

Kapalı işletmelerde madene girecek suyun azaltılması için şu önlemler alınabilir;

1° Cevherli seviyenin tabanı geçirimsiz olması halinde, bu seviyeye kadar indirilecek su boşaltım sayesinde, su seviyesi düşürülerek emniyetli bir çalışma ortamı sağlanır.

2° kırıklı ve boşluklu kayalarda kil lapaları ve yoğun sondaj çamuru kullanılarak permeabilite düşürülebilir. Bu tip malzemeler akifer nitelikli kayalar üzerine serilmeleri halinde geçirimsiz bir yüzey oluştururlar. Baca inme çalışmaları sırasında bu tipler işlem halen Kanada, Avrupa ve Afrika'da başarı ile sürdürülmektedir.

3° bazı işletmelere ise kimyasal ve bakteriyolojik katkıları kullanılarak geçirimsizlik düşürülmektedir.

Kapalı maden işletmelerinde yüzey suyu kontrolü şu şekilde sağlanmaktadır:

1° yüzey suyunun bacaya inmesini önlemek için maden civarında engel duvarların yapımı.

2° suyun madene girer girmez atılması.

3° baca iniş yeri seçimi sırasında bölgenin hidrojeolojik koşulları gözönüne alınması.

4° baca etrafında geçirimsiz zonlar oluşturulması.

5° işletmelerde akifer nitelikli kayalarda geçirimsizliği düşürülmesi (daha önce yapılmış sondajlara ait deliklerin tıkanması vs.)

6° işletmedeki su atım sisteminin her an çalışmaya hazır durumda tutulması.

Yurdumuzda örneği çok olan ilkel yöntemlerle çalışan, baca inişi sırasında hidrojeolojik koşulları göz önüne almadan yapılan işletmelerden bir kısmı, Balıkesir-Bigadiç'te bulunan terk edilmiş ve çalışan boraks ocaklarıdır. İşletme için baca yeri seçiminde akifer nitelikli kayalardan inilen ve işletmede

su tablasının çayla beslendiği ocak, bir müddet çalıştıktan sonra terk edilmiş, diğerleri ise zor koşullar altında çalışmasını sürdürmektedir. Bu tip işletmelerde madene gelen fazla miktarda su;

1° tabii yeraltı suyu sızmalarından

2° baca ve galerinin akifer nitelikli kayalar içinde açılmasından,

3° sahada daha önce yapılan rezerv sondajlarına ait çukurlardan gelen sulardır.

Sular kolemanit'ce zengin zonlardan geçerken borla yıkanarak ocaktan atılırlar ki bu da çevre için büyük kirletici unsurdur.

Kapalı işletmelere yüzeyden gelen ani sular, işletmeden atılan suya ilave yeni sorunlar oluşturur, bunlar;

1° ilave su atımı için yeniden şebeke dizayını,

2° madende fazla suyun oluşturduğu olumsuz koşullar,

3° madenden çıkacak daha fazla çevre kirletici sudur.

İşletmelere gelebilecek ani yüzey sularına karşı şu önlemler alınır;

1° suyun gelebileceği yerlere engel duvarların yapımı,

2° işletmeye ilave pompa ve boru sistemlerinin yapımı,

3° işletmeye yüzeyden su sızmasını önlemek için geçirimsiz seviyeler üzerine yoğunluğu fazla kil-çamur serilmesidir.

Ülkemizde, çok eski çağlardan bu yana işletilmiş ve büyük bir kısmı su sorunları nedeniyle bugün terk edilmiş durumda olan pek çok maden ocağının, önümüzdeki yıllarda hidrojeolojik açıdan ele alındıkları takdirde, yeniden işletilebilir şekilde dönüştürülebilmeleri olasıdır.

## Hidrokarbonların Oluşumunu Kapsayan, Kerojen Olgunlaşma Sürecinin Yeniden Değerlendirilmesi

J. D. Saxby

Çeviri : Hüseyin İŞ, Türkiye Petrolleri Anonim Şirketi Ankara.

### ÖZ

Petrol ve gazın oluştuğu koşulları belirleyen vitrit yansımaları çeşitli yönlerden incelenmiştir. Kömürleşme reaksiyonları, kerojen bileşenleri, eş-yansıma çizgileri, sporların rengi ve fluoresansı ve

elektron-spin rezonans olayının incelenmesi ve de rezervuar sıcaklığının jeokimyasal yöntemlerle araştırılması sonucu şu sıralamalara gidilmiştir: petrol % 10 - 2.0 R<sub>o</sub>, nemli gaz % 1.5 - 3.0 R<sub>o</sub>, metan % 2.0 - 5.0 R<sub>o</sub> aralıklarında oluşurlar. Bu sonuç hidrokarbonların (daha önceki araştırmalarda ileri sürülenden) daha sıcak ve daha derin koşullarda oluşabileceklerini ortaya koyuyor. Sonuç olarak, vitritlerin incelenemediği rezervuarlarda yansıma aralıkları genişletilebilir: petrol, < % 0.4 - 1.3 R<sub>o</sub>, metan, < % 0.4 - 3.0 R<sub>o</sub>.

Journal of Petroleum Geology dergisinin 1982 yılında yayımlanan 5. sayısının 117-128 nci sayfalarındaki «A reassessment of the range of kerogen maturities in which hydrocarbons are generated» başlıklı makaleden türkçeleştirilmiştir.

## GİRİŞ

Organik jeokimya tekniklerinin hidrokarbonları inceleme yöntemlerine uygulanmasında en önemli sorunlardan biri hidrokarbonların oluşumunu içeren kerojen olgunlaşma kuşaklarının doğru olarak saptanmasıdır. Bunun için birçok parametre kullanıldı, ama son yıllarda, vitrinit yansımaları değerleri ( $R_o$ ) temel ölçü olarak alınmaya başlandı. Tissot ve Welte (1978)'nin deyimiyle «vitrinit yansımaları kömürleşme evrelerinin saptanmasında en geçerli parametrelerden biridir.» Petrolun oluştuğu  $R_o$  aralığı (ya da «petrol penceresi») % 0.7 - 1.2'dir, fakat daha yüksek ya da daha düşük değerler de önerilebilir. Bu çalışmanın amacı, çeşitli hidrokarbon oluşum kuşaklarını belirleyen yansımaları değerlerinin temelini ve kaynağını araştırmak ve elde edilen parametrelerin anlam ve önemini yeniden değerlendirmektir.

Petrolün içinde oluştuğu kaynak kaya için belli bir yansımaları penceresi ve şu anda petrolü içinde bulunduran rezervuar kayanın bir yansımaları penceresi vardır. Karışıklığı önlemek için, bunların aynı olmadıklarını vurgulamak gerekir. İkincisi arama sondajları açısından büyük önem taşır, fakat kerojen, den türemiş ham petrol bileşenlerini içeren kuşakla hiçbir ilgisi olmayabilir. White (1915)'in ilk karbon-oran teorisi rezervuardaki petrol ve yine bu rezervuarda ya da bitişğinde bulunan birimdeki kömürün karbon oranıyla ilgiliydi. Daha sonra Ammasov ve Syn-i (1961), rezervuarda petrol bulunan kuşağın tabanında, % 1.0  $R_o$ 'da bir petrol sonucu çizgisi saptadılar.  $R_o$  değerleri üzerine yapılan araştırmaların birçoğu kaynak kayada petrol oluşumuna aittir, fakat bazan kaynak kaya/rezervuar kaya ayırımı kesin değildir.

