



Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



HAZRO DADAŞ (DİYARBAKIR) KÖMÜRLERİNİN ORGANİK JEOKİMYASAL VE PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

Orhan KAVAK^{*,a}, ve Selami TOPRAK^b

^a Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Bölümü, 21280-DİYARBAKIR

^b MMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, ANKARA

ÖZ

Anahtar Sözcükler:
Hazro kömürleri,
Organik Jeokimya,
Petrol türetimi, Organik
Petrografi, Permiyen
Kömürü.

Bu çalışma, Hazro–Dadaş (Diyarbakır) mevkiinde yer alan, bölgedeki tek kömür oluşumunun bulunduğu havzada yapılmıştır. Permiyen yaşlı kömürlerin kimyasal, petrografik analizleri yapılmış ve organik jeokimyasal özellikleri değerlendirilmiştir. Kömür kalite değerlendirilmesi, kimyasal (nem, uçucu madde, sabit karbon, kül) ve elementer analizler (C, H, O, S, N) yapılarak ortaya konmuştur. Hüminit yansıma değerleri organik maddece zengin ve kömürlü düzeylerde % 0.458 ve 1.141 arasında değişmekte olup, düşük olgunluk düzeyine karşılık gelmektedir. Bu parametre flüoresans renkleri, kalorifik değer (ortalama orijinal 3165; kuru 3432 Kcal/kg) ve ortalama T_{max} (418 °C) ile uyumludur. Organik petrografik analizler ve kimyasal analiz verilerine bağlı olarak, Hazro-Dadaş kömürlerinin düşük olgunlaşma derecesi gösterdikleri ve alt-bitümlü kömür, bitümlü kömür kömürleşme derecelerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun da muhtemelen, örtü tabakalarının kalın olmaması ve dolayısı ile litostatik basınç etkisinin düşük kalması sonucu oluştuğu tahmin edilmektedir. Rock-Eval analiz sonuçları Tip II/III karışımı ve Tip III kerojeni, ortalama 418 °C T_{max} değeri hidrokarbon türümü için olgunlaşmamış ve erken olgun düzeyi ifade eder. Kömürler baskın olarak hüminit maserallerinden meydana gelmekte, egemen olarak gelinit maserali, az miktarlarda da liptinit ve inertinit maseralleri içermektedir. Mineral maddeleri ise başlıca killer, kuvars ve kalsit minerallerdir. Hazro kömürlerinin limnik ortam bataklıklarında oluştuğu düşünülmektedir.

ABSTRACT

Keywords:
Hazro coals, Organic
Geochemistry, Oil
generation, Organic
Petrography Permian
Coal.

This study was carried out in Hazro-Dadaş (Diyarbakır) region which owns the only coal basin in the area. Chemical, petrographic analysis and organic geochemical evaluations of the Permian 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 and revealed. The huminite reflectances of organically abundant matter and coal levels were found to be between 0.458 and 1.141 %. This parameter complies with fluorescence colors, calorific value (average orijinal 3165 – 3432 Kcal/kg) and average T_{max} (418 °C). Hazro coals show low grade maturity and own sub-bituminous, bituminous coalification ranks. This is thought to be resulted from thin overburden and its possible low lithostatic pressure. Rock Eval analysis results show that Type II/III and III kerogen, with average T_{max} value is 418 °C and corresponding to the immature and early-mature rank for hydrocarbon generation. The coals are characterized with their abundance of huminite maceral group and gelinite maceral, with small amount of liptinite and inertinite macerals. Mineral matters of the Hazro-Dadaş coals are clay, quartz and calcite minerals. Hazro-Dadaş coals is thought to have deposited in limnic environment swamps.

* Başvurulacak Yazar : O. KAVAK, kavakorhan@gmail.com ; orkavak@dicle.edu.tr

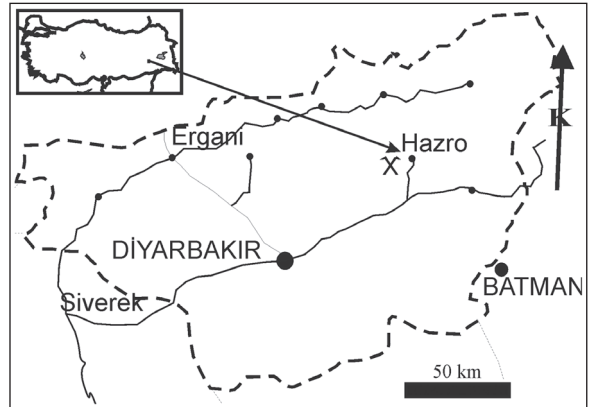
1. Giriş

Kömür ülkemizin önemli bir doğal enerji kaynağıdır. Teknoloji gelişimi ile birlikte insanlar bu enerji kaynağından farklı şekillerde yararlanma ihtiyacı duymuşlardır. Kömür, dünyada çoğunlukla termik santrallerde elektrik enerjisi üretiminde yakıt hammaddesi olarak, ısınmada, endüstride ve demir çelik sanayinde ve gaz üretiminde kullanılmaktadır. Ülkemizde de kömürlerin kullanımı benzerlik göstermekte, kömürlerin çok büyük bir miktarı termik santrallerde elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

Nüfusun hızla artışı ile birlikte, enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmesi, yeni rezervlerin bulunması ve farklı enerji kaynaklarının ortaya konmasını zorunlu kılmaktadır. Petrolün tükenebilir bir kaynak olması, rezervinin sınırlı olması, buna karşın petrokimyasal ürünlerin fazlaca kullanılması, var olan rezervler dışında yeni kaynakların belirlenmesini ve kömür kökenli hidrokarbon türüm potansiyellerinin ortaya konma çalışmalarının artmasını sağlamaktadır. Özellikle karasal sedimanlar içinde yer alan organik maddelerin gömülmesi, artan sıcaklık ile de petrol veya gaz üretebilecek değerleri sunabildiğini gösteren bazı çalışmalar, detay araştırmalar için temel oluşturmuştur (Hubard, 1950). Piroliz analizi gibi bazı laboratuvar incelemeleri sonucunda hümit özellikteki kömürlerin gaz türüm potansiyeli olduğu anlaşılmış ve çalışmalar bu alanda yoğunlaşmıştır (Durand ve Paratte, 1983; Espitalié vd., 1977, 1985; Kalkreuth vd., 1998). Petrol-kaynak kaya korelasyonu ve basen modelleme çalışmalarına göre Jura-Tersiyer yaş aralığındaki kömürlerin yüksek petrol türüm potansiyeli bulunmaktadır (Wilkins ve George, 2002). Aslında, petrol türümü tamamen kömürle ilgili değil daha çok kömürlü şeyllerle ilgili olduğu; Gıpslı Baseni Üst Kretase-Tersiyer hümit kömürleri, Avustralya ve Endonezya Basenleri; Kuzey Hollanda'daki Groningen, Australia Cooper Deep Baseni, Western Canada Baseni gibi alanlardaki kömürlerin gaz türüm potansiyeli bulunduğu belirtilmektedir (Hunt, 1995).

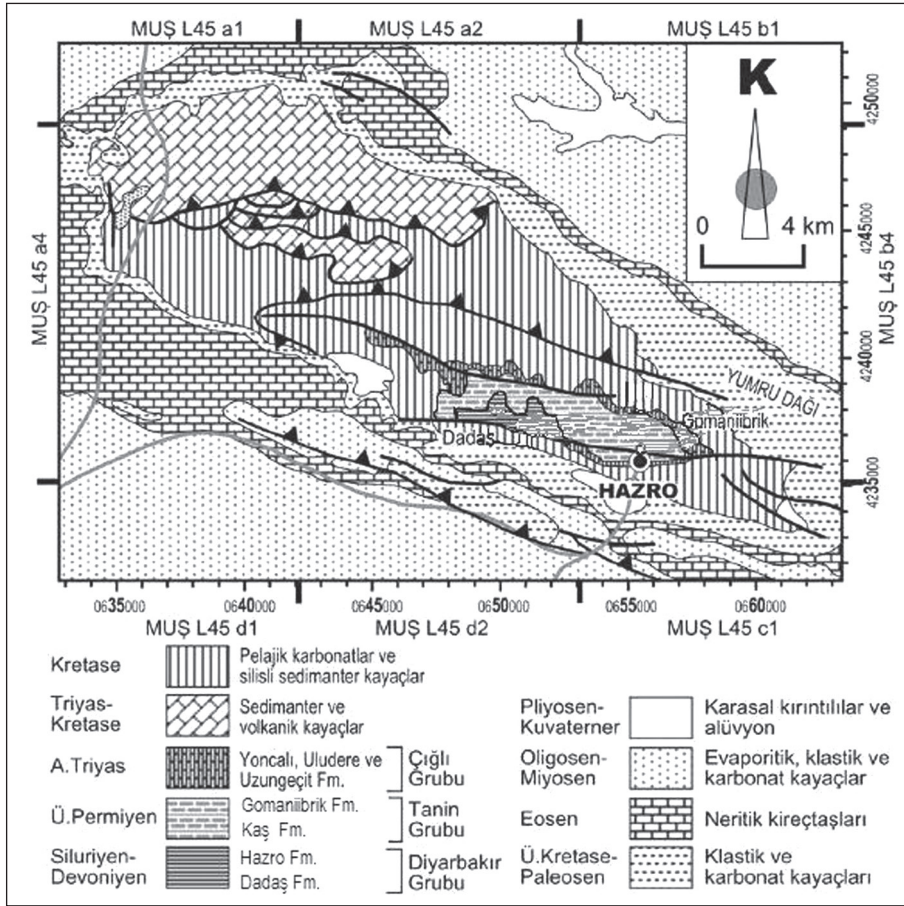
Türkiye'deki küçük rezervli kömür yatakları, özel şirketler tarafından işletilmekte ama ekonomik ve endüstriyel anlamda kullanılabilecek bir enerji kaynağı olarak yeterli özelliklere sahip bulunmamaktadır. Ülkemizde artan enerji talebi, petrolün çoğunlukla ithal edilmesi ve artan fiyatları yüzünden, kömürlerin daha verimli kullanımı ve kömür kökenli hidrokarbon türüm potansiyellerinin araştırılmasını gündeme getirmiştir. Bu konuda ülkemizde birçok çalışmalar yapılmış olup, günümüzde de bu konularda devam eden projeler bulunmaktadır (İnan, 2007; Yalçın vd., 2007; Kavak ve Toprak, 2011 ve 2012).

Ülkemizin kömür içeren formasyonları daha ziyade Batı, Orta Anadolu ve Trakya'da yaygınca bulunmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi jeolojik yapısı sonucu su, petrol, bakır, krom, demir, fosfat gibi yer altı kaynaklarına sahip olup, kömür yatakları açısından pek de iç açıcı değerler sunmamaktadır (Kavak, 2005). Diyarbakır'daki kömür oluşukları ise Hazro ilçesinde Dadaş ve Gomanibrik (Çökek su) köyleri arasında kalan bölgede Hazro antiklinali içinde yüzeylenmektedir (Şekil 1). Diyarbakır-Hazro Bölgesi'nde Paleozoyik-Alt Mesozoyik yaşlı birimler, Hazro Antiklinali çekirdeğinde yüzeylenen Diyarbakır, Tanin, Çığlı olarak bilinen birimlerden oluşmaktadır. Silüriyen-Alt Triyas yaş aralığına sahip bu litostratigrafi birimlerinden Diyarbakır Grubu Dadaş (Üst Silüriyen-Alt Devoniyen), Hazro (Alt Devoniyen) formasyonlarından; Tanin Grubu Kaş ve Gomanibrik (Üst Permiyen) formasyonları; Çığlı Grubu Yoncalı, Uludere ve Uzungeçit (Alt Triyas) formasyonları ile temsil edilmektedir (Perinçek vd., 1991; Yılmaz ve Duran, 1997; Günay, 1998; Bozkaya vd., 2009). Üst Permiyen yaşlı Gomanibrik ve Kaş formasyonları burada en önemli kömür içeren formasyondur. Şeyl ve kumtaşı ardalaşmasından meydana gelen, görsel nitelikte olduğu belirtilen formasyon iki önemli kömür seviyesi içermektedir (Şekil 2 ve 3). Yapılan detaylı etüt ve sondajlar sonucunda buradaki kömür, 0.2-1.9 metre kalınlığında, % 1.2 nem, % 30 kül içeriğine, 5100 Kcal/kg ortalama kalorifik değere ve 2.3 milyon ton toplam rezerve sahiptir (Gümüşsu,1988).



Şekil 1- İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Bu çalışmanın amacı Hazro-Dadaş (Diyarbakır) kömürleri sahasında kömürlerin organik jeokimyasal, organik petrografik ve kömür kalite özelliklerinin belirlenmesi ve bunların birbirleri ile olan ilişkilerinin ortaya konmasıdır. Bu kapsamda, daha çok yüzey örneklerinden yararlanılarak yapılan incelemelerle, kömürlerin endüstriyel özelliklerinin yanı sıra, hidrokarbon türüm potansiyelleri de belirlenmiştir.



