

Ayrıca el örneği ölçüğünde şu dokusal özellikler tanınabilir:

1 — Uzun eksenleri merkeze doğru yönelmiş, uzamış biçimler ve/veya sıçrama yapıları yaygın olan özbiçimli dokular,

2 — Bantlı veya küresel, pizolitik, böbrek yapılı veya sarkıt-dikit biçimli kollomorf dokular.

Yukarıda sözü edilen farklı dokular, çökeltme koşulları ve mineralojik bileşimle denetlenir. Bu dokular galenitte yaygındır, su tablasının altında geodlar içinde veya yalıtılmış boşluklar gibi hareketsiz, sakin sularda oluşurlar. Aynı dokular sfalerit, markasit, kalsedon ve opalde de görülür ve su tablasının üstü gibi hareketli sularda oluşurlar.

KATKI BELİRTME

Yazar bu derlemenin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen hocası Dr. Baki VAROL'a ayrıca Dinçer TÜZÜN ve Rüstem YILDIRIM'a teşekkür eder.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- [1] Zuffardi, P., 1976, Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits'de, K.H. Wolf (Ed), III, 175 - 212.
- [2] Öztas, T., 1982, Jeoloji Mühendisliği, 13, 11 - 16.
- [3] Lukasev, K.I. 1970, Lithology and Geochemistry of the Weathering Crust, Israel Program for Scientific Translation, Jarusalem, 368 s.
- [4] Bernard, A.J., 1973, Ores in Sediments'de, G.C. Amstutz ve A.J. Bernard (Ed), 43 - 57.
- [5] Padalino, G., Pretti, D., Tamburrini, D., Tocco, S., Uras, I., Viola, M. ve Zuffardi, P., 1973, Ores in Sediments'de, G.C. Amstutz ve A.J. Bernard (Ed), 209-220.
- [6] Bechstadt, T., 1975, Mineral. Deposita (Berl.), 10, 234 - 248.
- [7] Boni, M. ve Amstutz, G.C., 1982, Ore Genesis'de, G.C. Amstutz, El Grosby, G. Franzel, C. Cluth, A. Mah, A. Wauschkuhn, R.A. Zimmerman (Ed), 73 - 82.
- [8] Asserato, R., Brigo, L., Brusca, C., Omenotto ve P., Zuffardi., 1976. Mineral. Deposita (Berl), 11, 170-179.
- [9] Brown, J.S., 1970, Mineral. Deposita (Berl), 5, 103-119.

Fosil Yakıtların Mikrobiyolojik Kökeni

Guy OURISSON, Pierre ALBRECHT ve Michel ROHMER

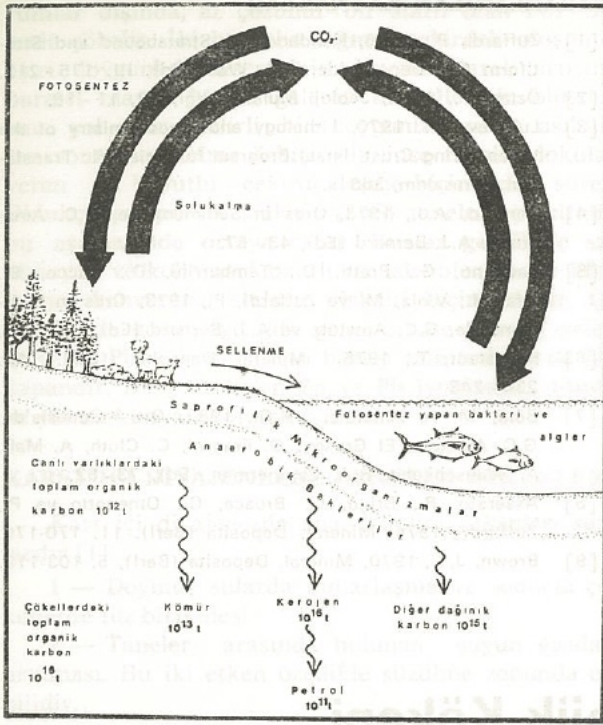
Çeviren : Tefvik ERKAL MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara

