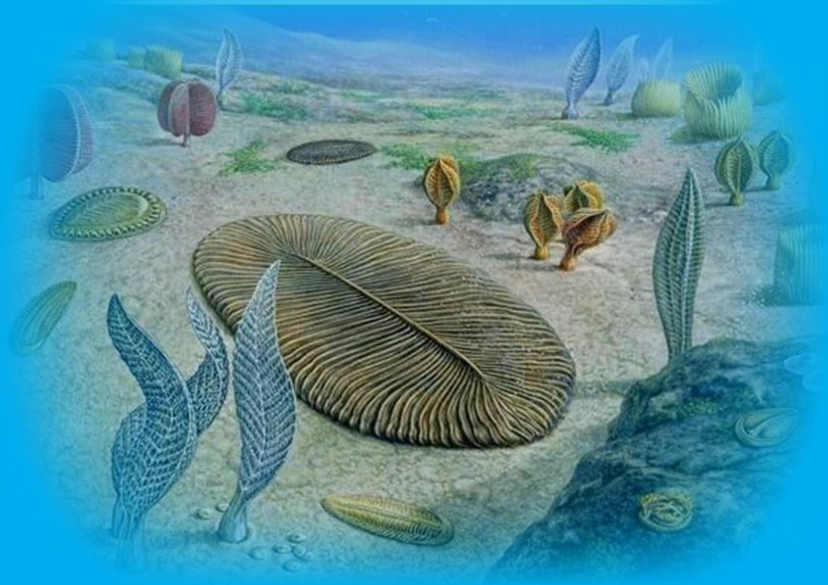




Mavi Gezegen

Popüler Yerbilim Dergisi

Yıl 2016 • Sayı 21



**Yerküre üzerindeki yaşamın
kökenine ve evrimine
jeolojik bir bakış açısı**



TMMOB
JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYINIDIR



Mavi Gezegem

Popüler Yerbilim Dergisi Yıl 2017 • Sayı 22

TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI *Chamber of Geological Engineers of Turkey*

YÖNETİM KURULU / EXECUTIVE BOARD

Hüseyin ALAN	Başkan / <i>President</i>
Yüksel METİN	İkinci Başkan / <i>Vice President</i>
Faruk İLGÜN	Yazman / <i>Secretary</i>
D. Malik BAKIR	Sayman / <i>Treasurer</i>
Canan DEMİRAL	Mesleki Uygulamalar Üyesi / <i>Member of Professional Activities</i>
Düzgün ESİNA	Sosyal İlişkiler Üyesi / <i>Member of Social Affairs</i>
Murat AKGÖZ	Yayın Üyesi / <i>Member of Publication</i>

Editör / Editor

Prof. Dr. Halil GÜRSOY
gursoy@cumhuriyet.edu.tr

Yazarlar / Writers

Murat GÜL
Şükrü ERSOY
Murat NURLU
Oktay GÖKÇE
Bülent ÖZMEN
Özgür KARAOĞLU

Tasarım/Mizanpaj

İlhan ULUSOY

Yazışma Adresi

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
PK. 464 Yenışehir, 06410 Ankara
Tel: (0312) 434 36 01
Faks: (0312) 434 23 88
E-Posta: jmo@jmo.org.tr
URL: www.jmo.org.tr

Yayın Türü	: Yaygın Süreli Yayın
Yayının Şekli	: 4 Aylık Türkçe - İngilizce
Yayın Sahibi	: TMMOB JMO Adına Hüseyin ALAN
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü	: Hüseyin ALAN
Yayının İdari Adresi	: Hatay 2 Sokak No: 21 Kocatepe / Ankara Tel: 0 312 432 30 85 Faks: 0 312 434 23 88
Baskı (Printed by)	: ERS Matbaacılık Kazım Karabekir Cad. Altıntop İşhanı No: 87/7 İskitler / Ankara Tel: 0 312 384 54 88
Baskı Tarihi	: Mayıs 2017
Baskı Adedi	: 500

İçindekiler



Yerküre üzerindeki yaşamın kökenine ve evrimine jeolojik bir bakış açısı

Ali POLAT

5



Orta Doğu'da petrol neden bu kadar çok?

**Prof. Dr. Rasoul SORKHABI
Çeviren Prof.Dr. Halil GÜRSOY**



Yerküre üzerindeki yaşamın kökenine ve evrimine jeolojik bir bakış açısı

Bizler, tüm canlılarla ve de dinazorlar ve mamutlar gibi soyu tükenmiş milyonlarca canlı türü ile ortak bir atayı paylaşmaktayız. Bu ortak atayı bir ağacın köküne, canlı sınıflarını, takımlarını, ailelerini, cinslerini ve türlerini ise ağacın kolları, dalları, budakları ve uçlarına benzetebiliriz.

Ali POLAT
Windsor Üniversitesi,
Ontario, Kanada
polat@uwindsor.ca

Dünya'daki yaşam ve evrimi, mavi gezegenimizin geçirmiş olduğu 4.6 milyar yıllık fiziksel ve kimyasal değişimlerin bir yan ürünüdür. Doğal yasalar gereği Dünya ve canlılar, geriye dönüşü olmayan bir değişim halindedir.

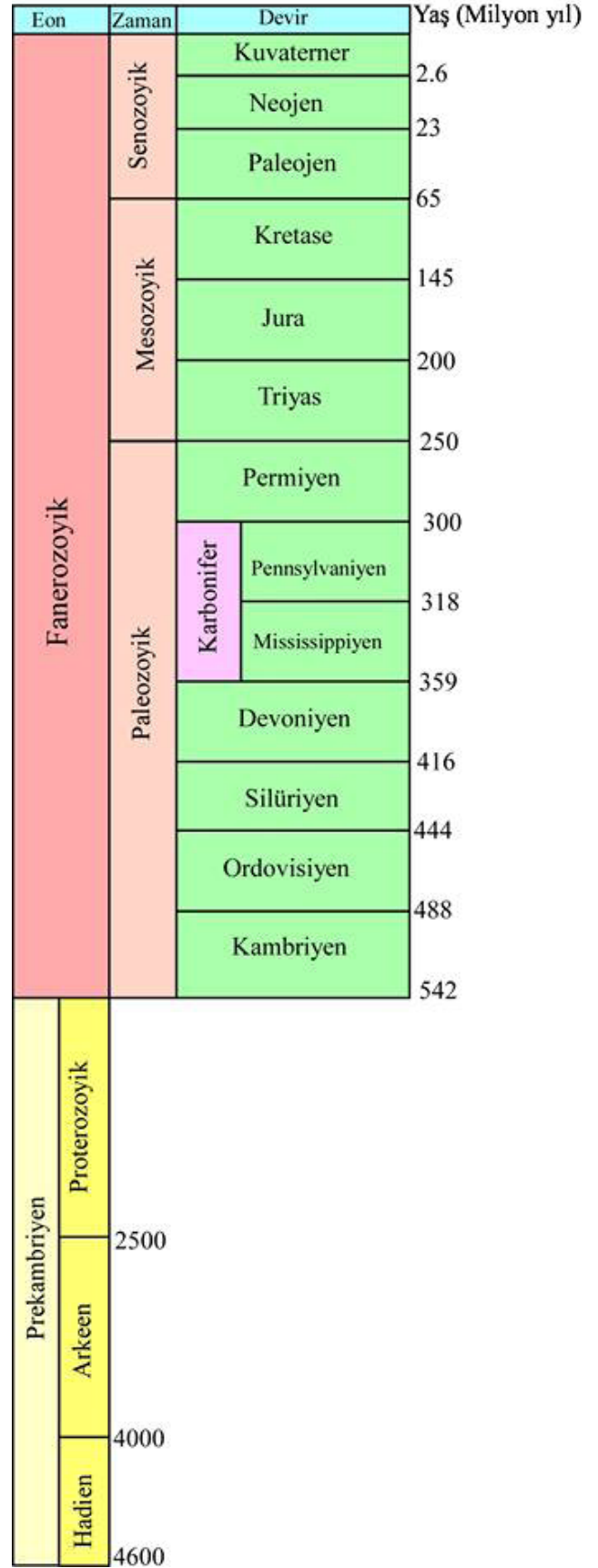
Yaşamın kökeni

Bilim adamları bir taraftan uzayda hemen hemen hergün yeni bir gezegenin varlığını keşfederken, bir taraftan da üzerinde yaşadığımız Dünya gezegeninin sırlarını çözmeye çalışmaktadır. Bilim adamlarının, düşünürlerin ve entelektüel insanların en çok ilgilendiği soruların başında ise, Dünya'da yaşamın nasıl, nerede ve ne zaman başladığı soruları gelmektedir. Bu soruların hiçbirinin yanıtı henüz

tam olarak bilinmiyor. Yaşamın nasıl başladığını bilmek bu soruların içinde yanıtlanması en zor olan sorudur. Çünkü yaşamın başlangıcı, protein, yağ, karbonhidrat ve son derece karmaşık organik moleküller olan DNA (deoksiribo nükleik asit) ve RNA (ribo nükleik asit) gibi moleküllerin oluşmasına, birbiriyle etkileşmesine ve DNA'nın ve RNA'nın kendilerini kopyalamasına ve bu kopyalama ile kalıtsal bilgilerin gelecek kuşaklara (hücrelere) aktarılmasına bağlıdır. Sıcaklığa, basınca ve de ortamın kimyasal bileşimine karşı son derece duyarlı olan bu moleküllerin jeolojik kayıtlarda 4 milyar yıla yakın gibi bir zaman süresince korunmuş olması hemen hemen imkânsız gibidir. Üstelik bu moleküller, özellikle RNA ve DNA molekülleri, bir değil belki de binlerce zincirleme kimyasal tepkimeler sonucunda ve doğal seçilimle oluştuğu için, onları oluşturan ara tepkimelerin de kayaç kayıtlarında korunmuş olması olasılığı sıfıra çok yakındır. Benzer şekilde, ilk canlı hücre de muhtemelen çok sayıda ara aşamadan geçerek, doğal seçilimle oluşmuştur. Bu nedenle bu soru, sadece kuramsal olarak yanıtlanabilir.

Yaşamın nerede ve ne zaman başladığı sorularının yanıtlarını bulmak ise biraz daha kolaydır. Bu soruların yanıtlarını bulmada bilim adamları gerçeğe hergün biraz daha yaklaşmaktadır. Son yıllarda bu konuyla ilgi önemli gelişmeler olduğunu görmekteyiz. Bu kısa yazının amacı son fosil bulguları ile ilgili yeni gelişmeleri aktarmak ve eldeki verilere dayanarak Yerküre üzerindeki yaşamın tarihini yorumlamaktır. Makale yaşam ve kökenini çalışan araştırmacılara hitaben değil, doğa bilimlerine meraklı olan genel okuyucu kitlesine hitap etmek için yazılmıştır.

Bazı bilim adamları yaşamın uzayda, örneğin Mars'da, başladığını ve sonradan Dünya'ya ulaştığını ileri sürmektedir (1). Yaşamın uzaydan Dünya'ya gelmiş olması elbette bir olasılıktır. Fakat böyle bir iddia yaşamın nasıl başladığı sorusuna yanıt vermekten çok, futbolda topu taca atmaya benziyor. Eğer yaşam Dünya dışında ortaya çıktıysa, orada nasıl oluştu? Güneş Sistemi içerisinde yaşam koşullarına en uygun gök cismi Dünya olduğu için, yaşamın Dünya'da başlamış olması olasılığı, dışarıdan gelmiş olmasından daha yüksektir. Yapılan gözlemler ve kuramsal



Şekil 1: Jeolojik Zaman Cetveli
(Yaşlar Uluslararası Stratigrafi Komitesi Çizelgesinden alınmıştır).

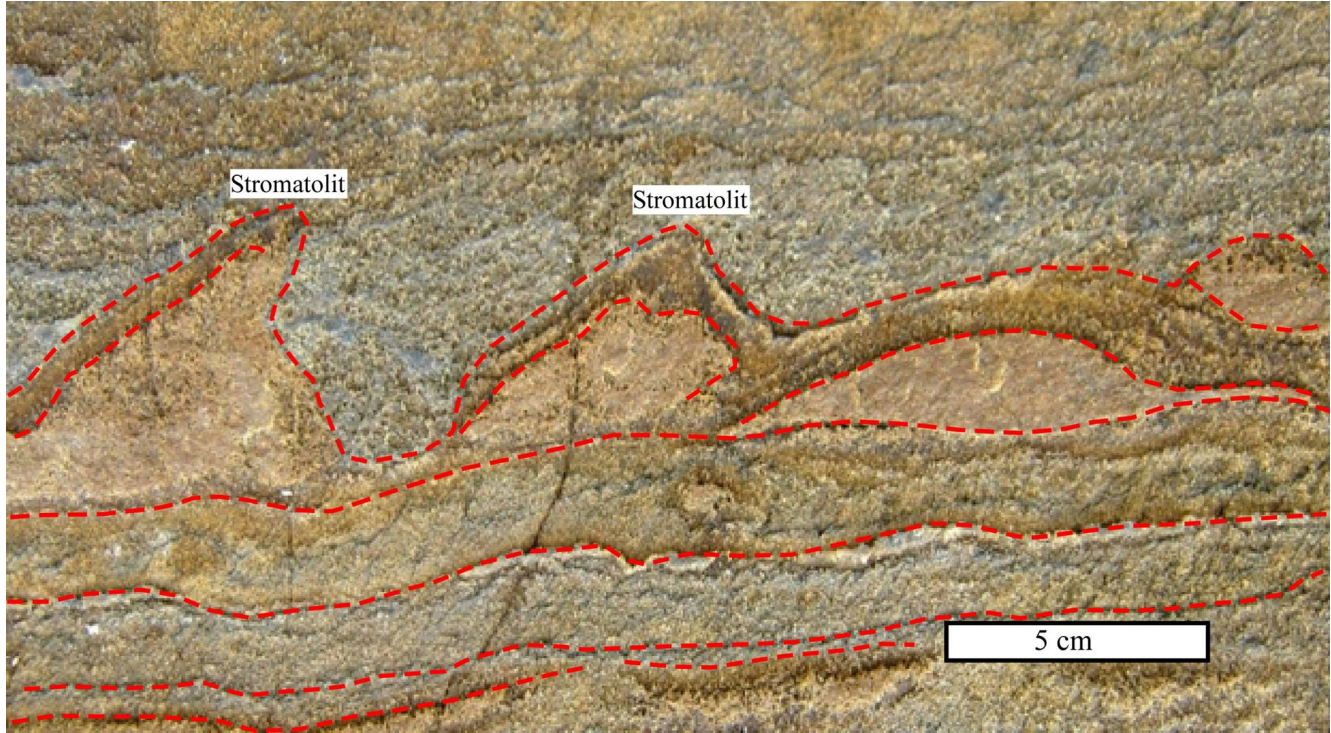
son çalışmalar, yaşamın Dünya'daki denizaltı yarıdağlarının çevresinde başlamış olması olasılığını güçlendirmektedir (2-5).

