine de bağlıdır ve kıltaşı, çamurtaşı gibi kayalar organik maddece zengin, silttaşı ve kumtaşı gibi kayalar ise organik maddece fakirdir. Karbonat kayalar ise organik madde miktarı açısından bu iki tip arasında yer alır ve değişken oranlarda organik madde içerebilirler. İncelenen örneklerin değişik oranlarda organik madde içermesinin sebebini bu şekilde ve kırıntı girdisiyle açıklamak mümkündür (Kavak, 2010).

Çizelge 6. Adıyaman-Gölbaşı kömür örneklerinin toplam organik karbon (% TOK) ve Rock-Eval piroliz sonuçları

Table 6. Total organic carbon (TOC %) and Rock-Eval pyrolysis results of the Adıyaman-Gölbaşı coal samples

Örnek No	TOC	S ₁	S ₂	S ₃	S ₂ /S ₃	T _{max}	HI	OI	PI	PY
AOK-1	20.33	1.71	38.28	24.39	1.56	432	191	123	0.06	39.99
AOK-2	20.29	1.69	38.22	24.35	1.56	431	189	120	0.05	39.31
AOK-3	32.02	4.08	40.10	35.82	1.11	370	130	115	0.08	44.18
AOK-4	31.64	4.01	39.95	35.73	1.11	366	127	113	0.09	43.96
AOK-5	29.30	2.51	42.52	30.13	1.41	420	147	106	0.07	45.03
AOK-6	28.66	2.49	41.46	29.89	1.38	414	144	104	0.06	43.95
AOK-7	27.53	2.15	45.25	29.65	1.52	427	165	108	0.05	47.40
AOK-8	27.18	2.14	45.18	28.62	1.57	426	167	105	0.05	47.32
AOK-9	42.68	3.68	62.92	53.78	1.30	426	140	121	0.06	66.60
AOK-10	44.62	3.48	60.90	51.89	1.17	425	137	117	0.06	64.38
AOK-11	40.73	3.51	59.03	52.67	1.12	420	135	118	0.05	62.54
AOK-12	33.98	2.57	46.70	38.22	1.22	425	138	113	0.06	49.27
AOK-13	25.40	2.22	46.28	29.55	1.56	423	170	109	0.05	48.55
AOK-14	45.54	3.22	61.50	53.40	1.15	425	143	119	0.06	64.72
AOK-15	35.74	3.98	40.05	37.98	1.05	421	132	114	0.06	44.03

TOK: Toplam organik karbon (%), S₁: mg HC/g rock, S₂: Kerojenin parçalanması ile oluşan hidrokarbonlar (mg HC/ g TOK), S₃: CO₂ değeri (mg CO₂/g TOK), T_{max}: Piroliz analizi boyunca S₂ pikinin maksimum olduğu andaki sıcaklık (°C), HI: Hidrojen indeksi (mg HC/ g TOK), OI: Oksijen indeksi (mg CO₂/g TOK), PI: Üretim indeksi (mg HC/g TOK), S₂/S₃: Hidrokarbon tip indeksi, PY: Potansiyel verim (mg HC/g TOK).

Organik Madde Türü

Bir kayacın kaynak kaya olabilmesi için, yeterli miktarda organik maddeye sahip olmasının yanı sıra, organik madde tiplerinin de petrol veya gaz türümüne uygun olması gerekmektedir. Bu nedenle organik jeokimyasal verilerle birimlerdeki organik madde tipleri belirlenmeye çalışılır. Organik petrografik incelemelerin yanı sıra Rock-Eval piroliz analizi ile elde edilen Hidrojen İndeksi (HI), Oksijen İndeksi (OI) ve Tmax değerleri kullanılarak hazırlanan HI-OI ve HI-Tmax diyagramları ile

örneklerin içerdiği organik madde tipleri kolayca belirlenebilmektedir. Rock-Eval Piroliz analizi ile kerojen tipi ve olgunlaşma düzeyi belirlenmiştir. Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen kerojen tipleri verileri aracılığıyla organik madde türleri ve bunların sonuçlarından hidrokarbon kaynak kaya potansiyeli hakkında bilgi edinilmektedir.

Organik maddeler, hidrojen ve oksijen indeksi değerlerine ve petrol türetme potansiyellerine göre TİP I, II ve III kerojen şeklinde sınıflandırılmaktadır (Tissot vd., 1984).

Mineral madde içeriği bu örneklerde olduğu gibi kil ve karbonatlarca zengin örneklerde de piroliz sonuçlarını oldukça etkilemektedir (Peters, 1986; Langford ve Blanc-Valleron, 1990). Piroliz sıcaklıklarında inorganik maddelerde de farklı maddeler farklı davranışlar göstermekte, kimyasal ve ısıl olarak çalışmalar etkilenebilmektedir. Hidrojen İndeksi-Oksijen İndeksi ve HI-T_{max} diyagramlarında örneklerin büyük kısmının TİP II-III (karasal ve denizel) ve TİP III (karasal, kalıntı organik madde) alanında dağıldığı izlenmektedir. Bu örneklerin petrol türetme potansiyeli sınırlı olup, ancak az miktarda gaz türüm potansiyelinden söz edilebilir.

Gölbaşı kömürlerinde hidrojen indeks değerleri 127 – 191 mg HC/g TOC, oksijen indeks değerleri ise 104 – 123 mg CO₂/g TOC arasındadır. Üretim indeksi (PI): $S_1/(S_1+S_2)$ değeri özellikle % 0.05'ten büyük olduğunda yorumlama açısından önem teşkil etmektedir. Gölbaşı örneklerinde bu değer ortalama % 0.06 olarak belirlenmiştir (Çizelge 6).

Bazı yüksek oksijen indeks değerleri (>150 mg CO₂/g TOC) mineral matriks etkisine veya piroliz işlemi sırasında mineral dekompozisyonuna bağlı olarak gelişmiştir. Mineral madde içeriği özellikle incelenen örneklerde kil ve karbonatlarca zengin ise, piroliz sonuçlarını oldukça etkilemektedir (Peters, 1986; Langford ve Blanc-Valleron, 1990). Piroliz verilerini hangi unsurların daha çok etkilediğinin belirlenebilmesi için karşılaştırmalarda en sık tartışılan konu olan maseral bileşimleri kullanılmıştır. Örneğin hidrojen indeksi ile liptinit bileşimi arasında negatif ilişki varken, liptinitlere hüminit oranları da eklendiğinde bu ilişki pozitif dönüşmektedir. Toplam organik karbon ve elementer analiz ile elde edilen karbon değeri arasında da güçlü

pozitif bir ilişki belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, mineral madde içeriği ile hidrojen indeksi, TOC, Pc, Rc arasında negatif ilişki bulunmaktadır.