Bir petrol penceresi kavramı tartışılıp kabul edilmiş ve birçok havzaya uygulanmıştır (Tissot ve Welte, 1978; Hunt, 1979; Jones ve Edison, 1978; Hood ve diğ., 1975; Vassoyevich ve diğ., 1970; Stach ve diğ., 1975; Heroux ve diğ., 1979; Durand, 1980; Dow, 1977). Şek. 1, vitrinit yansımalarının kömür ve kerojen özelliklerine nasıl bağlı olduğunu göstermektedir. Olgunlaşmamış kuşak ile petrol, kondansat ve gaz oluşum kuşakları diğer parametrelere de bağlıdır. Tamamen geçmişte olup bitmiş olan jeokimyasal reaksiyonlar için bugünkü kayalardan elde edilen özelliklerin ölçü alınması sorun yaratmaktadır.

Yukarıda değinilen birtakım kuşaklar gözönünde tutulursa birçok durumda vitrinit-olgunlaşma derecelerinin jeolojik bulgularla desteklenmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bir rezervuardaki petrol ile ona bitişik şeylerdeki petrol aynı yapıda olup «bir evin su boruları düzeneğine» benzer ilişki içinde dirler. Sonuç olarak şeylin kaynak kaya olduğu ileri sürülüyor. Şeyl içinde saçılmış halde bulunan vitrinitlerdeki  $R_o$  ölçümleri, olgunlaşmış petrol kuşağını saptamada kullanılır. Bazı durumlarda bu yaklaşıma, % 0.5 ya da % 0.4  $R_o$ 'lık olgunlaşma derecesine sahip olan organik maddelerde ulaçılır. Böyle bir sonuç, petrol oluşumunun başlangıcını belir-

tir ve hümitin vitrinite dönüşmesi olayı (tam vitrinitin ortaya çıktığı an) ile çakışır. Jeolojik yaklaşımın kaçınılmaz sonucu şudur; karbonatlı katmanlar kaynak kaya olmaya yatkındırlar ve bunun birçok örnekleri görülmüştür. Özellikle sıg sondajların yapılmış olduğu yerlerde verilerin sınırlı olmasından ötürü, daha derin katmanlar için sismik kesitler üzerinde yanlış ayırmalar yapılabilir.

Ne yazık ki bütün havzalarda, bütün organik madde türlerinin oluşum kuşaklarını kesin olarak tanımlayan deneysel ya da teorik, yalın bir parametre yoktur. İlgili bütün ölçümleri incelemek ve bütün şekilleri karşılaştırmak en uygunu olacaktır. Bu yeniden değerlendirmenin temeli, özellikle açık denizlerde yapılan derin sondajlardan elde edilen bilgilere, sıg rezervuarlarda petrolün bakteriyel bozunmasının yaygın olmasına, Avusturalya havzalarında süregelen kaynak kaya incelemelerine ve bunlardan elde edilen sonuçlara dayanıyor. Bundan başka Gold (1979) ve Price (1980)'in uzlaşmaz teorileri petrol jeokimyasında temel teorilerin sağlıklı bir biçimde yeniden incelenmesine neden oldular. Bu incelemede, zaman/sıcaklık ve oluşum arasındaki ilişkiyi çapraşık bir duruma sokmaktan öte, vitrinit yansımalarından yararlanarak zaman ve sıcaklığın, olgunlaşma olayındaki bileşik etkisi ortaya çıkarılmağa çalışılıyor.

## KÖMÜRLEŞME

Kömür jeokimyacıları, turbanın yavaş yavaş grafitte dönüşmesinde (Şek. 1), daha çok katı artıklar ile ilgilenirler. Diğer yandan belli bir evrim geçiren kömür buharı, kömürleşmenin evrelerine bağlı olarak birinci derecede önem taşır. Unutulmamalıdır ki varolan diğer maddeler içinde kömür, tek başına reaksiyon belirleyici değildir, fakat alifatik/aromatik yapısında kendine aynı reaksiyonu geçirir. Kerojende (vitrinite göre) değişik kimyasal bileşenlerin oranları farklıdır, fakat izlenen reaksiyon çizgisi temelde aynıdır. Vitrinit çoğunlukla % 80 aromatik yapılar içerir, oysa iyi bir kaynak kayada % 30'den çok alifatik yapılar vardır. Yapay olarak gerçekleştirilen olgunlaşma reaksiyonları doğadakinden büyük ölçüde farklıdır.

Adsorbe edilmiş suyun yokolması ve önce aerobik, sonra da anaerobik koşullara ait mikrobik etkenlerin ortaya çıkması turba linyit ve yarı-bitüm oluşma evreleri boyunca görülen başlıca değişimlerdir. Erken diyajenez sonucu oluşan metan (biyojenik metan) da önemli bir üründür (Rice ve Claypool, 1981). İlk «kömürleşme hamlesi» % 0.6  $R_o$ 'da başlar ve termal ayrışma ile, bazı organik bileşenleri ilk bileşenlerine ayırmaya zorlar. Vitrinitte bulunan oldukça büyük moleküllü karboksil (-COOH) gruplarının, karbondioksit açığa çıkaracak şekilde parçalanmaları düşük bir enerji (30-50 Kcal/mol) gerektirir (Abelson, 1973). Genelde, kömürlerin (ve kerojenlerin) % 1.0  $R_o$ 'da -COOH gruplarından arınık olmaları bu görüşü doğrular. Önemli sorunlardan biri de ham petroldeki doymuş hidrokarbonların, ağır moleküllü

R <sub>0</sub> Vitrinit (%)	Kömür aşaması (A.B.D.)	Vitrinitteki organik karbon (% dmmf)	Vitrinitteki uçucu madde (% dmmf)	Spor rengi	Spor fluoresansı maksimum (nm) (görelî şiddet)	Termal alterasyon göstergesi (Jones ve Edison, 1978)	Organik olgunlaşma düzeyi (Hood ve diğ. 1975)	Hidrokarbon oluşumu (Vassoevich ve diğ. 1970 Stach v. diğ. 75)	Hidrokarbon oluşumu (Tissot ve Welte, 1978)			Hidrokarbon oluşumu (Jones ve Edison, 1978)	Hidrokarbon oluşumu (Hood ve diğ. 1975)
									Tip I	Tip II	Tip III		
0.2	Turba	60	70	Sarı	550(0)	1.5		Erken diyajenetik metan				Olgunlaşmamış	Olgunlaşmamış
	Linyit		60										
0.4	yarı-bitüm	70	50		575(0.4)	2.0	2						
	çok C												
0.6	uçucu B	80	40	Turuncu	600(0.2)	2.5	4			Petrol			
0.8	bitüm A				650(0.1)	3.0	6	Petrol				Petrol	Petrol
1.0			30										
1.2	orta uçucu bitüm												
1.6	az uçucu bitüm	90	20	Kahve rengi	Fluoresans sonu	3.5	8	Kondansiyet ve nemli gaz	Kondansiyet ve nemli gaz			Kndst ve nemli gaz	Kndst ve nemli gaz
2.0	yarı-antrasite		10				10						
	antrasite		5				12	Geç katajenetik metan				Kuru gaz	Kuru gaz
4.0			4				14						
6.0	meta-antrasite	95		Siyah			16						
8.0							18						
10.0							20						

Şekil 1 — Olgunlaşma parametrelerinin hidrokarbonların oluşumu ile denestirilmesini gösteren çizelge. Sadece kolaylık sağlamak için, vitrinit yansıma skalası logaritmik olarak gösterilmiştir.

