

ORGANİK PETROLOJİNİN JEOLJİDE KULLANIMI

Emine CİCİOĞLU SÜTCÜ*

GİRİŞ

Organik petroloji çalışmaları 20. yüzyılın başlarında kömür petrolojisi çalışmalarıyla başlamıştır. Zamanla kömür bileşenlerinin sınıflandırılması, analitik yöntemlerin gelişmesi, standartların ve özel terminolojinin geliştirilmesiyle kömür petrolojisi teriminin yerini, organik petroloji terimi almıştır.

Organik petrolojiden sadece, kömür, petrol ve doğal gaz aramalarında değil aynı zamanda kayaç diyajenezi ve düşük dereceli metamorfizma, tektonizma ve paleojeotermal rejimlerin aşamalarının belirlenmesinde de yararlanılmaktadır.

KÖMÜR DIŞINDAKİ SEDİMANTER KAYAÇLARDA RANK BELİRLEME

Organik maddeler minerallere göre sıcaklık ve basınca daha duyarlıdır. Kayaç diyajenezinden, düşük dereceli metamorfizmaya kadar olan aralık kömürleşmede kahverengi kömürden antrasite kadar olan aralığa karşılık gelirken, Epizon yani gerçek metamorfizma aşamaları organik maddenin grafitleşme aşamasına karşılık gelmektedir. Vitrit yansıtması veya konodont alterasyon indeksi genellikle kayaç sıcaklığı değerlendirmesinde $<300^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklar için kullanılan indekslerdir. Mineral indisleri daha yüksek sıcaklıklarda kullanılır.

Sedimenter kayaçlardaki kömür parçacıklarının kömürleşme derecelerini mikroskopta tayin etmek mümkündür. Vitrit yansıtması kömürleşme derecesi ve olgunlaşmayı ortaya koyan en iyi parametredir. Vitritin olmadığı durumlarda ise diğer mikroskopik yöntemlere

başvurulabilir (Şekil 1). Organik karbon içeren graptolitler (Ordovisiyen-Alt Devoniyen), kitinizoalar (Ordovisiyen-Alt Devoniyen) ve konodontlar (Kambriyen-güncel) gibi mikro fosillerden yansıtma ölçümleri olarak kömürleşme derecesini belirlemek mümkündür. Bir diğer yöntem ise kerojende yoğun bulunan sporlar ve polenlerin renk ve şeffaflık özelliklerine göre belirlenen termal alterasyon indeksidir (TAI). Bu yöntem daha çok petrol jeologları tarafından kullanılmaktadır. Vitrit yansıtması %2 (ıslak gaz-wet gas aşamasında) olduğunda sporlar opaklaşmaya başlar. Maksimum vitrit yansıtmasının %5'ten büyük olduğu yeşil şist fasiyesine ait metamorfik kayaçlarda ise konodont alterasyon indeksi (CAI) kullanılmaktadır. Vitritin nadir olarak bulunduğu denizel karbonat kayaçlarda bol miktarda konodont bulunmasından dolayı CAI yöntemi bu tür kayaçlarda oldukça kullanışlıdır. Özellikle karasal vitritlerin bulunmadığı Devoniyen öncesi kayaçlarda geçerli bir yöntemdir (Taylor vd., 1998).

Organik petrolojide kullanılan bir diğer yöntem ise floresan mikroskopisidir. Bu yöntem özellikle hidrokarbon aramalarında büyük öneme sahiptir. Diğer kimyasal ve mikroskopik yöntemlerle karşılaştırıldığında organik maddenin tipini, bolluğunu, dağılımını ve olgunlaşma aşamalarını ortaya koyması açısından oldukça avantajlar sağlamaktadır. Vitrit içermeyen veya yansıtma değerlerinden şüphe duyulan kayaçlarda kömürleşme derecelerinin veya kaynak kayaçların olgunlaşma derecelerinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Ancak vitrit yansıtmasının %1,5<Rr olduğu yüksek kömürleşme derecelerinde liptinitlerin floresan özelliklerini kaybetmelerinden dolayı bu yöntem kullanılmaz.

Petrol ve doğal gaz aramalarında kaynak kayaçlardaki hidrokarbon potansiyelini belirlemek için maseral analizleri yapılır. Bu analizler tüm kayaç üzerinde veya inorganikleri uzaklaştırılmış organik maddece zengin örnekler üzerinde yapılır. Petrol arama amacıyla yaygın olarak mineral maddeleri uzaklaştırılmış örnekler üzerinde çalışılır.

*Maden Tetkik ve Arama genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Ankara.