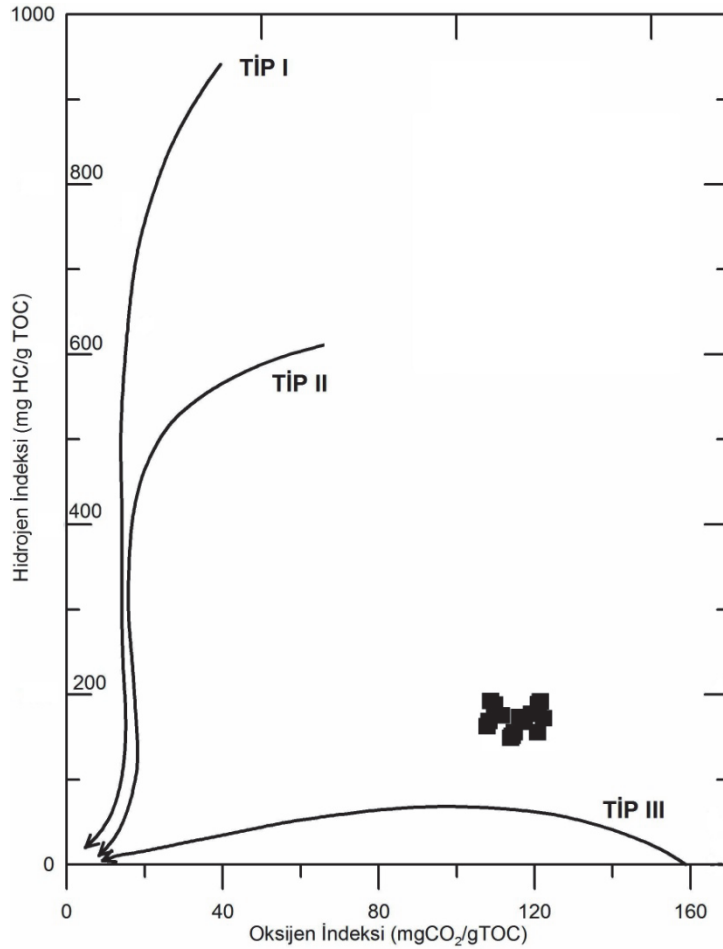
Van Krevelen (1961) (Hidrojen İndeksi-Oksijen İndeksi) ve HI-T_{max} diyagramlarında örneklerin büyük kısmı TİP II-III (karasal ve denizel) ve TİP III alanında dağılmıştır (Şekil 8 ve 9). Bu tanımlama kerojen preparatlarındaki palinolojik değerlendirmeler ile de desteklenmekte olup, kömürsü-odunsu malzemenin egemen olduğunu göstermektedir. İncelenen örneklerde kömürsü (% 73 - 92), odunsu (% 7 - 18), otsu (% 6) ve amorf (% 6 - 12) olmak üzere farklı oranlarda organik maddeler gözlenmiştir (Şekil 6). Amorf organik bileşenler, çoğunlukla, karasal kökenli malzemelerin taşınma sırasında geçirdikleri alterasyon sonucunda kırılıp parçalanması ile oluşmuştur.

İncelenen kömürlerde farklı analiz verilerinin birbirleri ile karşılaştırması sonucunda bazı önemli ilişkiler belirlenebilmiştir. Örneğin, toplam organik karbon ve üst ısıl değer arasında güçlü bir paralel olarak artan ilişki bulunmaktadır. Rock-Eval parametrelerinden olan kalıntı karbon arttığında sabit karbon ve karbon değeri artmakta buna karşın kül içeriği azalmaktadır. Piroliz edilen karbon miktarı ile sabit karbon, oksijen indeksi ile oksijen arasında da benzer bir ilişki vardır, S₃ - kül, ve oksijen indeksi - üst ısıl değer arasında ise tersi bir ilişki bulunmaktadır. Ayrıca, hidrojen miktarı arttığında üst ısıl değer azalır ve benzer ilişki T_{max} ile üst ısıl değer, karbon ve sabit karbon arasında da izlenir.

Gölbaşı örneklerinin gaz kromatogramlarında düşük karbon sayılı n-alkanların özellikle n-C₆ ve n-C₁₇ gibi bileşenlerin çok düşük oranlarda bulunuşu ayrıca C₃₂'den yüksek

bileşen olmaması, karasal ve denizel organik madde varlığına işaret edebilir. Seçilen örneklerde yapılan biyomarker analizinde n-alkan dağılımında yüksek moleküler ağırlıklı (C_{20+}) bileşenler egemendir. C_{25} - C_{31} aralığındaki tek karbon sayılı n-alkanlarda, C_{29}

steranların C_{27} ve C_{28} 'lere göre baskın oluşu, bu steranların, C_{29} $\alpha\alpha R$ isomerlerinin (Erik vd., 2008) bolluğu yüksek karasal malzmeden türeyen organik maddelerin varlığına işaret edilebilmektedir.



Şekil 8. İncelenen örneklerin Hidrojen indeksi-Oksijen indeksi diyagramı (Tissot ve Welte, 1984).

Figure 8. Hydrogen index - Oxygen index diagramme of the studied samples (Tissot and Welte, 1984).

Organik Olgunlaşma

Sedimanlar içinde yer alan organik maddeler, gömülme artışı ile artan sıcaklıklara maruz kalır ve çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucunda hidrokarbonları oluştururlar. Bilindiği gibi hidrokarbonların oluşabilmesi için özellikle organik olgunlaşmanın gerçekleşmesi, kerojenin ısıl parçalanmasını sağlayacak sıcaklık şartlarına ulaşılabilmesi gerekmektedir.

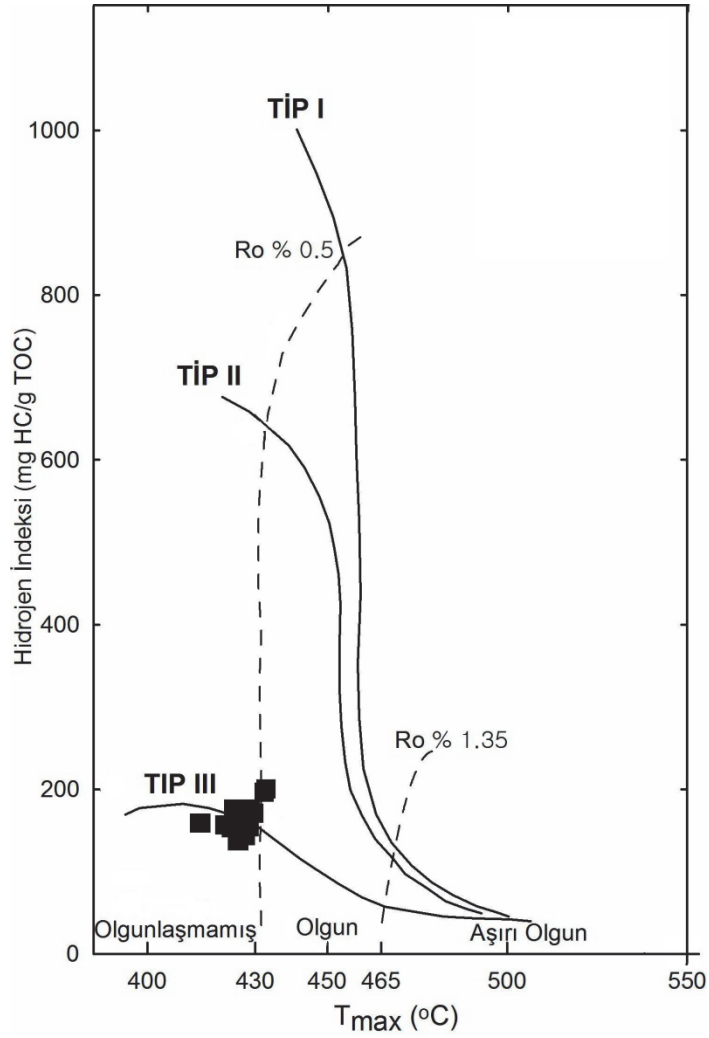
Organik analiz yöntemler, optik ve kimyasal yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Kimyasal yöntemlerin en sık kullanılanı piroliz analizidir ve kaynak kayanın olgunluk değerini veren T_{max} değeri piroliz sırasında S_2 değerinin maksimum olduğu andaki en yüksek ısıyı gösteren bir parametre olup derinlik artışıyla birlikte T_{max} değeri de genellikle artmaktadır (Espitalié vd., 1977).