Yaşam hakkında bildiğimiz en önemli gerçeklerden birisi, insanlar dahil tüm canlıların ortak bir kökenden, yani ortak bir atadan, gelmesidir (5-10). Bu ortak ata muhtemelen 4 milyar yıl önce ortaya çıkan, çekirdeksiz hücre yapısına sahip olan bir bakteri türüdür. Tüm canlıların ortak elementlere (örneğin oksijen, karbon, hidrojen, azot, fosfor, kükürt, kalsiyum, demir ve gibi), ortak organik moleküllere (örneğin sol-elli amino asitler), ortak kimyasal tepkimelere, ortak metabolizmaya (ortak enerji üretim mekanizması, ATP-Adenozin Trifosfat), ortak genetik yapıya (DNA) ve de ortak hücre yapısına sahip olması, onların ortak bir ata hücreden türediğini göstermektedir (4, 5, 11). Amino asitler birbirine eklenerek proteinlere dönüşmüştür. Su, proteinler, yağlar, karbonhidratlar ve çekirdek (nükleik) asitleri hücreleri oluşturmuştur. Bizler aynı zaman da dinazorlar ve mamutlar gibi soyu tükenmiş milyonlarca canlı türü ile de ortak atayı paylaşmaktayız. Bu ortak atayı bir ağacın köküne, canlı sınıflarını, takımlarını, ailelerini, cinslerini ve türlerini ise ağacın kolları, dalları, budakları ve uçlarına benzetebiliriz. Bu

ağaçtaki her çatallanma ortak bir atadan yeni türlerin ortaya çıkmasını temsil etmektedir. Yer tarihindeki toplu yok oluş olaylarını ise, örneğin dinazorların 65 milyon yıl önce ortadan kalkması gibi, dalların budanmasına benzetebiliriz (1, 12).

Ortak evrensel köken

Yaşam sadece Dünya'nın değil aynı zaman da içinde bulunduğumuz Evren'in de ayrılmaz bir parçasıdır (11). Canlılar, göktaşları, Dünya, yıldızlar ve yıldızlar arasında yer alan gaz ve toz bulutları aynı elementlerden oluşmuştur. Canlılar ile gök cisimleri arasındaki temel kimyasal farklılık sadece elementlerin görelî miktarlarındaki farklılıkta yatmaktadır. Canlılar daha çok karbon (%19.4), oksijen (%62.8), hidrojen (%9.3) ve azot (%5.1), Evren'deki görünür maddenin büyük bir kısmını oluşturan yıldızlar ve yıldızlar arası madde ise %75 hidrojen, %24 helyum ve %1 diğer elementlerden oluşmaktadır. Dünya ve üzerindeki canlıları oluşturan tüm elementler yıldızlardan gelmiştir. Canlıları oluşturan elementlerden hidrojen elementinin tamamına yakını 13.8 milyar yıl önce "Büyük Patlama" sırasında oluşmuş; geriye kalan diğer elementler ise 12 milyar yıl ile 4.6 milyar yıl öncesi yıldızlar içinde üretilmiş ve sü-



Şekil 2: 3.7 milyar yıl yaşlı İsu yeşilkayaç kuşağında stromatolit olarak yorumlanan yapı (Nutman ve diğerleri, 2016'dan değiştirilmiştir).

pernova patlamasıyla yıldızlar arası boşluğa savrulmuş ve sonra da Dünya'ya ulaşmıştır. Bu nedenle vücudumuzun %9.3'nü oluşturan hidrojen atomlarının hemen hemen hepsi 13.8 milyar yıl yaşındadır. Vücudumuzun geriye kalan %90.7'ni oluşturan elementler ise 12 ile 4.6 milyar yıl yaş arasındadır. Sonuç olarak, canlıları oluşturan elementlerin Evren'nin kimyasal laboratuvarlarında üretildiğini ve dolayısıyla Evren'nin ayrılmaz bir parçası olduğunu ifade edebiliriz.

Canlı varlıkların ana maddesi olan amino asitlerin göktaşlarında yaygın olarak bulunması, bunların Güneş sisteminde doğal olarak oluştuğunu göstermektedir (1, 13). Stanley Miller'in 1950'lerde yaptığı deneyler, metan (CH₄), amonyak (HN₃), su buharı (H₂O), hidrojen (H) ve karbondioksit (CO₂) gibi gazların ve fosfor (P) ve kükürt (S) gibi elementlerin Dünya'nın ilksel fiziksel koşullarında kimyasal tepkimelerle amino asitlere dönüşmüş olacağını ortaya koymuştur (5, 7, 13).

Jeolojik zaman kavramı

Yer bilimciler jeolojik olayları tartışırken sık sık jeolojik zaman çizelgesindeki zamanlara ve devirlere gönderme yapmaktadırlar (Şekil 1). Yer bilimlerindeki en önemli araçlardan biri olan ve binlerce yer bilimcinin katkısıyla ortaya çıkan bu çizelge, geçmişteki önemli jeolojik olayların sırasını ve süresini gösteren bir takvimdir. Bu çizelgenin geliştirilmesinde fosil kayıtlarındaki değiş-



Şekil 3: Ali Polat Süperior Gölü'nün kuzey kıyısında yüzeyleyen 1.9 milyar yıl yaşlı Gunflint Formasyonu'ndaki stromatolitleri incelerken. Fotoğraftaki çekik Türkiye yer bilimlerinin kurucularından Prof. Dr. İhsan Ketin'in (1914-1995) öğrencisi Ali Polat'a hediyesidir.

meler birinci derecede önemli bir rol oynamıştır. Çizelgedeki rakamlar son derece duyarlı ve güvenilir radyometrik yöntemlerle elde edilen mutlak yaş tayinlerini temsil etmektedir. Arkeolojik ve tarihsel olayların, onlarca, yüzlerce ya da en çok binlerce yılla ölçülmesine karşılık, jeolojik olaylar milyonlarca, onlarca milyon, yüzlerce milyon ve de milyarlarca yılla ölçülmektedir. Bu nedenle, jeolojik olayların sürelerini ve oluş tarihlerini anlamak için, jeolojik zamanı günlük ve tarihsel zaman kavramlarının çok ötesinde zihinde canlandırmaya ihtiyaç vardır. Bu makalede tartışılan jeolojik olayların daha kolay anlaşılması için jeolojik zaman çizelgesi Şekil 1'de okuyucunun bilgisine sunulmuştur.

Bilinen en eski fosiller

Avustralyalı yer bilimciler Allen Nutman, Vicki Bennett, Martin van Kranendonk ve İngiliz meslektaşları Clark Friend'in güneybatı Grönland'daki İsua yeşilkayaç kuşağında yaptıkları çalışmalar, bilinen en eski stromatolitlerin (siyanobakteriler tarafından üretildiği farzedilen sığ sularda oluşan, tabakalı tepecik yapıları) en az 3.70 milyar yıl önce ortaya çıktığını göstermektedir (Şekil 2) (14). Daha önce bilinen en eski stromatolitler 3.48 milyar yıl yaşında ve Batı Avustralya'da bulunmaktaydı (15-18). Bu yeni buluş ile stromatolitlerin 220 milyon yıl daha önce oluştukları ortaya çıkmıştır. Nutman ve çalışma arkadaşlarının yaptığı bu buluş, doğabilimlerinin en saygın dergisi olarak kabul edilen Nature (Doğa) dergisinde yayınlanarak (22 Eylül, 2016) bilim dünyasına sunulmuştur. Şekil 3 ve 4'de Kanada'nın Süperior Gölü'nün kuzey kıyısında yazarın üzerinde çeşitli araştırmalar yaptığı 1.9 milyar ve 1.1 milyar yıl yaşlı stromatolit fosilleri görülmektedir.

Nutman ve çalışma arkadaşlarının Grönland'da yaptıkları ve 2016 yılında yayınladıkları bu yeni buluş, yer bilimleri ve yaşambilimleri açısından son derece önemlidir ve yaşamın tarihini konuların kitapların yeniden yazılmasına neden olacaktır. Bu buluşa dayanarak, Dünya'da yaşamın 3.8 ile 4.0 milyar yıl önce ortaya çıktığını kabul edebiliriz. İsua yeşilkayaç kuşağının özelliği, onun Batı Pasifik Okyanusu'ndaki Mariana adaları gibi okyanus içi ada yaylarında oluşmuş olmasıdır (19). Bir levhanın diğer bir levhanın altına



Şekil 4: Süperior Gölü'nün kuzey kıyısında yüzeyleyen 1.1 milyar yıl yaşlı Keweenaw rift istifindeki kireçtaşları içindeki stromatolitler.

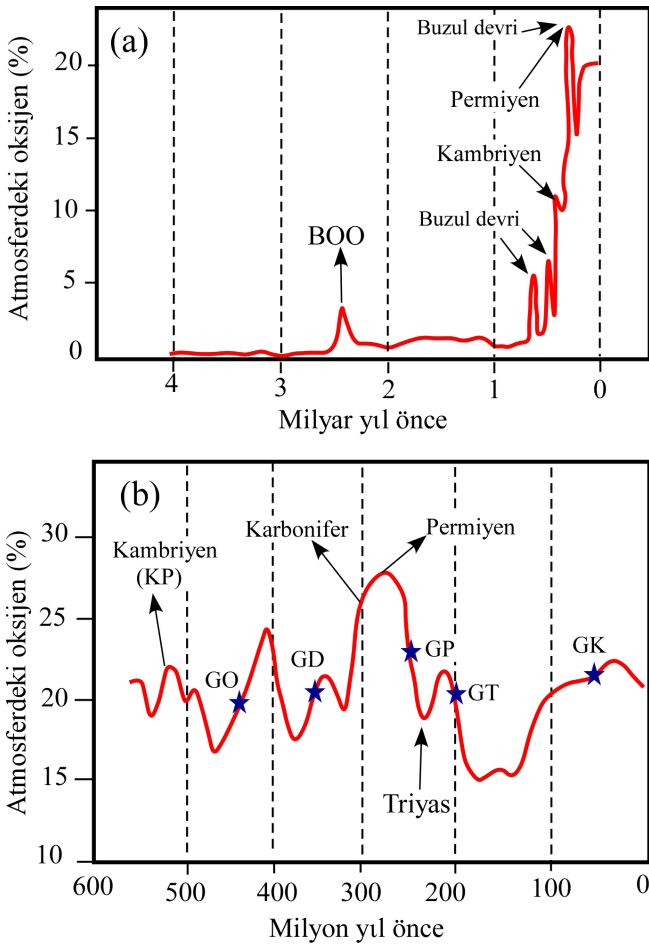
dalmasıyla oluşan bu tür ada yayları, yaşamın ortaya çıkmasında bir rol oynamamış olsa bile, sığ denizel koşulları oluşturarak fotosenteze dayalı yaşamın ortaya çıkmasında ve devam etmesinde önemli bir etken olmuş olabilir.

Stromatolitleri oluşturduğu düşünülen siyanobakterilerin Güneş ışığını kullanarak fotosentez yoluyla oksijen ürettikleri tahmin edilmektedir. Fakat Arkeen stromatolitleri içinde henüz siyanobakteri fosili bulunamamıştır. Bu nedenle bu stromatolitlerin oksijen üreten bakteriler tarafından oluşturulup-oluşturulmadıkları konusunda henüz emin değiliz. Bazı bilim adamları, oksijen üreten ilk bakterilerin 2.5 milyar yıl önce ortaya çıktığını düşünmektedir (1, 7). Fakat, Batı Grönland'daki 3.7-3.8 milyar yıl yaşlı İsua yeşilkayaç kuşağı ve Kanada'daki 3.8 milyar yıl yaşlı Nuvvuagittuq yeşilkayaç kuşağındaki demir oksitleyen bakteriler tarafından üretildiği tahmin edilen tabakalı demiroksit ($Fe_2O_3 + Fe_3O_4$) yataklarının varlığı, ok-

sijen üreten siyanobakterilerin en az 3.8 milyar yıl önce ortaya çıktığı olasılığını güçlendirmektedir. Demiroksitlerdeki demir elementinin okyanus kabuğunu oluşturan bazalt kayalarının deniz suyu ile etkileşiminden ortaya çıktığı, oksijenin ise siyanobakteriler tarafından üretildiği sanılmaktadır. Siyanobakteriler tarafından üretilen bu oksijen denizlerdeki demir okistleyen bakteriler tarafından tüketildiği için atmosferdeki oksijen miktarı 2.4 milyar yıl öncesine kadar son derece düşük kalmıştır. Siyanobakterilerin karmaşık bir hücre yapısına sahip olmaları, onların kendilerinden 100-200 milyon yıl önce ortaya çıkan, daha basit yapıya tek hücreli canlılardan türediğini işaret etmektedir. Serbest oksijen üreten canlıların ortaya çıkması, yaşam tarihinde çok önemli bir evrimsel aşamayı temsil etmektedir. Canlıların oksijen üretme mekanizmasını icat etmeleri gezegenimizin kaderini değiştirmiştir. Bugünkü oksijene bağımlı yaşamın temelinde bu evrimsel

değişim ve sıçrama yatmaktadır. Yani biz insanlar, varlığımızı bu oksijen üreten canlılara borçluyuz. Fakat atmosferdeki oksijen miktarı kara parçaları üzerindeki demiri oksitleyerek hematit mineralini oluşturacak düzeye ancak 2.4 milyar yıl önce ulaşmıştır. Bu olaya "Büyük Oksitlenme Olayı" (BOO) adı verilmektedir (Şekil 5) (1, 20). Bu olay sonrası atmosferdeki oksijen değerinin %3'e kadar çıktığı sanılmaktadır (Şekil 5). Ayrıca, atmosferdeki oksijen miktarındaki artışlar ile bazı buzul devirleri arasında yakın bir bağlantı olduğu saptanmıştır (1).

Günümüzde stromatolit oluşumunun en iyi görüldüğü yer Batı Avustralya'daki Shark Körfezi'dir (Şekil 6). Yapılan çalışmalar buradaki stromato-



Şekil 5. Atmosferdeki oksijen miktarının (%) jeolojik tarih boyunca değişimini gösteren çizelgeler (Ward ve Kirschvink 2015'den yeniden çizilmiştir). Prekambriyen atmosferindeki oksijen miktarının ölçümlerinde büyük belirsizlikler bulunmaktadır. Şekil b'deki yıldız işareti Geç Ordovisiyen (GO), Geç Devoniyen (GD), Geç Permiyen (GP), Geç Triyas (GT) ve Geç Kretase'de (GK) meydana gelen toplu yokoluşları göstermektedir.