Şekil 2- Hazro bölgesinin Jeolojik haritası (MTA, 2002; Bozkaya vd., 2009)

2. Jeoloji

İnceleme alanı, Diyarbakır iline bağlı Hazro ilçesinin kuzey batısındaki Dadaş ve Çökek su köyleri arasında kalmaktadır. Bu alanda MTA tarafından sondajlar yapılmış, sondajların bazılarında kömür kesilmiş, bazılarında da kesilememiştir.

Diyarbakır - Hazro - Dadaş kömürleri 0.2–1.9 metre kalınlıkta olup, Hazro antiklinali içinde yüzeylenmektedir. Antiklinal geniş bir Tersiyer havzası ortasında yükselim yapan Paleozoyik yaşlı birimlerden oluşmaktadır (Şekil 3). Devoniyen'den başlayan ve Permiyen'e kadar çıkan birkaç kaya birimi ile temsil edilen yaşlı formasyonlar Hazro Antiklinali'nin çekirdeğini oluşturmaktadır (Lebküchner, 1961).

Hazro ilçesinin yaklaşık 5 km kuzeybatısında antiklinalin çekirdeğinde yüzeylenen Dadaş formasyonu'nun tabanı gözlenmemekte, üst sınırı ise Hazro formasyonu ile uyumlu bir ilişki sunmaktadır. Dikme kesite göre yaklaşık 460 m bir kalınlığı olan,

tüm litolojileri tipik olarak içeren bu kesim boyunca detaylı örnekleme yapılmıştır. Başlıca şeyl, çamurtaşı ve kumtaşlarından oluşan formasyonun genel görünümü grimsi-yeşil renkli olup, alt seviyelerini 10-15 cm kalınlığında gri kumtaşı ve ender olarak kireçtaşı ara katkılı kahverengisi yeşil şeyl, orta seviyelerini kumtaşı ara katkılı, yer yer ardalımalı 40-50 cm kalınlığa sahip kahverengimsi yeşil şeyller oluşturmaktadır. Üst seviyelerini ise 15-20 cm kalınlığa sahip sarımsı-kahve renkli, solucan izli kumtaşı ve gri renkli, kumlu kireçtaşı ara katkılı, 30-40 cm kalınlığındaki yeşil çamurtaşları temsil etmektedir. Formasyon şelf ortamında çökelen, transgresif olarak başlayıp regresif olarak biten bir istif özelliğinde olup, organik madde türü ve oranına göre petrol için çok iyi bir kaynak kaya potansiyeli özelliği sunmaktadır (Bozdoğan vd., 1987; Kranendonk, 2004) (Şekil 2).

Hazro formasyonu Güneydoğu Anadolu bölgesinde sadece Diyarbakır ili Hazro bölgesinde yüzeylenmektedir. Hazro ilçesi Dadaş köyü çevresinde tipik olarak gözlenen birimin alt sınırı Dadaş formasyonu ile uyumlu, üst sınırı ise Kaş formasyonu

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	GRUP	FORMASYON	Kalınlık (m)	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
MESOZOYİK	KRETASE	ERKEN-GEÇ	MARDİN		350		Çörtlü kireçtaşı-dolomit
							Kireçtaşı-dolomit
MESOZOYİK	TRİYAS	ERKEN-ORTA	ÇİĞLİ	Uzungeçit	110-220		Alacalı renkli kumtaşı-şeyl ar dalanması
				Uludere Yoncalı			Kumlu kireçtaşı Killi kireçtaşı-dolomit-marn Sarımsı ve alacalı renkli marn Biyoklastik kireçtaşı
PALEOZOYİK	PERMIYEN	GEÇ	TANIN	Gomaniibrik	650		Açık kahve ve koyu gri renkli kireçtaşı ve açık gri-krem renkli dolomit ve ender dolomitik marn
							Gri renkli kumtaşı-şeyl ar dalanması
			Kaş	60		Açık kahverenkli yer yer petrol sızıntıları içeren dolomit ve dolomitik marn Gri fosilli kireçtaşı	
							Kömür bantlı sarımsı renkli kumtaşı-gri şeyl ar dalanması
	DEVONİYEN	ORTA		Hazro	110		Yeşil-kahverengi çamurtaşı Gri-yeşil renkli şeyl arakatkılı beyaz-krem renkli kumtaşı Gri-yeşil renkli dolomit, kumlu dolomit ve dolomitik marn
	SİLÜRİYEN-DEVONİYEN	ERKEN DEVONİYEN-GEÇ SİLÜRİYEN	DIYARBAKIR	Dadaş	460		Sarımsı kahverengi kumtaşı ve kumlu kireçtaşı arakatkılı grimsi yeşil çamurtaşı Gri kumtaşı ve sarı kireçtaşı arakatkılı kahverengimsi yeşil ve gri renkli şeyl

Şekil 3. Hazro bölgesinin Jeolojik Sütun Kesiti (Bozkaya vd., 2009)

ile uyumsuz ilişki sunmaktadır. Alt Devoniyen yaşlı ve yaklaşık 100 m kalınlığa sahip formasyon alt, orta ve üst seviyelerde farklı litolojilerle temsil edilmektedir. Alt seviyeleri 10-50 cm arasında değişen kalınlığa sahip gri renkli, yer yer 3 m kalınlık sunan pembemsi renkli, sert kumlu dolomit ara katkıları içeren yaklaşık 5 m kalınlığa sahip gri-yeşil dolomitik marnlar oluşturmaktadır. Orta seviyeleri kahve-bordo renkli, gevşek çimentolu 1 m kalınlığında kumtaşı ara katkıları içeren gri-yeşil renkli, 2 m kalınlığa sahip çamurtaşları ile başlamakta, üste doğru yaklaşık

15 m kalınlığında beyaz laminalar içeren krem renkli kumtaşlarına geçmekte, bu seviyeyi de 10 m kalınlığında kahverengi yamacıklı yeşil marnlar izlemektedir. Üst seviyeler 50 cm kalınlığında sarımsı kahve renkli, yer yer petrol sızıntıları içeren gevşek çimentolu kumtaşı ara katkıları ve sarımsı krem renkli, sert dokulu, 5 m kalınlığında dolomit tabakası içeren 1.5-2 m kalınlığa sahip genellikle yeşil, yer yer kahverengi marn görünümlü çamurtaşları ile temsil olunmaktadır (Bozkaya vd., 2009).

Hazro formasyonunun üst kısımlarında yer alan genellikle kömürlü şeyl, silttaşı, kumtaşından oluşan, Üst Permiyen yaşlı Kaş formasyonunda kömür oluşumları içermektedir (Yalçın vd., 2010; Stolle vd., 2011). Birim Hazro Antiklinalinin batısında, Dadaş Köyünün doğusunda yer alan Kaş mahallesinde tipik yüzeylemeler sunmaktadır. Formasyonun alt sınırı Hazro formasyonu ile uyumsuz, üst sınırı ise Gomanibrik formasyonu ile uyumlu bir ilişkiye sahiptir. Dikme kesite göre yaklaşık 60 m'lik bir kalınlığa sahip bu formasyonun flora açısından zengin olduğu, bol miktarda bitki parçaları, kömür, spor ve polen içerdikleri belirtilmiştir (Ağralı ve Akyol, 1967). Spor ve polen incelemelerine göre formasyonun yaşlı Alt Permiyen olarak saptanmıştır (Ağralı ve Akyol, 1967; Bozdoğan vd., 1987). Formasyon başlıca bordo, sarı, pembe ve yer yer beyaz kumtaşı ara katkılı gri-siyah kömür ve kömürlü şeyllerden oluşmaktadır. Kumtaşları 0.7-2 m, şeyller ise 0.3-0.5 m arasında değişen kalınlıklar sunmaktadır. Orta seviyelerdeki pembemsi bordo renkli kumtaşları formasyon için karakteristiktir. Kömürce zengin seviyeler altta 1 m, ortada 0.15 m, üstte ise 0.3 m ve 1 m kalınlıklar sunmaktadır. Kuvarsarenit olarak adlandırılan kumtaşları herhangi bir tane yönelme göstermemekte, orta-kötü boylanmalı olup, köşeli-az yuvarlaklaşmış bileşenlerden oluşmaktadır. Silis bağlayıcılı kumtaşlarında kuvars tanelerinin arası silt boyu kuvars kristalleriyle doldurulmuştur. Yer yer kil matriks (>% 5) bağlayıcılı olan kumtaşları killi kuvars arenit biçiminde tanımlanmıştır. Siltli şeyl veya çamurtaşlarında kuvars, feldispat tanelerinin yanı sıra, bol miktarda kil/serizit ve dolomit mineralleri bulunmaktadır.

Karbonat kayaçlarını sparitik dokulu dolomit (dolosparit, litoklastlı dolosparit) ve kireçtaşları (dolomitli çörtlü litosparit, dololito-biyomikrosparit) oluşturmaktadır. Dolomitik kayaçlar genellikle iri sparitik (şeker dokusu) dolomit kristallerinin yanı sıra; kalsedonik kuvars, glokonit ve özşekilli opak mineral (olasılıkla pirit) içermektedir. Bazı örneklerde zonlu doku sunan öz şekilli dolomit kristallerinin merkezinde alg parçacıkları yer almaktadır.

Üst Permiyen yaşlı Gomanibrik formasyonu Hazro ilçesinin kuzeydoğusunda yer alan Gomanibrik köyü çevresinde tipik yüzeylemeler sunmakta ve altındaki Kaş formasyonu ve üstündeki Çılgılı Grubu'na ait Uludere formasyonu ile uyumlu bir ilişkiye sahiptir. Genel dikme kesite göre yaklaşık 650 m kalınlığa sahip birim Bozdoğan vd. (1987) tarafından A, B ve C olmak üzere üç fasiyese ayrılarak incelenmiştir. Birime ait litolojilerin ölçülü tip kesitinde alt seviyeler yer yer petrol sızıntıları içeren karbonatlı kayaçlardan meydana gelmekte ve

bu kayaçlar gri, fosilli kireçtaşı, gri-siyah dolomit, gri-siyah dolomitik marn ve sarı, killi dolomitlerle temsil edilmektedir. Kireçtaşları 2-3 m, dolomitler 15-25 cm, dolomitik marnlar ise 0.5-1 m kalınlığında tabakalar oluşturmaktadır. Petrol oluşumları gri-siyah dolomitlerin 5-10 cm çapındaki gözeneklerinde kalsit kristalleri ile çevrelenmiş biçimde bulunmaktadır. Permiyen yaşlı birimlerde petrol sızıntıları ilk kez bu çalışmada belirlenmiştir. Orta seviyeleri bütünüyle kırıntılı kayaçlar oluşturmada, başlıca gri, pembemsi renkli ve yer yer demir oksitli kumtaşı, kiremit renkli çamurtaşı ve gri şeyller gözlenmektedir. Kumtaşları 10-20 cm yer yer 40 cm kalınlığında, killi seviyeleri oluşturan çamurtaşı ve şeyller ise 30-50 cm seviyeler halinde izlenmektedir. Üst seviyelerde alt seviyeye benzer biçimde karbonatlı kayaçlar egemendir. Bu seviyedeki litolojiler genel olarak sarımsı veya kiremit renkli sıvamalı olup, başlıca grimsi krem ve beyazımsı krem renkli dolomit, yeşil ve yeşilimsi krem renkli dolomitik marn ve gri renkli kireçtaşı ile temsil olunmaktadır. Dolomitler killi seviyeler arasında 30-40 cm kalınlığındaki çıkıntılar biçiminde gözlenmektedir. Dolomitik marn ve killi dolomitlerle temsil edilen killi seviyeler dolomitlere göre daha kalındır (0.4-1.0 m). Formasyonun alt ve üst seviyeleri sığ denizel, orta seviyeleri akarsu ve gel-git etkili delta düzlüğü ortamını karakterize etmektedir (Bozkaya vd., 2009).

Dolosparitik dolomitlerde yarı öz şekilli dolomit kristalleri genellikle iri sparitik (şeker dokusu), daha az da mikrosparitik dokuya sahip olup, az miktarda kuvars ekstra klastları içermektedir. Biyomikritik kireçtaşları bol neritik fosil kavkaları içermesiyle karakteristiktir. Kireçtaşlarının herhangi bir breşik ve stilolitik doku sergilememesi, bunların erken diyajenetik bir evrim geçirdiğinin işareti olarak değerlendirilmiştir. Kumtaşları (kuvars arenit) gevşek çimentolu olup, başlıca yarı köşeli kuvarslardan oluşmakta ve orta dereceli boylanma göstermektedir (Şekil 3). Gomanibrik formasyonu Altta açık gri, gri renkli az petrol emareleri içeren kumtaşı ile başlayan, orta kesimde gri renkli şeyl ve üste doğru kırmızımsıtrak sarı renkli silttaşı, kumtaşı ile devam eden formasyon en önemli birim konumdadır. Formasyon Hazro'nun kuzey doğusundaki Gomanibrik (Çökek su) köyü yöresinde en geniş yayılımı sunarak batıya doğru Dadaş Köyüne kadar uzanmaktadır.