Yukarıda da belirtildiği gibi, T_{max} (C°) değeri ısıl olgunlaşma değerini ifade eden bir organik jeokimyasal parametredir ve artan derinlikle birlikte artan olgunluğu belirtir. Gölbaşı örneklerinin T_{max} (C°) değerleri 414 – 432 C° arasında değişmekte olup, ortalama değer 422 C° 'dir (Çizelge 6). Bu değerler kömürün organik maddece zengin düzeylerin olgunlaşmamış-erken olgun zonda olduğunu gösterir. Kerojen preparatlarındaki açık sarı, açık kahverengi organik madde alterasyon renkleri, açık sarı-renksiz sporlar, ve düşük R_{max} değerleri de T_{max} verisini desteklemektedir. HI- T_{max} diyagramında örneklerin büyük kısmı erken olgun ve olgunlaşmamış zonda dağılmıştır (Şekil

9). Bu örneklerin PI değerleri <0.10 'dur ve düşük olgunlaşmayı belirtir. Hüminit yansıma değerleri (R_o) % 0.28 - 0.516 arasında değişir.

Yüksek kül içeriği bu karşılaştırmayı etkilediği için kül içerikleri % 15'ten düşük örneklerde hüminit yansıması ve kalori değeri karşılaştırılmıştır. Her iki veri de birbirinden bağımsız olarak olgunlaşmamış düzeyi belirtmekle birlikte, petrografik bileşim farklılıklarından dolayı hüminit yansıması (R_o) ve T_{max} değerleri arasında anlamlı bir doğrusal ilişki bulunmamaktadır.

$20(S)/(20S+20R)$ ve $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ steran oranı T_{max} ve R_o değerleri ile doğru orantılı olarak artar. Steran oranları, incelenen örneklerde 1'den küçük olup, olgunlaşmamış aşamayı belirtir (Peters ve Moldovan, 1993). $Ts/(Ts+Tm)$ oranı 0.11 – 0.17'dir (Çizelge 7). $Ts/Tm < 1$ değeri olgunlaşmamış organik maddeyi belirtir. Gölbaşı kömürlerinde $18\alpha(H)-22, 29, 30$ -trisorneohopan (Ts)/($Ts+Tm$) 0.80 – 0.84'tür (Çizelge 7). Genellikle C_{31} veya C_{32} homohopanlar $22S/ (22S+22R)$ oranının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu oran artan olgunlukla birlikte 0'dan yaklaşık 0.6'ya kadar artmakta olup, incelenen örneklerde 0.51 – 0.59 arasındadır. Diasteran/steran oranı olgunlaşmamış sedimanlarda genellikle düşük olup, incelenen örneklerde de 2.89 – 4.20 arasındadır (Arfaoui vd., 2007). Bu değerler diasteranın oldukça bol ve steranlara göre baskın olduğunu gösterir. Moretan/Hopan oranları 0.56 – 0.57 olup, genellikle artan olgunlukla birlikte azalmaktadır (Kvenvolden ve Simoneit, 1990).



Şekil 9. Hidrojen İndeksi - T_{max} diyagramı ile kerojen tiplerinin sınıflandırması (Mukhopadyay vd., 1995).

Figure 9. Classification of kerogene types by Hydrogen Index- T_{max} -diagramme (Mukhopadyay et al., 1995).

Çizelge 7. m/z 217 ve m/z 191 kütle kromatogramlarından hesaplanan biomarker parametreleri

Table 7. Biomarker parameters derived from the m/z 217 and m/z 191 mass chromatograms

Örnek Kodu	191		217		
	H/(H+M)	Ts/Tm	C ₂₇ %	C ₂₈ %	C ₂₉ %
AOK-4	0.81	0.17	44	25	31
AOK-2	0.80	0.11	43	24	33
AOK-10	0.84	0.12	45	23	32

Ayrıca düşük bitüm / TOC oranı ile GC kromatogramlarında steran ve triterpan alanındaki şiddetli pik dağılımı olgunlaşmamış zonu belirtmektedir (Tissot ve Welte, 1984). C₂₉ düzenli steranlardan türeyen bir olgunluk parametresi de 5 α (H), 14 β (H), 17 β (H) C₂₉ steran ve 5 α (H), 14 α (H), 17 α (H) C₂₉ steran ($\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$) oranıdır. Ts/Tm oranı, 0.51 – 0.59'dur.

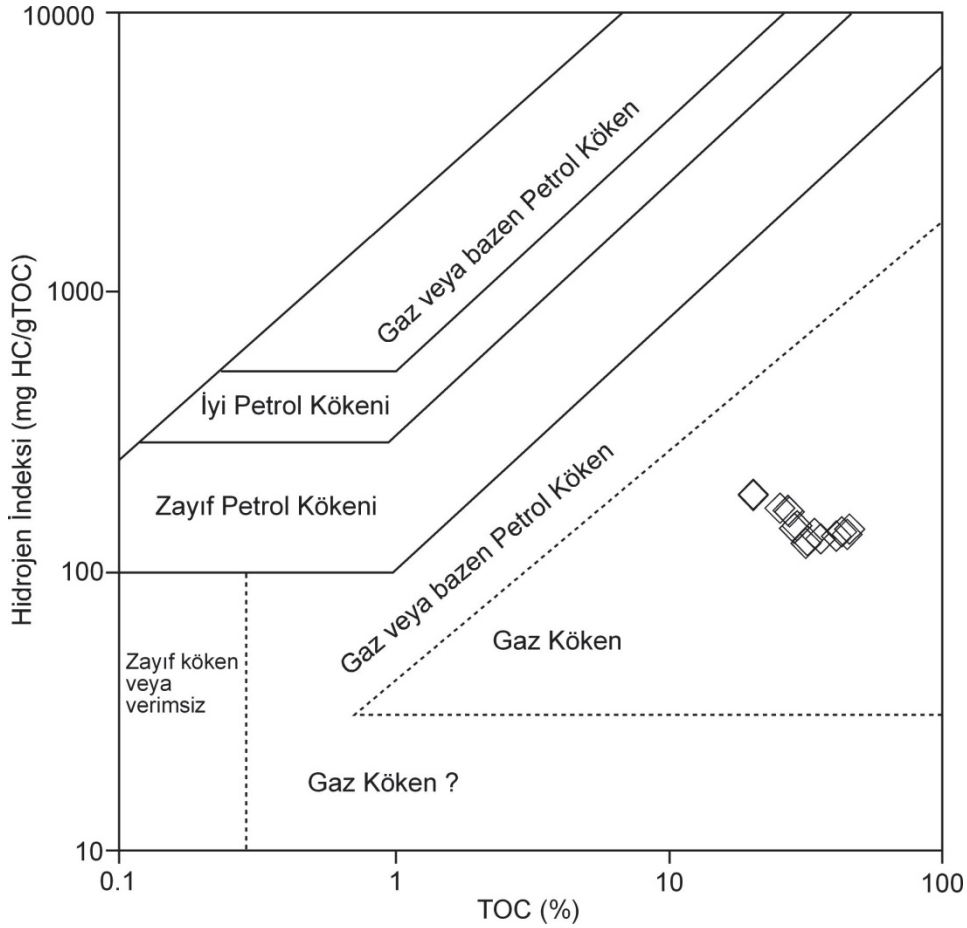
Hidrokarbon Türüm Potansiyeli

Hidrokarbon türüm potansiyeli Potansiyel Verim (PY = S₁+S₂) ile de değerlendirilmekte olup genellikle TOC sonuçları ile uyum içindedir. İncelenen örneklerin hidrokarbon türüm potansiyellerinin farklı teknik ve grafikler ile yorumlanması ve birbiri ile denştirilmesi, sonuçlarda hata yapılmasını engelleyecektir. Özellikle kömürün kaynağının tespit edilebilmesi için bu çalışmada köken zenginliği diyagramı kullanılmıştır.