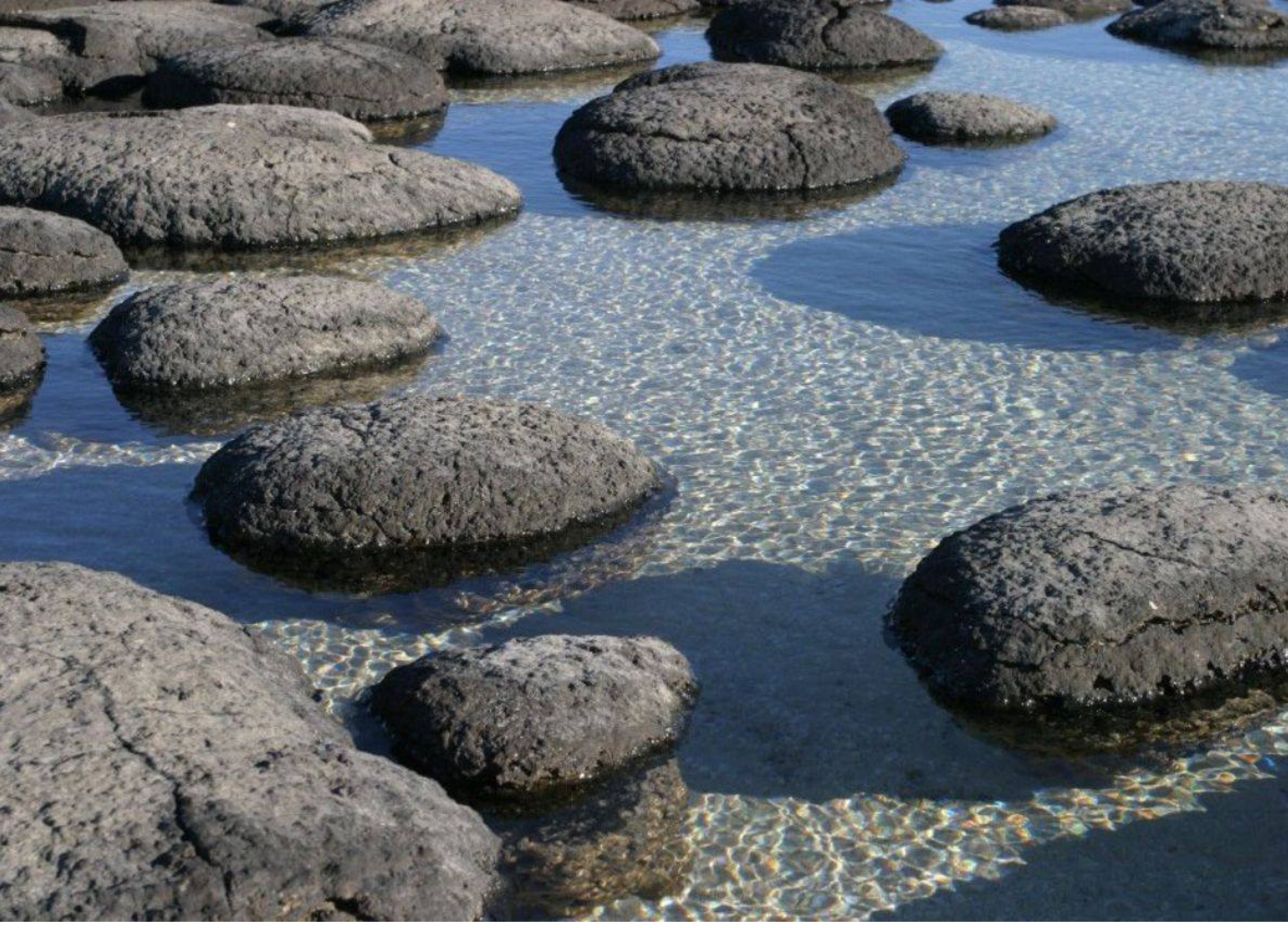
litlerin mavi ve yeşil renkli algler (siyanobakteri) tarafında oluşturulan, tepecik şekilli, kireçtaşı bileşimdeki katmanlı kayalar olduğunu ortaya koymuştur. Bu stromatolitler Arkeen (4.0 ile 2.5 milyar yıl öncesi) ve Proterozoyik (2.5 milyar yıl ile 542 milyon yıl öncesi) stromatolitlerine benzerlikleri nedeniyle günümüz bilim literatüründe "yaşayan fosil" olarak adlandırılmaktadır.

İlk canlılar oluştuğunda Dünya nasıl bir görünüme sahipti?

Grönland'da bulunan yaşam kayıtları oluştuğunda Dünya bugünkünden çok farklı bir görünüme sahipti (5, 21). Dünya bambaşka bir gezegendi. Herşeyden önce Dünya ve Ay arasındaki uzaklık bugünkünden (384.000 km) çok daha yakındı; bu nedenle Dünya kendi eksenini etrafında daha hızlı döndüğü için günler 10 saatten daha kısa süreli idi. Bugün çevremizde gördüğümüz dağların, ovaların, okyanusların, göllerin ve kıtaların hiçbiri mevcut değildi. Yeryüzünün büyük bir kısmı sularla kaplıydı; kara parçası okyanuslarda bulunan küçük küçük volkan adalarından ibaretti. Güneş'deki radyasyon oranı daha düşük olduğu için Güneş daha sönüktü (21). Ay ise Dünya'ya daha yakın olduğundan çok daha büyük ve parlak bir görünüme sahipti. Atmosferin bileşimi de bugünkünden çok daha farklıydı; büyük ölçüde karbondioksit, hidrojen, amonyak, metan, hidrojen sülfür ve su buharından oluşmakta ve kırmızı bir rekteydi. Serbest oksijen yok denecek kadar azdı. Karbondioksit ve metan gibi gazların sera etkisi yapması nedeniyle iklimin sıcak olduğu tahmin edilmektedir. Atmosferde henüz ozon tabakası oluşmadığı için Dünya yoğun bir şekilde yüksek enerjili morötesi ışınların etkisi altındaydı. İlk ozon tabakasının 2.4 milyar yıl önce oluştuğu tahmin edilmektedir. Yüksek orandaki göktaşları çarpması nedeniyle gökyüzü geceleri yıldız kayması ile sık sık aydınlanmaktaydı.

Yerbilimleri ve üniformitarianizm (tekdüzelikçilik/süreklilik) ilkesi

Üniformitarianizm yerbilimlerinin en temel ilkelerinden biridir. Günümüzde de bir kısmını çıplak gözle gözlemleyebildiğimiz doğada yaşanan jeolojik olayların geçmişte de benzer şekilde gerçekleşmiş olduğunu savunan bir ilkedir. Je-

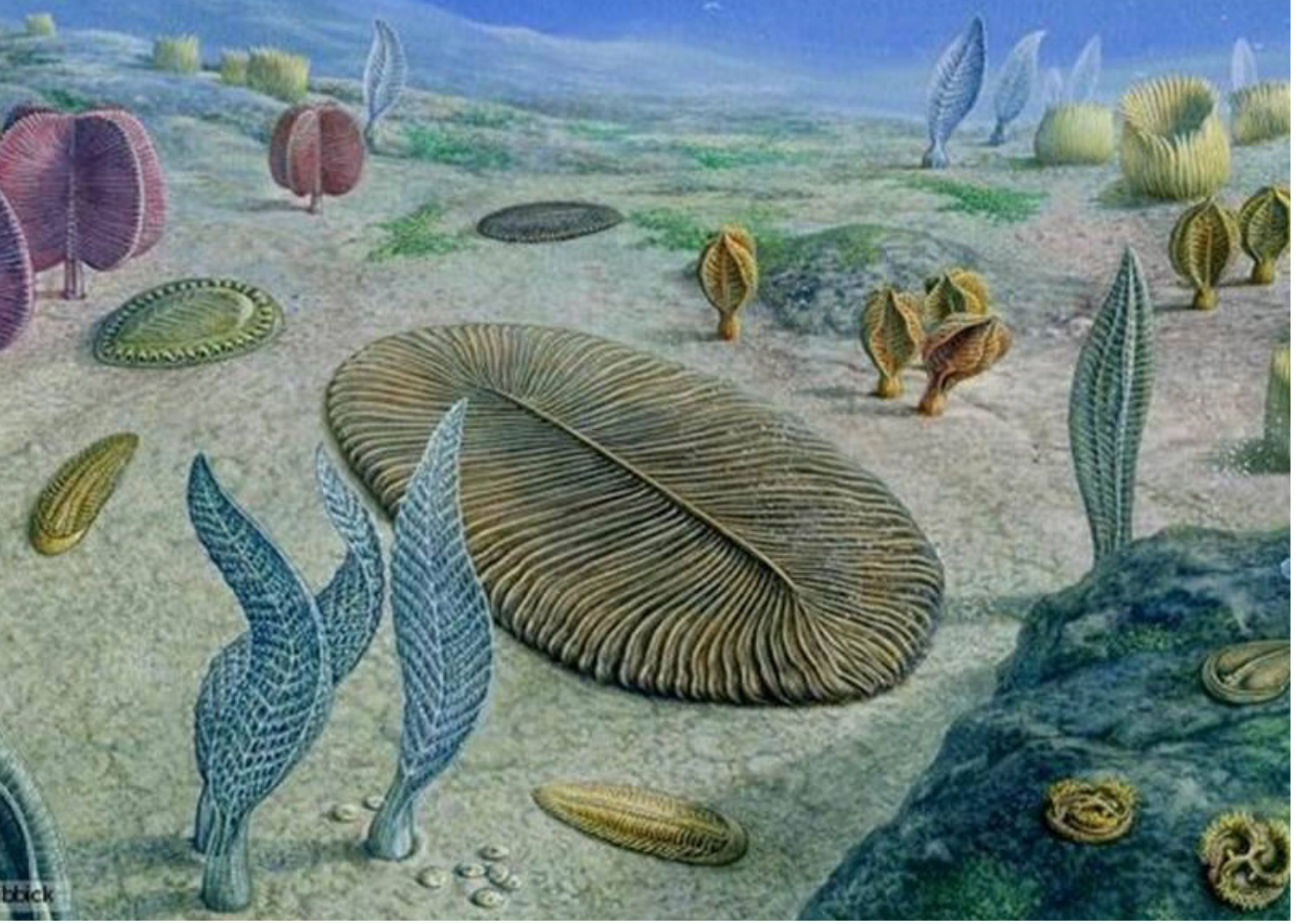


Şekil 6: Avustralya'nın kuzeybatısındaki Shark körfezindeki güncel stromatolitlerin bir görüntüsü (www.abs.net.au internet sitesinden alınmıştır).

olojik olayların oluşum mekanizması, örneğin dağların aşınması, aşınan malzemenin taşınarak bir havzada çökmesi, yanardağdan lav püskürmesi, deprem, tsunami, dağların oluşması gibi, geçmişteki jeolojik olayların nasıl olduğunu açıklamak için bu ilke kullanılmaktadır. Diğer bir deyimle bu ilkeye göre, "Günümüz geçmişin anahtarıdır." Yerbilimlerinin bu temel ilkesi, İskoçyalı büyük yerbilimci James Hutton (1726-1797) tarafından ortaya atılmış ve yine İskoçyalı olan büyük yerbilimci Charles Lyell (1797-1875) tarafından geliştirilmiştir. Bu ilkenin Yer tarihi boyunca tekdüze bir biçimde işlemiş olmasının ana sebebi ise, jeolojik olayların fiziksel ve kimyasal yasalarla (örneğin yerçekimi, ısı akımı, cisimlerin buharlaşma-ergime-katılma sıcaklıkları, kuvvet etkisi altında daralma-gerilme-bükülme gibi), yönetiliyor olmasıdır. Termodinamiğin ikinci yasası gereği, gezegenimiz ısı kaybetmekte ve geriye dönüşü olmayan bir değişim geçirmesine rağmen, Dünya'mızı yöneten fiziksel ve kimyasal yasalar aynı olduğu için Arkeen ve Proterozoyik zamanla-

rında meydana gelen jeolojik olayları anlamının en iyi yolu üniformitarianizm ilkesini kullanmaktan geçmektedir. Dünya'nın mantosunun ve çekirdeğinin Arkeen ve Proterozoyik zamanlarında daha yüksek enerjiye sahip olması nedeniyle, bu zamanlardaki jeolojik olaylar (örneğin yanardağ püskürmeleri) günümüzdeki jeolojik olaylardan daha yüksek bir oranda meydana gelmesine neden olmuş olabilir. Grönland'ın İsua yeşilkayaç kuşağında yapılan yeni stromatolit buluşu, araştırmacıların üniformitarianizm ilkesini kullanması ile gerçekleştirilmiştir.

Biz dinamik bir gezegende, dinamik bir gökadamda (galaksi) ve de dinamik bir Evren'de yaşamaktayız (22-27). Doğal yasalar gereği canlıların ve Dünya'nın değişimi kaçınılmazdır. Evren, Dünya ve canlılar geriye dönüşü olmayan sürekli bir değişime uğramaktadırlar. Dünya'daki ve Güneş Sistemi'ndeki değişimin sonucu olarak yaşam da hep değişim, yani evrimleşme, halindedir. Bu değişim nedeniyle Dünya ve üzerindeki canlılar geçmişte hiçbir zaman bugünkü gibi değildi ve



Şekil 7. Fosil kayıtlarına bağlı olarak yapılmış Ediyakara faunasını temsil eden bir çizim (BBC Nature Historic life internet sitesi www.bbc.co.uk 'den alınmıştır).

gelecekte de hiçbir zaman bugünkü gibi olmayacaktır. Canlılar Yerküre'nin bir parçasıdır. Bu nedenle canlılar, yerbilimlerinde litosfer (taşküre), atmosfer (havaküre), hidrosfer (suküre) tanımlamasına benzer olarak biyosfer (yaşamküre) olarak tanımlanır. Canlı varlıklar Dünya'nın bir parçası olduğu için, canlıların evrimi ile Dünya'nın evrimi arasında çok sıkı bir bağlantı vardır. Örneğin, oksijen üreten ve kalsiyum karbonattan kabuk yapan canlıların ortaya çıkması, atmosferin, hidrosferin ve litosferin kimyasını değiştirmiştir.

Levha tektoniği ve canlıların evrimi

Yer gezegenini Güneş Sistemi'ndeki diğer gezegen ve uydulardan ayıran en önemli özelliklerden birisi, onun büyük ölçekli jeolojik evriminin levha tektoniği tarafından yönetiliyor olmasıdır. Levha tektoniği işlemeseydi, Dünya bugünkünden çok daha farklı, belki de Venüs veya Mars gibi bir gezegen olacaktı. Levha tektoniği olmadan da

Dünya'da yaşam elbette ortaya çıkabilirdi, ancak bu durumda Dünya çok farklı bir gezegen olacağından üzerindeki yaşamın izleyeceği evrim de çok farklı olacaktı. Levha tektoniği olmadan canlı evriminin izlediği yol, belki de bugünkü insan türünün ortaya çıkmasıyla sonuçlanmayacaktı. Gezegenimizdeki jeolojik olayların büyük bir çoğunluğu, levha sınırları boyunca meydana gelen fiziksel ve kimyasal etkileşimler nedeniyle oluşmaktadır. Levhaların etkileşimi nedeniyle yeni dağ kuşakları (örneğin Alp, Himalaya ve And dağları), okyanuslar (örneğin Atlantik okyanusu) ve adalar (örneğin Filipin adaları) oluşmakta; kıtalar birbirinden ayrılmakta (örneğin Afrika ve Güney Amerika kıtaları) veya biraraya gelmekte (örneğin Asya ve Hindistan kıtaları) ve adalar kıtalara eklenmektedir (örneğin Alaska ve Batı Kanada). Bu olaylara bağlı olarak, ya canlıların içinde bulunduğu coğrafik ortamın diğer ortamlarla bağlantısı kesilmekte ya da ortaya çıkan yeni bağlantılar

nedeniyle canlılar yeni ortamlara göç etmektedirler. Bu coğrafik kesintiler, göçler ve ortamsal değişimler, bazı türlerin ortadan kalkmasına veya yeni türlerin oluşmasına neden olmaktadır (5, 8, 9). Levha tektoniği aynı zaman da gezegenimizin dış kısmı (litosfer, atmosfer, hidrosfer, biyosfer) ile iç kısmı (manto ve çekirdek) arasındaki fiziksel ve kimyasal çevrimin, yani madde ve ısı alış-verişinin, oluşmasını sağlamaktadır. Biyosferin evrimi, levha tektoniğine bağlı olarak gelişen litosferin, hidrosferin ve atmosferin evrimine sıkı bir şekilde bağlı olduğundan, canlıların evrimi ile levha tektoniği arasında çok yakın bir bağlantı olduğunu söyleyebiliriz.

