



Mavi Gezegen

Popüler Yerbilim Dergisi

Yıl 2016 • Sayı 21



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



TMMOB
JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI YAYINIDIR



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.

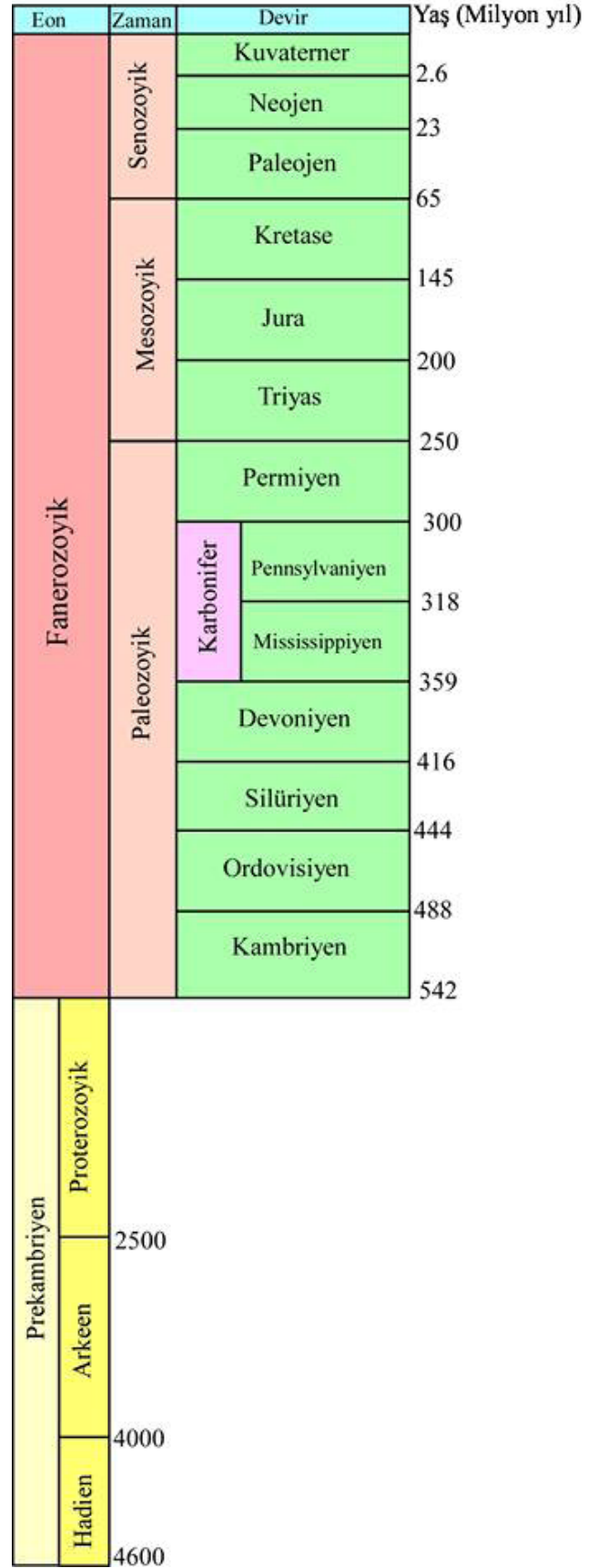
Yaşamın kökeni

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 seçimle 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 seçimle 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).