İncelenen örneklerin köken zenginliği diyagramındaki dağılımları (HI-TOC) (Jackson vd., 1985) Şekil 10'da verilmiştir. Hidrokarbonların oluşabilmesi için özellikle organik olgunlaşmanın gerçekleşmesi, kerojenin ısısal parçalanmasını sağlayacak sıcaklık şartlarına ulaşılabilmesi gerekmektedir. Bu

nedenle de organik olgunlaşma verilerinin belirlenmesi için T_{max} ve PI değerleri göz önünde bulundurulmaktadır.

İncelenen örneklerin S₁ değerleri oldukça düşük olup, 1.69 – 4.08 mg HC/g kaya; S₂ değerleri 38.22 – 62.92 mg HC/g kaya arasında değişmektedir (Çizelge 6). S₂ değeri 4.0 mg HC/g kaya'dan düşük olduğundan genellikle zayıf ana kaya potansiyeli; 4.0'dan büyük olduğunda ise hidrokarbon ana kaya potansiyelinden bahsedilir. Bu nedenle incelenen örneklerde S₂ değerleri birçok örneğin iyi ve çok iyi ana kaya potansiyelli olduğuna işaret etmektedir (Çizelge 6). Bu veriye göre kömürlerin ana kaya potansiyeli olmakla birlikte diğer organik maddece zengin (AOK-2 ve 8 örnekleri gibi) karbonatlı seviyelerin ana kaya potansiyeli bulunmamaktadır. Özellikle kömür kökenli sıvı hidrokarbon türümünde en kritik veri hidrojen zengin organik maddelerin varlığıdır. Hunt (1995)'e göre kömürler ve karasal malzemelerden hidrokarbon türümü için 200 mg HC/g TOC'den büyük hidrojen indeksi gerekmektedir. İncelenen örneklerde yüksek hidrojen indeksi değerleri ile HI-T_{max} diyagramındaki örnek dağılımları bir miktar sucul organik madde girişini ve sınırlı gaz türüm potansiyelini ifade etmektedir.



Şekil 10. Gölbaşı kömür örneklerinin Hidrojen indeksi - TOC diyagramı (Jackson vd.,1985'ten geliştirilerek)

Figure 10. Hydrogen index - TOC diagram of the Gölbaşı coal samples (developed from Jackson et al.,1985).

İnceleme alanındaki örneklerde olduğu gibi hümik kömürler, genelde, TİP III kerojenden oluşur ve gaz türetebilir özelliktedirler. Adıyaman-Gölbaşı kömür örneklerinin gaz türüm potansiyelleri olmakla birlikte, olgunlaşmalarının düşük olması bunu engellemektedir. Hidrokarbon türüm potansiyeli jenetik potansiyel veya üretim indeksi ile de değerlendirilebilmektedir ve bu değer (S_1+S_2) genellikle TOC değerlerine benzer sonuçlar vermektedir. S_2/S_3 değerleri 2'den küçüktür. PI değerleri 0.1'den küçük ve T_{max} değerleri olgunlaşmamış aşamayı belirtir. HI-TOC

diyagramında bazı örnekler zayıf türüm alanında dağılmış olup (Şekil 10), bazı örnekler ise gaz ve bir miktar petrol türüm potansiyelini işaret etmektedir.

Organik olgunlaşma verilerine göre incelenen kömürlü ve organik maddece zengin düzeyler, hidrokarbon türümü için yeterli organik maddeye sahip olmakla birlikte olgunlaşmalarının düşük olması türümü engellemiştir.

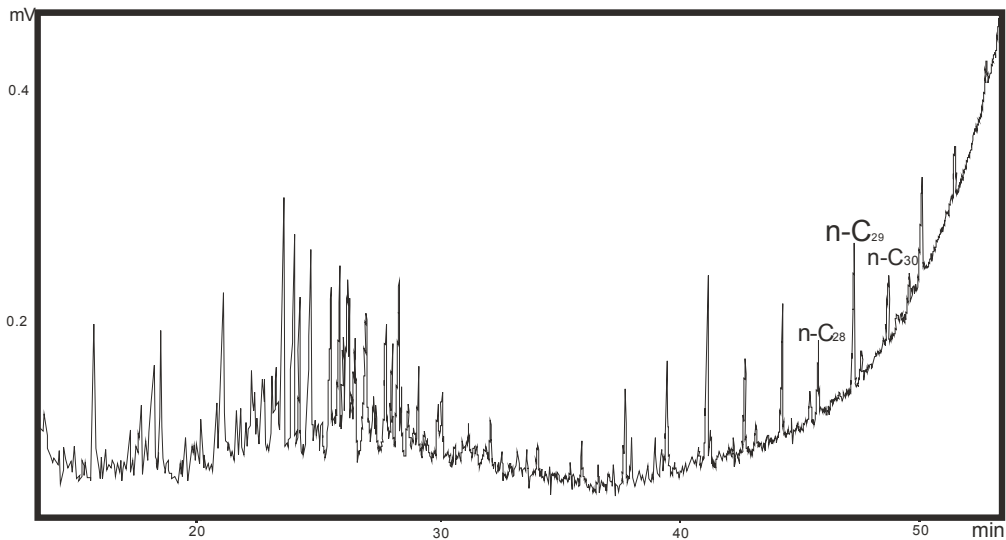
Kömürlerin Moleküler Bileşimi

İncelenen örneklerin özüt miktarı düşüktür (1560 – 6430 ppm arasında), bileşim rezin ve asfaltanlar gibi düşük olgunluktaki organik maddeleri içermektedir. Steran ve terpan dağılımları m/z 191 ve m/z 217 kütle kromatogramlarında kaydedilmiştir.

N-alkanlar C_{20} - C_{32} (Çizelgeler 8, 9 ve 10) aralığında dağılmıştır (Şekil 11). GC analizinde, n- C_{17} , n- C_{27} , n- C_{30} ve n- C_3 gibi düşük karbon sayılı n-alkanlar ile CS_2 ve benzen belirlenmiştir. İncelenen örneklerin tipik doymuş hidrokarbon GC-MS verileri Şekil 12a, 12b, ve 12c'de gösterilmektedir. Başlıca biyomarkerler C_{25} (22S+22R) tricycliterpane, C_{24} tetracycliterpane (seco), C_{26} 22R tricycliterpan, C_{28} tricycliterpandır. Bu triterpanoid bileşenlerinin kömür örneklerinde bulunuşu onların yüksek karasal bitki bileşimlerini, gammaceran ise hipersalin

çökelim koşullarını belirtmektedir. Uzun zincirli C_{27} - C_{31} n-alkanların toplam n-alkanlar içindeki nispi bolluğu karasal bitkileri ifade ederken (Moldowan vd., 1985), Gölbaşı örneklerinde düşük oranda olan kısa zincirli n-alkanlar ($<C_{20}$) egemen olarak alg ve mikroorganizmalarda bulunur. Örneklerde egemen olarak orta ve yüksek molekül ağırlıktaki n-alkanlar (C_{21-25}) olup, bu durum, karasal ve gölsel organik malzemenin birlikte bulunduğuna işaret eder.