Pre-Metamorfik zon	Hidrokarbonlar		Yansıtma					Renk		
	Aşamalar	Organik madde tipleri	Telinit	Kitinizoalar	Graptolitler	Scolecodontlar	Sporlar	Termal Alterasyon İndeksi (TAI)	Sporlar	
Diyajenez	Olgunlaşmamış	ilk kuru gaz	0.5	0.5	0.5	0.25	0.05	1	Sarı	2
Katajenez	Olgunlaşmış	Petrol	1.0	1.0	1.0	0.5	0.2	2	Kehribar sarı	2.5
		Kondanse gaz	1.5	1.5	1.5	1.0	0.5	3	Kehribar	3
	İyi olgunlaşmış	Termojenik kuru gaz	2.0	2.0	2.0	1.5	1.4	3+	Kahverengi	3
Ankizon			3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	4-	Kahverengi siyah	4

Şekil 1- Telinit, Scolecodonts, graptolit, kitinizoalar ve sporlara ait yansıtma değerleri, termal olgunlaşma indeksi, spor-renk indeksi, hidrokarbon aşamaları, tipleri ve metamorfizma öncesi zonlarla korelasyonu (Taylor vd., 1998).

KÖMÜR PETROGRAFİSİNİN HAVZA ANALİZLERİNDE KULLANIMI

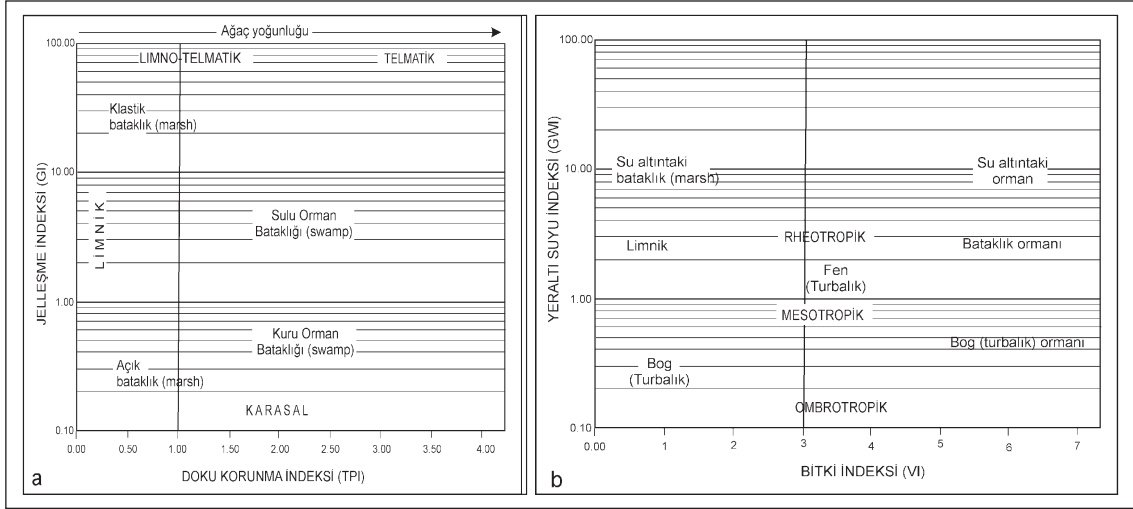
Kömürlü birimlerden alınan örneklerde yapılan petrografik analizler sonucu elde edilen sonuçlar petrografik indisler ve üçgen diyagramlar yardımıyla kömür fasiyeslerinin, paleoekolojik koşulların ve turba depolanma ortamındaki paleoortam koşullarının ortaya konulması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Petrografik indisler kömürlerin petrografik bileşimi (maseral ve mikrolitotipleri) kullanılarak belirlenmektedir. Birçok araştırmacı (Calder vd., 1991; Diessel, 1986; Mukhopadhyay, 1986) maseral analizleriyle petrografik indisler hesaplamışlar ve turba depolanması sırasındaki paleoortam veya bitki türünü ortaya koyan fasiyes ve paleoortam diyagramları tanımlamışlardır (Şekil 2). Bazı

araştırmacılar (Hacquebard, 1993a, 1993b; Hacquebard ve Donaldson, 1969; Marchioni, 1983; Pradier vd., 1994; Smyth, 1984) ise fasiyes ve paleoortam tanımlamaları için mikrolitotip birlikteliklerini kullanmışlardır (Şekil 3). Smith (1962, 1968) kömürlerin polen içeriğine göre depolanma ortamları tanımlamıştır. Son zamanlarda Jasper vd. (2010) palinolojik veya nicel makrofloral sayılara dayanarak su seviyesi koşullarını ortaya koyacak çalışmalar yapmışlardır (Suarez-Ruiz vd., 2012b).

Petrografik indisler:

$$TPI = \frac{\text{telovitrinit} + \text{teloinertinit}}{\text{detro-} + \text{gelovitrinit} + \text{detro-} + \text{geloinertinit}}$$

$$GI = \frac{\text{vitrinit} + \text{geloinertinit}}{\text{teloinertinit} + \text{detroinertinit}}$$



Şekil 2- a) Kömür fasiyes diyagramı (Diessel, 1986) b) Paleootam diyagramı (Calder vd., 1991).