Dünya'nın oluşumu, yer kayıtları ve yaşamın çeşitlenmesi

Yıldızlar arası boşluktaki hidrojen, karbon, oksijen, azot, fosfor, kalsiyum, demir ve diğer elementler, gaz ve toz bulutlarını (nebula) meydana

na getirmiştir. Bu gaz ve toz bulutları 4.6 milyar yıl önce yerçekiminin etkisiyle çökmüş ve Güneş Sistemi'ni oluşturmuştur. Göktaşları, Ay taşları ve Dünya'daki kayalar üzerinde yapılan radyometrik yaş tayinleri Güneş Sistemi ve Dünya'nın 4.57 milyar yıl önce oluştuğunu göstermektedir (28). Sistemin kütlelerinin %99.9'u Güneş'te toplanmış ve geri kalan %0.1'lik kütle ise gezegenleri, gezegenlerin uydularını, asteroid kuşağını ve kuyruklu yıldızları meydana getirmiştir. Yerçekimi nedeniyle sıkışan gaz ve toz bulutları Güneş'in merkezindeki sıcaklığın 5 milyon °C'ye ulaşmasına yol açmıştır. Bu yüksek sıcaklık nedeniyle Güneş'te çok şiddetli patlamalar meydana gelmiştir. Bu patlamaların yarattığı güçlü rüzgârlar sebebiyle sistem, kimyasal ayrışmaya maruz kalmıştır. Bu rüzgârların etkisiyle hidrojen, oksijen, karbon ve azot gibi uçucu elementlerin büyük bir kısmı sistemin iç kısımlarından dış kısımlarına doğru taşınmış ve orada yoğunlaşarak Jüpiter, Satürn

Şekil 8. Fosil kayıtlarına bağlı olarak yapılmış Kambriyen Patlaması'ni temsil eden bir çizim (Wicander and Monroe, 2013 ders kitabı şekillerinden alınmıştır).

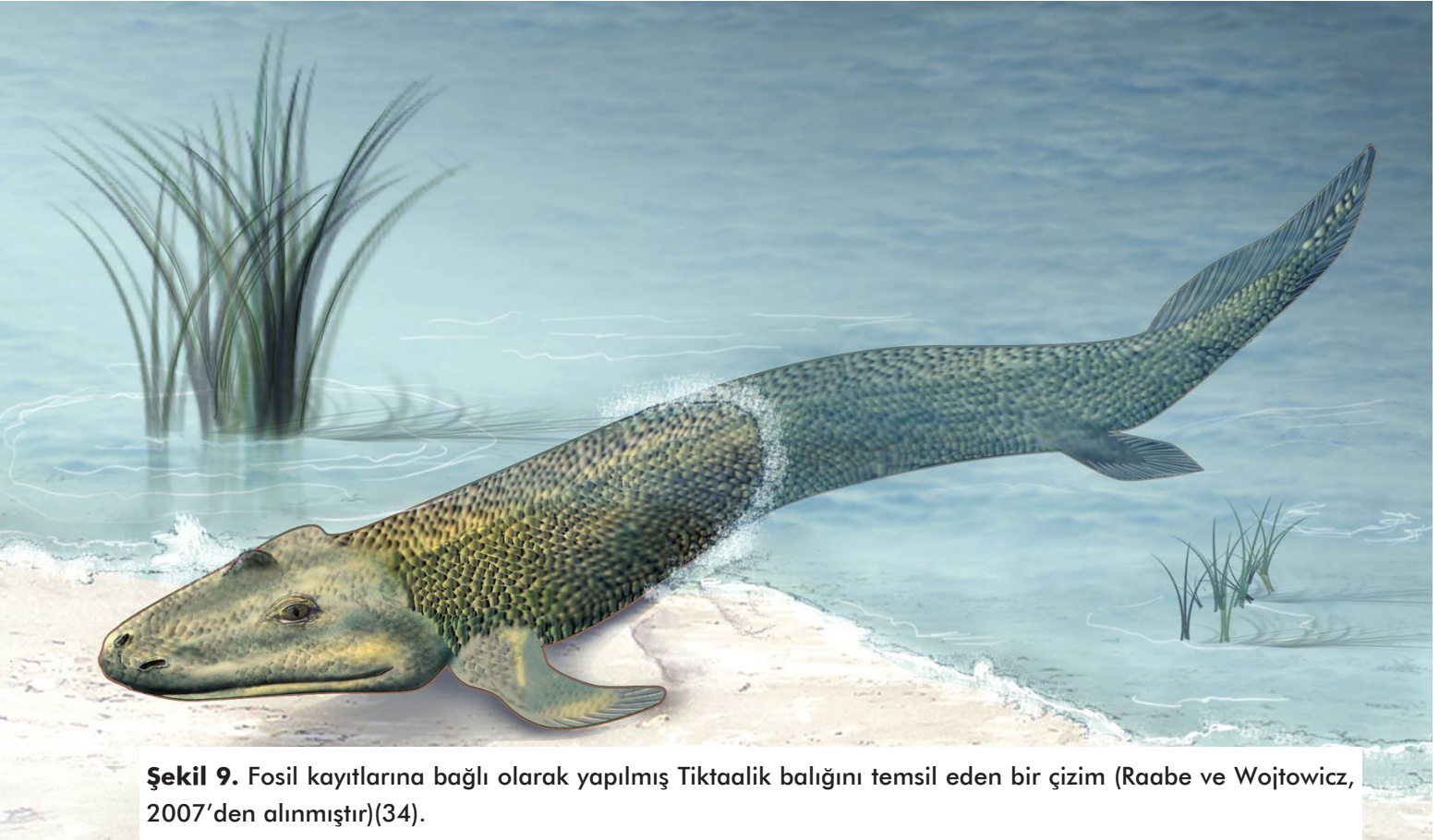


ve Neptün gibi dev gaz gezegenleri oluşturmuştur. Uçucu olmayan demir, magnezyum, silisyum, alüminyum ve kalsiyum gibi elementler ise Güneş'in yakın çevresinde yoğunlaşarak göktaşlarına dönüşmüştür. Çeşitli büyüklükteki göktaşlarının yığılmasıyla ise Merkür, Venüs, Dünya ve Mars gibi taş gezegenler oluşmuştur.

Ay, Dünya henüz 40-50 milyon yıl yaşında iken, Mars büyüklüğünde, Dünya ile aynı yörüngeyi paylaşan bir gezegenin (Theia) Dünya'ya çarpmasıyla oluşmuştur (21, 27). Bu dev çarpışma ile Dünya'nın mantosunun üst kısmı büyük ölçüde ergimiş ve magma haline gelmiştir. Çarpışma sırasında gökyüzüne sıçrayan magma kütlelerinin Dünya etrafında dönmesi ve kendi aralarında çarpışarak yığılmasıyla Ay meydana gelmiştir. Yapılan hesaplar, Ay'ın Dünya'dan yaklaşık 24.000 km uzaklıkta oluştuğunu göstermektedir (21, 27). Ay her yıl ortalama 3.9 cm Dünya'dan uzaklaşarak bugünkü 384.400 km uzaklığına ulaşmıştır. Bu çarpışma aynı zaman da Dünya'nın dönme eksenini 23.5° eğmiş ve mevsimlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ay, Dünya yörüngesine yaklaşan göktaşlarını kendine çekerek

onların Dünya'ya çarpmasına engel olmuştur. Yani Ay, Dünya için bir koruyucu kalkan görevi yapmıştır. Eğer Ay göktaşlarını kendisine çekmeseydi, Dünya'ya daha çok sayıda göktaşı çarparak hayatın ortadan kalkmasına belki de evrimin seyrinin değişmesine neden olacaktı.

Göktaşı çarpması ve jeolojik olaylar nedeniyle Dünya üzerinde oluşan ilk kabuk (kayaçlar) yeniden işlenerek ortadan kalkmıştır. Bilinen en eski kayaçlar Kanada'daki 4 milyar yıl yaşlı Acasta gnayslarıdır (bir çeşit başkalaşım geçirmiş granitik kayaçlar) (29). Bilinen en eski mineraller ise Batı Avustralya'da 3.1-3.0 milyar yıl yaşlı Narrayer gnayslarının (başkalaşım geçirmiş kumtaşları) içinde bulunan 4.4 milyar yıl yaşlı Jack Hills zirkon mineralleridir (30, 31). Zirkon minerallerinin içinde bulunduğu kumtaşlarından 1.4 milyar yıl daha yaşlı olması, onların daha eski kayaçlardan aşınma ve taşınma yoluyla türediğini göstermektedir. Bu zirkon minerallerinin oksijen izotop analizleri, onların suyun mevcut olduğu bir ortamda oluştuğunu, yani 4.4 milyar yıl önce Dünya'nın yüzeyinin okyanuslarla kaplı olduğunu göstermektedir (31).



Şekil 9. Fosil kayıtlarına bağlı olarak yapılmış Tiktaalik balığını temsil eden bir çizim (Raabe ve Wojtowicz, 2007'den alınmıştır)(34).

Yaşam, üzerinde bulunduğumuz Yer gezegeninin geçirmiş olduğu fiziksel ve kimyasal değişmelerin sonucunda ortaya çıkmış ve yine bu değişimlere bağlı olarak kendisi de değişmiştir (5, 7, 9, 32, 33). Fosil kayıtları yaşamın önce sularda başladığını ve sonra karaya geçtiğini göstermektedir. Yaşamın 4 milyar yıllık tarihi, canlı türlerinin ortamdaki fiziksel ve kimyasal değişimler nedeniyle topluca ortadan kalktığı ve bu ortadan kalkıştan sonraki yeni ortam koşullarında yeni canlı türlerinin ortaya çıkmasının tarihidir (Şekil 5). Jeolojik çalışmalar, yaşamın tarihi boyunca en az beş büyük (canlı türlerinin %50'den fazlasının birkaç milyon yıl gibi kısa bir sürede topluca yok olması) ve onlarca küçük (canlı türlerinin %10 ile 50'si arasında birkaç milyon yıl içinde yok olması) toplu yok oluş olayı ile karşı karşıya kaldığını göstermektedir. Büyük yok oluşlar Geç Ordovisiyen (440 milyon yıl öncesi), Geç Devoniyen (360 milyon yıl öncesi), Geç Permiyen (250 milyon yıl öncesi), Geç Triyas (200 milyon yıl öncesi) ve Geç Kretase (65 milyon yıl öncesi) jeolojik devirlerinde meydana gelmiştir (Şekil 5b).

Güneybatı Grönland'daki İsuva yeşilkayaç kuşağındaki 3.7 milyar yıl yaşlı stromatolitlerin varlığı ve yine bu kayaç kuşağındaki çökel kayaçların karbon izotopları, yaşamın en az 3.7 milyar yıl önce var olduğunu ortaya koymaktadır. Stromatolit yapılarının 3.5 ile 2.5 milyar yıl arasındaki Arkeen kayaç kuşaklarında yaygın olmasına rağmen, bu yapılar içinde yer bilimcilerin çoğunluğunu ikna edici fosil henüz bulunamamıştır. Çekirdeksiz tek hücreli canlıların 4 milyar yıl önce ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Çok hücreli canlılar ise 2.2-2.1 milyar yıl önce belirmiştir. Çok hücreli canlıların ortaya çıkmasında atmosferdeki oksijen artışının önemli bir rol oynadığı varsayılmaktadır (1). İlk çekirdekli hücrelerin ise 1.9 milyar yıl önce ortaya çıktığı sanılmaktadır. Fakat, bilinen çekirdekli en eski hücre fosilleri 1.2 milyar yıl yaşındadır. Bilinen en iyi korunmuş iri yapılı hayvan fosilleri Avustralya'daki Ediyakara yamaçlarında bulunan 600-542 milyon yıl yaşlı fosillerdir (Şekil 7). Prekambriyen'de (>542 milyon yıl öncesi) ortaya çıkan canlıların, küçük bir grup hariç, hemen hemen hepsinin iskeletsiz ve kabuksuz olduğu tahmin edilmektedir.

Mutasyon ve doğal seçim varolan canlı kimyası (DNA'nın dizilimi) ve vücut yapısı üzerinde çalıştığı için, yani işe sıfırdan başlamadığı için, günümüzdeki canlıların, özellikle hayvanların, vücut yapılarının ortaya çıkması belli bir yol izlemiştir. Örneğin, ilk önce çekirdeksiz tek hücre ortaya çıkmıştır, bu hücre önce çekirdekli hücreye, sonra çok hücreli yumuşakcaya, sonra da omurgalı bir canlıya (balığa) dönüşmüştür. Balıktan kurbağagillere (amfibiye), kurbağagillerden sürüngenlere ve sürüngenlerden kuşlara ve memelilere evrimleşmiştir.

Erken Kambriyen'de (543-520 milyon yıl önce) karmaşık yapı, kabuklu çok sayıda yeni canlı türleri, jeolojik olarak kısa sayılabilecek bir zaman diliminde ortaya çıkmıştır; bu nedenle bu olay jeoloji literatürüne "Kambriyen patlaması" (KP) olarak girmiştir (Şekil 8). Bu patlamaya atmosferdeki oksijen miktarının artmasının yol açtığı düşünülmektedir (Şekil 5). Bugün yaşayan çok hücreli tüm hayvan sınıflarının altyapılarının temeli bu zaman diliminde atılmıştır. Bilinen ilk omurgalı hayvanlar ve çenesiz balıklar yine Kambriyen'de (530-500 milyon yıl önce) ortaya çıkmıştır. Bu omurgalılar geçirdikleri 530 milyon yıllık evrim sürecinin sonunda insanların ortaya çıkmasına neden olmuşlardır. Bitkiler ve mantarlar Erken Ordovisiyen'de (yaklaşık 470 milyon yıl önce) sudan karaya geçiş yapmışlardır. Denizlerdeki ilk mercan kolonileri Ordovisiyen'de ortaya çıkmıştır. Çekirdeksiz damarlı karasal bitkilerin ortaya çıkması Erken Silüriyen'e (440-430 milyon yıl öncesi) rast gelmektedir. İlk çeneli balıklar Geç Silüriyen (430-420 milyon yıl öncesi) belirmiştir ve Devoniyen'de büyük bir çeşitlenme göstermiştir. Akreplerin karaya geçişi de Silüriyen'de (430 milyon yıl önce) gerçekleşmiştir. Karasal böceklerin ortaya çıkıp yaygınlaşması ise Geç Silüriyen ve Erken Devoniyen (420-410 milyon yıl öncesi) devirlerinde olmuştur. İlk ayak izi fosilleri omurgalıların sudan karaya geçişinin Erken Devoniyen'de (400-395 milyon yıl öncesi) başladığını göstermektedir. Ancak, iskelet fosilleri omurgalıların sudan karaya geçişin Geç Devoniyen'de (370-360 milyon yıl öncesi) meydana geldiğini belirtmektedir. 2004 yılında Amerikalı bilim adamı Neil Shubin ve çalışma arkadaşlarının Kuzey Kanada'da buldukları balıklardan kurbağagillere