İncelenen örneklerin m/z 217 kütle kromatogramlarında C_{27} , C_{28} , C_{29} steran ve bunların 20S ve 20R epimerleri (Çizelge 7, 8 ve 9; Şekil 12b) tanımlanmıştır. Gölbaşı kömür örnekleri C_{27} ve C_{29} steranlar ile düşük oranlarda da aromatik olmayan hidrokarbon bileşenlerini içerir. Örneklerde C_{28} steran ve C_{28} diasteranlar çok düşük orandadır (Şekil 6). Algler C_{27} sterollerin birincil kaynağı olarak belirtilmekte iken C_{29} steroller daha çok karasal bitkilerden oluşmaktadır.

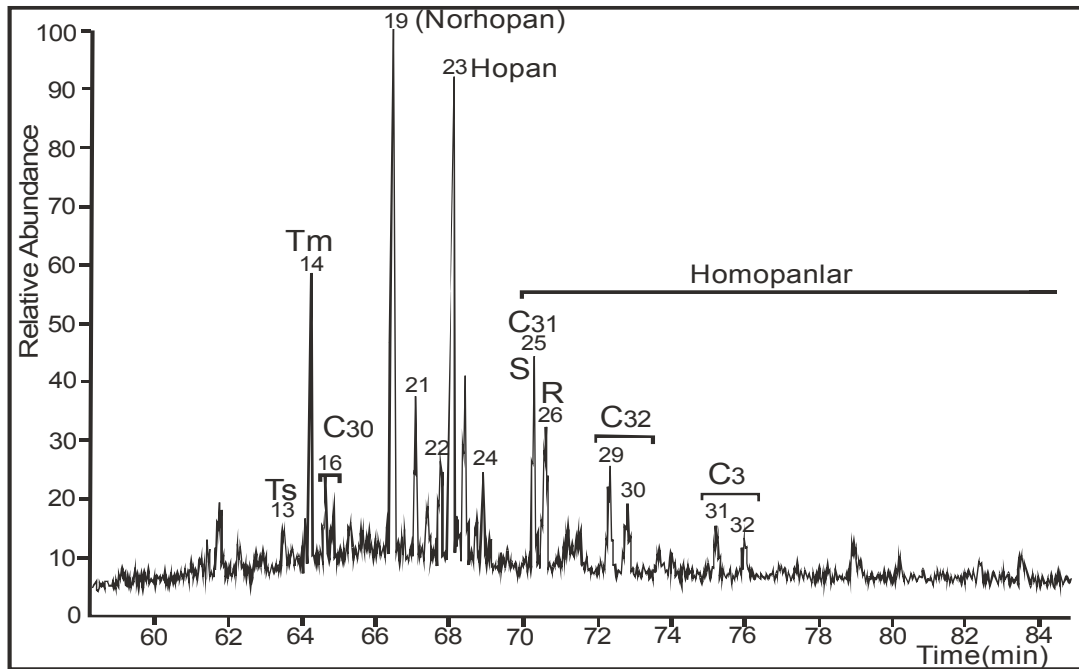


Şekil 11. GC diyagramı

Figure 11. GC diagram

Örneklerde ayrıca C_{20} , C_{21} , C_{23} , C_{24} , C_{26} , C_{28} , C_{29} tricyclic terpanlar da belirlenmiştir. C_{24} tetracyclic terpanın özüt içinde nispi bolluğu karasal organik madde girişini gösterir (Peters ve Moldowan, 1993). Kömür örneklerinde C_{23}/C_{24} oranları 0.84 - 1.52; C_{28}/C_{29} steran oranı 0.40 - 2.58; C_{27}/C_{29} steran oranları 1.30 - 1.45 arasında değişir. Özellikle bu örneklerde olduğu gibi karasal alanda gelişen turba oluşumuna deniz suyunun etkisi C_{27} düzenli steran oranının C_{29} ve C_{28} steranlara göre nispi bolluğu ile izlenir. Bray ve Evans (1961)'e göre, CPI (C_{24} -

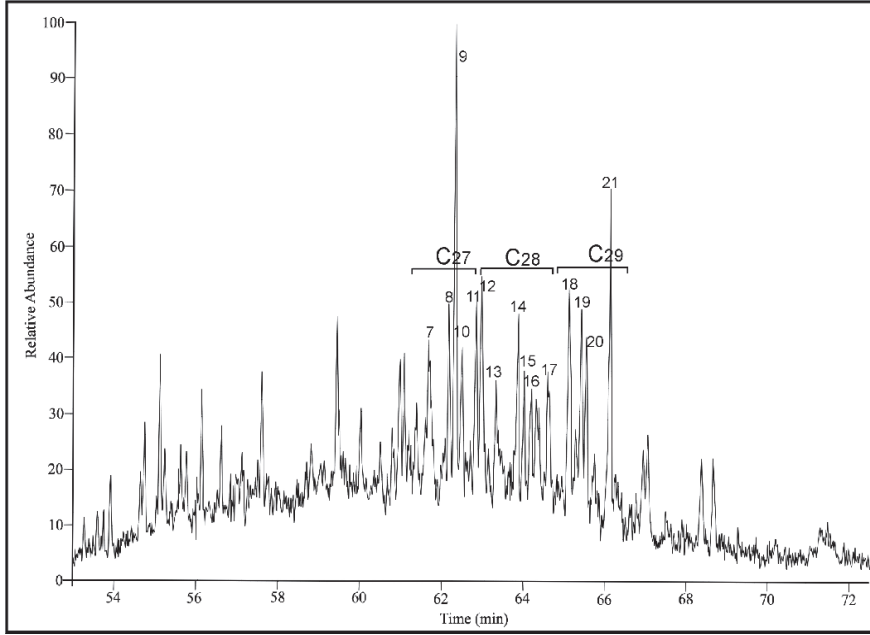
C_{34}) = 1, CPI (C_{16} - C_{26}) = 2.00'dır. m/z 191 kütle fregmantogramında iki örnekte çok düşük tricyclic terpan izlenmiştir (Şekil 12a). Gölbaşı kömür örneklerinde C_{29} norhopan C_{30} hopana göre daha azdır. İncelenen üç örnekte de C_{32} homohopanolardan daha büyük karbon numaralı bileşen bulunmamaktadır. Steran/hopan oranı 0.80 - 1.60 olup, steranlar hopanlara göre daha boldur. C_{29}/C_{30} hopan karbonat ve kırıntılı litolojiyi ayırt etmekte kullanılır ve (Waples ve Machihara, 1991) bu oran 0.60 - 0.65'tir (Çizelge 7).