Permiyen yaşlı Gomanibrik ve Kaş formasyonlarında bulunan kömürlerin görünür rezervi 12.500 ton, muhtemel rezervi 400.000 ton, mümkün rezervi 1.8 milyon ton olmak üzere toplam 2.3 milyon ton olarak tespit edilmiştir. Bölgede çıkarılan kömürlerin değişik kullanım olanakları olmasına karşın, sadece evlerde ısınmada kullanılmaktadırlar

(GümüŖsu,1988). Bölgede yüzeyleyen jeolojik birimler oluŖum ortamları nedeniyle daha geniş bir kömür oluŖumuna olanak sağlamamıştır (Ŗekil 2, 3 ve 4) (Lebküchner, 1969).

DadaŖ Köyünden Gomanibrik Köyüne kadar uzanan bir hat içinde kömürler mostra vermekte, üst damar DadaŖ bölgesinde ama alt damar Gomanibrik bölgesinde iŖletilebilecek potansiyellere sahiptir. Üç kömür damarından oluŖmuş kömürlerin orta damarı iŖletilmek için uygun kalınlık ve özellikte değildir (Lebküchner, 1976). Kömür içeren formasyonda üst kömürün kalınlığı 0.80-1.20 metre, alt kömürün kalınlığı ise 0.20-1.90 metre arasında bir kalınlık göstermektedir. Gomanibrik bölgesinde iŖletilmiş olan seviye alt kömür seviyesidir. Geçmiş yıllarda bölgedeki kömür özel Ŗirketler tarafından iŖletilmiş olup, günümüzde herhangi bir iŖletilme durumu söz konusu değildir. Kömürlerin kimyasal özellikleri çizelge 1’de verilmiştir. Kalorifik değeri yüksek olan bu kömürlerin (5000 Kcal/kg), kül değeri ortalama % 25 civarındadır ve nemi çok düşüktür (ortalama % 2). Bu kömürlerin tek düşündüren yanı, kükürt bileŖenlerinin nispeten yüksek oluŖudur.

Çizelge 1- Diyarbakır Hazro yöresi kömürlerinin bazı kimyasal özellikleri (Lebküchner, 1961).

Analizler	Değişim Aralıkları
Kalorifik Değer (AID) (Kcal/kg)	5049 – 5588
% Nem	1.17 – 2.34
% Kükürt	5.66 – 10
% Kül	23 – 30

Çığlı Grubu alttan üste doğru Yoncalı, Uludere ve Uzungeçit olarak adlandırılan üç formasyondan oluŖmaktadır. Bu çalışmada formasyonlar geniş yayılımlar Ŗeklinde gözlenememiş, bu yüzden iyi ayrırtlanamayıp, grup düzeyinde ele alınmıştır. Çığlı Grubu Hazro ilçesinin kuzey ve batısı boyunca uzanan Gomanibrik formasyonunu çevreler biçimde izlenmektedir. Birimin tabanı ve tavanı gözlenememiş olmakla birlikte, Hazro bölgesinde Çığlı Grubunun alt ve üst sınırının sırasıyla Gomanibrik Formasyonu ve Mardin Grubu ile uyumsuz bir ilişki sunduğu belirtilmiştir (Günay, 1998). Çığlı ve Mardin Grubu çalışma konumuzla bağlantılı olmadığından dolayı detaylandırılmamıştır.

3. Materyal ve Yöntemler

Kömür yarmalarından sistematik olarak 13 adet numune, yaklaşık 5–10 cm aralıklarda kanal örneği

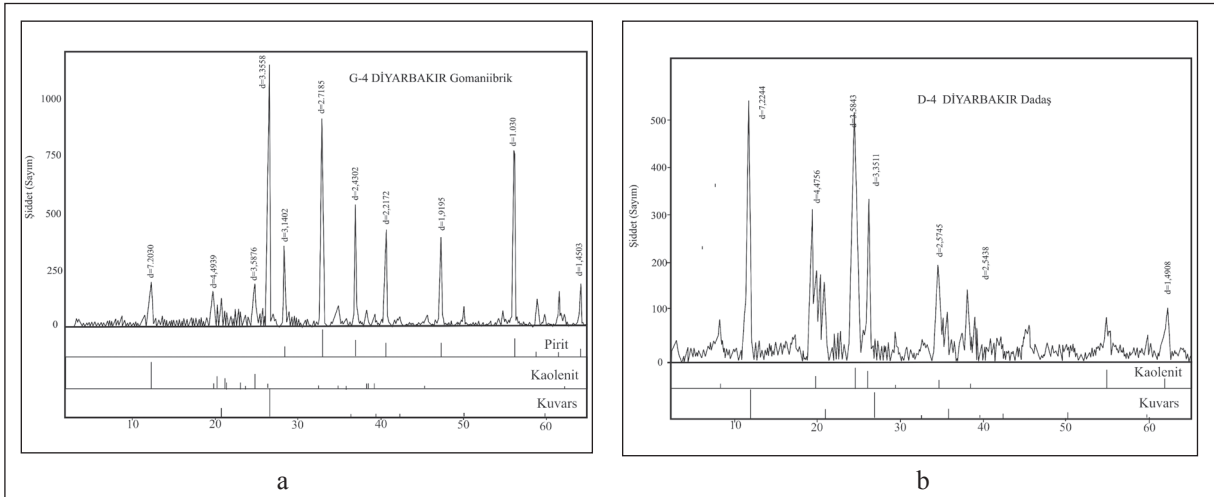
Ŗeklinde alınmıştır. Her kömür damarından sistematik aralıklarda kanal örneklerinin alımı nedeniyle organik jeokimyasal ve organik petrografik analizler tam olarak kömür damarını temsil edebilmektedir (Ŗekil 4). Kömürlü serideki inorganik bileŖenlerin özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla 10 örnekte X-ray tüm kayaç difraksiyonu incelemesi TPAO Ankara Araştırma Merkezi laboratuvarlarında yapılmıştır (Ŗekil 5). Kimyasal ve element analizler için kömür örnekleri ASTM (1983) standartlarına göre öncelikle tane boyu <100 mesh olacak biçimde öğütülerek homojenleştirilmiş ve analiz edilmiştir. Bu analizler MTA Genel Müdürlüğü MAT Dairesi (Ankara) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kömürde kimyasal analiz (toplam nem, kül, uçucu madde, sabit karbon ve kalorifik değer) incelemeleri IKA 4000 adyabatik kalorimetre ile TÜBİTAK MAM laboratuvarlarında yapılmıştır. Toplam kükürt, karbon, hidrojen ve azot bileŖimlerini kapsayan elementer analizler ise aynı laboratuvarda LECO analizatörü ile belirlenmiştir.

Petrografik analiz için 13 adet örnek ICCP (1998 ve 2001) standart tekniklerine göre hazırlanmıştır. Maseral ve mineral bileŖimlerinin belirlenebilmesi amacıyla yansımali, beyaz ışık ve flüoresan mikroskopları kullanılmıştır. Petrografik ve mineralojik bileŖim değerlendirmeleri Leitz MPV-SP mikroskobu ile saptanmış, hüminit, liptinit ve inertinit maseral grup oranları belirlenmiştir. Parlatılmış örnekler, önce “32x” 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 Rmax ve Rmin değerleri) ayrı ayrı, safir standardı (% 0.534) kullanılarak tespit edilmiştir. Yansıma ölçümlerinde, “50x” yağlı objektifler kullanılmıştır. Örneklerde yansıma ölçümlerinde kırılma indisi (n) 1.518 olan özel yağlar kullanılmış ve minimum 100 nokta ölçümü baz alınmıştır. Bunun için “MPV Geor” software programı kullanılmıştır. Örnek hazırlama, petrografik analizler ve yansıma ölçümleri MTA, MAT Dairesi laboratuvarında (Ankara) gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanından alınan 5 adet örnekte standart palinolojik yöntemlerle (Durand ve Nicaise, 1980; Tissot ve Welte, 1984) kerojen slaytları hazırlanmış ve alttan aydınlatmalı mikroskopta değerlendirilerek bileŖimini oluŖturan organik madde türleri, kerojen alterasyon ve spor renk indeksleri belirlenmiştir. Organik petrografik (kerojen çalışmaları) değerlendirmeler TPAO Araştırma Merkezi laboratuvarlarında (Ankara) yapılmıştır.



Şekil 4- İncelenen Kaş formasyonu kömürlerin arazi görünüşleri (a,b,c,d) (Dadaş ve Gomanibrik köyü)



Şekil 5- a. G-4 Örneğinin XRD-tüm kaya çekimi b. D-4 Örneğinin XRD-tüm kaya çekimi

Hidrokarbon ana kaya özellikleri TOK-Rock Eval piroliz analizi ile toplam 13 örnekte değerlendirilmiştir (Espitalié vd., 1985; Peters, 1986). Biyomarker analizleri için Rock-Eval, TOK sonuçlarına göre ayırtlanan 7 örnek yaklaşık 40 saat Diklorometan ile ASE 300 (Accelerated solvent extraction) da çözme işlemine tabi tutulmuştur. Çözünmeden sonra özütler kolon kromatografi ile asfalttan arındırılarak, doymuş kısımları Agilent 6850 tüm özüt GC, Gaz Kromatografi-Kütle spektrometre analizleri ise

Agilent 7890A/5975C GC-MS aleti ile TÜBİTAK MAM laboratuvarlarında yapılmıştır.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Kimyasal ve Element Analizleri

Kömür örneklerinin elementer analiz değerleri C, H, N+O, S den oluşmaktadır. İncelenen 10 örnekteki egemen C değeri % 23.11-25.11 arasındadır. H değeri

% 2.12-2.33, N+O değeri % 10.85–12.97 ve S değeri % 0.60– 0.65 arasında değişmektedir. Havada kuru örneklerde ise yine egemen C değeri, % 35.16– 36.42 arasında değişim göstermektedir. H değeri % 3.12– 3.32, N+O değeri % 15.09–16.1 ve S değeri % 1.08– 1.12 arasında değişmektedir (Çizelge 2).

Kömür örneklerinin kül bileşenleri ise 15 örnekte belirlenmiştir. Baskın bileşen SiO_2 olup, % 32.40 – 44.53 arasında değişim göstermektedir. $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ değeri % 15.00-18.11, Fe_2O_3 değeri % 7.60– 8.77, CaO değeri % 12.69–20.10, MgO değeri % 4.45–5.80, SO_3 değeri % 10.50–16.36 arasında ve $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ değeri % 1.35–1.52 arasında değişim göstermektedir (Çizelge 3). Yüksek orandaki kalsiyum, bitkisel kalıntıların bakteriyel bozunmasına işaret etmekte

olup, sülfatların bakteriyel indirgenmesi ile de, kömürlerde gelinit ve pirit oluşmuştur. Kömürler ve killi düzeylerde pirit oranı oldukça yüksek olup, genellikle framboidal pirit şeklinde izlenmektedir. Bu pirit tipi bakteri faaliyetlerine işaret etmektedir. Piritler, mineral ve maseraller içinde değişik biçim ve kalınlıklardaki bantlar, boşluk dolguları ve çatlak dolguları şeklinde izlenirler.

Çizelge 4’te incelenen kömür örneklerindeki toplam nem, kül, kükürt, uçucu madde ile kalori değerleri, çizelge 5’te ise petrografik bileşenleri ve hüminite yansıma (R_{max}) değerleri sunmaktadır. Çizelge 5’te yansıma değerleri ve kömürleşme dereceleri detaylı olarak verilmiştir. İncelenen örneklerde kül içeriği yüksek olup (% 20.51–76.42, orijinal

Çizelge 2- Hazro kömürlerinin element analizleri değerleri

Örnek No	Orijinal Numunede				Kuru Numunede			
	C (%)	H (%)	(N+O) (%)	S (%)	C (%)	H (%)	(N+O) (%)	S (%)
G1	23.11	2.16	12.80	0.62	36.30	3.31	15.40	1.09
G2	24.43	2.12	10.85	0.64	36.42	3.15	15.63	1.11
G4	23.54	2.15	11.26	0.64	35.55	3.17	16.11	1.11
D4	24.71	2.32	12.30	0.61	35.72	3.14	15.56	1.07
D5	25.07	2.17	12.20	0.60	35.69	3.12	15.27	1.09
D6	24.10	2.20	12.97	0.65	36.01	3.32	15.12	1.12
D02	25.11	2.15	12.04	0.63	35.16	3.18	15.45	1.08
HGD	24.24	2.14	10,98	0.63	35.82	3.20	15.55	1.09
HDO	23,11	2.33	12.65	0.62	36.12	3.19	15.09	1.10
DO7	23.94	2.16	11.40	0.65	35.45	3.21	15.80	1.07

Çizelge 3- Hazro kömür örneklerinin kül bileşimleri.