geçişini temsil eden 375 milyon yıl yaşlı Tiktaalik fosili, evrimbilimciler tarafından kemikli balıklardan dört ayaklı karasal omurgalılara geçiş fosili olarak kabul edilmektedir (Şekil 9) (9). Tiktaalik, kurbağagillerin, sürüngenlerin, kuşların ve de memelilerin ortak atası olarak kabul edilmektedir. Kuşlar ve yarasalardaki kanadın, insanlardaki kol ve elin, balinalardaki yüzgecin, aslanlardaki pençenin, ceylanlardaki bacağın ve kaplumbağalardaki parmakların kökeni, 375 milyon yıl önceki yüzgeçten ayağa geçişini temsil eden Tiktaalik'teki kemiklere kadar uzanmaktadır. Benzer şekilde, ilk yapraklı bitkilerin ortaya çıkışı da Geç Devoniyen'de (370-360 milyon yıl öncesine) gerçekleşmiştir. Gerçek kurbağagillerin belirmesi ve yaygınlaşması Erken Karbonifer'e (354-344 milyon yıl öncesine) tekabül etmektedir. Çekirdekli (tohumlu) bitkilerin ve uçan böceklerin ortaya çıkışı da Erken Karbonifer'de (340-320 milyon yıl öncesine) gerçekleşmiştir. İlk sürüngenler Karbonifer sonunda (320-310 milyon yıl öncesine) türemişlerdir. Kurbağagillerden türeyen sürüngenlerin Geç Karbonifer'de (320-310 milyon yıl önce) kabuklu yumurta üretmeye başlamaları, karasal omurgalıların evriminde yeni bir aşamayı temsil etmektedir. Kabuklu yumurta üretimi sürüngenlere karasal yaşama uyum sağlamalarında büyük bir kolaylık getirmiş ve bu sayede sudan uzak yerlerde çoğalmaya kara parçalarını işgal etmeye başlamışlardır. Kabuklu yumurtaların ortaya çıkmasında atmosferdeki oksijen artışının (Şekil 5b) önemli bir rol oynadığı tahmin edilmektedir. Kömür devri olarak bilinen Karbonifer Devri'nin ikinci yarısında (320-300 milyon yıl önce) kıtaların geniş bir kısmı bataklıklar ve bu bataklıklarda yetişen dev ağaçlar tarafından kaplanmıştır. Bu ağaçların bataklık tabanlarında birikmesi, yerin derinliklerine gömülerek ve sıcaklık ve basınç altında değişmesi ile kömürler oluşmuştur. Zonguldak'daki taş kömürleri de bu devirde oluşmuş kömürlerdir. Bu devirdeki yüksek oksijen miktarı nedeniyle ortaya dev böcekler, örneğin 75 cm uzunluğunda helikopter böcekleri (yusufluk böceği), 50 cm büyüklüğünde örümcekler ve iki metreye yakın büyüklükte akrepler, ortaya çıkmıştır (Şekil 5b). Yerküre üzerindeki yaşam 250 milyon yıl önce tarihinin en büyük bir yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmış ve canlı türlerinin %70'den fazlası yok olmuştur. Bu toplu yok

oluşun nedeni tam olarak bilinmemekle birlikte, atmosfer (CO_2 , O_2) ve deniz suyundaki kimyasal değişimlerin (CH_4 , H_2S , CO_2 , O_2) bu olayda önemli etkileri olduğu tahmin edilmektedir (1).

Memelilerin ve dinazorların ortaya çıkışı yaklaşık 230 milyon yıl, kuşların dinozorlardan türemesi yaklaşık 160-150 milyon yıl ve ilk çiçekli bitkilerin belirmesi ise 145 milyon yıl öncesine denk gelmektedir. Dinazorların Dünya'daki 160 milyon yıllık egemenliği, 65 milyon yıl önce (Kretase-Paleosen geçişinde) Dünya'ya çarpan 10-15 km çapındaki göktaşı ile son bulmuş ve memeliler devri başlamıştır. Memelilerin çeşitlenmesi Kretase (100 milyon yıl öncesine) başlamış ve Senozoyik (son 65 milyon yıl) zamanında büyük bir artış göstermiştir. Benzer şekilde, kuşlar da Senozoyik'de büyük bir farklılaşma göstererek bugünkü türlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Özetle, çekirdeksiz hücrelerin çekirdekli hücrelerden, tek hücrelilerin çok hücrelilerden, yumuşakcıkların kabuklu ve iskeletli hayvanlardan, omurgasızların omurgalılardan, çenesiz balıkların çeneli balıklardan, tohumuz bitkilerin tohumlu bitkilerden, çiçeksiz bitkilerin çiçekli bitkilerden, kurbağagillerin sürüngenlerden, sürüngenlerin memelilerden ve kuşlardan önce ortaya çıkması yaşamın basitten karmaşığa doğru bir evrim geçirdiğini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Beni Mavi Gezegen Dergisi'ni okuyucularıyla buluşturduğu ve yaptığı önerilerle makalenin gelişmesine önemli derecede katkı sağladığı için derginin editörü Prof. Dr. Halil Gürsoy'a teşekkür ederim.

Kaynakça

- (1) Ward, P. ve Kirschvink, J., 2015. A new history of life. Bloomsbury Press, New York, pp. 391.
- (2) Nisbet, E.G. ve Sleep, N.H., 2003. The physical setting for early life. In: Evolution on planet Earth. Edited by Rothschild, L.J. and Lister, A.M., Academic Press, Boston, p. 3-34.
- (3) Raven, J. ve Skene, K., 2003. Chemistry of the early oceans: the environment of early life. Edited by Rothschild, L.J. and Lister, A.M., Academic Press, Boston, p. 55-64.
- (4) Lane, N., 2009. Life ascending. W.W. Norton and Company, New York, pp. 344.

- (5) Wicander, R. ve Monroe, J.S., 2013. Historical geology – Evolution of Earth and life through time. Cengage Learning, USA, pp.434.
- (6) Mayr, E., 1997. This is biology- The science of the living world. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 323.
- (7) Cowen, R., 2005. History of life. Blackwell Publishing, Malden, pp. 324.
- (8) Prothero, D.R., 2007. Evolution- What the fossils say and why it matters. Columbia University Press, New Yprk, pp. 381.
- (9) Shubin, N., 2008. Your inner fish – A journey into the 3.5-billion year history of the human body. Pantheon Books, New York, pp. 229.
- (10) Sapp, J., 2009. The new foundation of evolution. Oxford University Press, New York, pp 425.
- (11) Shubin, N., 2013. The universe within. Pantheon Books, New York, pp. 225.
- (12) MacLeod, N., 2013. The great extinctions. Firefly Books, London, pp. 208.
- (13) Bennett, J. ve Shostak, S., 2012. Life in the universe. Pearson, Boston, pp.483.
- (14) Nutman, A.P., Bennett, V.C., Friend, C.R.L., Van Kranendonk, M.J. ve Chivas, A.R., 2016. Rapid emergence of life shown by discovery of 3,700-million-year-old microbial structures. *Nature* 537, 535-538.
- (15) Walter, M.R., Buick, R. ve Dunlop, S.R., 1980. Stromatolites 3,400-3,500 Myr old from the North 255 Pole area, Western Australia. *Nature* 284, 443-445.
- (16) Schopf, J.W., 1999. Cradle of life – Discovering of Earth's earliest fossils. Prentice Hall, Princeton, pp. 355.
- (17) Knoll, A.H., 2003. Life on a young planet- The first three billion years of evolution on Earth. Princeton University Press, Princeton, pp. 277.
- (18) Allwood, A.C., Walter, M.R., Kamber, B.S., Marshall, C.P. ve Burch, I.W., 2006. Stromatolite reef 265 from the Early Archaean era of Australia. *Nature* 441, 714-718.
- (19) Polat, A., Hofmann, A.W. ve Rosing, M., 2002. Boninite-like volcanic rocks in the 3.7 - 3.8 Ga Isua greenstone belt, West Greenland: Geochemical evidence for intra-oceanic subduction zone processes in the early Earth. *Chemical Geology* 184, 231-254.
- (20) Holland, H.D., 2006. The oxygenation of the atmosphere and oceans. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences* 361, 903-915.
- (21) Hazen, R.M., 2012. The story of Earth – The first 4.5 billion years, from stardust to living planet. Viking, New York, pp. 356.
- (22) Hawking, S., 1988. A brief history of time – From the Big Bang to black holes. Bantam books, New York, pp.198.
- (23) Singh, S., 2004. Big Bang – the origin of the Universe. Harper Prenal, New York, pp. 532.
- (24) Hawking, S. ve Mlodinow, L., 2010. The grand design. Bantam Books, New York, pp. 198.
- (25) Krauss, L.M., 2012. A Universe from nothing – Why there is something rather than nothing. Atria, New York, pp. 202.
- (26) Turok, N., 2012. The universe within. Anansi, Toronto, pp. 292.
- (27) Bennett, J.O., Donahie, M.O., Schneider, N. ve Voit, M., 2015. The essentials cosmic perspective. Pearson Education, Toronto, pp. 525.
- (28) Dalrymple, G.B., 1994. The Age of the Earth. Stanford University Press, New York, pp. 477.
- (29) Bowring, S.A. ve Williams, I.S., 1999. Priscoan (4.00-4.03 Ga) orthogneisses from NW Canada. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 134, 3-16.
- (30) Compston, W. ve Pidgeon, R.T., 1986. Jack Hills, evidence of more very old zircons in Western Australia, *Nature* 321, 766-769.
- (31) Wilde, S.A., Valley, J.W., Peck, W.H. ve Graham, C. M., 2001. Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago. *Nature* 409, 175-178.
- (32) Monroe, J.S. ve Wicander, R. 2015. The changing Earth - Exploring geology and evolution. Cengage Learning, 8th Edition, pp.712.
- (33) Dawkins, R., 2009. The greatest show on Earth – The evidence for evolution. Free Press, New York, pp. 470.
- (34) Raabe, M. ve Wojtowicz, C., 2007. Tiktaalik roseae. Bioweb.uwlab.edu.



Orta Doğu'da petrol neden bu kadar çok?

Prof. Dr. Rasoul SORKHABİ
University of Utah,
Energy&Geoscience Institute, USA
e- mail: rsorkhabi@egi.utah.edu

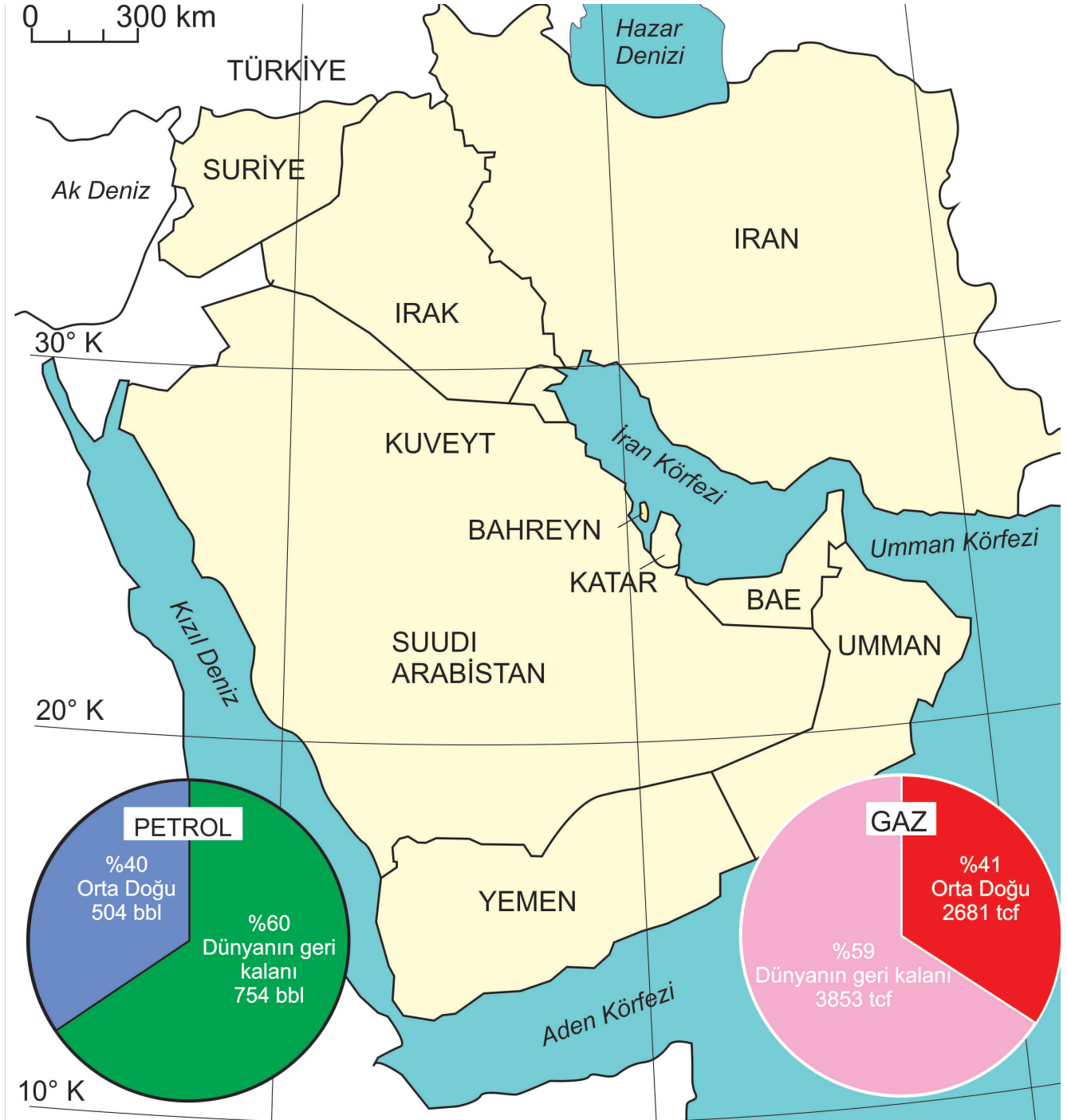
Çeviren Prof.Dr. Halil GÜRSOY
Cumhuriyet Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Jeoloji Müh. Bölümü
58140 Sivas
gursoy@cumhuriyet.edu.tr

Dünya'da petrol rezervleri bakımından, ikinci bir Orta Doğu bulunmamaktadır. Dünyanın bu "petrol mucize"si, Orta Doğu'nun jeolojik tarihçesinde iz bırakmış bazıları küresel ve diğerleri yerel bir dizi olumlu faktörle şekillenmiştir.