Şekil 12a. 191 için GC-MS diyagramı (AOK-10 Örneği için)

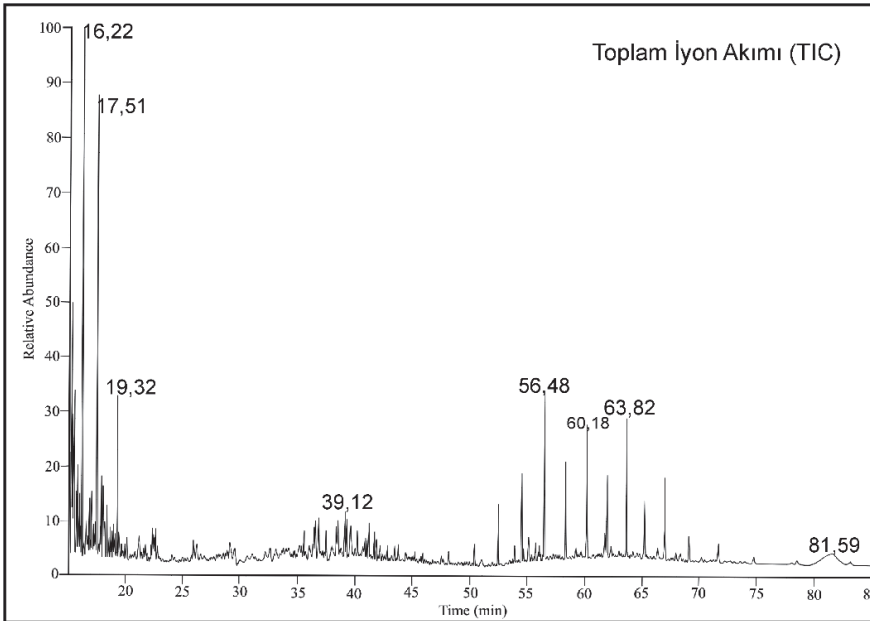
Figure 12a. GC-MS diagram for 191 (for AOK-10 sample)

Kavak ve Toprak



Şekil 12b. 217 için GC-MS diyagramı (AOK-10 örneği)

Figure 12b. GC-MS diagram for 217 (AOK-10 sample)



Şekil 12c. TIC'in GC-MS diyagramı (AOK-10 örneği için)

Figure 12c. GC-MS diagram of TIC (for AOK-10 sample)

Çökelim Ortam Özellikleri

ASTM (D388) standartlarına göre incelenen kömürler alt bitümlü linyit kömür özelliğindedir. Paleortam şartlarında uygun koşullarda karasal ve gösel özellikteki bitkisel parçalar genellikle yüksek ancak değişen su düzeyinde bozunmaya uğramıştır. Bu olay hüminit grubu maserallerin (gelinitlerin) varlığı ile açıklanabilmektedir. Özellikle hüminit grubu içinde gelinit maserallerinin egemenliği bataklik şartlarını, füsinitler ise bataklik oksidasyon veya yangınlarını işaret etmektedir (Toprak, 1996; Altunsoy ve Özçelik, 1993). Kömürlerin densinit içeriğinin fazla olması, ortama etkiyen tektonik etmenlerin veya dinamik aktivitelerin fazla olduğunu belirtmektedir (Toprak, 2009). Kömürlerin yansıma (% R_{max}) ve paleo-sıcaklık değerlerine göre (Boggs, 1987) kömürlü ortamın geçmişte geçirdiği en büyük sıcaklık değerinin yaklaşık 100 – 125 C° arasında olabileceği belirlenmiştir.

Kömürlerin biyomarker analiz değerlendirmeleri paleortam özelliklerinin açıklanması bakımından önemlidir. Örneğin, 17 α (H)-homohopan oranları paleoklim belirteçidir (Waples ve Machihara, 1991). C₃₁'den C₃₅'e kadar hopan oranının azalımı klastik fasiyesi yansıtırken, yüksek C₃₁ hopan oranları turba ve kömüre karşılık gelir. Bu açıdan değerlendirildiğinde her üç örnekte de homohopanlar bulunmakta ve C₃₁'den C₃₅'e doğru homohopan pik yüksekliğindeki düzenli azalım kırıntılı fasiyesler için tipik olarak izlenmektedir (Waples ve Machihara, 1991). Yüksek tuzluluk belirteci olan gammaceran

oranları incelenen örneklerde organik maddelerin çökelişi sırasında su kolonundaki tabakalanmaya ve örneklerin Geç Protorezoik yaşlı olduğuna işaret etmektedir (Waples ve Machihara, 1991; Connan, 1993; Peters ve Moldowan, 1993; Hunt, 1995).

C₂₈/C₂₉ steran oranları 1'den küçük olup, incelenen kömürlerin yaş verisi jeolojik yaş ile uyumludur. Tricyclic terpanlar bütün örneklerde bulunmaktadır. Genellikle kömür örnekleri nispeten yüksek oranlarda C₂₅ tricyclicterpan ve düşük C₂₃ tricyclicterpan içermektedir. C₂₄ tetracyclic terpanların nispi bollukları örneklerin karasal organik madde içerdiğini gösterir (Peters ve Moldowan, 1993). $\alpha\beta$ -Moretan/ $\alpha\beta$ -hopan (moretan/hopan) oranı 0.52 – 0.57 olup, olgunlaşmamış aşamayı ve organik madde çökelim ortamının tuzlu olduğuna işaret eder (Waples ve Machihara, 1991; Peters ve Moldowan, 1993). Framboidal pirit bütün kömür damarlarında yaygın olarak izlenmiştir ve anaerobik ortam şartlarını yansıtır. Pr/Ph ve diasteran/steran oranları redoks koşullarındaki ve depolanma ortam şartlarındaki değişiklikleri belirtir (Peters ve Moldowan, 1993; Bechtel vd., 2005). Düşük Pr/Ph (Ten Haven vd., 1987) <0.5 ve <2 ile Pr/n C₁₇ oranının <0.5 olması anoksik ve hipersalin ortam ile büyük su kütlelerinin etkisini ifade eder. C₃₀ steranların değer olarak az veya hiç bulunmaması gösel ortam işareti olup, C₂₈ oranı ile diasteran/steran oranının çok düşük olması da limnik çökelim ortamlarını gösterir (Peters ve Moldowan, 1993). Bu veriler ışığında incelenen kömür örneklerinin denizden ve tatlı sudan zaman zaman etkilenmiş gösel bir bataklikta oluştuğu düşünülmektedir (Çizelge 8).

Kavak ve Toprak

Çizelge 8. m/z 217 kütle kromatogramlarında steranların pik tanımlamaları

Table 8. Sterane peak determinations on m/z 217 mass chromatograms

Pik Numarası	Bileşen Adı
1	C27 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20S)
2	C27 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20R)
3	C27 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20S)
4	C27 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20R)
5	C28 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20S)
6	C28 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20R)
7	C28 13β(H),17β(H)-DIASTERAN (20S)
8	C27 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20S)+C28 13α(H),17β(H)-DIASTERAN (20S)
9	C27 5α(H),14β(H),17β(H)-STERAN (20R)+C29 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20S)
10	C27 5α(H),14β(H),17β(H)-STERAN (20S)+C28 13α(H),17β(H)-DIASTERAN (20R)
11	C27 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20R)
12	C29 13β(H),17α(H)-DIASTERAN (20R)
13	C29 13α(H),17β(H)-DIASTERAN (20S)
14	C28 5α(H),14α(H)-17α(H)-STERAN (20S)
15	C28 5α(H),14β(H)-17β(H)-STERAN (20R)+ C29 13α(H),17β(H)-DIASTERAN (20R)
16	C28 5α(H),14β(H)-17β(H)-STERAN (20S)
17	C28 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20R)
18	C29 5α(H),14β(H),17α(H)-STERAN (20R)
19	C29 5α(H),14β(H),17β(H)-STERAN (20R)
20	C29 5α(H),14β(H),17β(H)-STERAN (20S)
21	C29 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20R)
22	C29 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20S)
23	C30 5α(H),14β(H)-17β(H)-STERAN (20R)
24	C30 5α(H),14β(H)-17β(H)-STERAN (20S)
25	C30 5α(H),14α(H),17α(H)-STERAN (20R)