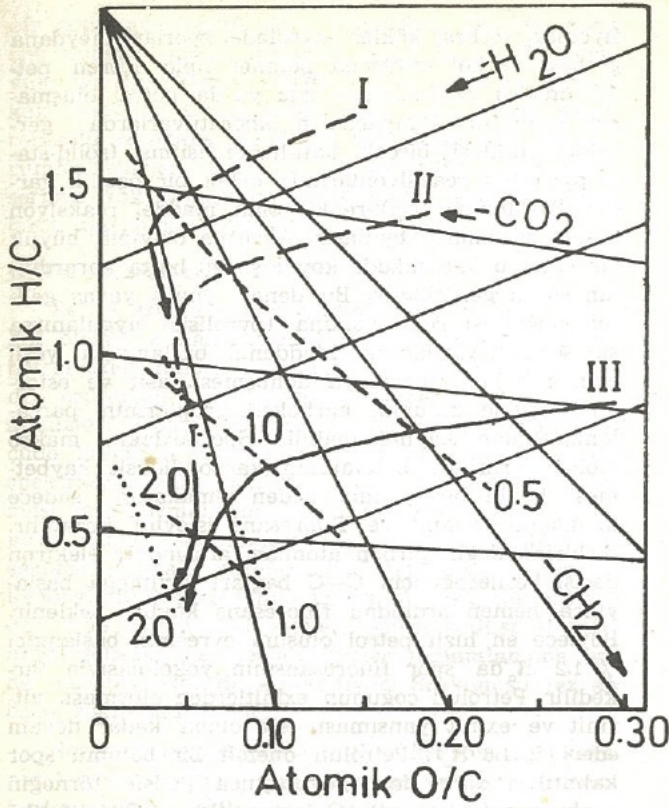
organik maddelerin dekarboksilasyonu sırasında ortaya çıkan karbondioksit ile aynı zamanda oluşup oluşmadıklarıdır. Dekarboksilasyon reaksiyonu ile ortaya çıkan serbest köklerin karışacakları iki olay vardır; (1) kök tümüyle organik makro moleküller içinde kapanlanır (ve bu maddelerin elektron-spin rezonans spektroskopisini yükseltir). (ii) uygun ortamlarda serbest kökler, çapraz bağlar oluşturacak şekilde birleşirler. Sadece küçük bir kökün (<20) meydana geldiği, seyrek rastlanan durumlarda, ham petrolde çok bulunan hidrokarbonlardan bazılarının oluştuğu düşünülebilir.

Vitrinitte meydana gelen ikinci kimyasal değişme % 12 R<sub>0</sub>'da gerçekleşir ve ikinci kömürleşme hamlesine denk gelir. Bunun nedeni, C—C bağının aniden parçalanması olabilir. C—C bağının parçalanması için gerekli enerji (~58 Kcal/mol), dekarboksilasyon reaksiyonunu başlatmak için gereken çok daha yüksektir. Kerojende, tek bir C—C bağının kopmasıyla buhar (volatile) moleküllü meydana gelmez. En az 20 karbon atomlu ikinci bir bağ da koparsa açığa çıkan parça, başka bir kökle re-

aksiyona girerek buharlı bir hidrokarbon moleküllü oluşabilir. Bu reaksiyonun, orta-buharlı kömürleşme evresiyle düşük buharlı kömürleşme evresi arasındaki değişmelerin çoğunu kontrol ettiği ileri sürülebilir. R<sub>0</sub> > 2.0'de meydana gelen katı ürün (yarı-antrasit) alifatik C—C bağlarından yoksun olup daha dengeli C (alifatik)-C (aromatik) bağları ve aromatik çember sistemleri içerir.

Üçüncü kömürleşme «hamlesi» % 2.5 R<sub>0</sub>'da tamamlanır (Teichmüller, 1975). Bu da C (aromatik) —CH<sub>3</sub> bağlarının parçalanması sonucu metan gazının oluşmasıyla başlar. Alifatik C—C bağlarından (1.541 Å<sup>o</sup>) oldukça kısa olan bu bağlar (1.525 Å<sup>o</sup>), ayrılmak için daha çok enerjiye gerek duyarlar. Lignin yapılarından arta kalan C (akomatik) —OCH<sub>3</sub> bağlarının katkısı da olabilir. Olgunlaşmanın yarı-antrasitten antrasite geçiş döneminde bu tür reaksiyonlar önemli metan kaynakları olabilirler.

Dördüncü kömürleşme «hamlesi», antrasit/meta-antrasit sınırında (Teichmüller, 1975) C (aromatik) —H bağlarının termal parçalanmasıyla başlar. Bu parçalanma sonunda açığa çıkan hidrojen ve serbest



Şekil 2 — H/C ve O/C atom oranlarının ilişkisini gösteren diyagramda vitrinit eş-yansıma çizgileri. (..... Tissot ve Welte, 1978; ..... Hunt, 1979)

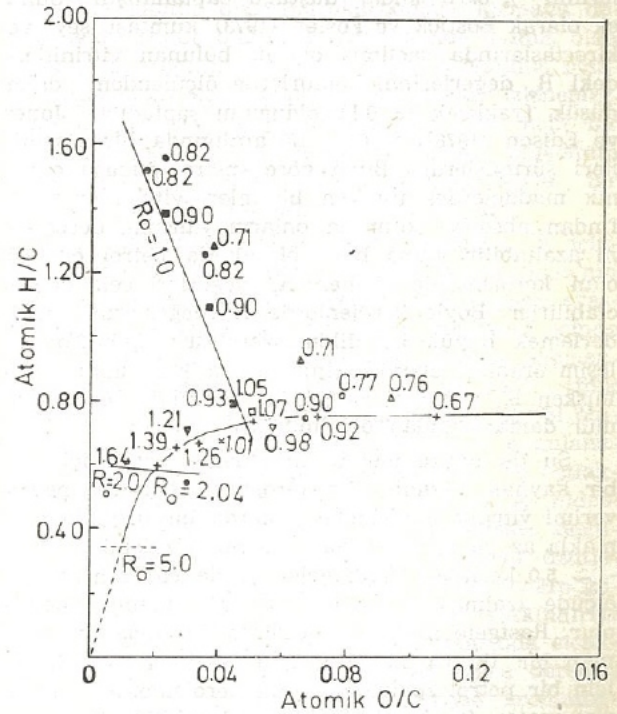
aromatik kökler, düzlem halindeki grafit yüzeyinde bir araya gelebilirler. Kömürleşmenin bu son evresinde hidrojenin oluşması biraz kuramsaldır. Oldukça derin katmanlardan yüzeye kadar yayılan hidrojenin varlığı, bütün kuşaklarda doğal olefinik ürünlerin olmamasını ve oksijen bulunması beklenen yerlerde redüksiyon koşullarının yerleşmesini açıklayabilir. Dekarboksilasyon (karbondioksit oluşumu) ve C-C parçalanması (petrol oluşumu) reaksiyonlarının iki ayrı evreye ayrılması ne yazık ki laboratuvar deneyleri ile doğrulanamıyor. Yavaş ilerleyen jeolojik ayrışmaların (dekompozition) molekül molekül gerçekleştiği söylenebilir. Haftalar ya da aylar süren yapay kömürleşme deneylerinde ısı alan bir reaksiyon sonunda dekarboksilasyon ve parçalanma birlikte olur. Bundan başka, parlak bir yüzeydeki moleküllerin dizilişinin ölçümü olan vitrinit yansıması, doğal ve yapay yollarla kömürleşmiş örnekler için aynı değildir. Bundan dolayı, ısı ile eritme (pyrolysis) deneylerinde,  $R_0 < 1.0$ 'de «petrol»un ortaya çıkması, gömülme vel buna göre değişen jeotermal koşullardan çok, etkinlik (activation) enerjisindeki önemli farklılıkları içeren bir reaksiyonlar bileşimini yansıtır.