Örnek No	SiO_2 (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO_3 (%)	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (%)
G1	44.53	17.10	8.77	12.69	4.85	10.66	1.40
G2	32.40	17.1	8.20	20.05	4.50	16.33	1.42
G4	42.35	15.70	7.84	14.30	5.80	12.50	1.51
D4	33.49	18.11	8.10	18.09	4.50	16.36	1.35
D5	43.46	16.10	8.70	14.79	4.87	10.60	1.48
D6	35.44	15.00	8.22	20.10	4.60	16.24	1.40
D02	41.30	15.14	8.20	13.62	4.80	15.44	1.50
HGD	34.35	15.20	7.60	13.30	4.45	10.50	1.41
HDO	40.15	16.30	8.51	15.69	4.70	12.60	1.44
DO7	41.20	17.05	8.60	18.23	4.50	15.74	1.52

Çizelge 4- Hazro kömür örneklerinin kısa analiz sonuçları

Örnek	Nem %	Uçucu Madde %	Kül %	Toplam Kükürt %	Üst Isıl Değer (Kcal/kg)	Alt Isıl Değer (Kcal/kg)
G1	6.49	17.08	76.42	0.07	-	-
G2	4.45	16.67	66.59	1.49	1217	1134
G4	1.61	33.82	32.10	10.27	5244	5028
D4	10.83	19.68	65.45	0.22	2	-
D5	8.85	17.57	72.83	0.12	1	-
D6	10.36	27.83	40.87	0.85	2747	2569
D02	8.58	27.36	51.61	1.15	1842	1693
HDG	22.38	29.32	20.51	0.75	3580	3314
HDO	2.62	22.75	48.73	1.87	3354	3215
DO7	2.47	26.74	42.77	1.74	4177	4005
Kuru Numunede						
Örnek	Uçucu Madde %	Kül %	Toplam Kükürt %	Üst Isıl Değer (Kcal/kg)	Alt Isıl Değer (Kcal/kg)	
G1	18.27	81.72	0.08	-	-	
G2	17.44	69.68	1.56	1274	1212	
G4	34.37	32.62	10.43	5329	5120	
D4	22.07	73.40	0.25	2	-	
D5	19.27	79.90	0.13	1	-	
D6	31.04	45.59	0.95	3065	2929	
D02	29.93	56.45	1.26	2015	1904	
HDG	37.77	26.42	0.97	4612	4428	
HDO	23.36	50.04	1.92	3444	3316	
DO7	27.41	43.85	1.78	4283	4121	

örnekte; % 26.42–81.72 kuru örnekte), petrografik değerlendirmelerde izlenen mineral madde miktarı ile uyumludur. Bu veri acı sulu ortam koşullarında oluşan kömürlerdeki yoğun organik madde bozunması ve bunun sonucunda inorganik bileşenlerin artışına işaret etmektedir (Teichmüller vd., 1998). İncelenen kömürler ortalama % 0.07–10.25 orijinal, 0.08–10.43 kuru numunede kükürt ve yüksek kül değerleri ile oldukça yükselmiş karasal ortamı belirtir. Uçucu madde içeriği (% 16.67– 33.82 orijinal, % 17.44–37.77 kuru) ve element analiz verileri (Çizelge 2), kömürleşme derecesi ile uyumluluk göstermektedirler (Çizelge 4 ve 5). Bu tablolardan da anlaşılacağı gibi kömürlerin kömürleşme dereceleri alt bitümlü ve bitümlü kömür derecelerine karşılık gelmektedir (Stach vd., 1982). Kömürlerin yansıma değerlerinin kısmen yüksek (bitümlü kömür) dereceler göstermesinin, yöreye yakın tektonik etkileşimlerden kaynaklandığı sanılmaktadır. Üst ısıl değerler orijinal örnekte 1217-5244 Kcal/kg (ortalama 3165 Kcal/

kg), kuru örnekte 1274-5329 (ortalama 3432 Kcal/kg) arasında değişmekte olup, ASTM kömürleşme derecesinin belirlenebilmesi için kalori değerleri BTU/lb'ye dönüştürülmüş, kuru mineral maddesiz bazda değerlendirilmiştir. Element analiz sonuçları da çizelge 4 ve 5'teki gibi kömürleşme dereceleri ile uyumluluk içindedir ve bu kömürlerin Alt bitümlü B/C-Bitümlü kömür tipinde olduğunu işaret etmektedir (ASTM D388) (Çizelge 6) .

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

Çizelge 5- Hazro kömür örneklerinin petrografik analiz değerleri (% olarak).

No	Örnek	Hüminit										Liptinit				İnertinit				Pirit				İNOR (Cl+Qz +Ca)
		HTEL			DHUM			HCOL		TOP HUM	Sp	Alg	Cut	TOP LJP	Fus	Ma	TOP İNER	Fr	Eu	Fil	TOP PIR			
		Tx	Tul	Eul	Att	Dn	Gel	Kor																
1	G1	6	5	4	2	6	28	1	52	3	1	1	5	1	3	4	3	1	1	5	34			
2	G2	2	3	4	2	4	32	1	48	2	0	1	3	1	3	4	3	1	0	4	41			
3	G4	3	4	5	2	7	28	1	50	2	2	1	5	1	3	4	2	1	1	4	37			
4	X	3	3	4	2	5	29	1	47	2	1	1	4	1	3	4	3	1	0	5	36			
5	D4	3	4	4	0	5	26	1	43	2	2	0	4	2	3	5	2	0	0	2	46			
6	D5	1	2	3	0	3	24	0	33	2	0	0	2	0	3	3	2	0	0	2	60			
7	D6	3	5	6	3	7	23	2	49	3	2	1	6	1	3	4	3	1	1	5	36			
8	XX	2	4	5	2	7	26	2	48	2	2	1	5	1	3	4	3	1	0	4	35			
9	D02	2	4	7	3	8	29	2	55	3	2	1	6	2	6	8	2	1	0	3	28			
10	HDG	7	4	4	3	7	23	2	50	2	1	1	4	2	4	6	4	1	1	6	40			
11	XXX	7	5	2	3	6	24	2	49	2	1	1	4	2	3	5	4	0	1	5	32			
12	HDO	3	2	2	5	4	29	1	46	3	2	1	6	1	3	4	4	1	0	5	44			
13	DO7	4	3	4	2	6	30	2	51	2	1	0	3	1	4	5	3	0	1	5	41			

HTEL- Telohüminit; DHUM- Detrohüminit; HCOL- Gelohüminit; TOP- toplam; HUM- hüminit; LJP- Liptinit; İNER- İnertinit; PIR- Pirit; Cl- Kil; Qz- Kuvars; Ca- Kalsit; İNOR- İnorganik Madde; Tx- Tekstinit; Tul- Teksto-ülminit; Eul- Eu-ülminit; Att- Attrinit; Dn- Densinit; Gel- Gelinit; Kor- Korpo-ülminit; Sp- sporinit; Alg- Alginit; Cut- kütinit; Fus- Füzinit; Ma- Makrinit; Fr.- Framboidal; Eu- Euhedral kristal; Fil.- Çatlak ve boşluk dolgusu pirit.

Çizelge 6- Hazro kömür örneklerinin yansım analiz sonuçları ve kömürleşme dereceleri.

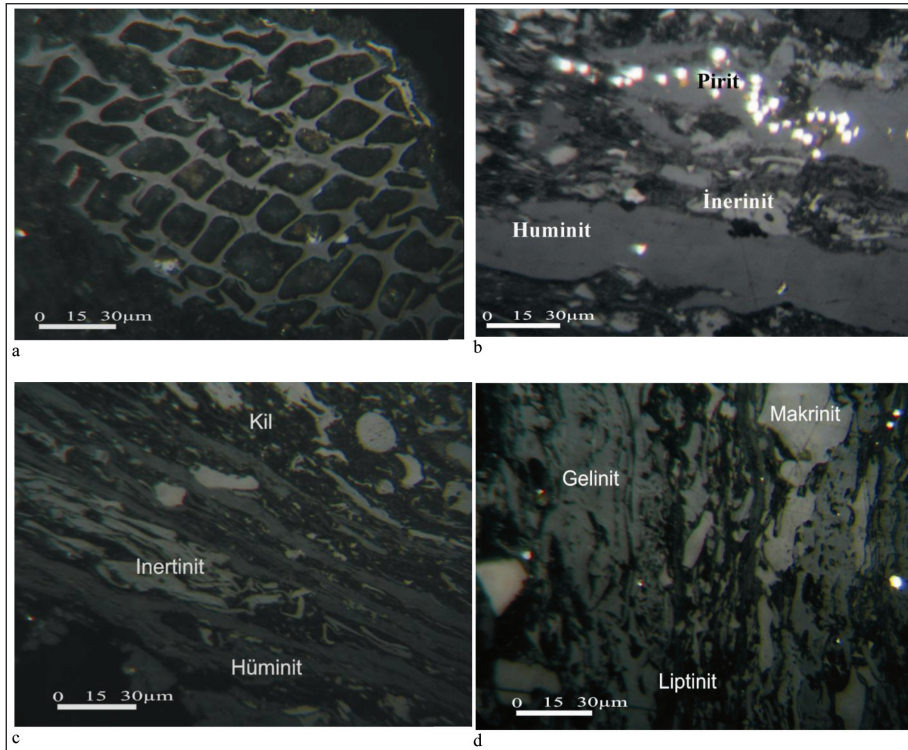
Sıra No	Örnek	%Rmax	%Rmean	%Rmin	%St.D.	Kömürleşme Derecesi
1	G1	0.478	0.381	0.281	0.013	Alt Bitüm Kömürlü Kıltaşı
2	G2	1.02	0.912	0.850	0.02	Killi Bitümlü Kömür
3	G4	0.458	0.440	0.399	0.019	Alt Bitümlü Kömür
4	D4	0.527	0.496	0.412	0.014	Alt Bitüm Kömürlü Kıltaşı
5	D5	1.141	0.992	0.864	0.019	Bitüm Kömürlü Kıltaşı
6	D6	0.966	0.919	0.851	0.014	Bitümlü Kömür
7	D02	0.922	0.888	0.820	0.019	Bitümlü Kömür
8	HDG	1.076	1.003	0.968	0.038	Bitümlü Kömür
9	HDO	0.569	0.539	0.518	0.013	Alt Bitümlü Kömür
10	DO7	0.658	0.613	0.493	0.014	Bitümlü Kömür

4.2. Petrografik Değerlendirmeler

İncelenen kömür istifinde, egemen olarak mat bantlar ve bantlı litotip ardalanmaları görülmektedir. Kömür örneklerinde petrografik değerlendirmeler Stach vd. (1982)'de belirtilen özelliklere göre yapılmış olup liptinit, hüminit (vitrit) ve inertinit maseralleri

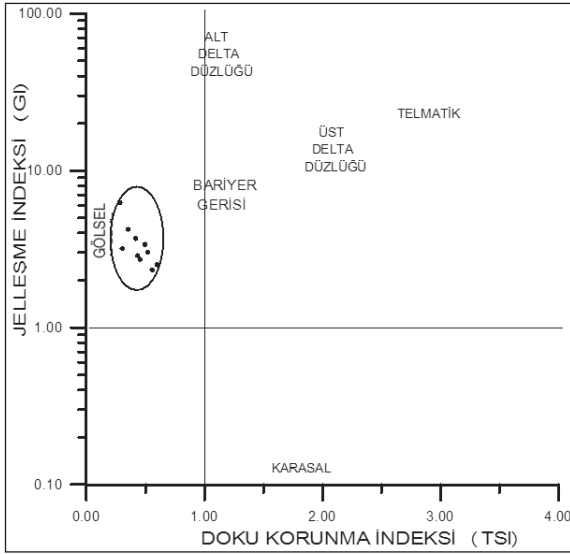
tanımlanmış (Şekil 6), ortamsal yorumlamaları Diessel (1986) grafiği kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).

Petrografik veriler üçgen diyagramlarda (Şekil 8) ve çizelgelerde (Çizelge 5 ve 6) de sunulmuştur. Yapılan petrografik analiz sonuçlarında,



Şekil 6- Hazro Dadaş Kömürlerinin Petrografik görüntüleri.

- Kömürlerin tipik hücre dokusu gösteren hüminitleri (tekstinit) ve hücre dolgusu kil mineralleri.
- Kömürlerde gözlemlenen gri renkli hüminit maseralleri (gelinit), beyaz renkli inertinitler (makrinit) ve piritler.
- Kömürlerde izlenen inertinit (makrinit) maseralleri, yaygın gri renkli hüminitler ve koyu renkli kil mineralleri.
- Kömürlerin yaygın gri renkli gelinit ve beyaz makrinit maseralleri, ince koyu renkli liptinitleri.



