Bilim ve Gelecek Kitaplığı

50 SORUDA

yaşamın tarihi

Deniz Şahin



Kitap Dizisi 7

2. BASKI



Deniz Şahin, 1978'de Manisa'da dünyaya geldi. 2001 yılında Boğaziçi Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü'nden mezun oldu. 2002'de Londra Westminster Üniversitesi'nde kısa dönem araştırmacı olarak çalıştı. İstanbul Teknik Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü'nde yüksekdesansını 2005'de ve doktora eğitimini 2011'de tamamladı. 2002-2011 yılları arasında aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Doktora süresince çeşitli dönemlerde Seattle Washington Üniversitesi'nde araştırmacı olarak çalışmalarına devam etti.

Deniz Şahin, Bilim ve Gelecek Kitaplığı'ndan çıkan **Harun Yahya Safsatası ve Evrim Gerçeği** kitabının yazarlarındandır. Evrim Çalışkanları grubuna üyedir ve bu grup tarafından hazırlanan **"Evrimi Anlamak"** internet sitesinin oluşturulması sürecinin bir parçası olmuştur. 2009'da Boğaziçi Üniversitesi'nde düzenlenen II. Evrim, Bilim ve Eğitim Sempozyumu Düzenleme Kurulu'nda görev almıştır. Çeşitli üniversite ve liselerde evrim, bilim ve bilim insanı olma sorumluluğu üzerine birçok seminere konuşmacı olarak katılmıştır. **Bilim ve Gelecek** dergisinin düzenli yazarları arasındadır ve dergide "Bilim Gündemi" bölümünü hazırlamaktadır.

Bilim ve Gelecek Kitaplığı - 19

50 Soruda Kitap Dizisi - 7
50 Soruda Yaşamın Tarihi

Deniz Şahin

© Bu kitabın yayın hakları
7 Renk Basım Yayım ve Filmcilik Ltd. Şti.'ne aittir.

Birinci Baskı: Bilim ve Gelecek Kitaplığı, Mart 2011
İkinci Baskı: Bilim ve Gelecek Kitaplığı, Ekim 2011

ISBN: 978-605-5888-17-6

Dizi Editörü: Nalân Mahsereci

Kapak Tasarımı: Deniz Akkol

Sayfa Tasarımı: Eren Taymaz

Baskı: Kayhan Matbaacılık
Davutpaşa Cad. Güven Sanayi Sitesi B Blok
No: 244 Topkapı - İstanbul
Tel: 0212.612 31 85

7 Renk Basım Yayın ve Filmcilik Ltd. Şti
Moda C. Zuhal Sk. No: 9/1, Kadıköy-İstanbul
Tel: 0216.349 71 72
http://www.bilimvegelecek.com.tr
e-mail: bilgi@bilimvegelecek.com.tr



yaşamın tarihi

DENİZ ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

Sunuş / Nalân Mahsereci 9

Önsöz 11

1. Bölüm
BİLİMSEL YÖNTEM 13

1) Bilimsel yöntem nedir? Nasıl bir yol izler? 13

2. Bölüm
YAŞAM NEDİR? 17

2) Canlı nedir? 17
3) Yaşamın organizasyonu nasıldır? Sınırları nelerdir? 20
4) Arsenik seven bakteriler: Yaşamın biyokimyasının tanımı değişiyor mu? 23
5) Hücrenin temel yapıtaşları nelerdir? Hücrede bilgi akışı nasıl olur? 25

3. Bölüm
CANLILARIN SINIFLANDIRILMASI 33

6) Canlılar nasıl sınıflandırılır? 33
7) Dünya üzerinde isimlendirilebilen canlı türü sayısı kaçtır? 39

4. Bölüm
EVRİM 41

8) Canlılar nasıl çeşitlenmiştir? Evrim nedir? 41
9) Evrim fikri nasıl ortaya çıkmıştır ve gelişmiştir? 42
10) Evrimin çalışma mekanizması nedir? 49
11) Evrim kuramıyla ilgili yanlış bilinen noktalar nelerdir? 53
12) Evrimin kanıtları nelerdir? 60

5. Bölüm
SU ve DÜNYA DIŞI YAŞAM 67

13) Suyun yaşam için önemi nedir? **67**
14) Evrende yaşam nerelerde ortaya çıkabilir? Yaşanabilir bölge nedir? **70**
15) Dünya dışında yaşam var mıdır? **73**

6. Bölüm
YAŞAMIN KRONOLOJİK GELİŞİMİ 81

6.1. BÜYÜK PATLAMA 81

16) Evren nasıl ortaya çıkmıştır? **81**
17) Evrenin yapı maddesi nedir? **88**
18) CERN deneyleriyle yapılmak istenen nedir? Büyük Patlama tekrar gerçekleşecek mi? **90**

6.2. GÜNEŞ SİSTEMİ ve DÜNYA 93

19) Güneş Sistemi nasıl oluştu? **93**
20) Dünya ne zaman ve nasıl oluştu? **96**
21) Dünya'nın iç yapısı nasıldır? **98**
22) Ay nasıl oluştu? **101**
23) Suyun kaynağı nedir? **104**
24) Okyanuslar nasıl oluştu? **106**
25) Atmosfer nasıl oluştu? **108**
26) Dünya üzerindeki kıtalar nasıl oluşmuştur ve zaman içinde nasıl değişmiştir? **111**
27) Dünya'nın geçirdiği jeolojik devirler nelerdir? **117**

6.3. YAŞAMIN ORTAYA ÇIKIŞI 123

28) Dünyada yaşam ne zaman başlamıştır? **123**
29) Yaşam nerede başladı? **124**
30) Yaşam için gerekli öncü moleküller nelerdir? İlksel çorba kuramı ne söylemektedir? **125**
31) Miller deneyi ne anlatıyor? **131**
32) Kendini çoğaltabilen ilk molekül/sistem hangisidir? **134**
33) İlk hücre zarı nasıl oluştu? **138**
34) Eşeyli üreme nasıl ortaya çıktı? Avantajları nelerdir? **144**
35) Çokhücrelilik nasıl ortaya çıkmıştır? **149**
36) Ökaryotlar nasıl ortaya çıkmıştır? **154**
37) Fotosentezin evrimi dünyadaki yaşamı nasıl etkilemiştir? **160**

38) Ozon tabakası nasıl ortaya çıkmıştır ve canlılığın gelişmesi açısından önemi nedir? **164**
39) Kambriyen Patlaması adlandırması ne anlatır? **168**
40) Bitkilerin evrimi ve karalara yayılımı nasıl gerçekleşti? **172**
41) Dört-ayaklıların (tetrapodlar) evrimi nasıl gerçekleşti? **177**

6.4. DİNOZORLAR DEVRİ 180

42) Dinozor nedir? Temel özellikleri nelerdir? **180**
43) Dinozorların yaşadığı dönemin özellikleri nelerdir? **186**
44) Dinozorlar nasıl yok oldular? (oldular mı?) **188**

6.5. MEMELİLERİN GELİŞİMİ 191

45) Memeliler nasıl ortaya çıktılar? **191**

6.6. İNSANIN EVRİMİ 196

46) İnsan nasıl evrimleşti? **196**
47) İnsanın evrimindeki temel aşamalar nelerdir? Dünyaya nasıl yayıldılar? **202**
48) İnsanın 6 milyon yıllık evriminin kanıtları nelerdir? **209**

7. Bölüm
KİTLESEL YOK OLUŞ 215

49) Kitlesel yok oluş nedir? Dünya üzerinde canlılık hiç yok oluşun eşiğine geldi mi? **215**
50) Bugün 6. büyük kitlesel yok oluşun eşiğinde miyiz? Tehlike altındaki türlerin durumu nedir? **220**

Sonsöz 225

Yaşam Zaman Tablosu 226

Kaynaklar 227

Sunuş

Bir kitabın en nitelikli okuması, sanırım ya bizzat kitabın yazarıysanız mümkün ya da göreviniz ya da ereğiniz gereği kitapla sıkı fıkı bir ilişki içine giriyorsanız... Bu nedenle kendimi 50 Soruda dizisi kitaplarının en şanslı okuru sayıyorum. Kitapları yayma hazırlarken, metnin çeşitli açılardan işlenmesini de içeren görevim, metnin sunduğu bilgi çerçevesi, kurgusu, dil özellikleri, anlatımı vs. üzerine çalışma gerekliliği, çok yönlü ve etkin bir okuma yapmamı zorunlu kılıyor. Bu süreç de doğal olarak yıllardır düzenli düzensiz edindiğim bilimsel bilgilerin temel ve sistem kazanmasını sağlıyor. Bunda, 50 Soruda dizisinin niteliği de etken tabii. 50 Soruda kitapları, ele aldığı konudaki bilimsel birikimi sistematik bir biçimde yansıttığı gibi, ulaşılan son aşamaları da içermeyi hedefliyor. Bu da dizi kitaplarının genelini okuyan okur için, sağlam bir bilim kültürü altyapısı demek...

Okumakta olduğunuz kitap, yayına hazırlık sürecinde şunu düşündürttü bana: Ortaöğretimde bir "evrim" dersi olsa, Deniz Şahin'in yazdığı *50 Soruda Yaşamın Tarihi* kitabı, bu ders için bulunmaz bir kaynak olurdu... "İçindekiler" sayfalarında yer alan 50 soru başlığına göz atarsanız, sanırım bana hak vereceksiniz. Yazar kitabı, yaşam/canlılık ve yaşamın evrimiyle ilgili en temel bilgileri verecek ve bu konularda bilimsel bir bilinç oluşmasına yardım edecek şekilde kurgulamış; ama bununla yetinmemiş, ele aldığı konularla ilgili çok geniş bir çerçevede akla takılabilecek tüm noktaları ve popüler ilgi alanları-

nı da kitabın bağlamına katarak, birçok okuru yakalayabilecek zenginlik, güncellik ve ilgi çekicilikte bir içerik yaratmış: Örneğin "CERN deneyleriyle yapılmak istenen nedir?", "Dinozorlar Devri" başlıkları yazarın bu çabasını gösteriyor.

Yazar, bilimsel okumalar öncesinde oluşabilecek "anlaşılmazlık" önyargısını kırmak için de elinden geleni yapıyor. Yanıtları yalın bir kurguyla, şekillerden de yararlanarak ve tanık olduğumuza göre, çeşitli okurlar üzerinde test ettiği bir anlaşılırlıkla veriyor.

Deniz Şahin, 50 Soruda dizisinin şimdilik en genç yazarı. Kitabın ön kulağındaki özgeçmişinden okuyacağınız gibi, genç akademisyen kuşağının, evrim karşıtlığı özelinde gelişen bilimdışılıkla mücadele etmeyi kendine görev edinmiş üyelerinden. Tabii ki, yaşamın tarihinden söz etmek, asıl olarak evrimden söz etmeyi gerektirir. Ama yazarın "Evrim kuramıyla ilgili yanlış bilinen noktalar nelerdir?" biçiminde bir soru formüle etmesinde, az önce söz ettiğimiz niteliğinin belirleyici olduğunu sanıyorum.

Keyifle okumalar...

Elinizde özgün ve nitelikli bir örneğini tutmakta olduğunuz "50 Soruda" dizisi, bilimin ve felsefenin temel kuramlarını ve alanlarını konu edinen, Türkiyeli bilim insanlarının kaleme aldığı popüler bilim kitaplarından oluşuyor. Bu kitaplar, bilimin, anlaşılmaz, karmaşık, hayattan kopuk, soğuk, kuru ve teknolojiye indirgenmiş bir bilgi yığını olmadığını; tam tersine, evreni, doğayı, toplumu ve insanı anlamak için doğru anahtarlar sunan; bilme, öğrenme coşkusu uyandıran; en güvenilir bilgi kaynağı olduğunu ve sağlam bir düşünme yöntemi kazandırdığını gösterebilmeyi hedefliyorlar.

Bir aydınlanma hizmeti olarak tasarladığımız "50 Soruda" dizisinin 23 kitaplık listesinin tamamına ve bu kitapları edinebilmekle ilgili özel kampanya duyurularına, elinizdeki kitabın arka sayfalarından ulaşabilirsiniz.

Herkese bilim!

Nalân Mahsereci

Önsöz

Mustafa Kemal Atatürk'ün yeni nesillere bıraktığı en önemli miraslardan birisi, dünyaya bakış açımızı şekillendirecek bir düşünce biçimidir. Daima ileriye ve daha güzele gitme isteği bu düşünce şeklinin temelinde yatar. Bu isteği gerçekleştirebilme yeterliliğinin üzerine kurulduğu temel ise, bilim ve bilimsel düşüncedir. Bize düşen, bilimsel düşünceyi yaşamımızın temeline oturtmak ve sadece belirli yerlerde değil, tüm davranış ve kararlarımızda bilimselliği temel almaktır.

Bu yolda yapacağımız ilk ve en basit iş daha fazla bilmek için daha fazla okumaktır. Uğur Mumcu'nun "bilgi sahibi olmadan, fikir sahibi olunmaz" sözü bu duruma çok uygun bir söz. Bu yüzden "50 Soruda..." kitap dizisi projesi çok önemli bir görevi üstleniyor. Hayatımızı şekillendiren en temel konularda, bilinmesi gereken noktalar her okuyucunun anlayabileceği güncel bir dille anlatılıyor.

Bu dizinin bir parçası olan *50 Soruda Yaşamın Tarihi* kitabında, büyük patlamadan günümüze kadar geçen milyarlarca yıl içerisinde, evren, Güneş Sistemi ve Dünya'nın şekillenmesini, basit moleküllerden en karmaşık yapıdaki organizmaların nasıl oluştuğunu, milyarlarca yıllık evrim sonucunda yaşamın dünya üzerinde nasıl çeşitlendiğini, hangi aşamalardan geçerek günümüze geldiğini ele aldık. İnsanoğlunun, milyarlarca yıllık yaşam tarihinin son noktasında ortaya çıkışına ve dünyanın düzeni üzerindeki olumsuz etkilerine değindik. Yaşamın milyarlarca yıldır süren görkemli hikâyesi içinde ortaya çıkan milyonlarca farklı türün dünya üzerini sardığını, insanoğlunun ise bu türlerden

sadece bir tanesi olduğunu açıkça vurguladık. Verdiğimiz her bilgi, kaynaklara ve bilimsel deney sonuçlarına dayanmaktadır. Bu sonuçlar kolay elde edilmemiştir. Yüzlerce yıl boyunca sayısız bilim insanı, bilimin gelişmesi için hayatlarını feda etti. Yapılan binlerce deney, elde edilen sayısız kanıt sonucu, bilim günümüzdeki seviyeye ulaştı.

Bu noktada bizlere düşen, bu bilgiyi almak, özümsemek ve yaşamımızın temeline oturtmaktır. Daha çağdaş ve ileri bir yaşam için, daha çok bilmek için, daha çok okumalı, bilimsel ilerlemeden yana olmalı.

***

Son olarak kitabın yazım sürecinde bana destek olanlara teşekkür etmek istiyorum. Umarım gözden kaçırdığım kimse olmamıştır. Öncelikle, Bilim ve Gelecek yöneticisi Ender Helvacıoğlu ve editörümüz Nâlan Mahsereci'ye bu kitap dizisini kültür yaşamımıza kazandırdıkları ve bana gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı teşekkür ediyorum.

Aileme de desteklerini eksik etmedikleri için teşekkür ederim. Özellikle ablam Nevin Şahin, beni sürekli motive etmiştir. Tabii bir de ailemizin neşe kaynağı, yeni üyesi var. Yeğenim Doğa Şahin, henüz 19 aylık. Ona teşekkürümü bir fotoğrafını kitap içinde kullanarak vermek istedim. Cem Evren, Özay Özcan başta olmak üzere Manisa ve Havza'daki kuzenlerime, kitabın dili üzerine yaptıkları önerilerden dolayı teşekkür ederim. Umuyorum keyifle okuyacakları bir kitap olmuştur.

İTÜ Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü'nden teşekkür etmek istediğim çok arkadaşım var. Pınar Hüner, Ceren Alkım, Hasan Kahraman, Abdullah Sert, Sakip Önder, Urartu Özgür Şafak Şeker, Volkan Demir, Koray Yeşiladalı, Esra Yuca ve Anıl Cebeci başta olmak üzere adlarını buraya yazamadığım tüm arkadaşlarıma, kaynaklara erişmemdeki yardımları ve kitabın akıcılığı ve dili üzerine önerileri için teşekkürü borç bilirim. Kapak görseli uygulamasına katkılarından dolayı arkadaşım Cumhur Omay'a ayrıca teşekkür ederim.

Deniz Şahin,
Şubat 2010

1. Bölüm
BİLİMSEL YÖNTEM NEDİR?

1 | Bilimsel yöntem nedir? Nasıl bir yol izler?

"Bu, sadece bir teoridir."

Yukarıda okuduğunuz bu cümleyi belki her gün duyuyor olabilirsiniz. Günlük konuşmalarınızda, televizyonlardaki tartışmalarda ya da internette gezinirken karşınıza mutlaka çıkmıştır. Genel olarak bu ifade, kesin olmayan, kâğıt üzerinde mümkün ancak pratikte mümkün olmayan durumlar için kullanılır ve kaçınılmaz olarak da siz teori kelimesini her duyduğunuzda, aklınızda, "yetersizlik" içeren bir durum oluşacaktır. Bu durum çoğu yerde sizi yanlışa sürükleyecek bir sonuç oluşturmayabilir, ancak söz konusu durum bilimsel bir konu olduğunda, durum hakkında yanlış fikirlere kapılabilir, bilimsel olarak sunulan bir gerçek karşısında şüpheye düşebilirsiniz. Terimleri yanlış yorumladığınızda da, verilen bilgiyi kavramanız zorlaşacaktır.

Okuduğunuz bu kitap yaşam üzerine sorulmuş sorulara verilen bilimsel cevapları içeriyor. Bu cevaplar, sayısız bilim insanının türlü zorluklara karşı yürüttükleri çalışmalarının sonuçlarıdır. Yüzlerce yıl boyunca sınanmış,

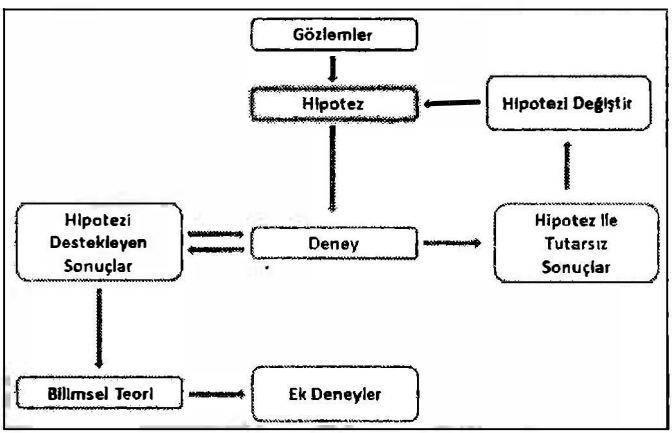
birikerek günümüze ulaşmış ve aklımızı meşgul eden temel sorulara cevap olarak karşımıza çıkmışlardır. Bilimin kendine özgü bir dili ve çalışma şekli vardır ve cevapların daha iyi kavranması için bilimsel yöntemden bahsetmek yararlı olacaktır. Aşağıda "teori" kelimesinin bilimsel kullanımındaki anlamını da göreceksiniz. Böylece, terimlere günlük kullanımda nasıl farklı anlamlar yüklenebildiğini de görmüş olacaksınız.

Bilimsel yöntemin izlediği yol

Bilim insanının en temel özelliklerinin başında meraklı olması geliyor diyebiliriz. Çevresinde olup biten doğal süreçleri, büyük bir merakla takip eder. Onları gözlemler, notlar alır, farklı gözlemleri birbiriyle karşılaştırır. Kısacası, bilgi toplar. Yapılan her gözlem ile birlikte, kaçınılmaz olarak, cevaplanacak sorular da beraberinde gelir. Bilim insanı da karşılaştığı bu sorunun çözümü için bilimsel yöntem adını verdiğimiz temel adımları takip eder. O halde bilimsel bir sorunun çözülmesine giden yoldaki ilk basamak olarak "gözlem" yapmayı sayabiliriz. (Şekil 1)

Gözlemle birlikte gelen sorunun çözülmesi için de elde edilen tüm bilgi kullanılarak, sorunun çözümüne yönelik bir fikir ileri sürülür. İşte bu fikir de "hipotez" olarak adlandırılır. Eldeki verilere uygun olmalıdır. Doğru ya da

Şekil 1. Bilimsel yöntemin temel adımları.



yanlış olabilir; ancak önemli olan nokta, hipotezin yapılacak deneylerle sınanabilir olmasıdır. Bir sorunun çözümü için birçok farklı hipotez ortaya sürülebilir.

Bir sonraki adım ise öne sürülen hipotezden "çıkarımlar" yapılması ve her çıkarımın da bilimsel deneylerle test edilmesidir. Yaptığınız her deneyle, öne sürdüğünüz hipotezi sınamış olursunuz. Deney grubu ile karşılaştırma yapabileceğiniz bir kontrol grubu kullanmanız, deney sonuçlarının sağlıklı şekilde elde edilmesini sağlayacaktır. Bilim insanları bilimsel makalelerinde yaptıkları deneylerin detaylarını da yazarlar. Farklı kişiler aynı deney şartlarını uyguladıklarında aynı sonuçları elde etmelidir. Bu, deneyinizin doğruluğunu gösterir.

Deney sonuçları hipoteziniz ile uyumlu olmak zorunda değildir. Tutarsız sonuçlar karşısında, tekrar hipotez aşamasına dönülerek hipotez gözden geçirilir ve gerekli düzeltme yapılır. Sonuçlara göre hipotez tamamıyla da terk edilebilir. Tutarlı sonuçlar elde edildiğinde ise deneylere devam edilir. Farklı bilim insanları tarafından uygulanan farklı yöntemler ile hipotez sınanmaya devam eder. Elde edilen her tutarlı sonuç ile hipotez teori olma yolunda ilerler.

"Teori" ise, yapılan kontrollü bilimsel deneylerle sürekli olarak doğrulanmaya devam eder. Teori, kendisini yanlışlayan bir sonuç elde edilmediği sürece, güçlenmeye devam edecektir. Sadece bir kısım bilim insanının değil, tüm bilimcilerin kabul edeceği somut deney sonuçlarına gerek duyar. Örnek vermek gerekirse, hücre teorisi canlıların hücrelerden oluştuğunu, atom teorisi maddelerin atomlardan oluştuğunu anlatır. Benzer şekilde evrim teorisi de canlıların ortak bir atadan gelerek nasıl çeşitlendiğini anlatır.

Örnek hipotez

Yöntemin daha iyi anlaşılabilmesi için basit bir örnek üzerinden devam edelim. Diyelim ki, mutfağa geldik ve buzdolabını açtığımızda çok kötü kokular almaya başladık. Bu yapmış olduğumuz gözlem sonucunda elde ettiğimiz

bir veri. Kokunun nereden kaynaklandığını düşünmeye başladığımızda aklımıza süt geliyor. Hem gözlemlerimiz hem de daha önceki deneyimlerimiz, bize sütün bozularak dolabı kokutmuş olabileceğini düşündürtüyor. O halde hipotezimiz, "Dolaptaki süt bozulmuş ise dolaptaki kötü kokuya neden olmuştur" şeklinde kurulabilir. Şimdi ise yapmamız gereken hipotezimizi sınamak. Yapacağımız en basit deney, sütün kapağını açarak koklamak. Eğer dolaptan aldığımız kokunun aynısını almıyorsak, hipotezimizi terk edebiliriz. Bu durumda farklı bir hipotez kurmamız gerekecektir. Ancak süt kutusundan da benzer kokuları alıyorsak, hipotezimizi sınamaya devam etmeliyiz. Örneğin, diğer yiyecekleri kontrol ederek kokunun onlardan da gelip gelmediğini anlamaya çalışabiliriz. Yaptığımız her test hipotezimizi sınayacaktır. Hipotezimiz testleri geçtiği sürece de güçlenecektir.

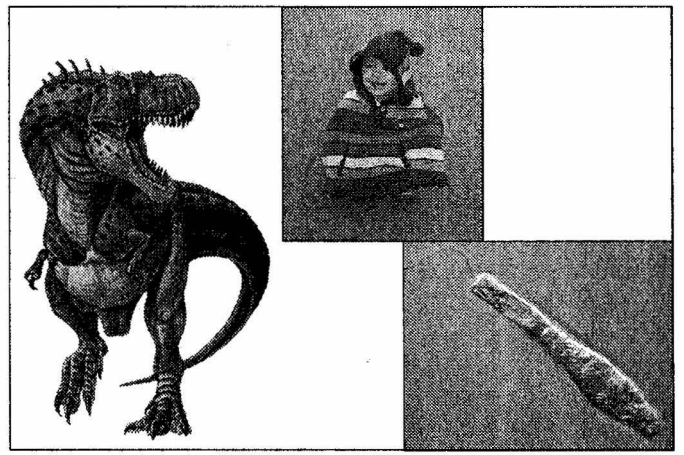
Bilimsel teoriler de hipotezlerin sayısız testten geçmesi sonucu ortaya çıkarlar. Burada temel olarak giriş yaptığımız bilimsel yöntemin ve ilgili terimlerin doğru şekilde kavranması, kitap boyunca karşımıza çıkacak konuları daha rahat kavramamızı sağlayacaktır.

2. Bölüm
YAŞAM NEDİR?

2 | Canlı nedir?

Ortalama ömrü 60-80 yıl arası olan biz insanlar için milyarlarca yıllık bir zaman dilimini kavramak kolay bir iş değil. Kısıtlı bir zamanda, kısıtlı bir çevrede yaşıyoruz ve bu yüzden olsa gerek, edindiğimiz bilgi ve deneyim, yaşamın dünya üzerindeki yolculuğunu tam olarak kavramamızı zorlaştırıyor. İlk canlılar, insanlar dünya üzerinde ortaya çıkmadan milyarlarca yıl önce ortaya çıktılar. Aradan geçen zaman ile milyonlarca farklı türe evrilerek dünya üzerinde yayılmadık çok az bir yer bıraktılar. Canlı çeşitliliği öyle büyük boyutlara ulaştı ki, çok farklı vücut yapılarına sahip türleri çok küçük bir alanda gözlemlemek mümkün oldu. Bütün bu farklılaşmaya karşı, bazı özellikler tüm canlılarda ortak olarak görülmeye devam etti. Peki, tüm canlılarda ortak olarak gözlenen bu özellikler nelerdir? Canlı ile cansızı birbirinden ayıran nedir? Kısacası canlı neye denir? (Şekil 2)

Canlının ne olduğu sorusu bilim dünyasının uzun zamandır cevabını aradığı sorulardan birisidir. Ortaya ko-



Şekil 2. Devasa hayvanlardan gözle göremediğimiz boyutlardaki hücrelere, yaşam milyonlarca farklı şekillerde karşımıza çıkmıştır. Solda, sayu 65 milyan yıl önce tükenen 13 metre uzunluğundaki *Tyrannosaurus rex* (fosil örneklerine göre yapılan çizim); sağda altta 50 mikrometre uzunluğunda tekhücreli pratista *Euglena gracilis* (1 mikrametre, metrenin milyonda biridir), sağda üstte 0,7 metre boyunda kız çocuğu.

nulan hipotezler, yaşamın tanımını yaparken farklı özellikleri ön plana çıkarmışlardır. Ancak bilim dünyasında kabul gören genel görüşe göre aşağıda sayacağımız temel özellikler canlı ile cansızı birbirinden ayırmaya yarayacaktır:

1) Canlı bir ya da daha çok hücreden oluşan bir "organizasyona" sahiptir. Kurduğu bu organizasyon sayesinde kendi devamını sağlayabilir.

2) "Homeostaz" adı verilen bir iç düzeni vardır. Canlı dış dünyadan gelen etkiler karşısında iç dengesini koruyabildiği sürece yaşamını sürdürecektir.

3) Sahip olduğu iç dengeyi koruyabilmenin temelinde, dış çevreden gelen uyarılara "tepki verebilme" kabiliyeti bulunur. Çevreden gelen etkileri algılayıp belirli tepkiler verirler. Bu tepkiler büyük sıklıkla hareket şeklinde olabilir. Çiçek yapraklarının güneşe doğru yönelmeleri örnek verilebilir. Verilen tepkilerin sonucu olarak da çevreye uyum gösterilir (adaptasyon). Bu da canlının evrilmesinin temelinde yatan gerekliliktir.

4) "Metabolizmaya" sahiptir. Başka bir deyişle, hücre içinde yapım ve yıkım işlerini sürdürür. Hücre içi kısımların yapımı için (anabolizma) enerji ve kimyasallar kullanır ve gerektiğinde hücre içindeki organik materyalin yıkımını gerçekleştirir (katabolizma). Bu kimyasal tepkimeleri düzenli bir şekilde gerçekleştirebilmek için enerji kullanır.

5) Canlılar "büyürler" ve "çoğalırlar" Organizmayı oluşturan her parça zaman içerisinde boyut olarak büyür. Belirli bir zamandan sonra sayısal olarak da artarlar. Bunu aseksüel olarak yani bölünerek ya da seksüel olarak yani başka bir organizma ile genetik materyalini birleştirerek gerçekleştirebilirler.

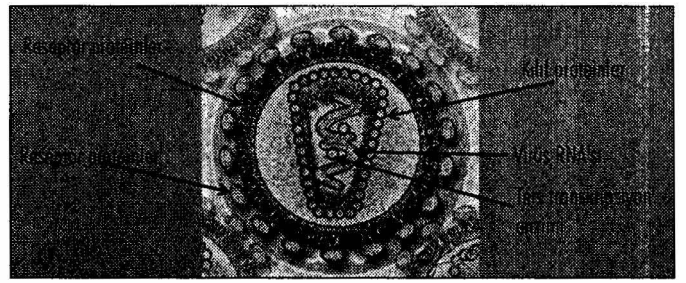
6) Canlılar DNA ve/veya RNA olarak bilinen "nükleik asitleri" taşır. Bu moleküllerde depolanan bilgiler yeni nesillerin meydana getirilebilmesi için kullanılır ve nesilden nesile aktarılır.

7) Genetik yapısında değişiklik geçirir (mutasyon) ve bunun sonucunda da zaman içerisinde "doğal seçilime" uğrar.

Bununla birlikte bu özelliklerin her birini ayrı ayrı gerçekleştiren cansız sistemler de bulabiliriz. Bu yüzden de canlıyı tanımlarken bu özelliklerin çoğunu bir bütün olarak almak daha mantıklı olacaktır. Yaşam bütünleşik bir sistem (biyosfer) oluşturur. Bu sistemin hafızası vardır, yönlenerek hareket eder, üreyerek çoğalır, metabolizmaya sahiptir ve enerji akışını düzenler. Fizik açısından yaşamın tanımını yapmaya çalışırsak şöyle diyebiliriz: Yaşam, sistem ile çevresi arasındaki bir etkileşim ya da bir oyun sürecinin sonucudur. Oyun süresince sistem daha önceki turdaki kazanç ve kayıpları hatırlayacak bir kabiliyet geliştirmeli ve bu şekilde de bir sonraki tura kalabilme şansı yakalamalıdır.

Virüsler canlı mıdır?

Çok sık olarak sorulan sorulardan biri de virüslerin canlı olup olmadıklarıdır. Virüsler, genetik malzemeye sahiptir, doğal seçilim yoluyla evrilir ve kendilerini ço-



Şekil 3. AIDS hastalığına yol açan HIV virüsü.

ğaltabilirler. Ancak kendi içlerinde metabolizmaya sahip değildirler ve bunun için de konak bir organizmaya ihtiyaç duyarlar. Tek başlarına bakıldığında bir canlıdan çok kimyasal bir yapı gibidirler. İç kısımda DNA ya da RNA'dan oluşan genetik materyal, dış kısımda protein kılıf ile çevrilidirler. Bu anda bir canlının özelliklerini gösterdikleri söylenemez. Ancak hücre içerisine girdikleri andan itibaren, hücrenin olanaklarını kullanarak aktif bir canlı gibi çalışır ve kendi kopyalarını oluştururlar. Bu yüzden çoğu bilim insanı virüsleri, "canlılar ile cansızlar arasındaki sınır noktasında" şeklinde tanımlar. (Şekil 3)

3 | Yaşamın organizasyonu nasıldır? Sınırları nelerdir?

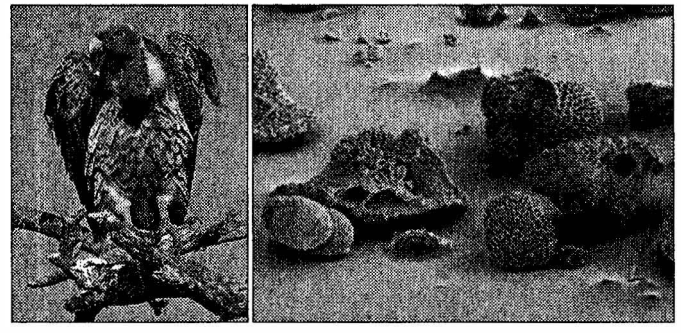
Biz insanlar, yıllarımızı dar bir çevre içerisinde geçirmek zorunda kalıyoruz. Yaşam koşulları ve özellikle şehirleşmenin artışıyla doğadan her gün biraz daha uzaklaşıyoruz. Bu yüzden dünya üzerindeki canlı çeşitliliğini, yaşamın ulaşabildiği sınırları ve oluşturduğu organizasyonu daha iyi kavrayabilmek için daha geniş bir açıdan bakabilmeye ihtiyacımız var.

Diyelim ki, Dünya'nın çevresinde yörüngede dönmekte olan bir uzay istasyonundayız ve pencereden Dünya'ya doğru bakıyoruz. Gördüğümüz bu manzara, dünya üzerindeki yaşamın organizasyonunda en yüksek seviye ya

da en büyük yapıtaşı olan biyosferi daha kolay anlamamızı sağlayacaktır. "Biyosfer", dünya üzerinde canlılığın bulunduğu bölgelerin toplamına verilen isimdir. Tüm canlı ve cansız varlıklar bu alanda birbirleriyle etkileşim içerisinde bulunur. Toplam genişliğinin tam olarak ne kadar olduğunu söylemek mümkün olmasa da yaklaşık bir değer verilebilir. Örneğin, benekli akbabaların 11.000 metreden daha yüksekte uçabildiği bilinmektedir. Bu seviyeden çok daha yükseklerde mikroorganizma örneklerine de rastlanmıştır. Denizlerin diplerine gidecek olursak, yüzeyden 11 km derinlerde foraminifera (delikliler) adı verilen tekhücreli organizmalar bulunmuştur. Ulaşılması güç bölgelerde yeni canlılar keşfedildikçe, biyosferin sınırları da genişlemektedir. (Şekil 4)

Canlılar biyosfer içinde sadece geniş bir alana yayılmakla kalmadılar, aynı zamanda geniş bir sıcaklık, pH (asit-baz), radyasyon vb. aralığında da yayıldılar. Örneğin, Arkea âleminden bazı mikroorganizmalar (*Pyrolobus fumarii*), deniz altında bulunan ve magmanın toprağın altından çıkış yaptığı yerler olan hidrotermal bacaların üzerinde yaşamaktadır. Bu organizmaların 113 °C sıcaklıkta yaşayabildiği biliniyor. *Marinomonas primoryensis* adı verilen bakteriler de Antartika'da bulunan göllerde -20 °C sıcaklıklara kadar yaşayabilmektedir. Arkea âleminden *Ferroplasma acidarmanus* adı verilen mikroorganizma pH'ın 0'a yakın olduğu asit madenlerinde yaşayabilir. *De-*

Şekil 4. Solda benekli akbaba (Ruppel's griffon), sağda ise foraminifera örnekleri.



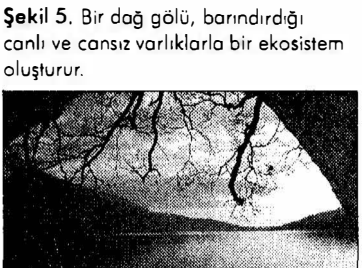
inococcus radiodurans adı verilen bakteriler de, yüksek radyasyon altında (insanın yaşayabileceğinin 3000 katı) yaşamaya devam ederler. Tüm bu örnekler bize canlılığın sınırlarının bizim düşündüğümüzden çok daha uç noktalara gidebileceğini gösteriyor.

Devam edelim ve pencereden bakmak yerine bu sefer de gelişmiş bir teleskopla Dünya'ya baktığımızı düşünelim. Daha yakma gelelim. Biyosferden sonra karşımıza ilk çıkan yapıtaşı ya da organizasyon "ekosistem" olacaktır. Ekosistem, belirli bir bölgede bulunan tüm canlı ve cansız çevreden oluşmaktadır. Hava, toprak, su, kayalar ve tüm canlı türleri birbirleriyle etkileşim halinde ekosistemin parçalarını oluşturacaktır. Küçük bir su birikintisi de, Sahra Çölü de birer ekosistemdir. Dünya yüzeyi birbirleriyle etkileşim halinde olan ve sürekli olarak değişen ekosistemlerle kaplanmıştır.

Örneğin, Şekil 5'de görüldüğü gibi bir dağ gölü bir ekosistem oluşturmaktadır. Göl içerisinde, canlı ve cansız varlıklar etkileşim halinde bulunur. Ekosistemler değişken olsalar da, belirli bir dengeye sahiptirler. Ekosistemi oluşturan bileşenler arasında, enerji döngüsü ve besin zinciri kurulmuştur. Ekosistem içerisinde bulunan farklı canlı gruplarının hepsine birden ise "komunite" adı verilir.

Eğer daha detaya inecek olursak, bir sonraki seviyemiz "popülasyon" seviyesidir. Popülasyon aynı türden bireylerin belirli bir bölgede oluşturduğu topluluk olarak adlandırılabilir. Popülasyon tek bir türden oluşur, ancak aynı bölge içinde farklı türlerin oluşturduğu farklı popülasyonlar da bulunur.

Şekil 5. Bir dağ gölü, barındırdığı canlı ve cansız varlıklarla bir ekosistem oluşturur.



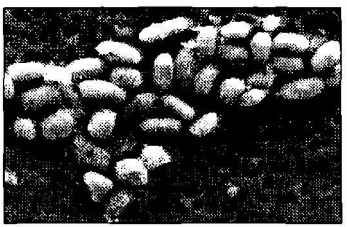
Ve sonunda "bireye" (canlı organizmaya) geldik. Yani doğrudan canlının kendisine. Şimdi kısaca bireyin de detaylarına inerek yapıtaşlarının neler olduğuna bakalım. Organizmalar birbirlerin-

den farklı yapılanmalar geçirir. Bir kısmı organ ve dokular gibi ara seviyede organizasyon içerse de, tüm canlıların ortak yapıtaşı hücredir. İster tekhücreli isterse çokhücreli olsun, tüm canlılar hücrelerden oluşmuştur. Hücre, yaşamın en küçük birimi olarak gösterilebilir. 5. Soruda hücreyi oluşturan temel moleküllerden de bahsedeceğiz.

4 | Arsenik seven bakteriler: Yaşamın biyokimyasının tanımı değişiyor mu?

Sıradışı ortamlarda yaşayan canlılara bir örnek de arsenikte yaşayabilen bakteriler. 2010 Aralık ayının başında, NASA'dan araştırmacılar, özel bir basın toplantısıyla Kaliforniya'da bulunan Mono Gölü'nden izole edilen (tuz ve arsenik oranı yüksek bazik bir ortam) ve GFAJ-1 (*Halomonadaceae* türü-yüksek tuz koşullarında yaşayabilen türler) adı verilen bakterinin yapısında fosfor (P) yerine arsenik (As) kullandığını açıkladılar. (Şekil 6)

Bu, yaşamın kimyasını yeniden tanımlayacak bir gelişme olabilir. Şimdiye kadarki bilgilerimize göre 6 temel element tüm canlıların yapısında bulunur: Karbon (C), hidrojen (H), azot (N), oksijen (O), kükürt (S) ve fosfor (P). Bu elementler hücrede bulunan nükleik asit, protein ve yağ gibi biyomoleküllerin yapısına katılarak, yaşamın temelini oluşturur. Ancak teorik olarak diğer bazı elementler bu 6 ana elementin yerini alarak aynı görevleri yerine getirebilir. Örneğin, arsenik periyodik tabloda fosfor ile aynı gruba girer ve yapısal olarak fosfora benzer. Bu yüzden de biyomoleküller içinde kolayca fosforun yerini alabilir, ancak arsenikli yapı çalışmaz. Bu yüzden de arsenik toksik özellik gösterir.



Şekil 6. GFAJ-1 bakterisinin mikroskopik görüntüsü.

Ancak bu çalışmada söz edilen bakteri, toksik olan arsenikli ortamda yaşayarak, bize yaşamın sınırlarının düşündüğümüzden çok daha geniş olabileceğini gösteren bir örnek.

Basın toplantısında vurgulanan ve bilim dünyasında çok ses getiren asıl önemli nokta ise, bakterinin arsenikli ortamda sadece yaşayabiliyor olması değil; aynı zamanda arseniği yapısına katarak fosforun yerine kullanmasıdır. Yapılan çalışmada, göl ortamından izole edilen bakteriler laboratuvarda fosfor içermeyen ancak yoğun arsenik içeren bir ortamda büyütülmüş. Araştırma sonucuna göre bakteri, nükleik asit (DNA-RNA) ve ATP gibi en temel yapıtaşlarında fosforun yerine arseniği kullanıyor.

Bu canlılık için gerekli elementler listesinden fosforu çıkaracak bir gelişme olabilir. Fosfor ile arseniğin bu şekilde yer değiştirmesi, yapıya katılan diğer tüm elementlerin de benzer biçimde diğer başka elementlerle yer değiştirmesinin söz konusu olabileceği anlamına geliyor. Böylece yaşamın tanımı, temel yapıtaşları gibi kavramlar, düşündüğümüzden daha da genişliyor. Dünya üzerinde yaşamın evrimi, diğer gezegenlerde yaşam araştırmaları, organik kimya, biyojeokimyasal döngüler, hastalıkların önlenmesi gibi konular bu gelişmeden etkilenebilir.

Ancak şunu da belirtmek gerekiyor ki, NASA'nın açıkladığı bu çalışmanın devamının getirilerek, yer değiştirme mekanizmalarının daha net olarak ortaya konulması gerekiyor. Birçok bilim insanı araştırmada gösterilen kanıtların yeterli olmadığını ve arseniğin fosforun yerini tamamen karşıladığını kanıtlamadığını öne sürüyor.

Sonuç olarak yeni buluş, üzerinde şüphe bırakmayacak şekilde bilimciler tarafından sınanmalı ve yeni kanıtlar ortaya konulmalı. Ancak bu arada, yaşamın ortaya çıkışı, uzayda yaşam araştırmaları gibi konularda, bu araştırmada olduğu gibi sıradışı durumlarla da karşılaşma olasılığına hazır olmalıyız.

5 | Hücrenin temel yapıtaşları nelerdir? Hücrede bilgi akışı nasıl olur?

Tüm canlılar hücrelerden oluşmuştur ve her hücre içinde de sayısız molekülün görev aldığı karmaşık bir sistem devam etmektedir. Bu karmaşık sistemin devam ettirilmesi, organizmanın varlığını sürdürmesini ve sahip olduğu genetik bilgiyi bir sonraki nesile aktarabilmesini sağlayacaktır. Bu kargaşa içerisinde DNA, RNA ve protein, görev yapan en temel biyomoleküllerdir ve bu moleküllerin yapılarının kavranması, organizmanın atalarından gelen bilgiyi nasıl işlediğini ve kendi devamını nasıl sağladığını anlamamızı kolaylaştıracaktır. En basit şekliyle söylemek gerekirse, atalarımızdan gelen genetik bilgi DNA'mızda yazılıdır ve bu bilgi RNA molekülü yardımı ile okunarak asıl işgücü olan proteinlerin üretilmesi için kullanılacaktır. Şimdi sırasıyla bu üç temel molekülün yapısından ve aralarındaki bilgi akışından bahsedelim.

Genetik malzemeler (nükleik asitler)

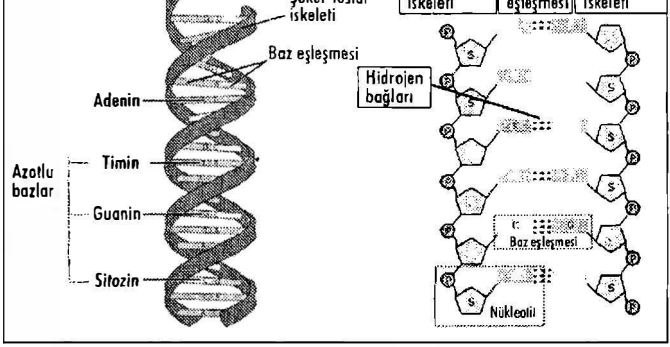
DNA (deoksi ribonükleik asit) hücre içindeki her türlü fonksiyon için gerekli bilginin depolandığı yerdir. 1953 yılında ünlü bilim insanları James Watson ve Francis Crick, İngiliz bilim kadını Rosalind Franklin'in verilerini yorumlayarak DNA'nın yapısını ortaya koymuşlardır. Bu yapı ikili sarmal olarak bilinir ve karşılıklı iki DNA zincirinin (ipliğinin) birbirine bağlanmasıyla oluşur. (Şekil 7)

Nükleik asitlerin (DNA ve RNA) en küçük yapı birimi nükleotit adını alır. Her bir nükleotit bir fosfat grubu, beş karbonlu pentoz şekeri ve azot içeren organik bir bazdan oluşur. DNA'yı oluşturan dört farklı nükleotit, içerdikleri farklı baz gruplarına göre adlandırılır. Bunlar adenin (A), guanin (G), timin (T) ve sitozindir (C). Bu temel yapıtaşlarının uç uca eklenmesi ile DNA ipliği oluşur. A ile T bağlanırken, G ile de C bağlanır ve bağlanma için kullanılan hidrojen bağları ikili sarmal yapıyı bir arada tutan temel kuvvettir.

Her farklı türün sahip olduğu DNA uzunluğu birbirinden farklıdır. Örneğin, *Eschericia coli* bakterisinin DNA'sında 4 milyon baz bulunur ve bunu düz bir çizgide ip gibi uzatacak olursak 1 mm uzunlukta olacaktır. İnsan DNA'sında ise bakteriden çok daha fazla sayıda, toplam 3 milyar adet baz bulunur. Tüm bu bilgiyi yazmak istesek, 500 sayfalık 4000 kitap doldurabiliriz. Tüm DNA'mız hücre içinde 23 kromozom halinde paketlenmiştir ve bir iplik gibi açacak olursak yaklaşık 1 metrelik bir uzunlukta olacaktır. Normal bir insan hücresi ortalama 10 mikrondur (1 mikron=1 m/1.000.000) ve bu kadar küçük bir alana toplam 1 metrelik DNA paketlenerek sığmıştır. Doğal olarak, insanın tüm hücrelerinde bulunan toplam DNA uzunluğu ise çok çok daha fazladır. Bir insanda bulunan toplam hücre sayısını kesin olarak bilmesek de, 50-100 trilyon arasında olduğu tahmin edilmektedir. Her bir hücrede ortalama 1 m uzunluğunda DNA olduğundan, bir insan vücudunda bulunan toplam DNA uzunluğu 50-100 milyar km edecektir. Bu uzunluk Dünya ile Güneş arasındaki mesafenin 300 katından fazladır.

RNA (ribonükleik asit) molekülü de, benzer şekilde, nükleotitlerin uç uca eklenmesi ile oluşur. Her bir nükleotidin yapısında bir fosfat grubu, beş karbonlu bir riboz

Şekil 7 Solda, nükleotitlerden oluşan iki zincir hidrojen bağlarıyla bağlanmış. P: Fosfat, S: Şeker, A: Adenin, T: Timin, C: Sitozin, G: Guanin. Sağda ise, DNA molekülünün ikili sarmal yapısı ve üzerindeki nükleotitler görünüyor.

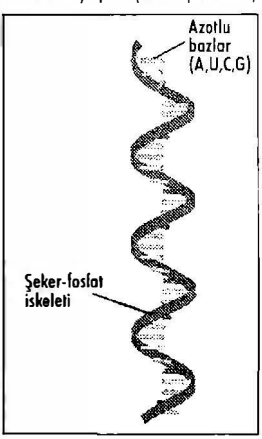


şekeri ve azot içeren organik bir baz bulunur. DNA'da olduğu gibi RNA'da da adenin (A), guanin (G), ve sitozin (C) bulunur. Ancak RNA'da timin (T) bazı yerine urasil (U) bulunur. RNA, DNA'dan farklı olarak, hücrede genellikle tek iplik (tek zincir) halinde bulunur. (Şekil 8)

Hücrede bulunan farklı RNA molekülleri farklı görevler için kullanılır. Mesajcı RNA (mRNA) adı verilen molekül, hücrede protein sentezlenmesi sırasında DNA'dan kopyalanan bilgilerin ribozoma taşınmasında görev yapar. Taşıyıcı RNA (tRNA), ribozomda protein sentezlenmesi aşamasında amino asitleri getirerek uç uca ekleyecektir Ribozomal RNA (rRNA) ise, protein üretiminin yapıldığı organeller olan ribozomların yapılarında bulunur ve katalitik görevleri vardır. Bu temel RNA tipleri dışında özellikle gen regülasyonunda (düzenlenmesinde), DNA replikasyonunda (kopyalanmasında), mRNA modifikasyonunda (işlenmesinde ya da değiştirilmesinde) görevli birçok farklı RNA tipi de vardır. Örneğin, siRNA, snRNA, snoRNA gibi. Hem DNA hem de RNA tüm canlılarda bulunur; canlıların ortak bir atadan türediğinin önemli bir göstergesidirler.

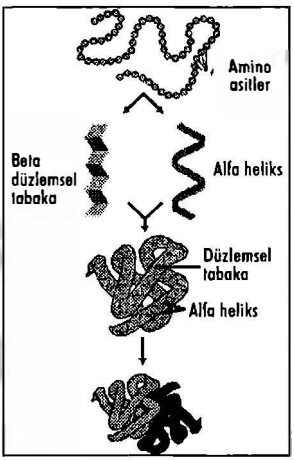
Virüs dışındaki tüm organizmalarda her iki molekül de bulunur, ancak virüslerde genel olarak bu moleküllerden bir tanesi bulunur. Virüs sadece DNA ya da RNA içerir. Örneğin, HIV gibi bazı virüslerde genetik malzeme olarak sadece RNA vardır.