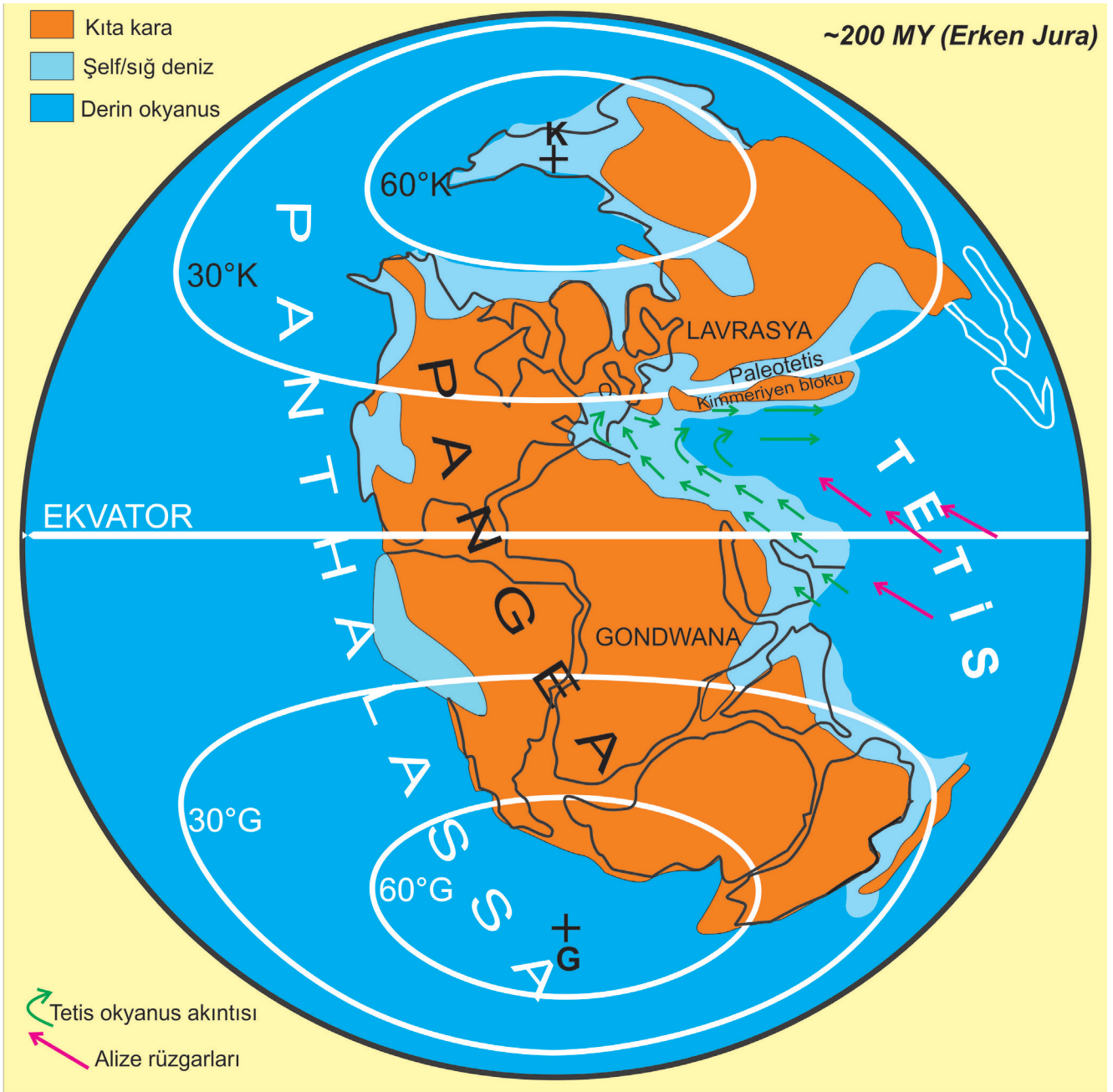
“Orta Doğu” terimi hem tanım hem de coğrafik konum olarak sorunsuz değildir. Birincisi, sömürge çağrışımları olan bu terim, ilk kez 19. Yüzyılın ortalarında Avrupa merkezli bölünmenin parçası olarak doğuya doğru Yakın, Orta ve Uzak Doğu şeklinde ortaya çıkmıştır. İkincisi, Orta Doğu’nun coğrafi sınırları hakkında bir görüş birliği yoktur. Bazılarınca Hindistan ve Mısır arasındaki bölge olarak tanımlanan bu bölge, Birleşmiş Milletler tarafından Batı Asya olarak adlandırılmıştır. Diğer

tanımlamalar Kuzey Afrika veya Orta Asya’yı da eklemektedir.

Bu makalenin amacı nedeniyle “Orta Doğu” terimi İran, Irak, Suriye, Kuveyt, Suudi Arabistan, Bahreyn, Katar, Birleşik Arap Emirlikleri (BAE), Umman ve Yemen’i içine alan Güneybatı Asya’daki petrol zengini ülkeleri kapsamaktadır (Şekil 1). Yüzölçümü bakımından yeryüzünün yaklaşık % 3.4’lük veya 5.1 milyon km² lik bir alanını



Şekil 1: Orta Doğu’da on ülkenin yüzölçümü dünyanın sadece % 3.4’üne karşılık gelmekte, fakat dünyanın bilinen petrol rezervlerinin % 40 nı ve doğalgaz rezervlerinin ise % 41 ni içermektedir. Dünya çapında yıllardır yapılan araştırmalara rağmen “başka bir Orta Doğu” bulunamadı.



Şekil 2: Orta Doğu'nun Neo-Tetis'in sıcak ekvator suları altında ve Gondwana'nın pasif kenarının parçası iken Erken Jura'daki (~ 200 MY) Dünya paleocoğrafyası. Üçgen şekilli Neo-Tetis Okyanusu'nun batı ucu sınırlı, fakat doğuya doğru açık, geniş ve uzun bir şelfe sahipti. Alize rüzgarları ve Neo-Tetis okyanusu akıntıları (planktonlar için besinlerin birikmesi) Irving ve diğerleri (1974)'nin görüşüdür. Kalın karbonatlar ve organikçe zengin kaynak kayaların birikimine avantaj sağlayan bu koşullar Orta Doğu'da geç Kretase'ye kadar hüküm sürmüştür.

kaplayan bu on ülke, dünyanın bilinen doğalgaz rezervinin %41'ine, petrolün ise %40'ına sahiptir (Şekil 1).

Zaman zaman, Hazar ya da Batı Afrika gibi bölgeler "ikinci bir Orta Doğu" olarak hayal edilmiş, oysa hiçbirisi şu önemli soruyu akla getirmemiştir: Neden Orta Doğu'da bu kadar çok petrol var? Bu yazıda, bahsedilen soru hakkındaki bilgimiz sen-

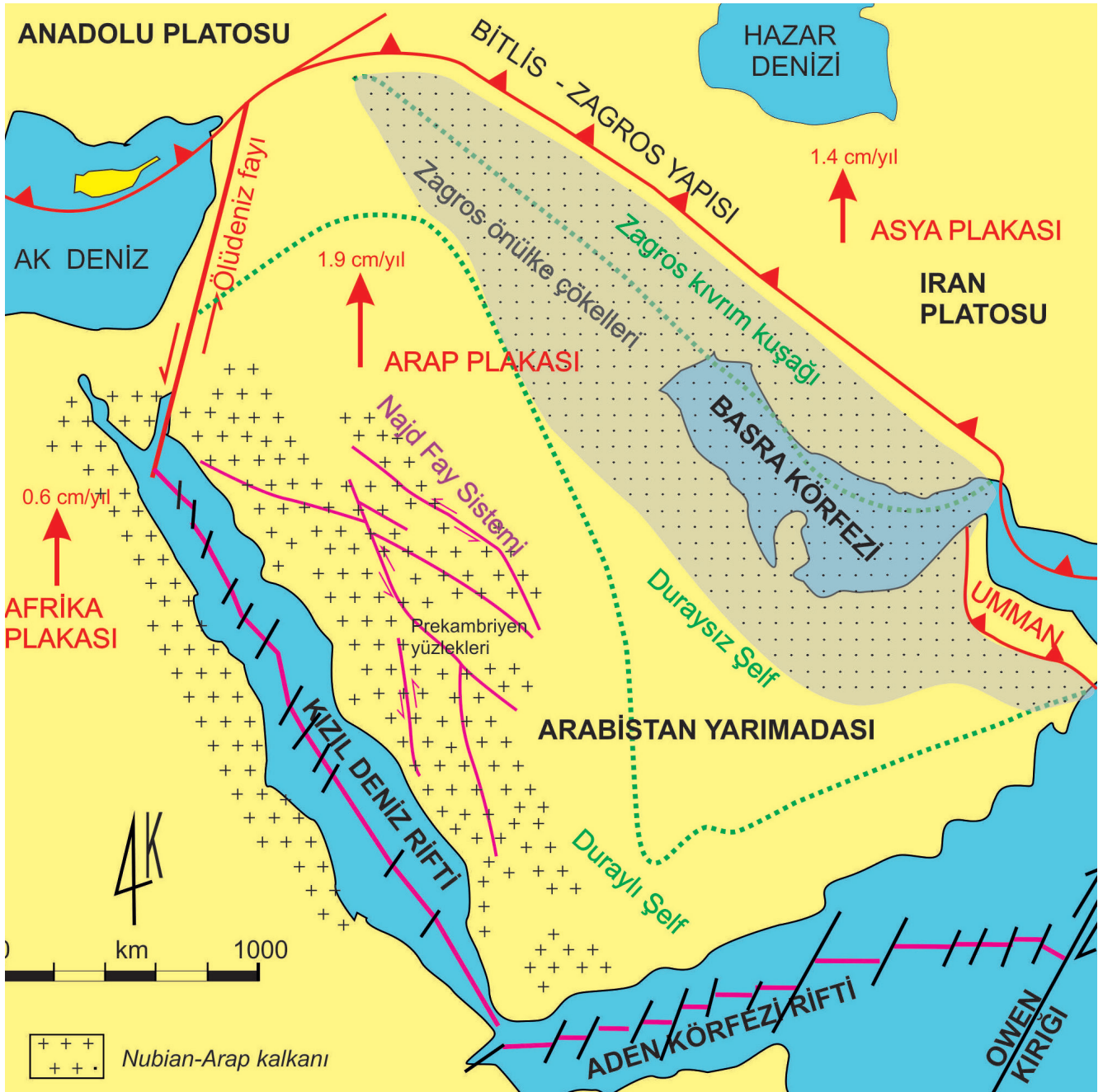
tezlenecek ve özetle Orta Doğu'daki petrolün bolluğunu etkileyen jeolojik faktörler anlatılacaktır.

Gondwana Kenarı ve Tetis

Yaklaşık 542 Milyon yıl (MY) önceki Proterozoik-Kambriyen geçişi, bu bölgenin petrol kaynakları için geniş kapsamlı sonuçlarıyla Orta Doğu'nun jeolojik tarihinde bir yeni dönem

açmıştır. Yaklaşık 700 MY ile 600 MY zaman aralığında Afrika'nın kuzeydoğu kenarı boyunca okyanus yitimi ve mikro-kıta çarpışmasının ardın-

dan Orta Doğu'nun temel kayacı (Nubian-Arap kalkanı) konsolide olmuştur. Bu olay, Afrika, Hindistan, Avustralya, Antarktika ve Güney Ameri-



Şekil 3: Ortadoğu'nun tektonik çatısı 1- Zagros kıvrım ve bindirme kuşağı, 2- Duraysız Arap şelfi, ve 3- Duraylı Arap şelfi olarak ayrılmıştır. Eosen döneminde Bitlis-Zagros kenedi boyunca Asya plakası ile Arap kıtasal plakası çarpıştı. Arap plakası GPS ölçümlerine göre yılda 1.9 ile 2.3 cm hızla halen Asya ile birleşmektedir (Avrasya'ya göre Arabistan'ın göreceli plaka hareketlerinin küresel ölçümleri yılda 2,4-3,5 cm lik daha yüksek hızı gösterir). Bu kıtasal çarpışma Zagros dağ oluşumunu ve Paleozoyik-Mezozoyik Tetis şelf havzasının üzerinde yerleşmiş olan Senozoyik önlüke havzasını meydana getirmiştir. Bölgedeki çökellerin toplam kalınlığı 12 km'ye kadar ulaşır. Zagros deformasyonu ve tuz kubbeleri geniş, yumuşak antiklinaller ('balina sırtı" yapısal kapanlar) içinde kıvrımlanmış tortul tabakalara bulunmaktadır. Arap plakasının batı ve güney sınırları sırasıyla Kızıldeniz ve Aden körfezi riftleriyle sınırlanır. Afrika'dan Arabistan'ı ayıran bu Neojen kıtasal riftler ayrıca Arabistan'ı Asya'ya doğru itmektir. Rift-omuzlu yükseltilerinde Kızıldeniz boyunca Prekambriyen yaşlı kayalar (Nubian-Arap kalkan parçası) yüzeylenmekte ve riftle ilgili volkanik kayalar tarafından yer yer örtülmektedir.

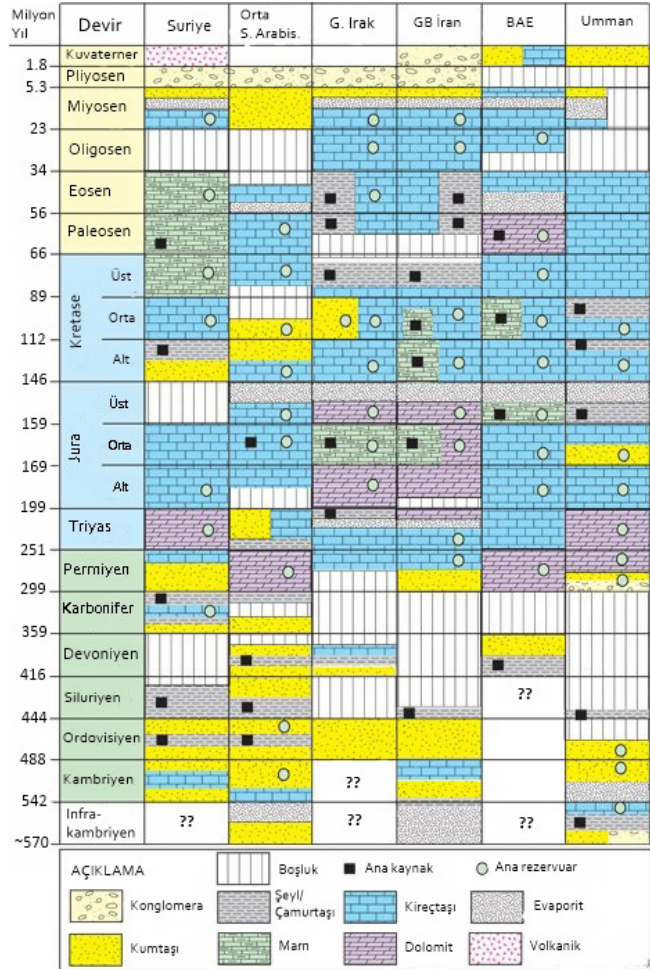
ka'yı içine alan diğer bazı çarpışmalarla birlikte güney yarımkürede Gondwana superkitasını biraraya getirmiştir (Şekil 2). Orta Doğu bu zaman diliminde Gondwana'nın kuzeye bakan pasif kenarında konumlanmış ve tüm Paleozoyik ve Mesozoyik süresince zaman zaman uzun ve geniş bir şelf üzerinde etkili olan deniz seviyesi değişimlerinin geliştiği bir sedimantasyon bölgesi olmuştur. Mikroorganizmalar ve denizel organizma türleri de hızlı bir şekilde evrim geçirmiş ve çeşitlenmiş, böylece petrol oluşumu için gerekli olan organik karbonlu denizel çökellerle zenginleşerek Kambriyen sonunda Gondwana olarak birleşmiştir.