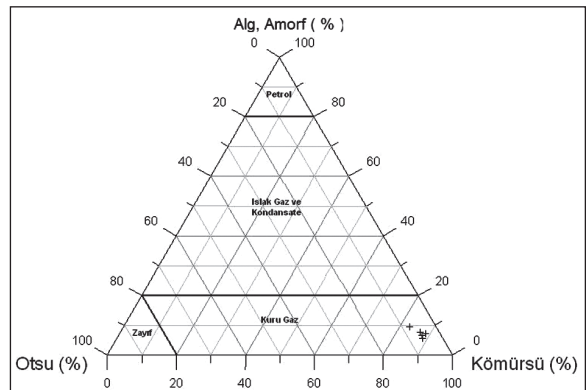
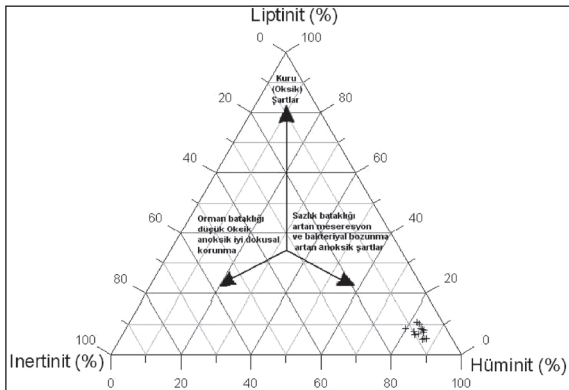
Şekil 7- Hazro kömürlerinin, çökeltme ortamını belirleyen Diessel (1986) grafiğindeki yeri.

petrografik analizlerde kömürlerin hüminit (vitrinite) maseral ağırlıklı bir bileşene sahip olduğu ve gölsel oluşumlu bir yapıya sahip oldukları tespit edilmiştir. Petrografik gözlemler, turba gelişimi sırasında heterojen bir malzeme birikiminin de olduğunu göstermektedir. Kömürlerde hüminit maseral dağılımı % 33–55 arasında olup, gelinit en baskın maseral'dır. Gelinitler hüminit maseral grubunda hücresel yapı göstermeyen jelleşmiş özellikteki maserallerdir. Örnekler içerisinde kırıntılı maserallerden densinit'ler oldukça yaygındır (Çizelge 5). İneritinit ve liptinit maseral grupları hüminit grubuna göre daha düşük orandadır.

Liptinit bileşimi % 2 – 6 arasında belirlenmiş olup, sporinit, alginit ve kütinit maseralleri en yaygın liptinit maseralleridir. İneritinit grubu maseralleri

ise % 3-8 arasında değişmekte ve başlıca makrinit ve füzinin'ten oluşmaktadır (Çizelge 5). Maserall gruplarının oranları çizelge 5'te ve yaygın maseraller Şekil 6'da, kömür olgunlaşma değerleri ve yansıma ölçüm değerleri de çizelge 6'da görülmektedir. Buna göre kömürler % 0.458 ve 1.141 Rmax yansıma değerleri ile alt bitümlü kömür ve bitümlü kömür kömürleşme dereceleri göstermektedir. Yansıma değerinin bu kadar farklı bir değişim göstermesinin nedeninin, yörenin kısmi tektonik etkileşimlerden kaynaklandığı sanılmaktadır.

Yüksek gelinit miktarı kalsiyumca zengin kömürlerin karakteristik özelliği olup, füzinin ve makrinit gibi inerinin maseralleri batakliklarda gelişen oksidasyon şartlarının artışı ve azalan su düzeyini göstermektedir (Şekil 6 b,c ve d) (Flores, 2002; Stach vd., 1982). İncelenen kömürler ayrıca sporinit ve kil mineralleri bakımından zengin olup (Şekil 6a ve c), sazlık ortamındaki su altı koşullarında, yüksek bakteri faaliyeti ile bozunmayı işaret etmektedir. Mineral madde oranı % 14–30 olup, başlıca karbonatlar, killer ve biyolojik faaliyetler sonucu oluşan silikat minerallerinden oluşmaktadır (Şekil 6a 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 6d de kömürlerde mikro izler halinde bile kuruma çatlaklarının görülmesi yüksek oranlarda su tutan kil mineralleri gibi mineral maddelerin fazla olduğunu ve nem kaybının olduğuna işaret etmektedir. Yansıma değerlerinin nispeten yüksek oluşu da, muhtemelen, kömürlerin bulunduğu ortamın, çok önemli tektonik hatlara (Arap Kalkanı Sütür Zonu'na ve ilgili faylara) yakınlığındadır.



Şekil 8- a, b. Hazro Dadaş kömür örneklerinin organik madde tiplerinin üçgen diyagramları.

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 incelenen kömürlerde, ayrıca Amynteo Basenindeki (Yunanistan) - Pliyosen yaşlı linyitlerde de benzer şekilde izlenmiştir (Iordanidis ve Georgakopoulos, 2003). TPI ve GI (Gelification Index) değerleri Diessel (1986)'ya göre belirlenmiştir (Şekil 7). Düşük TPI değerleri ya bitkisel malzemenin tipine (yüksek angiosperm/gymnosperm oranı) ya da düşük doku korunma şartlarına bağlı olarak gelişmiştir (Kolcon ve Sachsenhofer, 1999). Hazro kömür örneklerinde TPI değeri 0.1-0.5 arasında değişmektedir. GI değeri yer altı su seviyesini ve/veya pH düzeyini işaret eder. Jelleşme için düzenli su akışı, bakteri faaliyetleri ve düşük asidik şartlar gerekir (Kolcon ve Sachsenhofer, 1999; Georgakopoulos ve Valceva, 2000). Hazro örneklerinde GI değeri 2-7 arasında değişmektedir (Şekil 7).

TPI değerlerinin 0.5 den düşük, GI değerlerinin 2'den yüksek oluşu, ayrıca pirit içeriği limnik ortamı işaret edebilmektedir. Kömürleşme yüksek yer altı suyu düzeyinde ve ortalama gömülme oranıyla otoktondan hipotoktona kadar değişen bir şartta meydana gelmiştir. Burada yüksek alkalın koşullar söz konusudur. Düşük TPI değerleri yüksek bakteriyel faaliyet ve yüksek pH değerlerinin belirteçidir, ayrıca gastropod kavrıklarının yaygın olarak bulunuşu da Amynete Baseni'ndeki gibi (Yunanistan) alkalın ortam şartlarını destekleyen bir veridir (Iordanidis ve Georgakopoulos, 2003).

XRD analiz sonuçlarına göre (Şekil 5a ve b) kömürlerde inorganik madde olarak kil mineralleri, kuvars ve pirit saptanmıştır. Kömürlerin pirit ve kil mineralleri içerikleri petrografik çalışmalarda

da (Çizelge 5 ve şekil 6a,b,c) yüksek oranlarda gözlemlenmiştir.

4.3. Jeokimyasal Değerlendirmeler

Organik jeokimyasal değerlendirmeler kapsamında incelenen kömür örnekleri organik madde miktarı, toplam organik karbon (% TOK), organik madde tipi ve olgunlaşması ise Rock-Eval Piroliz analizi ile belirlenmiştir. GC, GC-MS ve GC-IRMS analizleri ile edilen biyomarker verileri ile de detay ve çok net bilgiler sağlanmıştır.

İncelenen örneklerin organik maddece zenginliği, organik madde tipi, diyajenetik gelişim süreci ve kaynak kaya potansiyeli Rock-Eval Piroliz verileri ile değerlendirilmiştir. Bu teknik genellikle kaynak kaya özelliği araştırılan karbonatlar ve şeyllerde uygulanmakla birlikte, özellikle Rock-Eval 6 cihazının kömürlü örneklerde daha iyi sonuç vermesi ve petrografik bilgilere katkıda bulunması nedeniyle, kömürlü örneklerde de kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır (Teichmüller ve Durand, 1983; Durand ve Nicaise, 1980, Durand ve Paratte, 1983; Fowler vd., 1991; Korkmaz ve Gülbay, 2007, Erik vd., 2008, Kavak ve Toprak, 2011 ve 2012).

4.4. Organik Madde Miktarı (Toplam Organik Karbon)

Toplam Organik Karbon (% TOK) analizi 13 örnekte yapılmış olup, değerler % 3.75-50.20 arasında değişmektedir (Çizelge 7). Bu sonuçlar Hazro kömürlerinin organik madde içeriği bakımından zengin olduğunu (TOK > 3.75) ve kaynak kaya olarak düşünülebileceklerini göstermektedir.

Çizelge 7- Hazro kömür örneklerinin toplam organik karbon (% TOK) ve Rock-Eval piroliz sonuçları.

Örnek	TOK	S1	S2	S3	S2/S3	Tmax	HI	OI	PI	PY
G1	3.75	0	0.06	3.01	0.019	537	2	80	0.01	0.06
G2	16.70	0.25	14.82	9.17	1.61	431	89	55	0.02	15.07
G4	50.20	6.88	172.04	0.99	173.7	343	343	2	0.99	178.92
G5	32.20	4,23	121,03	4,64	11,34	389	243	32	0,67	98,78
D4	9.12	0	0.92	7.68	0.11	441	10	85	0	0.92
D5	4.78	0	0.16	3.99	0.04	442	3	84	0.01	0.16
D6	30.86	0.21	18.31	21.76	0.63	435	60	71	0.01	18.52
D7	22,3	0,11	2,14	9,89	0,41	440	19	77	0,01	15,06
D02	23.70	0.09	7.34	17.08	0.42	438	31	73	0.01	7.43
HDG	40.64	0.54	22.55	24.51	0.92	438	54	60	0.02	23.09
HDH	30,01	0,32	16,36	18,03	0,71	426	42	66	0,01	23,06
HDO	36.10	1.24	80.18	0.83	96.6	427	222	2	0.02	81.42
DO7	43.22	2.70	129.24	0.79	163.5	299	299	2	0.02	131.94

4.5. Organik Madde Tipi (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. Piroliz analizi ile kerojen tipi ve olgunlaşma düzeyi bulunur. Rock-Eval piroliz analizinden elde edilen kerojen tipleri verileri nedeniyle organik madde türleri ve bunların sonuçlarından hidrokarbon kaynak kaya potansiyeli hakkında bilgi edinilmektedir.

Hidrojen indeksi ve oksijen indeksi değerlerine göre organik maddeler petrol üretme potansiyellerine göre Tip I, II ve III kerojen şeklinde sınıflandırılmaktadır (Tissot ve Welte, 1984).

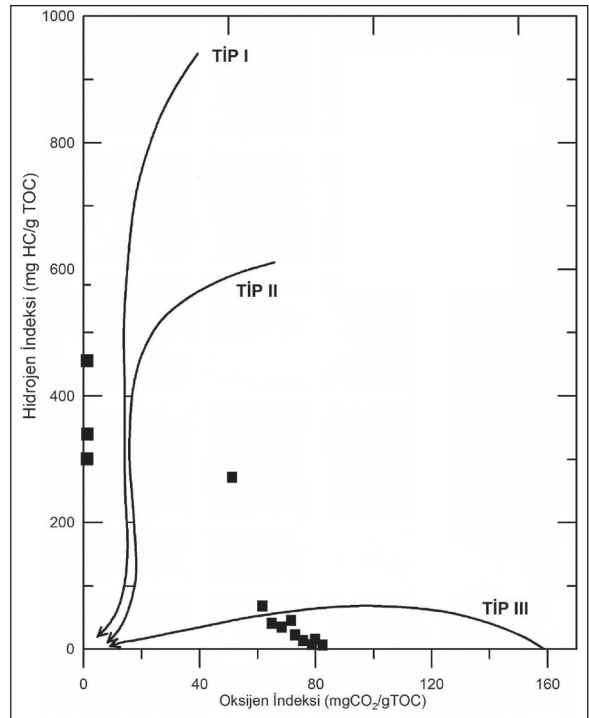
Mineral madde içeriği bu örneklerde olduğu gibi kil ve karbonatlarca zengin örneklerde piroliz sonuçlarını oldukça etkilemektedir (Peters, 1986; Langford ve Blanc-Valleron, 1990). Hidrojen İndeksi-Oksijen İndeksi ve HI-Tmax diyagramlarında örneklerin büyük kısmı Tip II-III (karasal ve denizel) ve Tip III (karasal, kalıntı organik madde) alanında dağıldığı izlenmektedir. Bu örneklerin petrol üretme potansiyeli sınırlı olup, ancak az miktarda gaz türüm potansiyelinden söz edilebilir.

Hazro kömürlerinde hidrojen indeks değerleri 31– 343 mg HC/g TOK, oksijen indeks değerleri ise 32-85 mg CO₂/g TOK arasındadır. Üretim indeksi (PI): S₁/(S₁+S₂) değeri özellikle % 0,05'ten büyük olduğunda yorumlama açısından önemlidir ve Hazro örneklerinde bu değer ortalama % 0.02 olarak belirlenmiştir (Çizelge 7).