Şekil 8.
RNA yapısı (mesajcı RNA)



Proteinler

Şimdi, hücrenin en temel moleküllerinden birisi olan proteinlerle devam edelim. Proteinler hücrenin yapıtaşıdır, hücrede sayısız görevi yerine getirirler. Proteinlerin en küçük yapı birimi olan amino asitler birbirine peptit bağları ile bağlanarak uzun



Şekil 9. Protein yapısı: Birincil yapı, ikincil yapı, üçüncül yapı ve dördüncül yapı.

zincirler meydana getirir. Bu yapıya proteinin birincil yapısı adı verilir. Amino asit dizisinin sırası, hücrenin genlerinde yazılı olan şifreye göre belirlenir. Amino asitlerin kendi aralarında yaptıkları hidrojen bağları sayesinde proteinin ikincil yapısı ortaya çıkar. Beta düzlemsel tabaka ve alfa heliks yapıları örnek verilebilir. Bir sonraki organizasyon ise proteinin fonksiyonel olması için gerekli olan üç boyutlu şekli aldığı yapıdır ve üçüncül yapı adını alır. Alfa heliksler ve beta düzlemsel tabakaların da birbirleriyle bağlanmaları sonucu oluşur. Son olarak da dördüncül yapı gelir. Bazı proteinler birden fazla alt birimden oluşur. Her bir alt birim üçüncül yapıya sahip bir polipeptidtir. (Şekil 9)

İnsanlarda 20 değişik amino asit bulunur. Bu amino asitlerin protein içinde farklı dizilişleriyle her bir protein farklı üç boyutlu şekillere girer ve bu şekilde de hücre içinde sayısız görev alabilir. Hücre içinde üretilen proteinlerin yürüttükleri görevlerin bir kısmını şöyle özetleyebiliriz:

a) Hücre ve dokularda "yapıtaşı" olarak kullanılırlar. Örneğin, alfa-keratin saçların yapısında bulunan bir proteindir.

b) "Enzim" olarak görev yaparak hücrede gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonları katalizlerler. Örneğin, yediğimiz proteinler midede bulunan pepsin enzimi ile parçalanır.

c) "Taşıyıcı" olarak görev yaparlar. Hücredeki birçok küçük molekül ya da iyonun taşınmasından sorumludurlar. Örneğin, kanda bulunan hemoglobin proteini oksijen taşınmasında görevlidir.

d) Özellikle hücre zarlarında bulunan proteinler "reseptör" görevi yapar ve dışarıdan gelen uyarıları algılayarak hücrenin uyarıya vereceği tepkinin gelişmesini başlatır. Göz retinasında bulunan rodopsin, gelen ışığı algılayabilen bir proteindir.

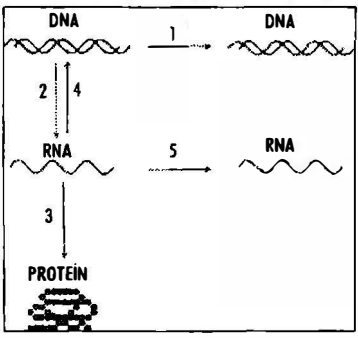
d) Hücre içinde ya da hücreler arasında "sinyal aktarımını" sağlarlar. Birçok hormon protein yapıdadır. Örneğin insülin hormonu kandaki şeker seviyesini kontrol eden küçük bir proteindir.

f) "Gen regülasyonu" da proteinlerin görevleri arasındadır. DNA üzerine bağlanarak belirli bir genin çalışmasını engelleyebilir ya da geni aktif hale getirebilirler. Örneğin, MetJ proteini DNA üzerine bağlanarak metionin amino asitinin sentezlenmesini engeller.

Hücrede bilgi akışı - "santral dogma"

Bu üç temel molekül, yani DNA, RNA ve proteinler dışında, hücrede karbonhidrat, yağ, iyonlar gibi sayısız molekül birlikte çalışarak hücre içi düzenin devamını sağlar. Ancak yukarıda sıraladığımız üç temel biyomolekül, atalarımızdan aldığımız bilginin akışında temel basamakları oluşturur. Şimdi bu bilgi akışından bahsedelim.

Hücre içindeki tüm faaliyetler, hücrenin sahip olduğu genetik malzemede yazılı olan bilgi tarafından belirlenir. Bu bilginin etkili bir şekilde okunması ve yorumlanması organizmanın devamlılığını sağlayacaktır. Şekil 10'da, hücre içinde bilginin akışı gösteriliyor. Santral dogma (central dogma) adı verilen ve hücrede bilginin akış yolunu gösteren bu sisteme göre DNA'dan RNA'ya ve oradan da proteine doğru bir gidiş vardır.



Şekil 10. Hücredeki üç biyopolimer arasındaki bilgi akışı (santral dogma).

1) Hücre bölünmesi için, var olan DNA'nın çoğaltılması gerekir, bu

şekilde bilgi kopyalanarak yeni hücreye aktarılacaktır. DNA'nın çoğaltılmasına "replikasyon" adı verilir.

2) DNA'da bulunan ve gen adı verilen bölgeler kopyalanarak RNA'ya aktarılır. Farklı RNA'lar farklı görevler için kullanılır. Bu işleme "transkripsiyon" adı verilir.

3) Hücresel reaksiyonlarda kullanılmak üzere gereken proteinlerin sentezlenmesi için mRNA üzerine yazılan bilgi kullanılır. mRNA ribozoma giderek protein sentezlenmesi için kullanılır. Bu işleme de "translasyon" adı verilir.

4) Bazı virüslerde ise genetik malzeme RNA'dır ve bilgi RNA'dan DNA'ya aktarılır. (Ters yönde; örneğin, AIDS hastalığına yol açan HIV virüsü gibi.)

5) Birçok virüs "RNA replikasyonu" yoluyla RNA moleküllerini çoğaltmaktadır. RNA'dan RNA sentezini sağlayan RNA-bağımlı RNA polimeraz enzimi birçok ökaryot hücrede de bulunur.

Buradaki önemli noktalardan birisi, bilgi akışının belirli bir yönde oluşudur. Genel olarak DNA'dan proteine doğru bir gidiş vardır ancak, proteinden proteine ya da proteinden nükleik asitlere doğru bir gidiş yoktur.

Bu üç temel molekül, yani DNA, RNA ve proteinler üzerine yapılan çalışmalar, bilim dünyasını da derinden etkilemiş ve birçok bilim insanının Nobel kazandığı sonuçlar elde edilmiştir.

1962 yılında James Watson, Francis Crick ve Maurice Wilkins, Fizyoloji veya Tıp Nobel'ini DNA'nın keşfi üzerine daha önceki çalışmalarıyla alırken, 1968 yılında da aynı ödül Robert W. Holley, Har Gobind Khorana ve Marshall W Nirenberg'e genetik kodun yorumlanması ve protein sentezindeki fonksiyonu üzerine yaptıkları çalışmalar nedeniyle verildi. RNA üzerine yapılan çalışmalar da birçok bilim insanına Nobel Ödülü getirdi. İspanyol bilim adamı Severo Ochoa 1959 yılında Fizyoloji veya Tıp Nobel Ödülü'nü RNA sentezleyen polinükleotit fosforilaz enzimini bulduğu çalışmasıyla kazandı (ödülü Arthur Kornberg ile paylaşmıştı). Enzimin aslında RNA sentezinde değil, parçalanmasında görevli olduğu ortaya

çıkarılacaktı. Fizyoloji veya Tıp Alanı Nobel Ödülü'nü 1968'de Robert Holley (Har Gobind Khorana ve Marshall Nirenberg ile paylaştı) maya tRNA'sının nükleotit bazlarını dizilediği çalışmasıyla, 1975 yılında David Baltimore, Renato Dulbecco ve Howard Temin RNA'dan DNA'ya bilgi akışını sağlayan ters transkriptaz (reverse transcriptase) enzimini keşfettikleri çalışmalarıyla, 1989 yılında Thomas Cech ve Sidney Altman katalitik RNA'yı keşfettikleri daha önceki çalışmalarıyla, 1993 yılında Philip Sharp ve Richard Roberts intron ve "RNA işlenmesi"[1] buluşlarıyla, kazandılar. 2006 yılında Andrew Fire ve Craig Mello RNA interference (engelleme) üzerine çalışmalarıyla Tıp veya Fizyoloji Nobel Ödülü'nü alırken, Roger Kornberg ise aynı yılın Kimya Nobel Ödülü'nü RNA transkripsiyonu üzerine çalışmasıyla aldı.

Frederick Sanger ilk defa bir proteinin (insülinin) amino asit dizisini ortaya çıkardığı çalışması nedeniyle 1958 yılında Kimya Nobel Ödülü'nü alırken, Max Perutz ve John Cowdery Kendrew hemoglobin ve miyoglobin proteinlerinin üç boyutlu yapılarını ortaya çıkardıkları için 1962 yılında aynı ödülü paylaştılar.

1) **İntron**: RNA'dan kodlanmadan atılan kısım. **Exon**: RNA'da kodlanan kısım. **RNA işlenmesi (RNA splicing)**: RNA'dan intronların çıkarılıp exonların birleştirilmesi.

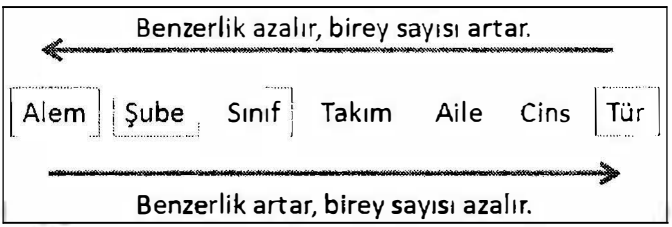
3. Bölüm
CANLILARIN SINIFLANDIRILMASI

6 | Canlılar nasıl sınıflandırılır?

Günümüzde isimlendirilebilen farklı tür sayısı 2 milyona yakındır. Var olduğu tahmin edilen tür sayısı ise bundan çok daha fazladır. Peki, bu kadar fazla sayıdaki organizmayı birbirleriyle ilişkilerine, yakınlıklarına ve akrabalık derecelerine göre nasıl ayırabiliriz? Bu uğraş binlerce yıl öncesinde ortaya çıktı ve zamanla gelişerek bugünkü modern sınıflandırma sistemlerini oluşturdu. Yüzyıllar boyunca, doğa araştırmalarının en temel bileşeni, organizmaları sınıflandırmak olmuştur.

Tarih boyunca sınıflandırma yöntemlerinin sürekli bir değişim halinde olduğunu görürüz. Yeni bulgular değişik sistemlerin öne sürülmesine yol açmıştır. Bugün bile birden fazla sınıflandırma sistemi kabul görmektedir. Gittikçe daha iyi bir sınıflandırma sistemine doğru gidiş olsa da, her sistem değişikliklere açıktır.

Bilinen ilk sınıflandırma metodunu Aristoteles (MÖ 384-322) getirmiştir. Canlıları çok temel gözlemlenebilir fiziksel özelliklerine göre bitkiler ve hayvanlar olarak iki



Şekil 11. Linnaeus sınıflandırma sistemine göre hiyerarşik canlı grupları.

temel gruba ayırmıştır. Alt gruplara ayırmak için de canlı hareketlerini gözlemlemiş ve havada uçabilenler, suda yüzebilenler ya da karada yaşayanlar şeklinde bir sınıflandırmaya gitmiştir.

Devam eden yüzyıllarda birçok bilim insanı canlıların sınıflandırılmasına katkı sağlasa da, modern taksonominin (sınıflandırma bilimi-sistematik) ortaya çıkışını İsveçli bilim insanı Carolus Linnaeus (Carl von Linne olarak da bilinir, 1707-1778) sağlamıştır. 1735 yılında yayımladığı *Systema Naturae* isimli kitabında "Linnaeus sınıflandırması" olarak bilinen bir yöntem getirmiştir. Canlıları temel olarak iki âleme (bitkiler ve hayvanlar) ayırmıştır, ancak her âlem içerisinde de hiyerarşik bir organizasyon şeması geliştirmiştir. Organizmaların paylaştıkları fiziksel özelliklere göre ayrıldıkları bu hiyerarşik gruplar sırasıyla; âlem, şube, sınıf, takım, aile, cins ve türdür. Üst kısımda bulunan âlem, şube ve sınıfta daha fazla organizma bulunurken, organizmalar arası benzerlik daha azdır. Hiyerarşinin alt tarafında bulunan aile, cins ve türe gelindiğinde ise organizma sayısı azalırken benzerlik artmaktadır. Bu sınıflandırma genel olarak, canlıları, gözlemlenebilir fiziksel (morfolojik) özelliklerindeki benzerliklere göre gruplara ayırmaktadır. (Şekil 11)

19. yüzyılda Ernst Haeckel (1834-1919), canlıları üç âlem altında toplamıştır: Bitkiler, hayvanlar ve protistalar (tekhücreli ökaryot ve prokaryotları içeriyordu). Bu sınıflandırma da gözlemlenebilen fiziksel özellikler kullanılarak yapılmıştır. Protistaların eklenmesi mikroskobun icat

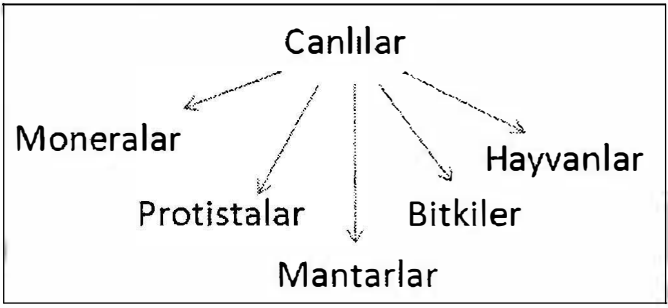
edilmesinin bir sonucu olmuştur. Şimdiye kadar bilinmeyen yeni bir dünya, insanoğluna açılmış ve mikroskobun daha da geliştirilmesiyle birlikte tekhücreli organizmaların incelenmesi kolaylaşmıştır.

Canlılar arasındaki çeşitliliğin anlaşılmasındaki en önemli adımlardan birisi, 19. yüzyılda İngiliz doğa bilimci Charles Darwin tarafından atıldı. 1859'da yayımladığı *Türlerin Kökeni* isimli eseriyle, tüm canlıların ortak bir atadan türediklerini ve evrimsel değişimin mekanizmasının da doğal seçilim olduğunu ortaya koydu. Darwin'in zamanından sonra, özellikle 20. yüzyılda evrim kuramının daha iyi anlaşılmasıyla birlikte, canlıları sınıflandırırken evrimsel akrabalıkların kullanıldığı filogenetik sınıflandırma gelişti. Ancak canlılar arasındaki evrimsel akrabalıkların sınıflandırmada kullanılması 1970'lerden sonra oldu.

20. yüzyılın ortalarında Amerikalı biyolog Herbert Copeland (1902-1968), sınıflandırmaya bir de bakteriler âlemini ekleyerek, canlıları dört âlemde gruplamıştır. Tekhücreli ökaryotlar ile prokaryotların birbirinden farklarının belirginleşmesi ile sınıflandırmada ayrı bir âlem daha açılmıştır.

1969 yılındaysa Amerikalı bitki bilimci Robert Whittaker (1920-1980), mantarlar âlemini de (tek ya da çokhücreli ökaryotik canlılardır) ekleyerek, beş âlemli sınıflandırmaya geçmiştir. (Şekil 12) Yine bu sınıflandırmada da,

Şekil 12. Whittaker'ın öne sürdüğü sınıflandırma sistemi, canlıları beş âlemde grupluyor.



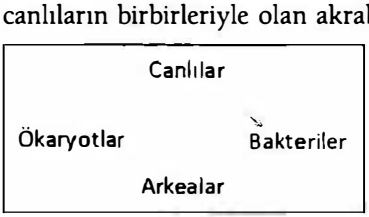
gözlemlenebilir fiziksel özelliklerin karşılaştırılması etkili olmuştur. Beş âlemli sınıflandırma, bazı değişikliklerle birlikte, birçok çalışmada kullanılmaya devam edilmektedir.

Bu zamana kadar canlıların sınıflandırılmasında benzer yöntemler takip edilmiştir. Bilim ilerledikçe daha detaylı gözlemler yapılsa da, canlılar temel olarak benzer fiziksel (morfolojik) özelliklerine göre gruplandırılmıştır.

Carl Woese ve yeni sistemler

1977 yılında Amerikalı mikrobiyolog Carl Woese (1928-), Whittaker'ın önerdiği beş âlemli sınıflandırmada bulunan bakteriler âlemini ikiye ayırarak, toplam âlem sayısını altıya çıkarmıştır. Bitkiler, hayvanlar, mantarlar, protistalar, öbakteri âlemi (tekhücreli prokaryotlar) ve arkebakteriler (prokaryot yapıda, ancak bakterilerden çok ökaryotlara benzeyen tekhücreli canlılar) olarak yapılandırılmıştır. (Şekil 13)

Buradaki sınıflandırma, canlılar arasındaki evrimsel akrabalıkları ve moleküler genetik verileri içerir. Woese, özellikle ribozomal RNA çalışmalarından elde edilen ve canlıların birbirleriyle olan akrabalıklarını gösteren bulguları kullanmıştır. Farklı organizmalar morfolojik olarak benzer görünmese de, hücresel seviyede gen yapıları, protein yapıları, metabolik yol izleri vb. benzerlik içerebilir. Özellikle arkealarla birlikte, sınıflandırmada âlemden daha yukarıda bir grubun ihtiyacı oluşmuştur. 1990 yılında Carl Woese, tüm canlıları üç temel üst âlemde (domain) gruplandırmıştır. Bakteriler, ökaryotlar ve arkealar. Bu sistemde, altı âlemli sınıflandırma sisteminden vazgeçilmemiştir, ancak ökaryotik âlemler tek bir çatıda toplanmıştır. Bu sistemde arkeaların ökaryotlara olan yakınlığı bakterilere olan yakınlığından daha fazladır.



Şekil 13. 1990 yılında, Carl Woese tüm canlıları üç üst-âlemde topladı.

Günümüzde farklı ülkelerin okul kitaplarında, farklı sınıflandırma yöntemleri anlatılmaktadır. Örneğin ABD'de altı âlemli sınıflandırma öğretilirken, İngiltere ve Avust-

ralya okul kitaplarında beş âlemli sınıflandırma sistemi öğretiliyor.

Modern sınıflandırma sistemleri, organizmalar arasındaki evrimsel yakınlığı temel almaktadır. Organizmalar hakkında daha fazla bilgi edindikçe, sınıflandırma şemaları değişmekte ve yeni akrabalık dereceleri ortaya çıkarılmaktadır. Özellikle geçtiğimiz yüzyılda, hücre biyolojisi, moleküler biyoloji, moleküler genetik, biyokimya ve evrim alanlarındaki gelişmeler organizmaların birbirleriyle olan ilişkilerini anlamamızı kolaylaştırdı. Sınıflandırma sistemlerinde yaşanan temel değişiklikler de, bu yeni bilim alanlarındaki gelişmeleri takip etmektedir.

Aristoteles'den günümüze kadar gelen tüm sınıflandırma sistemleri, kendi bulundukları dönemlerde doğru olarak kabul edilmiş ve kullanılmıştır. Ancak bilimsel gelişmeler sonucu canlılar hakkında daha fazla bilgiye sahip olunmasıyla birlikte, sınıflandırma sistemleri de farklılaşarak daha sağlam temellere oturmuştur. Özellikle canlıların genetik yapılarının ve evrimsel yakınlık derecelerinin ortaya çıkarılmasıyla birlikte, soyağaçları daha doğru ve detaylı olarak oluşturulabilmektedir.

Filogenetik sınıflandırma

Filogenetik sınıflandırma, organizmalar arasındaki evrimsel yakınlığı gösteren bir sınıflandırma sistemidir. Linnaean sınıflandırmasına göre iki temel avantaj içerir: Öncelikle her organizmanın evrimsel tarihi hakkında bilgi verir. İkinci olarak da, Linneaen sınıflandırmasının yaptığı gibi organizmaları belirli gruplar halinde (âlem, sınıf, takım vb.) derecelere ayırmaz. Linnaean sınıflandırması canlılar arasındaki evrimsel akrabalıklara dayanmadığı için, birçok bilim insanı filogenetik sınıflandırmayı kullanmaktadır.

Canlılar arasındaki evrimsel akrabalıkları araştırırken, filogenetik ağaç adı verilen diyagram-çizimler kullanılır. Diyagram üzerinde birçok dal bulunur. Bir grup ikiye ayrıldığında iki dalın ayrım noktası bir düğüm noktasıdır ve zaman olarak bu noktadan sonra iki grubun farklı yönlere

doğru değiştiğini gösterir. Her bir organizma ise dalların en uçlarında bulunur. İki farklı daldan geriye doğru gidecek olursak, o iki organizmanın sahip olduğu "ortak ataya" ulaşırız.

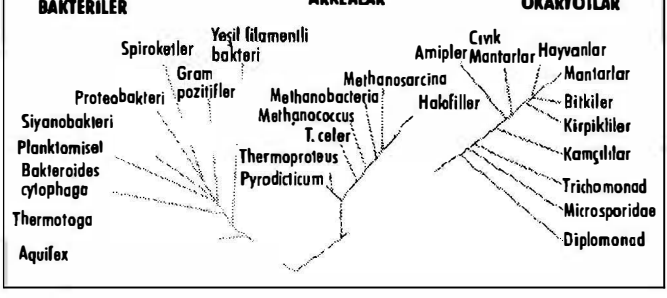
Filogenetik sınıflandırma yapıldığında, Linnaean sınıflandırmasında kullanılan birçok ikili adlandırma aynı şekilde kullanılmaktadır. Akrabalık dereceleri de uyumludur. Ancak bazı durumlarda iki sınıflandırma sisteminin uyuşmadığı noktalar vardır. Örneğin, kuşlar evrimsel olarak sürüngenlerle yakın akrabadır. Filogenetik ağaçta ise, kuşlar sürüngenlerin içinde gösterilir. Tüm canlıları gösteren filogenetik ağaç değişikliğe açık bir şemadır. (Şekil 14) Yeni bulgular canlıların birbirleriyle olan evrimsel akrabalık derecelerini daha netleştirmektedir.

İkili adlandırma

Carolus Linnaeus aynı zamanda canlıları isimlendirmek için Latince iki isimden oluşan ve ikili adlandırma (binomial nomenclature) adı verilen bir sistem oluşturmuştur. Her bir canlı türü bu yolla isimlendirilir ve evrensel olarak bu isimler geçerli kabul edilir. İlk isim türün ait olduğu cinsin adıdır, ikinci isim ise o tür için verilen özel isimdir. İkinci isim, türü keşfeden bilim insanının ya da ilk keşfedildiği yerin onuruna da verilebilir. Örneğin "*Felis catus*" ev kedisinin tür adıdır. "*Felis*" bu türün ait olduğu cinsi gösterir.

Günümüzde bazı değişiklikler olsa da, aynı isimlendir-

Şekil 14. Yaşamın filogenetik ağacı.



me sistemi kullanılmaktadır. 19. yüzyılla birlikte canlıların özellikle hiyerarşideki üst gruplandırmaları değişikliğe uğramaya başlamıştır.

7 | Dünya üzerinde isimlendirilebilen canlı türü sayısı kaçtır?

Dünya üzerinde yaşamın ortaya çıktığı ilk andan itibaren geçen milyarlarca yıl boyunca, yaşam çeşitlenerek gelişmiş ve milyonlarca farklı yaşam formu oluşturmuştur. Gözümüzü çevirdiğimiz her yerde farklı organizma türleriyle karşılaşsak da, tanımlayabildiğimiz tür sayısı dünya üzerinde var olan toplam tür sayısının yanında çok azdır. 2000 yılında, Birleşmiş Milletler tarafından oluşturulan "Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi" (The Millenium Ecosystem Assessment), insanların ekosistem üzerindeki etkilerini ve var olan ekolojik sistemlerin sürdürülebilmesi için gerekli bilimsel adımları araştırmaktadır. Dünya çapında 1360'tan fazla bilim insanı bu değerlendirmenin oluşturulması için ortak olarak çalışmakta ve belirli aralıklarla çıkardıkları raporlarla dünya üzerindeki ekosistemlerin durumunu ve yapılması gerekenleri ortaya koymaktadır.

2005'de yayımlanan değerlendirmede, dünya üzerindeki isimlendirilebilen toplam tür sayısı yaklaşık 2 milyon olarak verilmiştir. Bu sayı sadece tanımlanabilen türlerin sayısıdır. Toplam tür sayısının ise 5-30 milyon arası olduğu tahmin edilmektedir.

Gördüğünüz gibi, tür sayısını tam olarak söylemek pek mümkün değil. Egzotik ormanlarda keşfedilen yeni türlerle ilgili haberler çok sık olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yüzden, tanımlanabilen tür sayısında sürekli bir artış vardır. Ancak sayıdaki bu artış da çok sağlıklı olmayabilir. Bilinmeyen bir tür, dünyanın farklı yerlerinde farklı bilim insanları tarafından keşfedilip farklı isimlerle kayıt

altına alınmış olabilir. Bu gibi hataların gözden geçirilmesi ve sınıflandırma kategorilerinin yeniden düzenlenmesi zaman alacaktır. Türlerin dünya üzerindeki dağılımları eşit değildir. Tanımlanabilen türlerin yüzde 70'i sadece 12 ülkede bulunur. Bu ülkeler Avustralya, Brezilya, Çin, Kolombiya, Ekvator, Hindistan, Endonezya, Madagaskar, Meksika, Peru ve Zaire'dir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, ulaşımımızın az olduğu kutup bölgeleri ya da okyanus dipleri gibi alanlara daha rahat ulaşılmakta ve bu bölgelerde birçok yeni tür ortaya çıkarılmaktadır.

Memeli hayvanlar, kelebek, kuş, bitki ve böcek türleri iyi çalışılmıştır. İsimlendirilen türlerin yarısından fazlası böcek türleridir ve bunlar içinde de yaklaşık 300.000 kelebek türü bulunur.

Burada sayılarını verdiğimiz türler arasında tekhücreli canlılar bulunmamaktadır. Örneğin, bakterilerde bildiğimiz anlamda bir tür tanımını yapmak daha zordur. Kolayca tarif edilebilecek özelliklere ya da bir popülasyon yapısına sahip değillerdir. Bakterilerde tür tanımından bahsettiğimizde, daha çok 16-S rRNA[2] dizisindeki yüksek benzerlikten bahsederiz. Bu ise oldukça zor bir sınıflama yöntemi olacaktır. Bilinen 9000'e yakın farklı bakteri türü olsa da, gerçek rakam 10 milyon-1 milyar arasında olabilir. Bu yüzden bu noktada sorulması gereken kaç farklı tür bakteri olduğu değil, kaç farklı fonksiyonda bakteri grubu olduğu olabilir. Arkealar için de durum benzerdir. Belirlenen şube sayısı 8 olsa da, tahmin edilen 15-18 şube bulunduğudur. Bunun yanında tür sayısı ise tahmin edilmekten çok uzaktır.

2) **16-S rRNA (Ribozomal RNA)**: Prokaryot hücrelerde, ribozomlarda bulunan bir RNA türüdür. Farklı bakteri ve arkea türlerinde yüksek oranda değişmeden kaldığı için evrimsel akrabalıkların belirlenmesinde kullanılır.

4. Bölüm
EVRİM

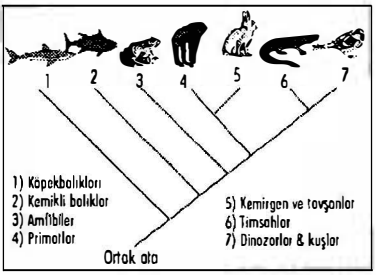
8 | Canlılar nasıl çeşitlenmiştir?

Dünya üzerinde canlıların nasıl çeşitlendiğini ve önceki türlerden yeni türlerin nasıl ortaya çıktığını anlatan bilimsel teori evrim teorisidir (teori=kuram). Bu teori, yüzlerce yıldır elde edilen bilimsel bulguların desteğiyle geliştirilmiş ve canlı çeşitliliğini anlatan en geçerli teori halini almıştır. Günümüzde bilim insanları evrimin var olup olmadığını tartışmıyor. Bunun yerine, evrimin mekanizmalarını daha detaylı bir şekilde ortaya çıkarmak için uğraşıyorlar.

Evrim nedir?

Biyolojik evrim, basit bir anlatımla, "değişerek üremek" (descent with modification) olarak tarif edilebilir. Küçük çapta, mikroevrim diyebiliriz, bir popülasyonda nesilden nesile meydana gelen gen frekanslarındaki değişikliktir. Büyük çapta ise, buna da makroevrim diyebiliriz, ortak bir atadan birçok nesil sonrasında yeni türlerin türemesidir.

Bu teorinin temelinde, dünya üzerindeki tüm canlıların ortak bir atadan türediği fikri yatar. Her canlı türü birbiriyle akrabadır. Bazıları daha yakın akraba iken, bazıları



Şekil 15. Filogenetik sayağacında aşağıdan yukarıya doğru yol aldıkça, ortak atadan türeyen farklı canlı gruplarına varırız. Her dallanma bizi farklılaşan bir gruba götürür.

arasındaki akrabalık daha uzaktır. Tüm canlılar birbirinin uzak kuzenleridir diyebiliriz.

Şekil 15'de, canlılar arasındaki evrimsel akrabalık derecesini göstermekte kullanılan filogenetik soyağacı görülmektedir. Tüm canlı gruplarını kapsamasa da, farklı organizmaların birbirinden nasıl ayrıldığını ve birbirleriyle nasıl bağlantılı olduğunu görebilirsiniz. İnsanlar da primat[3] takımı içerisinde yer alır.

9 Evrim fikri nasıl ortaya çıkmıştır ve gelişmiştir?

Evrim kuramı denildiğinde aklınıza ilk gelen isim, büyük olasılıkla İngiliz bilim insanı Charles Darwin'dir. Darwin, evrimle ilgili en bilinen isim olmuştur, ancak evrim kuramını oluşturan fikirler Darwin'den yüzlerce yıl önce ortaya çıkmaya başlamıştır. Paleontoloji, hücre biyolojisi, biyocoğrafya ve jeoloji gibi farklı bilim dallarındaki gelişmelerin de katkısıyla evrim fikri Darwin'den sonra da şekillenmeye devam etmiş ve özellikle 20. yüzyılda genetik biliminin katkılarıyla bugünkü halini almaya başlamıştır.

Darwin öncesi

Dünya üzerindeki canlıların nasıl türediklerini anlamaya çalışan fikirlerin ortaya çıkışı MÖ 6. yüzyıla kadar gidiyor. Antik Egeli filozoflar Anaximander, Platon, Aris-

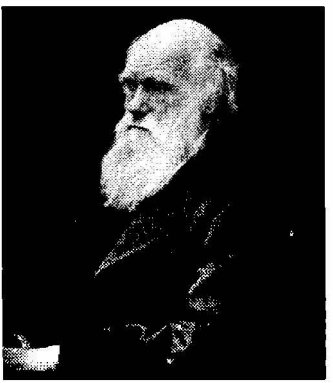
3) **Primat**: Memeli sınıfına ait, insanın da dahil olduğu takımdır. Bu takımda bulunanlar arasında goril, orangutan, şempanze, gibon ve benzeri türler vardır.

toteles ve devam eden çağlarda da diğer Egeli, Romalı, Çinli filozoflar ve İslam filozoflarının, canlıların dünya üzerinde ortaya çıkışları ve değişimleri üzerine fikirler geliştirdikleri biliniyor. Bu dönemlerde yaygın olarak kabul edilen fikirler arasında, canlıların zaman içerisinde değişime uğramadıkları, Dünya'nın sadece binlerce yıldır var olduğu ve oluşumunun bir haftada tamamlandığı ve hiçbir canlı türünün yok olmadığı fikirleri bulunuyor. Buna ek olarak, özellikle dini kitapların da etkisiyle, tüm canlıların birer amaç için yaratıldığı fikri hâkimdi.

MS 14. yüzyılda karşılaştırmalı anatominin gelişmesiyle birlikte, insan vücudunun daha detaylı olarak incelenmeye başlanmasıyla, insanın çok da özel bir canlı olmayabileceği fikri gelişmeye başladı. 15. yüzyılda Danimarkalı bilimci Nicholas Steno'nun çalışmaları paleontoloji biliminin ortaya çıkmasını sağladı. Steno, fosillerin bir zamanlar yaşamış, ancak soyları tükenmiş canlılardan kaldığını ve üst üste sıralanmış toprak katmanları arasında, bir zaman sırasına göre dizildiklerini öne sürmüştü. Özellikle 18. yüzyıl sonrasında kozmoloji ve fizik alanındaki gelişmeler, doğa bilimlerini de etkilemeye başladı. Daha önce söz ettiğimiz gibi, İsveçli bilimci Carolus Linnaeus, canlıların sınıflandırılması üzerine Aristoteles'den beri gelen sistemi değiştirerek yeni bir sınıflandırma sistemi getirdi ve bu sistemde, insanlar ilk defa olarak primatlar arasında yerini aldı. Bu dönemde doğa bilimciler, türlerin değişebileceğini ve hatta yok olabileceğini öne sürdü.

Biyoloji alanındaki bilgilerin artmasıyla birlikte, bilimciler yeni evrimsel fikirler de ortaya sürmeye başlamıştır. Bu doğa bilimcileri arasında Charles Darwin'in dedesi Erasmus Darwin ve Fransız doğa bilimci Jean-Baptiste Lamarck da bulunuyor. Özellikle Lamarck'ın evrimsel fikirleri büyük yankı uyandırmıştır. Lamarck'ın fikirleri arasında, kullanılan organların gelişmesi ve bu özelliğin gelecek nesillere kalıtım yoluyla aktarılması da vardı. Türler yok olmuyordu, ancak birbirine dönüşüyordu.

Charles Darwin

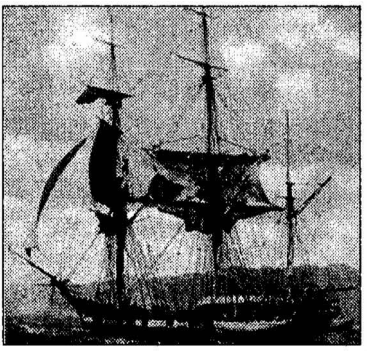


Şekil 16. Charles Robert Darwin (12 Şubat 1809 19 Nisan 1882).

Darwin'in evrim üzerine geliştirdiği fikirlere geçmeden önce, hayatını kısaca gözden geçirmekte fayda var. Bulunduğu çevre, okuduğu okullar ve tabii ki katıldığı geziler, Darwin'in görüşlerini derinden etkilemiş ve öne sürdüğü evrim kuramına giden yolu açmıştır. (Şekil 16)

Charles Robert Darwin, 1809'da İngiltere'de doğdu. Babası Robert Darwin zengin bir doktor ve finansçıydı. Baba tarafından dedesi olan Erasmus Darwin'in evrimle ilgili fikirleri vardı. Charles Darwin, Edinburgh Üniversitesi'nde tıp okumaya başladı, ancak dersler ve cerrahi işlemler ilgisini çekmiyordu. Bunun yerine doğa tarihi üzerine çalışan gruplara katıldı, deniz omurgasızlarıyla ilgili çalışmalarda yer aldı ve özellikle Lamarck'ın evrim fikirleriyle ilgilendi. Üniversite müzesinde yaptığı bir çalışmada, bitkilerin sınıflandırmasını da öğrendi. Tıp eğitiminden bu şekilde uzaklaşması yüzünden babası, Charles Darwin'i rahip olması için Cambridge Üniversitesi'ne gönderdi. Burada okuduğu dönem boyunca, özellikle William Paley'in "doğal teoloji" fikirleriyle ilgilendi. Doğal teolojide temel olarak, Tanrının büyüklüğünü ortaya koymak için canlıların dünya üzerindeki dağılımları ve oynadıkları roller araştırılıyordu. Darwin, kuzeninin etkisiyle böcek türleri toplamaya başladı, hatta bulduklarını bazı bilimsel dergilerde yayımlama şansı da buldu. Bu sırada Kaptan Robert Fitz-Roy yönetimindeki HMS Beagle isimli gemi Güney Amerika kıyılarının haritasını çıkarmak amacıyla demir alma hazırlığı yapıyordu. Darwin'e bu geminin doğa bilimcisi olması için bir teklif getirildi. Darwin'in babası ilk başlarda kabul etmese de, Darwin'in dayısı Josiah Wedgewood'un onu ikna etmesiyle, Charles Darwin iki yıl sürmesi bek-

lenen bu geziye katılma iznini aldı. (Şekil 17)



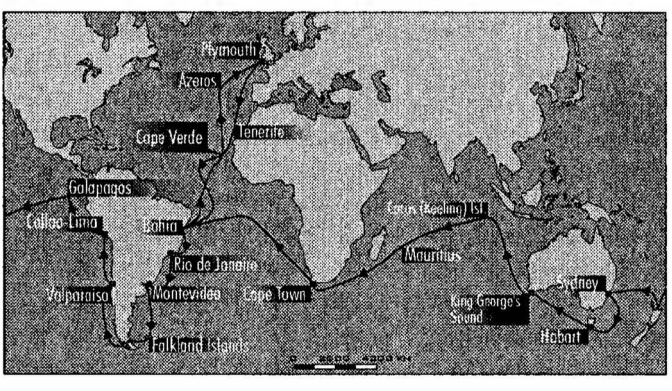
Şekil 17. Darwin'in beş yılını geçirdiği HMS Beaggle gemisi.

Beaggle gezisi

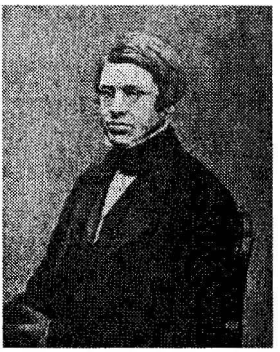
Charles Darwin, HMS Beagle gemisiyle 1831-1836 yılları arasında beş yıl boyunca dünyayı dolaştı. Zamanının büyük çoğunluğunu, uğradıkları yerlerdeki jeolojik yapıyı inceleyerek ve doğal tarih koleksiyonları yaparak geçirdi. Düzenli olarak notlar tuttu ve topladığı örnekleri de aralıklarla İngiltere'ye gönderdi. Güney Amerika'yı dolanarak Brezilya ve Şili'ye de uğradıktan sonra Galapagos Adaları'na ulaştılar. Darwin, gezi boyunca canlı türlerinin bulundukları ortama göre nasıl farklılaştığını, tropik ormanların güzelliklerini, insanların kölelere yaptıkları zulümleri, toprak örtüsünün depremlerle nasıl şekillenebildiğini ve fosil örneklerinin bulunabildiği farklı ortamları gözlemledi. (Şekil 18) Canlılar âleminde var olan yaşam savaşına kendi gözleriyle şahit oldu.

1836 yılında Londra'ya ulaştıklarında Darwin, yolculuğu boyunca geri gönderdiği mektuplar sayesinde tanınmış

Şekil 18. HMS Beaggle'ın beş yıl boyunca izlediği rota ve uğradığı limanlar.



bir doğa bilimciydi. Bu dönemde farklı bilimcilerle tanışma ve fikirlerini geliştirme fırsatı buldu. 1830'ların sonlarına doğru kendi evrim kuramını oluşturmaya başladı. Güvercin yetiştiricileriyle uzun zaman geçirmiş ve onların belirli özelliğe sahip güvercinleri nesiller boyunca nasıl seçtiklerini öğrenmişti. Örneğin daha uzun boyunlu güvercinler seçilerek üretilirse, nesiller sonrasında sadece uzun boyunlu güvercin elde edilebiliyordu. İnsan eliyle yapılan bu bilinçli seçimin bir benzerini, doğa bilinçsizce de olsa yapıyor olabilirdi. Eğer yeterince süre verilecek olursa, doğa da istenilen bazı özelliklerin ortaya çıkmasına neden olabilirdi.



Şekil 19. Alfred Russel Wallace (8 Ocak 1823-7 Kasım 1913)

Darwin devam eden 20 yıl boyunca, evrim kuramı ve doğal seçilim üzerine çalışmayı sürdürdü. Fikirlerini açıklamadan önce mümkün olduğunca fazla miktarda kanıt elde etmek istiyordu. Bu yıllar boyunca dünyanın farklı yerlerinde çalışan bilim insanlarıyla da fikirlerini paylaşmıştı. Bunlardan birisi de Güney Amerika ve Asya'da araştırmalar yapan İngiliz bilim insanı Alfred Russel Wallace idi. Wallace biyocoğrafya üzerine çalışıyordu ve türlerin dünya üzerindeki dağılımlarını anlamaya çalışıyordu. Bir yandan da bulduğu farklı tür örneklerini Darwin'e gönderiyordu. (Şekil 19) Wallace, 1858 yılında, evrim üzerine kendi geliştirdiği fikirleri bir mektupla Darwin'e göndermiş ve fikirlerinin yayımlanması için Darwin'den yardım istemişti. Darwin mektubu aldığında büyük bir şok geçirmişti; çünkü Wallace'ın fikirleri Darwin'in yıllardır oluşturduğu evrim kuramı ile neredeyse bire bir aynıydı.

Charles Lyell ve Joseph Dalton Hooker tarafından Londra'da bulunan Linnaean Bilim Topluluğu'nda düzenlenen bir toplantıda, Darwin ve Wallace'ın fikirleri aynı anda görüşüldü ve bu fikri ilk olarak kimin ortaya attığı

saptanmaya çalışıldı. Darwin fikirleri üzerine 20 yılı aşkın bir süredir çalışıyordu ve bu yüzden de Darwin'in daha önceden bu fikirleri oluşturduğu fikri kabul gördü. Darwin, ünlü kitabı *Türlerin Kökeni*'ni 1859 yılında yayımladı. Wallace ise gezilerine ve biyocoğrafya üzerine yaptığı çalışmalara devam etti.

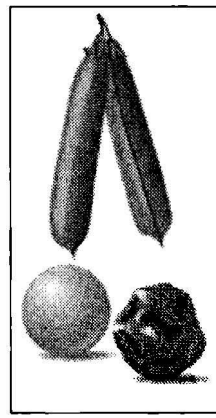
Charles Darwin'in en belirleyici özelliği, o güne kadar yapılanlardan çok daha net bir şekilde evrim kuramını ortaya koyması ve evrimin itici gücü olarak "doğal seçilimi" tanımlamasıdır.

Türlerin Kökeni, tüm zamanlarda yayımlanan bilimsel kitaplar arasında hem en fazla satış rakamına çıkan ve hem de en fazla etki yaratan kitaplardan birisi oldu. Yıllar içerisinde bilim insanlarının çoğu evrimi ve canlıların ortak atadan gelmiş oldukları fikrini kabul ettiler. Doğal seçilim fikrinin kabul edilmesi daha uzun zaman alsa da, özellikle 20. yüzyılda kromozomların ve genlerin keşfi ve genetik biliminin gelişmesiyle birlikte doğal seçilimin kabulü de kaçınılmaz oldu.

Darwin sonrası

Darwin evrimin mekanizması olarak doğal seçilimi tanımlamıştı, ancak kalıtsal çeşitliliğin kaynağını ortaya koyamıyordu. O da Lamarck gibi, ebeveynlerin yaşam boyunca kazandıkları özelliklerin yavrulara aktarıldığını düşünüyordu. Ancak bu yanlış bir düşünceydi.

1880'li yıllarda Alman biyolog August Weismann, kullanma-kullanmama yoluyla kazanılan özelliklerin yavrulara aktarılmadığını ortaya çıkardı ve bu, Lamarckçı düşüncenin de sonunun başlangıcı oldu. 1865 yılında, Çek rahip, bilim insanı Gregor Mendel, bezelyelerle yaptığı deneylerle genetik biliminin temellerini ortaya koymuştu, ancak deneylerini tamamlayamadı. Mendel'in deneylerinin önemi, 1904 yılında tekrar keşfedildiğinde anlaşılacaktı. (Şekil 20) Mendel'in çalışmalarının Hollandalı bilimci Hugo de Vries tarafından yeniden keşfiyle türde bulunan bireylerin sahip oldukları genetik çeşitliliğin anlaşılmasında önemli bir adım atılmış oldu. Darwin ve Wallace,



Şekil 20. Mendel deneylerinde düzgün ve buruşuk bezelyeleri çaprazlayarak, nesiller boyunca elde ettiği bezelyelerin yapısını kontrol ediyordu.

Mendel'in yaptıkları deneylerden de genetik biliminden de haberdar değillerdi. De Vries ve diğer ilk genetikçiler doğal seçilimi doğrudan desteklemese de, genetik bilimi doğal seçilim için gerekli olan kalıtsal çeşitliliğe kaynak sunuyordu. Doğal seçilim yoluyla evrim fikri hiç olmadığı kadar kuvvetlenmişti.

20. yüzyılda özellikle Alman jeofizikçi Alfred Wegener'in çalışmaları ile Dünya'nın değişken olduğu ve kıtaların yavaş da olsa hareket ettiği ortaya çıkarıldı. Radyometrik tarihlemenin geliştirilmesi ile kayaların ve fosillerin yaşları ölçülebilir hale geldi. Böylece, Dünya'nın sanılandan çok daha eski olduğu ortaya çıkmış oldu.

1920'li ve 1930'lu yıllarda özellikle J. B. S. Haldane, Seawall Wright ve Ronald Fisher gibi bilim insanları, Darwin'in evrim fikirleri ile genetik biliminin bulgularını bir araya getirerek "modern evrim sentezini" oluşturdular. 1940'larda DNA'nın keşfi ve 1953 yılında da James Watson ve Francis Crick'in Rosalind Franklin'in verilerini kullanarak DNA'nın yapısını keşfetmesiyle birlikte, kalıtım için fiziksel kanıt da gösterilmiş oldu. O zamandan beri de genetik ve moleküler biyoloji, evrimsel biyolojinin temelini oluşturdu. (Şekil 21) Bu alanlarda yaşanan hızlı gelişmeler, insanın ve binlerce diğer türün genomlarının okunması ile birlikte, evrim kuramı hiç olmadığı kadar güçlü bir kuram halini almıştır. Günümüzde evrim biyolojisi içerisinde biyokimya, ekoloji, genetik, fizyoloji, tıp, felsefe ve bilgisayar bilimlerini bulabilirsiniz. 21. yüzyılda evrimle ilgili çalışmalar hızla devam etmektedir.

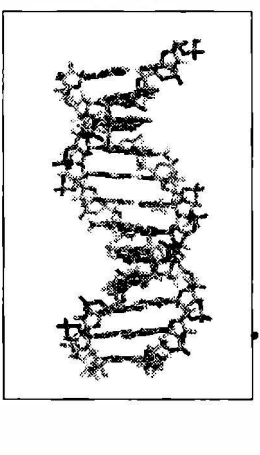
10 | Evrimin çalışma mekanizması nedir?

Canlılardaki evrimsel değişimin temelinde, bir popülasyonda yaşayan bireyler arasında bulunan genetik farklılıkların bir sonraki nesile aktarılması gelir. Popülasyon içerisindeki genetik çeşitliliği etkileyen temel faktörler arasında mutasyonlar, genetik rekombinasyon, popülasyonlar arası göçler ve genetik sürüklenme sayılabilir. Doğal seçilim, cinsel seçilim ve birlikte evrimleşme (co-evolution) ise bireyler arasında bulunan farklılıkların seçilmesini sağlayan temel mekanizmalardır.

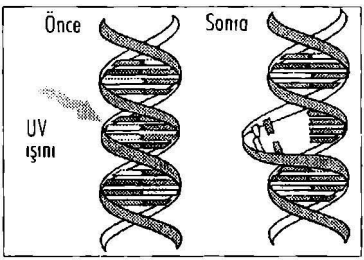
Popülasyonun bireyleri arasında çeşitliliği sağlayan faktörler

Mutasyon: Canlıların temel kalıtım materyali olan DNA'da meydana gelen değişikliklere mutasyon adı verilir. Canlının sahip olduğu DNA'sı, o canlının yaşamının tüm aşamalarını, şeklini, fonksiyonlarını, devamlılığını vb. etkileyeceği için DNA'da meydana gelen değişiklikler canlı açısından kritik önem taşıyabilir.

Şekil 21. DNA'nın yapısının ortaya çıkarılması, evrim kuramını destekleyen yeni bilimsel çalışma alanlarının oluşmasını da sağladı.



Hücre bölünmesi sırasında DNA kopyalanarak çoğaltılır, ancak bu işlem bazen hatalı gerçekleşebilir. Bu hata eğer hızlı bir şekilde düzeltilmezse, yeni yapılan DNA ilk DNA'dan farklı olacaktır. Bunun dışında dış faktörler de DNA dizisinde mutasyona neden olabilir. Bazı kimyasallar ya da radyasyon, DNA zincirinin kırılmasıyla, mutasyon oluşmasına neden olabilir. Yüksek miktarda maruz kalınan UV ışını da DNA'da değişikliğe neden olacaktır. Bu yüzden özellikle yaz aylarında, güneş ışınlarının etkili olduğu saatlerde gölgede durulması önerilir. (Şekil 22)



Şekil 22. Yüksek miktarda maruz kalınan UV ışını DNA'da değişikliğe neden olacaktır.

Oluşan mutasyonlar türün bireyleri arasında genetik çeşitlilik yaratacaktır. Türüne göre zararlı, etkisiz ya da yararlı mutayonlar olsa da, büyük çoğunluğunun zararlı olduğunu söyleyebiliriz. (Şekil 23)

Genetik rekombinasyon: Mutasyonlar gibi çeşitliliği arttıran bir diğer etmen ise mayoz bölünme sırasında meydana gelen homolog kromozomların parça değiştirmesidir. Genetik rekombinasyon adı verilen bu işlem ile mutasyonda meydana gelenden çok daha büyük ölçekte DNA dizisi yer değiştirir. Rekombinasyon ile genin iç yapısı değiştirilmez, ancak genlerin yerlerinin değişmesi sağlanır ve hangi yavruya gideceği belirlenir.

Göçler: Genel olarak popülasyonlar kapalı sistemler değildir. Çevredeki diğer popülasyonlarla etkileşim halindedirler; popülasyon içerisinden bazı bireyler popülasyonu terk ederek başka popülasyonlara katılabilir ya da kendi gruplarını kurabilir. Popülasyondan ayrılan ya da popülasyona katılan her birey ile popülasyon içerisindeki gen frekansında ve çeşitlilikte bir değişme yaşanacaktır.

Şekil 23. DNA'daki tek bir mutasyon bu kedinin kulaklarının hafif de olsa geriye kıvrılmasının nedenidir.



Genetik sürüklenme: Bir popülasyon içerisindeki bireylerin şans eseri de olsa üreyememesi ve yeni nesiller oluşturamamasıpopülasyondaki gen frekansında değişikliğe neden olacaktır. Basit bir örnek vermek gerekirse, bir yolun kenarında bulunan böcek popülasyonunun üzerinden şans eseri bir araç geçse ve popülasyondaki be-

lirli bireyleri öldürse, popülasyondaki gen frekansında da farklılaşma olacaktır. Kahverengi ve yeşil gözlü bireylerden oluşan popülasyonda şans eseri yeşil gözlü bireylerin çoğu üreme şansı bulamadan ölürse, popülasyon içerisindeki kahverengi göz frekansı daha yüksek olacaktır. Bu yüzden yeni doğan nesillerde de kahverengi gözün bulunma ihtimali yüksek olacaktır. Genetik sürüklenme temel olarak genetik farklılıkta bir azalmaya neden olacaktır.

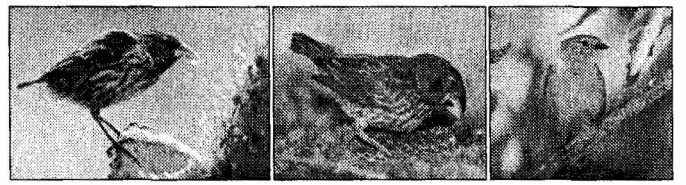
Popülasyondaki çeşitliliği etkileyen temel mekanizmalar

Doğal seçilim: Evrimin en temel mekanizmalarından birisi olan "doğal seçilim", Charles Darwin tarafından öne sürülen evrim fikrinin itici gücüdür. Kısaca şöyle anlatılabilir: Bir popülasyon içerisinde bulunan bireyler birbirinden farklıdır. Bu farklılıklar bazı çevresel şartlarda bireylerin bazılarının diğerlerine oranla daha avantajlı olmasına yol açacaktır. Daha avantajlı özelliklere sahip bireyler daha fazla üreyerek daha fazla soy verme şansını yakalayacaktır. Üreme şansını daha fazla elde eden bireyler de genlerini yeni nesillere aktarabilecektir. Nesiller boyunca benzer seçiciliğin devam etmesiyle popülasyonda belirli özellikler silinerek, seçilen özellikler baskın hale gelecektir.