#### ATOMİK H/C — O/C BAĞINTISI

Atom oranı diyagramları kömür ve bunların öncüleri olan maddelerin hacımsal bileşimlerini karşılaştırmada en uygun yol olarak kabul edil-

dir (Durand, 1980). Ortalama vitrinit kömürleşme çizgisinin matematiksel araştırılması, doğal koşullarda vitrinitten petrol ve gazın oluştuğu kuşakların belirlenmesine olanak sağlar (Saxby, 1977). Düşük dereceli vitrinitin yaklaşık olarak ancak % 6'sının,  $H/C=0.722$ ,  $O/C=0.048$  ve  $H/C=0.465$ ,  $O/C=0.015$  noktalarıyla belirlenen olgunlaşma zonunda petrole dönüştüğü saptandı. Bu çalışma hidrojen bakımından zengin olan kerojenlerin, aromatik vitrinitlerle buharlı alifatik maddelerin bir karışımı olabileceğini de gösterdi ( $H/C=2.0$ ,  $O/C=0.0$ ). Bu son alifatik «polimer» için uygun H/C değeri 1.9 olabilir (Saxby, 1980).

$(CH_2)_n$  kaybindan ötürü (Şek. 2) hidrokarbonların bileşim oranında meydana gelen değişimler ve yukarıda verilen hesaplamalar incelenirse petrolün, H/C oranındaki ani düşmeyle oluştuğu görülür. Böyle bir düşüş (H/C oranındaki) olmadan önce sedimanlarda çok yüksek bir  $R_0$  değerinin ölçülebilmesi sorun yaratmaktadır. Büyük vitrinit parçalarıyla birlikte bulunan exinitlerin oluşumu ile ilgili örnek olmadığından ötürü bu alandaki eş-yansıma eğrilerinin çizilmesi çok zorlaşmaktadır. Şek. 2 Tissot ve Welte (1978) ile Hunt (1979) tarafından çizilen eğriler arasındaki farkı gösteriyor. Bu güçlüğü üstesinden gelmek amacıyla, Sidney Havzasında, kömürle birlikte bulunan bir dizi bitümlü şist (oil shale) incelenmiştir. Atom oranları ve  $R_0$  değerleri arasındaki bağıntıyı gösteren bir diyagram hazırlandı (Şek. 3). Van Krevelen ve Schuyler (1957)'in vitrinitlerden elde ettikleri noktalar ve Avustralya kömürlerinden (Edwards, 1975) elde edilen noktalar da bu diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 3 — Kömürden ve Avustralya'nın kömürlü bitümlü şist türlerinden elde edilen eş-yansıma çizgileri.

Şek. 3'de ani H/C düşüşününü % 1,0  $R_0$ 'da olduğu görülür. Bu çizginin sağında  $R_0$  değerleri en çok % 0,9'a yükselirken H/C geniş bir aralıkta değişir (0,7 - 1,5). Bu çizginin solunda ise H/C değerleri 0,7'nin altında  $R_0$  değerleri de % 1,0'ın üstündedir. Gerçekten de  $R_0 = \% 1,0$  çizgisi daha sonra hesaplanan (Saxby, 1977 ve 1978) petrol oluşum kuşağı ile iyi uyumaktadır. Şek. 3'den şu sonuca varılabilir, başlangıç noktası bir yana bırakılırsa  $R_0 = \% 1,0$  çizgisine ulaşana kadar (su ve karbondioksit kaybederek), kerojen ve kömür bileşim oranı, O/C değerini düşürecek şekilde durmadan değişir. Daha ileri bir olgunlaşma; C—C bağlarının parçalanması, petrol oluşumu ve H/C değerlerindeki ani bir düşüşle sonuçlanmaktadır. Farklı kerojen türleri değişik noktalarda petrole dönüşmeğe başlarlar. Farklı  $R_0$  değerlerinin bu noktaları işaret ettikleri ileri sürülebilir (örneğin Tissot ve Welte, 1978'in I, II, III. tip kerojenleri). Katı fazla C—C bağlarının parçalanmasıyla sonuçlanan reaksiyona uğramış olan ve oksidize olmamış kerojenler için bu durum olanaksız gibi görülmektedir. Herhangi bir durumda, vitrinitin petrole dönüşmesi, sadece olgunlaşma çizgisinin yataya yakın olduğu kesimden itibaren, H/C aniden azalmağa başladığı yerde başlar. Şek. 3'de bunun yaklaşık % 1,0  $R_0$ 'da meydana geldiği görülmektedir. Jones (1981), «vitrinit eğrisinin yatay karakterini» % 0,7 - 1,1  $R_0$  değerleri arasında irdelenmiştir.

Bitümlü şist örneklerinde, vitrinit yansımalarındaki alginit etkisi Hutton ve Cook (1980) tarafından tartışılmış, Alginit varlığından ötürü  $R_0$  değerlerinin % 0,3'e kadar düştüğü saptanmıştır. Buna ek olarak Bostick ve Foster (1973) kumtaşı şeyl ve kireçtaşlarında saçılmış olarak bulunan vitrinitlerdeki  $R_0$  değerlerinin kömürlerde ölçülenden daha düşük (yaklaşık % 0,1) olduğunu saptadılar. Jones ve Edison (1978), % 0,5 - 1,0 aralığında bir olasılık ileri sürmüşlerdir. Buna göre «petrol öncüsü organik maddelerden türeyen bitümler, vitrinitler tarafından absorbe edilirken onların yansıma derecesini azaltabilir. Buna bağlı olarak da petrol öncüsü olan kerojenlerde ölçülen  $R_0$  değerleri çok düşük olabilirler. Böyle kerojenlerde  $R_0$  değerlerini ölçüp derlemek büyük bir dikkat gerektirir. Şek. 3'de bileşim oranları olarak exinit/vitrinit karışımları alınmışken  $R_0$  değerleri bitişikteki vitrinitçe zengin kömür damarlarından ölçülmüştür.

Şu da unutulmamalı ki vitrinit, petrol için iyi bir kaynak değildir. Bir kerojenin kantitatif petrol verimi vitrinit çizgisinden yukarıda bir uzaklıkta olmakla az ya da çok artar. Vitrinit çizgisinin, % 2,5 - ~ 5,0 kesimine denk gelen yerde H/C'nin önemli ölçüde azalmasına (~ 0,6 - ~ 0,3) metan neden olur. Rastgele alifatik zincirlerin kırılması her zaman bir, iki ya da üç atomlu ürünler verebileceği için bir petrol zonunda, bütün kerojenlerden, az da olsa metan (ve kondanseyt) de oluşabilir.