Bazı yüksek oksijen indeks değerleri (>50 mg CO₂/g TOK) mineral matris 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

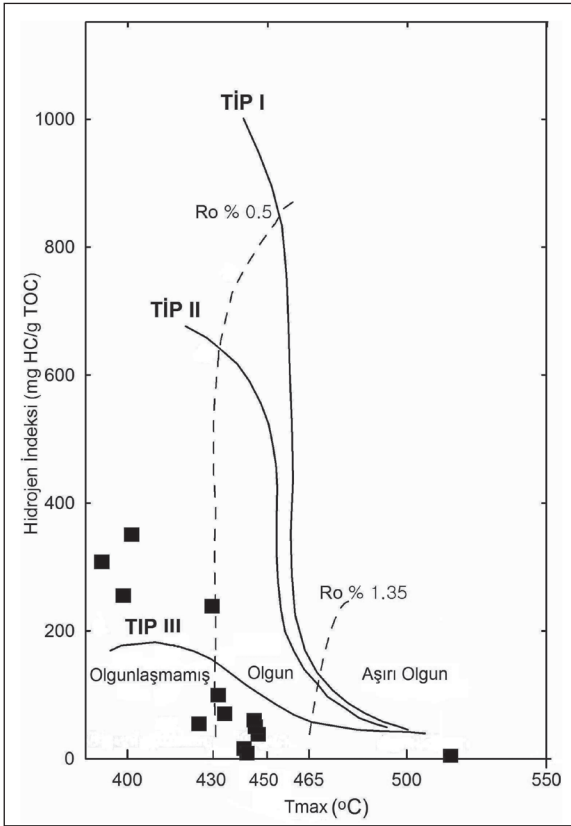
da eklendiğinde hidrojen indeksi ile pozitif ilişki oluşturmaktadır (Şekil 9 ve 10). Bunun yanı sıra, mineral madde içeriği ile hidrojen indeksi, TOK, Pc, Rc arasında negatif ilişki bulunmakla birlikte, korelasyon katsayılarının (Pearson katsayısı) oldukça düşük olması nedeniyle grafiklerde sunulmamıştır.

Hidrojen İndeksi-Oksijen İndeksi ve HI-T_{max} diyagramlarında örneklerin büyük kısmı Tip II-III arasında dağılmıştır (Şekil 9). Bu tanımlama kerojen preparatlarındaki palinolojik değerlendirmeler ile de desteklenmekte olup, kömürsü-odunsu malzemenin egemen olduğunu göstermektedir. İncelenen örneklerde kömürsü organik madde (% 78-87), odunsu % 6-12, otsu % 4-7 ve % 5-9 da amorf organik madde de gözlenmiştir (Şekil 8). Amorf organik bileşenler çoğunlukla karasal kökenli malzemelerin taşınması ve muhtemelen geçirdiği alterasyon etkileri sonucunda kırılıp parçalanması ile oluşmuştur.



Şekil 9- İncelenen örneklerin Hidrojen İndeksi-Oksijen İndeksi diyagramı (Tissot ve Welte, 1984).

Hazro 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 organik madde varlığına işaret edebilir. Seçilen örneklerde yüksek moleküler ağırlıklı (C₂₀+) bileşenler egemendir ve C₂₅-C₃₁ aralığındaki tek karbon sayılı n-alkanlarda, C₂₉ steranların C₂₇ ve C₂₈ lere göre baskın oluşu ve



Şekil 10- Hidrojen İndeksi-Tmax diyagramı ile kerojen tiplerinin sınıflandırılması (Mukhopadhyay vd., 1995).

steranların C_{29} $\alpha\alpha R$ isomerlerinin bolluğu yüksek karasal malzemeden türeyen organik maddelerin varlığına işaret edebilmektedir.

4.6. Organik Olgunlaşma

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

Organik analiz yöntemleri; optik ve kimyasal yöntemler olarak sınıflandırılırlar. Kimyasal yöntemlerin en sık kullanılanı piroliz ile elde edilen Tmax verisidir. Kaynak kayanın olgunluk değerini veren Tmax değeri derinlik artışıyla birlikte artmaktadır (Espitalié vd., 1977).

Ancak fay, kıvrım, uyumsuzluk, jeotermal gradyan değişikliği gibi etkiler, göç etmiş petrol,

örnek kalitesi, organik madde miktarı, kayadaki mineral matriks etkileri ile analiz sırasındaki bazı hatalar Tmax değerinin farklılık sunmasına neden olabilmektedir (Peters, 1986, Arfaoui vd., 2007).

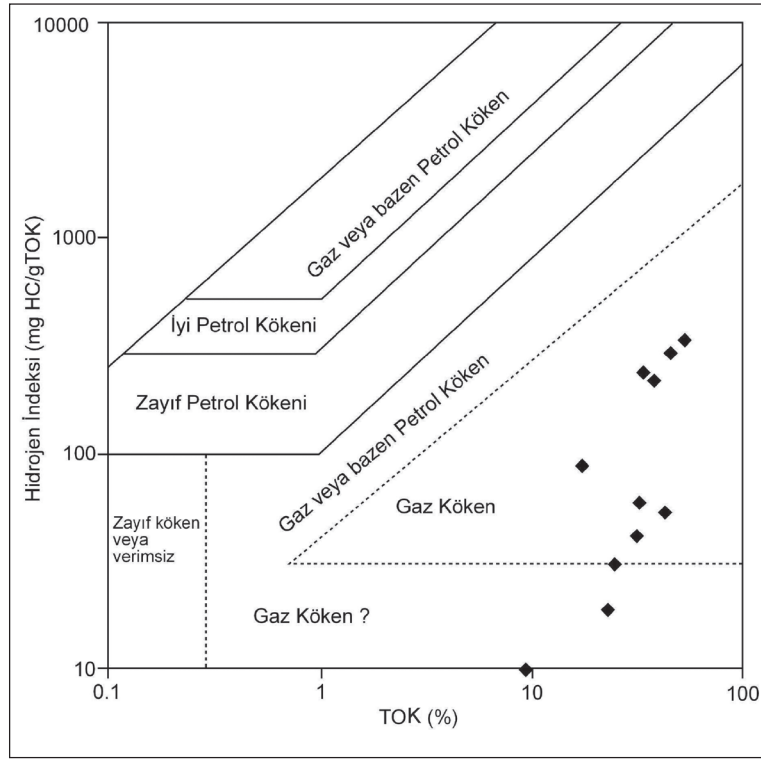
T_{max} ($^{\circ}C$) değeri ısısal olgunlaşma değerini ifade eden bir organik jeokimyasal parametre olup, Hazro örneklerinin T_{max} ($^{\circ}C$) değerleri 299-537 $^{\circ}C$ arasında değişmekte, ortalama değeri ise 418 $^{\circ}C$ 'dir (Çizelge 7). Bu değerler kömürün organik maddece zengin düzeylerinin olgunlaşmamış-erken olgun zonda olduğunu gösterir. Kerojen preparatlarında da açık sarı, açık kahverengi organik madde alterasyon renkleri, açık sarı-renksiz sporlar, yansıma değerleri de T_{max} verisini desteklemektedir. HI- T_{max} diyagramında örneklerin büyük kısmı erken olgun ve olgunlaşmamış zonda dağılmıştır (Çizelge 7). Bu örneklerin PI değerleri > 0.15'dir, bu da olgunlaşmış kaynak kayayı gösterir. Hüminit (vitrinit) yansıma değerleri % 0.458 ve 1.141 arasında değişir ki bu da olgunlaşmanın olduğuna işaret eder.

Yüksek kül içeriği bu karşılaştırmayı etkilediği için kül içerikleri % 15 den düşük örneklerde hüminit yansıması ve kalori değeri karşılaştırılmıştır. Her iki veri de birbirinden bağımsız olarak olgunlaşmamış düzeyi belirtmekle birlikte, kömürleşme sürecine etki eden tektonik faaliyetlerin farklı özelliklerdeki organik maddeleri oluşturmasının, farklı hüminit yansıması (R_{max}) değerleri ve şekil 7'deki parametrelerde farklı özellikler sergilemesinin en büyük kanıtıdır.

Ayrıca düşük bitüm / TOK oranı ile gaz kromatogramlarında steran ve triterpan (biyomarker) alanındaki yüksek pik dağılımı olgunlaşmamış zonu belirtmektedir (Tissot ve Welte, 1984). C_{29} düzenli steranlardan türeyen bir olgunluk parametresi de $5\alpha(H)$, $14\beta(H)$, $17\beta(H)$ C_{29} steran ve $5\alpha(H)$, $14\alpha(H)$, $17\alpha(H)$ C_{29} steran ($\alpha\beta/(\alpha\beta+\alpha\alpha)$) oranıdır. Ts/Tm oranı, 0.52-0.58'dir.

4.7. Hidrokarbon Türüm Potansiyeli

Hidrokarbon türüm potansiyeli, Potansiyel Verim (PY: S1+S2) ile de değerlendirilmekte olup genellikle TOK sonuçları ile uyum içindedir. İncelenen örneklerin hidrokarbon türüm potansiyellerinin farklı teknik ve grafikler ile yorumlanması ve birbiri ile denestirilmesi, sonuçlarda hata yapılmasını engelleyecektir. Özellikle kömürün kaynağının tespit edilebilmesi için köken zenginliği diyagramı kullanılmıştır (HI-TOK) (Jackson vd., 1985) (Şekil 11). Hidrokarbonların oluşabilmesi için özellikle organik olgunlaşmanın gerçekleşmesi, kerojenin ısısal parçalanmasını sağlayacak sıcaklık



Şekil 11- Hazro Dadaş kömür örneklerinin Hidrojen İndeksi-TOC diyagramı (Jackson vd., 1985'den değiştirilerek)

şartlarına ulaşılabilmesi gerekmektedir. Tmax ve PI değerleri göz önünde bulundurularak olgunluk yorumlanmıştır (Şekil 10). İncelenen örneklerin S₁ değerleri oldukça düşük olup, 1.24–6.88 mg HC/g kaya arasında değişmektedir. S₂ değerleri ise 18.31 – 172.04 mg HC/g kaya arasındadır (Çizelge 7). S₂ değeri 4.0 mg HC/g kaya'dan düşük olduğundan genellikle zayıf ana kaya potansiyeli; 4.0'den büyük olduğunda ise hidrokarbon ana kaya potansiyelinden bahsedilir (Hunt, 1967 ve 1995; Peters vd., 2004 ve Erik, vd., 2008). Bu nedenle incelenen örneklerde S₂ değerleri birçok örneğin iyi ve çok iyi ana kaya potansiyelli olduğuna işaret etmektedir (Çizelge 7). Bu veriye göre kömürlerin ana kaya potansiyeli olmakla birlikte değerleri organik maddece zengin 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 TOK'den büyük hidrojen indeksi gerekmektedir. İncelenen örneklerde yüksek hidrojen indeksi değerleri ile HI-T_{max} diyagramındaki örnek dağılımları bitkisel kökenli organik madde girişini ve sınırlı gaz türüm potansiyelini ifade etmektedir.

İnceleme alanındaki örneklerde olduğu gibi hümik kömürler, genelde, Tip III kerojen

oluşur ve gaz türetebilir özelliktedir. Diyarbakır-Hazro-Dadaş kömür örneklerinin gaz türüm potansiyelleri olmakla birlikte, olgunlaşmalarının düşük olması bunu engellemektedir. Hidrokarbon türüm potansiyeli genetik potansiyel veya üretim indeksi ile de değerlendirilebilmektedir ve bu değer (S + S₂) genellikle TOK değerlerine benzer sonuçlar vermektedir. Genetik potansiyel değerleri 0.06 – 178.92 mg HC/g kaya arasında olup, ortalama 19.30 mg HC/g kaya'dır. HI-TOK diyagramında bazı örnekler zayıf türüm alanında dağılmış olup (Şekil 11), 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.

4.8. Kömürlerin Moleküler Bileşimi

İncelenen örneklerin özüt miktarı düşüktür (14.69–92.40 ppm arasında) ve resin, asfalten gibi düşük olgunluk koşullarında bulunan bileşenleri içermektedir. Steran, triterpan dağılımları ve pik tanımlamaları, m/z 191 ve m/z 217 kromatogramlarında ele alınmıştır (Çizelge 9 ve 10).

n-alkanlar C_{20} - C_{32} (Çizelge 11) aralığında dağılmıştır (Şekil 12 a,b). GC analizinde, n- C_{17} , n- C_{27} , n- C_{30} ve n- C_3 gibi n-alkanlar ve benzen belirlenmiştir. İncelenen örneklerin tipik doymuş hidrokarbon GC-MS verileri şekil 13 a,b,c'de gösterilmektedir. Başlıca biyomarkerler C_{25} (22S+22R) tricycliterpane, C_{24}

tetracycliterpane (seco), C_{26} 22R tricycliterpan, C_{28} tricycliterpan'dır. Bu triterpanoid bileşenlerinin kömür örneklerinde bulunuşu onların yüksek karasal bitki bileşimlerini, gammacceran ise hipersalin çökelim koşullarını belirtmektedir. Uzun zincirli C_{27} - C_{31} n-alkanların toplam n-alkanlar içindeki nispi

Çizelge 8- m/z 217 ve m/z 191 kütle kromatogramlarından hesaplanan biyomarker parametreleri.