$VI = (\text{telinit} + \text{telokolinit} + \text{füzinit} + \text{semifüzinit} + \text{süberinit} + \text{resinit}) / (\text{desmokolinit} + \text{inertodetrinit} + \text{alginit} + \text{liptodetrinit} + \text{sporinit} + \text{kütinit})$.

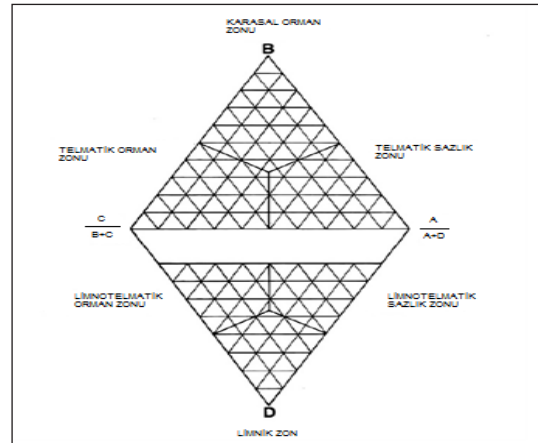
$GWI = (\text{gelinit} + \text{korpegelinit} + \text{kolodetrinit} + \text{mineral madde}) / (\text{telinit} + \text{kolotelinit})$

ORGANİK PETROLOJİNİN DAMAR KORELASYONU, STRATİGRAFİ VE PALEOCOĞRAFYA ÇALIŞMALARINDA KULLANIMI

Birçok kömür yatağı çoğunlukla birkaç kömür damarından oluşmaktadır. Bunların tanımlanması arama ve madencilik faaliyetlerinin planlanmasında büyük öneme sahiptir. Kömür damarları iki şekilde tanımlanabilir. Bunlar; komşu kayaçların tanımlanması veya damarların tek başına tanımlanması şeklinde olabilir. Komşu kayaçlara göre tanımlanırken kayaçların tipik özellikleri (örneğin kalın kumtaşı bantları, konglomera veya şeyli seviyeler gibi) belirtilir. Kömür damarlarının tanımlanmasında ise petrografik çalışmalardan yararlanılır. Bu yöntemde makro ve mikro petrografik tanımlamalar yapılır. Makro petrografik incelemelerde kömür damarları litotiplerine göre (füzen, düren, vitren gibi) tanımlanır. Litotip bantları ortam koşulları hakkında çeşitli ipuçları verir. Örneğin füzen seviyeleri su seviyesinin düşük olduğunu, düren bantları ise

su seviyesinin yüksekliğini işaret etmektedir. Standart damar kesitleri hazırlanırken genellikle mikrotipler tanımlanır. Bu tür standart profiller ayrı kömür havzalarındaki damarları korele etmek için kullanılır (Taylor vd., 1998).

Stratigrafik çalışmalarda, organik petroloji klavuz seviyelerin belirlenmesinde kullanılabilir. Örneğin metamorfik kayaç serilerinde graptolitçe zengin seviyeler veya kömür damarlarında inertinitçe, sporca, alginitçe zengin seviyeler klavuz seviye olarak kullanılabilirler. Benzer şekilde fosil içermeyen se-



Şekil 3-Mikrolitotip fasiyes diyagramı (Hacquebard ve Donaldson, 1969) A= sporoklarit + duroklarit + vitrinertoliptit; B= fusito-klarit+ vitrinertit-I; C= klarit-V + vitrit + kütikoklarit + vitrinertit-V; D= klarodurit + durit + makrit + karbominerit

viyelerde stratigrafik alt bölümlenmeleri veya yaş tahminlerini yapabilmek için vitrinit yansıtma verilerinden yararlanılır.

Sedimanter havza gelişiminin belirlenmesine yönelik çalışmalarda yatay ve dikey yöndeki kömürleşme derecesi veya olgunlaşma verileri sıklıkla kullanılır. Rank haritaları veya rank profilleri havza çalışmalarında önemli rol oynar. Rank profilleri derin sondaj veya şaftlardan alınan örneklerden elde edilen verilerle hazırlanır. Bu tür rank haritaları paleocoğrafik, yapısal veya jeotermal sorunlara çözüm bulmasının yanı sıra madencilik faaliyetlerinde de gereklidir.