Gondwana'nın kuzey kenarını dalgalarıyla yalayan Tetis Okyanusu, tek bir okyanus değildi, aksine Proto-Tetis (İnfrakambriyen-Karbonifer), Paleo-Tetis (Ordovisiyen-Jura) ve Neo-Tetis (Permiyen-Paleosen) olmak üzere en azından üç okyanus havzası gelişmişti. Tetis'in bu birbirini izleyen gelişimi, kıta parçalarının zincirleme olarak Gondwana kenarından parçalanarak uzaklaşması ve eski-Asya kıtasına eklenmek üzere kuzeye doğru sürüklenmesiyle gerçekleşmiştir. Her bir Tetis okyanusunun açılması Ortadoğu'da İnfrakambriyen (Edikaran-Kambriyen geçiş periyodu) Ordovisiyen, daha sonra Permiyen döneminde kıtasal riftleri meydana getiren gerilme tektoniğinin eşliğinde olmuştur. Bu rift havzaları, bölgedeki petrol oluşumu için uygun yerler olarak kabul edilir.

Paleozoyik sonunda Gondwana, Lavrasya (Avrupa+Asya) ile birleşerek en büyük süperkıta, Pangea'yı oluşturdu (Şekil 2). Bu sırada Proto-Tetis de kapandı ve Neo-Tetis açılmaya başladı. Geç Kretase'de, Neo-Tetis okyanusu, eski-Asya'nın güney kenarının altına (Anadolu-İran-Tibet kenarı boyunca) dalmaya başlamış ve Eosen'de okyanus tamamen ortadan kayboluncaya kadar boyutu daralmış ve yerini yükselen Bitlis-Zagros-Himalaya dağları önünde gelişen bir önülke havzasına bırakmıştır (Şekil 3).

Orta Doğu'daki Fanerozoik sedimanter istifin kalınlığı 12.000 metreye kadar ulaşmakta, ayrıca kendi içinde 3 ana istife bölünebilmektedir (1) Sedimantasyonda (orta Paleozoyik'teki daha düşük deniz seviyeleri sırasında) uzun boşluklar gösteren ve çoğunluğunu silisli kırıntılı kayaçların

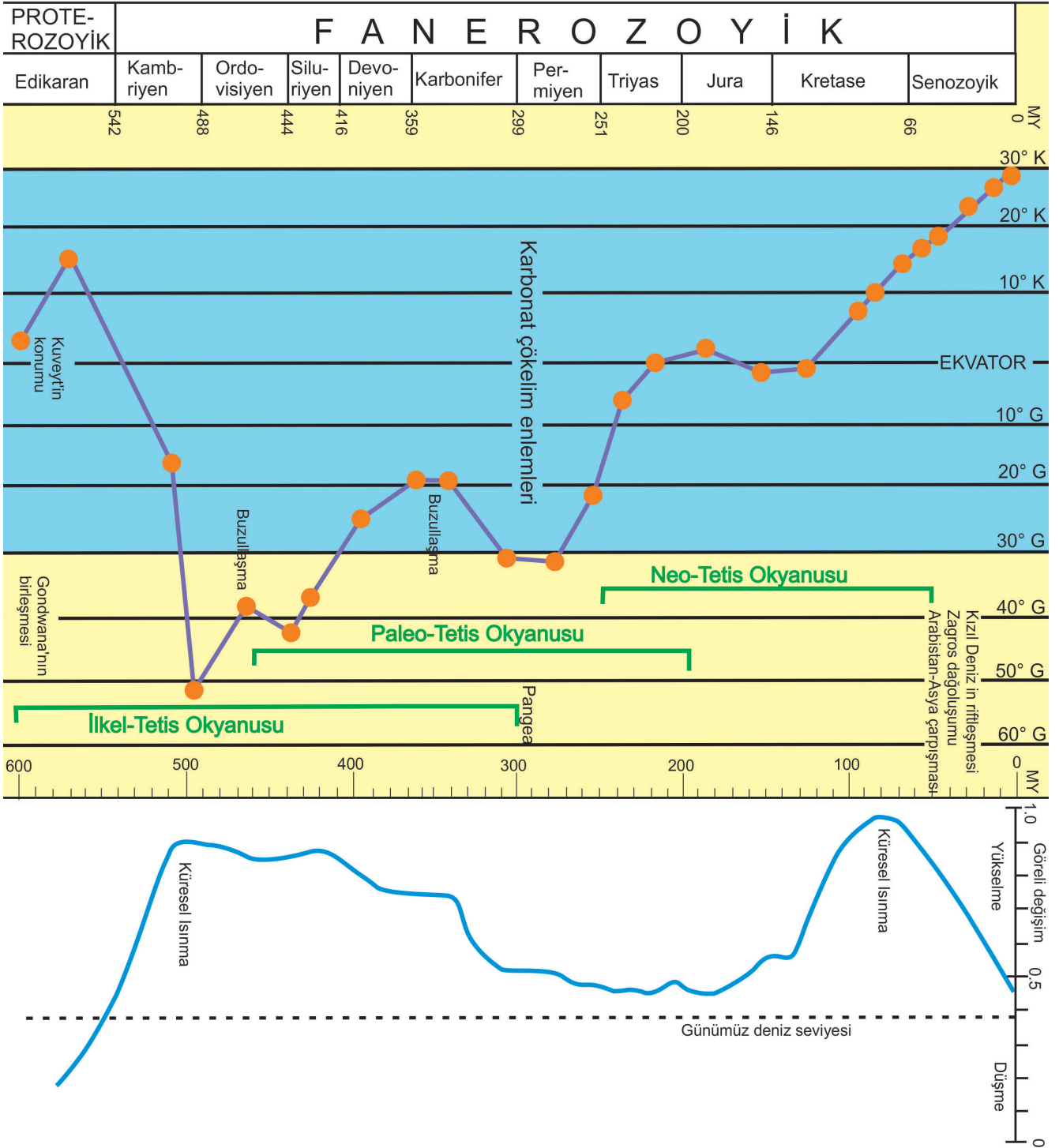
oluşturduğu İnfrakambriyen-Karbonifer istifi; (2) Sadece kısa süreli kesiklikler içeren çoğunlukla karbonatlı kayaçların oluşturduğu Permiyen-Kretase istifi; (Murriss, 1980) Karbonat ve silisiklastiklerin (üste doğru) her ikisinin birlikte bulunduğu, ayrıca bazı bölgelerde erken Paleosen ve Oligosen çökeliği eksiklikli Senozoyik önülke istifi (Şekil 4).



Şekil 4: Orta Doğu'da seçilmiş alanların petrol kaynak- rezervuar kayaçları ve stratigrafisi. Beydoun (1998) ve Alsharhan ve Nairn (2003) esas alınarak derlenmiş veriler. Rasoul Sorkhabi tarafından çizilmiştir.

Bu tektonik-sedimantasyon sistemi, bölgeye özgü biçimleriyle Orta Doğu'daki petrol oluşumu ve birikimi üzerine etkili olmuştur.

Organikçe zengin kaynak kayaçlar (toplam organik karbon >%5) Orta Doğu'ya özgü değildir. Orta Doğu'nun kaynak kayaçları konusu dikkati çekmekle birlikte, anoksik (indirgen) ortamlar, kıyı bölgelerine zengin besin gelişinden dolayı



Şekil 5: Fanerozoik zamanı boyunca Kuvayt-Basra Körfezi bölgesinin hareketi. Ayrıca gösterilen bölgenin sedimantasyon tarihçesi ile ilişkili ana jeolojik olaylar. Beydoun (1998) dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan derlenmiştir.

deniz seviyesi yükselmesinden yararlanmış, göreceli duraylı koşullarda Paleozoik-Mesozoik zaman aralığında bir pasif kıta-şelfi kenarında çökelmiştir (Şekil 5). Üstelik, bu denizel şeyller ve marınlar tip I (protein/lipidce zengin algal organik madde) ve tip II (lipidce zengin ancak hidrojen-karbon oranları daha düşük) olmak üzere petrol eğilimli kerojen tiplerini içermektedir.

Orta Doğu'da petrol oluşumu için şanslı seviyelerden birisi de, Kuzey Afrika ve Orta Doğu'nun diğer bazı bölgelerinde de bulunan Suudi Arabistan'daki Qusaibah Şeyli olarak adlandırılan Siluriyen "kızgın" şeylidir.

Siluriyen'deki Orta Doğu'yu gösteren Paleozoik kıtaların ve atmosferik dolaşımın paleocoğrafik modellenmesine (Parrish, 1982) göre, organik

maddece olağanüstü miktarda zenginleşmiş olan sedimanların büyük bir gel-git akıntısına yakın konumda çökeldiğini göstermektedir.

Orta Doğu petrolünün %70 den fazlası Jura-Kretase sedimanlarından (Fanerozoik devrinin %30 dan azına karşılık gelmekte) üretilmektedir. Bu klasik kaynak kayaçların bazıları Sargelu Formasyonu (Orta Jura, tip yerinde 150-200 m kalınlıkta), Garau Formasyonu (Alt Kretase, 800 metreden fazla kalınlıkta), Gadvan Formasyonu (Alt Kretase, 100 metre kalınlıkta) ve Kazhdomi Formasyonu (Orta Kretase, 200 metre kalınlıkta) hem GB İran'ın Zagros havzasındaki hem de Irak ve İran Körfezi Bölgelerindeki eşdeğer yaşlı kireçli-şeyl oluşumlarını kapsamaktadır.

Bu zengin kaynak kayaçlarını açıklamak için Jura ve Kretase dönemindeki Neo-Tetis şelfinin genişliğini ve konumunu dikkate almamız gerekir. Neo-Tetis o dönemde sıcak, organikçe zengin Ekvator'a yakın konumda bulunmaktaydı; Şelf 2000-3000 km lik bir genişliğe ve en az onun iki katı bir uzunluğa sahipti (Murriss 1980). Dahası, Neo-Tetis batıya doğru sivrilmış (incelen) üçgen biçimliydi; ayrıca organikçe zengin sedimantasyon süreçlerinden yararlanmaya uygun bir pozisyonda, yükselmiş konumlu deniz seviyesiyle yaklaşık olarak doğu-batı gidişli geniş şelfli, kısmen kapalı havzaydı (Şekil 2).

Geç Jura-Erken Kretase döneminde, Gondwana parçalanmış, ayrıca rift volkanizması ve deniz tabanı yayılması gelişmiş, okyanus sıcaklıkları yükselmiş ve okyanus suları volkanik taşkınlardan gelen (okyanus ortası sırtlar ve kıtasal kenarlar ya da ada yayları boyunca) besin değeri yüksek maddelerle zenginleşmeye başlamıştı. Orta Kretase denizel çökellerindeki planktonik foraminiferlerin oksijen analizi, özellikle artan volkanik faaliyetlerden dolayı atmosferin karbondioksit konsantrasyonlarındaki hızlı bir artışına bağlı olarak, 125-85 MY arasında şiddetli bir küresel ısınma dönemi olduğunu göstermektedir (Şekil 5). Bu olgu, orta-geç Kretase dönemindeki en yüksek deniz seviyesinin kanıtı olan stratigrafik istiflerle örtüşmektedir. Sıcak iklim, yükselmiş konumlu denizlerin ve okyanusların azot, fosfor ve karbon içeriklerindeki artışlar, o dönemde çökelen denizel sedimanların organik açıdan zenginleşme-

sinde başlıca bir etken olmuş, bu da dolayısıyla plankton popülasyonlarında ölçülemeyecek kadar çok bir yayılmaya yol açmıştır. Bu olaylardan en çok Neo-Tetis faydalanmış, ayrıca Orta Doğu doğru zamanda doğru konumda olmuştur.

Murriss (1980), sedimanter fasiyes dağılımlarına dayanarak Orta Doğu'nun Mesozoik karbonatlarını iki gruba ayırmıştır: Birinci grup 30 ile 100 metre arasında değişen kalınlıkta tekrarlanmalı ("katlı pastalar") karbonat yokuşları (kıvrıntılı killi tabakalarla karışık) kıvrıntılılar havzaya getirildiğinde deniz çekilmeleri (regresyon) sırasında çökelmiştir. İkinci grup Deniz ilerlemesi (transgresyon) koşulları altında çökelmiş olan platform karbonatları veya ayrılaşmış şelf karbonatı, ayrılaşma karbonat-evaporit platformlarından yüksek enerjili kıyılarla ayrılmış oksijensizliğe mahkum (sediman eksikliği) havzalarla belirlenir. Petrol açısından verimli/zengin kaynak kayaçlar ikinci gruba dahildir.

Birikme ve Kapanlanma

Orta Doğu, zengin karbonatlı petrol rezervuarları ile ünlüdür (Şekil 4). Bu tip rezervuar kayaçlar Kuzey Amerika ve Batı Sibirya'nın yanısıra (ağırlıklı olarak Paleozoik), Orta-Güney Amerika'da (en çok Mesozoik) ve Güneydoğu Asya'da (daha çok Miyosen) bulunur. Orta Doğu'da ise, karbonatlar önemsiz zaman boşluklarıyla Permiyen'den Paleosen'e kadar uzun ve geniş bir şelf üzerinde çökelmiştir. Arabistan-Asya çarpışmasından sonra bile, karbonat çökelişi çok sığ deniz ortamında (Basra Körfezi'nde devam eden bir süreç) devam etmiştir. Buna bağlı olarak, Orta Doğu'daki büyük petrol sahaları çoklu petrol üretimi yapılabilir kalın karbonat istiflerine sahip olmuştur.

Orta Doğu'nun kireçtaşı ve dolomit rezervuarları oldukça iyi geçirgenliğe ve gözeneğe sahiptir (Şekil 6 ve 7). Birincil gözeneklilik, Orta Doğu'da oldukça geniş yayımlı Üst Jura yaşlı Arab Formasyonu gibi pakettaşları ve tanetaşlarında iyi korunmuştur. Dünya'nın en büyük petrol sahası olan Suudi Arabistan'ın Ghawar sahasındaki Arap Formasyonu'nun iki verimli üyesi (C ve D), sırasıyla 30 m ve 80 m kalınlığa ve % 20 gözenekliliğe sahiptir. Birleşik Arap Emirliği'nde aynı formasyonun kalınlığı 130 ile 240 m ve

gözenekliliği ise % 10-30 arasında değişmektedir. Buna ek olarak, Zagros deformasyonu, kalınlıkları 120-480 m arasında değişen ve %8-24 lük bir gözenekliliğe sahip doğu Irak'taki (Jerribe Formasyonu) ve GB İran'daki Oligosen-Miyosen kireçtaşları (Asmari Formasyonu) gibi, özellikle çimentolu kireçtaşlarında geçirgenliği artırıcı çatlak/kırık ağları oluşturmuştur.

Orta Doğu havzalarının çok büyük bir kısmı, denizel şeyl ve marn örtü kayaçlarından başka, aynı zamanda sünümlü özelliğinden dolayı çok iyi sızdırmazlık sağlayan evaporit tabakaları da içerir. Orta Doğu'da başlıca evaporit seviyeleri kapsayan birimler

1. Infrakambriyen Hürmüz Tuzu
2. Triyas çökelleri ile ara tabakalı evaporitler
3. Geç Jura yaşlı Gothina-Hith Formasyonu;
ve
4. Miyosen yaşlı Gachsaran Formasyonudur.

Böylelikle, tüm Fanerozoik dizisi hem alttan hem de üstten evaporit örtüleriyle sınırlanmıştır.

Bu sünümlü evaporit ve şeyl tabakaları, aynı zamanda sedimanter istif içindeki petrol sistemlerinin tepe kısımlarını oluşturan Zagros bindirme yapıları için sıyırılma/ayırılma zonları gibi davranmıştır.