#### SPOR RENGİ VE FLUORESANS

Spor renklerinin değişmesi kimyasal ayrışma reaksiyonlarından kaynaklanır. Söz konusu reak-

siyonlar, serbest kökler sayesinde, sporları meydana getiren ve bol miktarda polimer lipid içeren petrol öncüsü maddelerden gaz ya da petrol oluşmasını sağlarlar. Kimyacıların laboratuvarlarda gerçekleştirdikleri birçok katı-halde ısıtma (solid-state pyrolysis) reaksiyonlarında ortak bir özellik vardır. Başlangıçta açık-renkli olan madde, reaksiyon başlar başlamaz koyulaşır. Ayrışma olayının büyük bir bölümü katı madde koyulaşınca, hatta karardıktan sonra gerçekleşir. Bu deney, yavaş yavaş gelişen doğal ısı reaksiyonuna (pyrolysis) uygulanırsa şu sonuca varılabilir: Maddenin başlangıçta yeşil olan renginin turuncuya dönüşmesi, asit ve esterlerin içinde bulunan karboksil gruplarının parçalanmasından kaynaklanabilir. Sporlardaki makro moleküllerin bir bölümünün karbondioksit kaybetmesi köklü bir yıkıma neden olmaksızın sadece maddenin rengini ve fluoresans işlevini bozabilir. Birbirine bağlı karbon atomları arasındaki elektron geçişi kesileceği için C—C bağları kırılmağa başlayınca hemen ardından fluoresans kaybı beklenir. Böylece en hızlı petrol oluşum evresinin başlangıcı % 1,2  $R_0$ 'da spor fluoresansının yokolmasıyla fark edilir. Petrolün çoğunun exinitlerden oluşması, vitrinit ve exinit yansıması eşit olana kadar devam eder (% 1,6  $R_0$ ). Petrolün önemli bir bölümü spor kalıntıları daha da koyulaşınca gelişir (örneğin «kahverengi» aland). C (aromatik) — C (alifatik) bağlarının, metan oluşturacak şekilde kırılmaya başlamasıyla serbest kökler de oluşur. Bu kökler, spor içindeki lignin kökenli molekülleri bile parçalarlar. % 2,0  $R_0$  üzerinde, spor kalıntılarının koyulaşmasının nedeni de budur.

#### ELEKTRON-SPİN REZONANSI

Kömür, kerojen ve saçılmış halde bulunan kömür bileşenlerinden (macerals) elde edilen elektron spin rezonans ölçümlerinin sonuçları her türlü yoruma açıktırlar. Vitrinit bünyesinde yeralan ve karbon oranı % 90'a varan kömürler için (~ % 1,8  $R_0$ ), 5-15x10<sup>18</sup>/g aralığında exinit ve vitrinit farklı spin yoğunluğuna sahiptir, genellikle vitrinitinki, birlikte bulunduğu exinitten daha yüksektir. Yüksek düzeylerde (rank) spin yoğunluğu aniden 40x 10<sup>18</sup>/g'nin üstüne yükselir, böyle durumlarda exinit ve vitrinit kolayca ayırtedilmez.

Bu olayın en mantıklı açıklaması şöyle olabilir: Spinlerdeki bu ani artış C (aromatik) — C (alifatik) bağlarının kırılması sonucu metan oluşumunun başlamasından kaynaklanır. Bu evrede elde edilen farklı (unpaired) spinlerin çoğu, etkin bir dengelemenin sonucu olarak, geniş aromatik lameller üzerinde kalmış olabilirler.

Petrol oluşumu ve dekarboksilasyon olayının erken evrelerde homolytic bağ kırılması da meydana gelebilir, fakat ortaya çıkan serbest köklerin ancak % 1'den daha azı, steric etkenlerle ya da aromatik sistemlerdeki yerlerini terketmekle (delocalization) dengelenebilir. Böylece aromatik çekirdeğin hızlı büyümesi başlamadan önce, bu erken evrede (% 78 - 80 karbonlu vitrinit, % 0,6 - 1,8  $R_0$ ), sadece vitrinit ve exinitin spin yoğunluğunda yavaş

bir artış göstermesi akla uygundur. Doğada daha çok alifatik olarak bulunan exinit % 1.8 R<sub>0</sub> düzeyine ulaşana kadar, vitrinite göre daha az serbest kök tutabilir. Doula havzasında elde edilen elektron-spin rezonans ölçümleri istenildiği gibi yorumlanabilirler, fakat ~ % 2.0 R<sub>0</sub>'da maksimum serbest kök yoğunluğuna (25x10<sup>18</sup>/g organik karbon) ulaşılması önemlidir.

### ÖZÜT (EXTRACT) VERİLER

Petrol aramalarında organik jeokimyannın yaygın olarak kullanılmasına paralel olarak, üretilen petrolardan alınan örneklerin ve kayaç örneklerinden özütlenen maddelerin (extracts) kromatograf analizleri, kaynak kayanın saptanmasında geniş ölçüde kullanılır olmuştur. Gaz kromatografi-kütle spektroskopisinin, petrolun oluşumu, göçü ve birikmesi mekanizmalarına ışık tutabilmesi için, kayaçların içinde eser miktarda bulunan biyolojik bileşenlerin molekül yapılarındaki farklılıklar (stereochemical differences) bile yeterlidir. Pek çok havzadan elde edilen özüt veriler, petrol endüstrisi tarihinde gelişmiş olan jeolojik tezleri tamamlamada (ya da değiştirmede) da kullanılıyor. Söz konusu tez en basit şekliyle şöyledir:

Sondaj sırasında elde edilen karbonatlı kaya numuneleri özütlenebilir maddeler verirler ve bunlardan normal, dallı (branched), çembersel (cyclic) ve aromatik hidrokarbonların dağılımları saptanabilir. Benzer şekilde, bir kuyudan alınan (kurtarılan) petrolün, gaz kromatografi analizleri de aynı dağılımı verir. Kromatograf ölçümlerinin (ya da ipucu veren bazı maddelerin miktarlarının) çok farklı oldukları yerlerde, bunların derlendikleri sedimanın kaynak kaya olmadığı sonucu çıkarılabilir. İyi bir uyuşmanın görüldüğü yerde ise kaynak kaya bulunmuş demektir. Çünkü oluşan petrolün izleri kaynağa kalır ve rezervuar ile kaynak arasındaki bağıntıyı belirtir. Tez, daha da genişletilerek, kaynak kaya bünyesindeki vitrinitlerde ölçülen R<sub>0</sub> değerlerinin petrol penceresi sınırları içinde kalması gerektiği sonucuna varılmaktadır. Buna dayanarak, vitrinit yansıması % 0.5 ya da daha az olan karbonat sedimanları «olgun» sınıfına konuyor. Bu makalede, önemli hataların bu yaklaşımdan kaynaklanabileceği belirtilmek isteniyor. Wehner ve Teschner (1981)'in ifadesine göre: «ham petrolün sedimanter özütlerle denştirilmesi zordur». Belli başlı çözücülerle bir kayaçtan özütlenebilen organik maddeler çeşitli yollardan oluşmuş olabilirler. Genelde özütleme işlemi şöyle formüllendirilebilir:

$$E = I + G + M + P + C$$

burada E: toplam özüt, I: yerli madde, G: oluşmuş olan madde, M: göçmüş olan madde, P: numune alma sırasında karışmış olan madde, C: dışardan bulaşan madde. Bunların herbiri, kullanılan çözücülerin cinsine, uygulanan yöntem ve özütleme süresine göre değişebilir. Özellikle çözücünün uygulandığı koşullar çok önemlidir.