Organik petroloji, son yıllarda yansıtma ölçümleri ve diğer mikroskobik yöntemlerle kömür ve diğer sedimanter havzaların gelişimlerinin ortaya konulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin; Manum ve Thronson (1978) Spitsbergen Tersiyer sedimanlarının birikimi ve sonrasında oluşan erozyon alanlarını tahmin etmek için kömürleşme derecesini kullanmışlardır. Kalkreuth vd. (1989) ise Kanada'nın Kayalık dağlarında kömür içeren Kretase yaşlı havzalarda kömürleşme derecesi ve stratigrafik derinlik değişimi arasında doğrusal bir ilişkinin varlığını ortaya koymuşlardır. Elde ettikleri verilere göre hazırladıkları eş-yansıtma haritalarında eş-yansıtma çizgilerinin kıvrımlanmış birimlerin tabakalarına paralel şekilde devam ettiğini ve buna dayanarak Üst Kretase ve Tersiyer'de kömür oluşumunun kıvrımlanma ve bindirmelerin başlamasından önce gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Rank haritaları aynı zamanda aşınmış sedimanların kalınlıkları hakkında da bilgi verebilir. Middleton ve Schmidt (1982) vitrinit yansıtma verilerinden yola çıkarak Sidney (Avustralya) kömür havzasında aşınan sedimanların kalınlığını belirlemeye çalışmışlardır. Ancak Katz vd. (1988) bazı durumlarda bu yöntemin sağlıklı sonuçlar vermeyeceğini belirtmişlerdir. Erozyondan sonra tekrar bir gömülme sürecini olması durumunda yansıtma değerleri erozyon öncesi değerlerden

çok daha yükseğe çıkabileceğini, uyumsuzluk seviyelerinde gözlenen yansıtma değerleri arasındaki farkın azalabileceğini ve bir süre sonra bu farkın kapanabileceğini ileri sürmüşlerdir.

ORGANİK PETROLOJİNİN TEKTONİK ÇALIŞMALARDA KULLANIMI

Tektonizmanın bazı özellikleri çoğu kez mikroskopta çözülebilir. Örneğin karbonatlı kilitaşındaki mikro kıvrımlar veya mikro makaslanmalar yanal basıncı işaret edebilir. Kömür tabakalarındaki vitrinit yansıtmasının biaxial özelliği kömürleşme süreci boyunca etkiyen yanal tektonik basıncı işaret eder. Kalkreuth vd. (1989) Kretase yaşlı kıvrımlanmış kömürler üzerinde yaptıkları çalışmada maksimum yansıtma (R_{mak}) değerlerinin mikroskobik kıvrım eksenlerine az çok paralel bir düzende olduğunu saptamışlardır. Dağ oluşumlarında kıvrımlanmadan önce oluşan kömürlerde belirli derinliklerde, senklinallerde düşük ranklar, antiklinallerde yüksek ranklar gözlenir.

Sondajlarda, 100 m'den daha derin rank çalışmalarında, ise fay zonlarının belirlenmesine yardımcı olur. Yatay veya hafif eğimli birimlerde rank derinlikle birlikte düzenli olarak artar (Hilt kanunu). Örneğin ters faylarda sondaj örneklerine ait rank profillerinde yüksek değerden düşük değere ani bir geçiş gözlenir. Oysa normal faylarda rank değerleri fay düzleminin altında aniden artar.

Plaka tektoniği ve kömürleşme derecesi arasındaki ilişki ise ilk kez Bostick (1974) tarafından ortaya atılmıştır. Kalifornia Great Valley'de Jura-Kretase yaşlı Franciscan ve Great Valley serilerinde şaşkırtıcı derecede düşük yansıtma değerleri (R_{mak} %1,1-2,1 ve %0,4-0,6) bulmuştur. Oysa Franciscan serilerinin mineral fasiyesi epizona karşılık gelmektedir. Bostick bu anormal durumu okyanus kabuğunun batıya doğru hareket ederek Franciscan serileriyle birlikte soğuk kıtasal kabuk altına dalması sonucu düşük sıcaklık ve yüksek basınç koşullarının bir sonucu ola-

rak açıklamıştır. Yay arkası havzalarda nispeten yüksek ranklı kömürler, yay önü havzalarda ise düşük ranklı kömürler gözlenir.

ORGANİK PETROLOJİ-JEOTERMİK İLİŞKİ

Kömürleşme derecesi ve olgunlaşmanın kayaç ısı ile yakından ilişkisi vardır. Rank değişimleri gömülme derinliği ve ısı akısına bağlıdır. Ancak Tissot ve Welte (1978) vitrinit yansıtması ve diğer rank ve olgunlaşma ölçümlerinin doğrudan paleo-sıcaklığa dönüştürülmemesi gerektiğini belirtmişlerdir. Rank değişimlerinin ısı akısı ve gömülmeye bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Gömülme derinlikleri, stratigrafik ve sismik kesitlere dayanarak ortaya konulmuş olan jeolojik yapıyla birlikte değerlendirilmelidir. Bunun yanı sıra özellikle uzun ve karmaşık gömülme tarihine sahip havzalarda erozyon miktarı hesaba katılmalıdır. Isı akısı kabuktaki radyoaktivite, manto/kabuk sınırının derinliği ve kayaçların ısı iletkenliği ile ilgilidir. Örneğin ısı iletkenliği yüksek olan tuzlu litolojilerde gradyan küçükken, ısı iletkenli düşük olan kömürlü birimlerde yüksektir. Jeotermal gradyanlar, kabuk/manto sınırı derinliği ile ters orantılıdır.