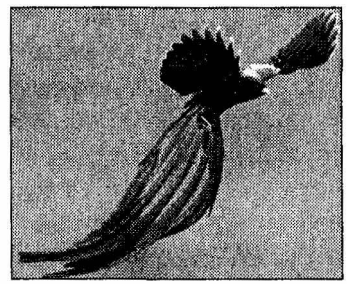
Doğal seçilim yoluyla seçilen bireyler çevreye uyum (adaptasyon) sağlayacaktır. Biyologlara göre çevreye en iyi uyum sağlayan bireyler, verimli yavrular vererek soyunun devamını sağlayabilen bireylerdir. Popülasyon içerisinde soyunu devam ettirebilen bireylerin genetik özellikleri de zaman içerisinde daha baskın hale gelecektir.

Çevreye en iyi uyum sağlayan birey en güçlü, en hızlı ya da en büyük olan değildir. Yaşamını sürdürebilen, kendine bir eş bulabilen ve yavrular vererek soyunu sürdürebilen bireyler çevreye en iyi uyum sağlayanlardır. (Şekil 24)

Cinsel seçilim: Cinsel seçilim, bireyin kendine eş bulabilme şansını arttıran ve sonuç olarak da yeni yavrular yaparak genlerini aktarabilmesini sağlayan seçilim mekanizmasıdır. Doğal seçilimin özel bir şekli olarak da düşünebiliriz.



Şekil 24. İspinoz kuşları (Darwin'in Galapagos Adaları'nda gözlemlediği gibi) farklı çevre koşullarında farklı gaga yapıları geliştirmiştir. Soldaki kaktüs avcısıdır, uzun ve keskin bir gagası bulunur. Ortadaki tohum avcısıdır, geniş bir gagası bulunur. Sağdaki ise böcek avcısıdır; dar ve sivri bir gagası bulunur.



Şekil 25. Erkek Whydah ispinoz kuşunun (dul kadın kuşu olarak da bilinir) dişileri etkilemesine yarayan uzun kuyruğu, avcılar tarafından da kolayca fark edilmesine neden olabilir.

Cinsel seçilim bireyin eş bulabilme şansını arttırırken, çoğunlukla yaşamını sürdürme şansını düşürür. Örneğin, erkek bir kuşun abartılı boyutlarda ya da rengârenk olan kuyruğu dişi bireyleri etkilemesini sağlarken, avcılar tarafından da kolayca fark edilmesine neden olacaktır. (Şekil 25)

Birlikte evrimleşme (co-evolution): İki ya da

Şekil 26. Fotoğrafta görülen orkide çiçeği ve çiçeğin yapısına uygun bir yapı geliştiren orkide arısı, birlikte evrimleşmeye güzel bir örnektir.



daha fazla tür birbirlerinin evrimleşmesini etkileyebilir. Örneğin bir bitkinin morfolojisinde meydana gelen bir değişiklik, bu bitki ile beslenen bir hayvanın morfolojisinde değişikliğe neden olabilir. Hayvandaki morfoloji değişikliği de bitkide yeni bir değişikliğe neden olabilir.

Türlerin birbirleri arasında bulunan av/avcı, parazit/konak, rekabet ya da ortak faydaya dayalı etkileşimler birlikte evrimleşmenin temelini oluşturur. (Şekil 26)

11 | Evrim kuramıyla ilgili yanlış bilinen noktalar nelerdir?

Evrim kuramı bilim dünyasının en temel kuramlarından birisi olduğu halde, birçok kişi evrim kuramı hakkında yanlış fikirlere sahiptir. Bu yanlış bilgiler nedeniyle de kişiler kuram hakkında önyargıya sahip olabilir. Şimdi evrim hakkında genel olarak hatalı bilinen önemli noktaların üzerinden geçelim:

1) Teorinin tanımı: Evrim kuramı/teorisi teoridir ve bir olgudur.

Evrim kuramı hakkında yeterince bilgisi olmayanlar ya da bilinçli olarak karşısında yer alanlar basit bir hataya düşmektedir. "Evrim teorisi sadece bir teoridir" şeklinde bir fikri savunurlar. Ancak bilim insanları evrim kuramını anlatırken şu cümleyi kullanmayı tercih eder: "Evrim kuramı bir teoridir ve aynı zamanda da bir olgudur." Aradaki farklılığın nedeni, teori kelimesinin günlük kullanımı ile bilim alanındaki kullanımının birbirinden başka anlamlar içermesidir.

Türk Dil Kurumu'nun *Büyük Türkçe Sözlük*'üne baktığımızda bu ayrımı görebiliriz. Sözlükte kuram sözcüğü şöyle açıklanıyor:

"1. Uygulamalardan bağımsız olarak ele alman soyut bilgi.

2. Belirli bir konudaki düşüncelerin, görüşlerin bütünü.

3. Sistemli bir biçimde düzenlenmiş birçok olayı açıklayan ve bir bilime temel olan kurallar, yasalar bütünü, nazariye, teori."

Özellikle ilk açıklamada yer alan "soyut bilgi" şeklindeki ifadeler, kuram kelimesinin günlük farklı kullanılışlarında anlam kazanır. Ancak, bilimde kuram (teori), bilimsel deneylerle sürekli olarak desteklenen bir hipotezdir. Deneylerle desteklendiği sürece güçlenecektir. Evrim teorisi de binlerce kanıtla desteklenen, bilim dünyasının en geçerli teorilerinden birisidir. Hücre teorisi (canlılar hücrelerden oluşmuştur) ya da atom teorisi (maddenin yapıtaşı atomdur) ne kadar doğruysa, evrim teorisi de o derece doğru bir teoridir.

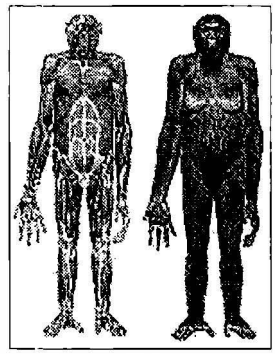
Aralarında Ernst Mayr, Douglas Futuyma, Richard Dawkins, Kenneth Miller ve Stephen Jay Gould'un da bulunduğu birçok bilim insanı durumu şu şekilde özetlemektedir: Evrimin kendisi bir olgudur. Yani bir gerçek olarak karşımızdadır. Teori kısmı ise daha çok evrimin arkasındaki itici güç olan mekanizmalardır. Örneğin doğal seçilim gibi. Öne sürülen mekanizmalarıyla birlikte evrim kuramı, sayısız sınamadan başarıyla çıkmıştır ve en geçerli teorilerden biri olarak karşımızdadır.

2) Evrim kuramı yaşamın nasıl başladığı üzerine değil, nasıl çeşitlendiği üzerinedir.

Evrim kuramı dünyada canlılığın ilk defa nasıl ortaya çıktığını değil, nasıl çeşitlendiğini, yeni türlerin nasıl türediğini anlatır. Dünya üzerinde canlılığın ilk defa nasıl ortaya çıktığını, inorganik maddelerden kendini kopyalayabilen ve canlılığın temelini oluşturan moleküllerin nasıl oluştuğunu anlatan bilim alanına abiogenesis ya da kimyasal evrim adı verilir. Bu kısım daha sonraki bölümlerde daha detaylı anlatılacaktır.

3) İnsan maymunlardan gelmez, insan ve maymunlar ortak ataya sahiptir.

Evrim karşıtlarının sürekli olarak vurguladıkları yanlış bir fikir, evrim kuramının insanların maymunlardan geldiğini önerdiği fikridir. Yetersiz ya da yanlış bilgilendirme sonucu oluşan bu fikir yüzünden, çoğu kişi evrim kuramına

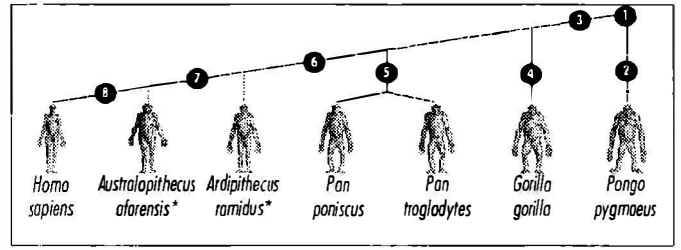


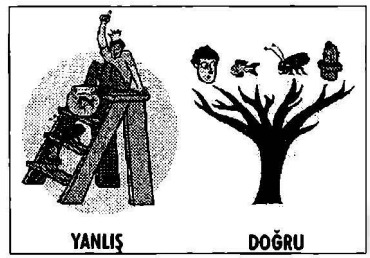
Şekil 27. Ardi'nin dişi bireyine ait dış görünüş canlandırması.

karşı bir önyargıya sahiptir. Ancak evrim kuramı insanın maymundan geldiğini öne sürmez; insan ile maymunun ortak bir ataya sahip olduğunu öne sürer. Benzer şekilde, zamanda daha gerilere gidildiğinde diğer organizmalarla da ortak ataya sahip olunacaktır. Maymunlar diğer canlılara oranla bize daha yakın akrabadır.

Maymunlarla insanlar arasındaki en son ortak ata ile ilgili sürekli yeni bulgular ortaya çıkarılmaktadır. *Ardipithecus ramidus* adı verilen ve insan ile Afrikalı büyük kuyruksuz maymunlar arasındaki bilinen son ortak ata olduğu kabul edilen türün keşfiyle ilgili çalışmalar, *Science* bilim dergisinin 2 Ekim 2009 sayısında 11 makale ile aktarılmıştır. (Şekil 27, Şekil 28) İnsanın evrimi konusunda son yıllarda yapılan en önemli çalışmalardan olan araştırmada, 4,4 milyon yıl önce (myö) yaşadığı tahmin edilen türün yaşadığı habitat ve insan ve şempanzeler arasındaki benzerlik ve farklılıklar

Şekil 28. İnsanın evrimini ve maymun türleriyle olan yakınlığını gösteren diyagram. Şekildeki numaralar farklı türleri ve ortak ataları ifade ediyor. 1) Temel düğüm, 18 milyon yıl önce yaşamış olan ve kuyruksuz büyük maymunların potansiyel atası. 2) Orangutan kladı. 3) Yaşayan kuyruksuz büyük maymunlar, insan, şempanze ve goril ile paylaşılan ortak ata. 4) Gorillere giden evrimsel çizgi. 5) Şempanze ve bonoboya giden ayrım. 6) Geç Miyosen Dönem hominid kladı ayrımı. 7) Orta Pliyosen Dönem hominid kladı ayrımı ve 8) Pliyo-pleistosen Dönem hominid kladına giden ayrım. Ardi 6-7 arasında ve modern insan da 8'in sonunda görülebilir.





Şekil 29. İnsan en mükemmel ya da en ileri tür değildir. Canlılar bir merdiven gibi yukarıya doğru değil, bir ağacın dalları gibi çeşitlenmiştir.

vurgulanmıştır. Bu çalışmanın bizim için önemli yanlarından birisi, araştırma grubu içerisinde 3 Türk bilim insanının da bulunmasıdır. (Prof. Dr. Erksin Güleç, Dr. Cesur Pehlevan ve Dr. Ferhat Kaya)

Daha sonraki sorularda insan evrimini daha detaylı inceleyeceğiz.

4) İnsan en gelişmiş ya da en ileri form değildir. Türlerin birbirinden ayrımını bir merdiven olarak değil, bir ağacın dalları olarak kabul etmeliyiz.

Evrim kuramı canlıları bir basamak şeklinde basitten mükemmele sıralamaz. Bunun yerine bir ağacın dalları şeklinde gruplama yapar. Birbirine daha yakın akraba olan türler daha yakın dallarda bulunur. Her tür bulunduğu ortamın gereklerine göre şekillenir. (Şekil 29)

5) Evrim rasgele/tesadüfi çalışmaz.

Günümüzde yaşayan canlılar şimdiki hallerine milyonlarca yıl süren evrimsel değişim sonunda varmışlardır. Ancak bu gelişme tesadüfi bir gelişme değildir. Evrim tesadüflerle çalışmaz. Popülasyonun bireylerinin birbirlerinden farklı olmasını sağlayan temel etken olan mutasyonlar tesadüfi olabilir, ancak daha sonra avantaj yaratan özelliklerin seçimi tesadüfi değildir. Seçilim, popülasyonda meydana gelen mutasyonlar üzerine tesadüf olmayan bir yolla çalışır, sürekliliği ve üremeyi sağlayan özellikler seçilir ve popülasyonda daha yaygın özellik halini alır. Bu yüzden de evrim tesadüfi değildir.

6) Sayısız araform bulunmuştur.

Bir diğer yanlış bilgi ise türlerin önceki türlerden evrimleştiğini gösteren araformların olmadığıdır. İnternette kısa bir araştırmayla, bulunan sayısız araform örneğinin bilgisine ulaşılabilir. Balinanın evrimi önemli örneklerden birisidir. (Şekil 30)

7) Evrim kuramı sadece birkaç kişinin kabul ettiği bir kuram değil, bilim insanlarının ortak olarak kabul ettiği çok genel bir kuramdır.

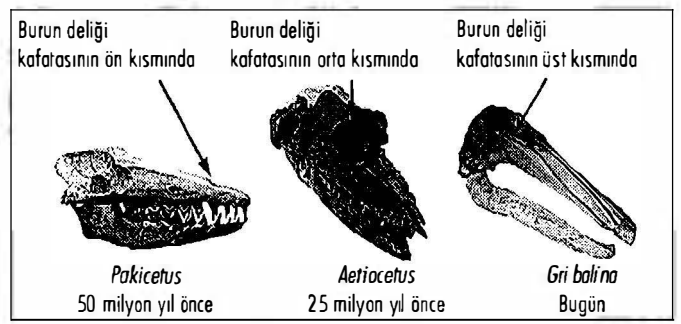
Yaygın olan bir diğer yanlış fikir ise evrim kuramının sadece küçük bir kısım bilim insanı arasında kabul gördüğü ve bilimcilerin evrimin olup olmadığı konusunda birbirleriyle tartışma halinde olduklarıdır. Bu son derece yanlış bir fikirdir.

Dünya üzerinde canlıların çeşitlenmesini açıklayan bilimsel fikrin evrim kuramı olduğunu açıklayan bilim enstitülerinin listelerine göz atabiliriz. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, verilen listelerde evrimi kabul edenlerin her birinin birer bilim enstitüsü olmasıdır. Yapılan bildiriler her bir enstitüde çalışan binlerce bilim insanının ortak fikridir. Bu listelere ek olarak, internette ufak bir arama yapılarak evrim kuramını kabul eden binlerce bilim insanının (Nobel ödüllü araştırmacılar dahil) isimlerine ulaşmak mümkündür.

TÜBA (Türkiye Bilimler Akademisi) ve TÜBİTAK, ülkemizin en önde gelen bilim kuruluşlarının başında yer alırlar. 1998 yılında yayımladıkları ortak bildiriyle evrim kuramının yaşamla ilgili en temel kuramlardan birisi olduğunu kabul ettiklerini açıklamışlardır.

Diğer bir liste ise, dünya çapında tanınmış bilimsel enstitülerin oluşturdukları İnterakademi Panel isimli gönüllü kuruluşun listesidir. Bu kuruluş belirli dönemler-

Şekil 30. Gri balinaların atası, karada yaşayan memeli *Pakicetus* ve ara form *Aetiocetus*. *Aetiocetus* sayısız ara formdan biridir.

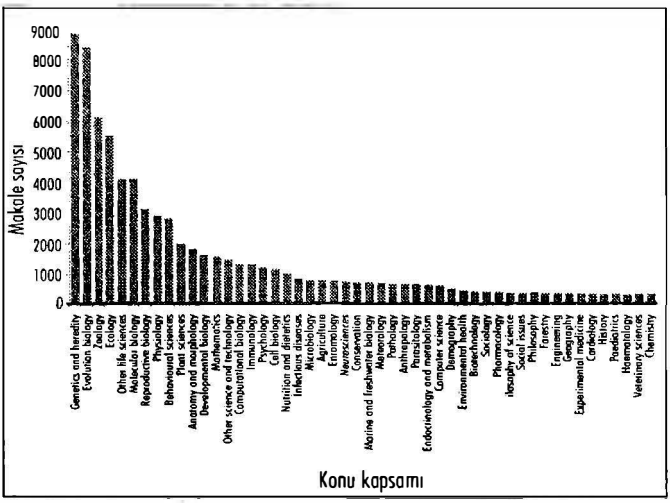


de yayımladığı bildirilerle kritik konularda topluma ve yöneticilere danışmanlık yapmayı amaçlar. 2006 yılında yayımlanan bildiride, evrim kuramının doğruluğu ve evrimi öğretmenin önemi vurgulanmıştır. Bildiride; "Bugün evrenin, yeryüzünün ve canlıların ortaya çıkışı ve gelişimi hakkındaki bilimsel deliller, dünyanın birçok ülkesinde gizlenmekte, çarpıtılmakta veya bilimin sınayamayacağı teorilerle karıştırılmaktadır" açıklaması da bulunmaktadır. Bildiriye imza koyanların binlerce bilim insanını temsil eden bilimsel enstitüler olduğu unutulmamalıdır. (Şekil 31)

Evrimin geçerliliğini gösteren diğer bir kaynak ise 16 Şubat 2009 tarihli *Nature* dergisinde "2009 Darwin Yılı" nedeniyle yayımlanan makaledir. İnternette arama motorları yardımıyla anahtar kelime kullanılarak bilimsel çalışmalar arasında bir tarama yapılmış ve sonuçlar da makalede yayımlanmıştır. 2008 tarihine kadar dünya çapında yapılan bilimsel makaleler içerisinde "natural selection-

Şekil 31. İnterakademi Panel'in 2006 yılında yayımladığı, evrim kuramının doğruluğunu ve evrimi öğretmenin önemini vurgulayan bildiriye imzasını koyan 68 bilimsel enstitüden bir bölümünün listesi.

Arnavutluk Bilimler Akademisi	Slovakya Bilimler Akademisi
Arjantin Ulusal Doğa Bilimleri Akademisi	Japon Bilim Konseyi
Avustralya Bilimler Akademisi	Litvanya Bilimler Akademisi
Avusturya Bilimler Akademisi	Meksika Bilimler Akademisi
Belçika Kraliyet Bilim ve Sanat Akademisi	Hollanda Kraliyet Bilim ve Sanat Akademisi
Bosna Hersek Bilim ve Sanat Akademisi	Yeni Zelanda Kraliyet Akademisi
Brezilya Bilimler Akademisi	Polonya Bilimler Akademisi
Bulgaristan Bilimler Akademisi	Peru Ulusal Bilim Akademisi
Kanada Sanat, İnsan ve Bilim Akademisi	Sırbistan Bilim ve Sanat Akademisi
Şili Bilimler Akademisi	Singapur Bilimler Akademisi
Çin Bilimler Akademisi	İspanya Kraliyet Bilim Akademisi
Çek Cumhuriyeti Bilimler Akademisi	İsveç Kraliyet Bilim Akademisi
Hırvatistan Bilim ve Sanat Akademisi	İsviçre Bilim Akademisi Konseyi
Küba Bilimler Akademisi	Türkiye Bilimler Akademisi
Danimarka Kraliyet Bilim Akademisi*	İngiltere Kraliyet Akademisi
Fransa Bilimler Akademisi	ABD Ulusal Bilimler Akademisi
Alman Bilim ve İnsan Akademi Birliği	Afrika Bilimler Akademisi
Yunanistan, Atina Akademisi	Gelişmekte Olan Ülkeler Bilimler Akademisi
Macaristan Bilimler Akademisi	Uluslararası Bilim Konseyi
İrlanda Kraliyet Akademisi	Tayvan Bilimler Akademisi
İran Bilimler Akademisi	Kenya Ulusal Bilimler Akademisi



Şekil 32. "Natural selection" anahtar kelimesiyle yapılan aramada elde edilen bilimsel makalelerin konulara göre dağılımı.

doğal seçilim" şeklinde arama yapıldığında elde edilen çalışma sayısı 14.232'dir. Bunun anlamı, bu sayıda farklı bilimsel çalışmada, verilen anahtar kelimeler kullanılmıştır. "Evrim" ya da evrim kuramı ile ilgili diğer anahtar kelimelerin kullanılması ile elde edilen makale sayısı çok daha fazla olacaktır. Şekil 32'de elde edilen 14.232 bilimsel makalenin hangi çalışma alanlarında olduğu da gösterilmektedir. Bu kanıtlar evrim kuramının bilim insanları tarafından kabul edilmeyen bir kuram olduğu yönündeki fikirleri yalanlamaktadır.

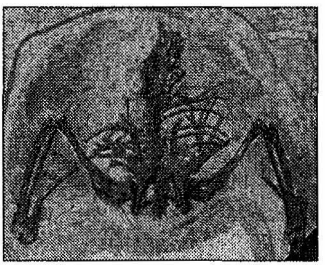
Burada verdiğimiz örnekler, evrim kuramının bilim âlemi tarafından kabulünü gösteren örneklerden sadece birkaç tanesidir. Ufak bir araştırmayla bu örnekler çoğaltılabilir. Önemli olan, bu kitabın da konusu olan, canlılığın milyarlarca yıllık gelişiminde temel belirleyici etmenin evrim olduğunun net şekilde anlaşılmasıdır.

12 | Evrimin kanıtları nelerdir?

Canlıların evrimleşerek çeşitlendiğinin kanıtları çok farklı bilim dallarından gelir. Aynı zamanda, antropoloji, astrofizik, kimya, jeoloji, fizik, matematik, davranış ve sosyal bilimler gibi bilim disiplinlerinde gerçekleştirilen geçmiş ve modern zaman araştırmaları, evrim için kanıtlar sağlar. Astrofizik ve jeoloji, Dünya'nın yaşının evrim yoluyla bugünkü türlerin oluşmasına yetecek derecede yaşlı olduğunu göstermiştir. Fizik ve kimya, önemli evrimsel olayların zamanlamasını olanaklı kılan tarihleme metotlarının geliştirilmesini sağlamıştır. Diğer türlerin çalışılması, türler arasında sadece fiziksel devamlılığın değil, aynı zamanda davranışsal devamlılığın da olduğunu göstermiştir. Antropoloji hem insanın kökeni ve hem de biyolojiyle kültürel faktörler arasındaki etkileşimler üzerine yeni bakış açıları getirmiştir.

Radyometrik tarihleme: Bilim insanlarının evrim çalışmalarında kullandıkları en temel yollardan biri radyometrik tarihleme yöntemleridir. Bu yöntemler sayesinde, tarihöncesinden kalmış kayaların, fosil örneklerinin, insan yapımı aletlerin vb. yaşı hesaplanabilir. Yöntemlerin temeli kısaca şöyledir: Bazı atomlar radyoaktiftir. Bunun anlamı, bu atomlar doğal olarak diğer radyoaktif ve radyoaktif olmayan atomlara bozunur ve bu sırada da atom altı partiküller ve enerji yayarlar. Her radyoaktif atom kendine özgü yarı ömre sahiptir. Yarı ömür bir örnekteki atomların yarısının bozunması için geçen süre demektir. Radyoaktif atomlar bu yüzden materyallerin bir iç saati gibidir. Bir materyaldeki radyoaktif elementin miktarının materyalin bozunmuş kısmıyla karşılaştırılması yoluyla, materyalin ne zaman oluştuğuna karar verilebilir. Bu ölçümlerle Dünya'nın, Ay'ın, meteoritlerin ve Güneş Sistemi'nin yaşı hesaplanmıştır. Tüm bu ölçümler bu gökcisimlerinin milyarlarca yıl yaşında olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde fosiller ve bulundukları toprak katmanlarının yaşı hesap-

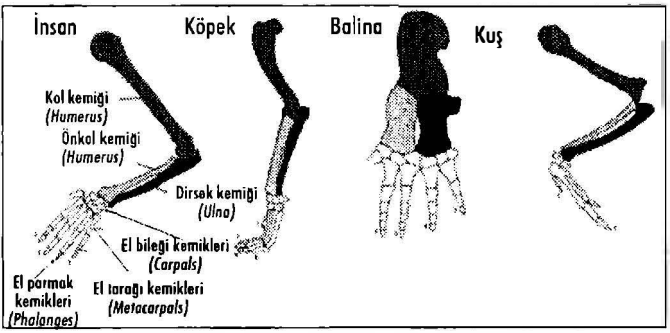
lanarak, canlının ne zaman yaşadığı bulunabilir.



Şekil 33. Çin'de keşfedilen ve 2006 yılında rapor edilen kuş-benzeri geçiş fosilinin neredeyse bütün haldeki iskeleti.

Fosil kaynakları: Canlıların evrimini gösteren bir diğer önemli kaynak da elde edilen sayısız fosil örneğidir. Fosil örnekleri, canlıların zaman içerisinde gösterdikleri değişimi ortaya koymaktadır. Örneğin, uzun süredir gündemde olan *Archaeopteryx* fosili, dinozorlar ile kuşlar arasındaki geçişi gösteren çok bilinen bir fosil örneğidir. *Archaeopteryx* bir dinozorun iskelet yapısına ve aynı zamanda da tüy ve kanatlara sahip 155 milyon yıllık bir fosildir. Çin'de bulunan 110 milyon yıllık kuş benzeri fosil örneklerinde de ufak kuyruk ve pençe uzantıları bulunmuştur. (Şekil 33) Daha yakın zamanlara ait fosil örneklerinde de balina, fil, armadillo, at ve insan gibi birçok modern organizmaya giden evrimsel yollar ortaya çıkarılmıştır.

Ortak yapı ve davranışlar: Eğer iki türün ortak ataları görece olarak daha yakın bir zamanda yaşamış ise, bu iki türün sahip olacağı ortak fiziksel özellikler ve davranışlar, ortak ataları daha eski zamanda yaşamış olan türlere göre daha fazla olacaktır. Bu yüzden de insanlar şempanzelere, balıklara benzediklerinden çok daha fazla benzer. Bununla birlikte, tüm organizmalar bazı ortak özellikleri paylaşır, bunun nedeni her organizmanın geçmişte bir noktada ortak bir ataya sahip olmasıdır. Örneğin, biriken fosil ve moleküler kanıtlara dayanarak, insanların, ineklerin, balinaların ve yarasaların ortak atasının yaklaşık 100 myö (milyon yıl önce) yaşadığı tahmin edilen, küçük bir memeli olduğunu söyleyebiliriz. O ortak atanın soyundan gelen nesiller temel değişiklikler geçirdilerse de, iskelet yapıları dikkat çekici bir şekilde benzer kalmıştır. Kemiklerden oluşan ve detayları farklı olsa da genel yapısı ve birbirine ilişkileri benzer olan iskelet yapısı ile insan yazar, inek yürür, balina yüzer ve yarasa da uçar.



Şekil 34. Karasal ve suda yaşayan bazı omurgalı hayvanların ön bacaklarındaki kemikler dikkat çekecek derecede benzerdir, çünkü hepsi ortak bir atanın ön bacaklarından evrimleşmiştir. Bu homolog (türdeş) yapılara bir örnektir.

Evrim biyologları ortak atadan türeyen benzerliklere homoloji (türdeşlik) adını vermektedir. Karşılaştırmalı anatomistler bu tür homolojileri sadece kemik yapısında değil, vücudun diğer tüm parçalarında da araştırır ve benzerlik derecesinden evrimsel ilişkileri çıkarırlar. Diğer biyologlar da aynı mantığı kullanarak, değişik organların fonksiyonlarındaki, embriyoların gelişimlerindeki ya da değişik organizmaların gösterdikleri davranışlardaki benzerlikleri araştırır. Bu araştırmalar bugünün organizmaları ile ortak atalarının bağlarını gösteren kanıtlar sağlar. Bu kanıtlar üzerine kurulan hipotezler de fosil kayıtları incelenerek test edilebilir. (Şekil 34)

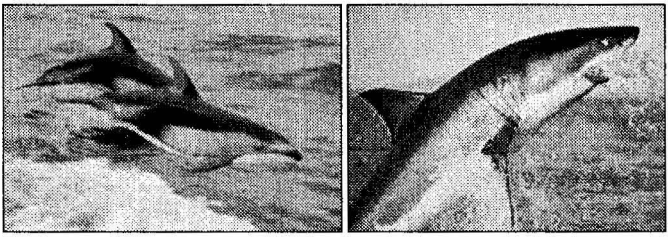
Bazen, ayrı soylar birbirinden bağımsız olarak benzer yapılara evrimleşebilir. Bu tür yapılara "analog" yapılar adı verilir. Homolojilere benzerler, ancak ortak atadan değil ortak çevreden ileri gelirler. Örneğin, yunuslar kara memelilerinden 50 milyon yıl kadar önce evrimleşen deniz memelileridir. Evrimsel terimlerle yunusların balıklara uzaklığı, fareler ya da insanların balıklara uzaklığıyla aynıdır. Ancak yunuslar, balıkların, köpekbalıklarının, hatta soyu tükenmiş *Ichthyosaurus* denilen dinozorların vücutlarına benzer aerodinamik vücut yapıları evrimleştirmişlerdir. (Şekil 35) Biyolojinin birçok değişik alanından gelen bu tür kanıtlar, evrimsel biyologların şu ayrımı

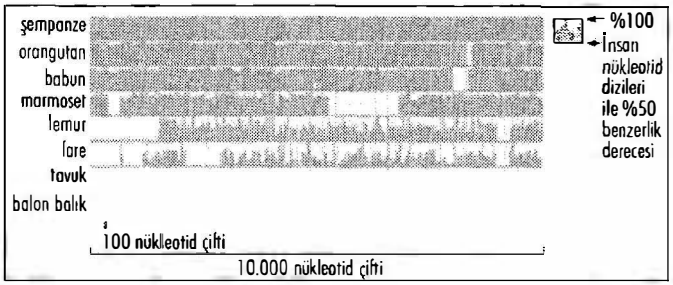
yapmalarına olanak sağlar: Fiziksel ve davranışsal benzerlikler, ortak atadan gelen bir sonuç mudur; yoksa benzer evrimsel meydan okumalara karşı geliştirilmiş bağımsız cevaplar mıdır...

Moleküler biyoloji kanıtları: DNA bir nesilden diğerine, atadan (ebeveyn hücreden) doğrudan yavruya (yeni hücreye) geçerek (eşeysiz üremede olduğu gibi) ya da DNA-içeren sperm ve yumurta hücrelerinin birleşmesi yoluyla (eşeyli çoğalan organizmalar gibi) aktarılır. Daha önce de tartışıldığı gibi, DNA nükleotidlerinin dizisi bir nesilden diğerine mutasyonlar yoluyla değişebilir. Eğer bu değişiklikler organizmaya yararlı özellikler kazandırıyorsa, yeni DNA dizisi yüksek ihtimalle popülasyon içerisinde nesiller boyunca yayılacaktır. Aynı zamanda, organizmanın sahip olduğu özellikler üzerinde etkisi olmayan nötr mutasyonlar da DNA nesilden nesile geçerken popülasyon içerisinde korunabilir. Sonuç olarak DNA, geçmişteki evrimsel adaptasyonlardan sorumlu değişiklikler gibi, genetik değişikliklerin bir kaydını içerir. Benzer olarak organizmanın sahip olduğu proteinler de, metabolik yol izleri de, zaman içerisinde evrimleşerek çeşitlenmiştir. DNA dizileri arasındaki benzerlik, diğer biyolojik moleküllerde de aranabilir. (Şekil 36)

Biyologlar iki organizmanın DNA dizilerini karşılaştırarak, o organizmaların ortak atayı paylaştıkları zamandan beri ne tür genetik değişiklikler geçirdiklerini ortaya çıkarabilir. Eğer iki tür görece olarak daha yakın zaman-

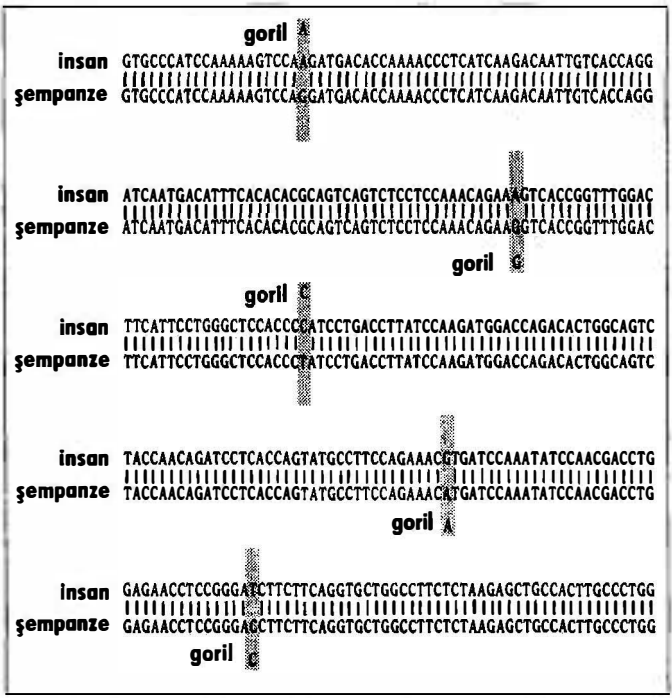
Şekil 35. Yunusların (solda) insanlarla olan akrabalığı, köpekbalıklarına (sağda) olan akrabalıklarından daha yakındır; buna rağmen yunuslar da köpekbalıkları da su ortamına adapte olmuş vücut yapıları geliştirmiştir. Bu analog yapılara bir örnektir.





Şekil 36. İnsanlarda mutasyona uğradığında kistik fibroza neden olan gen, şempanzelerdeki karşılık gene oldukça benzerdir; fakat insanlarla daha uzak akraba olan organizmalardaki karşılık gelen genlere daha az benzerdir. Yeşil çubukların yüksekliği başka organizmalardaki genin, 10.000 nükleotid aralığında, insan genine olan benzerliğini göstermektedir.

larda bir ortak ataya sahipseler, eski zamanlardaki bir ortak ataya sahip olan türlere oranla DNA dizileri daha benzer olacaktır. Örneğin, insanın DNA dizisi şempanze DNA'sından ortalama olarak sadece yüzde birkaç farklılık gösterir. Bu derece benzerlik şempanzelerle görece olarak yakın zamanlarda ortak bir ataya sahip olduğumuz anlamına gelir. Ancak insan DNA dizisi babun, fare, tavuk ve kirpibalıklarının DNA'ları ile karşılaştırıldığında, farklılığın giderek arttığı gözlemlenir. Artan farklılık, o organizma ile olan evrimsel yakınlığımızın azalması anlamına gelir. İnsan DNA dizisini sinek, solucan ve bitki DNA'ları ile karşılaştırdığımızda, farklılığın daha da fazla olduğu bulunmuştur. Ortak ata üzerinden ne kadar zaman geçmiş olursa olsun, her tür yaşam formunun DNA dizileri arasında benzerlik görülebilir. Hatta insan ve bakteri DNA dizilerindeki belirli bazı genler arasında benzerlik görülmektedir. Bu benzerliklerin anlamı her iki organizmada da benzer fonksiyonlara sahip moleküler sistemlerin varlığıdır. Böylece, biyolojik evrim, insan yaşamı için önemli olan biyolojik süreçlerin anlaşılması için neden diğer organizmalar üzerine de çalışılması gerektiğini göstermektedir. Gerçekten de, bugün gerçekleştirilen biyomedikal araştırmalarının çoğu, yaşayan tüm canlıların sahip oldukları biyolojik ortaklıklara dayanmaktadır. (Şekil 37)



Şekil 37. İnsan ve şempanzede leptin hormonunu (yağ metabolizmasında yer alan) kodlayan genlerin DNA dizileri karşılaştırıldığında, 250 nükleo'id içinden sadece beş nükleotidin farklı olduğu ortaya çıkarılmıştır. İnsan ve şempanze dizilerinin farklılık gösterdiği yerde, gorilde karşılık gelen nükleotid kullanılarak (gölgeli çizgiler), insan, şempanze ve gorillerin ortak atasında muhtemelen var olan nükleotid bulunabilir. Her iki durumda, goril ve insan nükleotidleri eşleşirken, diğer üç durumda goril ve şempanze dizileri aynıdır. Goril, şempanze ve insanın ortak atasının, günümüz organizmalarının üçte ikisinde aynı olan nükleotide sahip olması muhtemeldir, çünkü bu durum ikiden ziyade tek bir DNA değişikliğine ihtiyaç duyacaktır.

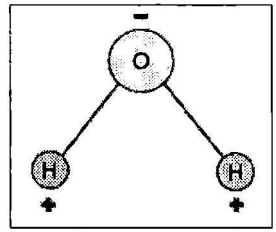
5. Bölüm
SU ve DÜNYA DIŞI YAŞAM

13 | Suyun yaşam için önemi nedir?

En küçük mikroplardan en büyük hayvanlara, dünya üzerindeki tüm canlıların yaşamları suya bağlıdır. Sahip olduğu çok farklı özellikler sayesinde, Dünya yüzeyinin ve atmosferinin şekillenmesini sağlamış, yaşamın ortaya çıkıp gelişmesinde ve devamlılığında vazgeçilmez bir rol oynamıştır. Dünya yüzeyinin yüzde 71'i su ile kaplıdır; bunun da yüzde 97'sini okyanuslar ve geri kalanını ise buzullar, kutup buzları, göller, nehirler vb. oluşturur.

Suyun, yaşamın ortaya çıkışı ve devamlılığı açısından son derece vazgeçilmez yapan özelliklerini şöyle sıralayabiliriz:

1) Su, iki hidrojen ve bir oksijen atomunun kovalent bağlarla bağlanması ile oluşur (H_2O). Oksijen atomu az da olsa negatif yüklüdür, hidrojen atomları da pozitif yüklüdür. Hidrojen ve oksijen atomları arasındaki bağ doğrusal değildir. Bu yapının sonucunda da su molekülü yük olarak kutupsal bir yapıdadır. Bir tarafta pozitif, diğer tarafta negatif yük bulunur denebilir. Oluşan bu kutupsallık,



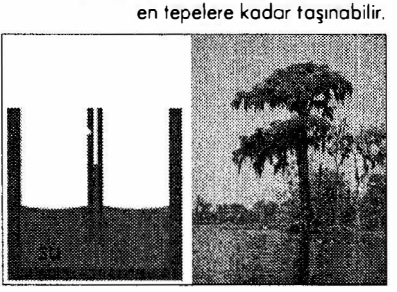
Şekil 38. Negatif yüklü oksijen atomu ve pozitif yüklü hidrojen atomu sayesinde su kutupsal bir yapıdadır.

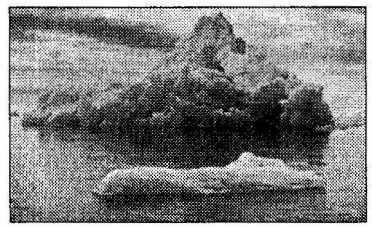
suyun sahip olduğu çok önemli özelliklerin temelini oluşturur. (Şekil 38)

Suyun kendi içinde, moleküller arası etkileşimleri ve temasta olduğu diğer maddelerle etkileşimleri vardır. Kendi molekülleri arasındaki etkileşimler sayesinde su yüzeyinde yüksek bir yüzey gerilimi oluşur. Bunun temelinde moleküller arası oluşturduğu hidrojen bağları vardır. Benzer hidrojen bağlarını birçok farklı molekülle de yapma eğilimindedir ve diğer materyallere yapışmasını sağlayan ve adhezyon adı verilen bir özellik de bu yolla ortaya çıkar. Diğer moleküllere olan bağlanma isteğinin kendi molekülleri arasındaki etkileşimlerden daha fazla olmasıyla "kapiler etki" adı verilen ve suyun tüpler içerisinde kendiliğinden yukarı doğru çıkmasını sağlayan bir etki oluşur. Özellikle yüksek ağaçlar topraktan aldıkları suyu üst kısımlarına kadar suyun bu özelliği sayesinde çıkarır. Örneğin, servi ağacı uzun bir ağaçtır ve yerden 30 m yukarılara suyu çıkarmak için kullandığı önemli etkenlerden birisi, suyun kapiler hareket özelliğidir. Çok daha kısa birçok bitki de, suyun bu özelliğini kullanarak suyu yukarılara doğru taşırlar. (Şekil 39)

2) Su katı hale geçtiğinde (donduğunda) yoğunluğu azalır. Bu sayede katı haldeki buz, sıvı suda batmaz. Buzun su yüzeyinde yüzüyor olması yaşamın evrimi açısından çok önemlidir. Eğer buz sudan daha yoğun olsaydı, Dünya soğudukça okyanuslarda oluşan buz dibe batacak ve alttaki soğuk suyu yukarı itecekti. Yukarıda soğuk su

Şekil 39. Kapiler etki sayesinde, servi ağacı gibi uzun ağaçlarda su en tepelere kadar taşınabilir.





Şekil 40. Devasa boyutlardaki buzullar, sıvı suyun daha yoğun olması sayesinde yüzeyde kalırlar.

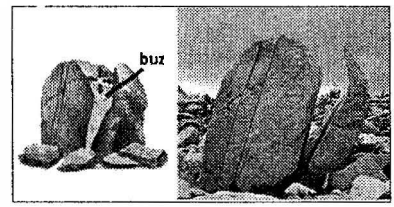
donduğunda tekrar batacaktı. Bu durum, tüm su donana kadar devam edecekti. Birçok deniz ve göl de bu şekilde buz ile dolacaktı. Bu da su içinde olan yaşamın büyük olasılıkla sonu olacaktı. Özellikle ilk yaşamın sularda ortaya çıktığı düşünülürse, yaşamın evrilmesi de engellenmiş olacaktı. (Şekil 40)

3) Suyun diğer bir özelliği de donduğunda genleşmesidir. Bu özellik karaların şekillenmesi açısından oldukça önemlidir. Kayalarda bulunan çatlaklardan içeri sızan su, geceleri sıcaklık düştüğünde donar ve genleşmeye başlar. Gündüz olduğunda ise hava ısınır ve çatlakta bulunan su daha derine doğru ilerler. Gece tekrar donar. Kayaların bu yolla parçalanması, toprak oluşmasına neden olur. Bitkilerin çok büyük bir kısmı toprak üzerinde gelişmiştir. (Şekil 41)

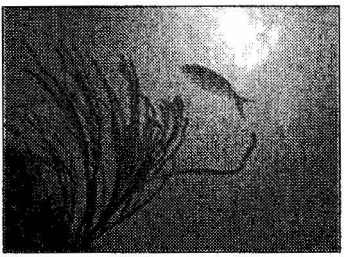
4) Isı kapasitesi en yüksek ikinci molekül sudur (amonyaktan sonra). Bu özellik, suyun karbondioksit ile birlikte Dünya atmosferindeki ısı dalgalanmalarını tamponlamasını (dengelemesini) sağlar. Bu sayede, atmosferde anlık aşırı sıcaklık artışı ya da düşüşü yaşanmamaktadır.

5) Su saydamdır. Gelen güneş ışığı suyun içerisine girer. Suda yaşayan ve fotosentez yapan canlıların gelişmesi ve yaşamlarını sürdürebilmesi için güneş ışığı vazgeçilmezdir. (Şekil 42)

Şekil 41. Kayalar arasına giren suyun donarak genleşmesi, bitkilerin gelişebileceği toprağın oluşumuna yol açmıştır.



6) Fotosentez yapan canlılar güneş enerjisini kullanarak suyu oksijen ve hidrojene parçalarlar. Hidrojen dışarıdan alınan CO_2 ile birleşerek glikoz yapımında kullanılırken oksijen ise dışarı-



Şekil 42. Su zararlı UV ışınlarını engellerken, fotosentez için gerekli ışığın girmesine izin verir.

ya verilir. Oksijenli solunum yapan organizmalar da bu işlemi tersine çevirerek oksijeni kullanır ve glikozu parçalayarak tekrar suyu ve CO_2'yi oluştururlar.

7) Su, evrensel çözücü olarak adlandırılır. Tuzlar, şekerler, asit, bazlar ve oksijen ve karbondioksit gibi su-seven gazlar suda çözünürler. Yaşamın temelini oluşturan protein, DNA ve polisakkarit gibi hücrenin parçaları da suda çözünür. Vücutta gerçekleşen birçok metabolik aktivite su içerisinde gerçekleşecektir. İnsan vücudunun yüzde 60-70'i sudan oluşur. Benzer şekilde bitkilerde bu oran yüzde 90'a kadar ve bazı hayvanlarda da (örneğin denizanası) yüzde 94-98'e kadar çıkabilir.

Tüm bu özellikler, suyun yaşamın ortaya çıkışı ve devam etmesinde ne derece belirleyici olduğunu ortaya koyuyor. Tüm bu özellikler yüzünden de, Dünya dışı yaşam araştırmalarında ilk bakılan yerler suyun sıvı halde bulunabileceği düşünülen bölgeler olmuştur.

14 | Evrende yaşam nerelerde ortaya çıkabilir? Yaşanabilir bölge nedir?

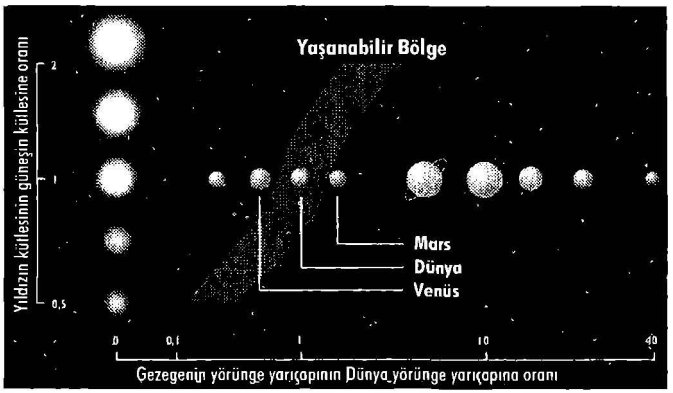
Bilim insanları, evrende bulunan milyarlarca gezegenin sadece çok küçük bir kısmının yaşama elverişli olduğunu düşünüyor. Yaygın olan genel görüş, yaşam için gerekli temel şartların sıvı su, kullanılabilir enerji kaynağı (örneğin, fotosentez için gerekli olan güneş ışığı) ve organik (karbon içeren) kimyasallar olduğu yönündedir. Tüm bu şartların oluşmasında, gezegenin evrende bulunduğu konumu belirleyicidir.

Öncelikle gezegenin bulunduğu yıldız sisteminin galaksi içerisindeki konumu önemlidir. Örneğin, Dünya'nın da içinde bulunduğu Güneş Sistemi, Samanyolu Galaksisi içerisinde yer alır. Galaksilerde merkeze doğru gidildikçe yıldızların yoğunluğu (ağır metallerin artmasıyla beraber) artacak ve yıldız çevrelerinde gezegen oluşması da daha yüksek bir olasılık olacaktır. Yaşamın dünya benzeri gezegen ya da uydularda ortaya çıkacağı düşünülmektedir. Ancak galaksi merkezine doğru gidildikçe süpernova (enerjisi biten yıldızın patlaması) oluşma ihtimali de artar. Patlama anında ortaya çıkacak yüksek radyasyon belirli uzaklıktaki gezegenlerdeki oluşabilecek ozon tabakasını ve olası yaşam formlarını yok edecektir. Bu yüzden galaksi merkezine daha yakın, ancak süpernova bölgesi dışında bulunan yıldız sistemlerinde yaşam görünme olasılığı daha fazla olacaktır.

Gezegenin yıldız sistemi içindeki konumu da önemlidir. "Yaşanabilir bölge" (habitable zone), yıldızların çevresinde dünya benzeri karasal gezegenlerin oluştuğu, atmosferin geliştiği ve suyun yüzeyde sıvı halde bulunabildiği bölgelerdir. Kısacası, yaşamın oluşması için gerekli şartların oluştuğu bölgedir. Örneğin, Güneş Sistemi'ndeki yaşanabilir bölge yaklaşık olarak Venüs ile Mars gezegenlerinin arasındaki bölgedir. Dünya da bu bölgede yer alır. Venüs Güneş'e Dünya'dan daha yakındır ve yüzey sıcaklığı sıvı su bulunamayacak kadar yüksektir. Mars ise Güneş'e Dünya'dan daha uzaktır ve aşırı soğuk yüzeyi nedeniyle su sıvı halde bulunmayacaktır. Suyun büyük kısmı kutup bölgelerindeki buzullarda saklıdır.

Yaşanabilir bölgenin belirlenmesinde, Güneş'ten olan uzaklık tek başına yeterli değildir. Yıldızın boyutu, tipi ve yaşı parlaklığını etkileyecektir. Yıldızlar yaşlandıkça daha parlak ve sıcak olacaklardır. Bu yüzden de zaman geçtikçe yaşanabilir bölge yıldızdan daha uzağa kayacaktır. Daha parlak bir yıldızın sönük bir yıldıza göre yaşanabilir bölgesi kendinden daha uzakta olacaktır.

Gezegenin boyutu da etkilidir. Küçük bir gezegen (örneğin, Mars'tan küçük bir gezegen) atmosferinde sıvı suyu tutacak kadar kütleye sahip olmayacaktır. Sonuç



Şekil 43. Dünya, yaşamın gelişebileceği ve Güneş'ten belirli bir mesafede bulunan yaşanabilir bölgede bulunur.

olarak yüzeydeki suyu kaybedecektir. Dünya'dan 10-15 kat daha büyük bir gezegen ise, yüksek çekim gücü yüzünden uzaydan gaz bulutları çekerek atmosferinde tutacaktır. Atmosferik basınç sıvı su bulundurmak için çok yüksek olacaktır.

Gezegendeki kıta hareketleri de (tektonik hareketler) atmosferdeki sıcaklığı etkiler. Sonuç olarak suyun buz, sıvı ya da gaz halinde olmasını etkileyecektir. Örneğin, Mars gezegeni kıta hareketleri olmayacak kadar ufak bir gezegendir. Bu yüzden volkan patlamaları görülmez. Gezegenin ilk zamanlarında volkanik aktivite olduğu düşünülse de, günümüzde atmosfere karbondioksit (CO_2) salınımı sağlayacak bir olay yoktur. CO_2, salınımı sera etkisi yaratan ve atmosferin sıcaklığını arttıran bir gazdır. Ortalama yüzey sıcaklığı -60 °C civarındadır. Bu sıcaklık sıvı halde suyun bulunması için çok düşük bir sıcaklıktır.

Venüs'te ise çok fazla miktarda CO_2 bulunur. Güneş'e daha yakın olduğundan yüzey sıcaklığı Dünya'daki yüzey sıcaklığından çok yüksektir. Bu da yüzeyden yüksek miktarda buharlaşma olmasına neden olur. Volkanlarla atmosfere salman CO_2 devamlı artan sera gazı etkisine yol açacaktır. Sıcaklık da artmaya devam edecektir. Venüs'te ortalama yüzey sıcaklığı 482 °C'dir. Bu da sıvı su bulunması için çok yüksek bir sıcaklıktır.