Çizelge 9. m/z 191 kütle kromatogramlarında triterpanların pik tanımlamaları

Table 9. Triterpane peak determinations on m/z 191 mass chromatograms

Pik Numarası	Bileşen Adı
1	C19 TRICYCLICTERPAN
2	C20 TRICYCLICTERPAN
3	C21 TRICYCLICTERPAN
4	C22 TRICYCLICTERPAN
5	C23 TRICYCLICTERPAN
6	C24 TRICYCLICTERPAN
7	C25 TRICYCLICTERPAN (22S+22R)
8	C24 TETRACYCLICHOPAN (SECO)
9	C26 TRICYCLICTERPAN 22 (S)
10	C26 TRICYCLICTERPAN 22 (R)
11	C28 TRICYCLICTERPAN
12	C29 TRICYCLICTERPAN
13	C27 18 α (H)-22,29,30-TRISNORHOPAN (Ts)
14	C27 17 α (H)-22,29,30-TRISNORHOPAN (Tm)
15	17 α (H)-29,30-BISNORHOPAN
16	C30 TRICYCLICTERPAN
17	17 α (H)-28,30-BISNORHOPAN
18	C29 17 α (H),21 β (H)-30-NORHOPAN
19	C29 Ts (18 α (H)-30-NORHOPAN
20	C30 17 α (H) DIAHOPAN
21	C29 17 β (H),21 α (H)-30 NORMORATEN
22	OLEANAN
23	C30 17 α (H),21 β (H)-HOPAN
24	C30 17 β (H),21 α (H)-MORETAN
25	C31 17 α (H),21 β (H)-30-HOMOHOPAN (22S)
26	C31 17 α (H),21 β (H)-30-HOMOHOPAN (22R)
27	GAMMACERAN
28	HOMOMORETAN
29	HOMOHOPAN
30	C32 17 α (H),21 β (H)-30,31-BISHOMOHOPAN (22R)
31	C33 17 α (H),21 β (H)-30,31,32-TRISHOMOHOPAN (22S)
32	C33 17 α (H),21 β (H)-30,31,32-TRISHOMOHOPAN (22R)
33	C34 17 α (H),21 β (H)-30,31,32,33-TETRAKISHOMOHOPAN (22S)
34	C34 17 α (H),21 β (H)-30,31,32,33-TETRAKISHOMOHOPAN (22R)
35	C35 17 α (H),21 β (H)-30,31,32,33,34-PENTAKISHOMOHOPAN (22S)
36	C35 17 α (H),21 β (H)-30,31,32,33,34-PENTAKISHOMOHOPAN (22R)

Kavak ve Toprak

Çizelge 10. Gölbaşı kömür örneklerinin gaz kromatografi sonuçları.

Table 10. Gas chromatography results of Gölbaşı coal samples.

Örnek Kodu	Pr/Ph	CPI	n-Alkan Dağılımı	Açıklama
AOK-2	0.8	-	C ₁₄ -C ₂₀	Kömüre katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edilmiştir.
AOK-4	0.3	-	Karışım C ₂₂ -C ₃₀	Kömüre katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edilmiştir.
AOK-10	0.4	2.0	Karışım nC ₁₂ -nC ₃₃	Kömüre katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edilmiştir.
AOK-12	0.4	2.0	Karışım nC ₁₂ -nC ₃₃	Kömüre katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edilmiştir.
AOK-14	0.4	2.0	Karışım nC ₁₂ -nC ₃₃	Kömüre katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edilmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gölbaşı kömür sahasında Tersiyer yaşlı organik maddece zengin ve kömürlü serilerin organik jeokimyasal, organik petrografik ve kömür kalite değerlendirmesi yapılmıştır. Petrografik değerlendirme sonuçlarına göre Gölbaşı kömürleri hüminit grubu maseraller bakımından zengin, buna karşın liptinit ve inertinitçe fakirdir. Hüminit maseral grubunda ise gelinitler egemendir. Pirit içeriği oldukça yüksek olup, çoğunlukla framboidal oluşumludur. Hüminit (Ro) yansıma değerleri % 0.28 ile 0.516 arasında değişir ve diyajeneze karşılık gelen düşük olgunluk seviyesini belirtir. Kömürle birlikte bulunan karbonatlı ve killi düzeylerde yansıma değerleri daha düşüktür. T_{max} değerleri 414 ile 432 C° arasında değişir (ortalama T_{max} 422 C°). Bu değer olgunlaşmamış-erken olgun aşamayı gösterir. Alkan oranları yüksek resen ve asfaltenden dolayı oldukça düşüktür ve buna göre de olgunlaşma düşüktür. HI-T_{max} ve hidrojen indeksi-oksijen indeksi diyagramlarında TİP II-III ve TİP III organik madde tipi egemendir. Organik jeokimyasal analizlerde elde edilen parametrelerle kömür petrografi ve kömür kalite değerleri birbiri ile uyum göstermektedir.

İncelenen kömürlerin özellikle petrografik değerlendirmesi Alt-Bitümlü Linyit kömürleri işaret eder. Moretan/hopan ve C₃₂ homohopan izomerizasyon oranları diğer olgunluk parametreleri ile uyumlu olup, olgunlaşmamış aşamayı belirtir. Petrografik veriler gibi kömür kalite parametreleri de Gölbaşı kömürlerinin kömürleşme derecesi ile uyumludur, alkalen ve indirgen koşulları gösterir. Pristan/Fitan oranları 1'den düşük olup, anoksik koşullara işaret eder. Genelde, optik ve jeokimyasal veriler arasında iyi bir uyum bulunmaktadır ve tüm parametreler düşük litostatik basınç etkisini ve düşük olgunlaşmayı belirtir. Yüksek kül içeriği ve düşük kömürleşme derecesi Gölbaşı kömürlerinin kullanım potansiyelini sınırlamaktadır. Kömür kalite verileri, organik jeokimya ve organik petrografik analiz sonuçlarına göre incelenen kömürler düşük olgunluk düzeyindedir. Organik madde tipi ve miktarına göre gaz türüm potansiyeli olmasına karşın düşük olgunlaşma düzeyi nedeniyle bu potansiyelden bahsedilemez. Gölbaşı kömürlerin gölsel oluşumlu olduğu ve hipotokton özellikler gösterdiği elde edilen özelliklerden anlaşılmaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma DÜAPK-03-MF-85 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, yardımlarından dolayı Prof. Dr. M. Namık Yalçın'a (İstanbul Üniversitesi), Velat Alabaş'a (Dicle Üniversitesi), Kıvılcım Önen'e (Dicle Üniversitesi), Veysel Yalçındağ'a (Dicle Üniversitesi), Merve Fakılı'ya (Cumhuriyet Üniversitesi), Selçuk Gördük'e (DSİ) ve Adıyaman Soykan Kömür İşletmeleri'nin tüm personeline teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Altunsoy, M., Özçelik, O., 1993. Organik fasiyesler, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 43, 34-39.
- Arfaoui, A., Montacer, M., Kamoun, F., Rigane, A., 2007. Comparative study between Rock-Eval pyrolysis and bio-markers parameters: a case study of Ypresian source rocks in central-northern Tunisia. *Marine and Petroleum Geology*, 24, 566-578.
- ASTM, 1983. Annual book of ASTM standards. Gaseous Fuels; Coal and Coke (D-388-82, D-2798-79, D-3172-73, D-2799-72, D-3174-82, D-3175-82): 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103, 05.05, 520p.
- Aydoğan, M., 1985. Adıyaman-Gölbaşı-Harmanlı linyit havzası değerlendirme raporu, Ankara, MTA rapor no: 7695(yayınlanmamış), 23s.
- Bechtel, A., Saschenhofer, R.F., Zdravkov, A., Kostova, I., Gratzner, R., 2005. Influence of floral assemblage, facies and diagenesis on petrography and organic geochemistry of the Eocene Bourgas coal and the Miocene Maritza East lignite (Bulgaria). *Organic Geochemistry*, 36, 1498-1522.
- Boggs, S. Jr., 1987. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Merrill Publishing Company: A Bell&Howell Company, Columbus Toronto London Melbourne, 784p.
- Bray, E. E., Evans, E. D., 1961. Distribution of n-paraffins as a clue for recognition of source beds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 22, 2-15.
- Connan, J., 1993. Molecular geochemistry in oil exploration (in: M. L. Bordenave, Editor). *Applied Petroleum Geochemistry*, Editions Technip, Paris, 175-204.
- Diessel, K., 1986. The correlation between coal facies and depositional environments. *Advances in the Study of the Sydney Basin. Proceedings of 20th Symposium*, The University of Newcastle, 19-22.
- Durand, B., Niçaise, G., 1980. Procedures for kerogen isolation. In: Durand, B. (Ed.), *Kerogen, insoluble organic matter from sedimentary rocks*. Techniq, Paris, 35-53.
- Durand, B., Paratte, M., 1983. Oil potential of coals: a geochemical approach. In: Brooks, J. (Ed.), *Petroleum Geochemistry and Exploration of Europe*, The Geological Society Special Publication, 12, 255-265.
- Erik, Y.N., Sancar, S., Toprak, S., 2008. Hafik kömürlerinin (Sivas) organik jeokimyasal ve organik petrografik özellikleri. *Türkiye Petrol Jeologları Bülteni*, 20 (2), 9-33.
- Espitalié, J., La Porte, J.L., Madec, M., Marquis, F., Le Plat, P., Paulet, J., Boutefeu, A., 1977. Methodé Rapide De Caractérisation Des Roches Méres De Leur Potentiel Pétrolier Et De Leur Degré D"Évolution. *Rev. L"Inst. Francais pétrole*, 32 (1), 23-42.
- Espitalié, J., Deroo, G., Marquis, F., 1985. La pyrolyse Rock-Eval et ses applications (deuxième partie). *Revue Institut Francais du Pétrole*, 40, 755-784.
- Flores, D., 2002. Organic facies and depositional palaeoenvironment of lignites from Rio Maior Basin (Portugal). *International Journal of Coal Geology*, 48, 181-195.
- Fowler, M.G., Gentzis, T., Goodarzi, F., Foscolos, A. E., 1991. The petroleum potential of some