Sedimanter kayaçlarla örtülü alanlarda jeotermal araştırma çalışmaları için paleosıcaklık analizleri önemli bir yer tutmaktadır. Paleosıcaklık belirteci olarak vitrinit yansıtma değerlerinin ölçülmesi bu amaçla kullanılan yöntemlerden biridir. MTA Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesinde yürütülen bir çalışmada, önceki yıllarda Aliğa (İzmir) jeotermal alanında açılan jeotermal sondajlara ait karot örnekleri ile linyitli Miyosen istifine ait yüzey örnekleri üzerinde gerekli analizler yapılarak yöntemin kullanılabilirliği ve uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda Soma formasyonuna ait linyit örneklerinin vitrinit yansıtma değerleri %0,51-0,57 arasında, diğer bölgelerden alınan yüzey örneklerinde ise %0,14-1,78 arasında değişimler gözlenmiştir. Ancak, Aliğa jeotermal alanında yapılan sondajlara ait karot örnekleri ile yüzey örnek-

lerinde bu değerlerin %0,14-1,16 arasında değiştiği belirlenmiştir. Elde edilen bu verilere dayanarak, önemli sayılabilecek bu vitrinit yansıtma değerindeki farkın nedeninin, linyitli Miyosen çökellerinin Aliğa jeotermal sahasında hızlı bir ısınmadan etkilenmiş olduğu şeklinde yorumlanmıştır (Şengüler vd., 2000).

ORGANİK PETROLOJİNİN HİDROKARBON ARAMALARINDA KULLANIMI

Hidrokarbonların oluşumu için organikçe zengin kaynak kayaca ve onun olgunlaşmasına ihtiyaç vardır. Termal olgunlaşma jeolojik birimlerdeki hidrokarbonların oluşumu için çok önemlidir. Özellikle hidrokarbon aramalarına yönelik çalışmalarda organik petrolojide, floresan ışıktan daha çok yararlanır. Floresan ışığın dalga boyu ve emisyon yoğunluğu organik maddenin petrol üretme potansiyeli ile doğrudan ilişkilidir. Işığın emisyon yoğunluğu, ilerleyen olgunlaşma ve petrol oluşumu ile artar. Başlangıçta yeşil ve sarı renklerde gözlenen organik madde, olgunlaşmanın artması ile portakal rengi ve kırmızıya doğru değişim gösterir ve en son petrol oluşum aralığının bittiği (oil death-line) görünmeyen kızılötesi bölgede organik madde floresan özelliğini kaybeder.

MADEN YATAKLARI-ORGANİK MADDE İLİŞKİSİ

Ekonomik öneme sahip bazı cevher yatakları organik madde ile birlikte bulunmaktadır. Orta Avrupa'da Kupferschiefer bakır yatağında soy-metaller ve Cu-Pb-Zn-S cevherleşmeleri ile birlikte bulunan, bitümlü şeyler; Güney Afrika'da Witwaterstrand cevher yatağında, altın ve uraninit ile birlikte bulunan kerojen ve bitümden oluşan organik madde; Şili'deki Carlin tip dissemine altın yataklarındaki hidrokarbonlar ve çeşitli bakır yataklarındaki bitümler; cevher-organik madde birlikteliğine örnek olarak verilebilir.

Organik maddenin cevher oluşumuyla ilişkisi, cevher yatağının yerleşimine aktif katkı-

lımı şeklinde veya oluşum süreçlerine bağlı olmaksızın, depolanma sonrası organik maddenin alterasyonuna kadar, farklı şekillerde olabilir. Yaşayan organizmaların bünyesinde oluşan metal birikimleri; metal absorpsiyonu veya organik maddenin, indirgenme reaksiyonlarını kolaylaştırması sonucu gerçekleştirilebilir. Organik maddenin asidik, indirgeme ve kenetleme (chelating) özelliklerinden dolayı metallere karşılıklı olarak etkileşimde bulunurlar. Redoks reaksiyonları, organik maddenin indirgeme ajanı olarak davrandığı, cevher oluşumunun gerçekleştiği diyajenetik ve epijenetik ortamlarda, önemli bir mekanizmadır. Örnek olarak metal-sülfat yataklarının oluşumundaki çözünür metal sülfatlar veya çözünür metal katyonların, çözünmeyen doğal elementlere indirgenmesi verilebilir. Tüm durumlarda organik madde oksitlenmektedir. Leventhal (1986) cevher yataklarındaki organik maddenin rolünü ve fiziko-kimyasal süreçleri gösteren bir tablo hazırlamıştır (Çizelge 1).