Dünya ise yaşamın gelişmesi için uygun bir gezegendir. Güneş'e olan uzaklığı, çok sıcak ya da çok soğuk bir atmosfere sahip olmasına neden olmamıştır. (Şekil 43) Kıta hareketleri (tektonik hareketler) meydana gelir ve özellikle Dünya'nın ilk zamanlarında yüksek miktarda CO_2 salınımı meydana gelmiştir. Zamanla bu salınım azalmış ve bir noktada kendi kendini kopyalayabilen canlı moleküller ortaya çıkmıştır. Atmosferde fotosentez ve solunum yapan organizmalar sayesinde CO_2 seviyesinde bir denge oluşmuştur. Endüstrinin gelişmesi ve ormanların yakılmasıyla birlikte, daha fazla CO_2'nin atmosfere salınması var olan dengeyi bozmaya başlamıştır. Sonuç olarak, artan sera etkisi nedeniyle atmosferik sıcaklık artacak ve dünya yüzeyindeki canlılığı tehdit eder hale gelecektir.

Buraya kadar bahsedilen genel kriterler, yeni keşfedilecek gezegenlerden elde edilecek bilgilere göre değişebilir. Örneğin, NASA tarafından fırlatılan Kepler mekiği Güneş Sistemi dışında 5 yeni gezegen keşfetmiştir. Bu gibi yeni keşfedilen gezegenlerdeki araştırmalarda sıvı suya rastlanırsa, yaşanabilir bölge tanımında da değişiklikler olabilir.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir etken de şudur: Gezegenlerin yüzeylerinde sıvı su bulunmaması, yüzey altında da bulunmadığı anlamına gelmez. Yüzeyin altının da araştırılmasıyla yaşanabilir yeni bölgelere ulaşılabilir. Buzla kaplı bir gezegen yüzeyde su bulundurmasa da, yüzey altında sıvı halde su bulundurabilir ve basit de olsa bir yaşam şekli gelişmiş olabilir.

15 | Dünya dışında yaşam var mıdır?

Sayısız bilim insanı, Dünya dışı bir yaşamın belirtilerini bulabilmek için araştırmalarına devam ediyor. Öne sürülen olası yerler arasında Venüs ve Mars gezegenleri, Jü-

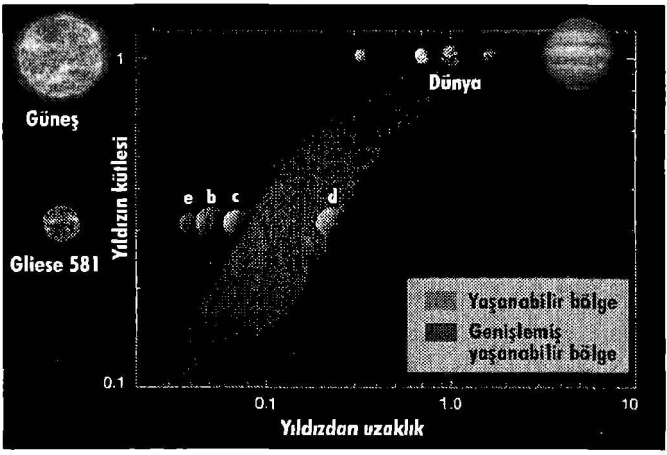
piter ve Satürn'ün uyduları (Europa, Enceladus ve Titan) ve Güneş Sistemi dışındaki Gliese 581c ve d gezegenleri öncelikli sıradadır. Bu araştırmalar sırasında dikkat edilen en önemli kriter yaşamın oluşabileceği bir çevrenin ve özellikle sıvı suyun var olabileceği bir yer bulabilmektir. Bunun dışında uzay boşluğunda ya da Dünya'ya düşmüş meteorlar üzerinde bulacağımız karmaşık yapıdaki organik moleküller ya da tarihöncesinden kalma hücre kalıntıları da, Dünya dışı yaşam konusunda bize fikir verebilir. (Şekil 44)

Araştırmaların iki temel başlık altında toplandığını söyleyebiliriz. İlki bilim insanları tarafından doğrudan yapılan araştırmalardır. Güneş Sistemi içinde ve Dünya'ya düşen meteorlarda olası yaşam izleri araştırılmaktadır.

Doğrudan araştırmalar

Bu araştırmalarda NASA (Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi) başı çekiyor. NASA, kurulduğu 1958'den itibaren astrobiyolojinin temel sorularına çözüm aramaya devam ediyor. Burada NASA'nın uzay programlarına bir göz atarsak, Dünya dışı yaşam araştırmaları hakkında yeterli bir fikre sahip olabiliriz.

Şekil 44. Gliese 581 yıldızının yaşanabilir bölgesinde özellikle 581d ve 581c'nin konumları, yaşamın oluşabilmesi açısından önem taşıyor.



Güneş Sistemi içinde: Dünya dışı yaşam ile ilgili ilk proje "Dünya Dışı Biyoloji Programı" (Exobiology Program) adı altında 1960 yılında kuruldu. 1976 yılında ilk Mars çalışmaları için fırlatılan "Viking Görevleri" Uydusunda, Mars'ta olası yaşam formlarını araştırmak için üç biyolojik deney de tasarlanmıştı. Devam eden yıllarda da Mars üzerine birçok çalışma gerçekleştirildi. 21. yüzyılda da NASA'nın Güneş Sistemi'ni araştıran keşif görevleri devam ediyor.

Mars çalışmalarının önem kazanmasının nedeni, bir zamanlar Mars yüzeyinde sıvı suyun olduğu ve şu anda da yüzeyin altında suyun olabileceği fikrinin kabul görmesidir. Bizim için de Dünya dışı yaşam için bakabileceğimiz ilk yerlerden birisi Mars'tır. "Mars Keşif Programı" dahilinde gerçekleştirilen "2001 Mars Odyssey" görevi ile gönderilen uydu, Mars yörüngesine oturduğu 2001 yılından beri gönderdiği 130.000'den fazla fotoğraf ile yüzeyin jeolojisini, iklimini ve mineral yapısını ortaya koymaya devam ediyor. "Spirit and Opportunity" görevi ile 2004 yılında Mars yüzeyine gönderilen iki robot kilometrelerce yol alarak yüzeyden topladıkları bilgi ve çektikleri görüntüleri Dünya'ya gönderdiler. Her iki araç da Mars yüzeyinde çok eski zamanlarda su bulunan ve yaşanabilir bölgeler olduğunu ortaya çıkardılar. 2003 yılında Mars yörüngesine oturtulan "Mars Express", yüzey altında bulunabilecek suyu araştırmaktadır. 2006 yılında Mars yörüngesine oturtulan "Mars Reconnaissance Orbiter" Uydusu da, şimdiye kadarki en güçlü kamerayı taşımaktadır. Yüzeyde bulunan bir yemek tabağı boyutundaki cisimlerin dahi net görüntüsünü alabilmektedir. "Mars Bilim Laboratuvarı" görevi de, 2011 yılı sonlarına doğru fırlatılmayı bekliyor. Yüzeyde hareket edebilecek bir araç olan laboratuvar mikrobiyal yaşam kanıtlarının varlığını araştıracak.

"Phoenix Mars" görevi kapsamında Ağustos 2007'de fırlatılan uydu, Mars yüzeyinden örnekler topluyor ve yüzeyinin analizini yapıyor. Mars'ta suyun tarihini ve geçirdiği farklı evreleri araştırmayı ve yaşama elverişli bölgelerin bulunmasını amaçlıyor. Şimdiye kadar 25 Gb.'tan

fazla bilgi göndermiş durumda. Yüzeyden toplanan katı örnekler içerisinde suyun varlığı da bulundu.

Yakın gelecekte Mars için olduğu gibi, Jüpiter'in Europa Uydusu için de benzer görevlerin başlatılması planlanıyor. 1989 yılında fırlatılan uzay mekiği "Galileo" 1995-2003 yılları arasında Jüpiter yörüngesinde dönerek gezegen ve uyduları hakkında bilgi toplamıştı. Europe Uydusunun görüntüleri, bilim insanlarını, yüzeyin altında bir okyanus olduğu ya da yüzeyin buzla kaplı olduğu fikrine götürdü.

2004 yılında fırlatılan ve Merkür Gezegenini araştıracak olan "Messenger" mekiği de 2011 yılında Merkür'e ulaşacak. Mekik öncelikle Venüs Gezegeni yörüngesine girerek, çektiği görüntüleri Dünya'ya gönderecek. Bu gezegenlerden de daha fazla bilgi almamız mümkün olacak.

Güneş Sistemi dışında: Astronomlar Güneş Sistemi dışında bulunabilecek Dünya benzeri gezegenleri de araştırıyor. 2005 yılından sonra Güneş Sitemi dışında keşfedilen Gliese 581 yıldızının gezegenleri Gliese 581c ve d, suyun sıvı halde bulunma ihtimali olduğu düşünülen gezegenlerdendir. Avrupa Uzay Ajansı tarafından geliştirilen Darwin Uzay Mekiği Projesi de Güneş Sistemi'ne yakın yıldız sistemlerindeki olası Dünya benzeri gezegenleri araştıracaktır. 2009 yılında NASA tarafından fırlatılan Keppler mekiği çalışmaya devam ediyor. Mekikte bulunan teleskop sayesinde Güneş Sistemi dışında Dünya benzeri Keppler 4b, 5b, 6b ve 7b adı verilen beş gezegen keşfedildi.

Gliese 581d ve c gezegenleri, Dünya'dan 194 trilyon km uzaklıkta, Gliese 581 yıldızının çevresinde dönüyorlar. Gliese 581d yıldız sistemindeki en dışta bulunan gezegen ve yıldızın "yaşanabilir bölge kuşağında" yer alıyor. Bu yüzden de okyanuslarla kaplı olma ve yaşam bulunma ihtimali en yüksek olan gezegen.

Dünya çevresinde yörüngede bulunan "Hubble Uzay Teleskopu" ve "Spitzer Uzay Teleskopu" ile Hawai'de bulunan Keck Gözlem Evi Teleskopu gibi yer teleskopları uzayı tarayarak yaşanabilir gezegenleri bulmaya çalışmaktadır.



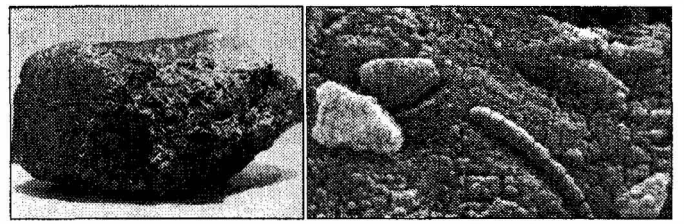
Şekil 45. Murchison Meteoru'ndan bir parça.

Buraya kadar anlattıklarımız, Dünya dışı canlı araştırmaları için gerçekleştirilen görevlerin bir kısmıdır. Bu ve benzeri araştırmalarda peşine düştüğümüz önemli veriler sıvı su, karmaşık organik moleküller ya da basit hücre yapılarıdır.

Meteorlarda ve uzay boşluğunda elde edilen organik moleküller: Dünya dışı yaşam ile ilgili araştırmalarda, uzay boşluğunda ya da Dünya'ya düşen meteorlarda bulunan karmaşık yapıdaki organik moleküller önemli yer tutuyor.

Astronomların güçlü teleskoplarla uzayı inceledikleri çalışmalarda bulunan moleküller, yaşamın belki de Dünya'da başlamadığı, bunun yerine uzayda başlayıp Dünya'ya taşınmış olduğu fikrini destekliyor. Farklı grupların yaptığı çalışmalardan elde edilen yüzlerce karmaşık organik molekül arasında, yapısında amino asitleri birbirine bağlayan peptid bağı da bulunan "asetamid" (CH_3CONH_2), antrasin ($C_{14}H_{10}$), naftalin ($C_{10}H_8$), etil format (C_2H_5OCHO) ve n-propil siyanid (C_3H_7CN) gibi moleküller de bulunuyor. Bu gibi moleküller UV ışınına maruz bırakıldığında su ve amonyak ile birleşerek amino asitleri ve yaşam için gerekli diğer organik molekülleri oluşturabilir.

Benzer moleküller Dünya'ya düşen meteorlarda da keşfedildi. Üzerine en çok çalışılan meteorlardan biri 1969 yılında Avustralya'ya düşen Murchison Meteoru'dur. Meteor üzerinde bulunan organik moleküller arasında farklı amino asitler ve nükleik asit yapıtaşları da vardı. Meteorun düştüğü günden itibaren, elde edilen sonuçlar üzerine tartışmalar devam etse de, inceleme teknikleri geliştikçe, daha fazla karmaşık yapıda organik molekül bulunmaya devam ediyor. 4,6 milyar yıl önce oluştuğu hesaplanan meteor, Güneş Sistemi'nin ilk oluştuğu dönemden bize bilgiler veriyor. (Şekil 45)



Şekil 46. ALH84001 Meteoru ve alınan örneklerin elektron mikroskop görüntüleri, olası bakteri hücreleri.

1996 yılında Antartika'da bulunan ve ALH 84001 olarak adlandırılan diğer bir meteor da bize önemli bilgiler veriyor. Meteor Dünya'ya 13.000 yıl önce düşmüş ve yaklaşık olarak 4,5 milyar yaşında. Araştırmacılar meteorun Mars'ta yaşam izi olasılığını gösterdiğini düşünüyor. Bulgular arasında tarihöncesi bakterilerin kalıntısı olduğu düşünülen izler de var. (Şekil 46)

Dolaylı yoldan araştırmalar

Dünya dışı yaşam izlerini araştırmanın ikinci yolu ise dolaylı yoldan yaşam izlerine ulaşmaktır. Uzayda bulunması muhtemel zeki varlıkların izleri araştırılarak ve bu varlıklara mesajlar göndererek sonuç alınmaya çalışılmaktadır. Evrende bizim dışımızda zeki varlıkların olup olmadığını bilmiyoruz. Ancak olmaması için bir neden yok gibi görünüyor. SETI programı (Search for Extraterrestrial Intelligence- Dünya Dışı Akıllı Yaşam Araştırması) 1971 yılında NASA tarafından başlatılan bir proje. Dünya dışı canlı bir varlıktan ya da teknolojik olarak gelişmiş bir medeniyetten gelen mesajların saptanmasını ve incelenmesini hedefliyor. Bilimsel yöntemler kullanılarak Dünya dışından gelen elektromanyetik dalgalar saptanmaya çalışılıyor. Aynı şekilde uzaya gönderilen belirli mesajlara da cevap bekleniyor. SETI@home Projesi ile ev bilgisayarlarına kurulabilecek bir yazılım geliştirildi. Toplamda 290.000 bilgisayarın katıldığı ve 617 teraFLOP işlemci gücüne sahip bir ağ oluşturuldu ve bu şekilde, saptanan sayısız sinyalin incelenmesi için gerekli bilgisayar gücü sağlanmış oldu.

Dünya dışı zeki yaşam formu bulunma olasılığı

Son olarak ise bir hesap yapabiliriz. Evrende yaşamın sadece Dünya'da bulunabileceğini düşünmek çok mantıklı olmayacak gibi görünüyor. SETI programının kurucusu Amerikalı astronom ve astrofizikçi Frank Drake, Samanyolu Galaksisi'nde bulunan olası medeniyetlerin sayısını hesaplamak için 1961 yılında bir formül geliştirmiştir. "Drake eşitliği" adı verilen bu eşitlik kesin bir sayı vermiyor, ancak bir olasılık hesabı yapmaya, uzayda bulunan ve bizimle bağlantı kurabilecek medeniyet sayısını öngörmeye çalışıyor.

Eşitlik kısaca şöyle: $N = R \times fp \times ne \times fl \times fi \times fc \times L$

Eşitlikte bulunan parametreler ve yanlarındaki öngörülen değerler şöyle:

N: Samanyolu Galaksisi'nde bulunan ve iletişime geçilebilecek medeniyet sayısı.

R: Samanyolu Galaksisi'ndeki yıldızların sayısı (100 milyar).

fp: Bu yıldızlardan gezegenlere sahip olanların oranı (yüzde 20-50)

ne: Her yıldız sisteminde yaşam için elverişli ortama sahip gezegen sayısı (1-5)

fl: Yaşama elverişli gezegenler arasından yaşamın gerçekten geliştiği gezegenlerin oranı (yüzde 0-100)

fi: Bu gelişen yaşamlar arasında zeki yaşamın geliştiği gezegenlerin oranı (yüzde 0-100)

fc: Bunlardan, uzaydaki sinyalleri araştırabilecek kadar gelişmiş teknolojiye ulaşan ve iletişime geçmek isteyen medeniyetlerin bulunduğu gezegenler (yüzde 1)

L: İletişim kurulan uygarlıkların var olma süresinin iletişime geçebilmeye yetme olasılığı (1/1.000.000)

Drake eşitliği, kullanılan sayılara göre çok farklı sonuçlar verir. Eşitlikteki değerler tahmine dayalı ve bu tahminler de bilimsel gelişmelerle birlikte gerçeğe daha yaklaşacak. Ancak en düşük değerlere yakın bir hesap yapılsa dahi, elimizde zeki ve iletişime geçebilecek medeniyetlerin bulunduğu onlarca ya da yüzlerce gezegen çıkacaktır.

6. Bölüm
YAŞAMIN KRONOLOJİK GELİŞİMİ

6.1. BÜYÜK PATLAMA

16 | Evren nasıl ortaya çıkmıştır?

Yaşamın dünya üzerinde geçirdiği evreleri ve bugüne nasıl ulaştığını kavramak istiyorsak, hikâyeye en başından başlamamız gerekir. Öncelikle bilim dünyasında, evrenin nasıl oluştuğu sorusuna verilen cevabı ele alalım. Daha sonra Güneş Sistemi ve Dünya'nın nasıl oluştuğu sorularını yanıtlayarak, yaşamın dünyada ortaya çıkışına ve gelişimine gelebiliriz.

Evrenin oluşumunu ve evrimini anlatan ve bilim insanları arasında en yaygın kabul gören teori "Büyük Patlama" (Big Bang) teorisidir. Bu teoriye göre evrenin tümü, bundan 13,7 milyar yıl önce çok sıcak ve yoğun küçük bir nokta halindeydi. Evrenin tüm kütlesi tek bir noktada saklıydı. Büyük Patlama'dan sonra ise, evren günümüze kadar genişlemeye ve aynı zamanda da soğumaya devam etti. Galaksiler birbirlerinden uzaklaştılar ve uzaklaştıkça hızları arttı. Günümüzde de genişleme devam etmektedir.

Büyük Patlama modelinin dayanak noktaları ve ortaya çıkışı

Büyük Patlama teorisinin ortaya çıkışını sağlayan iki önemli dayanak noktasından ilki, Albert Einstein'ın 1916 yılında geliştirdiği genel görelilik teorisidir. Bu teoride, Isaac Newton'ın yerçekimi teorisi genelleştirilmiş ve yerçekimi artık yerçekimsel bir alan olarak tanımlanmak yerine, uzayın ve zamanın bükülmesi olarak tanımlanmıştır. Örneğin, ışığın Güneş tarafından bükülmesi bu yolla açıklanabilir. Büyük Patlama teorisinin dayanak noktalarından ikincisi ise, kozmolojik prensip fikridir. Genel görelilik teorisi üzerine çalışan ve Einstein'in de dahil olduğu bilimciler, yeni yerçekimsel dinamikleri tüm evrene uygulamaya çalıştılar. Bu prensip bir varsayımı içermekteydi: Evrenin tümünü görmesek de gözlemleyebildiğimiz kısmıyla şu sonuca ulaşabiliriz. Madde, evrende homojen ve izotropik (her yöne doğru eşit dağılımlı) olarak dağılmıştır. Bu basit varsayım daha sonraki bulgularla desteklenmeye devam etti. Özellikle Büyük Patlama sırasında çıkan çok yüksek sıcaklığın kalıntısı diyebileceğimiz kozmik mikrodalga ardalan ışınımının evrenin farklı yerlerinde de homojen sıcaklıklarda olması kozmolojik prensip fikrini desteklemektedir. Bu iki dayanak noktası Büyük Patlama fikrinin temelini oluşturdu.

1917 yılında evrenin genişlemekte olduğu fikri saçma bir fikir olarak kabul ediliyordu. Einstein, genel görelilik teorisini statik (sabit) bir evren modeline uydurmak için kozmolojik sabit adı verilen bir sabit ekledi. Genel görelilik teorisini kozmolojiye uygulayarak evrenin genişlediği sonucuna ulaşan ilk kişi, 1922 yılındaki yayınıyla Rus bilimci Alexander Friedmann'dı. 1927 yılında da Belçikalı rahip Georges Lemaitre, Friedmann'ın eşitliklerini ve Einstein ile Willem de Sitter'ın çalışmalarını kullanarak benzer şekilde evrenin genişlediği sonucuna vardı.

Gözlemsel ilk destek

Ancak tüm bu hesaplamalara karşın, gözlemsel kanıt



Şekil 47. Albert Einstein ve Edwin Hubble Mt. Wilson Gözlemevi'nde, 1931

1929 yılında Amerikalı astronom Edwin Hubble'dan geldi. Hubble, yaptığı gözlemler sonucunda, Samanyolu Galaksisi dışındaki galaksilerin bizden uzaklaştıklarını ve hızlarının da bizden uzaklıklarıyla doğru orantılı olduğunu gözlemledi. Daha sonraları Hubble Yasası olarak adlandırılan bu yasaya göre, uzak galaksilerden gelen ışık, galaksi bizden uzaklaştıkça spektrumda kırmızıya doğru kayıyordu. Uzaklaşma hızları da uzaklıklarıyla doğru orantılıydı. Hubble, ışık spektrumundaki değişmeleri gözlemleyerek evrenin genişlediği sonucuna ulaşmıştı. Evren gerçekten de her yöne doğru genişliyordu ve Einstein sonradan getirdiği kozmolojik sabitle bir hata yapmıştı. Hubble'ın bulduğu sonuç ise Einstein'in genel görelilik teorisine ve evrenin homojen ve izotropik olduğu fikrine uyuyordu. (Şekil 47)

İlk atom hipotezi (Büyük Patlama)

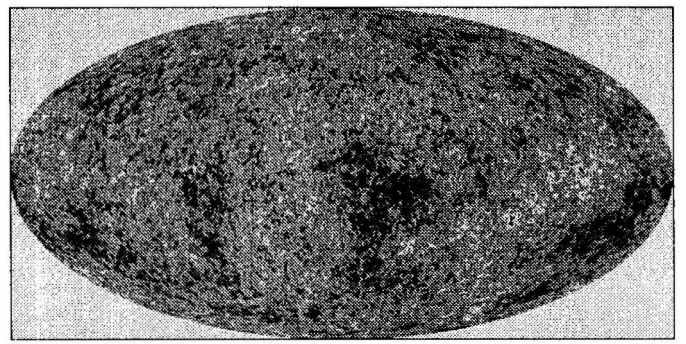
1931 yılında George Lemaitre'nin öne sürdüğü ve "ilk atom hipotezi" adını verdiği hipotez daha sonraları "Büyük Patlama" teorisi olarak anılmaya başlanmıştır. Lemaitre, öne sürdüğü hipotezde, zamanda yeterince geriye gidildiğinde var olan tek bir atoma ulaşılacağını önermişti. Büyük Patlama terimini isc ilk olarak İngiliz bilimci Fred Hoyle 1949 yılında BBC Radyosu'nda yaptığı bir röportaj sırasında, bu teoriyle dalga geçmek için kullanmıştır. Fred Hoyle, Büyük Patlama karşıtı olarak bilinen sabit evren modelinin savunucusuydu. George Gamow ve çalışma arkadaşları, Lemaitre'nin Büyük Patlama teorisine destek verdiler ve Büyük Patlama çekirdek sentezi fikrini öne sürerek kozmik mikrodalga ardalan ışınımının varlığını tahmin ettiler.

Büyük Patlama kuramının destekleri

Matematiksel hesaplamalar dışındaki önemli ilk gözlemsel destek, yukarıda bahsettiğimiz Hubble'ın yaptığı gözlemlerdi. Gözlemsel desteklere, çekirdek sentezinin ve kozmik mikrodalga ardalan ışınımının bulunması da eklenebilir.

Çekirdek sentezi: Çekirdek sentezi, ağır olan elementlerin hafif olan elementlerin birleşmesiyle oluşmasıdır. Büyük Patlama teorisinin öngörülerinden birisi ilk evrenin çok sıcak olduğudur. Patlamadan 1 saniye sonra sıcaklık 10 milyar derece civarındaydı ve evren nötron, proton, elektron, anti-elektron (pozitron), foton ve nötrinolardan oluşmuştu. Evren soğudukça nötron ve protonlar birleşerek dötoryumu (hidrojenin izotopu) oluşturdular. İlk üç dakika içinde dötoryumdan helyum ve bir miktar da lityum oluştu. İşte bu ilk hafif elementlerin oluşmasına Büyük Patlama çekirdek sentezi adı verilir. Hidrojen ve helyumun evrendeki oranı, teorik hesaplamalara göre Büyük Patlama'dan arta kalması gereken helyum ve hidrojen miktarıyla uyumludur. Evrendeki hafif elementler ilk patlama sırasında üretilirken, diğer ağır elementler sonradan üretilmiştir. Lityumdan daha ağır elementler yıldızlarda üretilir. Yıldız evriminin son aşamalarında helyum, karbon, oksijen, silikon, sülfür ve demire yakılır. Daha ağır elementler de süpernova patlamalarında ya da süper dev yıldızlarda üretilir.

Kozmik mikrodalga ardalan ışınımı: Büyük Patlama teorisinin bir öngörüsü de şudur: İlk evren çok sıcaktı (10 milyar derece) ve genişledikçe soğumaya başladı. Öyle bir sıcaklığa gelindi ki, elektronlar çekirdeklerle birleşerek nötr atomları oluşturdu. Bu zamandan önce evren opaktı. Işığı geçirmiyordu. Bunun nedeni de serbest olan elektronların ışığı dağıtacak olmasıydı. Ancak elektronlar atomların yapısına katıldıkça, evren saydam hale gelmeye başladı. İşte bu ilk fotonların ışımaları "kozmik mikrodalga ardalan ışınımı" olarak bilinir ve o zamandan beri evrende yol almaya devam etmektedirler. Gittikçe daha silik ve düşük enerjili olmuşlardır. Bugün kozmik mikrodalga



Şekil 48. WMAP Uydusu (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe - Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Sondası), tüm gökyüzündeki kozmik mikrodalga ardalan ışınımındaki sıcaklık dalgalanmalarını, derecenin 100.000'de 1'i hassaslığıyla ölçebiliyor. Evrendeki ortalama sıcaklık 2,725 Kelvin (-270,275 °C). Şekildeki farklı tonlar, farklı ısı bölgelerini gösteriyor.

ardalan ışınımı çok soğuktur (mutlak sıfırın sadece 2,725 °C üzerindedir, yaklaşık -270 °C) ve gözle görünmez. Ancak tüm evreni doldurmuştur. Evrendeki sıcaklık dağılımı da homojendir. (Şekil 48) Bu derece homojen dağılmış bir ışımanın kaynağı tek bir nokta olmalıdır. Bu da Büyük Patlama teorisini destekleyen sonuçlardandır. Kozmik ışımanın özelliklerini araştırarak evrenin ilk zamanları hakkında bilgi sahibi olabiliriz. İlk defa 1965 yılında New Jersey'de bulunan Bell Telefon Laboratuvarı'nda radyo alıcısı ile çalışan Arno Penzias ve Robert Wilson tarafından gözlenmiştir. Penzias ve Robert bu keşifleri sayesinde 1978 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü kazanmıştır.

Son dönem bulgular: Teleskop teknolojisindeki gelişmeler ve uydular aracılığıyla elde edilen bilgiler sonucunda 1990'lı yıllarda ve 21. yüzyılın başlarında Büyük Patlama ile ilgili önemli ilerlemeler yaşandı. 1989 yılında fırlatılan COBE Uydusu (Kozmik Arkaplan Araştırma Uydusu), 1993 yılında kullanılmaya başlanan Hubble Uzay Teleskopu ve 2001 yılında fırlatılan WMAP Uydusu evrenin sırlarını araştırmaya devam ediyor. COBE ile elde edilen bilgiler, kozmik mikrodalga ardalan ışınımı ile ilgili öne sürülen tahminleri doğruladı. WMAP ile özellikle

Büyük Patlama'dan arta kalan "kozmik mikrodalga ardalan ışınımı" kullanılarak evrenin detaylı görüntüleri alındı. Bu yolla evrenin yaşı 13,7 milyar yıl olarak hesaplandı ve özellikle şişme teorisinin doğruluğu gösterildi. 2009 yılında fırlatılan Planck Uzay Mekiği de, 2012 yılından itibaren arkaplan ışımalarını araştırmaya başlayacak.

Şişme teorisi (kozmik şişme ya da şişen evren)

Şişme teorisi (enflasyonist evren modeli), Büyük Patlama'nın ilk anlarında evrenin çok hızlı bir şekilde genişlediğini öne sürer. Evrenin 13,7 milyar yıl boyunca görece olarak kademeli genişlediğini söyleyen standart Büyük Patlama teorisindeki eksikleri tamamlamak amacıyla geliştirilmiştir. Günümüzde Büyük Patlama teorisinin bir uzantısı olarak kabul edilmektedir. Büyük Patlama'da evrenin nasıl geliştiği açıklanırken, şişen evrende ise daha çok ilk genişleme ve nedenleri açıklanır.

1980 yılında Alan Guth, Andrei Linde, Paul Steinhardt ve Andy Albrecht tarafından geliştirilmiştir. Şişme hızlı ve güçlüdür. Nedeni kesin olarak bilinmese de, aşırı miktardaki kararsız enerji çok kısa bir süre içerisinde evrenin çok hızlı genişlemesine yol açmıştır. Evrenin doğrusal boyutu saniyenin çok küçük bir kısmında ~10^{26} kat artmıştır. Bu modelle, Büyük Patlama modelinde açıklanamayan evrenin homojen olma nedenlerine, ufuk problemine ve düz evren sorunlarına cevap verilebilmiştir. Standart Büyük Patlama'da önerildiğinden çok daha küçük bir nokta evrenin başlangıcı olarak kabul edilmiştir.

BÜYÜK PATLAMA'NIN KRONOLOJİSİ:

Büyük Patlama'nın hemen öncesi: Büyük Patlama'dan hemen öncesinin nasıl olduğunu hiç kimse bilmemektedir. Şu andaki en iyi teori "şişen evren modeli"dir. Bu modele göre Büyük Patlama öncesinde evren çok yoğun ve kararsız bir enerji türü ile doludur ve Büyük Patlama ile birlikte bu enerji, maddeyi oluşturan moleküllere dönüşecektir. Ancak kimse uzayın ve zamanın ilk defa nasıl ortaya çıktığını bilmemektedir.

Büyük Patlama anında: Maddeyi oluşturan parçacıklar meydana gelir. Bu oluşumun nasıl olduğu bilinmemektedir. Bu parçacıklardan bizi ve evreni oluşturan madde oluşacaktır. Madde ve enerji son derece yoğun bir yapıda bulunur, öyle ki 1 çay kaşığı büyüklükteki evren 100 milyon trilyon trilyon trilyon kilo edecektir. Evren 2,5 cm çapındadır.

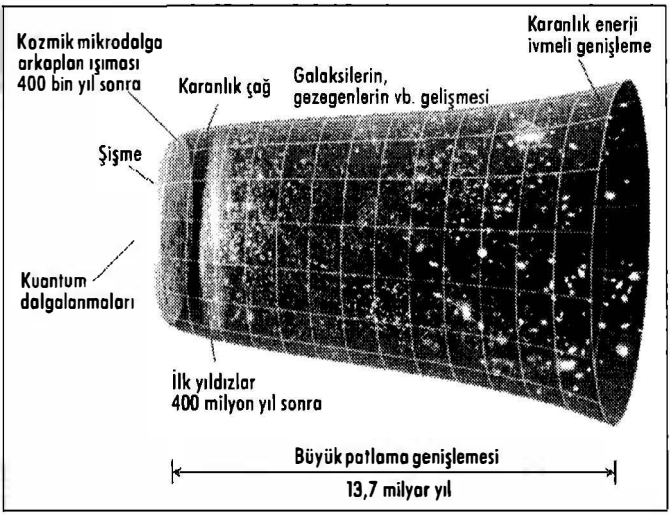
İlk üç dakika: Evrendeki tüm hidrojen atomları oluşmuş durumdadır Eğer evrenin sıcaklığı ve yoğunluğu bu derece yüksek kalmaya devam etseydi, hidrojenin tamamı diğer kimyasal elementlere dönüşmüş olacaktı. Hidrojen olmadan da su olmayacaktı ve sonuç olarak yaşam da ortaya çıkmayacaktı. Evren çok hızlı büyüyerek 500 trilyon km çapına ulaştı.

Patlamadan 300 binyıl sonra: Patlamadan 300 binyıl sonra, evren hızlı bir şekilde genişlemeye ve soğumaya devam etse de, hâlâ yanıcı sıcaklığını koruyordu. Ortamda sadece en basit elementler bulunuyordu. Çoğunlukla da hidrojen ve helyum vardı. İlk yapı oluşumlarının izleri ortaya çıkmaya başlıyordu. Bu ilk madde gruplarının çekim güçleri çevredeki maddeleri de çektikçe büyümeye devam ettiler. Evrende tespit edebileceğimiz en eski ışık, bu zamandan kalmadır. Evren genişlemeye devam etti; 750.000 x trilyon km çapındaydı.

Patlamadan 100 milyon yıl sonra: Evren yeterince soğuduğunda, artık görünür bir ışık kalmamıştı. İlk yıldızlar daha oluşmadılar. Sadece karanlık vardı. Evrenin çapı 25 milyon x trilyon km'ydi.

Patlamadan bir milyar yıl sonra: İlk milyar yılın öncesinde ilk yıldızlar parlamaya başlamışlardı. Birçok yıldız yerçekimi kuvvetleri sayesinde bir araya gelerek galaksileri oluşturdu. Genişleme sürmekteydi, evren 100 milyon x trilyon km çapındaydı.

Patlamadan 13,7 milyar yıl sonra: Binlerce galakside, milyarlarca yıldız ve gezegen bulunuyor. Güneş Sistemimiz evrende bir atom boyutunda. Günümüzde genişleme devam ediyor, evren 1 milyar x trilyon km çapında. (Şekil 49)



Şekil 49. Evren 13,7 milyar yıldır genişlemeye devam ediyor.

17 | Evrenin yapı maddesi nedir?

Evrenin nasıl oluştuğunu daha iyi kavrayabilmek için cevaplanması gereken önemli bir soru da evrenin yapıtaşlarının neler olduğu sorusudur. Trilyonlarca kilometrelik geniş bir alana yayılmış galaksilerden, yıldızlardan, gezegenlerden bahsediyoruz. Günümüzde evren 10^{26} m boyutlarındadır ve bu kadar alan içerisinde yaklaşık olarak 10^{11} galaksi (yani 100 milyar galaksi), 10^{21} yıldız bulunur. Toplam atom sayısı ise 10^{78} ve foton sayısı da 10^{88} gibi yüksek sayılardır. Peki böyle bir yapıyı oluşturan temel bileşenler nelerdir? Bizim bildiğimiz doğa kanunları ya da gözlemlerimiz dışında meydana gelen bazı başka fizik kanunları ya da maddeler söz konusu mudur?

Parçacıkların boyutları: Çevremizde gördüğümüz her şey, hava, su, ateş ve toprak bir metrenin on milyarda biri büyüklüğündeki atomlardan oluşur. Bu atomlar ise kendilerinden on bin kat küçük çekirdek ile bir milyar kat küçük elektronları içerir. Çekirdek ise yapısında kendinden on kat daha küçük nötron ve protonları içerir. Daha

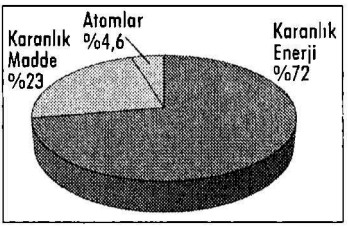
da derine gidecek olursak, proton ve nötronlar da temel parçacık olan kuarklardan meydana gelmektedir.

Böylesine küçük varlıkların davranışları da bizim günlük hayatta gözlemlediğimiz cisimlerden farklıdır: Bütün olarak "kuantum mekaniği" olarak adlandırdığımız bu prensiplere göre, "Heisenberg belirsizlik ilkesi"nde belirtildiği gibi, bu parçacıkların konumları ne kadar yüksek hassasiyetle ölçülürse, hızları o kadar az hassasiyetle bilinebilir; buna ek olarak hem dalga hem parçacık özellikleri gösterirler; devinim esnasında belli bir yörünge izlemezler; verilen bir durumdan diğerine geçerken gözlenemeyen ara durumlar yaşarlar. Bu gibi özellikler yüzünden evrende bizim gördüğümüz ve bildiğimiz Dünya'nın fiziksel özelliklerinden farklı kurallar da söz konusudur.

2001 yılında uzaya gönderilen WMAP Uydusu (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe - Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Sondası), Büyük Patlama'dan 300.000 yıl sonra ortaya çıkan kozmik mikrodalga ardalan ışınımındaki çok küçük sıcaklık farklarını (bir derecenin 100.000'de biri kadar) gözlemliyor. Evreni oluşturan madde ve enerjinin bir sayımı, WMAP'ın yaptığı ölçümlere dayanıyor. WMAP, Büyük Patlama modelinde öngörülen evrenin yoğunluğu ve içeriği gibi sorulara yanıt verebilir.

Gözlemlenebilir evrende yapılan bu tür ölçümler, galaksilerin hesaplanabilen maddeden daha fazla bir maddenin çekim etkisi yüzünden çok hızlı döndüğünü ortaya çıkarmıştır. Kaynağını bilmediğimiz bu maddeye "karanlık madde" (evrenin yüzde 23'ünü kaplar) adını vermekteyiz. Karanlık madde yerçekimsel bir güç yaratır, ancak ışığı yansıtmaz ya da soğurmaz. Büyük ihtimalle atom altı bir ya da daha fazla parçacık türünden oluşuyor ve normal atomlarla çok zayıf etkileşim içerisinde. Yeni yapılan parçacık hızlandırma deneyleri, karanlık maddenin içeriğini ortaya çıkaracak yeni fikirler verebilir.

Öte yandan, yine son yıllarda yapılan ölçümler göstermiştir ki, itici bir "karanlık enerji" (evrenin yüzde 73'ünü kaplar) sayesinde evren hızlanarak genişlemektedir. Kısaca, evren artarak genişlemeye devam ettiğine göre, bu



Şekil 50. Evrenin yapısının büyük kısmını karanlık enerji ve karanlık madde oluşturur.

artışı sağlayan bir enerji de olmalıdır. Kozmik genişlemeyi hızlandıran karanlık enerji, evrenin en büyük parçası olma özelliğinin yanı sıra en gizemli bölümü olma özelliğini de sürdürüyor.

Geriye kalan yüzde 4,6'lık kısım ise bizim bildiğimiz anlamda atomlardan oluşuyor. (Şekil 50) Proton, nötron ve elektronlar atomu oluşturan temel yapıtaşlarıdır. Çevremizde gördüğümüz her şeyin yapısında bulunurlar. Elementler de, yapılarında farklı sayılarda olsa da bu temel parçacıkları bulundurur.

18 | CERN deneyleri ile yapılmak istenen nedir? Büyük Patlama tekrar gerçekleşecek mi?

Geçtiğimiz yıllarda ülkemizde de büyük bir heyecanla takip edilen ve beraberinde birçok tartışmayı getiren CERN deneyleri, bizlerin bilimle ne kadar ilgili olabileceğimizi ve bilimsel gelişmeleri takip etmekten keyif aldığımızı gösteren güzel bir örnek. Deney merkezi ve yürütülen deneyler dolayısıyla, tüm hatlarıyla yüzyılın deneyi olarak adlandırılmayı hak ediyor CERN merkezinde bulunan Büyük Hadron Çarpıştırıcısında (Large Hadron Collider) yapılan deneyler onlarca yıl devam edecek. Bu deneylerle maddenin temel yapıtaşları hakkındaki eksik bilgilerimiz ve evrenin evrimi üzerindeki soruların cevaplanması amaçlanıyor.

CERN Avrupa Parçacık Fiziği Laboratuvarı (The European Organization for Nuclear Research) 1954 yılında İsviçre'de kurulan dünyanın en büyük parçacık labora-

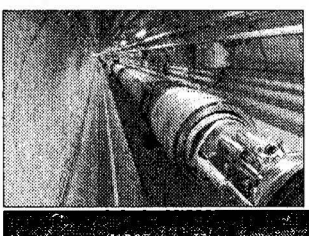
tuvarı. Onlarca ülkenin katkıda bulunduğu ve binlerce araştırmacının çalıştığı merkez, yüzlerce üniversite ile işbirliği içinde araştırmalara devam ediyor. Merkezin temel fonksiyonu yüksek enerji gerektiren fizik araştırmaları için parçacık hızlandırıcı ve diğer yapıların sağlanması.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı

Yerin 100 m altında bulunan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) 27 km'lik süper-iletken çembere sahip ve 14Tev'lik kütle merkezi enerjisinde proton-proton ve kurşun-kurşun çarpışmaları yapılmasına olanak sağlıyor Deneylerde standart model Higgs mekanizması ve standart model ötesi modellerin öngördüğü parçacıkların gözlenmesi amaçlanıyor. LHC hızlandırıcısında proton demetleri farklı yönlerde gönderilerek ışık hızına yakın hızlarda çarpıştırılıyor ve böylece Büyük Patlama'nın ilk anlarındaki ortam oluşturulmaya çalışılıyor. (Şekil 51)

2008 yılına kadar birçok araştırmacı "simulasyon" çalışmaları ile deney sonucu ortaya çıkacak verilerin yorumlanması üzerine çalıştılar ve 2008 yılında da LHC üzerindeki dedektörler kozmik ışınlarla test edilmeye başlandı. 26 Kasım 2009 tarihinde ilk proton demetleri gönderilerek testler gerçekleştirildi ve Aralık 2009 başında da protonlar ilk olarak çarpıştırıldı.

Şekil 51. CERN'de bulunan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (Large Hadron Collider) yerin 100 m altında inşa edilmiştir ve 27 km'lik süper iletken çembere sahiptir.





2,36 TeV kütle merkezi enerjilerine kadar çıkıldı ki, bu enerji seviyesine ulaşabilen başka bir parçacık hızlandırıcı bulunmamaktadır.

Maddenin yapıtaşlarının ne olduğunu araştıran deneylerde, geldiğimiz son nokta olan standart model için gerekli olan bir parçacık (Higgs parçacığı) henüz keşfedilmedi. Standart modele göre maddenin yapıtaşları olan lepton, kuark ve bunlar arasındaki etkileşimleri gerçekleştiren aracı parçacıklardır. Modele göre, parçacıkların kütlelerinin nereden geldiklerini açıklayabilmek için Higgs alanı adı verilen ve henüz keşfedilmeyen bir etkileşim alanına ihtiyaç vardır. Bu yüzden Higgs parçacığının aranması ve özelliklerinin ortaya çıkarılması standart model açısından son derece önemlidir.

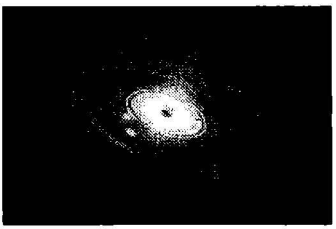
Evrenin temel ilkelerini anlamak için yapmamız gereken deneyler LHC'nin ulaşabileceği yüksek enerjileri gerektiriyor. Yerin 100 m altında yer alan 27 km'lik bir tünele inşa edilen LHC (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı) ile yapılan deneyler CMS, ATLAS, LHCB ve ALICE olarak isimlendirilmiştir. Protonlar, 14 TeV enerji oluşturacak şekilde çarpıştırılarak evrenin ilk anlarını daha iyi anlamamız amaçlanmaktadır. Ancak mutlak anlamda elde edilen enerji bir kibrit ateşinden fazla değildir.

Büyük Patlama ve kara delikler

CERN deneyleri 2 yıldır kamuoyunun gündeminde. Bunun en önemli nedenlerinden birisi, deneyler için kullanılan isim: Büyük Patlama deneyleri. Bu yüzden insanların ilgisini çekiyor ve bazı yanlış anlamalara da neden oluyor. Örneğin, deneyler sırasında oluşabilecek bir "kara deliğin" tüm evreni yutabileceği gibi.

Bu deneylerde Büyük Patlama tekrardan oluşturulmuyor. Ancak o zamanki enerji yoğunluğuna ulaşılmaya çalışılıyor. Elde edilen enerji oldukça düşük, ancak protonların boyutları da çok küçük olduğundan enerji yoğunluğu çok fazla.

Kara delik ise düşünüldüğü kadar gizemli değildir. Çekim alanı her türlü maddenin ve ışığın kendisinden



Şekil 52. Merkezde bulunan kara delik çevresinde dönen gökcisimlerini gösteren bir çizim.

kaçmasına izin vermeyecek kadar güçlü olan kütle çekimine sahip cisimlere kara delik denilir. Önemli olan cismin kütlesi ile yoğunluğunun oranıdır. Hacim sıfıra giderken kütle sonsuza gider. Dolaylı yoldan da olsa birçok kara delik uzayda gözlemlenmiştir. Yüksek çekim kuvveti nedeniyle ışık bile kara delikten kaçamaz. Biz ancak yıldızlar kara delikler tarafından yutulduklarında kara deliklerin varlığını gözlemliyoruz. (Şekil 52) Düşük de olsa aynı tehlike Dünya için de mevcuttur. Ancak laboratuvar ortamında oluşan kara delikler bunlardan değildir. LHC'de oluşabilecek mini kara delikler atmosferde de uzaydan gelen kozmik ışınların atmosferdeki atomlara çarpması ile oluşabilir Laboratuvar ortamında ise enerji miktarı çok daha düşüktür.

6.2 GÜNEŞ SİSTEMİ ve DÜNYA

19 | Güneş Sistemi nasıl oluştu?

Bir önceki sorumuz Büyük Patlama'nın nasıl gerçekleştiğine ilişkindi. Bu soruyu yanıtladıktan sonra şimdi zamanda ilerlemeye devam edelim. Dünyamızın da içinde bulunduğu Güneş Sistemi ve dünyamız ne zaman ve nasıl oluştular?

Güneş Sistemi'nin günümüzden yaklaşık olarak 4,6 milyar yıl önce oluştuğu tahmin ediliyor. Güneş'in oluşumunu takip eden dönemde gezegenlerin oluşum sıraları

kesin olarak bilinmese de tüm sistemin yaklaşık 100 milyon yıllık bir zaman diliminde oluşumunu tamamlandığı kabul ediliyor. Oluşum sürecini 3 temel aşama halinde özetlemek mümkün.

1) İlk milyon yıllar: Yıldız dönemi; çevresel materyalin birikmesiyle merkezde Güneş'in oluştuğu dönem.

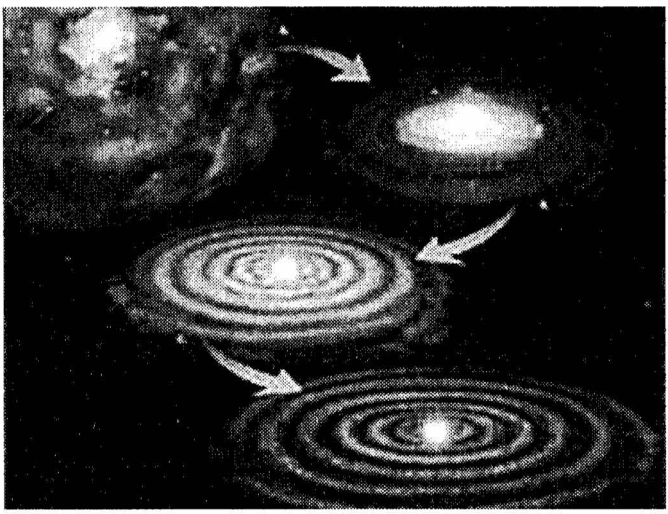
2) İlk on milyon yıllar: Disk dönemi; Güneş çevresindeki çevresel diskin kaybolarak gezegenlerin oluşmaya başladıkları dönem.

3) İlk yüz milyon yıl: Telürik dönem; kayasal gezegenlerin oluştukları ve farklılaştıkları, okyanusların ve atmosferlerin ortaya çıktıkları dönem.

Sürecin nasıl işlediğini takip edebilmek zor olabilir. Ancak Şekil 53 temel olarak nasıl basamaklardan geçildiğini anlamanıza yardımcı olacaktır. Sürecin milyonlarca yılı kapsadığı unutulmamalıdır.

Öncelikle, uzayda bulunan toz ve gaz bulutları, yüksek bir ihtimalle yakın bir yıldızda meydana gelen süpernova

Şekil 53. Güneş Sistemi, yakınlarda meydana gelen bir süpernova patlaması sonucu oluşmaya başladı. Toz ve gaz bulutu önce sıkışarak içe çökmeye başladı ve devamında da merkez çevresinde bir disk yapısı oluşturdu. Gezegenler de, zamanla temizlenen disk içinde oluşmaya başladılar.



patlamasıyla (çok güçlü yıldız patlaması) kararsız/düzensiz bir hale geçti. Patlamadan kaynaklanan şok dalgaları toz ve gaz bulutunu sıkıştırmaya başladı. Sıkışma sonucu bulut içe doğru çökerek iç kısımlarda daha yüksek kütleye ulaştı. O halde ilk başta bir sıkışma ve maddenin içe doğru çökmesi var.

Sonraki adım ise kendi çevresinde dönme hareketi ve disk yapının oluşması. Süpernova patlamasından gelen şok dalgası, sıkışan bulutun açısal bir momentum kazanarak dönmesine neden olmuş olabilir. Toz bulutu dönüşünü hızlandırdıkça, yerçekimi ve toz bulutunun bu harekete karşı direnci sayesinde, toz bulutu dönme eksenine dik bir şekilde yassılaşmaya başladı. Evrende, kendi çevresinde dönmekte olan dev boyutlardaki bu tür yassı toz ve gaz bulutlarına solar nebula adı verilir.

Bir sonraki adımı, Güneş'in artık yanmaya başladığı adım olarak tanımlayabiliriz. Kısaca şöyle bir yol izlemiş olabilir: Maddenin içe doğru çökmesi, döngüsel hızdaki artış (rotational speed) ve yerçekiminin de etkisiyle, merkezde çok yüksek miktarlarda kinetik enerji oluştu. Bu enerjinin başka bir yere aktarılamaması nedeniyle diskin merkezindeki ısı giderek artmaya başladı. Merkezin aşırı ısınması çekirdek birleşme reaksiyonlarını başlattı. Hidrojen atomları birleşerek helyum atomunu oluşturmaya başladılar. İşte bu evrede Güneş'in artık tutuştuğunu söyleyebiliriz. Çevredeki toz ve gaz bulutunun büyük kısmı ise ilk güneş rüzgârıyla dağıtılmış oldu. Güneş'in bu ilk aşamasına T-Tauri fazı adı verilir.

Bu durumda merkez ile çevresi arasında net bir fark oluştuğunu söyleyebiliriz. Merkez daha yoğun ve sıcak olurken, çevresini saran disk şeklindeki bulutun kenarlarına doğru ise daha soğuktu. Disk gittikçe inceldi ve partiküller bir araya gelmeye ve birbirlerine yapışarak boyutça büyümeye başladılar. Bu cisimler daha sonra oluşacak gezegen ve diğer cisimlerin temelini oluşturdular Güneş Sistemi'nde olduğu gibi, merkezdeki yıldızın çevresinde bir disk şeklinde gezegenler, gezegenlerin uyduları, asteroidler ve diğer küçük gökcisimleri oluştu. Bulutun merkezine

yakın yerlerde, Dünya gibi ısıya dayanabilecek kayasal gezegenler oluşurken, diskin dış bölgelerinde ise, Jüpiter gibi devasa ve daha çok buz yapıdaki gezegenler oluştu.