Kömür, petrol ve doğal gazlar fosil yakıtlardır; fakat neyin fosilleri? Hangi süreçler canlı varlıkların kalıntılarını antrasite ve Arabistan'ın ham petrolüne dönüştürmüştür? Jeologlar ve Jeokimyacılar bir süre için bu soruları yanıtlayabilmişlerdir. Örneğin kömür, ölü ağaç ve bitkilerin kısmen ayrıştığı büyük bataklıklarda turba adlı yoğun organik maddelerin kalın katmanlar şeklinde çökmesinden oluşmuştur. Petrol ise iç denizlerin veya deniz kıyısı havzalarındaki çökeltilerde dağılgan organik madde olarak başlamış; bu gerecin kaynakları uzun süre, akarsularla karadan süpürülerek getirilen bitki kalıntıları kadar okyanuslarda yaşayan canlıların çoğunu oluşturan planktonlar olarak düşünülmüştür. Eğer söz konusu organik madde oksitlenmeden önce karbondioksit dönüştürülerek gömülürse, mikroorganizmalar tarafından hem petrol, hem de kömür oluşturulur. Karbon bileşikler, taşınan çökeller altında yerin derinliklerine gömüldüğü için artan sıcaklıkta kimyasal tepkimelere uğrarlar. Böylece oksijen ve diğer unsurlar atılır, tamamen hidrokarbonca zengin kömür durumunda bir karışım oluştururlar.

Fosil yakıtlar bu yüzden, atmosferle yeryüzeyi arasındaki karbon dolaşımında küçük fakat devamlı bir dolaşım ürünüdür. Bunda süreç, fotosentez yapan

organizmalar tarafından atmosferik CO₂ in alınması ve bitki, hayvan ve mikroorganizmalar tarafından yine geri verilmesidir. Gerçekte fosil yakıtlar, gömülü ve oksitlenmesi biten organik maddenin sadece küçük bir kısmını içermektedirler. Bir organik karbonun çoğu (organik karbon terimi kireçtaşı gibi karbonatlar için kullanılmamaktadır) çökel kayalarda erimiş halde depo edilir ve sadece belirli bazı jeolojik koşullar altında yoğunlaşmaya başlarlar. Çökellerde depolanan karbon miktarının, fotosentezin başlangıcından bu yana bin milyar (10¹⁶) ton veya kabaca tüm yaşayan organizmaların on bin katı kadar olduğu sanılmaktadır (Şekil 1).

Yazarlar, son yirmi yıldır, fosil yakıtların kökenini, organik çökel depolarının her türünü molekül düzeyinde, farklı ayrıntılarda çalışmaktadırlar. Amaç her bir fosil parçasının yapısını anlayabilmek, canlı organizmalarda bunların izlerine ilişkin yapıyı ortaya çıkarmak ve zamanı ne olursa olsun çökellerde bulunan maddenin tepkimelerini açıklayabilmektir. Çünkü her organizma tipinin belirgin özellikleri, az veya çok zarar görmeden kalan biyolojik izler olarak karbon iskeletli kimyasal fosilleri birleştirir. Çalışmanın moleküler paleontoloji olarak adlandırılacak bu yönü oldukça yeni olmasına karşın bazı ilginç sonuç-



Şekil 1 — Çökel depolarındaki organik maddenin birikimine ilişkin yüz milyonlarca yıllık organik karbon döngüsü. Döngü, atmosferik karbondioksiti organik bileşiklere döndüren, fotosentez yapan bitkiler ve mikroorganizmalarla başlar. Bitkilerin ve hayvanların, soluk alma adı verilen süreçte tekrar karbondioksit döndürdükleri bu bileşiklerin bazıları bozular. Daha sonra büyük organizmalar öldüklerinde, geri kalan organik maddenin küçük ayrımlarına saprotitik mikroorganizmalar ve anaerobik bakteriler tarafından parçalanırlar. Mikroorganizmalar sentez yaparak kendi bileşiklerini, yeniden organik gereç haline de getirirler. Yüksek organizma kalınlarının bazısı kadar bir kısım mikrobik madde de ayrışmadan kurtulur. Bu gerecin çoğunluğu kerojen adlı paçalanmış bir karışım şeklindedir, fakat uygun jeolojik koşullar altında birikirler ve fosil yakıtları oluştururlar.

lar derlenmiştir. Örneğin, dünyanın çeşitli yerlerinden toplanan, mikrobik hücre enkazından oluşmuş gibi görünen yüzlerce çökel örneğinde bir benzerliğe rastlanmıştır. Petrolün bileşikleri tek zarlı planktonların hücre zarında bulunan izlerden, bakterilerden ve deniz tabanında yaşayan diğer organizmalardan taşınmadır. Bu konuda kömür için bir karar vermek çok daha denyseldir. Buna karşın bizim analizlerimize göre, kömürden elde edilen maddelerin çoğu ağaçlardan ve yüksek bitkilerden taşınmamıştır. Fakat aksine bataklık tabanlarında yaşayan bakteri ve mantarların yeniden işlenmesiyle ortaya çıkmaktadır.