I, sedimanlar içinde orijinal olarak bulunan ve kalıcı olan çözünebilir biyokimyasal maddeleri

kapsar. Bunlar, buldukları yerde bütün bakteriyel, diyajenetik ve metamorfik değişimlerden korunurlar. 'G', kırılma reaksiyonuyla kerojenden oluşan çözünebilir bileşenleri içerir. Bunlar başka yerlerden göçmüş değil, buldukları yerde oluşup kalmışlardır. 'M', havzadaki hidrokarbonların dinamik özelliğinden kaynaklanır. Havzanın belli bir kesiminde oluşan bileşenler, içine göçtükleri oldukça farklı yaş ve litolojiye sahip formasyonda kısmen ya da tümüyle hareketsiz hale gelebilirler. Buna en uygun yer kapanlanmış, gözenekli bir rezervuardır, fakat düşük porozite ve permeabiliteyi şeyl ve kömürlerin bile hareketli molekülleri adsorbe edip tutabilecek kapasiteleri vardır. Göçmüş ham petrol ya da bakteriyel etkinliklere uğramış ve buharını kaybetmiş olan kalıcılar, karbonatlarda ya da kumtaşlarında açık seçiktirler, fakat sondaj sırasında karbonat kayaçlarında farkedilmeden geçilebilirler. 'P', ezme ya da öğütme sırasında küçük organik taneceklerin parçalanmasıyla oluşan maddeleri içerir ve genellikle çok azdır. Deneyler sonucu, çoğu araştırmacı, kırılma 'C' faktörünün çok önemli olduğu kanısına varmışlar. Kırılma sondaj çamuru, sondaj katkıları ve numune torbalarından; numunelerin depolanmasından ve hazırlanmasından ya da doğrudan doğruya özütleme yönteminden kaynaklanabilir. Özüt verilerinin yorumlanmasında bu beş faktör çok önemlidir. 'G', örneklerde hidrokarbon oluştuğunu gösterir en önemli (ya da tek) faktördür. Diğer taraftan, göç hızının oluşum hızından yüksek olduğu kayaçlarda 'G' miktarının sifıra yakın olabileceği ileri sürülebilir. Göç, oluşumdan yavaş olsa bile kerojenden petrol üreten reaksiyon, kaynağa kalmış olan hidrokarbonları kırmağa devam eder. Sonuç olarak, kaynağa içinde kalmış olan alkanların dağılımı ile rezervuarda toplanmış olanlar arasındaki karşılaştırma her zaman izlenemez. Buna ek olarak, yaygın bir teoriye göre, belli bir kaynak kayada oluşan petrolün bileşimi, oluşumun başlangıcından sonuna kadar değişmez. Böyle bir varsayım pek de mantıklı görülmemektedir.

'M', bilinen rezervlere yakın alanlarda, 'E' içinde önemli bir yer tutar. Örneğin Avusturalya'nın Gippsland ve Carnarvon havzalarında yapılan araştırmalarda, karotlardan özütlenen maddeler içinde derin kaynak kayalardan göçmüş olanlar egemendirler. Karotlar (ve içerdikleri sıvı ve gaz) tipik bir dinamik olayı gösterirler. Bu durum, petrol oluşumunun halen devam ettiği havzalara uygulanabilir. Dikey göç yollarının sadece faylar ve çatlaklar olduğu sanılmasına rağmen, hiçbir kayaç, hidrokarbonların sızmasına karşı tam geçirimsiz değildir. Karbonat kayaçlarına göçmüş bulunan özütlenebilir moleküller, kerojenin mikro ya da makro gözenekleri tarafından adsorbe edilmeye yatkındırlar (Vahrman, 1970). Bazı havza sedimanlarında sıcaklık (ve göç hızı) kaynağa doğru derin olarak azalır. Sedimanlar bu yönleriyle kromatografik bir sütunu andırırlar.

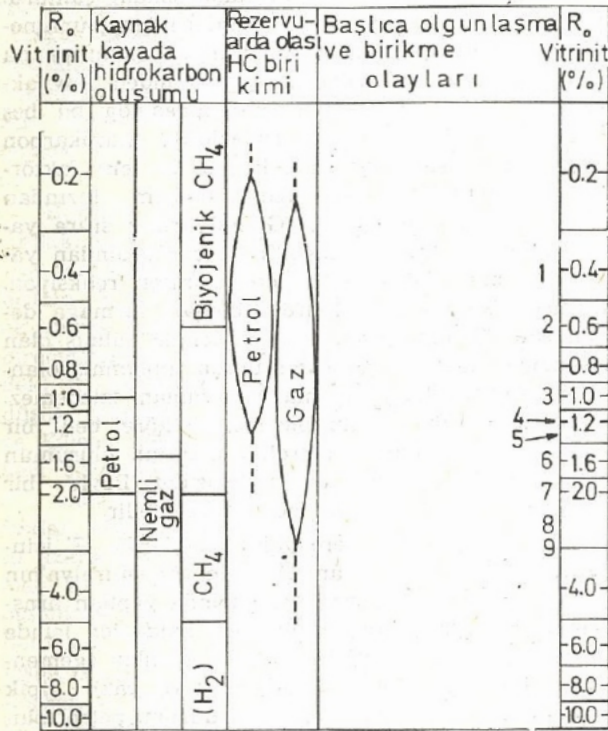
Özüt veriler ile kaynak kaya arasında bağıntı kurmada sorun çıkaran bir olay da bakteriyel bozunmadır. Sıcaklık ve küçük organizmalar bakteri-

yel gelişmeyi kolaylaştırdıkça rezervuarda, ham petroldeki normal, dallı, çembersel ve aromatik hidrokarbonların adım adım ilerleyen oksidasyonu saptanabilir (Philippi, 1977). Aynı olasılıklar 'I', 'G', 'M', 'P' ve 'C' kökenli, özütlenabilir maddelerin bozunması için de geçerlidir. Bu bozunma olayı fiziksel olarak bakterilerden etkilenen moleküller meydana getirir. Bir özütte 'G' egemen ise bilinen kaynak kayalarla denestirilmesi ayrıntılı bir çalışmayı gerektirir.

Sonuç olarak, sadece özüt verilerden kaynak kayanın saptanabilmesi en iyi olasılıkla güç, en kötü olasılıkla ise olanaksızdır. Bu sonuçları kullanarak petrol ya da gaz oluşumu zonuna uygulanabilecek  $R_o$  aralığını saptamak ise bir şans işidir.

### REZERVUAR SICAKLIĞI

Sıcaklık ve zaman ile petrol oluşumu arasındaki bağıntının irdelenmesi bu yazının konusu dışındadır kalmakla birlikte, yüzeysel olarak da olsa bu



Şekil 4 — Yeniden değerlendirme sonucu elde edilen, hidrokarbon oluşum ve birikim kuşaklarının özeti.

1. Vitrinitin ortaya çıkması (Senso stricto).
2. İlk kömürleşme aşamasının başlaması.
3. Kerojendeki bütün karboksil gruplarının yok olması.
4. İkinci kömürleşme aşamasının başlaması ve spor fluoresansının yok olması.
5. Ekonomik petrol sınırı.
6. Vitrinit ve exinit yansımaları eşit.
7. Nemli gaz sınırı.
8. Vitrinit yansımada anizotropinin ortaya çıkması.
9. Ekonomik gaz sınırı.

konuya değinmek uygun olacak. Petrol penceresi olarak kabul edilen % 0.7-1.2  $R_o$  aralığı, petrolün oluştuğu 60-110 °C sıcaklık ile büyük ölçüde uyuşur. Bununla birlikte rezervuardaki petrolün daha yüksek sıcaklıklarda olduğu ileri sürülüyor -Vassoyevich ve diğ. (1970)'e göre 120 °C'nin üstünde, Landes (1967)'e göre 177 °C, Price (1980 a)'a göre 160 °C. Son zamanlarda yapılan aramalarda Cooper Havzasında (Avusturalya) 150 °C'nin üstünde petrol bulundu. Bu durumda, eğer C—C bağlarının kırılması, kerojenden petrol oluşmasının ve petrolün termal kırılmaya uğramasının başlangıç reaksiyonu ise petrolün bu yüksek sıcaklıktaki göreceli (izafi) dengesi daha düşük sıcaklık seviyelerinde petrol oluşumuna engel olur. Minerallerin katalitik özellikleri maksimum reaksiyon hızı için gereken sıcaklığı yaklaşık 20 °C değiştirebilir. Kaynak kayada, katı fazda kerojenin ayrışmasında killerin etkisi, rezervuarda minerallerin hidrokarbonlar üzerindeki etkisinden daha çok olabilir. Le Chatelier prensibinde ileri sürülen basınç etkisi sıcaklığı yükseltir. Buna göre basınçlı kaynak kayadaki kerojenin kırılmasını sağlayan sıcaklık, gözenekli rezervuarda, petrolün kırılmasına neden olan sıcaklıktan yüksek olabilir.