20 | Dünya ne zaman ve nasıl oluştu?

Birikme

Güneş Sistemi'nin merkezinde Güneş oluşurken, merkezden 150 milyon km uzakta da Dünya oluşmaya başladı. Dünya'nın oluşma evresinde Dünya'ya düştüğü düşünülen kondritik meteorlarda (silikat kürecikler içeren ve Güneş Sistemi'nin oluşumundan beri çok az değişim gösteren meteorlar) yapılan radyometrik (207Pb/206Pb) yaş tayin deneyleri, dünyamızın yaklaşık olarak 4,56 milyar yıl önce oluşmaya başladığını gösteriyor (yaklaşık yüzde 1'lik bir hata payıyla). Gezegenlerin birikerek oluşmaları üzerine yapılan teorik modeller, Güneş Sistemi içerisindeki gezegenlerin ilk oluşum evrelerinin 10-100 milyon yıllık bir zamanı kapsadığını ortaya koyuyor.

Nasıl Güneş toz ve gaz bulutunun içe çökerek birikmesiyle oluştuysa, Dünya da benzer şekilde toz bulutunun içe doğru çökerek yoğunlaşmasıyla oluşmaya başladı ve yerçekiminin de etkisiyle sayısız materyali üzerinde biriktirerek büyüdü. O halde, yavaş yavaş bir araya gelen ve gittikçe büyüyen bir yapıdan bahsedebiliriz.

Gökcisimlerinin çarpması

İlk gezegenin (proto-planet) büyümesinde, büyük ihtimalle yüzlerce küçük ilkel gezegenin çarpmasının etkisi büyük oldu. Oluşmakta olan Dünya'ya çarpan gökcisimlerinin bazılarının boyutlarının Ay kadar ya da daha büyük olduğu düşünülüyor. Ay'ın büyüklüğünün Dünya'nın sekizde biri olduğu düşünülürse, bu çarpışmaların ne kadar şiddetli olduğu anlaşılabilir. Büyük ihtimalle bu çarpış-

malar sonucunda, eğer var ise, tüm okyanuslar buharlaşmış olmalıdır.

Çarpışmalar Güneş Sistemi'ndeki diğer gezegenlerin şekillenmesinde de önemli rol aldı. Sonraki bölümde Ay'ın nasıl oluştuğundan bahsedeceğiz. Dünya gökcisimlerinin bombardımanı altındaydı ve Mars büyüklüğünde olduğu düşünülen bir gökcisminin çarpmasıyla, Dünya'dan kopan parçalar Dünya çevresinde yörüngeye girerek Ay'ı oluşturdu. Ay'da bulunan kayalar, çapı 100 km civarında olan gökcisimlerinin, günümüzden 3,8 milyar yıl öncesine kadar Dünya ve Ay üzerine çarpmaya devam ettiğini gösteriyor. Merkür ve Venüs üzerinde bulunan derin kraterler, bu gezegenler üzerinde de büyük çarpışmaların olduğunun işaretidir.

Metal yoğunlukta çekirdek yapısı

Güneş Sistemi'nde oluşmakta olan küçük ilkel gezegenlerin birçoğunun (merkezinde) demir çekirdek yapısı bulunuyordu. Dünya üzerinde materyal biriktikçe, demir çekirdek yapı Dünya'nın silikat yapıdaki mantosuyla (çekirdeğin üstünü saran katman) yeniden bir denge içine girdi ve demir seven elementler Dünya'nın zaten demir bakımından yoğun olan çekirdeğinde toplandılar. Yoğunlukları yüksek ağır elementlerin (demir ve demir seven elementlerin) merkezde birikmesine demir katastrofu adı verilir. Bu olay ile Dünya'nın ilkel mantosu ile merkezdeki çekirdeği arasındaki ayrım da oluşmaya başlamış oldu. Tabakalar arasındaki ayrım tahmini olarak Dünya'nın oluşmaya başlamasından 10 milyon yıl kadar sonra meydana geldi. Dünya'nın sahip olduğu tabakalı yapının, manyetik yapısının gelişmesinde de etkisi vardır.

Yüzeyin şekillenmesi

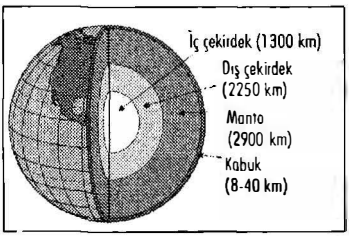
Bu ilk öncü gezegenin birikmesi sırasında, Dünya yüzeyinin Si ve O içeren gaz silikat bulutuyla çevrelenmiş olması yüksek bir ihtimaldir. Zaman içerisinde bu gaz bulutu yoğunlaşarak Dünya yüzeyindeki kaya yapısını oluşturmuştur.

Yeni oluşan T Tauri yıldızından (Güneş'in ilk hali) kaynaklanan solar rüzgârlar Güneş Sistemi'nde bulunan ve henüz bir gezegenin yapısına girmemiş toz bulutunu Güneş Sistemi'nden temizledi. İlk atmosfer büyük ihtimalle solar nebuladan geriye kalan hidrojen ve helyum gibi hafif elementlerdi, ancak güneş rüzgârı ve Dünya'nın ısısı bu ilk atmosferi de uçurmuş olmalıdır. Bu durum Dünya'nın çapı şimdiki çapının yüzde 40'ına geldiğinde değişti ve yerçekimi kuvveti sayesinde, su da içeren bir atmosfer oluştu. Görüldüğü üzere, Dünya kademeli olarak büyüyen bir yapı halindedir. Merkezde bulunan metaller sayesinde oluşan çekim Dünya'nın büyümesini kolaylaştırmaktadır. Aynı çekim Dünya çevresinde bir atmosferin oluşmasını da sağlıyor.

21 | Dünya'nın iç yapısı nasıldır?

Burada, Dünya'nın günümüzdeki yapısının temel hatlarından kısaca bahsedebiliriz. Bu bizim oluşum sürecinin nasıl gerçekleştiğini ve nasıl sonuçlandığını anlamamızı sağlayacaktır. Jeologlar Dünya'nın iç yapısını doğrudan inceleme şansına sahip değiller. Açılabilen en derin deliklerde bile yaklaşık 13 km derinden örnek alınabiliyor. Ancak jeologlar, Dünya'nın iç yapısının ince olan dış kabuk yapısından çok farklı olabileceğini biliyorlar.

Dünya'nın iç yapısını anlamak için jeologların kullandığı bir yol, Dünya'ya düşmüş olan meteorların kimyasal yapılarını incelemektir. Kondrit adı verilen meteorlar, Güneş Sistemi'nin ilk zamanlarından kalan meteorlardır ve Dünya'ya düştüklerinden beri değişmemişlerdir. Bu yüzden jeologlar bu meteorları Dünya'nın derinlerinin kimyasal yapısını anlamak için kullanabilirler. Depremlerden gelen titreşimlerin incelenmesi ile de bilgi edinilebilir. Titreşimlerin hızı ve hareketi geldiği tabaka hakkında bilgi verecektir. Volkanik aktiviteler ile yüzeye taşınan



Şekil 54. Dünya'nın iç yapısı temelde üç kademeye ayrılmıştır. Merkezde çekirdek, üzerinde manto ve en dışta da kabuk.

materyal de Dünya'nın iç yapısı hakkında bilgi almamızı sağlayacaktır.

Dünya'nın iç yapısı ile ilgili bilgi aldığımız diğer kaynaklar ise Dünya'nın, Güneş'in çevresindeki hareketi, yerçekimi kuvveti, manyetik alanlar ve Dünya'nın içinden yayılan ısı akışıdır. Örneğin, günümüzden 300 yıl önce İngiliz bilim adamı Isaac Newton gezegenleri ve yerçekimi kuvvetini kullanarak Dünya'nın iç kısmının yüzeyinden iki kat daha yoğun olduğunu hesaplamıştır. O dönemden beri Dünya'nın iç yapısıyla ilgili bilgilerimiz çok daha fazla olsa da, Newton'ın öngörüsü hâlâ geçerliliğini koruyor.

Çok temel olarak incelemek gerekirse, üç ana tabakanın, Dünya'nın jeolojik yapısını oluşturduğunu söyleyebiliriz. (Şekil 54)

Çekirdek tabakası

Dünya'nın merkezinde çekirdek tabakası bulunur ve Dünya hacminin yüzde 15'ini oluşturur. Çoğunlukla demir ve nikel içerir. Az miktarda da kükürt ve oksijen gibi daha hafif elementlerin bulunması olasıdır. Çekirdek yaklaşık olarak 3550 km yarıçapındadır. Dış kısımda bulunan 2250 km'lik kısmı sıvıdır. Sıvı bölgedeki akıntının Dünya'nın manyetik alanını oluşturduğu tahmin edilmektedir. En iç bölgenin ise, çekirdeğin dış bölgesi ile aynı yapıda, ancak katı olduğu sanılmaktadır.

Dünya'nın merkezine doğru gidildikçe ısı artar. En dıştaki kabuk tabakasının dibinde sıcaklık yaklaşık 1000 °C civarındadır. Aşağılara inildikçe her km'de 1 °C artacaktır. Jeologlar çekirdeğin dış kısmının ısısının 3700-4300 °C, iç kısmının ise 7000 °C olduğunu tahmin ediyorlar. Bu sıcaklık Güneş'in yüzey sıcaklığından daha fazladır, ancak yüksek basınç nedeniyle iç çekirdek katı kalabilmektedir.

Manto tabakası

Çekirdek ile dış kabuğun arasında 2900 km kadar derine inen manto tabakası Dünya'nın hacminin yüzde 84'ünü oluşturur. Mantonun akışkan bir yapıda olduğu ve Dünya'nın en dış tabakası olan kabuk tabakasının manto tabakası üzerinde yüzdüğü söylenebilir. Bu yavaş hareket de kıtaları çok yavaş bir hızla hareket ettirecek ve benzer şekilde de depremleri, volkanları ve dağ sıralarını oluşturacaktır.

Kabuk tabakası

Dünya'nın dışında bulunan 8-40 km'lik tabaka ise kabuk adını alır. Kabuk tabakası hakkında, manto ve çekirdek tabakalarına göre çok daha fazla bilgiye sahibiz. Manto ile kabuk arasında sürekli bir etkileşim bulunur. Manto tabakasındaki erimiş sıcak kaya yavaşça yukarı doğru hareket ederken, yüzeye yakın yerde bulunan daha soğuk kaya ise aşağı doğru batar. Bunun nedeni sıcak materyalin daha hafif olmasıdır. Sıcak ve soğuk materyalin bu şekilde yer değiştirmesine "çevrim" adı verilir. Manto yavaşça hareket ederken kabuk tabakasını birçok geniş boğumlar halinde kırar. Bu tabakalara "tektonik tabakalar" adı verilir. Mantonun hareketi sonucu kabukta kıtalar hareket edecek, dağlar, volkanlar ve depremler oluşacaktır. (Çizelge 1)

Çizelge 1. Dünya'nın iç yapısının temel özellikleri.

		Yoğunluk (g/cm³)		
	Kalınlık (km)	Üst	Alt	Kaya tipi
Kabuk	30	2,2	2,9	Silisik kaya. Andezit, tabanda bazalt.
Üst Manto	720	3,4	4,4	Peridotit, eklojit, olivin, spinel, lal, piroksen. Perovskit, oksitler.
Alt Manto	2171	4,4	5,6	Magnezyum ve silikon oksitler.
Dış Çekirdek	2259	9,9	12,2	Demir+ oksijen, kükürt, nikel alaşımı.
İç Çekirdek	1121	12,8	13,1	Demir+ oksijen, kükürt, nikel alaşımı.

22 | Ay nasıl oluştu?

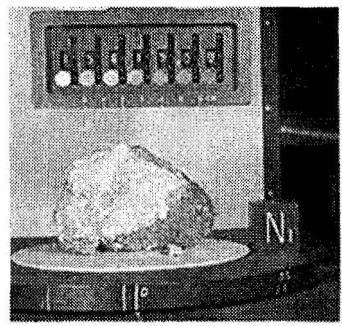
NASA'nın düzenlediği Apollo Uzay Programı kapsamında Ay'dan getirilen kaya parçalarına yapılan radyometrik tarihleme testleri, Ay'ın 4,527 ± 10 milyon yaşında olduğunu gösteriyor. Bu da Ay'ın Güneş Sistemi'nde bulunan diğer gökcisimlerinden (gezegen vb.) yaklaşık 30-55 milyon yıl daha genç olduğu anlamına gelmektedir.

Ay'ı oluşumu: Dev çarpışma teorisi

Ay'ın sahip olduğu bazı özellikler, bize nasıl oluşmuş olabileceği hakkında fikir vermektedir. İlk olarak, yoğunluğunun düşük olması, Ay'ın merkezde büyük bir metalik çekirdek içermediği anlamına geliyor olabilir. Gerçekten de, Ay'daki yerçekimi Dünya'dakinin altıda biri kadardır. İç yapısına baktığımızda ise, genel olarak Dünya'nın manto ve kabuk tabakalarının yapısına benzer olduğunu görürüz. Ancak Dünya'nın çekirdek yapısına benzememektedir. Bu tür verilerin bizi götürdüğü bilimsel teori "dev çarpışma" (giant impact) teorisidir. Bu teori, Ay'ın oluşumuyla ilgili olarak bilim insanlarınca en geniş kabul gören teoridir. Bu teoriye göre, Dünya'nın oluşması sırasında Mars büyüklüğündeki bir gökcismi Dünya'ya çarpmış ve Ay'ı oluşturacak kadar yeterli maddeyi uzaya saçmıştır. Sonuç olarak da, Dünya'ya çarpan gökcismiyle birlikte çarpışma sonucu Dünya'dan saçılan parçaların bir araya gelmesi ve Dünya çevresinde yörüngeye yerleşmesiyle Ay oluşmuştur.

Çarpan gökcismine bazı kaynaklarda "Theia"[4] adı verilir; Mars boyutlarına yakın büyüklükte olduğu tahmin edilmektedir. Güneş Sistemi'yle birlikte oluşmaya başlamış bir gezegen olabilir ve yüksek ihtimalle yörüngesinden çıkarak Dünya'ya çarpmıştır. Çarpmanın yaklaşık olarak 4,533 milyar yıl önce olduğu tahmin edilmektedir.

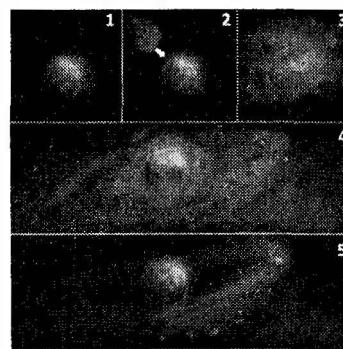
4) Theia: Yunan mitolojisinde aydınlıktan sorumlu tanrıçadır.



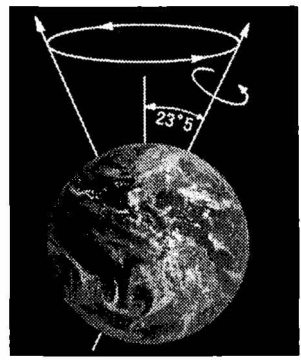
Şekil 55. Genesis taşı, Apollo 15 göreviyle Ay'dan getirilen kaya örneklerinden biridir.

Çarpmanın nasıl gerçekleştiğini anlamak amacıyla hazırlanan bilgisayar simülasyon modelleri bu büyüklükteki bir gökcisminin düşük açı ve hızda Dünya'ya çarpmasıyla manto tabakasından çok miktarda materyali savurarak Dünya'dan uzaklaştırmış olabileceğini gösteriyor. Bu materyalin büyük kısmı Dünya'nın yörüngesinde kalmış ve zaman içinde de Ay'ı oluşturmuştur. Ancak çarpan gökcisminin metalik çekirdek yapısı Dünya'nın mantosuna gömülerek Dünya'nın çekirdeğiyle birleşecektir. Bu model Ay'ın neden metalik bir çekirdeğe sahip olmadığını açıklayabilecek bir modeldir. Çarpmanın, Dünya'nın oluşmaya başlamasından 10 milyon yıl kadar sonra olması, Dünya'nın çekirdeğinin büyük oranda değişmeden kalmasını sağlamış olmalıdır.

Şekil 56. Mars büyüklüğünde bir gökcisminin Dünya'ya çarpması sonucu uzaya yayılan parçalar zaman içerisinde Dünya'nın yörüngesinde dolanan Ay'ı oluşturdular.



Benzer çarpışmaların birçok gezegen için meydana geldiği düşünülmektedir. Dev çarpışmayı simüle eden bilgisayar modelleri Dünya ve Ay sisteminin yüksek açısal momentumunu ve Ay çekirdeğinin küçüklüğünü açıklayabilmektedir. Bu teoriyle ilgili yanıtlanamamış sorular arasında, Dünya'nın çarpışma öncesi kütlesi, çarpan gökcisminin göreceli boyutları ile bunlardan çıkan mad-



Şekil 57. Dünya'nın 23,5°'lik eksen değişikliği sayesinde farklı mevsimler ortaya çıkmışlır.

denin ne kadarının Ay'ı oluşturduğu vardır. (Şekil 56)

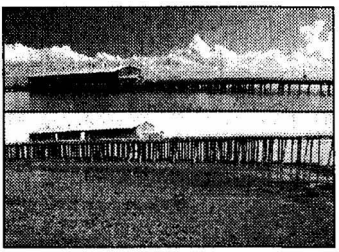
Ay'ın yaşam üzerine etkileri

Ay'ın oluşmasına neden olan dev çarpışma sonucunda ortaya çıkan devasa enerji Dünya'nın ve Ay'ın tümüyle erimesine neden olmuştur. Manto tabakası buharlaşmış ve tekrar yoğunlaşmıştır. Yüzey bir magma okyanusuyla dolmuştur. İlk atmosfer tabakası da yok olmuş olmalıdır. Çarpmanın canlılık açısından en önemli etkilerinden biri, Dünya'nın ekseninde meydana gelen 23,5 derecelik değişme ve devamında da Ay ile Dünya arasında kurulan dengedir. Eksendeki bu önemli değişiklik, canlılık için hayati önem taşıyan mevsimlerin oluşmasını sağlamıştır. (Şekil 57)

Eğer Ay var olmasaydı, sadece onlarca milyon yıllık bir zaman içerisinde Dünya'nın eğikliği büyük değişiklikler geçirebilirdi. Bu da sonuç olarak Dünya'nın iklimine büyük zararlar verecek ve karasal yaşamın gelişmesini yüksek ihtimalle engelleyecekti.

Ay'ın Dünya üzerine diğer bir etkisi de, gelgitlerdir Dünya üzerindeki gelgitlerin büyük kısmı, Ay'ın çekim kuvvetinin etkisiyle oluşmaktadır. Bir miktar da Güneş'in çekim kuvvetinin etkisi bulunur. Gelgit etkisini net olarak, alçalan ve yükselen deniz seviyesinde görebiliriz. Yeryüzü de sular kadar olmasa da Ay'ın çekiminden etkilenir. Ay'ın yakınlığına bağlı olarak belirli bölgelerde 1-2 cm yükselip alçalabilir. (Şekil 58)

Ay oluştuğundan beri, gelgit sürtünmesi sayesinde, Dünya'nın kendi çevresinde dönme hızını yavaşlatmaya devam etmektedir. Büyük ihtimalle Dünya'nın ilk zamanlarında dönme hızı daha fazlaydı ve daha kısa günler yaşanıyordu. Diğer yandan Dünya'nın ilk baştaki hızlı



Şekil 58. Fotoğrafta Derby Kasabası'nda gelgit öncesi ve sonrası görülmektedir. Avustralya'nın kuzeybatısında bulunan Derby Kasabası, en büyük gelgitlerin gerçekleştiği yerlerden biridir.

dönüşünün nedenlerinden birisi de Ay'ın da oluştuğu dev çarpışma olayıdır.

Ay'ın oluşumunun diğer bir etkisi de, dev çarpışma sonrasında işlenebilir metal kaynaklarının yüzeye yakın yerlere dağılmasıdır. Çarpma olmasaydı, bu tür metallerin çoğu Dünya'nın çekirdeğinde toplanacaktı ve sonuç olarak teknolojik gelişme büyük ihtimalle engellenecekti. Geceleri avlanan canlılar da Ay'ın safhalarına göre hayatlarını düzenlerler. Dolunay zamanı avcıların avlarını rahatça görmelerini sağlar. Bazı bitki türleri de sadece Ay varken çiçeklerini açar. Diğer zamanlara oranla dolunay zamanlarında daha fazla hayvan doğum yapar.

Matematiksel hesaplamalarda, özellikle astronomide, Dünya ve diğer gezegenlerin temel özelliklerinin (kütle, çap, çevre vb.) hesaplanmalarında, Ay bir ölçek olarak kullanılmıştır. Sanatsal ürünlerde de daima bir esin kaynağı olmuş, insanın kültürel yaşamının gelişiminde rol oynamıştır.

23 | Suyun kaynağı nedir?

"Okyanusların kaynağı nedir?" sorusu bizi doğal olarak "Suyun kaynağı nedir?" sorusuna getiriyor. Dünya'daki su, üç farklı kaynaktan gelmiş olabilir. Birincisi, hareket halindeki Dünya manto tabakasından (en üstteki kabuk tabakasının bir alt tabakası) gaz olarak atmosfere verilmiş ve sonra da yoğunlaşarak yağmur olarak yüzeye gelmiş olabilir. Bunun anlamı da Dünya oluşurken biriken toz

bulutu içerisinde var olan suyun zamanla açığa çıkmasıdır. Birikme sırasında ve devamında yüzeye çarpan ve su içeren meteorlarla da taşınmış olabilir. Diğer bir yol olarak da yoğunlukla buz yapıda olan kuyrukluyıldızların (ilkel gezegenler) Dünya'ya çarpmalarıyla taşınmış olabilir. Bu ihtimalleri bir araya getirdiğimizde okyanusların başlangıcını günümüzden yaklaşık 4,5 milyar yıl önce Dünya'nın oluşmaya başladığı zamana kadar geri götürebiliriz.

Daha net bilgi sahibi olabilmek için ilk yapılması gereken şey, elimizdeki su örneklerini incelemek olacaktır. Suyun içeriği bize bir fikir verebilir.

Kuyrukluyıldızlar: Şimdiye kadar bilim insanları Halley ve Hyakutake gibi kuyrukluyıldızlarda bulunan su yapısını inceleyebildi. Eğer Dünya'nın oluşumu sırasında çarpan tüm kuyrukluyıldızlar benzer çeşit buz içeriyorsa, okyanusların tek kaynağı olarak kuyrukluyıldızları gösteremeyiz demektir. Bunun nedeni kuyrukluyıldızlarda bulunan buzlardaki dötoryum (hidrojenin izotopu[5]) miktarının okyanus suyundakinden iki kat fazla olmasıdır. Bu bize tek kaynağın kuyrukluyıldızlar olamayacağını gösteriyor.

Meteorlar: Diğer bir kaynak ise Dünya'ya düşen meteorlardır. Ancak okyanusların tek kaynağı olarak meteorları da göstermek doğru olmayacaktır. Bunun nedeni ise, suyun tek kaynağı meteorlar olsaydı atmosferde şimdi olduğundan 10 kat daha fazla zenon (soygazlardan biri) olması gerektiğidir. Meteorlar fazla miktardaki zenon gazını Dünya'ya taşır.

Dünya'nın yapısında hapsedilmiş su: Meteor ve kuyrukluyıldızlarla taşman su dışında Dünya'nın oluşumu (birikim) esnasında yapısında hapsedilmiş su da bulunur. Zenon ve dötoryum soruları da bu şekilde aşılabilir. Dünya'nın oluşumu öncesinde temeli oluşturan kayasal maddeler, solar nebuladan (Güneş'i de oluşturan toz ve gaz bulutu) su içeren parçaları da yapısına katmış olmalıdır. Dünya'nın oluşum sürecinde ise katı halde hapsedilmiş

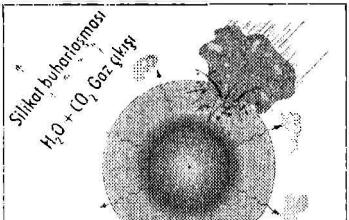
5) **İzotop:** Atom numarası aynı, kütle numarası farklı atomlar birbirinin izotopudur. Diğer bir deyişle proton sayıları aynı, nötron sayıları farklıdır.

uçucu moleküller (elementler, bileşikler, su vb.) yüksek sıcaklık nedeniyle atmosfere salınmıştır. Bu yüzden, Dünya, okyanuslar ve atmosfer birlikte oluşmuştur denebilir.

24 | Okyanuslar nasıl oluştu?

Tüm bilgilerimizi bir araya getirdiğimizde okyanusların oluşmasını dört basamakta özetleyebiliriz: İlk dönem, Dünya'nın birikmeye başladığı 4,56 milyar yıl öncesinden, çekirdeğin ayrıldığı ve iç kısımdan gaz çıkışının bittiği 4,45-4,50 milyar yıl öncesine kadar geçen zamandır. Bu dönemde karbon içerikli kondrit göktaşları suyu ve organik molekülü Dünya'ya taşımış olmalıdır. Çarpışma sonucunda da uçucu moleküller atmosfere yayılmıştır. Dünya'nın yüzeyi erimiş bir haldeydi ve gelen suyun bir kısmı da eriyik içerisine karışmış olmalıdır Bu dönemde Dünya'ya taşınan su miktarı günümüz okyanuslarından çok daha fazladır, ancak güçlü UV ışınları nedeniyle su buharlaşarak kaybedilmiştir.

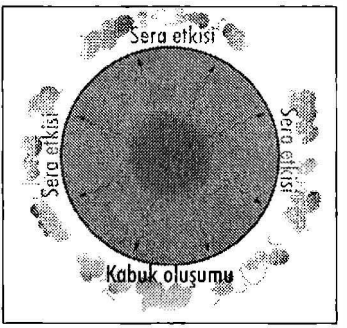
Şekil 59 Okyanusların oluşumunda birinci aşama. 4,5 milyar yıl önce meydana gelen ve Ay'ı meydana getiren dev çarpışma ise (bkz. 22. soru) sıcaklığı yaklaşık 2000 °C'ye yükselterek Dünya yüzeyinin erimesine neden olmuştur. Bu dönemde var olan su da silikayla birlikte buharlaşmış olmalıdır.



4,5 milyar yıl önce meydana gelen ve Ay'ı meydana getiren dev çarpışma ise (bkz. 22. soru) sıcaklığı yaklaşık 2000 °C'ye yükselterek Dünya yüzeyinin erimesine neden olmuştur Bu dönemde var olan su da silika ile birlikte buharlaşmış olmalıdır (Şekil 59)

Okyanusların ortaya çıkışında "başlangıç

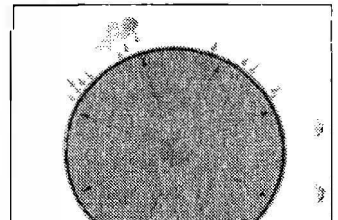
zamanını" ise 4,50-4,45 milyar yıl öncesi olarak gösterebiliriz. Dev çarpışma sonucu oluşan yoğun atmosfer hızlıca yoğunlaşarak birkaç binyıl içerisinde yüzeye geri dönmüştür. Geride kalan atmosfer ise temel olarak su buharı ve CO_2 içeriyordu. Atmosferde bulunan yüksek H_2O-CO_2 miktarı nedeniyle oluşan kontrol dışı sera etkisi, okyanusların oluşmasındaki ikinci dönemdir. Bu sera etkisi, Dünya'nın iç kısmından ısı akışı devam ederken yüzeyin de erime sıcaklığında kalmasında etkili olmuştur. Birkaç milyon yıl içerisinde yüzey 1000 °C'ye kadar soğuyarak bazalt bir yapının oluşmasına olanak sağlamıştır. Böylece atmosfer ile Dünya'nın sıcak iç kısmı arasında bir set çekilmiş oldu. Yüzeyin soğumaya devam etmesi, suyun da yoğunlaşmasını sağladı. (Şekil 60)



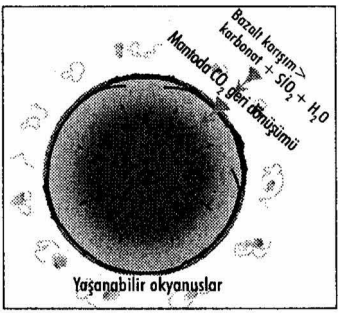
Şekil 60. Okyanusların oluşumunda ikinci aşama; 4,5 milyar yıl önce (~2,5 milyon yıl), yoğun sera etkisi ve kabuk oluşumu. Yüzey sıcaklığı 1000 °C.

Okyanusların oluşmasını ise dünya çapında yaşanan büyük bir sel halini alan "suyun yoğunlaşması" olayı sağladı. Bu da üçüncü dönem sayılabilir. Büyük ihtimalle de yoğun yağmurlar nedeniyle binyıldan kısa bir sürede okyanuslar ortaya çıktı. Günümüzdeki yağış miktarının on kat fazlasının düştüğü tahmin ediliyor. (Şekil 61)

Şekil 61. Okyanusların oluşumunda üçüncü aşama; 4,40-4,26 milyar yıl önce, binyıldan uzun bir sürede yoğun yağış, okyanusların ortaya çıkışı. Yüzey sıcaklığı 300 °C.



Dünya'nın oluşmasından 50-150 milyon yıl sonra sıcaklığın 300 °C'ye kadar düştüğü söylenebilir. Ancak bu sıcaklık yaşamın



Şekil 62. Okyanusların oluşumunda dördüncü aşama; 4,26-3,90 milyar yıl önce, yaşanabilir okyanusların ortaya çıkışı. Yüzey sıcaklığı 55-105 °C.

başlayabileceği bir sıcaklık olmaktan çok uzak. Sera etkisi sayesinde okyanuslardaki sıcaklık zamanla bir dengeye ulaşmış olmalıdır.

Okyanus dibinin karbonlanması atmosferden CO_2'nin çekilmesinde önemli rol oynadı. Dipte oluşan karbonat da Dünya'nın daha iç yapısına doğru karışıyordu. Bir tür geri dönüşüm yaşanıyordu denebilir. Okyanus kabuğunun oluşturulup yenilenmesi Hadean Dönemi'nde daha yüksekti. Bunun nedeni de Dünya'nın iç yapısında bulunan ısı fazlasıydı. Mantoda meydana gelen şiddetli ısı yayımı okyanus kabuğunu şekillendiriyordu. 30-160 milyon yıl içerisinde atmosferik CO_2'nin önemli miktarı kabuk yapısına katılmış olmalıdır. Bunun anlamı da günümüzden 4,3-4,2 milyar yıl önce okyanuslar kararlı bir hale geçmişler ve yaşamın başlayabileceği kadar da soğumuşlardı. Bu zaman ve devamı da dördüncü dönem olarak kabul edilebilir. Bu dönemde asteroit ve kuyrukluyıldız çarpmaları devam ettiğinden bölgesel olarak sıcaklık artmış olmalı, ancak Hadean Dönemi sonunda (3,9 milyar yıl önce) meteor bombardımanının bitmesiyle de okyanuslar tam olarak kararlı hale geçmiştir. (Şekil 62)

25 | Atmosfer nasıl oluştu?

Başlangıcından itibaren birçok faktör, atmosferin oluşmasında ve günümüzdeki haline kadar değişmesinde

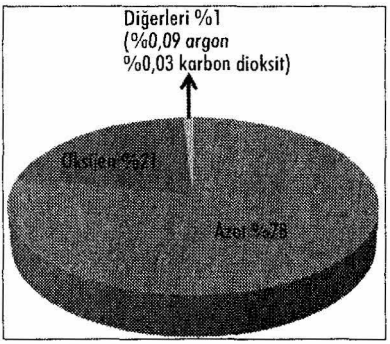
etkili olmuştur. Kıta hareketleri, ısı akışı, gaz ve buhar alışverişi ya da canlıların ortaya saldığı kimyasallar gibi Dünya içinden etkiler olduğu gibi, Güneş'in parlaklığındaki artış, Dünya'nın yörüngesindeki kademeli değişiklikler ya da nadiren de olsa devasa meteor çarpmaları gibi Dünya dışı etkiler de söz konusudur.

Dünya'nın ilk zamanlarıyla ilgili bilgilerimizi temelde üç kaynaktan alıyoruz. Yaklaşık 3,5 milyar yıl öncesinden kalan jeolojik örneklerden, atmosferin değişimini tahmin eden simülasyon programlarından ve Dünya'ya yakın diğer gezegenlerle yaptığımız karşılaştırmalardan.

İlk atmosfer yapısında hidrojen ve helyum içeriyor olabilir. Bu tür hafif gazlar, Dünya'nın çekim gücü yeterince kuvvetli olmadığından ve güneş rüzgârlarını engelleyecek şekilde dünyanın manyetik alanı gelişmediğinden yüzeyde kalmak yerine uzaya kaçıyordu. Çekirdek yapısı belirli hale gelince ve devamında da manyetik alan oluşunca, gazlar Dünya yüzeyinde tutulabilmeye başladı. Manto tabakasındaki aşırı hareketlilik de durulmuştu.

Belirli dönemlerde Dünya yüzeyine çarpan büyük gökcisimleri de uzaya gaz salınmasına neden olmuştur. Ay'ı meydana getiren dev çarpışma ise son derece şiddetlidir ve Dünya'yı ateşten bir top haline getirerek olası tüm atmosferi uçurmuştur.

İlk kalıcı atmosfer ise Dünya oluşurken yapıya katılmış gezegensi gökcisimlerinin yapısındaki uçucu gazların volkanik aktivitelerle dışarı salınmasıyla oluşmuştur. Ancak bu atmosfer silika buharlaşması nedeniyle çok daha yoğun bir yapıdaydı ve karbondioksit baskın olan gazdı. Bunun dışında azot gazı, su buharı, az miktarda karbonmonoksit ve çok az miktarda da metan ve hidrojen bulunuyordu. Karbondioksitin yoğunluğu sera etkisi yaratıyordu ve Güneş'in parlaklığı az olsa da, Dünya yüzeyi sera etkisi sayesinde sıcak kalabiliyordu. En azından ilk onlarca milyon yıl içerisinde, Dünya'da çok aktif bir volkanik aktivite mevcuttu. Manto tabakası ile yüzey arasında uçucu maddeler sürekli olarak yer değiştirdi.



Şekil 63. Günümüz atmosferinin içeriği.

Silikanın çökmesiyle birlikte yüzeyde kabuk tabakası da oluşmaya başladı. Bu dönemde atmosfer temel olarak su buharı ve karbondioksitten oluşuyordu.

Daha sonraları ise atmosferdeki yoğun karbondioksit manto tabakasında geri dönüşüme uğradı. Su buharı ise yoğun yağmurlarla yüzeye taşınarak okyanusları oluşturdu.

İlk atmosferlerin yapısında serbest halde oksijen bulunmuyordu. Serbest halde olabilecek tüm oksijen atomları, hidrojen ya da yüzeydeki mineraller tarafından bağlanmıştı. Buna bağlı olarak UV ışınlarının zararlı etkisine karşı kalkan görevi gören ozon tabakası da gelişmemişti. Devam eden milyarlarca yıl içerisinde, Dünya'nın biyosfer ve atmosfer tabakaları beraber evrildikçe, fotosentezin yan ürünleri, özellikle de serbest oksijen, atmosferin yapısını değiştirmeye başladı. Koruyucu bir ozon tabakasının da oluşmasında fotosentez sonucu oluşan oksijenin rolü büyük olmuştur. Ozon tabakasının oluşumunu anlattığımız soruda daha detaylı olarak serbest oksijenin ozon tabakasının oluşmasındaki rolünden ve devamında da canlılık üzerindeki etkilerinden bahsedeceğiz.

Günümüz atmosferinin kimyasal yapısına da kısaca bakacak olursak; azot (yüzde 78), oksijen (yüzde 21), argon (yüzde 0,09), karbondioksit (yüzde 0,03) ve diğer çeşitli gazlar bulunur. Su buharı da bunlardan biridir. Oksijen oranının artışıyla birlikte, tekhücreli organizmalardan binlerce kat büyüklükte, devasa boyutlardaki hayvanların oluşmasının önü açılmıştır. Oksijen, bu devasa hayvanların kullanabilecekleri hazır enerjiyi sağlamıştır (Şekil 63)

26 Dünya üzerindeki kıtalar nasıl oluşmuştur ve zaman içinde nasıl değişmiştir?

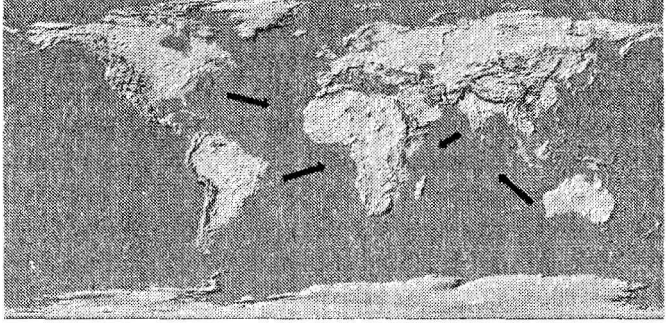
Dünya üzerindeki karaların nasıl şekillendiği ve günümüzdeki kıtaların nasıl evrildiklerini en iyi açıklayan teori "levha tektoniği" teorisidir Bu teorinin başlangıcı Alman jeofizikçi Alfred Wegener'in 1912'de öne sürdüğü ve 1915'de de *Kıtaların ve Okyanusların Kaynağı* adlı eserinde geliştirdiği "kıtaların kayması" teorisidir.

Teorinin kurulmasına giden yol basit bir gözlemle başlıyor. Dünya üzerindeki kıtaların şekillerine bakıldığında, bir yapbozun birbirinden ayrılmış parçaları gibi duruyorlar. Örneğin, Amerika Kıtası'nı Afrika ve Avrupa'ya bitiştirdiğinizde yapboz parçaları gibi uyum sağlıyorlar. Benzer şekilde Afrika'nın güney ucu ile Antartika, Avustralya, Hindistan ve Madagaskar da uyum içindeler. (Şekil 64)

Kıtaların sınırları arasındaki bu uyumu ilk fark eden Wegener değildi. Magellan ve diğer kâşifler de hazırladıkları haritalarda bu uyumu fark etmişlerdi. Ancak Wegener, Dünya yüzeyinin zamanla değiştiğini ve belki de geçmişte bir zamanda tek bir kıta halinde olduğunu fark eden ilk kişiydi.

Bu gözlemle uyumlu olan önemli bir buluş ise fosil kaynaklarından geldi. Paleontologlar birbirlerinden çok

Şekil 64. Dünya haritasına baktığımızda, kıtaların şekilleri bir yapbozun parçasıymış gibi birbirine uyum gösteriyor.



uzakta bulunan kıtaların birbirlerine bakan sınır bölgelerinde çok benzer türlerin fosillerine rastladı. Okyanusun farklı kıyılarında (Güney Amerika ve Afrika kıyılarında) benzer bitki ve hayvan fosilleri ortaya çıkarılmıştı.

Dünya'nın geçmiş zamanlardaki iklim yapısı üzerine çalışan araştırmacılar da dünya üzerinde buzullarla kaplı çok geniş karasal alanların şimdi birbirlerinden çok uzakta olduklarını gözlemledi. İşte bu ve benzeri gözlemler dünya litosferinin (taşyuvarlak ya da karaların) zaman içerisinde hareket halinde olduğu fikrini destekliyordu.

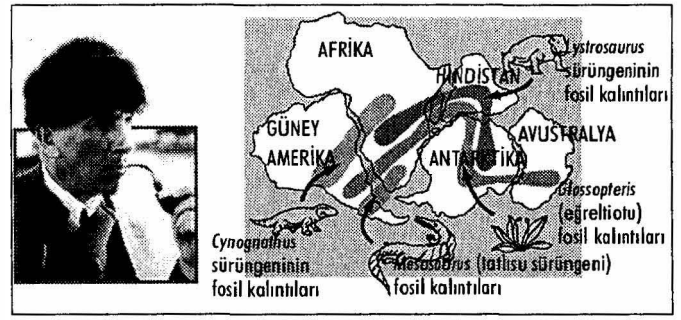
Wegener'in döneminde fikirleri tartışma yaratıyordu; çünkü Wegener bir gözlemi ortaya koyarken nedenini açıklayamıyordu. Kıtalar hareket ediyordu, ama işleyiş mekanizması neydi? O dönemdeki bilim insanlarının genel fikri Dünya'nın ısınma ve soğuma döngüleri sayesinde bugünkü şeklini aldığı ve kıtaların da sabit olduğuydu. Yatay bir hareket yerine dikey bir hareket olabilirdi.

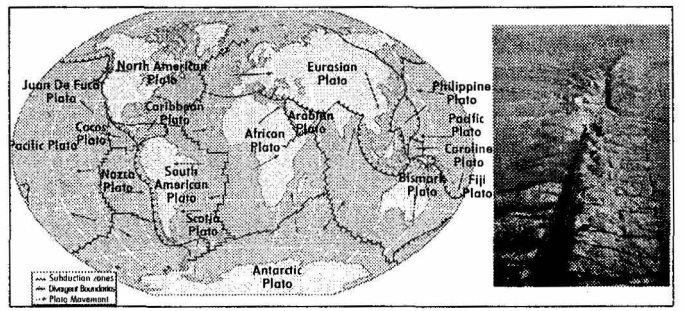
Wegener'in "kıtaların kayması" teorisi kıta hareketlerini açıklayamasa da, kabuk tabakasının hareket ettiği fikrini bilim dünyasında ilk defa ortaya koymuş ve daha sonra geliştirilecek olan "levha tektoniği" teorisine de önayak olmuştur. (Şekil 65)

Levha tektoniği teorisi nedir?

Levha tektoniği teorisi Dünya'nın litosfer tabakasınının (üst kabuk tabakası) nasıl hareket ettiğini anlatır. Litos-

Şekil 65. Alfred Wegener (solda), birbirinden binlerce kilometre uzaktaki kıtalarda bile aynı hayvan ve bitki fosillerinin bulunduğunu fark etmişti.



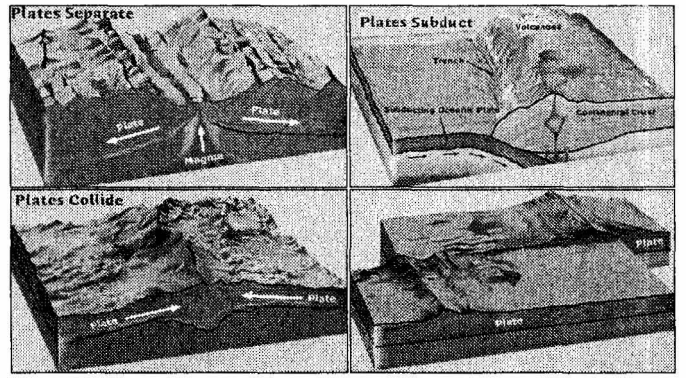


Şekil 66. Dünya üzerindeki yedi büyük levha birbirlerine göre hareket halindedir. Oklar kıtaların hareket yönlerini gösteriyor. Sağda ise, Kuzey Amerika Levhası ile Pasifik Levhası arasındaki San Andreas sınır kırığı görünüyor.

fer tabakası "tektonik levha" adı verilen tabakalar halinde bölünmüş durumdadır. Temel olarak yedi büyük levha ve çok sayıda da daha küçük levha bulunur. Bu tabakalar astenosfer adı verilen bir alt tabakanın üzerinde birbirleriyle etkileşim halinde hareket eder. Kıtalar Dünya'nın manto tabakasının üzerinde yüzmekte olan işte bu devasa levhalar üzerinde hareket ederler. Tektonik levhaların hareket edebilmesinin nedeni, litosferin altta bulunan astenosfer tabakasına oranla daha sert ve daha az yoğun olmasıdır. Hareketi sağlayan mekanizmanın temelinde ise Dünya'nın daha alt tabakası olan manto tabakasından yayılan ısı bulunur. Dünya'nın çekirdeğinde gerçekleşen radyoaktif reaksiyonlar manto tabakasının ısınmasına neden olur. Isınan gazın yükselmesi üst tarafta bulunan levhaların da hareketini sağlar. (Şekil 66)

Depremler, volkanik aktiviteler, dağ oluşumları ve okyanus dibi yarıklarının oluşumu, bu levhaların birbirlerleriyle olan sınırlarında meydana gelir. Levhaların birbirlerinden uzaklaşmaları yılda ortalama 0-100 mm arasındadır. Çok kısa bir mesafe olsa da milyonlarca yıllık bir zaman içinde yüzlerce km ayrım oluşabilir. (Şekil 67)

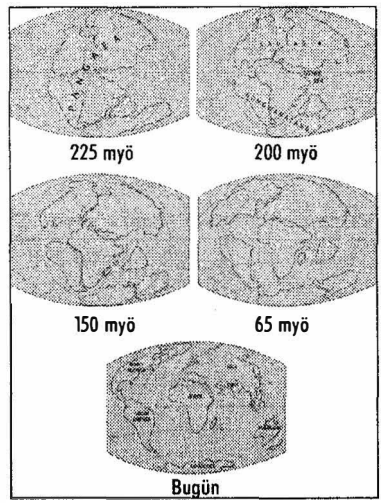
Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında yaşanan teknolojik gelişmeler ve elde edilen yeni bulgular levha tektoniği teorisini desteklemiştir. Örneğin, Dünya'nın geçmiş zamanlardaki manyetik alanını araştıran çalışmalar, man-



Şekil 67. Levhalar farklı yollarla birbiriyle etkileşime girer ve hareket ederler. Deprem ve volkanik aktiviteyle birbirinden ayrılabilirler (sol üst), iki levha çarpıştığında biri bükülerek diğerinin altına yönelebilir (sağ üst), kıta taşıyan iki levha çarpıştığında dağ sıraları yükselebilir (sol alt) ya da levhalar birbirinden farklı yönlerde kayarak hareket edebilir (sağ alt).

yetik kuzey kutbunun zaman içerisinde hareket halinde olduğunu gösteriyor. Bunun anlamı kuzey kutbunun ya da levhaların hareket halinde olduğudur. Kuzey kutbu temel olarak sabit kaldığından, bu sonuçlar levha tektoniği fikrini destekliyor. Benzer şekilde, 1960'lı yıllarda nükleer araştırmalar için Dünya'nın birçok yerine yerleştirilen sismometreler (yerdeki titreşimleri ve özellikle depremleri tespit ediyorlar-depremölçer), depremlerin, volkanların ve diğer aktif jeolojik özelliklerin dünya üzerinde belirli kuşaklar boyunca yer aldığını ortaya çıkardı. Bu kuşaklar tektonik tabakaların (levhaların) kenarları olarak tanımlandı.

Dünya tarihinde kıtalar arasındaki çarpışmalar sonucu süperkıtalar oluşmuş ve tekrar parçalanmıştır. Süperkıtaların parçalara ayrılması ile oluşan kırıklara Dünya'nın manto tabakasından gelen materyal dolarak yeni bir okyanus kabuğu oluşturmuştur. Kıtalar birbirinden ayrıldıkça da yeni bir okyanus tabanı gelişmiştir. Dünya yüzeyinin üçte biri kıtasal kabukla kaplıdır, bu yüzden kıtalar ayrı olsalar da birbirleriyle çarpışırlar. İki kıta çarpıştığında arada bulunan okyanus tabanı yok edilir.



Şekil 68. Son süperkıta Pangea'dan günümüze kıtaların değişimi.

Kıtaların şekillenmesi

Kıtalar büyük ihtimalle en az 2 milyar yıldır hareket halinde. Ancak jeologların sahip olduğu tarihöncesi kayaların çoğu en fazla 800 milyon yıllık. Daha önceki zamandan kalmış olan okyanus kabuğunun büyük kısmı ise manto tabakasına geri dönmüş durumda.

Jeologlara göre yaklaşık 800 myö kıtalar tekrar bir araya gelerek Rodinia adı verilen süperkıtayı oluşturdu. Şimdi Kuzey Amerika'nın bulunduğu yer Rodinia'nın merkeziydi. Dünya'nın manto tabakasından yüzeye gelen materyal ile birlikte Rodinia parçalara ayrılmaya başladı ve bu parçalar da 500 ve 250 milyon yıl önce tekrar çarpıştı.

Son süperkıta

Günümüzden 250 milyon yıl önce, ayrı kıtalar tekrar bir araya gelerek Pangea adı verilen son süperkıtayı oluşturdu. Pangea'yı çevreleyen denize ise Pantalassa adı verilir. Pangea zaman içerisinde kuzeyde Laurisia ve güneyde de Gondvana adı verilen iki kara parçasına ayrıldı. Arada bulunan denize ise Tetis adı verilir. Levha hareketleri sonucu zamanla bu kara parçaları da bölünerek bugünkü kıtaları oluşturdular. Gondvana bölünerek Afrika, Antartika, Avustralya ve Güney Amerika kıtalarını ve Hindistan alt kıtasını oluşturdu. Laurasia da bölünerek Avrasya ve Kuzey Amerika'yı meydana getirdi. (Şekil 68)

Levha hareketlerinin canlılık üzerine etkileri

Kıtaların konumları Dünya'nın iklimini, deniz seviyesini, canlıların dağılımını ve yeni türlerin ortaya çıkmasını ya da yok oluşlarını etkileyecektir. Örneğin 500 milyon yıl önce Gondvana Süperkıtası güney kutbu üzerinde oluştuğunda Dünya bir buzul çağına girdi. Suyun büyük oranda buzullarda hapsedilmesiyle deniz seviyesinde de düşüş görüldü. Deniz seviyesi düştükçe de kıtaların deniz altında kalan kısımları yüzeye çıkmış oldu. Bu bölgelerde gelişmiş olan canlılar da ya öldü, ya adapte oldu ya da başka bölgelere göç etti.

Kıtalar birbirleriyle çarpıştıklarında ayrı kıtalarda bulunan türler birbirine karıştılar. Kıtalar tekrar ayrıldıklarında da yeni türler diğer kıtalara geçmiş oldu. Örneğin, Afrika, Güney Amerika, Avustralya ve Yeni Zelanda bir zamanlar var olmuş Gondvana isimli süperkıtanın parçalanmasıyla oluştu. Önce Afrika, sonra Yeni Zelanda ve son olarak da Avustralya ve Güney Amerika ana kıtadan koparak ayrıldılar. Tüm bu kıtalarda bulunan bazı türlerin evrimsel yakınlığına bakarak kıtaların birbirinden hangi sırayla ayrıldığını anlayabiliriz. Küçük bir böcek olan tatarcık türünün farklı kıtalarda bulunan örnekleri incelendiğinde, Güney Amerika ve Avustralya'da bulunan türlerin birbirine Yeni Zelanda'da bulunan örneklere göre daha çok benzerlik gösterdiği ortaya çıkıyor. Benzer şekilde üç kıtadaki örnekler ilk ayrılan kıta olan Afrika'da bulunan örneklerden daha fazla benzerlik gösteriyor.

Madagaskar günümüzde Afrika'nın güney ucuna yakın bir bölgede bulunan bir adadır. Adada bulunan hayvanlar Hindistan'da bulunan hayvanlarla büyük benzerlik göstermektedir. Hindistan ile Madagaskar arasındaki mesafe karasal türlerin ulaşamayağı kadar büyüktür (4000 km). Bir zamanlar bir arada olan Madagaskar ve Hindistan, yaklaşık 100 milyon yıl kadar önce birbirlerinden ayrılmıştır.