Çalışmanın başlangıcında böyle bir genel sonuca varılacağına inanılmamıştır. Bir organik kimyacıya göre ham petrol veya çökel kayadaki organik esans yüzlerce hatta binlerce maddenin heterojen karışı-

mıdır. Bunlar laboratuvarlarda ayrılabilirler bile kolaylıkla tanınmazlar. Amerikan Petrol Enstitüsü (API) tarafından desteklenen bir araştırmada ham petrolde 350 den çok hidrokarbon ve sülfür içeren 200 kadar organik maddeye rastlanmış, fakat hemen hepsinin 15 karbon atomundan az, basit yapılara bağlı olduğu görülmüştür. Bu moleküller çok iyi bilinmektedir ve kolayca tanınırlar. Daha karmaşık, az bilinen moleküllerin yapılarını öğrenmek zordur. En basit hidrokarbon olan metanın (CH_4) sadece tek bir yapısı vardır. Halbuki C_{30} molekülleri yüzlerce farklı biçimde bulunabilir.

Yazarların çözümlenmek istediği şey karmaşık yapılarıdır. Çünkü bu karmaşık yapılar, kökenleri konusunda pek çok bilgi verebilecek durumdadır. Metan ve saf karbondan oluşan grafit, istenilen bilgileri vermez; bunlar ısıtıldıklarında kendi organik bileşiklerine dönerler. Karmaşık fosil moleküllerinin yapısı en azından altere olmuştur.

Araştırmanın başlangıcında sadece birkaç bileşik ayrılabilmiştir. Bu bileşikler pek çok örnekte rastlanan fitan ($C_{20}H_{42}$), pristan ($C_{19}H_{40}$) ve beş karbon ünitesinden oluşan dallanmış zincirli (branched-chain) hidrokarbonlardır. Bu sürpriz olmamıştır. Çünkü bu iki bileşik fotosentez yapan bitkilerdeki yeşil pigment olan klorofilden kolayca türeyebilir. Pek çok karmaşık bileşik de saptanmıştır fakat bunlar sadece birkaç kaynak için söz konusudur.

Her bileşiği ayırmak için kullanılan yöntemler aslında organik kimyacıların bildikleri yöntemlerdir. İlk evre, beslenmeyi sağlayan organik maddeyi çıkarmak, çökel kayac kütlelerini oluşturan % 2 lik tipik değeri toplamaktır. Özütleme, son derece saf kloroform gibi organik çözücü ile yapılır. Bu aşamada büyük bir dikkat gösterilmeli, bunu izleyen gerecin kirlenmesinden kaçınılmalıdır. Çözülen gereç bir cam sütunda silika jel üzerine dökülür ve organik malzeme silika tarafından absorbe edilir. Giderek artan polaritenin ayrımları daha sonra, sütun boyunca polar çözücüler tarafından silikadan ayrılır. Bir polar molekül, karşıt elektrik boşalım bölgelerinden biridir. Örneğin, suda hidrojen atomları pozitif, oksijen atomları negatif yük taşırlar. Eğer bunlar yaklaşık aynı polaritede iseler, bir madde diğer bir maddeyi büyük olasılıkla çözer. Su, organik tuzları, alkollerini ve asitleri çözer fakat polar olmayan hidrokarbonları çözmez.

Sütun kromatografisi olarak isimlendirilen bu süreç doygun hidrokarbonları, aromatik hidrokarbonları, alkollerini, karboksil asitlerini ve diğer ana ayrımlardan çıkan maddeyi ayırır. Söz konusu ayrımların bazısı, göz yapılı zeolit inorganik maddelerden oluşan bir moleküler elek kullanılmasıyla çökeltiler. Eğer doygun hidrokarbonlar söz konusu ise, örneğin çapı 4.5 Angstrom kadar olan düz zincirli moleküller elek aralığı 5 Angstrom olan bir eleğe girer ve tutulur. Halbuki daha geniş, dallanmış zincirli ve halkalı moleküller daha sonra tutulur.