Yüksek rezervuar sıcaklığı, C—C bağlarının kırılma hızı ve vitrinit yansıma derecesi arasındaki ilişki, karbonatlı kayalardan alınmış karotlar üzerinde yapılan gözlemlerle doğrulanabiliyor. Avusturalya'nın sedimanter havzalarından alınan bu karotlarda 120 °C'nin üstünde sıcaklık saptanmıştır. Bu gözlemlerden üç sonuç çıkarılmıştır: (i) exinit mikroskopik olarak saptanabiliyor, (ii) normal alkanlarda  $C_{25}$ 'in üzerinde tek-sayıli karbon egemenliğinin varolduğunu gösteren güvenilir özüt veriler vardır; bu durum, parçalanmamış yerli maddelerin egemen olmalarından kaynaklanabilir, (iii) kerojenin, minerallerine ayrışma (deminalization) yoluyla elde edilen toplam bileşimi (bulk composition) olgunlaşmamış olmayı gösterir, çünkü geçmişte yüksek H/C değerlerinin varlığını gösteren hiçbir kanıt yoktur. Ayrıca, böyle kerojenler, laboratuvar da ısıtma (pyrolysis) deneyleri sırasında bol miktarda hidrokarbon verirler.

### SONUÇLAR

Sadece bir şekli kanıt göstermek inandırıcı olmamakla birlikte, hidrokarbonların oluşumunu denetleyen birçok etkenin incelenmesi ile elde edilen veriler petrol ve gazın Şekil 4'de gösterilen vitrinit yansıma aralıklarında oluştuğunu gösteriyor. Petrolün % 1.0  $R_o$ 'da oluşması şu koşullara bağlıdır: (i) kerojendeki bütün karboksil gruplarının yok olması, (ii) yüksek buharlı kömürden orta buharlı kömüre geçiş, (iii) spor renklerinin, fluoresans azalmasıyla kahverengine dönüşmesi. Petrol oluşumu ayrıca, eş-yansıma çizgileri ve H/C — O/C diyagramındaki olgunlaşma değişimleri için yapılan hesaplamalarla belirlenir. Vitrinitler de kendi başlarına bir miktar petrol üretecekmiş gibi görülürler, fakat bunlar, çok yüksek H/C oranına sahip olarak, petrolleşme aşamasında olan (oil-prone), exinitce zengin kerojenler için iyi

bir reaksiyon göstergesi oldukları anlaşılmıştır. Petrol oluşumunun alt sınırı % 2.0'dır. Bu sınır kerogenler için hesaplanan H/C < 0,6 koşuluyla uyusur ve şu durumlarla belirlenir: (i) düşük buharlı yarı-antrasit sınırı, (ii) vitrinit/exinit yansıma farkının olmayışı, (iii) koyu spor renkleri. Gaz oluşumunun koşullarını saptamak çok güçtür. Vitrinit metan için başlıca kaynaktır ama petrol kaynaklarından kalan artıklar da bu koşullarda gaz üretebilirler.

Kuşkusuz bu sonuçlar tartışma götürürler ve birçok jeokimyasal problemde olduğu gibi, bir teorinin tam kanıtlanması zordur (ya da olanaksızdır). Bu çalışmanın kapsamı üç yönlüdür.

(i) Gerçek rezervuarlar şimdiye kadar ileri sürülenden daha derinde olabilirler ve şimdiye kadar delinmemiş olabilirler.

(ii) Bu durumda birçok havza için hidrokarbon içeren sedimanter kayaçların kalınlığı artar.

(iii) Bazı havzalarda petrol olanakları daha derine doğru yeniden araştırılmalıdır.

Bu çalışmanın çoğu bölümlerine karşı çıkılrsa da sonucu kabul edecekler de çıkacaktır. Kaynak kayayı saptamak için vitrinit yansıma aralıklarını ölçü alan bütün yer bilimciler, birtakım verilerin elde edildiği kaynağı bilmelidirler.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- ABELSON, P.H., 1963. Organic Geochemistry and the formation of petroleum. In : Proc. 6th World Petrol Cong, 1, 397-407.
- AMMOSOV, I.I. and SYN-I, T., 1961. Stages of Alteration of Coals and the Paragenetic Relation of Fossil Fuels, USSR Academy of Sciences, Moscow.
- AUSTEN, D. E. G., INGRAM, D. J. E., GIVEN, P. H., BINDER, C. R. and HILL, L. W., 1966. Electron-spin resonance study of pure macerals. In : Coal Science, R. F. Gould (Ed.), ch. 21, 344-362, American Chemical Society, Advances in Chemistry Series 55, Washington.
- BOSTICK, N. H. and FOSTER, J. N., 1973. Comparison of vitrinit reflectance in coal seams and in kerogen of sandstones, shales and limestones in the same part of a sedimentary section. In : Petrographie de la Matiere Organique des Sediments, Relations avec la Paleotemperature et le Potentiel Petrolier, B. Alpern (Ed.), Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. pilation and correlation of major thermal maturation indicators, AAPG., 63, 2128-2144.
- COOPER, B. S., 1977. Estimation of the maximum temperatures attained in sedimentary rocks. In : Developments in Petroleum Geology- I. G. D. Hobson (Ed.), ch. 4, 127-146, Applied Science, London.
- DOW, W. G., 1977. Kerogen studies and geological interpretations, Jour. Geochem. Explor., 7, 79-99.
- DURAND, B., 1980. Karogen : Insoluble Organic Matter from Sedimentary Rocks, Editions Technip, Paris.
- EDWARDS, G. E., 1975. Marketable resources of Australian coal. In : Australian Black Coal-Its Occurrence, Mining, Preparation and Use, A. C. Cook, (Ed.), 85-108, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Illawara Branch.
- GOLD, T., 1979. Terrestrial sources of carbon and earthquake outgassing, Jour. Petrol. Geol. 1, 3-19.
- HAWKES, H. E., 1972. Free hydrogen in genesis of petroleum. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 56, 2268-2270.
- HEROUX, Y., CHAGNON, A. and BERTRAND, R., 1979. Com-
- HOOD, A., SUTJAHN, C. C. M. and HEACOCK, R. L., 1975. Organic metamorphism and the generation of petroleum. AAPG, 59, 986-996.
- HUNT, J. M., 1979. Petroleum Geochemistry and Geology, Freeman and Company, San Fransisco.
- HUTTON, A. C. and COOK, A. C., 1980. Influence of alignite on the reflectance of vitrinite from Joadja, NSW, and some other coals and oil shales containing alignite, Fuel, 59, 711-714.
- JONES, R. W., 1981. Some mass balance and geological constraints on migration mechanism. AAPG, 65, 103-122.
- JONES, R. W. and EDISON, T. A., 1978. Microscopic observations of kerogen related to geochemical parameters with emphasis on thermal maturation. In : Symposium in Geochemistry : Low Temperature Metamorphism of Kerogen and Clay Minerals, D. F. Oltz (Ed.), Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Pac. Sect. Los Angeles.
- LANDES K.K., 1967. Eometamorphism, and oil and gas in time and space, AAPG, 51, 828-841.
- MARCHAND, A. and CONARD, J., 1980. Electron paramagnetic resonance in kerogen studies. In : Kerogen, B. Durand (Ed.), 243-270, Editions Technip, Paris.
- PHILIPPI, G. T., 1967. On the depth, time and mechanism of origin of the heavy to medium gravity naphthenic crude oils, Geochim. Cosmochim. Acta, 41, 33-52.
- PRICE, L. C., 1980a. Crude oil degradation as an explanation of the depth rule, Chem. Geol., 28, 1-30.
- , 1980b. Utilization and documentetion of vertical oil migration in deep basins, Jour. Petrol. Geol., 2, 353-387.
- RICE, D. D. and CLAYPOOL, G. E., 1981. Generation accumulation and resource potential of biogenic gas, AAPG, 65, 1-25.
- ROBERT, P., 1980. The optical evolution of kerogen and geothermal histories applied to oil and gas exploration. In : Kerogen, B. Durand (Ed.), 385-414, Editions Technip, Paris.
- SAXBY, J. D., 1977. Oil-generating potential of organic matter in sediments under natural conditions, Jour. Geochem. Explor., 7, 373-382.
- , 1978. The organic geochemistry of oil and gas generation and its application to Bass Strait and Northwest Shelf, APEA Jour., 18, 137-142.