27 | Dünya'nın geçirdiği jeolojik devirler nelerdir?

Dünya'nın ve üzerindeki yaşamın zaman içerisinde nasıl şekillendiğini ve hangi aşamalardan geçerek günümüze ulaştığını kavrayabilmek için Dünya'nın geçirdiği jeolojik devirlerin özelliklerini bilmemiz bize çok yardımcı olacaktır. Bu devirlerin başlangıç ve bitiş noktaları önemli jeolojik olaylara göre belirlenmiştir ve her devir canlılık açısından farklı özellikler içerir. İnsanoğlu ise milyarlarca yıl süren bu hikâyenin sadece son 6-7 milyon senesinde yer almıştır. Elinizdeki kitapta, bundan sonraki bölümlerde yer alan sorularda, yaşamın ortaya çıkışı ve canlılığın çeşitlenmesini ayrıntılı olarak ele alacağız; fakat bu soruda, canlılığın hikâyesini kavramamızda yardımcı olması bakımından, Dünya'nın oluşumdan itibaren geçen jeolojik devirleri, biyolojik evrimle paralel bir bütün olarak özet bir biçimde veriyoruz.

Jeolojik zamanları, temelde Kambriyen öncesi ve sonrası olarak ikiye ayırabiliriz. Kambriyen Devri'nin (545-495 myö) ayırıcı özelliği, daha önceki zamana göre canlı çeşitliliğinde yaşanan hızlı artıştır. Yaşam her yanı doldurmuş ve sayısız şekil ve türde canlı türemiştir. En azından elimize geçen fosil ve bilgi sayısı bu dönemde büyük bir artış göstermektedir.

Kambriyen Devri öncesi: Hadean, Arkean, Proterozoyik

Kambriyen öncesinde Dünya yüzeyi soğumuş, atmosfer ve okyanuslar ortaya çıkmıştı. Yaşam günümüzden 3,5-3,8 milyar yıl önce ortaya çıkmış, bakteriler, ökaryotlar, çokhücreli canlılar türemişti. Bu dönem hakkında bilgilerimiz oldukça sınırlı. Özellikle ilk zamanlardan günümüze ulaşan kayaçların bulunmaması nedeniyle bildiklerimiz tartışmalı. Bilinen en eski kayaçlar 3,8-4 milyar yıl öncesine ait.

Kambriyen öncesi dönemi kendi içinde üç farklı zamana bölebiliriz:



Şekil 69. Hadean Dönemi'nde Dünya'yı betimleyen bir çizim.

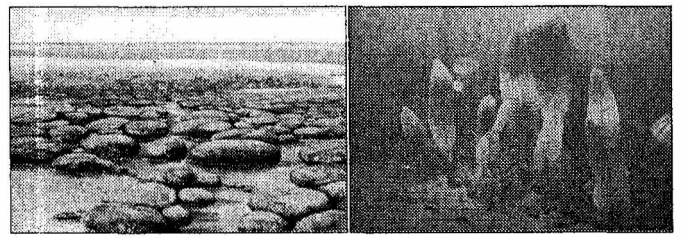
1) **Hadean Eonu** (~4500-3800 myö): Bu dönem jeolojik bir devir olarak kabul edilmese de, Dünya tarihinin bütünlüğünün sağlanması açısından özelliklerini bilmeliyiz. Bu dönem, Dünya'nın ve Güneş Sistemi'nin oluşum aşamasında olduğu ve Dünya üzerinde yoğun meteor bombardımanının yaşandığı dönemdir. Ay'ı oluşturan dev çarpışma da bu dönemde meydana gelmiştir. Bu gibi dev çarpışmalar sayesinde Dünya ilk zamanlarda erimiş bir halde olsa da, sonraları yüzeyde kabuk tabakası, ilk kıtalar, atmosfer ve okyanuslar oluşmaya başlamıştır. (Şekil 69)

2) **Arkean Eonu** (~3800-2500 myö): Bu dönemin belirleyici özelliği, yaşamın ilk defa Arkean Eonu'nun başında ortaya çıkışıdır. Baskın olarak bulunan canlı grubu arkealardı ve okyanuslarda yaşıyorlardı. Atmosfer günümüz atmosferinden çok farklıydı. Büyük ihtimalle metan, amonyak ve diğer toksik gazlardan oluşan ve dışarıda yaşama izin vermeyecek indirgen bir atmosfer vardı. Fotosentez yapan siyanobakterilerin ortaya çıkışı ile birlikte okyanuslarda oksijen de yayılmaya başladı. (Şekil 70)

3) **Proterozoyik Eonu** (~2500-545 myö): Dünya ve yaşam için en heyecan verici gelişmelerin çoğu bu dönemde gerçekleşti. Atmosferde oksijen miktarının artışı ile birlikte arkealar azalarak oksijensiz bölgelere çekilirken bakteriler yayıldı. Devamında da ökaryotlar ve çokhücreliler ortaya çıktılar. Rodinia Süperkıtası oluştu. Dünya'nın gördüğü en

Şekil 70. Arkean Dönemi'nde Dünya'yı betimleyen bir çizim.





Şekil 71. Proterozoyik Dönem'in önemli özelliklerinden stromatolitler (birikmiş siyanobakteri fosilleri) ve Ediacara Faunası yaşam örnekleri.

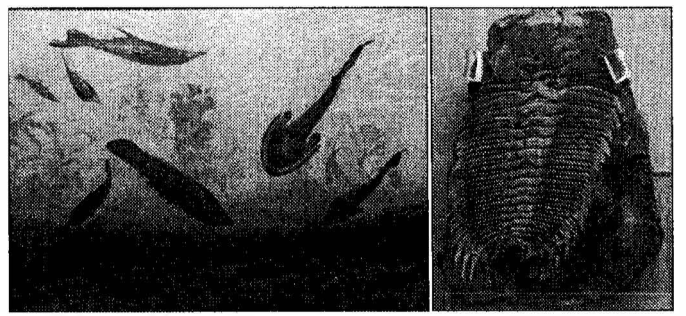
büyük buzul çağları bu dönemde yaşandı ve yeryüzünün tamamı buzlarla kaplandı. Bu dönemde Ediacara Faunası olarak bilinen fauna, ilk yumuşak dokulu çokhücreli hayvanları barındırır. Bu zamanda ortaya çıkan hayvanlar bilinen canlılara benzemeyen garip şekillerdeki canlılardı. Canlı çeşitliliğinin hızla arttığı bir dönemdi. (Şekil 71)

Kambriyen Devri sonrası:
Fanerozoyik Eonu (545 myö-günümüz)

Bu dönem bizim bildiğimiz anlamda görünür yaşamın ortaya çıktığı zamandır. Kambriyen Devri'nde canlı çeşitliğindeki artışla başlar ve günümüze kadar ulaşabilen çok sayıda fosil örneği bırakır. Suda çeşitlenen yaşam zamanla karalara yayılmış ve her yeri kaplamıştır. Bu dönem dinozorlardan memelilere, ilkel bitkilerden devasa ormanlara ve günümüzün çiçekli bitkilerine kadar ortaya çıkan türlerle Dünya üzerindeki yaşamı temelden şekillendiren dönem olmuştur.

1) **Paleozoyik Zaman (545-251,4 myö):** Paleozoyik Zaman'ın sınırlarını yaşam açısından çok önemli iki olay belirlemiştir. Çokhücreli hayvanların kısa süre içerisinde çeşitlendiği "Kambriyen Patlaması" ile başlar ve tarihte bilinen en büyük kitlesel yok oluş ile son bulur. Kambriyen Patlaması'nı 39. Soruda, kitlesel yok oluşları da 49. Soruda detaylı olarak inceleyeceğiz. (Şekil 72)

Zaman zaman buzul çağları yaşansa da genel olarak iklim ılıman ve nemlidir. Kambriyen Devri başında parçalanan süperkıta Rodinia küçük kıtalara ayrılmıştır. Bu kı-



Şekil 72. Kambriyen Dönemi'nde sulardaki yaşam örnekleri ve sağda bir trilobit fosili.

taların en büyüğü de Gondvana'dır. Paleozoyik Zaman'ın sonuna doğru ise kıtalar tekrar birleşerek süperkıta Pangea'yı oluşturacaktır.

Paleozoyik Zaman'ın ortalarına doğru denizlerde omurgalılar ve özellikle de balıklar yaygınlaşırken hayvanlar, mantarlar, bitkiler ve böcekler karaya yerleşmeye başladı.

Paleozoyik'in sonlarına doğru ise yeryüzü uçsuz bucaksız ormanlarla kaplandı. Bu ormanlarda böcekler, amfibiler (suda ve karada yaşayanlar) ve sürüngenler göze çarpan hayvanlardı. Zamanın sonlarında sürüngenler oldukça çeşitlendi ve memelilerin ve dinozorların ataları olan gruplar ortaya çıktı.

Paleozoyik'in son dönemi olan Permiyen sonunda gerçekleşen kitlesel yok oluş ile birlikte canlılarının büyük çoğunluğu ortadan kalktı. Ortaya çıkan biyolojik boşluğu ise devam eden zamanda özellikle dinozorlar dolduracaktır.

2) Mesozoyik Zaman (251,4 myö-65,5 myö): Dinozorlar çağı olarak da adlandırabiliriz. Süperkıta Pangea, Mesozoyik Zaman'ın ilk döneminin sonuna kadar varlığını sürdürse de, daha sonra parçalanmaya başladı. Zamanın son dönemi olan Kretase'de Lavrasya ve Gondvana yeniden birbirinden ayrılır ve daha küçük parçalara bölünürler; kıtalar hemen hemen günümüzdeki biçimlerini almaya başlar. İklim sıcaktır, hatta kutuplarda dahi buzullaşma yoktur. Paleozoyik Zaman'ın sonunda başlayan kurak ve



Şekil 73. Mesozoyik Zaman "dinozorlar çağı" olarak da adlandırılır.

aşırı karasal iklim Mesozoyik Zaman'ın ilk döneminde (Triyas) devam eder. Jura'da (Jurasik Dönem) iklim yeniden nemli hale gelir ve kıtalar yeniden bitkilerle kaplanır. Bu nemli ve mevsimselliğin çok belirgin olmadığı yumuşak iklimsel eğilim, Kretase Devri boyunca devam edecektir.

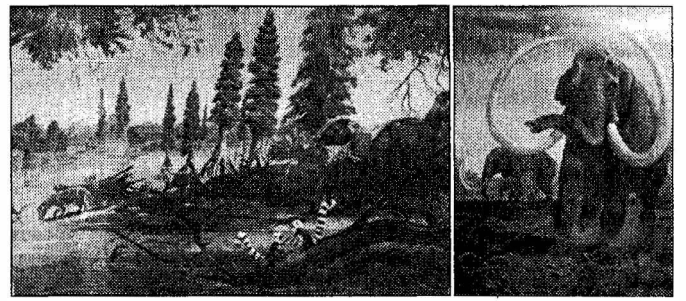
Permiyen Devri sonunda meydana gelen kitlesel yok oluşta sağ kalmayı başaran deniz canlıları çeşitlenerek pek çok yeni grup ortaya çıkardı. Modern zamanların deniz omurgasız yaşamı Mesozoyik'te kurulmuştur.

İlk devir olan Triyas'ta sürüngenler ve memeli benzeri sürüngenler karasal ekosistemin baskın gruplarıydı. İlk gerçek memeliler Triyas'ın sonunda ortaya çıktı. Triyas'ın sonunda gerçekleşen yok oluşla, memeli benzeri sürüngenler de dahil, ilkel sürüngenlerin ve ikiyaşamlıların (amfibiler) çoğu yok oldu ve yeni dönemde dinozor ve yeni sürüngen gruplarının önü açılmış oldu. (Şekil 73)

Jura Devri'nde karasal ekosistemin baskın omurgalı grubu dinozorlar olurken, timsahlar, kaplumbağalar, kertenkeleler ve kurbağalar da yayıldı. Bazı sürüngen grupları sucul yaşama uyum sağlarken, bir kısmı ise uçma yeteneğini kazanarak krallıklarını gökyüzünde kurdular.

Açık tohumlu bitkiler, Mesozoyik'in baskın bitki grubudur. Erken Mesozoyik'te eğreltiler, sikatlar, ginkolar baskınken; modern açık tohumlular, örneğin kozalaklılar ilk kez günümüzdeki biçimleriyle erken Triyas'ta ortaya çıktı. Memeliler önemsiz bir grup olarak dinozorların hâkimiyeti altında yaşarken, kuşlar da ilk kez Jura Devri'nde ortaya çıktı.

Son devir olan Kretase sonunda dinozorlar pek çok canlı grubuyla birlikte ortadan kalktı. Bu yok oluşun yeryüzüne çarpan bir gökcismi nedeniyle olduğu yaygın olarak kabul



Şekil 74. Kenozoyik Zaman'ın çevre şartları ve son zaman devlerinden mamutlar.

gören fikir olsa da, tartışmalar devam etmektedir. Kretase/Tersiyer yok oluşu olarak bilinen bu olayla sürüngenlerin yüz milyonlarca yıl süren hâkimiyeti sona erdi ve memelilerin yaygınlaşmasını sağlayacak koşullar oluştu.

3) Kenozoyik Zaman (65,5 myö-günümüz): Bu dönemin temel özellikleri, memelilerin baskın hale gelmesi, kıtaların günümüzdeki hallerini alması, geniş otlakların oluşması ve son zamanlarında da insanın ortaya çıkarak yayılmasıdır. Paleojen, Neojen ve Kuaterner olmak üzere üç devre ayrılır.

Bu zamanda kıtalar günümüzdeki konum ve biçimlerini yavaş yavaş alırken, iklim de gittikçe kuraklaşıp soğudu. Birçok buzul çağı yaşandı. Kurak ve soğuk iklim koşulları ormanların azalmasına yol açtı.

Omurgasızlar, balıklar ve sürüngenler dönemin başında modern biçimlerine ulaştı; ancak, memeliler, kuşlar, bir hücreliler ve çiçekli bitkiler dönem boyunca evrimleşip çeşitlenmeye devam etti.

Tek çenekli bitkiler bu zamanda ortaya çıkıp, ormanlardan boşalan alanlara yayılarak, ilk kez savan, yayla gibi otlak alanlarını oluşturarak memeli evriminin ana merkezleri oldu. Memeliler zamanın başında sıçan benzeri biçim ve boyutlardayken; hızla pek çok garip tarihöncesi dev hayvana ve günümüz biçimlerine evrimleştiler. (Şekil 74) Son olarak ise, kendi türümüz olan *Homo sapiens* son buzul çağının sona ermesiyle yaygınlaşıp, ekosistemin baskın canlısı oldu.

6.3. YAŞAMIN ORTAYA ÇIKIŞI

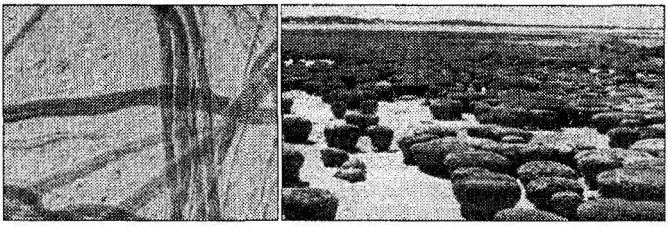
28 | Dünyada yaşam ne zaman başlamıştır?

Elde edilen en eski fosil kaynakları, yaşamın dünya üzerinde milyarlarca yıldır var olduğunu gösteriyor. Güney Afrika ve Avustralya'da bulunan ve "stromatolit" adı verilen tarihöncesi fosil kayalar, önemli mikro fosil kaynaklarıdır. (Şekil 75) Mikroorganizmaların üst üste katmanlar halinde birikmesi ile oluşan bu kayalardaki fosil örnekleri, yaşamın günümüzden en az 3,5 milyar yıl önce var olduğunu gösteriyor. Kayalar üzerinde, özellikle siyanobakterilerin (mavi-yeşil alg olarak da bilinir) ataları olduğu düşünülen hücre fosilleri yoğun olarak bulunuyor.

Yine bu dönemden kalma kayalarda yapılan incelemelerde 3,8 milyar yıllık biyolojik karbon örneklerinin bulunması da, canlılığın ilk ortaya çıkışının bu döneme kadar geriye gidebileceği anlamına geliyor.

Yaşamın nasıl başladığının çözülmesi hem heyecanlı hem de meydan okuma gerektiren bilimsel bir problemdir. Şimdiye kadar 3,5 milyar yıldan eski fosil örneği bulunamamıştır. Dünya'nın ilk zamanlarındaki kimyasal ve fiziksel şartlarını bilmediğimizden, ilk organizmaların

Şekil 75. Stromatolitler, tekhücreli organizmalar tarafından tabakalar halinde oluşturulan kayalardır. Dünya üzerinde yaşamış en eski canlı fosilleri bu kayalar üzerinde bulunmuştur.



oluştuğu ortam koşullarının tekrar yaratılması zordur. Yine de, araştırmacılar kendiliğinden çoğalan organizmaların nasıl oluştuğunu ve evrimleşmeye başladığını anlamak üzere hipotezler kurmuşlar ve bu hipotezlerin olasılığını laboratuvar şartlarında test etmişlerdir. Bu hipotezlerin hiçbiri üzerinde genel ortak bir uzlaşmaya varılmamışsa da, bu tür temel soruların çözümünde ilerlemeler kaydedilmiştir.



Şekil 76. Okyanus diplerindeki hidrotermal bacalar canlılar için enerji ve zengin mineral kaynağıdır.

29 | Yaşam nerede başladı?

Yaygın olan bilimsel görüşe göre yaşam, ilk Dünya'nın oksijen ya da oksitleyici diğer gazlar bulunmayan indirgen ortamında oluşmuştu. İnorganik moleküllerden organik moleküller oluştu ve birikti. Karmaşık yapıdaki biyomoleküller de, bu organik moleküllerden oluştu.

İlk hücrelerin büyük olasılıkla fermentatif heterotroflar [6] olduğu düşünülüyor. Henüz oksijenli solunum ya da fotosentez gelişmemişti ve gerekli enerji ortamda bulunan enerji kaynaklarından sağlanıyordu.

Yaşamın dünya üzerinde nerede ortaya çıktığı sorusu kesin olarak cevaplandırılamasa da, farklı hipotezlerde öne çıkan yerler arasında okyanus diplerindeki hidrotermal bacaların çevreleri ya da volkanların çevrelerindeki ufak su birikintileri bulunuyor. Yaygın olarak kabul edilen fikir ise, yaşamın sularda ortaya çıktığıdır. Bunun ne-

6) Fermentatif heterotrof: Oksijensiz ortamda yaşayan, fermantasyon yapan ve büyümek için hazır organik karbon tüketen organizmalardır.

deni ise, ilkel Dünya atmosferinde henüz ozon tabakası bulunmadığından, Güneş'ten gelen yüksek enerjili ışınların canlılığın atmosferde oluşmasını büyük ihtimalle engelleyecek oluşudur.

Şimdi önde gelen hipotezlerden okyanus diplerindeki hidrotermal bacalara göz atalım. Bu bacalarda kimyasalların bolluğu ve sağladığı enerji, ilk canlılığın başlaması için uygun ortam oluşturmuş olabilir. (Şekil 76) Deniz suyu, okyanus dibindeki çatlaklardan diplere doğru sızar ve alt tabaka olan manto tabakasının sıcaklığıyla ısıtılarak tekrar yukarı çıkar. Deniz tabanından çıkan su, çok sıcak (400 °C) ve mineral bakımından oldukça zengindir. Özellikle demir ve sülfür daha sıcak olan "siyah duman bacalarından" salınırken; baryum, kalsiyum ve silikon ise sıcaklığı daha düşük olan "beyaz duman bacalarından" salınır. Bu suyun kaynamayışının nedeni, okyanus dibindeki yüksek basınçtır. Sıcak su okyanus tabanının soğuk suyu ile karşılaştığında, mineraller çökerek bu bacaları oluşturur. Suyun tam çıkış bölgesi aşırı sıcak olduğu halde, çevresine doğru daha ılımlı sıcaklık kuşakları oluşturur. İşte bacanın sıcak suyu ve okyanusun soğuk suyu arasındaki ılıman bölgeler, enerji ve mineral açısından zengin, ilk hücrelerin ortaya çıkabileceği düşünülen yerlerdir. İlk defa 1977'de ortaya çıkarılan hidrotermal bacaların Pasifik ve Atlantik Okyanusları'nda diğer örnekleri de bulunmuştur. Bacalar çevresinde, ışıksız ortamda, farklı bakteri türlerinden dev boru kurtçuğuna, midyeden karidese kadar farklı türler yaşamlarını sürdürmektedir.

30 | Yaşam için gerekli öncü moleküller nelerdir? İlksel çorba kuramı ne söylemektedir?

Dünya üzerinde ilk canlı organizma birdenbire ortaya çıkmadı. Hücre oluşmadan önce birçok öncü adımın geçil-

mesi gerekti. Dünya'nın yaklaşık 4,5 milyar yıl önce oluştuğundan ve canlılığın da yaklaşık 3,5-3,8 milyar yıl önce ortaya çıkmış olması gerektiğinden bahsetmiştik. Görülüyor ki, Dünya oluştuktan sonra geçen 700 milyon-1 milyar yıl kadar süre, canlılığın oluşması için gerekli uygun koşulların meydana gelmesini sağladı.

Doğa bilimlerinde dünya üzerindeki yaşamın cansız maddelerden nasıl oluştuğunu anlamaya çalışan alana "kimyasal evrim" ya da "abiogenesis" adı verilir. Abiogenesisin evrim kuramı ile karıştırılmaması gerekir. Evrim kuramı temel anlamda canlıların zaman içinde nasıl değiştiğini ve çeşitlendiğini anlatırken, abiogenesis cansız maddelerden canlı organizmalara geçişin nasıl olduğunu açıklamaya çalışır.

Tüm canlı organizmalar hücrelerden oluşmuştur. Hücreler, cansız moleküllerden birdenbire oluşamayacak kadar karmaşık birimlerdir. Dünya üzerinde canlılık ortaya çıkarken de doğrudan hücre yapısı değil, bazı ara basamaklar oluşmuş olmalıdır. Örneğin hücre yapısının temel taşları olan proteinler ya da nükleik asitler de (DNA ve RNA) karmaşık yapıdadır ve hücre oluşmadan önce bu gibi karmaşık yapıların oluşmuş olması gerekir. Bilim insanları öne sürdükleri farklı hipotezlerle hücrenin oluşumuna kadar giden ara basamakları anlamaya ve bu basamaklarda etkili olan kilit molekülleri ortaya çıkarmaya çalışıyor. Öne sürülen hipotezlerin hiçbirine kesin olarak doğru diyemesek de, sürekli elde edilen yeni kanıtlar bazı hipotezleri diğerlerinden öne çıkarıyor. Bilim dünyasında kabul gören ve canlılığın nasıl ortaya çıktığını anlatan ara basamakları kısaca şöyle özetleyebiliriz:

Birinci adım: Öncelikle, yaşamın ortaya çıkabilmesi için gerekli çevresel ortam oluşmuş olmalıdır. Bu yüzden ilk adım olarak Dünya'nın ve atmosferin oluşması düşünülebilir. Bu aşama yaşamın oluşması için gerekli inorganik hammaddelerin ortaya çıktığı ve birbirleriyle etkileşime geçtiği aşamadır. Uygun çevre koşullarının oluşması bazı gezegenleri diğerlerinden farklı yapacaktır. Her gezegende yaşam bulunmaz, bunun nedenlerine, Soru 14'de

yaşam için elverişli bölgeler konusunda değinmiştik.

İkinci adım: İnorganik moleküllerin birbiriyle etkileşimleri sonucu organik moleküller oluşmaya başlamıştır. Bu reaksiyonlar için gerekli olan enerji de yıldırımlar, güneş ışığından gelen mor ötesi radyasyon ya da volkanlardan gelen ısı enerjisinden elde edilmiştir. Yaşamın oluşmasında rol oynamış organik moleküller iki farklı kaynağa sahip olabilir:

Organik moleküller dünya üzerinde oluşmuş olabilir. Bunun için Dünya atmosferindeki enerji kaynaklarından yararlanılmış olabilir (Miller deneyinde -bkz. 31. Soru- olduğu gibi).

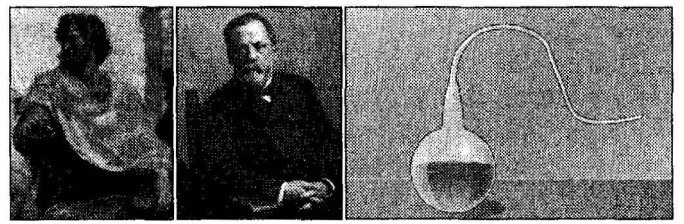
Organik moleküller Dünya'da oluşmak yerine uzaydan Dünya'ya gelmiş olabilir. Dünya'ya çarpan gökcisimleriyle (kondritler-taşsı meteoritler) taşınmış ya da Dünya'nın çekim kuvveti ile çekilmiş de olabilirler. Dünya dışında yaşam var mı konusunu ele aldığımız Soru 15'de Güneş Sistemi içinde, dışında ve Dünya'ya düşen meteorlar üzerinde keşfedilen karmaşık yapıdaki organik moleküllerden ve hücre benzeri kalıntılardan bahsetmiştik.

Üçüncü adım: Dünya'da oluşan ya da Dünya dışından gelen organik moleküller birikmiş, bir araya gelerek daha karmaşık yapılar oluşturmuştur. Bu aşamada polipeptid ve nükleik asit gibi hücre içerisinde bulunan karmaşık moleküller oluşmuştur. Bu moleküllerden bazıları ilkel canlılık özellikleri kazanmışlardır.

Canlılığa giden yolda şimdilik bu aşamaya kadar gelelim. Bundan sonraki sorularda bu adımları daha detaylı şekilde ele alacağız. Şimdi kısaca canlılığın oluşumuyla ilgili fikirlerin nasıl geliştiğine bakalım. Bu süreçte birkaç önemli ismin öne çıktığını görüyoruz.

Canlılığın oluşumu fikirlerinin özet bir tarihçesi

MÖ 4. yüzyılda yaşamış Aristoteles'in zamanından 19. yüzyılın sonlarına kadar geçen 2000 yılı aşkın zaman boyunca, bilim insanları yaşamın nasıl ortaya çıktığı konusunda, "kendiliğinden üreme" (spontaneous generation) kuramını destekledi. Aristoteles'in daha önceki bilim in-



Şekil 77 En solda Aristoteles (MÖ 384-322), ortada Louis Pasteur (1822-1895) ve en sağda Pasteur'un deneyinde kullandığı flask tipi.

sanlarının gözlem ve fikirlerinden yararlanarak oluşturduğu bu kurama göre, canlı organizmalar cansız organizmalardan kendiliğinden ve birdenbire ortaya çıkıyordu. Bu oluşum her zaman her yerde olmaktaydı. Örneğin, bir et parçasını birkaç gün beklettiğinizde üzerinde göreceğiniz kurtçuklar orada kendiliğinden meydana geliyordu. Bu kuramın sonunu getiren çalışmalar 17 yüzyıldan itibaren birikmeye başladı ve bu kurama en önemli darbeyi 1859'da Fransiz bilimci Lois Pasteur vurdu. Pasteur, kaynattığı et suyunu uzun ve kıvrımlı bir ağza sahip flask içerisine koydu. Kıvrım sayesinde dışarıdan içeriye hava giriyordu, ancak partiküller ve mikroorganizmalar giremiyordu. Et suyunda herhangi bir büyüme gerçekleşmedi. Ancak flask, mikroorganizmaların girebileceği şekilde yatırıldığında, et suyu içerisinde hızlı bir şekilde büyüme gözlemlendi. (Şekil 77)

"Kendiliğinden türeme" kuramının yoğun olarak tartışıldığı 19. yüzyılda, Charles Darwin de bu konu üzerinde fikirlerini belirtmiştir. Kuşkusuz evrim denilince ilk akla gelen isim Charles Darwin'dir. Burada belirtilmesi gereken bir nokta var: Darwin'in evrim kuramı temel olarak yaşamın nasıl başladığı üzerine değil, nasıl çeşitlendiği üzerinedir. Darwin yaşamın ilk defa nasıl ortaya çıkmış olabileceği üzerine çok fazla fikir öne sürmemiştir. Ancak 1871'de İngiliz botanikçi Joseph Dalton Hooker'a yazdığı mektupta, yaşamın ortaya çıkışıyla ilgili şunları yazmıştır: "Sıcak su birikintilerinde amonyak, fosfor tuzları, ışık, ısı, elektrik vb. gibi gerekli bileşenler bulunduğunda protein yapısı oluşturulmuş ve bu pro-

teinler de daha karmaşık değişikliklerin yolunu açmış olabilirler. Günümüzde böyle bir oluşum mümkün olmayacaktır, çünkü cansız maddelerden oluşturulan yeni karmaşık molekül hızlıca tüketilecektir. Yeni bir canlının oluşumu, ortamda yaşayan organizmalar olmadığında mümkün olmuş olmalıdır."

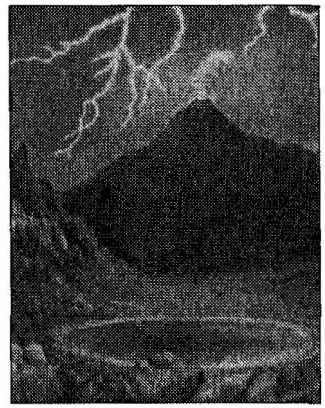
"İlksel çorba" kuramı (primordial soup)

Yaşamın nasıl ortaya çıkmış olabileceği konusu üzerine, Darwin ve Pasteur'un zamanından, Rus bilimci Alexander Oparin'in yeni fikirler öne sürdüğü 1924'e kadar önemli bir gelişme olmamıştır. Oparin'in günümüzde de geniş kabul gören fikirlerine göre: "Atmosferik oksijen yaşamın oluşması için gerekli organik moleküllerin oluşmasını engelleyecektir. Bu yüzden cansız maddelerden canlı organizmaların oluşması bir kere olmuştur, ancak günümüzde bu mümkün değildir. Şu anki atmosferdeki oksijen ve diğer canlı organizmalar, cansız moleküllerden oluşacak organik molekülleri tekrar parçalayacaktır. İlk dünya ortamı şimdikinden farklıydı. İlk dünyanın oksijensiz ortamında, güneş ışığından sağlanan enerji yoluyla organik moleküllerden oluşan bir 'ilksel çorba' meydana gelmiştir. Bu organik moleküller de zaman içerisinde daha karmaşık yapıdaki koaservat[7] damlacıkları oluşturacaklardır. Bu damlalar birbirleriyle birleşerek büyüyecek ve bölünerek yeni damlacıklar oluşturacaklardır. Bu şekilde de yapının devamını korumayı amaçlayan ilkel metabolik bir yapı geliştireceklerdir. Yapıyı koruyamayan moleküller ise dağılacaktır."

Oparin ile aynı yıllarda İngiliz bilimci J. B. S. Haldane de benzer fikirler öne sürmüştür. Haldane'e göre, Dünya'nın ilk zamanlarındaki okyanuslarda organik moleküllerin oluşabileceği yine ilksel bir çorba ortamı oluşmuş olabilir. Biopoiesis olarak adlandırılan bu fikre göre canlılar, kendini çoğaltabilen cansız maddelerden oluşmuştur.

Oparin ve Haldane, birbirlerinden bağımsız olarak

7) **Koaservat**: İçinde organik molekül (özellikle lipit) bulunduran ve hidrofobik güçle bir arada tutulan küçük dairesel damlacıklar.



Şekil 78. İlk Dünya ortamı yaşam için zorlu koşullara sahipti. Koruyucu bir ozon tabakası yoktu ve atmosfer yapısı da farklıydı. Ancak UV ışını, yıldırımlar ve volkanik patlamalar kimyasal reaksiyonlar için gerekli enerjiyi sağlıyordu.

öne sürdükleri fikirleriyle, kendiliğinden türeme kuramının günümüz dünya koşullarında geçersiz olacağını öne sürmüşlerdir. Günümüzde, yaşamın nasıl ortaya çıktığını anlatan kuramların hiçbirini kesin olarak doğru kabul edemeyiz. Ancak öne sürülen kuramlar arasında bilim insanları tarafından en çok kabul gören ve deneysel olarak desteklenenleri, Oparin-Haldane tarafından öne sürülen "ilksel çorba" kuramı temeli üzerine kurulmuştur.

İndirgen atmosfer ve birikme

Bazı bilim insanları ilk Dünya atmosferinin kimyasal olarak indirgen (reducing) bir ortam olduğunu öne sürmektedir. Metan, amonyak, su, hidrojen sülfit, karbondioksit ya da karbonmonoksit ve fosfat bulunurken, moleküler oksijen ya da ozon bulunmaz ya da çok az miktardadır. Bu tür indirgen bir ortamda elektrik enerjisi yoluyla amino asit gibi bazı basit organik moleküllerin oluşması katalizlenebilir. Bu durumun olasılığını ilk olarak Miller-Urey deneyinde Stanley L. Miller ve Harold C. Urey 1953'de göstermişlerdir. Bu deneyin detaylarına, bir sonraki soruda gireceğiz.

Böyle bir ortamda elektron ve hidrojenler inorganik materyali organik yapılara dönüştürmek için hazır bulunur. Güneş enerjisi ve yıldırımlar gerekli enerjiyi sağlayacaktır. (Şekil 78) Organik moleküller oluşmaya başladıktan sonra birikecektir, çünkü parçalanmaları için gerekli olan iki etmen ortamda yoktur. Birincisi oksidasyon yoluyla parçalanmaları için gerekli olan oksijen ve diğeri ise

mikroorganizmalardır. Böylece organik moleküller birikmeye başlayacak, yoğunlaştıkça da birbirleriyle etkileşimleri artacaktır. Oluşan yeni moleküllerden bazıları diğerlerine göre daha dayanıklı olacak, daha çok yer tutarak daha fazla zaman var olacaklar ve yaşamsal reaksiyonlar gerçekleştirmeye başlayacaklardır. Sonuç olarak biriken bu moleküllerin en başarılı olanları kendini kopyalayıp çoğaltabilme yeteneği kazanarak yaşamın oluşmasına giden adımı atacaktır.

31 | Miller deneyi ne anlatıyor?

Oparin ve Haldane tarafından öne sürülen "ilksel çorba" kuramı, ilk başlarda çok yaygın kabul görmedi. Buradaki sorun, cansız maddelerden canlı moleküllerin oluştuğunu gösteren deneysel çalışmaların olmayışıydı.

1952'de Şikago Üniversitesi'nden doktora öğrencisi Stanley Miller ve danışmanı Prof. Harold Urey bir deney düzeneği tasarladılar. Amaçları Oparin-Haldane hipotezinde olduğu gibi inorganik moleküllerden canlılığın oluşumu için gerekli organik moleküllerin oluşabildiğini göstermekti. Bunun için de ilk atmosferde olduğu düşünülen koşulların aynısını laboratuvar ortamında canlandırmayı hedeflediler. Deneyin temel özellikleri şunlardı:

1) Öncelikle ilk atmosferde olduğu düşünülen indirgenmiş gaz karışımı içeriyordu: Karbon kaynağı olarak metan (CH_4), azot kaynağı olarak amonyak (NH_3), oksijen kaynağı olarak su (H_2O) ve ek olarak da hidrojen gazı (H_2) kullanıldı.

2) İlk atmoferdeki yüksek enerjili ortamı yansıtması için elektrik enerjisinden elde edilen enerji: İlk atmosferde bu enerji güneş enerjisinden, yıldırımlardan, Dünya'ya çarpan meteorların şok dalgalarından ya da volkanlardan elde ediliyordu.

3) 0 ile 100 °C arasında çevresel sıcaklık.

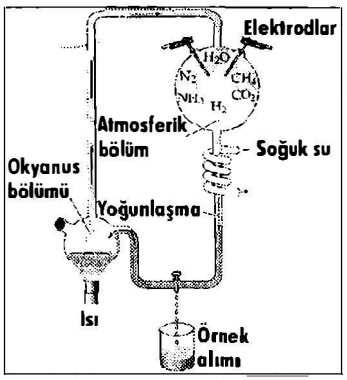
4) Deneyin başında sağlanan steril bir ortam.

Deneyin genel gidişatı ise şu şekildeydi: Öncelikle sıvı haldeki su ısıtılarak su buharı oluşturuldu. Elektrodlardan geçirilen elektrik akımıyla oluşturulan kıvılcımlar enerji kaynağı olarak kullanıldı. Bu şekilde de atmosfer ortamındaki yıldırımların deney tüpünde karşılığı elde edilmeye çalışıldı. Devamında da, oluşturulan yapay atmosfer soğutularak suyun tekrar sıvı hale geçmesi sağlandı. Böylece ilk Dünya ortamındaki yağmurlar deney tüpünde canlandırılmış oldu. Bir hafta boyunca tekrarlayarak devam eden deney sonunda sisteme ilk başta eklenen karbonun yüzde 10-15'inin organik bileşiklerin yapısına geçtiği gözlemlendi. Karbonun yüzde 2'si proteinlerin yapısını oluşturan amino asitlerin yapısına katılırken, şeker, yağ ve nükleik asitlerin bazı yapıtaşları da üretilen organik bileşikler arasındaydı. (Şekil 79)

Diğer deneyler

Miller-Urey deneyi, benzer birçok deneyin yapılmasına yol açtı. 1961'de Juan Oro, su ortamında hidrojen siyanür (HCN) ile amonyağın elektrik akımına tutulması sonucu nükleik asitin yapıtaşlarından adenin bazının oluşumunu gösterdi. Deney sonucunda ek olarak çeşitli amino asitler ve bazı porfirinler de (dört tane pirol halkasının metilen köprüleriyle birleşerek oluşturduğu halkalı moleküller) üretilmişti. Daha sonra yapılan bazı deneylerde de diğer nük-

Şekil 79. Urey-Miller Deneyi'nde eletrodlardan sağlanan kıvılcımlar ilk atmosferdeki yıldırımları temsil ediyor. Soğuk su sayesinde elde edilen örneklerin yoğunlaşarak su ortamına geçmesi sağlanıyor: İlk atmosferdeki bileşiklerin yağmurlarla okyanuslara taşınması gibi. Okyanus bölmesi de ısıtılarak bileşiklerin tekrar atmosferik bölüme gitmesi ve yeni bir döngünün başlaması sağlanıyor.



leik asit bazları inorganik bileşiklerden indirgen atmosfer koşullarında üretildi.

Miller deneyindeki soru işaretleri ve yeni bulgular

1990'lara gelindiğinde bulunan kanıtlar, ilksel Dünya ortamında yoğun olarak karbondioksit (CO_2) ve bir miktar da azot (N_2) bulunduğunu gösterdi. Bu gazlar Miller'in deney balonunun içinde bulunmayan gazlardı. Kaliforniya'da bulunan Scripps Okyanus Bilimleri Enstitüsü'nden Prof. Jeffrey Bada ve grubu (Jeffrey Bada, Miller'ın ilk öğrencilerinden birisi) bu yeni gazları ekleyerek Miller'ın deneyini tekrar etmeye çalıştığında neredeyse hiç amino asit üretmeyi başaramadı. Bu sorun ise şöyle aşıldı: İlk atmosfer ortamında yeterli miktarda demir ve karbonat mineralleri bulunmuş olabilir, ki bu bileşikler ortama eklenerek deney tekrarlandığında, zengin amino asit içeriği elde edildi. Buradaki mineraller nitritlerin etkisini nötralize etmiş olabilir. Sonuç olarak, ortamda karbondioksit ve nitrojenin bulunması, amino asitlerin oluşmasını engelleyecek nedenler olmayabilir. Bada ve grubu, Stanley Miller ve Harold Urey'in bundan 50 yıl önce yaptığı deney örneklerini de tekrar analiz etti. Daha modern teknikler kullanılarak yapılan incelemelerde, deney örneklerinde aslında Miller ve Urey'in 50 yıl önce bulduklarından daha fazla organik molekül üretildiğini ortaya çıkardılar.

Grup, Miller ve Urey'in yaptıkları ancak yayımlamadıkları diğer bir deneyin sonuçlarını da analiz etti. Volkanik düzenek olarak adlandırılabilecek bu deney, bilinen Miller deney düzeneğinden çok az bir farklılık içermekteydi. Elektrik akım içerisinden buhar geçişinin daha hızlı sağlandığı bu düzenekte, volkan çevresindeki ortam oluşturulmaya çalışılmıştı. Bada ve grubu orijinal deneyde aslında 22 amino asitin ve diğer bazı organik moleküllerin üretildiğini ortaya çıkardılar. Gruba göre, buharın daha hızlı geçmesi avantajlı bir durum oluşturmuş olabilir: Yeni oluşan amino asitler hızlı bir şekilde elektrik alanından uzaklaştırılabilir ve böylece oluşan diğer moleküllerle de

reaksiyona girmeyerek yapılarını koruyacaklardır.

Şimdiye kadar Miller ve Urey deneyinin atmosferin ilk koşullarını tam olarak doğru yansıtmadığı yolunda eleştiriler sıkça yapılmaktaydı. Gerçekten de deney tüpündeki ortam ilk atmosfer ortamını tam olarak yansıtmıyor, ancak gezegen üzerinde, bazı ufak bölgelerdeki şartları doğru olarak yansıtıyor olabilir. Yeni oluşturulmuş bir molekül güneş ışığına maruz kaldığında yüksek enerjinin etkisiyle parçalanacaktır. Bu yüzden de reaksiyon su altında ya da başka korunaklı bir yerde olmalıdır.

Bada'ya göre Miller'ın deneyindeki gazlar ilk Dünya ortamında aktif haldeki birçok volkandan dışarı salınmış olabilir ve birçok büyük volkan patlaması sırasında oluşan şimşekler de elektrik kaynağını oluşturabilir.

32 | Kendini çoğaltabilen ilk molekül/sistem hangisidir?

Hücre çok karmaşık bir yapıdadır. Bu yüzden de kendiliğinden birdenbire ortaya çıkmak yerine, belirli basamaklardan geçerek oluşmuş olması daha mantıklıdır. Benzer şekilde hücrenin içindeki birçok molekül de karmaşık yapıdadır. O halde ilk hücrenin ortaya çıkışına kadar geçen süreçte önce en basit moleküller toplanmış, devamında hücre yapısında bulunan daha karmaşık moleküller oluşmuş ve devamında da çevreleri bir zarla çevrilmiş olabilir. Bu aşamada hangisinin daha önce olduğunu söylemek çok kolay değil. Basit bir zar yapısı ile çevrildikten sonra, hücrenin içindeki daha karmaşık moleküller oluşmuş da olabilir.

Organik moleküllerden ilk hücrelere geçiş: Kendini kopyalayabilen moleküller/sistemler

Bir önceki bölümde, özellikle Miller ve Urey'in deneylerini anlatırken, basit organik moleküllerin ilk dünya ortamında nasıl oluşmuş olabileceğinden bahsetmiştik. Şimdi bir sonraki adımdayız. Bu organik moleküllerden basit

hücreler nasıl oluştu? Bu noktada, çok kritik bir adımın gerçekleşmesi gerekiyor: Bu da kendini kopyalayabilen bir molekülün/sistemin gelişmesi ve devamlılığını sürdürebilmesidir. İlk defa kendini kopyalayabilme özelliğini kazanan molekülün/sistemin ne olduğunu kesin olarak bilemesek de bazı hipotezler bu süreci açıklamaya çalışıyor. Bu hipotezlerde iki farklı görüşün hâkim olduğunu söyleyebiliriz. Bir kısım bilim insanı, en yaygın fikir olan, öncelikle nükleik asitlerin ortaya çıktığı fikrini savunurken (önce-genler), bir kısım bilim insanı ise öncelikle biyokimyasal reaksiyonların ve yol-izlerinin (pathways) ortaya çıktığını düşünmekteler (önce-metabolizma). Nükleik asitler ya da metabolik yol-izleri, hangisi ilk gelirse gelsin, kendini sürdürebilmiş ve sahip olduğu bilgiyi sonraki nesillere aktarabilmiş olmalıdır.

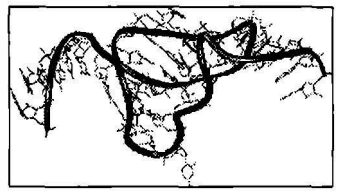
Şimdi bu hipotezler arasında en yaygın olarak kabul gören RNA dünyası hipoteziyle başlayalım.

"Önce genler" modeli: RNA dünyası hipotezi

RNA dünyası hipotezine göre, organik moleküllerden ilk hücrenin oluşmasına geçilirken ilk oluşan karmaşık molekül DNA ya da protein değildi. Kendini kopyalayabilen ve katalitik (enzim gibi çalışıyordu) özelliği olan RNA, diğer moleküllerden önce ortaya çıkmış olmalıydı. RNA'nın iki özelliği onun DNA ve proteinden önce geldiği fikrini kuvvetlendiriyor. Birincisi aynı DNA'da olduğu gibi RNA da bilgi depolayabilir. Eğer RNA bir şekilde kendini kopyalayabilirse, depoladığı bilgiyi de sonraki nesillere aktarabilir. Burada da RNA'nın önemli ikinci özelliği belirleyici oluyor. Enzimlerde olduğu gibi bazı RNA molekülleri katalitik özellik gösterebilir.

Ribozimlerin (RNA enzim) keşfi

Proteinlerin hücre içinde farklı görevleri bulunur. Ancak en temel görevleri hücrenin devamı için gerekli kimyasal reaksiyonları katalizlemektir. Hücrede katalizleme görevi gören proteinlere enzim adı verilir. Son zamanlara kadar, enzimlerin sadece proteinlerden mey-



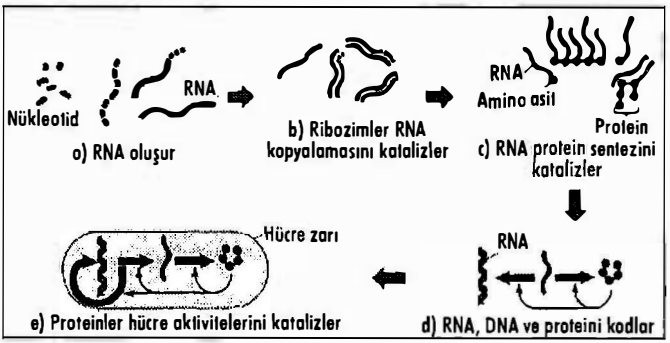
Şekil 80. Katalitik özelliğe sahip ribozim örneği. Bu RNA molekülü karmaşık üç-boyutlu şekillere girerek 8-12 vitaminine bağlanabilir. Kalın çizgi RNA'nın omurgasını; ince çizgi, beşgen ve altıgenler ise bazları ifade eder.

dana geldiği düşünülüyordu; ancak 1980'lerin başlarında Sidney Altman ve Thomas Cech, birbirinden bağımsız olarak yürüttükleri çalışmalarda bazı RNA moleküllerinin de kimyasal reaksiyonları katalizleyebildikleri, yani enzim görevi görebildiklerini ortaya çıkardı. Bu tür RNA'lara ribozim (RNA enzim) adı verilir. (Şekil 80) Bu buluşlarından dolayı Altman ve Cech 1989'da kimya dalında Nobel Ödülü ile ödüllendirilmiştir. Bu önemli buluş bizi canlılığın ilk zamanlarıyla ilgili önemli bir hipoteze getiriyor.

RNA dünyası hipotezi

Enzim görevi gören RNA'ların ortaya çıkışı, 1960'lı yıllarda ortaya atılan bir hipotezi de desteklemiş oldu. Birbirinden bağımsız olarak, Carl Woese, Francis Crick ve Leslie Orgel tarafından öne sürülen bu hipoteze göre, ilk dünya ortamında DNA ya da proteinler ortaya çıkmadan önce RNA vardı ve hem genetik bilginin saklanması hem de enzimatik aktivitelerin gerçekleşmesi görevini yerine getiriyordu. Bu hipoteze "RNA dünyası hipotezi" adı veriliyor. Ribozimlerin keşfinden yıllarca önce ortaya sürülen bu hipotez, bilim dünyasında çok geniş kabul gören bir hipotezdir. RNA'nın DNA'ya göre daha basit bir yapısı olması nedeniyle önce RNA ortaya çıkmış olabilir; ancak daha dayanıklı yapısı sayesinde DNA sonraları baskın hale geçerek, genetik bilginin taşınması rolünü almıştır. RNA'nın enzimatik özelliği vardır, ancak proteinlerle karşılaştırdığımızda düşük bir seviyededir. Bu yüzden de proteinler geliştikçe katalizör görevini RNA'dan büyük oranda devralmıştır.

RNA dünyası hipotezinin en önemli kanıtlarından birisi, hücrelerde bulunan ve "ribozom" adı verilen organellerdir. Ribozomların yapısında RNA ve proteinler



Şekil 81. RNA dünyası hipatezine göre DNA'dan önce RNA vardı; proteinler gibi katalitik özellik taşıyordu ve DNA gibi bilgi depolayabilirdi.

bulunur ve bunlar hücrede proteinlerin sentezlendiği yerdir. Ancak bu sentez sırasında katalitik görevi yapanlar ribozomun yapısındaki proteinler değil RNA'lardır. Bu da RNA'nm ilk dünya ortamında proteinlerden önce katalitik görevi yerine getirmiş olabileceğini gösteriyor. (Şekil 81)

RNA dünyası hipoteziyle ilgili son çalışmalar

RNA'yı oluşturan yapıtaşlarına nükleotid dendiğinden ve her bir nükleotidin de azotlu bir baz (her bir nükleotidi birbirinden ayıran harf denebilir), bir şeker molekülü ve fosfat grubundan oluştuğundan bahsetmiştik. Yıllar boyunca araştırmacılar, şeker ve bazları üretip birbirine bağlayarak ve devamında da fosfat grubu ekleyerek RNA molekülü yapmayı denediler. Ancak bunda başarısız oldular. Bilim insanlarının burada ulaştıkları sonuç şu oldu: RNA, DNA ve proteinden daha önce ortaya çıkmış olabilir; ancak birdenbire ortaya çıkamayacak kadar karmaşık bir yapıda görünüyor. Bu yüzden ilk dünya ortamında RNA molekülü, basitçe şeker, baz ve fosfat gruplarının birleşmesiyle oluşmuş olmayabilir. Araya başka moleküller girmiş ve devamında RNA oluşmuş ve kontrolü ele almış olabilir. Bazı araştırmacılara göre RNA merkezli yaşam, daha önceden yaşamış ve değişik bir genetik materyal kullanan başka organizmalardan evrilmiş olabilir. Bu hipoteze göre PNA (peptit nükleik asit), TNA (treoz nükleik asit) ya da GNA (gliserol nükleik asit) denilen genetik moleküller,

RNA'dan daha önce ortaya çıkmış olabilir. Bu moleküller DNA ve RNA yapısına benzerlik gösterse de, temel yapı olarak farklıdırlar. Bu moleküller ilk oluşma aşamasında RNA'nın karşılaşabileceği zorluklarla karşılaşmadan daha kolay bir şekilde meydana gelmiş ve daha sonra ise yerlerini RNA'ya bırakmış olabilirler.