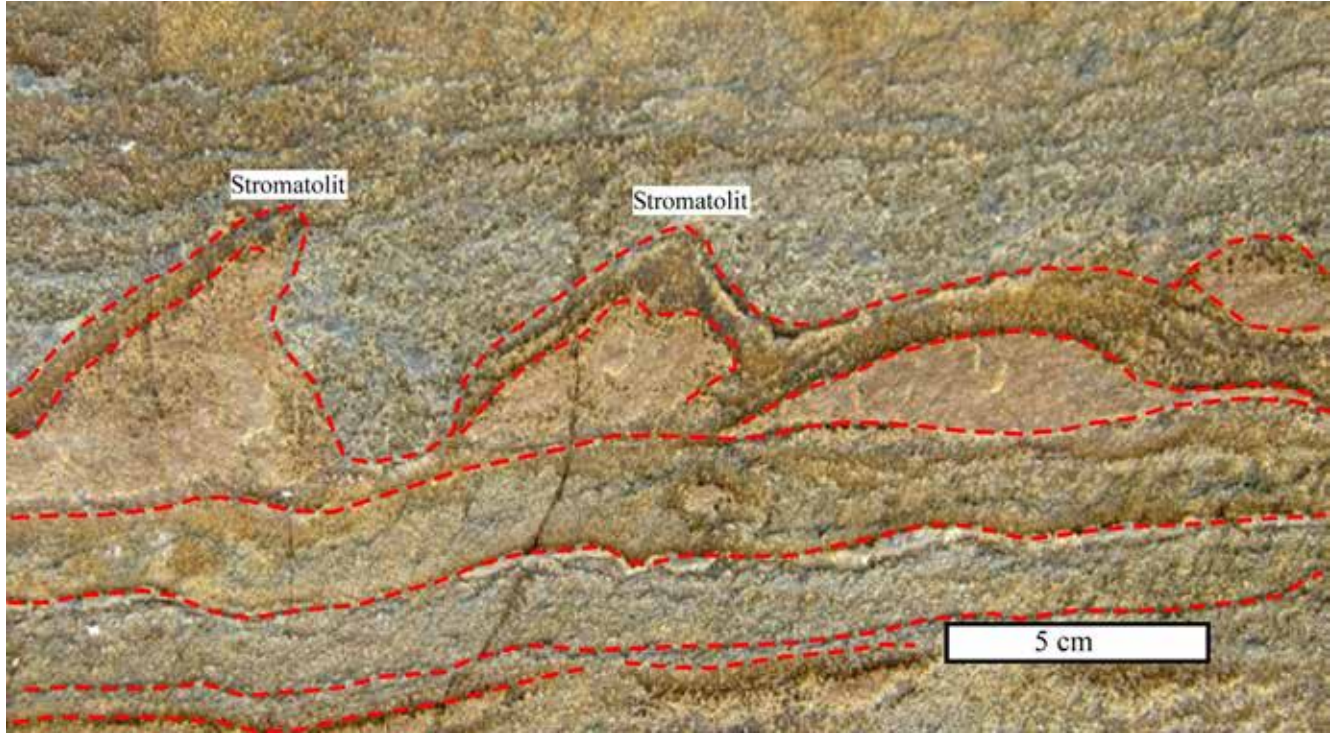
son çalışmalar, yaşamın Dünya'daki denizaltı yarıdağlarının çevresinde başlamış olması olasılığını güçlendirmektedir (2-5).

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 konularan 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.

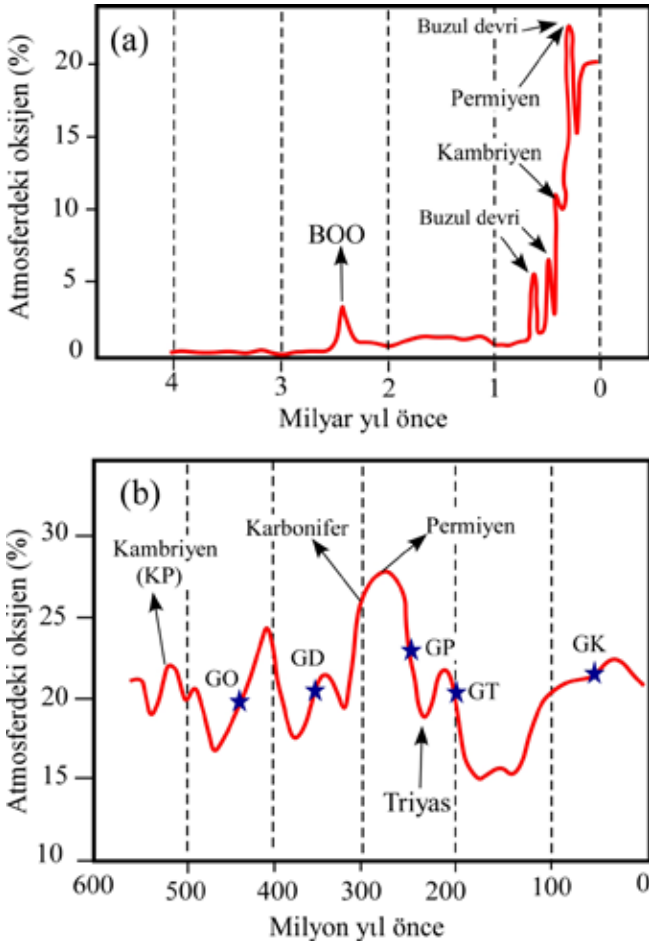
dalmasıyla oluşan bu tür ada yayları, yaşamın ortaya çıkmasında bir rol oynamamış olsa bile, sığ denizel koşulları oluşturarak fotosenteze dayalı yaşamın ortaya çıkmasında ve devam etmesinde önemli bir etken olmuş olabilir.