Son 30 yılda birçok araştırmacı çoğunlukla organik jeokimya teknikleri (TOC ve C, H, N, O, S analizleri, Rock-Eval Pirolyzi, GC-MS analizi, C, O gibi duraylı izotop analizler vb) kullanarak cevher yatakları ile organik madde arasındaki ilişkiyi ortaya koymaya çalışmışlardır. Bir kısım araştırmacılar da organik petroloji uygulamalarıyla birlikte taramalı elektron mikroskobu (SEM), geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ve organik jeokimyasal analizlerinde yardımıyla metal zenginleşmelerinde organik maddenin rolünü araştırmışlardır. Macqueen vd., (1983) cevher yataklarında gözlenen organik maddenin özelliklerinin ayrıntılı ortaya konması, cevherin zaman-sıcaklık gömülme tarihçesinin tahmin edilmesinde ve cevher yatağındaki organik maddenin aktif veya pasif rolünün aydınlatılmasında yardımcı olabileceğini belirtmiştir. Aynı zamanda metallere kaynağı, taşınma ve çökme mekanizmaları, yan kayaçların termal tarihçeleri gibi bilgilere ulaşmaya da yardımcı olacaktır. Bir cevher yatağındaki organik maddeden iki anahtar parametre belirlenebilir. Bunlar orga-

Çizelge 1- Organik ve inorganik maddelerin cevher yataklarında ki rollerinin karşılaştırılması (Leventhal, 1986).

Süreç	Organik maddenin rolü	İnorganik maddenin rolü
Mobilizasyon	Organik madde ayrışımı toprak ve yer altı suyunda, kısmi CO ₂ basıncını yükseltir ve kaynak kayaçlardan uranyum ve diğer metalleri liç edip harekete geçiren organik CO ₂ ve organik asitleri artırır.	Atmosferik CO ₂ (meteoric sulardaki) ve hidrotermal akışkanlar metalleri liç eder.
Taşınma	Hümitik ve fülvik asitler tarafından iyon değiş tokuşuyla tutulan metal katyonlar organik madde ile birlikte taşınır. Örneğin uranyum bikarbonat anyonu veya çözünür organik bileşikler halinde yer altı suyu ve yüzey sularıyla taşınır.	Soğuk ve sıcak sular inorganik bileşiklerle birlikte metalleri taşır (örneğin Cl ⁻ , or PO ₄ ⁻³).
Zenginleşme	pH'ın uygun olduğu durumlarda fonksiyonel gruplara sahip organik madde (hümitik asitler gibi) iyon değişimi veya kenetlenme ile uranyum ve diğer metallere bağlanabilir. Bu tip organik bileşikler pH'ın daha asidik olduğu, katı çözünmesinin arttığı akifer sularının boşaldığı ara birimlerde veya kil yüzeylerinde çöker.	Killer, demir ve manganez oksitler bazı metalleri adsorbilayarak zenginleşmelerinde etkili olurlar.
İndirgeme	Organik madde, metalleri doğrudan veya sırayla (sülfat, sülfid, metal gibi) indirgeyebilir.	Allojenik hidrojen sülfid (kaynağı hidrotermal akışkanlar veya petrol rezervuarları olan) indirgeyici olarak hizmet eder.
Koruma	Organik madde ile iyice karışmış olan indirgenmiş metal sülfidler veya uranyum oksijenince zengin yeraltı suyu tarafından oksidasyon ve remobilizasyon ile korunur.	Karbonat çimento ve killer gözenekliliği azaltır ve su akışına engel olur.

nik maddenin termal olgunlaşma derecesi ve organik maddenin türü ve kaynağıdır. Organik maddenin düşük yansıtmasından dolayı metalik minerallerden ayırt etmek mikroskopta oldukça kolaydır. Cevher yataklarıyla birlikte bulunan organik maddenin türü (kerojen, bitüm, petrol gibi) ve kaynağı (Avustralya'daki Western Lachlan Orogen altın yatağında tespit edilen graptolit ve kitiniza gibi organoklastikler; alginit ve onun kalıntıları, petrolün göçünden geriye kalan katı bitüm/pirobütümler gibi) detaylı petrografik çalışmalarla ortaya konulabilir (Suarez-Ruiz vd., 2012a).