Numune Kodu	^{13}C	St. Sapma	191			217			
			H/(H+M)	Ts/Tm	$\frac{C_{31}}{22S}$ $\frac{22S}{22S+22R}$	$\frac{C_{29}}{20S}$ $\frac{20S}{20S+20R}$	C_{27} %	C_{28} %	C_{29} %
G4	-23.06	0.34	0.84	0.32	0.57	0.40	31	34	35
HDG	-22.86	0.02	0.71	0.06	0.58	0.46	20	44	36
D6	-21.96	0.09	0,59	0,19	0,59	0,42	24	42	34
DO7	-24.73	0.21	0.69	0.21	0.56	0,41	25	43	32

Çizelge 9- m/z 217 kütle kromatogramlarında steranların genel olarak pik tanımlamaları.

Bileşen 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 10- m/z 191 kütle kromatogramlarında triterpanların genel olarak pik tanımlamaları.

Bileşen 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)

bolluğu karasal bitkileri ifade ederken (Moldowan vd., 1985), Hazro örneklerinde düşük oranda olan kısa zincirli n-alkanlar (<C₂₀) egemen olarak alg ve mikroorganizmalarda bulunur. Örneklerde egemen olarak orta ve yüksek molekül ağırlıktaki n-alkanlar (C₂₁₋₂₅) olup, karasal ve gölsel organik malzemenin birlikte bulunduğu işaret eder.

İncelenen örneklerin m/z 217 kütle kromatogramlarında C₂₇, C₂₈, C₂₉ steran ve bunların 20S ve 20R epimerleri (Çizelge 8; Şekil 12b) tanımlanmıştır. Örneklerde C₂₈ steran ve C₂₈ diasteranlar çok baskın orandadır (C₂₉>C₂₇>C₂₈) (Çizelge 8). Algler C₂₇ sterollerin birincil kaynağı olarak belirtilmekte iken C₂₉ steroller daha çok karasal

bitkilerden oluşmaktadır (Moldowan vd., 1985 ve Erik, vd., 2008).

Örneklerde ayrıca C_{20} , C_{21} , C_{23} , 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_{27}/C_{29} steran oranları 1.32–1.48 arasında değişir. Özellikle bu örneklerde olduğu gibi karasal alanda gelişen turba oluşumu, C_{27} düzenli steran oranının C_{29} ve C_{28} steranlara göre nispi bolluğu ile izlenir. Bray ve Evans (1961)' a göre hesaplanan CPI ($C_{24} - C_{34}$) değeri 1 ve CPI ($C_{16} - C_{26}$) değeri 2.00'dir. m/z 191 kütle fregmantogramında iki örnekte çok düşük tricyclicterpan izlenmiştir (Şekil 12a). İncelenen örneklerde C_{32} homohopanlardan daha büyük karbon numaralı bileşen bulunmamaktadır. Steran/hopan oranı 0.85–1.55 arasındadır. C_{29}/C_{30} hopan karbonat ve kırıntılı litolojiyi ayırt etmekte kullanılır ve (Waples ve Machihara, 1991) bu oran 0.62– 0.67'dir (Çizelge 8, 9 ve 10).

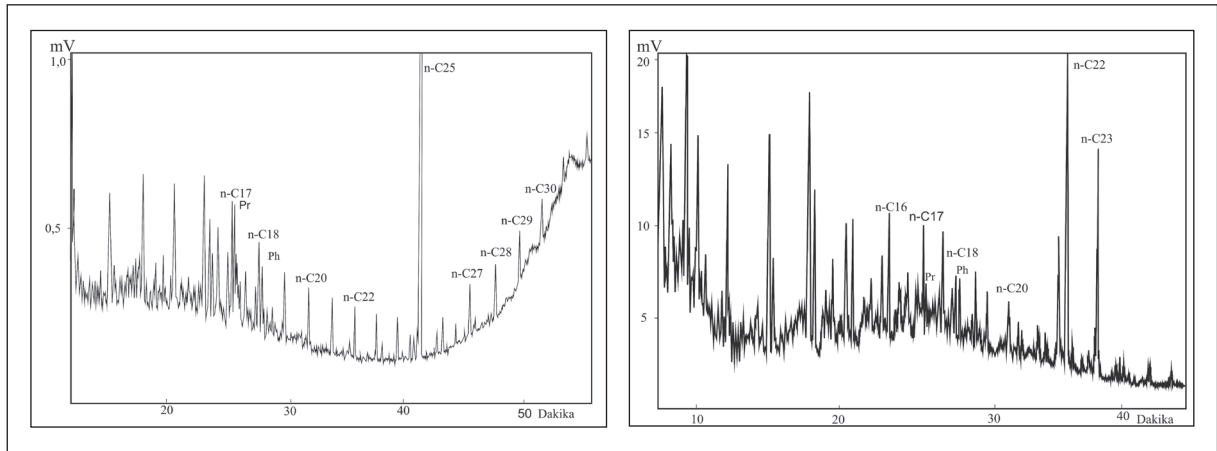
R ve T_{max} değerlerinin diasteran/steran oranı ile negatif, T_{max} değerinin $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ oranı ile pozitif ilişkili, R_{max} ile de C_{32} ($22S/(22S+22R)$) oranı arasında negatif ilişkili olduğu belirlenmiş olmakla

birlikte korelasyon katsayıları oldukça düşüktür ve grafiklerde verilmemiştir.

4.9. Çökelim Ortam Özellikleri

Kömürler uygun koşullarda karasal ve göl sel özellikteki bitkisel parçaların genellikle yüksek, ancak değişen su seviyesinde bozunmaya uğramasıyla oluşmuşlardır. Bu olay hüminit grubu maserallerin (gelinitlerin) varlığı ile açıklanabilmektedir. Özellikle hüminit grubu içinde gelinit maserallerinin egemenliği bataklık şartlarını, füzinitler ise bataklık oksidasyon veya yangınlarını işaret etmektedir (Toprak, 1996; Altunsoy ve Özçelik, 1993). Kömürlerin densinit içeriğinin fazlaca olması, ortama etkiyen tektonik etmenlerin veya dinamik aktivitelerin fazla olduğunu belirtmektedir (Toprak, 2009). Kömürlerin yansıma (% Rmax) ve paleo-sıcaklık değerleri (Boggs, 1987) dikkate alındığında, kömürlerin 100 – 200 °C arasında bir gömülme sıcaklığına maruz kaldığı ortaya çıkmaktadır.

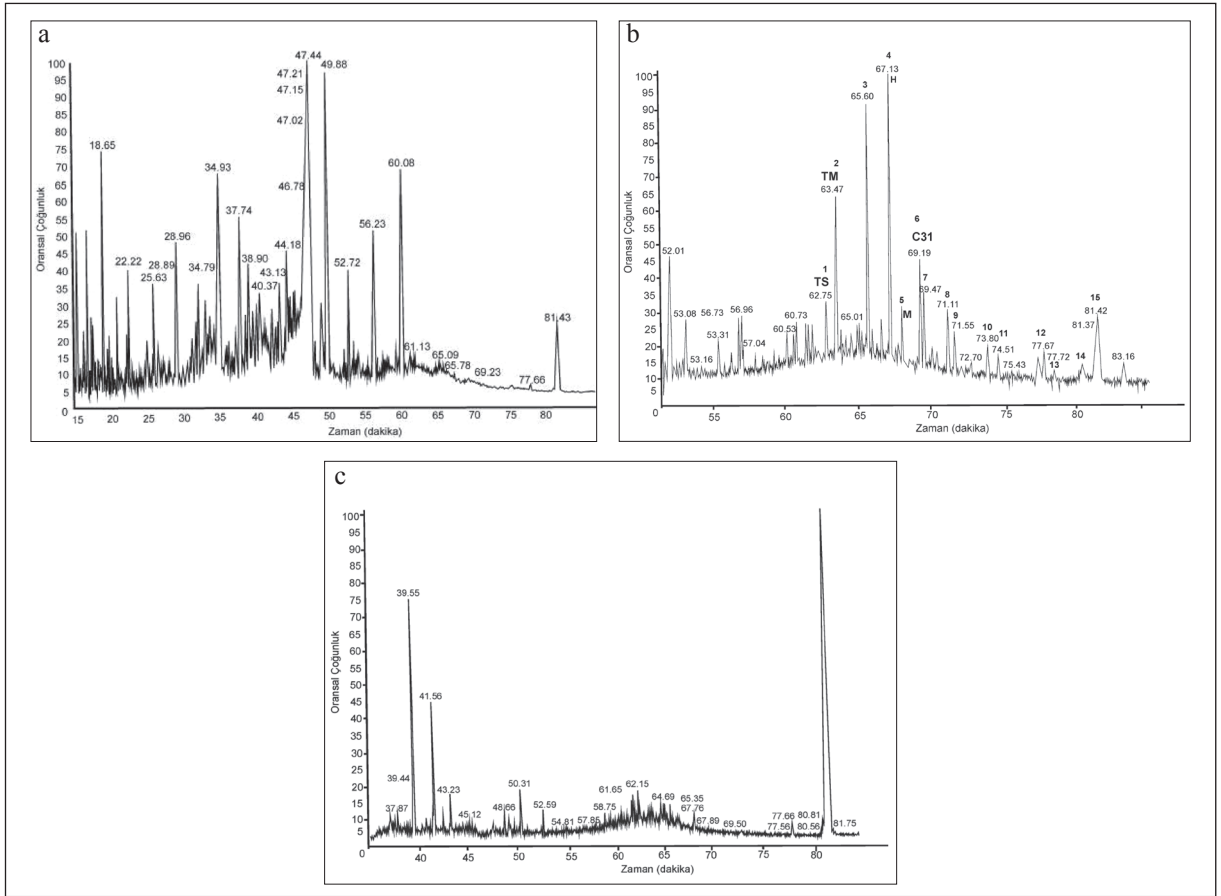
Kömürlerin biyomarker analiz değerlendirmeleri paleo-ortam özelliklerinin açıklanması bakımından önemlidir. Örneğin, 17 α (H)-homohopan oranları paleo-iklim belirteçidir (Waples ve Machihara, 1991). C_{31} den C_{35} 'e kadar hopan oranının azalımı klastik fasiyesi yansıtırken, yüksek C_{31} hopan oranları turba ve



Şekil 12 a- D6 Örneğine ait GC diyagramı (önemli n-alkan serileri pikleri üzerinde gösterilmektedir).
b- HDG Örneğine ait GC diyagramı (önemli n-alkan serileri pikleri üzerinde gösterilmektedir).

Çizelge 11- Hazro kömür örneklerinin gaz kromatografi sonuçları [Bray ve Evans (1961)'tan geliştirilmiştir].

Örnek	Pr/Ph	CPI	n-Alkan Dağılımı	Açıklama
G4	0.7	-	Karışım nC12-nC33	Kömür oluşumuna katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edilmiştir.
D6	1.5	1.0	nC13-nC33	„
HDG	2.2	1.2	nC13-nC33	„
DO7	3.5	1.2	nC13-nC33	„



Şekil 13 a. G4 örneğine ait GC-MS toplam iyon akım (TİC) diyagramı
 b. G4 örneğine ait 191, GC-MS diyagramı
 c. G4 örneğine ait 217, GC-MS diyagramı

kömüre karşılık gelir. Bu açıdan değerlendirildiğinde her üç örnekte de homohopanlar bulunmakta ve C_{31} den C_{35} 'e doğru homohopan pik yüksekliğindeki düzenli azalım kırıntılı fasiyeler için tipik olarak izlenmektedir (Waples ve Machihara, 1991). Yüksek tuzluluk belirteci olan gammaceran oranları incelenen örneklerde organik maddelerin çökelişi sırasında su kolundaki tabakalanmayı ve örneklerin Geç Protorezoik yaşlı olduğuna işaret etmektedir (Waples ve Machihara, 1991; Connan vd., 1986, Connan, 1993; Peters ve Moldowan, 1993; Hunt, 1995). C_{25}/C_{26} tricycliterpan oranı 1'den büyük olup, karasal çökeliş ortam özelliklerini (Burwood vd., 1992; Hanson vd., 2000) işaret eder. Tricyclit terpanlar bütün örneklerde bulunmaktadır. Genellikle kömür örnekleri nispeten yüksek oranlarda C_{25} tricycliterpan ve düşük C_{23} tricycliterpan içermektedir. C_{24} tetracyclit terpanların nispi bollukları örneklerin karasal organik madde içeriğini belirtir (Peters ve Moldowan, 1993, Kvenvolden ve Simoneit, 1990). $\alpha\beta$ -Moretan/ $\alpha\beta$ -hopan (moretan/hopan) oranı 0.55–0.58 olup, olgunlaşmamış aşamayı işaret eder. 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 oranı (0.5-2 arasında değişen) ile Pr/n C_{17} oranının <0.5 olması anoksik ve hipersalin ortamı ifade eder (Ten Haven vd., 1987). C_{30} steranların az veya hiç bulunmaması limnik çökeliş ortamlarını gösterir (Peters ve Moldowan, 1993). Bu veriler ışığında incelenen kömürlerin zaman zaman değişik kökenli sulardan etkilenmiş bir limnik bataklıkta oluştuğu ve kömüre katkıda bulunan iki tip organik madde türü tespit edildiği söylenebilir (Çizelge 8 ve 11).