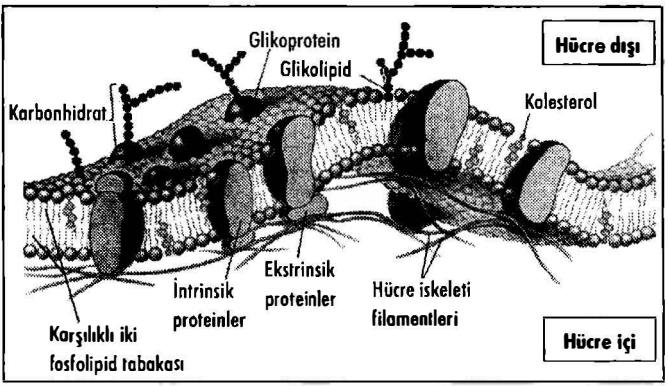
"Önce metabolizma" modeli: Demir-kükürt dünyası hipotezi

Bu hipotezin temel fikrine göreyse, ilk olarak gen değil, ilkel metabolizmalar ortaya çıktı. Bu metabolizmalar daha sonra gelecek RNA için uygun ortam oluşturdu. Bu fikrin ilk örnekleri Alexander Oparin'in 1924'de öne sürdüğü kendi kendini çoğaltabilen vezikül (kesecik) fikriyle ortaya çıktı. 1980'lerde Alman kimyacı Günter Wachtershauser'in öne sürdüğü demir-kükürt dünyası hipotezi ise bu fikrin en son örneklerindendir. Bu hipoteze göre, ilk yaşam demir-kükürt mineralleri üzerinde oluşmuş olabilir. Öncelikle kendi enerjisini üretebilen kapalı metabolik döngüler oluşmuş ve daha sonra bu döngü içerisinde RNA gibi karmaşık moleküllere geçilmiştir. Bu reaksiyonlar da büyük ihtimalle okyanus diplerinde bulunan hidrotermal bacaların çevrelerinde gerçekleşmişti.

33 | İlk hücre zarı nasıl oluştu?

Bilim insanları ilk hücrenin nasıl ortaya çıktığını kesin olarak bilemiyor. Ancak özellikle son zamanlarda yapılan araştırmalar, ilk Dünya ortamında genetik materyalin çevresinde basit bir zar yapısının oluşmasının çok da zor olmadığını ortaya koydu.

Kendini kopyalayabilen ilk molekül ne olursa olsun, RNA enzimi ya da diğer öncü moleküller, basit de olsa bir zarla çevrilerek kendini koruma altına almış görünü-



Şekil 82. Tipik bir hücre zarında karşılıklı iki fosfolipit katmanı bulunur. Bu yapının içinde gömülü olarak ya da altında zar proteinleri ve karbohidratlar, glikoproteinler ve glikolipitler bulunur.

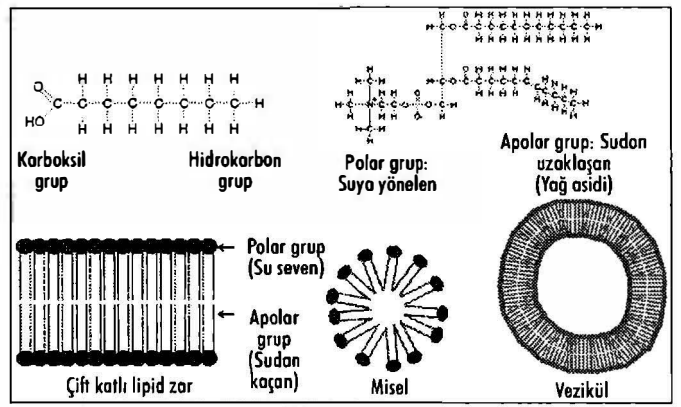
yor. Bir zarla çevrili olmak iki temel avantaj sağlayacaktır: Genetik materyalin ürünleri yakın bir çevrede tutulacak ve zar yapısı sayesinde dış ortamdan farklı bir iç ortam sağlanabilecektir.

Hücre zarı: Dış ortam ile iç ortam arasına bir sınır çekmek

Zarlar hücrenin içeriğini fiziksel olarak bir arada tutar ve dış ortamdan ayırır. Diğer bir deyişle, hücrenin ürünleri yakın bir ortamda tutulmuş olur. Zar büyük moleküllerin kontrolsüz olarak giriş çıkışını durdurur. Zar içerisine yerleşmiş bazı proteinler, birer kapı görevlisi gibi çalışır ve molekülleri hücre içine ya da dışına pompalarlar. Bazı proteinler ise hücre zarının yapımında ve tamirinde görevlidir. Görüldüğü gibi modern hücrelerde bulunan hücre zarları çok farklı moleküller kullanarak, gelişmiş fonksiyonlar meydana getirebiliyor.

Modern hücre zarı yapısına yakından bakıldığında, temel olarak çift katlı lipit katmanından oluştuğunu görüyoruz. Yağsı yapılarıyla fosfolipitler ve kolestrol bu çift katlı katmanın temelini oluşturur. Zar arasında ise proteinler, glikoproteinler, lipoproteinler, glikolipidler bulunur. (Şekil 82)

Çift katlı yapıyı oluşturan fosfolipidler ise, yapılarında



Şekil 83. Üstte yağ asidi ve fosfolipit örnekleri. Altta ise fosfolipitlerin bir araya gelmesiyle oluşan çift katlı zar, misel ve vezikül yapıları. Basit bir yağ hücresi ilk hücre zarlarının temel yapıtaşı olabilir. Fosfolipitler de modern hücre zarlarının yapısını oluşturur. Vezikül ve misel de yağ asidi ya da fosfolipitler tarafından oluşturulabilir.

bir ya da iki yağ asidi, fosfat grubu ve bir alkol grubu içerir ve zarın oluşması açısından çok belirleyici bir özelliğe sahiptir. Bir uçları polar [8] özellik gösterirken, diğer uçları ise apolar [8] özellik gösterir. Bu moleküller sulu bir ortama bırakıldığında, apolar kısımlar sudan uzaklaşarak bir araya gelmeye çalışır. Örneğin suya yağ damlatıldığında yağ damlacıkları bir araya gelerek yüzeye doğru yönelir. (Şekil 83)

İlk basit hücre zarları

İlk basit zarlar, büyük ihtimalle yağ asitleri gibi basit moleküllerden oluşmuş olmalıdır. 1970'lerin sonlarında yapılan araştırmalar, yağ asitleri bir araya getirildiğinde, kendiliğinden zar yapısı oluşturduklarını göstermişti. Ancak bu zar yapılarıyla ilgili genel görüş, basit yapıda olsalar da nükleotid ve diğer besin maddelerinin hücre içine girişini büyük ölçüde engelledikleri yönündeydi. Bu fikir yüzünden, ilk hücreler gelişirken öncelikle metabolizmanın geliştiği ve zarla çevrelendiği, daha sonra hücre içinde daha büyük ve karmaşık

8) Polar: Hidrofilik, suya yönelen. Apolar: Hidrofobik, sudan kaçan.

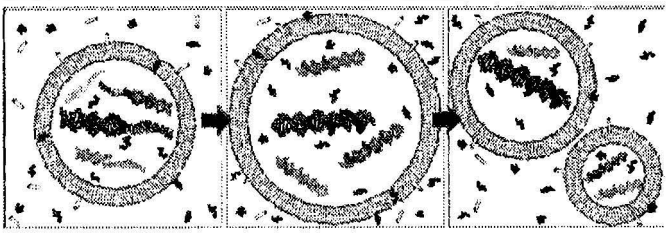
moleküllerin oluştuğu öne sürülmüştü. Ancak Harvard Üniversitesi'nden Jack Szostak ve ekibinin yaptığı çalışmalar, basit yapıdaki nükleotidlerin yine basit yapıdaki zarlardan kolayca geçebildiğini gösteriyor. (Jack Szostak 2009 yılında Fizyoloji ve Tıp alanında Nobel Ödülü kazanmıştır.)

Grup, basit bir hücrenin çevreden sağlanan kaynaklarla genetik bilgisini kopyalayıp kopyalayamadığını görmek için bir deney tasarladı. İçinde tek zincir halinde bulunan kısa bir DNA parçası içeren ve hücre zarı yağ asitlerinden oluşan bir hücre oluşturdular. Bu basit hücre içindeki DNA parçası, genetik bilginin sonraki nesile aktarılacağı bir kalıp görevini gördü. Devamında ise bu hücreler kimyasal olarak reaktif olan nükleotid içeren bir ortama alındı. Hücre dışındaki nükleotidlerin kendiliğinden hücre içine taşındığı ve tek zincir halindeki DNA üzerine bağlanarak DNA'nın ikinci zincirini oluşturdukları gözlendi. (Şekil 84) Bu sonuçlar da ilk hücrenin RNA gibi tek zincirli basit bir molekül içerdiğini ve proteinler olmadan da kendini çoğaltabildiği fikrini destekliyor.

İlk hücrelerin bölünmesi

Yukarıda bahsettiğimiz basit yapıdaki bu ilk hücrelerin soyunu devam ettirebilmesi için öncelikle büyümesi ve genetik malzemesini kopyalayarak iki katma çıkarması gerekliydi. Yapılan deneyler basit keseciklerin (yağ kesesi-vezikül) temel olarak iki farklı yolla büyüdüğünü gösteriyor.

Şekil 84. Yağ asitlerinden oluşan hücre zarı tek zincirli bir DNA içeriyor. Ortamda bulunan DNA yapıtaşları (nükleotid) kendiliğinden hücre içine giriyor ve DNA üzerine bağlanarak DNA'yı çoğaltıyor.



1990'larda İsveç Federal Teknoloji Enstitüsü'nden Pier Luigi Luisi ve ekibi, yaptıkları çalışmada, içinde kesecikler bulunan suya dışardan yağ asitleri eklediklerinde, keseciklerin dışardan gelen bu yağ asitlerini yapılarına katarak büyüdüğünü gösterdiler. Bu basit hücre içine dışardan su ve çözünmüş moleküller girmeye devam ettikçe, keseciğin hacmi de büyümeye devam ediyordu.

İkinci yöntem ise, Jack Szostak'ın çalışma grubunun ortaya çıkardığı, ilk hücreler (protocell) arasındaki rekabete dayanan bir yol. İçinde RNA ya da çözünmüş moleküller bulunan hücre yapısı, dışarıdan içeriye giren suyla şişmeye başlayacak ve bu da hücre zarına baskı yapacaktır. Ozmotik basınç, hücre içindeki ve dışındaki su yoğunluğunu dengelemeye çalışacaktır. Bu basıncı azaltmak için hücre zarının genişlemesi gerekecektir. Hücre zarı yakın çevrede bulunan diğer hücre zarlarından koparabildiği yağ asitlerini kendi zar yapısına katarak içerdeki basıncı azaltma yoluna gidecektir. Zar yapısını genişletemeyen ya da komşu hücrelere zardan parça kaybeden hücreler de küçülecek ya da yok olacaktır.

Görüldüğü gibi, uygun yapıtaşları sağlandığında ilk hücrelerin oluşması çok zor görünmüyor. Yağ asitlerinden oluşan bir zar yapısı, polimer yapısına gelebilecek RNA gibi bir molekülün çevresini sararak ilk hücre yapısını oluşturmuş olabilir. Hücre içine dışardan gelen su ve çözünmüş moleküller hücrenin büyümesini ve uygun zamanda bölünmesini sağlamıştır. Bu aşamalarda komşu hücreler birbirleriyle rekabet içinde olacaklar, başarılı olup sayıca çoğalanlar soylarını devam ettirebilecektir.

Burada denenen ve ilk ortamda olduğu düşünülen genetik materyal RNA'dır ve normalde tekli zincir yapısındadır. Hücre içine dışardan alınan nükleotidler RNA üzerinde bağlanarak RNA'yı çift zincir haline getirecektir. Ancak hücrenin devam edebilmesi için bu çift zincirden oluşan RNA'nın tekrar tekli zincir hale dönerek

kendini kopyalayabilmesi gerekir. Birbirine bağlı iki RNA zincirinin ayrılması da kendiliğinden gerçekleşmeyen, enerji gerektiren bir işlemdir. İlkel dünya ortamında bu durum için volkanlardan sağlanan yüksek ısı enerjisi kullanılmış olabilir. Sıcak bölgelere yakın bir bölgede bulunan soğuk bir ortam sayesinde de tek zincir halinde ayrılmış olan RNA molekülü kalıp olarak görev yapabilir. Böylece kendini kopyalamış olacaktır. Yüksek sıcaklık farklarının olduğu yerler bu iş için elverişli görünüyor. Okyanus diplerindeki hidrotermal bacaların sıcağı ve çevredeki derin okyanus suyu ya da buzlu bölgelerdeki volkanik bölgeler gibi. Szostak'ın grubunun laboratuvar ortamında oluşturduğu kesecikler (zarla çevrili RNA parçaları) 100 °C sıcaklığa kadar bozulmadan kalıyor. Yüksek sıcaklıklarda bu ilk hücreler nükleotidleri dışardan daha kolay alırken, daha düşük sıcaklıklarda ise yeni RNA moleküllerini daha hızlı üretiyor.

Szostak'a göre ilk Dünya ortamında, düşük ve yüksek sıcaklıkların bir döngü olarak bulunduğu yerlerde, ilkel bir hücre oluşturmak zor değildi. Zarlar yüksek sıcaklığa dayanabiliyordu. Yine yüksek sıcaklıkta çift zincirli RNA tek zincir halinde açılabilir, daha soğuk bir ortamda ise bu tek zincirli RNA'lara nükleotidler bağlanarak yeni çift zincirler oluşturabilirdi. Bu döngü sürdüğü sürece hücreler büyüyecek ve bölünecekti.

Çevre tarafından başlatılan bu kopyalama işlemi hücrede devam ettirildiğinde, evrim de devreye girecek ve her bir kopyalama sırasında meydana gelen hatalar, yani mutasyonlar, yeni nesillerin farklılaşmasına neden olacaktır. Belirli bir noktada ribozimler çevresel etki olmadan kopyalama işini yapabiliyor duruma gelmiş olmalı. Zaman ilerledikçe zar yapısı gelişmiş ve proteinler RNA enzimlerinin yerini almıştır. Anlaşılan o ki, belirli bir zaman sonunda da RNA dünyası yerini DNA dünyasına bırakmıştır.

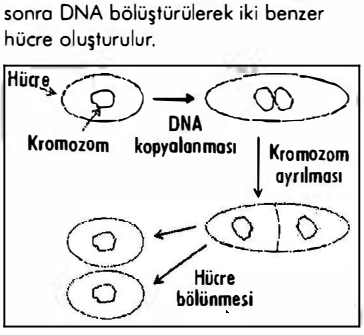
34 | Eşeyli üreme nasıl ortaya çıktı? Avantajları nelerdir?

Üreme bir canlının çoğalarak soyunu devam ettirmesidir. Belirli bir büyüme ve gelişme evresinden sonra, organizmalar yeni bireyler oluşturarak genetik bilgilerini aktarır.

Önceki konularda ilk hücrenin oluşumundan bahsetmiştik. O zamandan eşeyli üremenin ortaya çıktığı ana kadar geçen sürede, dünya üzerinde var olan organizmaların tekhücreli olduğunu ve eşeysiz olarak ürediklerini söyleyebiliriz. Eşeyli üremenin ortaya çıkışı, canlı evriminde meydana gelen devrimsel bir adımdır. Bu önemli basamağın anlaşılması için öncelikle eşeyli ve eşeysiz üremenin ne demek olduğundan bahsetmek gerekiyor.

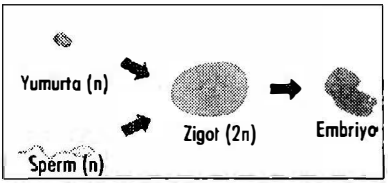
Eşeysiz üreme: Şekil 85'de olduğu gibi, eşeysiz üreme, basit bir şekilde tek bir hücrenin bölünerek birbirinin aynı iki hücreyi oluşturmasıdır. Hücre bölünme aşamasına gelmeden önce büyümesini tamamlar, genomunu kopyalayarak iki katma çıkarır. Bölünme öncesinde yeni hücre için her şey hazırdır. Eşeysiz üreme mayoz, kromozom sayısında yarıya inme (ploidy) ya da döllenme içermez. Tek bir hücrenin bölünmesi sonucu meydana gelir. Arkea, bakteri ve protistalar(ökaryot) gibi tekhücreli canlıların temel bölünme metodudur. Birçok bitki ve mantar da eşeysiz olarak üreyebilir. (Şekil 85)

Şekil 85. Eşeysiz üremede hücre önce boyut olarak artar ve DNA'sını kopyalayarak iki katına çıkarır. Daha sonra DNA bölüştürülerek iki benzer hücre oluşturulur.



Eşeyli üreme: Eşeyli üreme ise, aynı türden iki farklı bireyden gelen eşey hücrelerinin döllenme sonucu bir araya gelmesiyle olan üremedir. Dişi eşey hücresi yumurta, erkek eşey hücresi ise sperm ya da

polendir. (Şekil 86) Hayvanlarda, bitkilerde, mantarlarda ve tekhücreli ökaryotlar olan protozoalarda görülür. Eşeyli üremede aynı türden iki bireyin (erkek ve dişi) genetik bilgisi döllenme sonucu yavru genomunda birleşir. Bu genetik çeşitliliği arttıracaktır. Meydana gelen temel iki işlem kromozom sayısının yarıya düşmesini sağlayan mayoz bölünme ve iki eşey hücresinin birleşmesiyle kromozom sayısının tekrar normale dönmesini sağlayan döllenmedir. Mayoz bölünme sırasında homolog kromozom [9] çiftleri yan yana gelerek parça değiştirirler (homolog rekombinasyon).



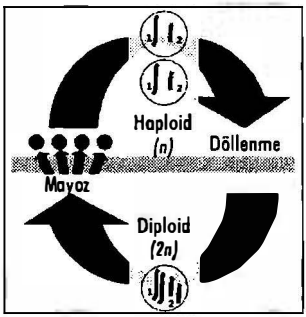
Şekil 86. Sperm ve yumurta bir araya gelerek zigotu oluşturur.

Bilinen ilk eşeyli çoğalan organizma fosili bir ökaryota aittir. Fosil 1-1,2 milyar yıl öncesinden günümüze kalsa da, eşeyli üremenin ortaya çıkışı 2 milyar yıl kadar önceye gidiyor olabilir. Bu zamandan daha öncesinde dünya üzerindeki tüm canlılar tekhücreliydi ve eşeyli üreme çekirdekli hücrelerin, yani ökaryotların ortaya çıkmasından sonra ortaya çıktı.

Eşeyli üreme ökaryotların ortak atasında ortaya çıkmıştır, ancak bazı ökaryot türlerinde bu özellik daha sonraları ortadan kalkmıştır. Bu yüzden bazı ökaryotlar eşeysiz üreyebilmektedir. Yeni tekniklerle yapılan çalışmalar, eşeysiz olarak üreyen organizmaların genomunda eşeyli üremeyle ilgili genlerin de varlığını gösteriyor. Bu da eşeysiz yönünde değişimin daha sonradan meydana gelmiş olabileceğine dair bir işaret. Eşeyli ve eşeysiz üremenin daha iyi anlaşılması için bazı terimlerden bahsetmek gerek.

Diploid ve haploid organizma: Tüm omurgalılarda olduğu gibi, insanların hücrelerinin tamamına yakını dip-

9) **Homolog kromozom:** Biri anneden biri babadan gelen, şekil ve büyüklük bakımından aynı olan, aynı pozisyonlarda aynı genleri barındıran kromozom çiftidir.



Şekil 87 Eşeyli üremede diploid ve haploid kromozom sayısı arasındaki döngü. Mayoz ile yarıya inen kromozom sayısı, döllenmeyle iki katına çıkar ve sonuç olarak da türde kromozom sayısı sabit kalmış olur.

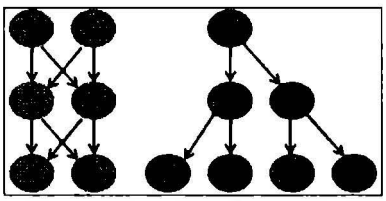
loid hücredir. Bunun anlamı hücrede birbirinin benzeri iki dizi kromozom bulunmasıdır. Birbirine benzer kromozomlara "homolog kromozom" adı verilir ve diploid sayısı 2n olarak ifade edilir. Örneğin, insanda 2n=46'dır. 46 kromozom vardır, ancak 23 çift birbirinin benzeri kromozom vardır da diyebiliriz. X ve Y kromozomları da son çifttir. Ancak vücutta haploid (n) hücreler de vardır. Eşey hücreleri olan sperm ve yumurta hücrelerinde 23 adet kromozom bulunur. Bunların 22'si homolog kromozom ve 1 tanesi de X ya da Y kromozomudur. Mayoz adı verilen bölünme ile 2n=46 kromozomdan n=23 kromozoma bölünür. Mayoz bölünme sırasında homolog kromozomlardan hangisinin alınacağı şansa bağlıdır. Devamında da bir erkek bir dişiyle çiftleştiğinde, eşey hücreleri bir araya gelerek birleşir ve oluşan zigotta kromozom sayısı tekrar 46'ya çıkar. Böylece türdeki kromozom sayısı sabit kalmış olur. (Şekil 87)

Neden eşeysiz üremeden eşeyli üremeye geçilmiştir?

Bugün bilim insanları eşeyli üremenin nasıl gerçekleştiğini ayrıntılarıyla biliyor, ancak kesin olarak bilinmeyen nokta, eşeyli üremenin ilk olarak neden ortaya çıktığıdır. Birçok hipotez eşeyli üremenin ilk ortaya çıkışını açıklamaya çalışıyor, ancak en doğru yaklaşım hipotezleri bir arada değerlendirmek olacaktır.

Soru şudur: Bir organizma kendi başına bölünüp çoğalmak varken neden üremek için bir eş arama gereği duyar ve eşeyli üremenin bütün o zorlu gereklerini yerine getirmeye çalışır? Bilim insanları günümüzden 40 yıl kadar

önce bu soruya yoğun olarak cevap aramaya başladı. 1971'de İngiliz evrim biyoloğu John Maynard Smith, erkek yavruların bir anne için ne kadar maliyetli olduğunu göstererek, araştırmaların önünü de açmış oldu. Eşeysiz üreyen bir dişi yine dişi yavrular oluşturacaktır. Bir hücreden iki hücre oluşur ve bu iki hücre de bölünme kapasitesine sahiptir. Ancak eşeyli üreyen bir dişinin yavrularının dişi olma olasılığı yüzde 50'dir. Böylece yavru doğurabilme özelliğine sahip hücre sayısı yarıya düşmüş olur. Bu yüzden eşeysiz üreyen bir organizma iki kat daha hızlı çoğalacaktır. Bu eşeyli üremenin eşeysiz üremeye oranla "iki kat" maliyetli olduğu anlamına gelir. (Şekil 88)



Şekil 88. Eşeysiz üremeye göre seksin (eşeyli üremenin) iki kat maliyetli olduğu görülüyor. Eğer her bir birey aynı sayıda (2) yavru veriyor olsaydı; a) eşeyli üreyen popülasyonun birey sayısı aynı kalırken, b) eşeysiz üreyen popülasyonun birey sayısı her jenerasyonda iki katına çıkacaktır. (E: Erkek, D: Dişi)

Diğer bir maliyet ise şudur: Eşeyli üremede dişi ve erkekler eşleşmek için birbirini arayıp bulmak zorundadır. Ayrıca eşeyli üreme, çoğunlukla bireylerin devamlılığını riske atan özellikleri tercih eder (cinsel seçilim).

Peki bu maliyete karşın neden eşeyli üreme ortaya çıkmıştır ve neden hâlâ devam etmektedir?

Birçok bilim insanı mayoz bölünme ve eşeyli üremenin aynı zamanda ortaya çıktığını söylemektedir. Ancak Cambridge Üniversitesi'nden Adam Wilkins ve Avustralya Bilimler Akademisi'nden Robin Holliday'e göre tarihsel gelişim şöyle gerçekleşmiştir: Öncelikle haploid (n) organizmalar vardı. Zamanla bu hücrelerin DNA'ları dışarıdan katılan mobil elementler yoluyla (virüs DNA'ları) çok büyüdü. Hücre çoğalırken tüm DNA'yı kopyalıyordu, ki öyle bir noktada hücre artık kopyaladığı DNA'sını bölüşememiş olabilir. Benzer şekilde iki haploid hücrenin birleşmesiyle de DNA miktarı iki katma çıkmış olabilir. O halde ilk aşama büyük olasılıkla hücre içindeki DNA miktarındaki

artıştır. Bunu mayoz bölünmenin gelişmesi takip etmiş olabilir. Normalde mayoz sırasında homolog kromozomlar arasında parça değişimi yaşanır. Ancak bu değişim farklı kromozomlar arasında yaşanacak olursa, organizmanın ölümüyle sonuçlanabilir. Bu yüzden mayoz sırasında benzer kromozomların, yani homologların bir araya gelmiş olması ve parça değiştirmesi daha avantajlı olacaktır. Bu yüzden denebilir ki, mayoz yanlış eşleşen kromozomlar dolayısıyla oluşacak zararı engellemek için gelişmiştir.

Mayozun gelişimiyle hücredeki kromozom sayısı yarıya indirilebilmiş oldu. Mayozda yer alan homolog rekombinasyon da hücrelerin genetik materyalini etkili ve güvenli bir yolla çoğaltmalarını sağladı. Rekombinasyon sayesinde genetik materyalde oluşabilecek hatalı kısımlar düzeltilebilir. Haploid bir organizmada ise, genetik materyalde meydana gelecek bir hata büyük olasılıkla kalıcı olacaktır.

Çokhücreli organizmalarda eşeyli üremenin görülmemesi nadirdir. Değişken olmayan ortamlarda, hücre sayısında hızlı bir artış gerektiğinde, eşeysiz üreme gerekli olmuş olabilir; ancak değişken bir ortama uyum sağlamaya yarayacak genetik değişiklikler eşeyli üremeyle elde edilebilir.

Tel Aviv Üniversitesi'nden Lilach Adony ve British Columbia Universitesi'nden Sarah Otto, matematiksel modellemelerden yararlanarak, eşeysiz üremeden eşeyli üremeye nasıl geçilmiş olduğunu araştırıyorlar. Gruba göre, eşeysiz üreyen organizmalarda bulunan bazı genler sayesinde organizma belirli koşullarda (baskı koşullarında) eşeyli üremeye geçiyor. Eşeysiz üreme bir seçenek ya da seçmeli bir durum. Ortam şartları normale döndüğünde bu genler kapanıyor ve organizma tekrar eşeysiz üremeye geçiyor. Bu strateji günümüzde bazı mayalar ve bitkiler tarafından uygulanmaktadır.

Gerektiğinde eşeyli üremeye geçiş olmuştur diyoruz, peki bir organizma tümüyle eşeyli üremeye nasıl geçmiştir?

Bunun ilk nedeni seksüel seçilim olabilir. Yani bir organizma eşleşmek için diğer organizmalar arasından seçim yapar. Seksüel çekiciliğe sahip bir organizma, eşeyli

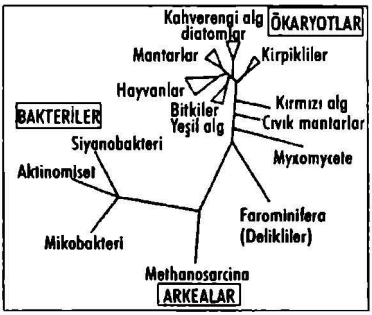
üreme yoluyla, eşeysiz üreyerek meydana getireceğinden çok daha fazla yavru oluşturabilir. Organizmanın eş bulabilmesini arttıran mutasyonlar, sonuçta seksüel olarak seçilme şansını arttıracaktır. Daha güzel kokan, daha renkli tüyleri olan ya da daha etkileyici sesi olan birey diğerlerine göre daha öncelikli seçilecektir.

Eşeyli üremeye geçişi tek başına seksüel seçilimle açıklamak yeterli değildir. Eşeyli üreme yoluyla elde edilecek avantajlı farklı durumlar vardır. Öncelikle farklı organizmalardaki yararlı mutasyonlar seçilerek bir araya getirilir. Bu ise organizmanın devamı açısından avantajlı bir durumdur. Eşeysiz üreyen bir organizma ise varolan mutasyonları büyük oranda koruyacaktır. Dışarıdan faydalı mutasyon alma şansı yoktur. Benzer şekilde zararlı mutasyonlar da eşeyli üreme yoluyla elenebilir. Eşeysiz üreyen bir hücrede ise zararlı mutasyonlar birikecektir. Son olarak ise, bir ortamda baskın hale gelmiş bir organizma kaçınılmaz olarak parazit saldırısına uğrayacaktır. Eşeyli üreme yoluyla bu saldırıya karşı koymak çok daha kolayken, eşeysiz üreme yapan organizma büyük olasılıkla yeterli karşılığı veremeyecektir. Buna "kızıl kraliçe (red queen) hipotezi" adı verilir.

Seks eşeysiz üremeye göre iki kat maliyetli olmasına ve toplam yavru sayısını azaltmasına karşın, yeni nesillerin çevreye olan uyumunu arttırarak evrimi hızlandırmıştır. Bu da temelde genetik çeşitliliğin artmasıyla sağlanır. Tüm bu farklı avantajları bir arada düşünmek, eşeysiz üremeden eşeyliye neden geçilmiş olabileceğini açıklamakta faydalı olacaktır.

35 | Çokhücrelilik nasıl ortaya çıkmıştır?

Bilimsel kanıtlar dünya üzerindeki ilk organizmaların tekhücreli olduğunu gösteriyor. Çokhücreli organizmaların ortaya çıkışı çok daha sonraları olmuştur. Genel



Şekil 89. Çokhücreliliğin ortaya çıktığı orgonizmalor.

anlamda çokhücreli organizma dediğimizde, birden çok hücresi olan, ancak ortak bir genom yapısıyla yönetilen bir organizmadan bahsediyoruz. Örneğin, insan vücudunda trilyonlarca hücre bulunur, ancak bu hücreler ortak bir genom yapısına sahiptir.

Tekhücreli organizmalardan çokhücreli organizmalara nasıl geçildiği konusu bilim insanları arasında uzun zamandır tartışılan bir konudur. Araştırmalara göre çokhücrelilik dünya üzerinde birden çok defa ortaya çıkmıştır. Burada anlatılmak istenen şudur: Tekhücreli organizmalardan çokhücreli bir canlı oluşup daha sonra gelen tüm karmaşık organizmalar da bu canlıdan türememiştir. Bunun yerine bitkiler, hayvanlar ya da mantarlar (fungus) için çokhücrelilik birbirinden ayrı gelişmiştir. Farklı tekhücreli organizmalardan farklı zamanlarda çokhücreliliğe geçişler meydana gelmiştir. Bugün bile çokhücreli yaşama geçiş yapan tekhücreli organizmalar bulunabilir. Evrim bilimci John Tyler Bonner çokhücrelilik görünen organizmaları gösterirken bir soyağacından faydalanıyor. Bu şekilde tekhücrelilerden ayrı olarak çokhücrelilik görünen organizmalar ve birbirleri arasındaki akrabalık ilişkileri de ayırt edilebilir. (Şekil 89)

Çokhücreliliğin ortaya çıkışıyla ilgili hipotezler

Genel kabul gören hipotezlere göre çokhücrelilik, aynı ya da farklı türden hücreler arasında oluşan bir tür simbiyotik (karşılıklı faydaya dayanan ortaklık) ilişki sonucu ortaya çıkmıştır. Bu hücreler belirli bir zaman sonunda, tek başlarına yaşamlarını devam ettiremez hale gelmiştir.

Hipotezlerden ilki, "simbiyotik teori" adını taşıyor. Bu teoriye göre, tekhücreli farklı türden canlıların bir araya gelerek yaşamaya başladığı ve her bir hücrenin de farklı bir rol üstlendiği gruplar çokhücreliliğe geçişin temelini oluşturur. Zaman içinde bu hücrelerin birbirine olan bağımlılıkları artmış ve tek başlarına yaşayamaz hale gelmişlerdir.

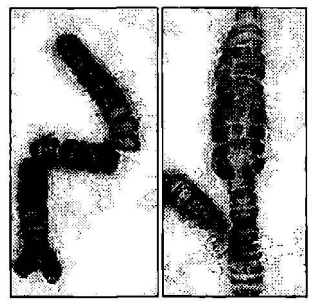
Diğer bir teori olan "koloni teorisine" göre, aynı türden tekhücreli organizmaların simbiyosis benzeri bir ilişki içinde yaşaması sonucu, çokhücreli organizmalar ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak hücrelerin genomlarının birleşmesiyle, tek bir organizma haline gelmişlerdir. Bu genom birleşmesinin nasıl olduğu henüz açıklanabilmiş değildir.

Üçüncü teori ise "hücreleşme-sinsitial" (cellularisation-syncytial) teorisidir. Bu teoriye göre, tekhücreli bir canlı iç yapısında geliştirdiği zar yapısıyla çokhücreli hale gelmiştir. Basitçe söylersek, tekhücreli canlı kendi içerisinde odalar oluşturmuştur. Her bir bölünme için hücre çekirdeğinin de bir kopyası oluşturulmuştur.

Genel olarak bilim insanları arasında, koloni oluşturmuş ve simbiyosis benzeri bir ilişki içinde yaşayan organizmaların çokhücreli organizmaları oluşturduğu fikri daha çok kabul görmektedir.

Çokhücrelilik ne zaman ortaya çıktı?

Çokhücreliliğin ilk defa ne zaman ve hangi organizmada başladığını kesin olarak söylemek çok kolay değil. Siyanobakterilerde çokhücreliliğe geçişin 3,5 milyar yıl kadar önceye gittiği düşünülüyorsa da, hayvanlarda çokhücreliliğe geçiş çok daha sonraları olmuştur. 1,7 milyar yıl öncesinden kalma *Bangiomorpha pubescens* olarak adlandırılan bir tür kırmızı alg fosili, belirli bir şekilde farklılaşmış hücrelere sahip eşeyli üreyen en eski organizma fosilidir. (Şekil 90) 1,4 milyar yıllık mantar fosilleri ve 1,5 milyar ve 900 milyon yıllık, *Horodiska* adı verilen ve yüksek ihtimalle hayvanlar âlemine dahil edilebilecek organizma fosilleri elde edilmiştir.



Şekil 90. 1,2 milyar yıllık *Bangiomorpha pubescens* fosilleri. Soldaki örneğin en alttaki hücreleri katı bir yüzeye yapışabilmek için özelleşmiş. Sağdaki örnekte de, üstteki hücreler farklı disk yapıları oluşturmuş ve özelleşmişler.

Çokhücreliliğe geçişin getirdiği avantajlar nelerdir?

Çokhücreliliğin ortaya çıkması sonucu tekhücreli organizmalara karşı bazı avantajlı durumlar ortaya çıkmıştır. Hücreler birlikte hareket ederek avcılara karşı daha dayanıklı hale gelmiştir, bulundukları ortamda katı bir yüzeye daha iyi tutunabilmiş ve akıntıya karşı dayanıklı olmuşlardır, su yüzeyine daha yakına gelerek güneş ışığından yararlanabilmişlerdir, oluşturdukları iç ortam sayesinde dış ortama karşı dayanıklı hale gelmişlerdir. Çokhücreli organizmalarda farklı hücrelerin farklı görevler için özelleşmesi, organizmanın bütünü açısından faydalıdır. Böylece kimyasal reaksiyonlar belirli bir düzen içinde ve daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilecektir.

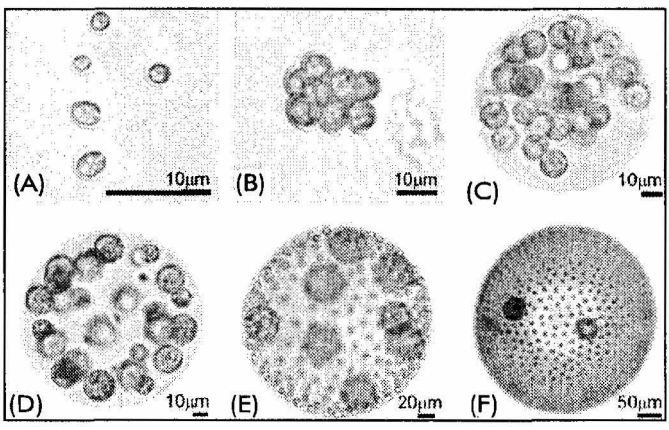
Tekhücrelilikten çokhücreliliğe geçiş konusunda Richard Dawkins şunları öne sürmektedir: Genleri bir nesilden sonrakine en etkili şekilde aktarmanın yolu, eşey hücrelerinin (bir sonraki nesile genetik bilgiyi aktaracak yumurta ya da sperm gibi hücreler) güvende tutulabileceği karmaşık bir vücut yapısı oluşturmaktır. Bu yüzden de çokhücreli bir yapı oluşturmak organizma için yararlı olacaktır. John Tyler Bonner da benzer görüşlere sahiptir: Çokhücreliliğe geçişte kilit noktanın, "vücut boyutunun artması" olduğunu söylemektedir. Bu şekilde organizmanın genlerini dış ortamın etkilerinden korumak daha kolay olacaktır. Aynı şekilde çokhücrelilik, farklı hücrelerin farklı görevler için özelleşmesine de olanak verecektir. Bonner farklı olarak ise, ilk başta hücre boyutunda meydana gelen büyümenin nedeninin bölünmeyi engelleyen bir mutasyon olabileceğini söylüyor. Hücre boyutunun büyümesinin getirdiği avantajların ise daha sonra geldiğini düşünüyor.

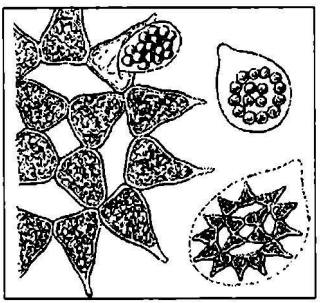
İlk çokhücreli organizmalara örnekler

Bu kısımda vereciğimiz bazı örnekler çokhücreliliğe nasıl geçildiği üzerine fikir verebilir. Volvocine algleri (su yosunları) fotosentez yapan kamçılı organizmalardır ve farklı organizasyon yapılarıyla tekhücreli ve çokhücreli türler oluştururlar. Tekhücreli (i.e. *Chlamydomonas*), hücre farklılaşması geçirmemiş çokhücreli (*Gonium ve Eudorina*; 8-32 hücre), hücre döngüsü (G-S farklılaşması) tamamlanmamış çokhücreli (*Pleodorina*; 64-128 hücre) ya da hücre döngüsü tamamlanmış çokhücreli örnekleri (*Volvox*; 500-50.000 hücre) bulunur. *Volvox*'ta bölünme sonucu oluşan hücreler jelimsi bir yapıyla bir arada tutularak koloni oluşturulur. Hücre sayısı 50.000'e çıkabilir. (Şekil 91)

Başka bir örnek de *Pediastrum*; hücre bölünmesi sonucu oluşan hücreler ana hücrenin yakınında bir vezikülkesecik içerisinde kalır. Gruptan ayrılıp yüzebilen hücreler bir süre sonra tek başlarına yüzebilme özelliğini kaybedip ana grupla tamamen birleşir. (Şekil 92)

Şekil 91. Volvocine alg örnekleri hücre sayısında, karmaşıklıkta, hücre dışı sıvı miktarında ve farklı görevlendirilmiş hücre tiplerinde çok çeşitlilik gösterir. A) *Chlamydomonas reinhardtii*, B) *Gonium pectorale*, C) *Eudorina elegans*, D) *Pleodorina californica*, E) *Volvox carteri*, F) *Volvox aureus*. D, E ve F'de iki farklı hücre bulunur. Küçük hücreler kısır somatik (vücut) hücreleri, büyük hücreler ise üreme hücreleridir.





Şekil 92. *Pediastrum*'ta hücre bölünmesi sonucu oluşan hücreler ana hücre tarafından bir kesecikle sarılır.

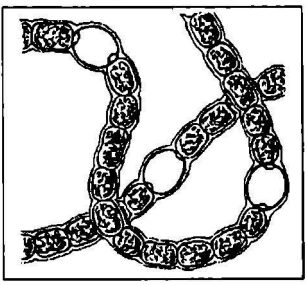
Yukarıdaki örneklerde olduğu gibi, yeşil algler çokhücreli yaşayarak ışığı daha iyi yakalamayı hedeflerler. Bu yüzden çok farklı şekiller oluşturabilirler.

Siyanobakteriler de çoğunlukla çokhücrelidir. Çizgisel filament (ipliksi) yapılar geliştirirler. Bu yapılarda meydana gelen dallanmalarla dayanıklı bir yapı oluştururlar. Işığı kullanarak fotosentez yaparlar ve bazı hücreleri (heterocyst) havadan azot bağlamak için özelleşmiştir. (Şekil 93)

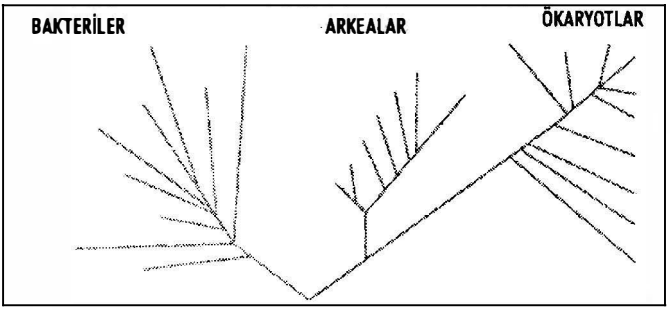
36 | Ökaryotlar nasıl ortaya çıkmıştır?

3. Bölüm'de (6. ve 7. Sorularda) canlıların nasıl sınıflandırıldığından bahsetmiştik. Geniş olarak kabul gören sınıflandırma yöntemine göre, canlılar temel olarak üç ana gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar arkealar, bakteriler ve ökaryotlardır. (Şekil 94) Arkealar ve bakteriler ayrıca prokaryotlar olarak adlandırılmaktadır. Prokaryot Yunanca'da "çekirdek öncesi" anlamına gelirken, ökaryot ise "gerçek çekirdek" anlamındadır. Arkealarda ve bakterilerde zarla çevrili belirli bir çekirdek bulunmamaktadır.

Şekil 93. Siyanobakteride hücreler birçok ökaryotik hücre kadar büyüktür. Çoğunlukla çokhücrelidir ve çizgisel ya da dallı filamentler oluştururlar.



Çevremize baktığımızda gözle görebildiğimiz her canlı

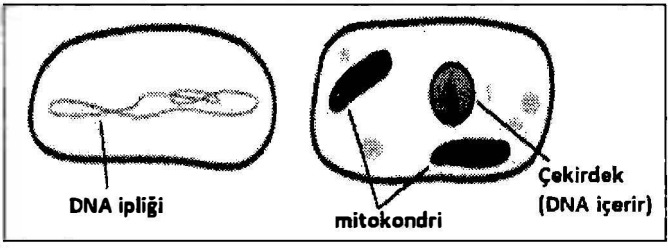


Şekil 94. Canlılar üç ana gruba ayrılabilir: Bakteriler, arkealar ve ökaryatlar.

(hayvanlar, bitkiler ve tabii ki insanlar) ökaryot grubundadır. Prokaryotik hücrelerden daha karmaşık yapıdadırlar, temel farkları zarla çevrili çekirdekleri ve organellerinin bulunmasıdır. Prokaryot hücrelere örnek olarak bir bakteri olan *Escherichia coli*'yi gösterebiliriz. Bu hücreler zarla çevrili bir çekirdek yapısına ya da organellere sahip değildir. Tüm reaksiyonlar hücrenin iç ortamında, yani sitoplazmasında meydana gelirken; bir ökaryot hücresinde, örneğin hayvan ya da bitki hücrelerinde, reaksiyonların büyük çoğunluğu organellerde (bir evin odalarına benzetebiliriz) meydana gelir. (Şekil 95)

Ökaryotların yapısında bulunan önemli organellerden birisi mitokondridir. Bu organeller hücre için gerekli enerjinin üretildiği yerler olduğundan son derece önemlidir; ayrıca ökaryotik hücrelerin ilk defa nasıl ortaya çıktığı üzerine ortaya atılan teorilerde de çok önemli rol oynamışlardır.

Şekil 95. Solda tipik bir prokaryotik hücre; sağda ise çekirdek ve organelleriyle ökaryotik hücre görülüyor.



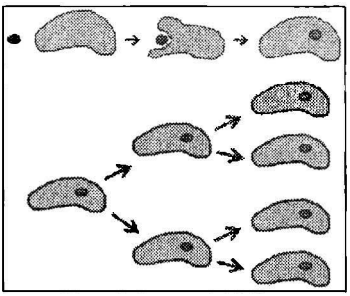
Ökaryotlar ne zaman ortaya çıktı?

Fosil kayıtlarına göre canlılığın dünya üzerinde yaklaşık 3,5 milyar yıl önce ortaya çıktığını söylemiştik. İlk 1,5 milyar yıl boyunca dünya üzerinde sadece prokaryotlar yaşamıştır. Ökaryotlarm ilk ortaya çıkışı, kesin olarak söyleyemesek de, yaklaşık 2 milyar yıl öncesinde olmuştur. Arada geçen yaklaşık 1,5 milyar yıllık sürede yaşamış ve prokaryot ile ökaryot arasında geçiş hücresi olan bir organizma henüz bulunabilmiş değildir. Bu dönem hakkındaki bilgilerimizin çoğunu günümüzde yaşayan prokaryot ve ökaryot hücreleri çalışarak elde ediyoruz. Özellikle son 20 yıl içerisinde hücrelerin yapılarının ve genomlarının araştırılması sonucu, prokaryotlardan ökaryotlara geçişin nasıl olduğu hakkında daha çok bilgi edindik.

Ökaryotik hücrenin ortaya çıkışı, canlılığın tarihindeki en önemli dönüşümlerden birisidir. Bunun nedeni, daha sonraları ortaya çıkacak olan çokhücreli canlıların ökaryot hücrelerden türemiş olmasıdır.

Ökaryotlar nasıl ortaya çıkmış olabilir?

Peki nasıl oldu da bu derece karmaşık yapıdaki ökaryotik hücreler ortaya çıkabildi? Bilim insanları uzun zamandır bu sorunun cevabını bulmak için çalışmaya devam ediyor. 1970'li yıllara gelinceye kadar, bilim insanları canlıları temel olarak prokaryot ve ökaryot olmak üzere ikiye ayırıyordu; ancak daha gelişmiş yapıdaki ökaryotların prokaryotlardan mı evrildiği yoksa bunların ortak bir atadan evrilerek farklı kollarda mı ilerlediği bilinmiyordu. Canlıların sınıflandırılması konusundaki en önemli gelişmelerden biri, 1970'li yıllarda İllinois Üniversitesi araştırmacılarından Carl Woese'dan geldi. Woese ve ekibi birçok farklı organizmada 16S rRNA adı verilen RNA dizilerini inceledi ve benzerliklerine göre canlıları sınıflandırdı. Bu sınıflandırmadaki en önemli bulgulardan birisi prokaryotların iki temel gruba ayrılmış olduğuydu. Bir grup *E. coli* gibi daha bilindik bakterileri içerirken, diğer grupta yüksek sıcaklık, oksijensiz bölgeler gibi aşırı ortamlarda yaşayabilen organizmalar vardı. Bunun üzerine Woese ve

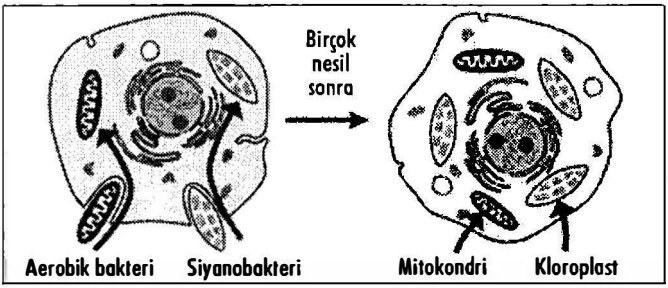


Şekil 96. Üstte, iki farklı bakteri hücresinden büyük olan diğerini hücre içine alıyor, ancak onu sindirmek yerine karşılıklı avantaja dayalı simbiyotik bir yaşama geçiyorlar. Altta, büyük bakteri bölünüp çoğaldıkça küçük olan da bölünerek çoğalıyor ve bu durum yeni hücrelerde de devam ediyor.

ekibi canlıları, ökaryotlar, bakteriler ve arkealar (arkebakteri) olarak üç temel grup altında isimlendirdi. Bu sınıflandırmanın temelinde yatan fikir, benzer genetik yapıdaki organizmaların birbirine daha yakın akraba olduklarıydı. Çok önemli bir başka sonuç da, ökaryotların kendi arasında benzerlik göstermesi, ancak prokaryotlarla benzerliklerinin çok daha az olmasıydı. Sonuç olarak Woese ve ekibi, ökaryotların prokaryotların devamı şeklinde değil, daha farklı bir şekilde evrilmiş olduğu sonucuna ulaşmıştı.

Massachusetts Üniversitesi'nden mikrobiyolog Lynn Margulis'in ise çok farklı bir hipotezi vardı: Ökaryotik hücrelerin ortaya çıkışı üzerine en geniş kabulü gören bu hipotez birçok deneysel çalışmayla desteklenmiş ve "endosimbiyotik teori" adını almıştır. Teorinin temelinde, ökaryotik hücrelerden önce yaşamış prokaryotik hücrelerin birlikte yaşadığı düşüncesi yatıyordu. Ökaryotik hücreler bir zamanlar ayrı olarak yaşamış, ancak daha sonra bir araya gelmiş prokaryotik hücrelerden türemişlerdi. Ökaryotların yapısında bulunan mitokondri[10] daha önceleri kendi halinde yaşayan bir bakteriydi ve daha büyük bir bakteri tarafından yutuldu; ancak parçalanmak yerine iki bakteri birlikte yaşamaya başladılar. Bu karşılıklı yarara dayanan bir ilişkiydi. Mitokondriyi oluşturacak olan hücre, büyük hücre tarafından korunuyor ve gerekli besini sağlanyordu. Büyük hücre ise küçük hücrenin ürettiği enerjiden yararlanıyordu. Bu tür bir ilişki her iki hücrenin de işine yarıyordu. (Şekil 96)

10)**Mitokondri:** Ökaryot hücrelerde bulunan ve oksijenli solunum ile enerji üretiminin gerçekleştiği organel, kısımdır.



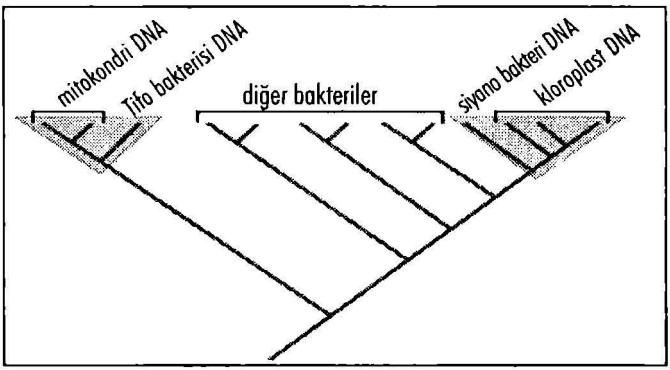
Şekil 97. Mitokondri ve kloroplast, bir zamanlar yaşamış farklı bakterilerin simbiyotik yaşamı sonucu ortaya çıkmıştır.