MİNERALLİ KAYAÇLARIN DİYAJENEZ VE METAMORFİZMASI-KÖMÜRLEŞME DERECEİ İLİŞKİSİ

Kömürleşme ve olgunlaşmadan farklı olarak, mineralli kayaçların diyajenezi ve metamorfizması sadece sıcaklık, basınç ve zamana bağlı olmayıp aynı zamanda pH, Eh, suyun kısmi basıncı, katyon girdisi gibi karmaşık fiziksel ve kimyasal etkileşimlere de bağlıdır. Mineralli kayaçlarda diyajenez ve metamorfizmanın devam eden süreçleri, mineral dönüşümleri esas alınarak birbirin-

den ayırt edilir ve bunun için farklı mineral indeksleri kullanılır (Çizelge 2). Örneğin illit kristalinitesi ve vitrinit yansıtması ankizon kayaç metamorfizmasında yaygın olarak kullanılan parametrelerdir. Çok düşük dereceli metamorfizma süresince olan mineralojik değişiklikler illit ve kloritte tipiktir (Dunoyer de Segonzac, 1970, Kisch, 1987). Weaver (1984)'e göre de pyrophyllite, paragonite ve stilpnomelane mineralleri tipik minerallerdir. Örneğin pyrophyllite ankizonun en üst seviyesine karşılık gelen 200-300°C sıcaklıkta kaolinit ve kuvarstan itibaren oluşur. Epizon başlangıcında ise duraysız olmaya başlar (Robert, 1988).

Düşük dereceli metamorfizma sıcaklığı 300-350°C ve 500-650°C sıcaklıkları arasında gerçekleşir. Schüller (1961) grafitin yeşil şist fasiyesinin belirteci olduğunu ileri sürmüştür. Bununla birlikte düşük dereceli metamorfizma kayaçları genellikle meta-antrasit ve semi grafitte karşılık gelmektedir (Teichmüller, 1987). Yüksek dereceli metamorfik kayaçlar ise organik maddenin tamamen grafitte dönüştüğü aşamaya karşılık gelmektedir.

Çizelge 2- Alplere ait verilere göre farklı düşük dereceli metamorfizma belirteçlerinin karşılaştırılması (Frey, 1986; Taylor vd., 1998).

İllit kristalinitesi	Metamorfik fasiyeler	Akışkan zon		Kömürleşme derecesi (USA)
Diyajenez	Zeolit	HHC (higher hydrocarbons)	200°C	Bitümlü kömür
Ankizon	Prehinit-pümpelliyit	CH ₄	270°C	Semi-antrasit
Epizon	Pümpelliyit-aktinolit			Antrasit (%2.8% R _{max})
	Yeşilşist	H ₂ O	Meta-antrasit (%6.0 R _{max})	Semi grafit
				Grafit

DEĞİNİLEN BELGELER

- Bostick, N.H. 1974. Phytoclasts as indicators of thermal metamorphism. Franciscan assemblage and Great Valley sequence (Upper Mesozoic), California. *Geological Society of America. Special Publication* 153, 1-17.
- Calder, J.H., Gibling, M.R., Mukhopadhyay, P., 1991. Peat formation in a Westphalian B piedmont setting, Cumberland basin, Nova Scotia: implications for the maceralbased interpretation of rheotrophic and raised paleomires. *Bulletin de la Societe Geologique de France* 162, 283–298.
- Frey, M., Teichmüller, M., Teichmüller, R., Mullis, J., Künzi, B., Breitschmid, A., Gruner, U., Schwizer, B. 1980. Very low metamorphism in external parts of the Central Alps: illite crystallinity, coal rank, and fluid inclusion data. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 73, 1, 173-203.
- Diessel, C.F.K., 1986. On the correlation between coal facies and depositional environments. *Symposium Advance in the Study of the Sydney Basin. Proceedings*, 20th, Newcastle, pp. 19–22.
- Dunoyer de Segonzac, G. 1970. The transformation of clay minerals during diagenesis and low-grade metamorphism: a review. *Sedimentology*, 15, 281-346.
- Hacquebard, P.A., 1993a. Petrology and facies studies of the Carboniferous coals at Mabou Mines and Inverness in comparison with those of the Port Hood, St. Rose and Sidney coalfields of Cape Breton Island, Nova Scotia, Canada. *International Journal of Coal Geology* 24, 7–46.
- Hacquebard, P.A., 1993b. The Sydney coalfield of Nova Scotia, Canada. *International Journal of Coal Geology* 23, 29–42.
- Hacquebard, P.A., Donaldson, J.R., 1969. Carboniferous coal deposition associated with flood-plain and limnic environments in Nova Scotia. In: Dapples, E.D., Hopkins, M.E. (Eds.), *Environments of Coal Deposition. : Special Paper 114. Geological Society of America, Boulder, Colo*, pp. 143–191.
- Jasper, K., Hartkopf-Fröder, C., Flajs, G., Litke, R., 2010. Evolution of Pennsylvanian (Late Carboniferous) peat swamps of the Ruhr Basin, Germany: comparison of palynological, coal petrographical and organic geochemical data. *International Journal of Coal Geology* 83, 346–365.
- Kalkreuth, W., Langenberg, W., McMechan, M. 1989. Regional coalification pattern of Lower Cretaceous coal-bearing strata, Rocky Mountain foothills and foreland, Canada-implications for future exploration. *International Journal of Coal Geology*, 13, 261-302.
- Katz, B.J., Pfeifer, R.N., Schunk, D.J. 1988. Interpretation of discontinuous vitrinite reflectance profiles. *American Association Petroleum Geology Bulletin. Studies in Geology* 37, 639-641.
- Kisch, H.J. 1987. Correlation between indicators of very low-grade metamorphism. – In Frey, M. (Ed.): *Low Temperature metamorphism*, Blackie, Glasgow-London, 227-300.
- Leventhal, J.S., 1986. Roles of organic matter in ore deposits, in Dean, W.E. (Ed.), *Organics and ore deposits. Proceedings of the Denver Region Exploration Geologists Society Symposium*, 7-20
- Manum, S.B., Throndsen, T. 1978. Rank of coal and dispersed organic matter and organic its geological bearing in the Spitsbergen Tertiary. *Norsk Polarinst. Arb.*, 1977, 159-177.
- Marchioni, D.L., 1983. The detection of weathering in coal by petrographic, rheologic and chemical methods. *International Journal of Coal Geology* 2, 231–259.
- MacQueen, R.W., Powell, T.G. 1983. Organic geochemistry of the Pine Point lead-zinc ore field and region, Northwest Territories, Canada. *Economic Geology*, 78, 1, 1-25.