5. Sonuçlar

Hazro kömür sahasında Permiyen yaşlı organik maddece zengin ve kömürlü serilerin organik jeokimyasal, petrografik ve kömür kalite değerlendirmesi yapılmıştır. Petrografik değerlendirme sonuçlarına göre Hazro kömürleri hüminit grubu maseraller bakımından zengin, buna

karşın liptinit ve inertinitçe daha fakirdir. Hüminit maseral grubunda ise gelinitler egemendir. Pirit içeriği oldukça yüksek olup, çoğunlukla framboidal oluşumludur. Hüminit yansıma değerleri % 0.458 ve 1.141 arasında değişir ve diyajenez karşılık gelen bir olgunluk seviyesini belirtir. Geniş bir aralık sunan yansıma değerleri, ortamın farklı tektonik gelişimleri ile birlikte, örtü tabakalarının değişik yerlerde farklı kalınlıklar sergilemesinden kaynaklanmaktadır. Bazı yerlerde muhtemelen tektonik etkileşim fazla olmuş, bazı yerlerde de bu durumun tersi olmuştur. Hazro kömürlerinin limnik bir ortamda çökeldikleri düşünülmektedir. Kömürle birlikte bulunan karbonatlı ve killi düzeylerde yansıma değerleri daha düşüktür. T_{max} değerleri 299-537°C arasında değişir (ortalama T_{max} 418 °C). Bu değer olgunlaşmamış-erken olgun aşamayı gösterir. n-alkan oranları yüksek resen ve asfaltenden dolayı oldukça düşüktür ve buna göre de olgunlaşma düşüktür. HI- T_{max} ve hidrojen indeksi-oksijen indeksi diyagramlarında Tip II-III ve Tip III organik madde tipi egemendir. Organik jeokimyasal analizlerde elde edilen parametrelerle, kömür petrografi ve kömür kalite değerleri birbirleri ile uyum göstermektedir. İncelenen kömürlerin özellikle petrografik değerlendirmesi Alt-Bitümlü B/C ve Bitümlü kömürleri işaret eder. Moretan/hopan ve C₁₂ homohopan izomerizasyon oranları diğer olgunluk parametreleri ile uyumludur. Petrografik veriler gibi kömür kalite parametreleri de Hazro kömürlerinin kömürleşme derecesi ile uyumludur ve alkali 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 Hazro kömürlerinin kullanım potansiyelini sınırlamaktadır. Organik madde tipi ve miktarına göre gaz türüm potansiyeli olmasına karşın düşük olgunlaşma düzeyi nedeniyle herhangi bir türümden bahsedilemez.

Katkı Belirtme

Bu çalışma DÜAPK-03-MF-85 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazar yardımlarından dolayı Prof. Dr. M. Namık Yalçın (İstanbul Üniversitesi), Velat Alabaş, Kıvılcım Önen, Veysel Yalçındağ (Dicle Üniversitesi), Merve Fakılı (Cumhuriyet Üniversitesi), Reyhan Kara Gülbay (KTÜ) ve Hazro Dadaş kömür işletmecisi Faysal Kahraman'a teşekkür ederler.

Geliş Tarihi: 15.03.2013

Kabul Tarihi: 31.05.2013

Yayınlanma Tarihi: Aralık 2013

Değerilen Belgeler

- Ağralı, B., Akyol, E. 1967. Hazro kömürlerinin palinolojik incelenmesi ve Permo-Karbonifer'deki görsel horizonların yaşı hakkında düşünceler: *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, c. 68, s. 1-26.
- Altunsoy, M., Özçelik, O. 1993. Organik Fasiyeler, *Jeoloji Müh. 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, pp. 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.
- 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*, 784p., Columbus Toronto London Melbourne.
- Bozdoğan, N., Bayçelebi, O., Willink, R. 1987. Güneydoğu Anadolu Hazro Bölgesinde (X. Bölge kuzeyi) Paleozoyik stratigrafisi ve petrol üretkenliği: *Türkiye 7. Petrol Kongresi, Jeoloji Bildirileri*, s. 117-130.
- Bozkaya, Ö., Yalçın, H., Kozlu, H. 2009. Hazro (Diyarbakır) Bölgesi Paleozoyik-Alt Mesozoyik Yaşlı Sedimanter İstifin Mineralojisi, *TPJD Bülteni*, 21 (1) 53-81.
- Bray, E. E., Evans, E. D. 1961. Distribution of n-paraffins as a clue for recognition of source beds: *Geochim. Cosmochim. Acta* 22, 2-15.
- Burwood, R., Leplat, P., Mycke, B., Paulet, J. 1992. Rifted margin source rock deposition: a carbon isotope and biomarker study of a West African Lower Cretaceous "Lacustrine" Section": *Organic Geochemistry* 19, 41-52.
- Connan, J. 1993. Molecular geochemistry in oil exploration (in: M. L. Bordenave, Editor): *Applied Petroleum Geochemistry, Editions Techniq*, Paris, pp. 175-204.
- Connan, J., Bouroulec J., Dessort, Albrecht, P. 1986. The microbial input in carbonate-anhydrite facies of a sabkha paleoenvironment from Guatemala: a molecular approach: *Organic Geochemistry* 10, 29-50.

- Diessel, K. 1986. The correlation between coal facies and depositional environments. *Advances in the Study of the Sydney Basin: Proceedings of 20th Sym, The University of Newcastle*, pp. 19-22.
- Durand, B., Nicaise, G. 1980. Procedures for kerogen isolation (in B. Durand, ed., *Kerogen- insoluble organic matter from sedimentary rocks*): *Editions Techniq*, Paris, pp. 35-53.
- Durand, B., Paratte, M. 1983. Oil potential of coals: a geochemical approach (in: Brooks, J. (Ed.), *Petroleum Geochemistry and Exploration of Europe*): *Blackwell, Oxford*, pp. 255-265.
- Erik, Y.N., Sancar, S., Toprak, S. 2008. Hafik Kömürlerinin (Sivas) organik jeokimyasal ve organik petrografik özellikleri, *TPJD Bülteni*, 20 (2) 9-33.
- Espitalié, J., La Porte, J.L., Madéc, M., Marquis, F., Le Plat, P., Paulet, J., Boutefeu, A. 1977. Méthode rapide de caractérisation des roches mères 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*, v. 40, 755-784.
- Flores, D. 2002. Organic facies and depositional palaeoenvironment of lignites from Rio Maior Basin (Portugal): *Int. Jour. of Coal Geol.*, 48, 181-195.
- Fowler, M. G., Gentzis, T., Goodarzi, F., Foscolos, A. E. 1991. The petroleum potential of some Tertiary lignites from northern Greece as determined using pyrolysis and organic petrological techniques: *Org. Geochem.* 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.
- Gümüşsuyu, M. 1988. Diyarbakır Hazro Maden Kömürünün Jeolojisi ve Madenciligi, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 2745*, 22 s.
- Günay, Y. 1998. Güneydoğu Anadolu'nun Jeolojisi, Stratigrafi: *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Raporu*, No: 3939, 227s.
- Hanson, A. D., Zhang, C., Moldowan, J. M., Liang, D. G., Zhang, B. M. 2000. Molecular organic geochemistry of the Tarim Basin, Northwest China: *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 84, 1109-1128
- Hubard, B. 1950. Coal as a possible petroleum source rock: *AAPG Bulletin* 34 (12), 2347-2359.
- Hunt, J.M. 1967. The Origin Of Petroleum in Carbonate Rocks, in G.V. Chilingar, H.J.Bissel and R.W. Farbridges eds, *Carbonate Rocks*, *Elsevier; New York*, 225-251.
- 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.
- Iordanidis, A., Georgakopoulos, A. 2003. Pliocene lignites from Apofysis mine, Amynteo basin, Northwestern Greece: Petrographical characteristics and depositional environment: *Int. Jour. of Coal Geol.*, 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*, September 9-14, Turkey.
- Jackson, K. S., Hawkins, P. J., Bennett, A. J. R. 1985. Regional facies and geochemical evolution of Southern Denison Though: *APEA Journ.*, 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. 2005. "GAP Bölgesinin Kömür Potansiyeline Genel Bir Bakış" *Doğu ve Güneydoğu Anadolu Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu, Diyarbakır, Türkiye, Bildiriler Kitabı*, 81-86, 21-23 Nisan.
- Kavak, O., Toprak, S. 2011. "Gölbaşı Harmanlı (Adıyaman) Kömürlerinin Organik, Jeokimyasal ve Petrografik Özellikleri", *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 35 (1), 43-78, Ankara.
- Kavak, O., Toprak, S. 2012. "Karlıova Halifan (Bingöl) Kömürlerinin Organik Jeokimyasal ve Petrografik Özellikleri", *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, 144, 23-50,
- Kolcon, I., Sachsenhofer, R. F. 1999. Petrography, palynology and depositional environments of the early Miocene Oberdorf lignite seam, (Styrian Basin, Austria): *Int. Jour. of Coal Geol.*, 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: *Int. Jour. of Coal Geol.*, 70, 4, 292-304.
- Kranendonk, O. 2004. Geo- and Biodynamic Evolution during Late Silurian/Early Devonian Time (Hazro Area, SE Turkey), *Schriften des forschungszentrums Lüllich Reihe Umwelt/Environment band/volume* 49, p. 41.
- 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: *AAPG*, 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.
- Lebküchner, F. R. 1961. "Kömür bakımından ümitli olan Hazro/Diyarbakır Antiklinali Sahasında Yapılan Detay Jeolojik Etütler ve Madencilik Çalışmaları Hakkında Rapor", *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 2944*, 48 s., Ankara (yayımlanmamış)
- Lebküchner, R.F. 1969. Occurrences of the asphaltic substances in Southeastern Turkey and their genesis. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey* 72-74.
- Lebküchner, F. R. 1976. Güneydoğu Anadolu'daki Hazro Antiklinalinin Paleozoyik Çekirdeği Hakkında Ek Bilgiler, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, 86, 1-14.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 2002. 1:500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Erzurum ve Hatay paftaları.
- Moldowan, M., Seifert, W. K., E. J. 1985. Gallegos, Relationship between petroleum composition and depositional environment of petroleum source rocks: *AAPG Bull.* 69, 1255-1268.
- Mukhopadhyay, P. K., Wade, J. A., Kruge, 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, *Org. Geoch.*, 22 (1), 85-104.
- Perinçek, D., Duran, O., Bozdoğan, N., Çoruh, T. 1991. Stratigraphy and paleo-geographical evolution of the autochthonous sedimentary rocks in the SE Turkey: *Ozan Sungurlu Symposium*, Ankara, Proceedings, 274-305.
- Peters, K. E. 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis: *AAPG Bull.*, 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*, NJ.
- Peters, K. E., Walters, C.C., Moldowan, J.M. 2004. The Biomarker Guide Volume 2: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History (second ed.): *Cambridge*, 475-1155.
- 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.
- Stolle, E., Yalçın, M.N., Kavak, O. 2011. "The Permian Kas Formation of SE Turkey-palynological correlation with strata from Saudi Arabia and Oman", *Geological Journal*, 46 (6), 561-573.
- 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: *Int. Jour. of Coal Geol.*, 2, 197- 230.
- Teichmüller, M., Littke, R., Taylor, G. H. 1998. The origin of organic matter in sedimentary rocks (In Taylor, G. H., Teichmüller, 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, Doktora tezi çalışması, Ankara.
- Toprak, S. 2009. Petrographic properties of major coal seams in Turkey and their formation, *International Journal of Coal Geology*, 78, 263-275
- Waples, D. W., Machihara, T. 1991. Biomarkers for geologists-a practical guide to the application of steranes and triterpanes in petroleum geology: *AAPG* 9, 91.
- Wilkins, R. W. T., George, S. C. 2002. Coal as a source rock for oil: a review: *Int. Jour. of Coal Geol.*, 50, 317-361.
- 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.
- Yalçın, M.N., Kavak, O., Stolle, E. 2010. Gondwanan Permian coals of the Hazro area (Southeastern Turkey), *8th European Coal Congress (GEO DARMSTADT 2010)*, Darmstadt-Germany. Abstracts of Lectures and Posters, 619-620, 10-13 Oct.2010
- Yılmaz, E., Duran, O. 1997. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Otokton ve Allohton Birimler Stratigrafi Adlama Sözlüğü (Leksikonu): *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Merkezi Grubu Başkanlığı, Eğitim Yayınları*, No:31, 460s.