Analizdeki yeni aşama gaz kromatografisidir. Her molekül ailesi buharlaşır ve helyum gibi tepkimeye

girmeyen bir gazla karışır. Bu gaz karışımı iç çepe-
rinde kolayca buharlaşabilen ince bir filmle kaplı,
uzun-dar bir kapiller tüp boyunca akar. Organik mo-
leküller, tüp içinde hareket ederek sıvı tarafından yie-
nelenmelerle tutulur bırakılır. Çünkü bunlar daha
az buharlaşabilirler (Gerçekte en büyük moleküller
sıvı eriyikte o kadar uzun zaman kalırlar ki bunları
çıkarmak için tüpün sıcaklığı analiz sırasında yavaş
yavaş yükseltilmelidir). Farklı maddeler bu yüzden
farklı zamanlarda kapiller sütundan yükselir.

Her maddenin miktarını ölçmek için farklı yön-
temler vardır, fakat bizim gereçlerimiz arasında bir
gaz spektrometresiyle gaz kromatografisi biraradadır.
Bu gereçte moleküller kromatografi sütunundan yük-
seldikleri için elektron ışınıyla iyonize edilirler. Açığa
çıkan iyon akımının magnitudü, kromatogramda nok-
talar şeklinde gösterilir ve her tepe noktası genel-
likle, karbon atomlarının sayıları ile moleküllerin
miktarını gösterir. Bununla beraber gaz kromatogra-
mı bir molekülün yapısını, hatta onun kütleliğini açık-
lamaya yeterli değildir.

Elektron demeti sadece molekülleri iyonize et-
mekle kalmaz, onları çeşitli ölçülerde ayrımlarına da
ayırır. Kütle spektrometresinde elektrikle boşalan ayrı-
mlar bir elektrostatik mercekle yoğunlaştırılmış
ışığa tutulur ve daha sonra manyetik bir alana so-
kular. Sözkonusu bu alanın yoğunluğu hızla değişe-
cek şekilde yapılmıştır ve ayırım ince bir aralıktan
geçebilecek kadar saptığında ve dedektöre uzandığın-
da manyetik alanın gücü söz konusu ayırım kütleşi-
nin bir ölçüsünü oluşturur. Gaz kromatografisinden
yükselen her tepe noktası ayırım kütlelerini toplar.
İdeal olarak her tepe ve her kütle spektrumu tek bir
parça bileşikle bağlantılıdır. Fakat bazan bir tepe
noktası benzer yapıları olan çeşitli bileşiklerin ger-
çek bir üstüste binmesi olabilir. Bu, yorumu daha da
karışık bir hale getirir.

Karbon bileşikleri bazı durumlarda ayırım oja-
bilme eğiliminde olduklarından kütle spektrumu çok
az yardımcıdır. Spektrometre tüm molekül kütleğini
de ölçer. Çünkü bazı moleküller elektron demetini
boyu boyunca geçer ve geriye kalan parçalanmamış
durumdadır. Ayırım modeliyle birlikte moleküler kütle,
molekül yapılarına ilişkin varsayımlarda bir temel
oluşturur. Bu varsayımların daha sonra, bilinen tür-
lerin fosil molekülünün kütle spektrumu ile karşıla-
ştırılarak denenmeleri gerekir. Eğer her zaman ki gi-
bi örnek elimizde değilse, yıllarca süren bir çalışmay-
la senteze gidilmesi gerekir.

Bir molekül yapısının kesinlikle kanıtlanması
röntgen kristalografisinden elde edilir. Kristalografik
analiz için gerek duyulan mükemmel kristali geliştir-
mek için önce saf miktarın büyük bir kısmını (bir-
kaç mg) ayırmak gerekmektedir. Bu ise çok zordur.
Çünkü her bileşiğin gaz kromatografisinden çıkan
miktar, mikrogram veya nannogramla belirtilir. So-
nuçta bu yapısal hipotezler, röntgen kristalografisiyle
sadece iki durum için kanıtlanabilmiştir.

Ancak kısa bir süre sonra, fosil yakıtlar ve çö-
kel örnekleri, aksaklıkları görülen bu yöntemlerle

analiz edilebilmeye başlanmıştır. Özellikle, gaz kro-
matogramının C₂₇-C₃₅ arası bölgedeki tepeler modeli
tüm örnekler için çok benzer olmaya başlamıştır. Bu
sürpriz bulgulara güzel bir örnek, farklı köken ve
yaşta, hiçbir benzerliği olmayan, biri Loraine'den bir
kömür ile diğeri Aquitaine'den ham petrolün karşıla-
ştırılması olmuştur. Her örnekten zincir veya siklik
(halka şekilli) doymun hidrokarbonlar ayrımlarına bö-
lündüğünde sadece kromatogram tepelerinin karşı
karşıya geldikleri değil, karşı karşıya gelen tepelerin
tanıtman kütle spektrası oldukları da farkedilmiştir.
Bir başka deyişle, kömürde tepeleri oluşturan mad-
deler petrolde de aynıdır. Dahası, farklı tepelerin kütle
spektrası da benzer durumdadır.