- Middleton, M.F., Schmidt, P.W. 1982. Paleogeothermometry of the Sydney Basin, Australia. *Journal of Geophysical Res.* 87, B7, 5351-5359.
- Mukhopadhyay, P.K., 1986. Petrography of selected Wilcox and Jackson Group lignites from the Tertiary of Texas. In: Finkelman, R.B., Casagrande, D.J. (Eds.), *Geology of Gulf Coast Lignites, Field Trip Guide Book. Geological Society of America, Boulder, Colo*, p. 140.
- Pradier, B., Nicolas, G., Gérard, J., 1994. L'analyse des milieux de dépôt des charbons, outil de corrélation dans le Brent de Mer du Nord. *Bulletin Centre Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine* 18, 121–133.
- Robert, P. 1988. Organic metamorphism and Geothermal History: Microscopic study of Organic Matter and Thermal Evolution of Sedimentary Basins. *ELF-Aquitaine & Reidel Publ. Co., Dordrecht*, 311 pp.
- Schüller, A. 1961. Die Druck-Temperatur und Energiefelder de metamorphose. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 96, 250-290.
- Smith, A.H.V., 1962. The palaeoecology of Carboniferous peats based on the miospores and petrography of bituminous coals. In: Muir, M.D., Sarjeant, W.A.S. (Eds.), *Palynology, Part I; Spores and Pollen. : Benchmark Papers in Geology*, 46. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., pp. 334–368.
- Smith, A.H.V., 1968. Seam profiles and seam characters. In: Murchison, D.G., Westoll, T.S. (Eds.), *Coal and Coal-bearing Strata. Oliver Boyd, Edinburgh*, pp. 31–40.
- Smyth, M., 1984. Coal microlithotypes related to sedimentary environments in the Cooper Basin, Australia. In: Rahmani, R.A., Flores, R.M. (Eds.), *Sedimentology of Coal and Coal-bearing Sequences*, pp. 333–347.
- Suárez-Ruiz, I., Flores, D., Mendonça Filho, J.G., Hackley, P.C. 2012a. Review and update of the Applications of Organic Petrology: part 2, geological and multidisciplinary applications. *International Journal of Coal Geology*, 98, 93-94.
- Suárez-Ruiz, I., Flores, D., Mendonça Filho, J.G., Hackley, P.C. 2012b. Review and update of the Applications of Organic Petrology: part 1, geological applications. *International Journal of Coal Geology*, 99, 54-112.
- Şengüler, İ., Şener, M., Kök, M. V., 2000. Paleotemperature analysis of Aliğa (İzmir, Turkey) geothermal field. *Energy Sources*, 22: 357-362.
- Taylor, G. H., Teichmüller, M., Davis, A., Dessel, C. F. K., Littke, R., Robert P., 1998. *Organic Petrology. A new handbook incorporating some revised parts of Stach's Textbook of Coal Petrology, first ed. Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart*, 704p.
- Teichmüller, M., 1987. Recent advances in coalification studies in their applications to geology. In: Scott, A.C. (Ed.), *Coal and Coal-bearing Strata: Recent Advances. : Geol. Soc. Spec. Publ.*, 32. Blackwell Sci. Publ., Oxford, pp. 127–170.
- Tissot, B.P., Welte, D.H. 1978. Petroleum formation and occurrence; a new approach to oil and gas exploration. *Springer, Berlin*, 538p.
- Weaver, C.E. 1984. Shale-slate metamorphism in southern Appalachians. In: Devel. In Petrol., 10, *Elsevier, Amsterdam*, 348 pp.