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 İsuva 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 sönmüştü (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-katılaşma 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'de 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).

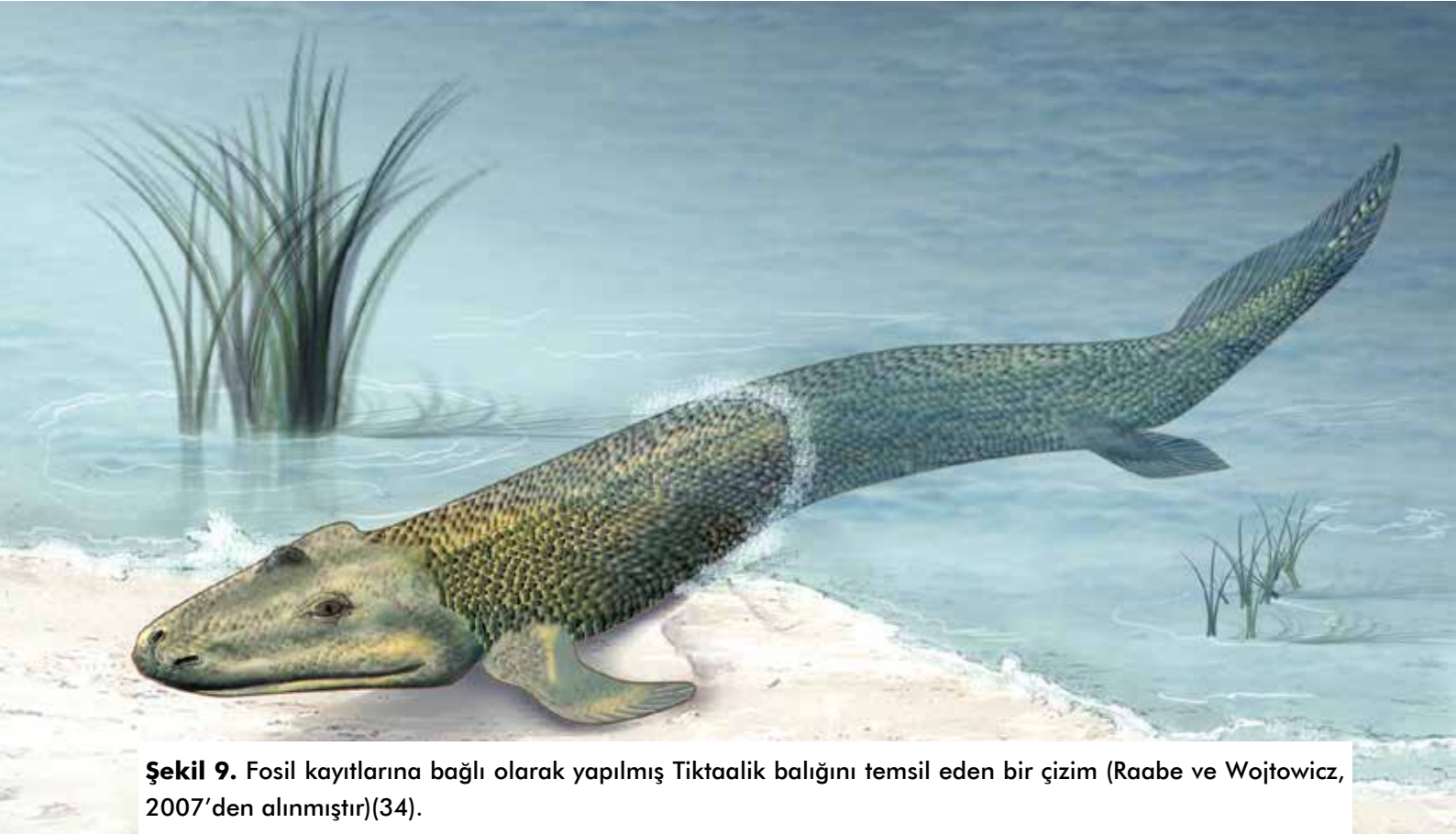


ve Neptün gibi dev gaz gezegenleri oluşturmuştur. Uçucu olmayan demir, magnezyum, silisyum, alüminyum ve kalsiyum gibi elementler ise Güneş'in yakın çevresinde yoğunlaşarak göktaşlarına dönüşmüştür. Çeşitli büyüklükteki göktaşlarının yığılmasıyla ise Merkür, Venüs, Dünya ve Mars gibi taş gezegenler oluşmuştur.

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 İsua 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 yapılı, 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 omurgalılarının 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, evrim bilimciler 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 York, 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.