Kütle spektrometrisi verilerinden, ilgili aile ger-
çekten tanımlanabilecek durumdadır. Daha sonra, dünya-
nın her yerinden, her tip çökel ortamından ve yaş-
ları 500 milyon yıl öncesinden güneşle dek değişen
binlerce örneğin analizi yapılmıştır. Her örneğin, bu
ailelerin üyelerini bir karmaşık moleküle ilgili bile-
şikleri (C₃₀ pentasiklik triterpenoyid) kapsadığı bu-
lunmuştur (Terpenoyidler beş karbon ünitesinden olu-
şan biyolojik ürünlerin geniş bir sınıfıdır. Bunlar fitan
ve klorofilden ayrılan pristana ek olarak kole-
sterol gibi steroidleri ve beta-karoten gibi karoteno-
yidler, havuçlardaki yaygın portakal renkli pigment-
leri ve diğeri bitkileri kapsar). Yazarların hopanoyid
adını verdiği hopan ise çok farklı bir gruptur. Şim-
diye dek, çökellerden 150 den fazla farklı molekül
ayrılmış ve yapıları öğrenilmiştir.

Bugüne değin yazarların önerisi pek kabullenil-
memiştir. Aşağıda açıklandığı gibi çökellerde diğeri
karmaşık organik maddeler de tanınmıştır. Bunlar-
dan bazıları oldukça yaygındır. Fakat sadece hopano-
yidler her yerde bulunurlar. Bu fosillerin başlıcaları-
nın evrensel olması gerekir.

Fosil hopanoyidlerin çökel oluşukları olarak öne-
mi ilk kez yetmişli yılların başında anlaşılmıştır. Bu
tarihten önce hopanoyidlerin ataları kesinlikle bilin-
miyordu. Çünkü hopanoyidler sadece bazı organizma-
larda saptanmıştır. Hopanoyidler ilk olarak çeşitli
ağaçlar ve otlardan, özellikle eğreltiotlarından ortaya
çkarılmıştır. Bazı kömürlerin oluşumuna katkıda bu-
lunan, eğreltiotu benzeri ilkel bitkilerdir. Fakat ağaç-
ların ve yüksek bitkilerin hiçbiri, açıkça tüm çökel-
lerde, özellikle denizel kökenli olan fosil hopanoyid-
lerin varlığını açıklayamaz. Bazı basit hopanoyidler
aynı zamanda mavi-yeşil alglerde ve bir bakteride
de bulunmuştur. Londra'daki Elizabeth College'den
C.W. Bird ve W.W. Reid, Nişer ham petrolündeki bir-
kaç hopanoyidin farkna varan, BP (British Petroleum
Company) den E. Whitehead'ın belirttiği bu bulgunun
erken bir açıklama olabileceğini belirtmiştir.

Çökellerde fosil moleküllerin çok yaygın olduğu-
nu açıklama, bu modern hopanoyidlerin çok ender
oluşunda değil fakat aynı zamanda C₂₉ ve C₃₀ atom-
ları içermesidir. Halbuki pek çok fosil hopanoyid C₃₅
veya hatta C₃₆ bileşikleridir. Bu bileşikler, büyük bir
olasılıkla çökelim sonrasında ek karbon atomları da
almışlardır. Bu yüzden çökel hopanoyidlerin kökeni

bir giz olarak kalmıştır. Daha sonraları Massachusetts Teknoloji Enstitüsünden (MIT), bir bakteri türü olan *Acetobacter xylinum* üzerine çalışan J. Förster ve K. Biemann ile yardımcıları bunu bir C₃₅ hopanoyidinden ayırmışlardır. Bu bileşik bakteriyohopantetrol olarak tanımlanmıştır. (Burada tetrol eki dört alkollü ve hidroksili belirtmekte, hidrojen atomlarının yerine bir y'n zincirle birleşen gruplardır). Bu isme bir seçenek olarak tetrahidroksibakteriyohopan adı da verilmiştir.