Kavak ve Toprak

- Tertiary lignites from northern Greece as determined using pyrolysis and organic petrological techniques. *Organic Geochemistry*, 17, 805-826.
- Georgakopoulos, A., Valceva, S., 2000. Petrographic characteristics of Neogene Lignites from the Ptolemais and Servia basins, Northern Greece. *Energy Sources*, 22, 587-602.
- Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Öz, D., Tuncalı, E., 1993. Türkiye Linyit Envanteri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 356s.
- Hubbard, B., 1950. Coal as a possible petroleum source rock. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 34 (12), 2347-2359.
- Hunt, J.M., 1995. *Petroleum Geochemistry and Geology*. W. H. Freeman and Company, New York, 743p.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), 1998. The new vitrinite classification. *Fuel*, 77, 349-358.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), 2001. The new inertinite classification. *Fuel*, 80, 459-471.
- Jordanidis, A. ve Georgakopoulos, A., 2003. Pliocene lignites from Apofysis mine, Amynteo basin, Northwestern Greece: Petrographical characteristics and depositional environment. *International Journal of Coal Geology*, 54, 57-68.
- İnan, S., 2007. Coalbed gas of biogenic origin in the miocene Soma Basin (Western Turkey). 23rd International Meeting on Organic Geochemistry, The Riviera International Conference Centre, Turkey, 2s.
- Jackson, K.S., Hawkins, P.J., Bennett, A.J.R., 1985. Regional facies and geochemical evolution of Southern Denison Trough. *Australian Petroleum Exploration Association Journal*, 20, 143-158.
- Kalkreuth, W., Keuser, C., Fowler, M., Li, M., McIntyre, D., Püttmann, W., Richardson, R., 1998. The petrology, organic geochemistry and palynology of Tertiary age Eureka Sound Group coals, Arctic Canada. *Organic Geochemistry*, 29, 799-809.
- Kavak, O., 2010. Petroleum properties of Karaboğaz formation in Adıyaman oil field at South East Turkey through organic geochemical studies. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 6 (562), 30-38.
- Kolcon, I., Sachsenhofer, R.F., 1999. Petrography, palynology and depositional environments of the early Miocene Oberdorf lignite seam, (Styrian Basin, Austria). *International Journal of Coal Geology*, 4, 275-308.
- Korkmaz, S., Kara Gülbay, R., 2007. Organic geochemical characteristics and depositional environments of the Jurassic coals in the Western Taurus of Southern Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 70 (4), 292-304.
- Kvenvolden, K.A., Simoneit, B. R. T., 1990. Hydrothermal derived petroleum examples from Guaymas Basin, Gulf of California, and Escabana Trough, north-east Pacific Ocean. *American Association of Petroleum Geologists*, 74, 223-237.
- Langford, F.F., Blanc-Valleron, M. M., 1990. Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydro-carbons vs. total organic carbon. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 74, 799-804.
- Moldowan, M., Seifert, W. K., E. J. 1985. Gallegos, Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 69, 1255-1268.
- Mukhopadhyay, P.K., Wade, J.A., Kruege, M.A., 1995. Organic facies and maturation of Jurassic/Cretaceous rocks, and possible oil-source rock correlation based on pyrolysis of asphaltenes: Scotian Basin, Canada. *Organic Geochemistry*, 22 (1), 85-104.

- Peters, K.E., 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using pro-grammed pyrolysis. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 70, 318-329.
- Peters K. E., Moldowan, J. M., 1993. The Biomarker Guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 363p.
- Soykan 1997. Adıyaman-Gölbaşı Soykan kömür işletmeleri tanıtımı ve gelişimi, Ankara, 135s.
- Stach, E., Mackowsky, M.-Th., Teichmüller, M., Taylor, G. H., Chandra, D., Teichmüller, R., 1982. Stach's Textbook of Coal Petrology. Gebrüder Borntraeger, Berlin, 535p.
- Teichmüller, M., Durand, B., 1983. Fluorescence microscopical rank studies on liptinites and vitrinites in peat and coals, and comparison with results of the Rock-Eval pyrolysis. International Journal of Coal Geology, 2, 197- 230.
- Teichmüller, M., Littke, R., Taylor, G.H., 1998. The Origin of Organic Matter in Sedimentary Rocks (In Taylor, G.H., Teicmüller, M., Davis, A., Diessel, C.F.K., Littke, R., Robert, P., (eds). Organic petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 704p.
- Ten Haven, H. L., De Leeuw, J. W., Rullkotter, J., Sinninghe Damste, J. S., 1987. Restricted utility of the pristane/phytane ratio as a paleoenvironmental indicator. Nature, 330, 641-643.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984. Petroleum Formation and Occurrence. Springer-Verlag, Berlin, 699p.
- Toprak, S., 1996. Alpagut - Dodurga (Osmancık - Çorum) bölgesi çevresindeki kömürlerin oluşum ortamları ve özelliklerinin belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora tezi, 168s (yayımlanmamış).
- Toprak, S., 2009. Petrographic properties of major coal seams in Turkey and their formation. International Journal of Coal Geology, 78, 263-275.
- Van Krevelen, D.W., 1961. Coal. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 514p.
- Waples, D. W., Machihara, T., 1991. Biomarkers for geologists-a practical guide to the application of steranes and triterpanes in petroleum geology. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 9, 91p.
- 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, 86 (4), 504-511.

Kavak ve Toprak