- , 1980. Atomic H/C ratios and the generation of oil from coals and kerogens. *Fuel*, 59, 305-307.
- STACH, E., MACKOWSKY, M., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, G. H., CHANDRA, D. and TEICHMÜLLER, R., 1975. *Textbook of Coal Petrology*, 2nd edn 198-200, Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- TISSOT, B. and WELTE, O. H., 1978. *Petroleum formation and occurrence*, Springer-Verlag, Berlin.
- WAHRMAN, M., 1970. The smaller molecules derived from coal and their significance, *Fuel*, 49, 5-16.

- VAN KREVELEN, D. W. and SCHUYER, J., 1957. *Coal science aspects of coal constitution*, D. Van Nostrand Co., New York.
- VASSOYEVICH, N. B., KORCHAGINA, YU. I., LOPATIN, N. V. and CHEMISHEV, V. V., 1970. Principal phase of oil formation, *Int. Geol. Rev.*, 12, 1276-1296.
- WEHNER, H. and TESCHNER, M., 1981. Correlations of crude oils and source rocks in the German Molasse Basin, *Jour. Chromatogr.*, 204, 481-490.
- WHITE, D., 1915. Some relations in origin between coal and petroleum. *Jour. Wash. Acad. Sci.*, 5, 189-212.

## Dalma-Batma Gerçek Bir Olay mıdır ?

Dranislav M. Ciric

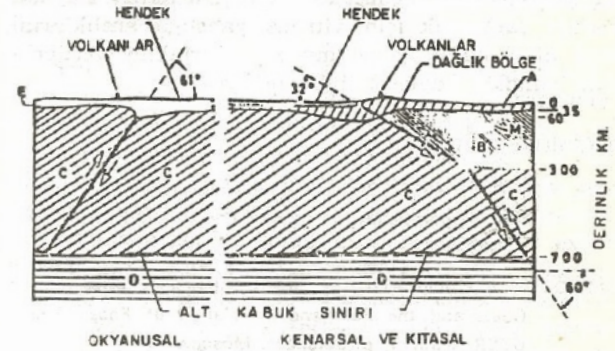
Çeviri : Ümit ULU, M.T.A. Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüdları Dairesi Ankara

### GİRİŞ

«Mesleği ile kutsal bir İrlandalı olan Saint Dunstan bir gün küçük bir dağ üzerinde İrlanda'dan Fransa sahiline doğru yola çıktı ve St. Malo limanına ulaştı. Kıyıya vardığında kendisini selamlayan ve geldiği yoldan geri dönen dağın şükranlarını sundu».

Voltaire 1767 yılında yayınladığı *Tecrübesiz Hüron*, «L'Ingenü Masum», adlı eserinde gerçek hikayesine böyle başlar. Bundan hemen hemen 200 yıl sonra H. Benioff (1954), okyanus levhalarının büyük devrik fay sistemlerinden (kenar fayları) geçen kıtalar altına daldığını ya da bir okyanus levhasının diğeri altına (okyanusal faylar) daldığını ya da bir okyanus levhasının diğeri altına (okyanusal faylar) daldığını varsaydı. Okyanus tabanındaki bu faylarla derin hendekler oluşturuldu. Birinci durumda; yaklaşık 300 km. derinliğe kadar dalımlı düzlemler, yaklaşık 32°'lik bir açı ile eğimlidirler, yamaç o noktadan itibaren aniden değişir ve levhalar 60°'lik ortalama bir açıyla 650-700 km. derinliğe ulaşırlar. İkinci durumda; yamaç eğimi ortalama 60°'dir ve dalma derinliği 550 km.'den 700 km.'ye kadardır (Şekil 1.). Bu yolla derin hiposantrli depremler olayının, kısmen depremlerle serbestlenen sürtünme nedeniyle üst levhada oluşan volkanizmaya olduğu kadar, daha büyük ölçüde ergimeyi sağlayan ısı nedeniyle de meydana geldiği açıklanmıştır.

Levha tektoniği kuramını izleyenler, Benioff'un varsayımını, okyanus ortası sırtlardan uzaklaşarak hareket eden, iraksayan halılar (tapis roulants) şeklinde düşünülen, okyanus tabanının durmadan yayılmasıyla, yeryüzü hacminin niçin artmadığı açık-



Şekil 1 — Genelleştirilmiş orojenik fay tipleri ile okyanusal ve kıtasal derin kabuk kesitleri (H. Benioff, 1954). Sağda : fay eğiminin aniden 60°'ye kadar arttığı 300 km. derinliğe kadar 32° eğimli kenar fayları (B katmanı kıtasal yapı ve C katmanı arasındaki tektonik süreksizlik seviyesi). Solda : yaklaşık ort. 61° sabit eğimli okyanusal faylar.

lamak için isteyerek kabul ettiler. Hayali olan olaya daha sonra dalma-batma (subduction) denildi ve bu gün de aynı anlamda kullanılmaktadır (Şek. 2) (C. R. Soc. Geol. France, Fasc. 5, 1980; Colloque C5 C.G. I-26<sup>th</sup>, 1980; v.b.); ancak bu terim A. Amstutz (1951) tarafından alttan itkilene fikrine karşılık olarak kullanıldı (Unterschiebung; sous-charriage; Unterst-römung v.b.). O. Ampherer (1976) tarafından ise; yüzey kıvrımlanmaları ve üstten itkilenemeleri (K. Friedler, 1973'e göre) harekete geçirebilen derindeki her hareket biçimi şeklinde yorumlanmış, bu anlamdaki terim de benimsenmiştir. Bu yüzden bu gün bile bazı yazarlar bu terimi kullanırlar (örneğin Trümpy).

Ben bu yazımda levha tektoniği kuramı anlamında dalma-batma olayına biraz değineceğim. Çoğu jeotektonik durumlar ve jeodinamik sonuçların bu varsayımla açıklanamayacağı görülmektedir.

Vesnik A, 40, 169 - 188, 1982'deki «Is subduction a real phenomenon» adlı makalenin düzenlenmiş çevirisidir.