Förster, Biemann ve arkadaşları bakteriyohopantetrol için iki olası karışım belirtmişlerdir. Bunların yeğledikleri yapı, bilinen fosil hopanoyidlerin bir atası için yardımcı olmazdı. Çünkü özel iskeleti, fosiller içinde bulunmamıştır. Laboratuvarlarımızda bakteriyohopantetrol ayrıldığında, çökel hopanoyidle karşılaştırılan diğer bir olası yapının doğru olduğunu gösterebilmek olası olmuştur. Gerçekten, çökeltide kötüye gidebilen ayrışmayı, arttırma yönünde bir kimyasal tepkimeye tabi tutarak ortaya çıkan bileşik, bilinen bir çökel hopanoyidle tanımlanmıştır.

Daha sonra diğer mikroorganizmalarda da bakteriyohopantetrol aranmaya başlamıştır. Analiz edilen mavi - yeşil alglerden ve pek çok bakteri türünün yaklaşık yarısından fosil hopanoyidlerin ataları olan C₃₅ molekülleri ayrılabilmiştir. Bazı bakterilerde ise tanıdığımız C₃₆ fosillerini ortaya çıkaracak C₃₈ hopanoyidler bulunmuştur.

Biyohopanoyidlerin geniş dağılımı, jeohopanoyidlerin her yerde bulunduğunu göstermektedir. Fosiller her yerde aynıdır. Çünkü okyanus tabanlarında ve karada, toprağın en üst kısmı bakterilerle zenginleşmektedir. Organizmalar öldüğünde organik maddelerin çoğu CO₂ gibi gazlara dönüştürülür. Fakat bakteriler, hopanoyidler de içinde olmak üzere, basit bileşiklerin bazıları kendi karmaşık moleküllerine de döner. Bakteri, çökellerin altına gömüldüğünden kendi kendine ölür ve bozunur. Hopanoyidler de giderek daha derinlere gömülür ve kil veya diğer mineraller tarafından katalize edilen ısı tepkimeleriyle olduğu kadar diğer mikroorganizmaların hareketiyle taşınır. Bakteriyohopantetrol, örneğin hidrojen atomlarıyla hidroksil gruplarının yer değiştirmesi bir hidrokrbona doğru indirgenebilir veya farklı yerlerde kesilen yan bağları belki oksitlenebilir. Bu biyolojik moleküllerin kısmen küçük ailesinden fosil hopanoyidlerin şaşırtıcı derecede zengin türlerini üreten pek çok kimyasal tepkimeden sadece biridir ve çoğu sadece genel anlamda bilinmektedir.

Yazarları inandıran şey sadece fosil hopanoyidlerin mikrobik kökenlerinin her yerde bulunmaları değildir. Gerçekte C₃₀ fosilleri yüksek bitkilerden gelmiş olabilir. C₃₅ biyohopanoyidler ise sadece mikroorganizmalarda bulunmuştur. Pek çok fosil hopanoyidin 1 e 5 karbon takısı, bunların mikrobik kökenleri hakkında en inandırıcı kanıttır. Bununla beraber bunların mikroorganizmalardan kaynaklandığını söylemek sorunun sadece yarsını çözmektir. Yaşayan organizmalarda hopanoyidlerin oynadığı rol nedir? Bu kadar yaygınlaştıklarından, rolleri ilginç bir ikinci

soruyu doğurur. Niçin biyohopanoyidler bu kadar uzun bir süre farkedilmemişlerdir?

Bu sorunun basit bir yanıtı vardır. Eğer hopanoyidler, biyolojik biçimler içinde istenerek aranmış olsalardı bulunabilirlerdi Fakat hiç kimse bunları araştırmamıştır. Biyohopanoyidler ayırmak zordur, çünkü bunlar amfipatik lipidlerdir. Molekülün bir parçası zorunlu olarak bir hidrokarbondur ve kloroform gibi nonpolar bir organik çözücü içinde çözülebilir; diğer parçası ise hidroksil veya nitrojen gruplarıyla yüklenen karbon yan zinciridir. Bu yüzden kutup oluşturur ve sadece su veya alkol gibi polar çözücülerde çözülür. Sonuç olarak bir tek çözücü biyohopanoyidler çözmez. Bunlar sadece nonpolar bir çözücü karışımı veya polar bir çözücüyle (kloroform ve metanol) çözülürler. Tersine pek çok fosil hopanoyid, polar oksijen veya yan zincirlerinden ayrılmış nitrojen grupları içermektedirler ve nonpolar bir eriyikte kolayca çözülürler. Bu durum bakteriyel lipidlerin büyük bir kısmının niçin kendi fosilleri içinde en önce tanınabildiklerini açıklamaktadır.