Rezervuar Kayaçlar

Zagros Deformasyonu ve Tuz Domları

Orta Doğu'nun birçok alanlarında yapılan havza modelleme çalışmaları, Jura-Kretase kaynak kayaçlarının Neojen sırasında petrol oluşum penceresi sıcaklıklarına gömülmüş olduğunu göstermiştir. Bu gömülme, yapısal kapanlar gibi büyük antiklinallerin oluşumu ve Zagros deformasyonunun gelişimiyle kısmen örtüşmüştür.

Zagros deformasyonunun üç önemli belirleyici özelliği Orta Doğu'da petrol birikimlerini muhafaza etmeye yardımcı olmuştur:

Birincisi, Paleozoik-Mezozoik Tetis çökellerinin üzerine gelen Senozoik yaşlı Zagros önülke havzası, altındaki kaynak kayaçları gömerek ısıtmasının yanı sıra, korunması için gerekli bir örtü koşulunu da sağlamıştır.

İkincisi, Tetis kuşağının diğer bölgelerinde, en önemlisi de Himalayalar'da yaşanan şiddetli tektonik deformasyonun aksine, Senozoik sırasındaki Afrika-Arap plakasının göreceli olarak yavaş hareketi, geniş bir alanı korumuştur (50 MY önceki Hint-Asya çarpışmasından sonra yılda 5- 6 cm lik hızla hareket eden Hint plakası, aynı dönemde Afrika-Arap plakasından yaklaşık üç kat daha hızlı hareket etmiştir).



Şekil 6: Yeraltındaki büyük petrol rezervuarlarından Jura yaşlı kireçtaşı tabakaların yüzeyde görünümü, Tuwaiq Sarplığı, Suudi Arabistan (Kaynak: Baptiste Marcel)

Üçüncüsü, Fanerozoik çökellerin temelindeki sünümlü Hürmüz tuzu'nun varlığı, altında bulunan mağmatik-metamorfik temel kayaçtan sedimanter örtünün ayrılmasına yardımcı olmuştur. Bu nedenle, Zagros deformasyonu, sedimanter örtünün fazla binmediği, tüm Tetis şelf sedimanlarının yüzeye çıkmadığı temel kayaçtaki bir ince-kabuk tektonik deformasyonu olarak gelişmiştir (Buna benzer dağ ve kıta oluşumu ile kalın kabuk tektonik deformasyonu sonunda Himalayaların yükselmesi gerçekleşmiştir).

Aslında Zagros Dağlarında Prekambriyen yaşlı metamorfik kayaçlar yüzeylememektedir. Daha önce Prekambriyen yaşta olduğu düşünülen Zagros metamorfik şist ve granitleri, yüksek kararlı radyometrik yöntemlerle yapılan araştırmalara göre Paleozoik yaşlıdır. Zagros kıvrım ve bindirmesindeki bir ince kabuk deformasyonunun daha derin seviyelerdeki temelin deformasyon olasılığını reddetmediğini unutmayın; sedimanter örtünün deformasyonu, onun sadece (az bilgiye sahip olduğumuz) temelinden ayrılmış olduğu anlamına gelir.

Belki, gelecek milyonlarca yılda, özellikle şu anda Kızıldeniz riftleşmesiyle itiliyor olan Arap Plakasının hareketi, Kızıldeniz geniş bir okyanus içinde gelişecek kadar hızlanırsa, Zagros da günümüzdeki Himalayalar gibi görünecektir.

İnfrakambriyen Hürmüz tuzu da petrol için uygun yapısal kapanlar sağlayan tuz diyapirleri ve kıvrımlar oluşturmuştur; bu tuz hareketleri Geç Kretase kadar geçmişe uzanmaktadır. Hürmüz tuzu Orta Doğu'nun sadece bazı sahalarında haritalanmış olmasına rağmen, Irak'ın güneyindeki ya da BAE gibi alanlarda sondaj yapılmadığı için, gerçek dağılımı tam olarak bilinmemektedir.

Neden Petrol Bu Kadar Çok?

Petrolün başarıyla oluşması, göçü, birikmesi ve korunması için hem organikçe zengin ve ısısal olarak olgunlaşmış kaynak kayaçların, gözenekli – geçirgen hazne kayaçların, verimli yaygın örtü kayaçların hem de petrolün göçü ve kapan oluşumu arasındaki uygun zaman ilişkilerini içeren petrol sisteminin tüm elemanlarının ve süreçlerinin mevcut olması gerekir. Açıkçası, Orta Doğu



Şekil 7: Paleozoik yaşlı çapraz tabakalı kumtaşı, Wajid Formasyonu, Suudi Arabistan'da araştırma için bir potansiyel rezervuar. (Kaynak: Matthias Hinderer)

en üst düzeyde ve kalitede petrol oluşumu, gelişimi ve kapanlanarak Günümüze kadar ulaşması için tüm bu koşulları taşımaktadır.

Bizim irdelememiz Orta Doğu bölgesel ölçeğinde olduğu için, konuyu basitleştirmek ve genelleştirmek zorunda kaldık ve bu yüzden bölgedeki sedimantasyon ve yapısal geçmişlerindeki farklılıkları göz ardı ettik. Örneğin, böyle bir değişim, Batı Suudi Arabistan'daki Prekambriyen yüzleklerinden İran'ın GB'sındaki Yüksek Zagros'a doğru uzandığımızda, havza(lar) daha derinleşir ve Mesozoik-Senozoik çökelleri büyük kalınlıklara ulaşır. Doğrusunu söylemek gerekirse, havzanın bu derin kısımlarında birkaç kuyuda Paleozoik istifleri delinmiştir. Dahası, Orta Doğu'nun, özellikle Orta ve Kuzey İran'ın bazı bölümleri, adeta keşfedilmeden aynen durmaktadır. Bu eksiklikler akılda tutularak, Orta Doğu'daki petrolün bolluğunu açıklamak için bazı önemli noktaların altı çizilebilir;

1. Gondwana'nın pasif kıta kenarı üzerinde 500 MY lık bir sedimantasyon tarihçesinin olması;
2. Sedimantasyonun büyük ölçüde iklimin sıcak ve organik etkinliğin en yüksek düzeyde olduğu 30°K ve 30°G enlemleri arasında olması;
3. Jura-Kretase süresince Neo-Tetis şelfinin uzunluğu (doğu-batı yönünde) ve genişliği;
4. Orta Kretase sırasında küresel ısınma, deniz seviyesi yükselmesi ve plankton bollu-

- ğu için Orta Doğu'nun uygun paleocoğrafik durumu;
5. Petrol eğilimli kerojen türleri içeren denizel kökenli kaynak kayaçların varlığı;
 6. Petrol göç yollarının en kısa olduğu rezervuarlara aratabakalı kaynak kayaçların yakın olması;
 7. Olağanüstü miktarda oluşan petrol için gerekli depolanmayı sağlayan sedimanların (ağırlıklı olarak karbonatların ama aynı zamanda bazı kırıntılıların) olağanüstü bir kalınlığı;
 8. Denizel şeyl ve evaporitlerin her ikisinin de altta, üstte ve sedimanter paket içinde etkin bölgesel örtü biçimindeki varlığı.
 9. Senozoyik yaşlı Zagros önülke havzasının Tetis şelf çökelleri üzerinde üstüste gelişmiş olması;
 10. Prekambriyen magmatik-metamorfik temelinde bir ince-kabuk tektonik rejimine sebep olan Fanerozoik sedimanların tabanındaki sünümlü evaporit-şeyl tabaka-

larının varlığı, ayrıca Arap plakasının göreceli olarak yavaş hareketi, tüm Tetis şelf çökellerini yüzeye çıkarmaması veya birbiri üzerine bindirmemiş olması;

11. Petrol birikimleri için bol yapısal kapanlar bulunduran tuz domları veya "hafif" Zagros sıkıştırmasıyla oluşmuş büyük "balina sırtı" antiklinaller (Şekil 8).

Bu makale hakkında

Bu makale Orta Doğu'daki petrol ve doğal gaz ile ilgili Rasoul Sorkhabi tarafından yazılan bir çift makalenin ilkidir.

Bu çeviri makalenin orijinaline

<https://www.geoexpo.com/magazine/vol-7-no-1>

web adresinden ulaşılabilir.

Ayrıca bu makaleyi okumaktan keyif aldıysanız aynı yazar tarafından yazılmış "How Much Oil in the Middle East? Orta Doğu'da ne kadar petrol var?" başlıklı ikinci makaleye de aşağıdaki web adresinden ulaşabilirsiniz.

<https://www.geoexpo.com/articles/2014/02/how-much-oil-in-the-middle-east>

Şekil 8: GB İran'daki Buşehr bölgesi, Kuh-e Namak şehrinde (Tuz Dağı) Basitçe Kıvrımlanmış Zagros'daki bir büyük 'balina sırtı' şeklindeki antiklinalin bir uydu görüntüsü (28 Şubat 2006 tarihinde çekilmiştir). Çok büyük petrol ve gaz birikimleri içeren bu tip antiklinaller, Arabistan-Asya plakası çarpışmasının sıkıştırma gerilmeleri ve yeraltındaki tuz hareketleriyle gerçekleşen geniş kıvrımlar şeklinde gelişmiştir. Kaynak: NASA / Dünya Gözlemevi



Çeviren'in notu

Orta Doğu ülkeleri arasında -bu coğrafyaya yakın ve çoğunlukla "uzak" komşu ülkelerin de katıldığı- 1900'lü yıllardan günümüze kadar süregelen sıcak savaşın ana nedenlerinin başında, bölgenin petrol ve doğalgaz zenginliğinin nasıl paylaşılacağı kavgası gelmektedir.

Hem günümüz coğrafyasında, hem de yüz milyonlarca yıllık jeolojik tarihçesi boyunca Orta Doğu'ya hep komşu olan Türkiye'nin petrol ve doğalgaz enerji kaynakları açısından potansiyeli daima tartışılmıştır. Yeterli teknik/bilimsel bilgiye sahip olmayan toplum tarafından değişik komplo senaryoları üretilerek, bu doğal enerji kaynakları "yeterince araştırılmıyor" ya da "bulunan petrol/doğalgaz üret(tir)ilmiyor" şeklinde yorumlanmıştır.

Türkiye anakarasında, kısıtlı da olsa petrol ve doğalgaz açısından potansiyel bazı sahalar bulunmasına rağmen, Orta Doğu kadar verimli olmamasının başlıca nedeni, genellikle son 65 milyon yıldan bu yana Türkiye ve yakın dolayını da şekillendiren jeolojik süreçlerden kaynaklanmaktadır. Özellikle son 5 milyon yıldan bu yana Arap-Anadolu plakalarının tıpkı "kafa kafaya" çarpışması şeklinde gelişen genç jeodinamik olaylar, Türkiye'nin kıvrımlı ve kırıklı bir yapı kazanmasına neden olmasının yanı sıra, fiziki coğrafyasının da şekillenmesinde belirleyici rol oynamıştır. Yer kabuğundaki bu türden genç jeodinamik olaylar, potansiyel bölgelerdeki petrol ve doğalgazın oluşumu, göçü ve içinde birikebileceği jeolojik formasyon ve yapıların oluşması için belirli bir aşamaya kadar olumlu katkı koyarken, bu süreçlerin durmaksızın devam etmesi halinde de, bölgenin petrol sisteminin olumsuz etkilenmesine de neden olabilmektedir. Türkiye'nin, özellikle GD Anadolu bölgesinin son 5 milyon yılda yaşamış olduğu bu genç kabuksal deformasyon, bölgenin petrol sistemini olumlu etkilediği aşamasını çoktan aşmış ve olumsuz etkilenmesine neden olmuştur.

Bu çeviri makale, Orta Doğu'da petrolün neden bu kadar çok olduğunu jeolojik oluşum açısından öz olarak açıklamaktadır. Ancak GD Anadolu bölgesinde yüzeye kadar ulaşan kıvrımlı ve kırıklı yapıların fazla olması, ve bu yapıların petrol ve doğalgaz gibi akışkanları bünyelerinde barındırarak günümüze kadar ulaşacak şekilde büyük ölçüde koru(ya)maması nedeniyle, "Türkiye'de neden Orta Doğu'daki kadar çok petrol yok?" sorusuna da büyük oranda yanıt verir niteliği taşımaktadır.

Kaynakça ile ilgili notlar

1950'lerden beri Orta Doğu'da çalışan birkaç petrol jeologu Baker ve Henson (1952) Law (1957), Kamen-Kaye (1970), Murriss (1980), Bois ve diğerleri (1982) ve Klemme ve Ul-mishek (1991) tarafından yazılmış ve AAPG'de yayınlanmış olan başlıca klasik makaleler, bu bölgedeki petrol zenginliği konusunda belirtilen görüşleri kapsamaktadır. En son olarak da Z.R. Beydoun da (1998) bu konuyu ele almıştır.

Orta Doğu ile ilgili birkaç klasik makaleyi de içeren, "Petrolün vatani" başlıklı bir AAPG Sempozyum bildiriler kitabı Lewis Weeks (1958) tarafından yayınlanmıştır. Bu kaynakların hepsinden yararlanılmıştır.

Orta Doğu'daki kronostratigrafik olaylar ve ken-

dine özgü havzaların jeolojisi hakkında bilgi amacıyla özellikle aşağıdaki yararlı ve yardımcı kitapların yanı sıra GeoArabia'daki araştırma makaleleri de esas alınmıştır.

Değinilen Belgeler

Alsharhan, A.S., and Nairn, A.E.M., 2003. Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East, Elsevier, Amsterdam, 943 s.

Baker, N. E. , Henson F. R. S., 1952. Geological conditions of oil occurrence in Middle East fields, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V. 36, No:10, 1885-1901.

Beydoun, Z.R., 1991. Arabian Plate Hydro-carbon Geology and Potential: A Plate Tectonic Approach (AAPG Studies in Geology #33,

Tulsa).

Beydoun, Z.R., 1998. Arabian plate oil and gas: Why so rich and so prolific?, *Episodes*, 21, 2, 74-81.

Bois, C., Bouché, P., and Pelet, R., 1982. Global geologic history and distribution of hydrocarbon reserves. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V.66, 1248-1270.

Irving, E. North, F. K. Couillard, R., 1974. Oil, Climate, and Tectonics. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 11, i. 1, 1-17.

Kamen-Kaye, M., 1970. Geology and Productivity of Persian Gulf Synclorium. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 54, no. 12, 2371-2394

Klemme, H. D., Ulmishak, G. F., 1991. Effective petroleum source rocks of the World: stratigraphic distribution and controlling depositi-

onal factors, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 75, 1809-1851

Law, J., 1957. Reasons for Persian Gulf oil abundance. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 41, 1, 51-69

Murris, R.J., 1980. Middle East: Stratigraphic evolution and oil habitat. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V.64, 597-620.

Parrish, J. T., 1982. Upwelling and Petroleum Source Beds, With Reference to Paleozoic, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 66, 6, 750-774

Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M. Davies, R.B., Hall, S.H. Heward, A.P., Horbury, A.D. Simmons, M.D, 2001. Arabian Plate Sequence Stratigraphy. *GeoArabia*, Special Publication 2, Bahrain. 371 pp. and 3 enclosures.



Mavi Gezegen



TMMOB
JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI

Meşrutiyet Cad. Hatay Sokak No. 21 Kocatepe/ANKARA
Tel: (+90) 312 432 30 85 Faks:(+90) 312 434 23 88
www.jmo.org.tr e-posta: jmo@jmo.org.tr