Biyohopanoyidlerin bu amfipatik yapısı aynı zamanda bunların mikroorganizmalardaki işlevlerinin de bir kanıtıdır. Hücre zarları amfipatik lipidlerden yapılmıştır. Bu moleküller bir su ortamında doğal olarak iki molekül kalınlığında kapalı bir zar oluştururlar. İlkel zar lipidlerinin hidrofobik ucu pek çok hücrede düzgün hidrokrbon zincirlerinin bir çiftini oluşturur. Fakat zar, esnek ve duraysız olabilen, tümüyle bu tür moleküllerden yapılmıştır. Tüm yüksek organizmalarınki de içinde olmak üzere eukaryotik hücrelerin zarlarındaki düz zincir (straight-chain) lipidlerinin bazıları kolestrolle, dört halka yapısının daha da sertleştirildiği ve bu yüzden zarı sıkıca bağlayan bir amfipatik lipidle yer değiştirir.

Hemen hemen hiçbirinde kolestrol içeriği bulunmayan bakteri ve mavi-yeşil algler gibi prokaryotilerin (çekirdeksiz hücreler) zarlarında hopanoyidler aynı amaca hizmet eder. İşlevin bu eşitliğine ilişkin kanıtlar kolestrol ve bakteriyohopantetrol yapısı ve bilinen ölçüleri arasındaki benzerliklerdir. Sonuçlar ise gerek laboratuvarlarımızda ve gerekse Tübingen Üniversitesinden K. Poralla tarafından da doğrulanmıştır.

Dahası, hopanoyidler sadece sterollerin yapısal ve işlevsel benzerleri değil, aynı zamanda onların evrimsel ataları gibi görünmektedir. Hem steroller ve hem de hopanoyidler terpenoyidlerdir ve oluşumları için gerekli biyosentetik tepkimeler esas olarak birbirinin benzeridir. Bununla beraber aralarında önemli bir fark vardır : Eukaryotik hücrelerin zorunlu içerikleri gibi steroller, sadece serbest oksijenin varlığında oluşturulabilir. İlkel atmosfer ise oksitlenmiş değildir. Fakat, fotosentez yapan mavi-yeşil alglerin iki milyar yıldan daha önceki görünümünün oksijen düzeylerindeki yükselmelere bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu durum eukaryotilerin ve diğer aerobik organizmaların daha sonra ortaya çıkmalarında ön koşul oluşturmuştur.

Doğrudan kanıtlar olmamasına karşın, güncel akrabalarına benzeyen ilk mavi-yeşil alglerin hopanoyidlerle desteklenen zarları olduğu ve eukaryotik sterollerin bu prokaryotik lipidlerinin evrimsel olarak azaldığına inanmak olasıdır. Hatta iki molekül ailesi arasında bir ara tip olabilecek bir varlığı, hem hopanoyidlere hem de sterollere yapısal benzerliği olan bir pentatislik terpenoyid olan isoarborinol tanınmıştır. Isoarborinol şimdiye dek, bazı yüksek bitkiler kadar çeşitli çökellerde de bulunmuştur. Bu gözlemler ve diğerleri bizim, desteklenen hücre zarlarının işlevinin tüm yaşayan organizmalarda politerpenoyidler tarafından gerçekleştirildiği konusunda denemeler yaptığımız bir varsayımı ilgilidir.

Hopanoyidlere ek olarak, diğer terpenoyid fosilleri de çökellerin organik karbon içeriğine mikrobik katkılarına ilişkin kanıtları da sağlamaktadır. Çökellerde steroyidler yaygındır ve bazıları daha yüksek, sterol içeren organizmalardan kaynaklanabilir. Pek çok steroyid fosilleri, hidroksil grubu içeren halkada ek bir metil grubuna sahiptir. Bunların çökellerdeki yaygınlığı mikroorganizmalara bağlı olmalıdır. Bristol Üniversitesinden G. Eglington bu moleküllerin kaynağının büyük olasılıkla dinoflagella olduğunu, planktonik eukaryotların hem okyanuslarda hem de tatlı sularda bulunduğunu göstermiştir. Bununla beraber bazıları, organik moleküllerin bileşimine giren metanın oksitlenmesindeki metiltropik bakterilerden de gelebilir.

Metan, çökellerin alt katmanlarındaki anaerobik bakteriler tarafından üretilir. Bu metanojenik bakteriler alışılmamış zar lipidlerine sahiptir. Şöyle ki : Bu polar gruplar, diterpen (C_{20}) ve tetraterpen (C_{40}) dallanmış zincirli hidrokarbonlara bir eter aracılığıyla bağlıdır. Bu dallanmış eterler kolayca tanınabilen, özellikle C_{20} ve C_{40} moleküllerine yakın olan fosilleri toplarlar. Şimdiye dek bu fosilleri içeren pek çok örnek analiz edilememiş olmasına karşın, bunların hopanoyidler kadar yaygın olmaları çok olasıdır. Organik maddece zengin olabilecek her şeyde metan vardır, anaerobik ortam tüm çökellerde metanojenlerin yaşadığını belirtir.

Hopanoyidler, steroyidler ve dallanmış eterlerin, çökellerden tanıdığımız mikrobik ürünlerin keşfi büyük bir olaydır. Burada geriye bir soru kalmaktadır : Bu karmaşık moleküller, sayısal koşullarda çökel organik maddenin önemli bir kısmını mı yoksa sadece gözlediğimiz şeylerin merkezini mi oluşturmaktadırlar?

Bir örnek olarak düşünelim : Avustralya'nın Yallourn yöresinden alınan bir linyit, her milyonda bir yüzlerce parça C_{32} hopanoyid asidi içermektedir. Bu belki fazla birşey ifade etmez gibi görünürse de or-

ganik içeriğin fazla olması, kömürde yaklaşık 1 kg asid varlığını veren 2 ton ağırlık ve 1 m³ hacim anlamına gelir. Yallourn linyiti sıradan bir çökel değil, Avustralya'nın Japonya'ya önemli bir dışsattım maddesidir.

Her zaman tehlikeli olan küresel evrimleşmelere bir yönelim olduğunda özel bir sorunla karşılaşılır. Çökellerde bulunduğu hesaplanan organik karbonun 10¹⁶ tonunun yaklaşık % 90'ı yerin içine gömülen çökel kayalar olarak petrole dönüşen termokatalitik tepkimeli yaygın organik maddeler biçimindedir. Kerojenler çözülemez; mikrobik malzemenin içeriğini anlayacak kolay bir yol da yoktur. Bununla beraber, yapılan analizlere göre hopanoyidler, evrenin 10¹⁵ tonluk çözülebilir organik karbonunun % 5-10 kadarını oluşturur. Bu varsayımına göre, hopanoyidlere ilişkin küresel stok, tüm canlı organizmalardaki hesaplanmış 10¹² tondan çok daha fazla, en azından 10¹³ veya 14 tondur. Metanojenlerin moleküler fosillerinin eşit önemde oldukları kanıtlanabilir. Fakat bunların girdisini arttırmak zordur. Çünkü şimdiye değin bu fosillerin ana kaynağı kerojenler gibi görünmektedir.

Ham petrolün daha basit bileşiklerinin çoğu ve çökel maddeler pek çok kaynaktan gelebilir ve kökenleri mikrobik de olabilir. Metan dizilerinin yaygın düz zincir veya dallanmış hidrokarbonları güzel örneklerdir. Diğerleri ise klorofilden ve bitkilerden veya fotosentetik alglerden değişen fakat metanojenik zar lipidlerinin fosilleri de olabilecek fitan ve pristandır. Fosil organik maddenin kaynakları hakkında pek çok bilgi kayıptır. Bunlar, sığ çökellerdeki organik bileşiklerin bakteriyel ayrışmaları ve ısı süreçleridir.

Olgunlaşma tepkimeleri moleküler paleontologların araştırma işlerini daha da zorlaştırırsa bile petrol arama çalışmalarında araştırmanın en önemli pratik uygulama kaynağını da oluştururlar (Bu, Fransız petrol şirketi Société Nationale Elf-Aquitaine'nin çalışmayı desteklemesinin nedenini açıklamaktadır). Eğer özel bir olgunlaşma tepkimesinin oranında sıcaklık bir işlev olarak kabul edilirse, olası petrol kayacının bulunduğu yerde çökel dolgunun belirli bir noktaya kadar ısıtılması bir kanıt verebilir. Olgunlaşma tepkimelerinin çalışılması halen erken dönemlerindedir. Fakat elde bulunan bilginin petrol aramalarına uygulanması, özellikle Richmond'daki (California) Chevron petrol bölgesi araştırma şirketindeki (Chevron Oil Field Research Company) W.K. Seifert'le ilgili bir grup tarafından yapılmaktadır.

Kerojenin moleküler beslenmesi önemli bir örnektir. Çalışmada çıkmazlarla karşılaşıldığında, genelde fosil yakıtların ve çökel organik gerecin çoğunun mikrobik kökenli olduğunun kuşkudan öte kanıtlanması yeterlidir.