Mitokondrinin yapısına baktığımızda, bakterilerle çok benzerlik gösterdiğini görebiliyoruz. Zar yapıları, enerji üretme şekilleri benziyor. Mitokondri de kendi DNA'sına sahiptir ve hücre bölünürken mitokondri DNA'sını çoğaltarak yeni hücreye aktarır. Mitokondri DNA'sı bakteri DNA'sına benzer, ancak ökaryot DNA'sına benzemez. Mitokondri içinde görev yapan bazı proteinlerin genleri ökaryot hücrelerin DNA'sına yerleşmiştir. Bu genlere yüksek benzerlik gösteren genler de, ökaryot genlerinden değil prokaryot genleri arasından çıkmıştır. Bu genler yüksek ihtimalle, hücreler birleştikten sonra mitokondri DNA'sından koparak çekirdek DNA'sına eklenmiş olmalıdır.

Mitokondri için geçerli olan durum kloroplastlar[11] için de geçerlidir. Benzer şekilde kloroplastların da simbiyotik bir bakteriden türediği düşünülmektedir. Kloroplast da prokaryotik hücrede olduğu gibi kendi hücre zarına ve DNA'sına sahiptir ve hücre çoğalırken bu DNA ökaryot hücrenin kendi DNA'sından ayrı olarak kopyalanarak çoğaltılır ve yeni hücrenin kloroplastının DNA'sı olarak görev yapar.

Mitokondriler tüm ökaryotlarda bulunur, ancak kloroplastlar tüm ökaryotlarda bulunmaz. İlk başta mitokondri hücre içinde yerleşmiş olmalıdır ve daha sonra aynı yolu izleyen kloroplast bazı ökaryotlar içinde yaşamaya başlamış ve bitkilere giden yolu açmıştır. (Şekil 97)

11) Kloroplast: Bitki hücrelerinde ve bazı diğer ökaryotik hücrelerde bulunan ve fotosentezin yapıldığı organel, kısımdır.



Şekil 98. Mitokondri, tifo bakterisi, kloroplast ve siyanobakteri DNA'larının filogenetik onalizi endosimbiyotik teoriyi destekliyor.

"Endosimbiyotik teoriyi" destekleyen en önemli kanıtlar, organizmaların genetik materyalinden gelmiştir: 1970'li yıllarda Carl Woese ve Ford Doolitle su yosunlarında bulunan kloroplastların DNA'sı üzerine çalıştılar. Elde edilen sonuçlara göre kloroplast DNA'sı alglerin DNA'sı ile çok az bir benzerlik gösteriyordu, ancak siyanobakteri DNA'sı ile çok daha yüksek bir benzerlik gösteriyordu. Mitokondriler için de benzer bir durum vardır. Mitokondri DNA'sı da tifoya neden olan bakteri DNA'sı ile daha yüksek bir benzerlik göstermektedir. Buradan çıkarılan sonuç, siyanobakterilerin atalarının kloroplastı oluşturan hücreler olabileceği ve aynı şekilde de tifoya neden olan bakterilerin de bir zamanlar mitokondriyi oluşturan hücreler olduklarıdır. (Şekil 98)

Ökaryotların tam olarak nasıl ortaya çıktığı üzerine farklı fikirler olsa da, önemli olan ökaryotların ortaya çıkışının biyolojik bir devrim olduğudur. Prokaryotların enerji üretebilmek için kullandıkları tek yol yüklü atomları zarlarından pompalamaktır. Bu da hücre büyüklüğüyle sınırlanır. Prokaryotlar boyut olarak büyüdükçe, hacim artışı yüzey alanı artışından daha hızlı gerçekleşir. Sonuç olarak da üretilen enerji büyüyen hücre için yetersiz kalacaktır. Ökaryotlar ise yapılarında bulunan yüzlerce mitokondri yardımıyla enerji sorunu yaşamazlar. Farklı boyutlara ve yeni ekolojik çeşitlere evrilebilirler. Bu yol-

la da tekhücreli ökaryotlardan çokhücrelilere, özelleşmiş yapılara giden yol açılmış olur.

37 | Fotosentezin evrimi dünyadaki yaşamı nasıl etkilemiştir?

Fotosentez gezegende gerçekleşen en önemli biyolojik süreçlerden biridir. Dünya üzerindeki karbonun tamamına yakınını üretmesinin yanında, atmosferde oksijenin artmasına yol açarak gezegenin bugünkü halini almasında da önemli rol almıştır.

Organizmaların ilk defa ne zaman güneş enerjisini kullanmaya başladığı araştırılmaya devam edilen bir konudur. Ancak birçok bilim insanı, fotosentezin yaşam ortaya çıktıktan kısa bir süre sonra ortaya çıktığını öne sürmektedir (3,5 milyar yıl kadar önce).

Günümüzde fotosentez yapan organizmaların çoğu oksijen ve elektron (hidrojen) kaynağı olarak suyu kullanırken, ilk defa güneş ışığını kullanan hücreler daha farklı kaynaklar kullanmış olmalılar. Bunun temel nedeni ilk atmosferin ve okyanusların oksijen bakımından çok fakir olmasıdır.

Fotosentez, oksijensiz ve oksijenik olmak üzere temelde ikiye ayrılabilir. İlk fotosentez türü "oksijensiz fotosentezdi" Bu yolu kullanan organizmalara mor ve yeşil kükürt bakterilerini örnek olarak verebiliriz. Elektron kaynağı olarak H_2S ya da H_2 kullanılırken, dışarıya oksijen verilmez. Atmosferin ve ozon tabakasının günümüz şeklini alması ise daha sonra gelişecek olan oksijenli fotosentezin evrilmesiyle mümkün oldu.

Mor ve yeşil kükürt bakterileri, ışık enerjisini sıradışı kullanma yollarıyla, fotosentezin ve hücresel enerji metabolizmasının evriminin anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Oksijensiz ortamda fotosentez yapabilmeleri evrimsel açıdan özellikle önemlidir, çünkü ilk Dünya

atmosferinde çok az miktarda oksijen bulunuyordu. Bu yüzden bilim insanları bu bakterilerin ilk fotosentetik organizmalar olduğunu öne sürmektedir. Genetik çalışmalarla da mor ve yeşil kükürt bakterilerinin ilk fotosentetik organizmalar olduğu desteklenmiştir. Çoğunlukla oksijenin az olduğu, ancak indirgenmiş kükürt bileşiklerinin yoğun bulunduğu sularda bulunan yeşil kükürt bakterisinin gen yapısı incelendiğinde de fotosentezle ilgili çok sayıda gen ortaya çıkarılmıştır.

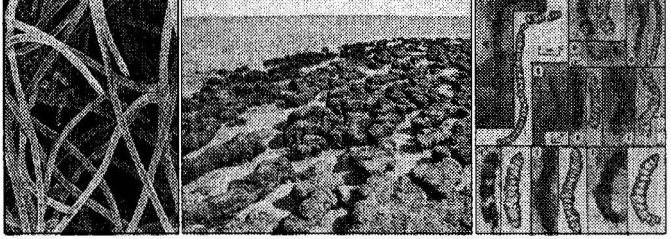
Diğer yandan, "oksijenik fotosentez" ise elektron kaynağı olarak suyun kullanıldığı ve dışarıya oksijenin verildiği bir işlemdir. Siyanobakteriler, su yosunları (algler) ve bitkiler bu yolla enerji üretir.

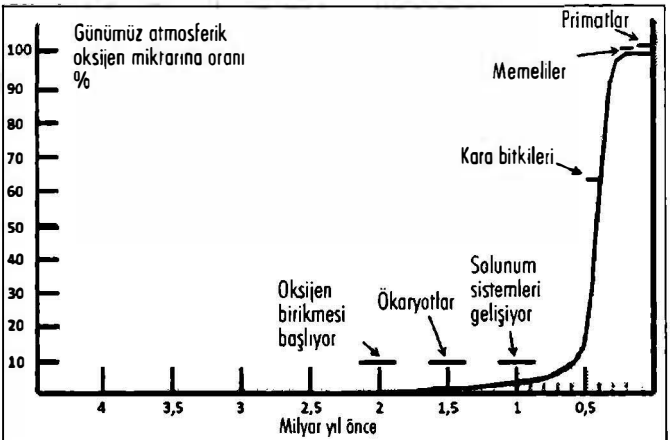
Oksijen felaketi

Dünya'nın ilk atmosferinde oksijen miktarı çok azdı ve ilk organizmalar da oksijensiz ortamda yaşamaya alışmıştı. Ancak siyanobakterilerin atası, hidrojen (elektron) kaynağı olarak suyu kullanabilince, dışarıya canlılar için toksik olabilecek oksijeni de salmaya başladı. Jeolojik kayıtlar bu dönüşümün en az 2,4 milyar yıl önce gerçekleştiğini gösterse de, çok daha önceleri de olabilir.

Arkean Dönemi'nden kalan stromatolitler üzerinde 3,5 milyar yıllık siyanobakteri fosilleri bulunmuştu. (Şekil 99) Ancak oksijenli fotosenteze ne zaman geçildiği kesin bilinmiyor. Günümüzden 2,4 milyar yıl öncesinden itibaren 50-100 milyon yıl içerisinde at-

Şekil 99. Soldan sağa filament halindeki siyanobakteriler, siyanobakteri fosillerinin birikmesiyle oluşan stromatolitler ve siyanobakteri fosil örnekleri.





Şekil 100. Atmosferdeki oksijen miktarının günümüz oranlarına gelişi.

mosferdeki oksijen miktarında artış gerçekleşti. Benzer şekilde okyanuslardaki çözünmüş oksijen miktarı da artmaya başladı. Oksijen miktarındaki bu artışa "oksijen felaketi" adı verilir. Bunun nedeni de, şimdi bizim için vazgeçilmez olan oksijenin, o dönemdeki canlılar için zehirli bir gaz oluşuydu. Oksijen çok iyi bir elektron tutucudur, bu yüzden canlılar için çok tehlikeli olabilir.

Oksijenin yayılmasıyla birlikte organizmalar yaşamlarını devam ettirip ettirememe konusunda çok önemli bir testle karşı karşıya kaldı. Oksijeni kullanabilecekleri sistemleri geliştiren organizmalar yaşama devam ederken, birçok bakteri kısa sürede yok oldu. (Şekil 100)

İlk başlarda ortama salınan oksijen, denizlerde yüksek miktarda bulunan demiri oksitliyor ve çöküyordu. Deniz yataklarında bulunan çökmüş demir tabakaları bu sürecin kanıtlarıdır. Bu dönemde Dünya paslanıyordu denilebilir. (Şekil 101)

Şekil 101. "Dünyanın paslandığı dönemde", deniz diplerinde oluşan demiroksit tabakaları.



Ancak belirli bir zaman sonra oksijen arttıkça, atmosferde ve sularda demirin tutabileceğinden daha fazla oksijen birikmiş oldu. Artık canlılar için tehlike başlıyordu. Çoğu organizma kısa sürede yok oldu, bir kısım organizma oksijensiz ortamda yaşamaya devam etti, bir kısım organizma ise bağımsız olarak oksijenli solunumu gerçekleştirmeye başladı.

Oksijenli solunuma geçiş

Hücresel solunumun ilk hali büyük ihtimalle fermentasyondu. Glikoliz her hücrede meydana gelen temel bir yöntem olsa da, daha basit bir şekli ilk başlarda ortaya çıkmış ve zamanla da gelişmiş olmalı. İlk hücreler büyük ihtimalle organik moleküllerden enerji elde etmeye başlamadan önce, inorganik moleküllerden enerji elde ediyorlardı.

Oksijenli solunum ise çok daha yeni bir gelişme olmalı. İlk atmosferde oksijen bulunmadığından, ilk başta fotosentez gelişerek atmosfere oksijen salınmış ve devamında da oksijenli solunumun gelişmiş olması mantıklı görünüyor. Mor bakteri, elektron taşıma sistemlerinde değişiklik yaparak oksijeni kullanmayı öğrenmiş ve böylece ökaryotlarm aerobik (oksijeni kullanan) olmalarının da yolunu açmış olmalı. Ökaryotlarda bulunan mitokondri organeli solunumun gerçekleştiği yer halini alırken, sonraki nesillerden bazıları bağımsız olarak kloroplastı yapılarına kattıklarında, ökaryotik bitkilerin de yolu açılmış oldu.

Oksijenli solunumun sağladığı en önemli avantaj, elde edilen enerji miktarının oksijensiz solunuma oranla çok daha fazla olmasıdır. Tekhücreli yaşam formlarından devasa ve hareketli canlılara geçiş, oksijenli solunumla sağlanan enerjiyle mümkün oldu.

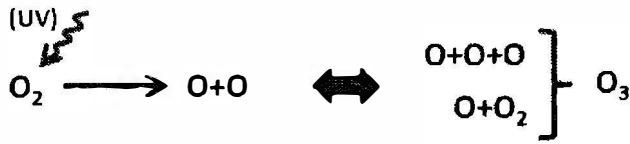
38 Ozon tabakası nasıl ortaya çıkmıştır ve canlılığın gelişmesi açısından önemi nedir?

Bir önceki soruda atmosferdeki serbest oksijenin nasıl ortaya çıktığını ve milyarlarca yıllık bir zaman sonunda bugünkü seviyeye nasıl geldiğini anlatmıştık. Canlılığın gelişmesi ve çeşitlenmesi açısından son derece önemli olan oksijenin temel kaynağının yine canlıların yaptığı oksijenli fotosentez olduğunu görmüştük. Şimdi de atmosferdeki oksijenin artışının bir sonucu olarak ortaya çıkan ve canlılığın devamı için hayati önem taşıyan ozon tabakasından bahsedelim. Ozon nedir, canlılık için neden bu kadar önemlidir ve ozon tabakasının şu andaki durumu nedir?

Ozon nedir? Atmosferdeki dağılımı nasıldır?

Ozon üç oksijen atomundan oluşan bir gazdır (O_3). Dünya üzerinde canlılığın devamı için vazgeçilmez bir şarttır. Güneş'ten gelen yüksek enerjili ve canlılar için zararlı olan UV (ultraviyole-mor ötesi) ışınlarını engelleyerek Dünya yüzeyini canlılar için yaşanabilir bir yer haline getirir. Atmosferde bulunan toplam ozon miktarı 3 milyar ton civarındadır, ancak bu oran atmosferin sadece yüzde 0,0006'sını oluşturur. Ozon atmosferde yüzde olarak bu kadar az oranda olsa bile, zararlı UV ışınlarına karşı bir barikat oluşturmaya yeterlidir. Bu miktarın yüzde 90'ı stratosfer tabakasında, yani yerden 10-50 km yükseklikler arasında yer alır. Stratosferde bulunan ozon miktarı doğal süreçler sonucu dengelenmiştir. Ozonu oluşturan ve parçalayan reaksiyonlar birbirini dengeler ve ozon miktarı sabit kalır. Ancak insan aktiviteleri nedeniyle bu denge sürekli olarak bozulmaktadır.

Dünya'yı çevreleyen sabit bir ozon tabakasından bahsetmek mümkün değildir. Bunun yerine değişken, atmosferde hareket halinde olan, mevsimlere ve bölgelere göre farklılık gösteren bir tabaka olduğunu bilmeliyiz. Genel olarak ekvator civarında daha ince bir ozon tabakası bu-



Şekil 102. Ozonun oluşumu.

lunurken, kutuplardaki tabaka daha kalındır. Tropik bölgelerde güneş ışığı ile birlikte ozon üretimi daha fazla olsa da, üretilen bu ozon kutuplara doğru taşınır. Aynı şekilde mevsimlerle de değişiklik gösterir. Kuzey yarıkürede baharda daha kalınken, sonbaharda daha incedir. Bunun nedenleri güneş ışığının yoğunluğu ve atmosferik sirkülasyondur.

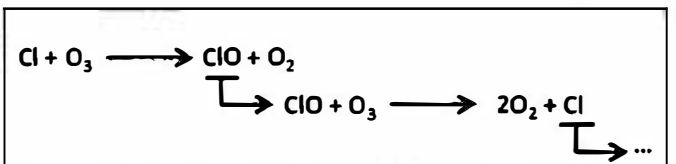
Atmosferde ozon nasıl oluşur?

Ozon (O_3), havaya salınan serbest oksijenin (O_2) güneş ışığıyla parçalanarak oksijen atomlarına ayrılması ve devamında da üç oksijen atomunun ya da bir oksijen atomu ile bir O_2 molekülünün birleşmesiyle oluşur. (Şekil 102)

Günümüzden yaklaşık 2,3 milyar yıl önce, atmosferde oksijen miktarı artmaya başlayınca, bir ozon tabakası da oluşmaya başlamış olmalı. UV ışınının kesilmeye başlamasıyla, okyanuslarda yaşayan ökaryotik bitkisel plankton miktarında hızlı bir artış yaşanmış olması mümkün.

Ozon tabakası nasıl korur?

Özellikle stratosferde bulunan ozon tabakası, Güneş'ten gelen üç farklı UV ışınını farklı miktarlarda engelleyerek, canlılar için korunak sağlar. UV-A (400-315 nm), UV-B (315-280 nm) ve UV-C (280-100 nm) ışınları farklı dalga boylarında ve farklı enerjilerde ışınlardır. Özellikle UV-C ışınları, yüksek enerjisinden dolayı canlılar için tehlike oluşturacaktır. Ozon tabakası UV-C ışınlarının tamamını, UV-B ışınlarının büyük çoğunluğunu ve UV-A ışınlarının da yarısını durdurarak, Dünya yüzeyine ulaşmalarını engeller.



Şekil 103. Klor atomu (Cl) zincirleme reaksiyonlarla binlerce ozon molekülünün parçalanmasına neden olabilir.

Ozon tabakası nasıl parçalanır?

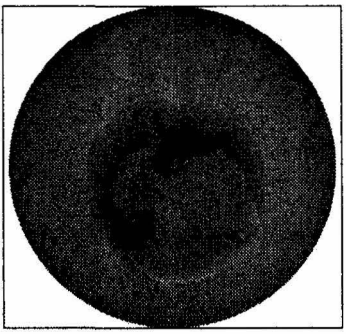
Ozon tabakası atmosferde oluşan azotoksit (nitrik ve nitrozoksit, NO, NO_2), hidroksil (OH), klor (Cl) ve brom (Br) gibi serbest radikallerle tepkimeye girerek parçalanır. Bu kimyasallar doğal olarak üretilse de, insanlar tarafından yüksek miktarlarda üretilen organohalojen bileşikler [özellikle kloroflorokarbon (CFC) ve bromoflorokarbon] ozon parçalanmasının asıl sorumlularıdır. Bu bileşikler son derece dayanıklıdır ve stratosfere yükselerek güneş ışığı sayesinde atomlara ayrılırlar. Serbest kalan Cl ve Br radikalleri 100.000 ozonu parçalayabilecek bir zincir reaksiyon başlatır. (Şekil 103) Ozon parçalandıkça güneş ışığını tutma özelliği azalır ve Dünya yüzeyine daha fazla güneş ışını gelir.

UV ışınlarının ne gibi zararları olabilir?

UV-B ve UV-A ışınları UV-C ışınlarına oranla daha az zararlı olsa da, bu ışınlara da uzun süre maruz kalmak güneş yanıklarına, deri kanserine ve gözde zarara neden olacaktır. Bunun yanında biyoçeşitlilik üzerine de önemli etkileri vardır. Artan UV-B ışınları okyanuslardaki plankton miktarının azalmasına neden olur. Balıklar bu azalmadan doğrudan etkilenecektir. Benzer şekilde, bitkilerin büyümelerinde de olumsuz etki oluşturacaktır. Bu da tarımsal verimliliğin azalması demektir.

Ozon tabakasının durumu ve ozon delikleri

Ozon deliği denildiğinde, söz edilen atmosferde hiç ozon bulunmayan bir bölge değildir. Ozon miktarının 200 dobson birimden daha düşük olduğu bir bölgeden söz edilmektedir. Ozon miktarı genel olarak dobson biri-



Şekil 104. Antartika üzerindeki ozon deliğinin Eylül 2010'daki durumunu gösteren Toplam Ozon Ölçüm Spektrometre (TOMS) görüntüsü.

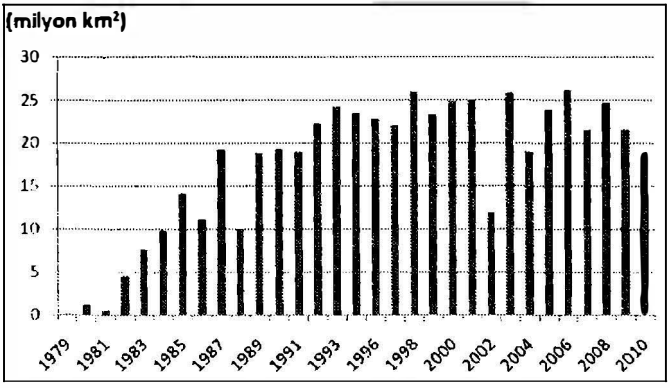
mi ile ölçülür; bir dobson birimi 0 °C ve 1 atm basınçta 0,01 mm kalınlıkta bir tabaka oluşturmak için gerekli ozon miktarıdır. Dünya yüzeyindeki ozon her tarafa eşit dağılmasa da, ortalama olarak 300 dobson birimlik (sıkıştırıldığında 3 mm) ozon tabakası bulunur.

Herkes tarafından bilinen ozon deliği Antartika üzerinde, güney yarıkürenin bahar aylarında (Ağustos-Ekim) meydana gelen incelmedir. Burada ozon miktarı 100 dobsona kadar düşmektedir. (Şekil 104, 105)

Genel olarak, kuzey yarıküredeki ozon miktarında her 10 yılda yüzde 4'lük bir azalma görülüyor. Tüm dünya yüzeyinde ise, özellikle kuzey ve güney kutuplarında olmak üzere yüzde 5'lik bir azalma yaşanıyor.

Antartika üzerindeki ozon tabakasının incelmesi ilk defa 1980'lerin başlarında gözlemlendi. Uluslararası işbirliğiyle 1987'de imzalanan Montreal Protokolü ile ozon tabakasını

Şekil 105. Ozon deliğinin ortalama büyüklüğü. Ölçümler 1979-2010 yılları arasında, Eylül-Ekim ayları arasında alınmıştır.



incelten maddelerin [Cl, Br, F içerikli- özellikle kloroflorokarbon (CFC) ve bromoflorokarbon] üretimi ve kullanımında kısıtlamaya gidildi. Bugün dünya çapında 196 ülke protokolü imzalamış durumda. Bu gazların yasaklanması sadece ozon deliğini küçültmeyi amaçlamıyor. Ancak, 2000'lerin başlarında ozon deliğinde küçülme gözlemlense de, son yıllardaki ölçümler ozon deliğinin küçülmesinin durduğunu ve tam olarak kendini tamir etmesinin 50 yıldan daha uzun zaman alacağını gösteriyor. Bu yüzden daha farklı, yeni uygulamalarla bu sorunun çözümünü aramalıyız.

39 | Kambriyen Patlaması adlandırması ne anlatır?

Dünya'nın yaklaşık 4,5 milyar yaşında olduğundan ve ilk canlı hücrelerin 3,5-3,8 milyar yıl önce ortaya çıktığından şimdiye dek pek çok kez söz ettik. İlk organizmalardan sonra gelen 1,6 milyar yıl boyunca, ökaryotlar ortaya çıkıncaya kadar, tüm organizmalar basit yapıda prokaryot hücrelerdi. Günümüzden yaklaşık 2 milyar yıl önce ökaryot hücreler ortaya çıktığında hücre yapısı daha karmaşıklaştı, ancak organizmalar hâlâ tekhücreliydi ya da hücre kolonileri halinde yaşıyorlardı. Bu durum yaklaşık 1,4 milyar yıl boyunca, daha karmaşık yapıdaki çokhücreli Ediacara formlarının ortaya çıkmasına kadar devam etti. Buraya kadar söylediklerimizi bir araya getirdiğimizde, yaşamın dünya üzerinde bulunduğu ilk 3 milyar yıl boyunca, evrimin bakteri, plankton ve çokhücreli algler dışında çok fazla çeşitlilikte organizmaya yol açmadığını söyleyebiliriz. Ancak günümüzden yaklaşık 543-490 myö (özellikle 543-542 myö), görece olarak kısa bir zaman diliminde canlı çeşitliliğinde çok hızlı bir artış yaşandı. "Kambriyen Patlaması" adı verilen bu olayda, sayısız yeni canlı türü ortaya çıkarak dünyaya yayıldı.

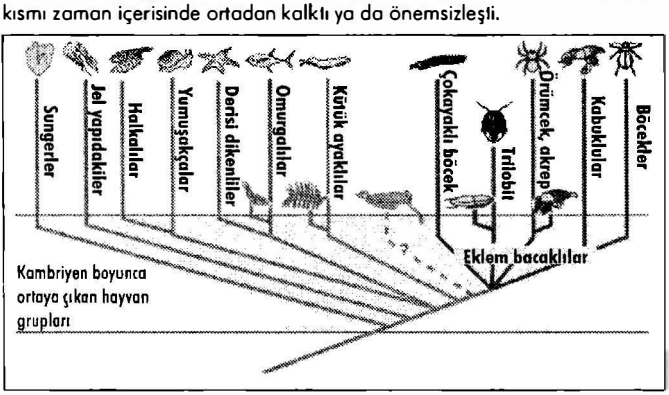
Kambriyen Patlaması canlılık tarihi açısından çok önemli bir yere sahiptir, çünkü hayvanlar âleminin önemli kollarının çoğu fosil kayıtlarında ilk defa bu dönemde ortaya çıktılar. (Şekil 106)

Canlı çeşitliliğindeki ilk artış, Ediacara Faunası canlılarında görülüyordu (635-542 myö), bu Kambriyen Dönemi'nden öncesine rastlıyordu. Bu dönemde ortaya çıkan canlılardan bir kısmı günümüze kadar devam eden organizmalarla bağlantılıyken, bir kısmı daha sonra ortadan kayboldu. Ancak Kambriyen Dönemi ile birlikte, canlı çeşitliliğinde meydana gelen hızlı artış o zamana kadar görülmemiş bir seviyeye ulaştı. Bu dönemdeki canlı çeşitliliği artışını Kambriyen Patlaması olarak adlandırıyoruz; ama bu adlandırmayla genel olarak, çok hızlı bir oluşumdan bahsetmiyoruz. Özellikle bazı kesitlerde canlı çeşitliliğindeki artış çok hızlı olsa da, öncesi ve sonrası ile 30-70 milyon yıllık bir süreçten söz ediyoruz. Gene de canlıların ilk ortaya çıktığı andan itibaren geçen toplam zamana kıyasla, bu kadar kısa bir zamanda meydana gelen artış "patlama" olarak ifade edilebilir.

Kambriyen Dönemi'nden günümüze kalan fosil örnekleri

Kambriyen Patlaması ile ilgili bilgilerimizi, fosil ve je-

Şekil 106. Hayvanlar âleminin önemli kollarının çoğu Kambriyen Dönemi'nde ortaya çıksa da, bu dönemde ortaya çıkan canlıların önemli kısmı zaman içerisinde ortadan kalktı ya da önemsizleşti.





Şekil 107. Kambriyen Dönemi'nden kalma bir *Hallucigenia* (eklembacaklı) fosili.

olojik kayıtların bize izin verdiği miktarda elde edebiliyoruz. Bilgilerimizin ana kaynağı fosil kayıtlarıdır. Daha doğrusu, günümüze ulaşabilen iyi durumdaki fosillerdir. Elimize geçen fosiller, fosilleşebilen kısımlara sahip organizmalardan kalanlardır. Organizmaların, milyonlarca yıl boyunca toprak altında bozulmadan günümüze kadar gelmesi gerekiyor.

Kambriyen Dönemi'ni ve öncesini birbirinden ayıran en önemli özellik, önceki dönemden kalan korunmuş fosil örneklerinin çok daha az olmasıdır. Kambriyen Dönemi'nde ise fosil kayıtlarında hızlı bir artış yaşanmıştır. Bu farkın nedeni, Kambriyen öncesi dönemde yaşayan organizmaların fosilleşecek kısımlara sahip olmaması ya da zaman içerisinde fosillerinin yok olmasıdır. Gene de, 570 milyon yıl öncesinden kalma ufak embriyon fosillerinden söz edebiliriz. Organizmaların balçıkta bıraktıkları ve zaman içerisinde fosilleşen izler de bize dolaylı yoldan bilgi verir.

Kambriyen çeşitliliğinin en iyi örnekleri Kanada'daki "Burgess Shale" fosil yataklarında bulunmuştur. Dönemin ortalarından kalan fosiller arasında midye benzeri "kolsu ayaklılar" (brachiopod), trilobitler, yumuşakçalar, derisi dikenliler (ekinoderm) ve günümüzde olmayan birçok garip görünüşlü hayvan fosili bulunuyor. (Şekil 107)

Örneğin, beş gözlü ve bir yangın hortumuna benzeyen burnuyla *Opabinia* ve zırhlı yapısı ve iki sıra dik duran pullarıyla *Wiwaxia* dönemin garip görünüşlü hayvanlarındandı. (Şekil 108) Bilim insanları bu tür garip görünüşlü hayvanların sınıflandırılmasında zorluk çekseler de, bir kısmının eklembacaklılara dahil oldukları anlaşılıyor. Ancak *Opabinia* gibi hayvanları bugün yaşayan bir gruba dahil etmek zor görünüyor.

Kambriyen Dönemi'nin çevre şartları

800-600 myö dünya çapında "Geç Riphean" ve "Erken Vendian" dönemlerinde buzlanma olmuştu, ancak Kambriyen Dönemi'ne gelinirken zorlu koşullar artık sona eriyordu ve sıcaklık günümüzde olduğundan fazlaydı.

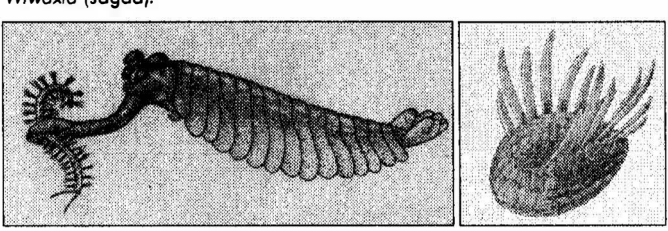
Karasal yapı olarak, günümüzden 800 myö, Dünya üzerinde Rodinia adında tek bir kıta bulunuyordu. Kambriyen Dönemi'nin başladığı dönemde ise bu süperkıta parçalanarak daha küçük kıtalara ayrılmaya başlamıştı.

Dönemin temel özelliklerine baktığımızda; tüm yaşamın sularda olduğunu, yaşam formlarının çoğunun küçük yapılarda ve ortaya çıkan hayvanların çoğunun da sıradışı vücut yapılarında olduğunu görürüz.

Kambriyen Patlaması'nın nedenleri ne olabilir?

Bilim insanları, bu kadar kısa bir zaman diliminde ortaya çıkan bu derece farklı vücut yapılarının nedeni olarak farklı açıklamalar getiriyor. Öncelikle günümüzden 700 myö başlayan oksijen artışı hareket için bir yakıt kaynağı oluşturmuş ve karmaşık vücut yapılarının ortaya çıkmasına neden olmuş olabilir. Diğer bir neden de Kambriyen Dönemi öncesinde meydana gelen kitlesel yok oluş sonrası, yeni türler için ekolojik bir boşluğun açılmasıdır. Bir diğer neden de, gelişimle ilgili genlerin Kambriyen Dönemi öncesinde geçirdikleri evrimsel gelişme olabilir.

Şekil 108. Kambriyen Dönemi'nin garip canlılarından *Opabinia* (solda) ve *Wiwaxia* (sağda).



40 | Bitkilerin evrimi ve karalara yayılımı nasıl gerçekleşti?

Bitkiler dünya üzerinde ortaya çıktıkları ilk andan günümüze kadar geçen sürede çok farklı yapılara ve organizasyon seviyesine evrimleşti. Girdikleri her alana kolayca uyum sağlayıp, başarılı oldular.

Kara bitkileri günümüzden 450-500 myö, sularda yaşayan yeşil alglerden (su yosunlarından) evrimleşti. Sudan karaya geçiş büyük ihtimalle, zaman zaman suyun çekildiği sığ bölgelerde yaşayan ipliksi, haploid ve dallı yapıdaki su yosunlarının karasal yaşama ayak uydurmasıyla başladı. Zaman içinde geliştirilen mumlu kutikül tabaka (üst tabaka) yaprakların kurumasını sağlarken, gözenekler de (stomata) gaz moleküllerinin atmosfere giriş-çıkışını sağladı. Spor kullanarak ürerken, tohumları ve polenleri geliştirdiler. Böylece üreme hücreleri de bir yandan paralel olarak evrildi. Bitki içlerinde geliştirilen damarlı yapılarla da besin ve sıvının içerde dolaşımı düzene alındı.



Şekil 109. İlk basit karasal bitki türlerinden *Cooksonia pertoni* fosili.

Ordovisiyen Dönem sonu, Silüriyen ve Devoniyen Dönemleri (450-350 myö)

Gözle görülebilen, bilinen en eski karasal bitki fosilleri yaklaşık 425 milyon yıl öncesinden günümüze ulaşan ve *Cooksania* adı verilen 3-4 cm boyundaki küçük bitkilerdir. Bu bitkiler spor oluşturarak çoğalıyordu; çiçek ve tohumları yoktu. (Şekil 109) Devam eden 20-30 milyon yıl boyunca bu bitkilerin en yaygın bitki türlerinden olduğunu söyleyebiliriz.

Günümüzde çok çeşidi bulunan likenler de karada yaşayan ilk bitki türlerindendi. Bu bitkiler algler ile küflerin

ortaklığından oluşuyordu. Küf koruyucu bir kılıf oluştururken, alg hücreleri kloroplastlarını kullanarak besin üretiyordu. Belirli bir kök yapısına sahip değillerdi, ancak kayalar üzerinde kolayca büyüyorlardı. Yosunlar da ilk bitkiler arasındaydı. Bir araya gelerek kayalar ve diğer yüzey üzerine tutunuyor, suyu bir sünger gibi çekiyorlardı. Belirli bir damar yapısına sahip değillerdi.

Eğreltiotları ise ilk defa damarsı sistemleri geliştiren bitkilerdi. Bu sayede besin ve sıvı, bitki içerisinde yapraklar ve kök arasında düzenli bir şekilde taşınıyordu. Gerçek anlamda tohum geliştirmediler, bunun yerine sporla çoğaldılar. "Kurtayağı" ve "kırkkilit" ise damarlı yapılara sahip, ancak tohum geliştirmeyen bitkilerdi. (Şekil 110)

İlk bitkilerin yetiştiği karasal alanlar, şimdiki gibi toprakla kaplı değildi. Bunun yerine daha çok kaya, kum, çamur ve biraz da kil içeriyordu. Bizim bildiğimiz anlamda toprak ise organik bileşikler, kaya parçaları, mineraller, canlı toprak bakterileri ve protozoaların (tekhücreli hayvanlar) bir karışımıdır. Yaşayan çok farklı organizmalarla birlikte, ölmüş canlı atıklarının da birikimidir.

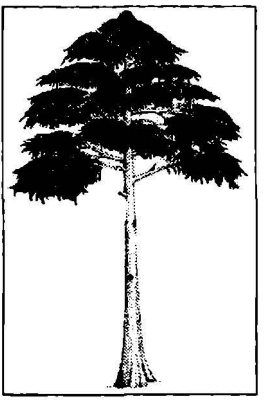
Bitkiler açısından sudan karaya geçiş oldukça avantajlıydı. Daha fazla ışık vardı ve ilk zamanlarda bitkilerle beslenecek hayvanlar yoktu. Gerekli olan mineral de ortamda mevcuttu.

Silüriyen (420 myö) ve Erken Devoniyen Dönemleri'nde (410 milyon yıl öncesinden itibaren) bitki çeşitliliğinde artış gözlemlense de, bitki boyları 50 cm'in üzerine çıkmamıştı. Çiçek ve yaprak henüz gelişmemişti, ancak birçok bitki iğnelere sahipti. Bu iğneli yapılar, korunma amaç-

Şekil 110. Günümüzden liken ve eğreltiotu örnekleri.



lı geliştirilmiş olmayabilir. Çünkü karalarda bitkiler için tehlike oluşturabilecek bir hayvan çeşitliliği yoktu. Bunun yerine yüzey alanını arttırma amaçlı geliştirilmiş olabilir. Sporlu bitkilerdi. Bu dönemin fosil kayıtlarından elde edilen bulgular oldukça kısıtlıdır.



Şekil 111. Dünya'da ortaya çıkan ilk ağaçlardan olan *Archaeopteris* 18 m'ye kadar uzayabiliyordu.

Devoniyen Dönemi ortalarına doğru (390 myö) birkaç metre yüksekliğe ulaşabilen küçük ağaçlar ortaya çıkmaya başladı. Kök, yaprak ve odun dokusu gibi temel yapılar bu dönemde gelişti.

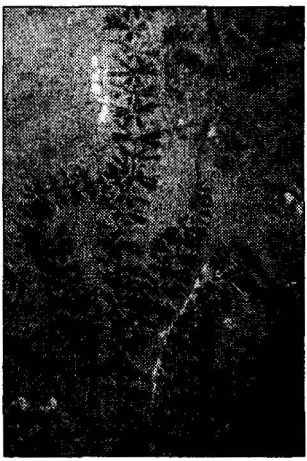
Geç Devoniyen Dönemi'nde ise (350 myö) kozalaklı ağaçların atası olduğu düşünülen ve 18 m'ye kadar uzayabilen *Archaeopteris*, yaygın olarak görülen ağaç türüydü. (Şekil 111) Dönemin sonlarına doğru ise ilk tohumlu bitkiler ortaya çıkmaya başladı ve devam eden 100 milyon yıl boyunca kendilerine daha çok yer edindiler. Tohumlu bitkiler yayıldıkça, sporlu bitkileri toprağın altına doğru ittiler.

Karbonifer (Karbon) Dönemi'nden Kretase Dönemi'ne kadar (354-144 myö)

Karbonifer Dönemi'nde (350-290 myö) bitki çeşitliliğinde büyük gelişme görüldü. Bunun nedeni büyük olasılıkla iklimin sıcak ve nemli olmasıydı. Dünya tarihinde hiçbir dönemde, Karbon Dönemi'nin ikinci yarısında olduğu kadar ağaç yeryüzünü kaplamadı. Antartika bile ağaçlarla kaplıydı.

Şekil 112. Karbonifer Dönem bataklıklarındaki ormanlar, zamanla üst üste birikerek basınç ve ısının etkisiyle zengin kömür yataklarını oluşturacaktı.





Şekil 113. Karbon Dönemi'nden kalma kırkkilit (atkuyruğu) bitkisi fosili.

Ancak dönem sonuna doğru soğuma başlayacaktı.

Bu dönem kömür yataklarını oluşturan geniş bataklıklarıyla ünlüdür. (Şekil 112) Karbonifer ismi de özellikle İngiltere'de bulunan, bu dönemde oluşmuş zengin kömür yataklarından gelmektedir. Benzer yataklar Kuzey Avrupa, Asya, Orta Batı ve Doğu Amerika'da da görülür. Milyonlarca yıl boyunca üst üste biriken ormanlar, ısı ve basıncın etkisiyle günümüze kadar ulaşan kömür madenlerini oluşturdu. Dönemin ortalarına doğru ılıman sıcaklıklar görüldükçe, ağaçsı eğreltiotlarında da artış başlamıştır.

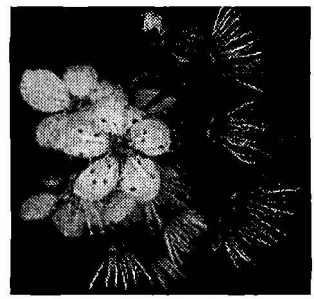
Karbonifer Dönemi sonlarında, ağaç benzeri "kurtayağı" ve "kırkkilit" otları gerilemeye başladı. (Şekil 113) Bunun nedeni bataklıkların azalmaya ve Dünya'nın soğumaya başlamasıydı.

Tohum gelişti, açık tohumlular ortaya çıktı

Permiyen Dönemi (290-248 myö) sonunda meydana gelen kitlesel yok oluşla birlikte eğreltiotu benzeri bitkilerin oluşturduğu ormanlar, yerlerini Triyas Dönemi'nde (248-206 myö) açık tohumlu (gymnosperm) bitkilere bıraktı. Eğreltiotları ve yosunlar üremek için suya bağımlıdır. Çünkü sporlar suda hareket eder. Sperm suda yüzerek yumurtaya ulaşır ve döller. Döllenen yumurta da spor oluşturuncaya kadar nemli tutulmuş olur. Ancak karada gelişen bitkiler için su her zaman ulaşılır olmayabilir. Bu yüzden tohumun geliştirilmesi, yeni ortamlara yayılma açısından çok önemli bir adımdır.

Polenin gelişmesi de tohumun gelişmesiyle aynı döneme denk gelir. Polenler büyük olasılıkla, yüzerek yayılan

sporlara oranla daha avantajlı yönleri yüzünden yayıldı. Polenler rüzgârla taşınabilir ve bu şekilde zarar da görmezler. Tohum eğreltiotlarının fosilleşmiş polenleri günümüzden yaklaşık 300 milyon yıl öncesinden itibaren karşımıza çıkıyor. Modern kozalaklı ağaçların ilk örnekleri de, yine bu dönemde ortaya çıktı.



Şekil 114. Günümüzde bitki türlerinin büyük çoğunluğu çiçekli bitkilerden oluşuyor. Bitkilerin geliştirdiği rengârenk çiçekler böceklerin dikkatini çekerek polenlerin kolayca yayılmasının sağlamıştır.

Erken Kretase Dönemi'nden günümüze

Kretase Dönemi'ne (144-65 myö) geldiğimizde, çiçekli bitkiler artık ortadaydı. Bitkiler çiçekler sayesinde böceklerle işbirliği içerisine girdi. Böcekler çiçekten nektar toplarken polenleri de diğer çiçeklere taşıdı ve böylelikle polenlenme olasılığını arttırdı. Günümüzde karasal bitkilerin çoğunluğu çiçekli bitkilerdir. (Şekil 114)

110 milyon yıl önce kapalı tohumlu bitkiler (angiosperm) aniden ortaya çıkarak yayıldı ve açık tohumlu bitkilere (gymnosperm) baskın hale geldiler. Tohum çevresine geliştirilen koruyucu kılıf bazen bir kozalak ya da meyve şeklini alıyordu ve böcekler, bazı memeliler ve kuşlar yoluyla uzak mesafelere taşınabiliyordu. Hayvanlar ise karşılığında besin alıyorlardı. Bu işbirliği farklı şekil ve renklerde çiçeklerin ortaya çıkmasına yol açtı.

40 milyon yıl önce son gelişen temel bitki grupları otlaklar oldu. Çok farklı çevresel şartlar altında yaşamlarını sürdürebilecek evrimsel değişiklikleri gerçekleştirdiler ve dünyanın birçok alanına yayılarak günümüze kadar ulaştılar. (Çizelge 2)

Milyon yıl önce	Bitki Gelişimi	Dönem
5,3	Çiçekli bitkiler baskın haldeler	Senozoik
65	Kapalı tohumluların ortaya çıkışı açık tohumluların gerilemesi	
150	Açık tohumluların baskın hale gelişi	Jurasik
290	Kömür ormanları Eğreltiotlarının, at kuyruklarının evrimi	Permiyen
320-340	İlk damarlı bitkilerin yayılması İlk tohumlu bitkiler	Karbonifer
390	İlk damarlı bitkiler karalarda ortaya çıktılar	Devoniyen
443	Deniz algleri yaygınlaştı	Siluriyen
500	İlkel deniz algleri gelişti	Kambriyen

Çizelge 2: Bitki evriminin temel basamakları.

41 | Dört ayaklıların (tetrapodlar) evrimi nasıl gerçekleşti?

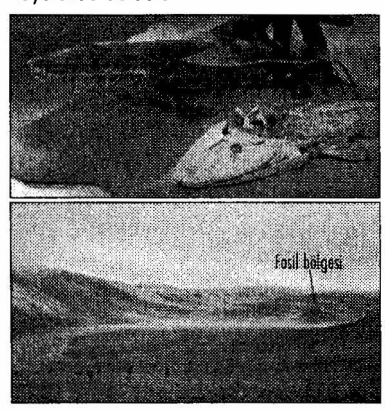
Okyanuslarda devam eden yaşam çeşitlerinden bazıları, zaman içerisinde karalara doğru yayılmaya başlamış ve yeni ortam koşullarına uyum sağlayabilen yeni canlı türleri gelişmiştir. Bu geçişlerin en önemlilerinden birisi, omurgalıların (balıkların) sudan karaya geçişleri ve devamında da dört ayaklıların (tetrapod) oluşmasıdır. Evrimsel biyolojinin yüzyılı aşkın bir süredir ortaya koyduğu bulgular, amfibiler, sürüngenler, dinozorlar, kuş ve memelilerin ortak atasının okyanuslarda ortaya çıkmış ilk türlerden birisi olduğunu ve günümüzden yaklaşık 375 milyon yıl önce de karasal yaşama uyum sağladığını gösteriyor.

Bu görüşü destekleyen en önemli buluşlardan birisi 2004'de ortaya çıkarılan bir fosil örneğidir. Araştırmacılar, Kanada'nın kuzeylerinde bir adada, bir balık ile dört ayaklı

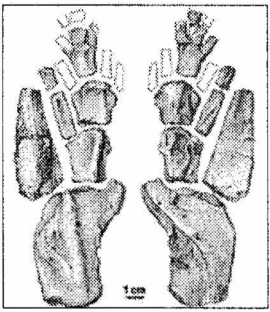
bir hayvanın arasında özellikler gösteren yaklaşık 120 cm uzunluğunda bir fosil buldu. Fosil, solungaç, pul ve yüzgeçlere sahipti ve büyük olasılıkla yaşamının büyük bir kısmını sular altında geçirmişti. Ama aynı zamanda akciğerleri, esnek bir boynu ve dayanıklı yüzgeç kemikleri de vardı ve bu sayede çok sığ sularda ya da karada vücudunu destekleyebiliyordu.

Kuzey Kanada Inuit dilinde "büyük taze su balığı" anlamına gelen *Tiktaalik* adı verilen bu hayvanın, yaşadığı dönemde nasıl bir ortamda bulunduğunu gözümüzün önüne getirebiliriz. Daha önceleri bulunan bitki ve hayvan fosilleri bu canlının yaşadığı ortam hakkında önemli bilgiler veriyor. Yaklaşık 375 myö, şimdi Kanada'da Nunavut Bölgesi'ndeki Ellesmere Adası olarak bilinen yer, birçok akarsunun geçtiği geniş bir alanın parçasıydı. (Şekil 115) Ağaçlar, eğreltiotları ve diğer tarihöncesi bitkiler akarsuların kıyısında büyüdü; bakteri, mantar ve çürükçül basit hayvanlar için zengin bir ortam oluşturdular. Büyük hayvanlar henüz kara üzerinde yaşamıyordu, ancak okyanuslar birçok balık türünü barındırıyordu ve bu türlerin bazıları sığ tatlı su kaynaklarında ve bataklıklarda yaşayan bitki ve hayvanlarla besleniyordu.

Şekil 115. Paleontologlar kutup dairesi yakınlarında, Kanada'nın kuzeyinde bulunan Nunavut bölgesinde buldukları fosiller için saatlerce yol almak zorunda kaldılar. Yılın sadece iki ayında çalışma yapabiliyorlardı. *Tiktaalik* fosillerini, fotoğrafın sağ tarafındaki yüzeye çıkmış kayalarda buldular.



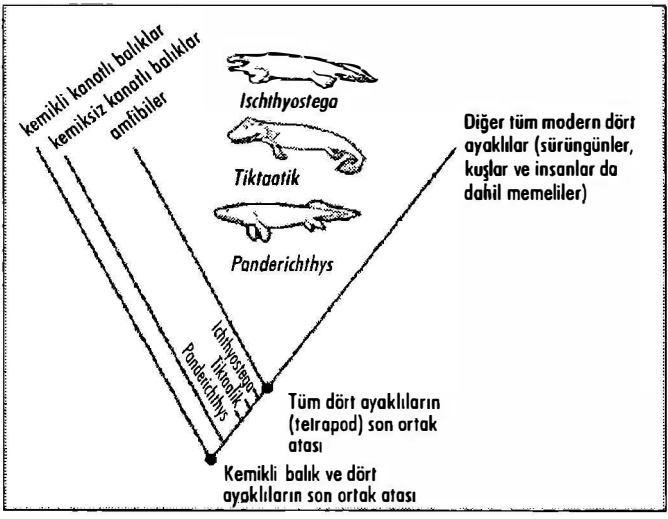
Paleontologlar daha önce bazı sığ su balıklarının fosillerini bulmuştu. Bu balıkların yüzgeçlerindeki kemikler, diğer balıkların yüzgeçlerindeki kemiklere göre daha dayanıklı ve karmaşıktı. Büyük ihtimalle, bu şekilde bitki dolu kanallarda kendilerini daha rahat



Şekil 116. *Tiktaalik*'in sol eli ve sağ yüzgeçleri. iki ara kemiği takip eden tek bir üst kemiğe sahiptir (çizimlerde altta bulunan geniş kemikler). Bunlar daha modern organizmalardaki gibi dirsek ve bilek görevi görür.

çekebiliyorlardı. Aynı zamanda, solungaçlara ek olarak basit akciğerlere de sahiptiler. Paleontologlar, daha genç tortul kayaçlar içerisinde, yaşamlarının bir kısmını karada geçiren balık benzeri hayvanların fosillerini de bulmuştu. İlk dört ayaklılar olarak bilinen bu hayvanların ön ve arka yüzgeçleri değişerek, ilkel bacaklara ve su dışında yaşamaya uygun diğer yapılara benzemişlerdir. Ancak paleontologlar henüz sığ su balıklarıyla akciğerli hayvanlar arasındaki geçiş canlılarının fosillerini bulama-

Şekil 117. *Tiktaalik*, tatlı su balıklarının dört ayaklı hayvanların su dışında yaşamasına imkân sağlayan adaptasyonlara doğru geliştiği dönem boyunca yaşadı. İnsanları da içine alan dört ayaklılar (tetrapodlar) *Tiktaalik*'in yaşadığı dönemden kısa bir süre sonra yaşamış olabilir. *Tiktaalik*'i de içine alan evrimsel soy, bu grafikteki ana evrimsel soydan dallanan kısa çizgilerde görüldüğü gibi tükenmiş olabilir ya da tüm modern dört bacaklı hayvanlara (tetrapodlara) yol açan evrimsel soyun bir parçası olabilir.



mışlardı. *Tiktaalik*, işte tam bu aradaki geçişi gösteren bir geçiş canlısıdır.

Tiktaalik bir balığın birçok özelliğini taşımaya devam ediyordu, ama aynı zamanda da ilk dört ayaklıların (tetrapod) karakteristik özelliklerine sahipti. En önemlisi ise, yüzgeç kemiklerinin kol benzeri bir uzantı yapısında olmasıydı. Bu şekilde hayvan yüzgeçlerini hem hareket etmek için hem de vücuduna destek yapmak için kullanıyordu. (Şekil 116)

Tiktaalik'in keşfi, evrim kuramının yaptığı öngörüleri doğrulaması açısından son derece önemli olmasının yanında, her yıl yapılan ve biyolojik evrimi anlamamızı sağlayan keşiflerden sadece bir tanesidir.

Dört ayaklıların son ortak atasının ortaya çıkışını, zaman içerisinde yeni türlerin evrilmesi takip etti. Hem karada hem de suda yaşayan amfibiler, sürüngenler, kuşlar ve memeliler bu ortak atadan geldi. *Tiktaalik* ise bu ortak atanın balıklarla arasındaki geçiş basamaklarından biriydi. (Şekil 117)

6.4. DİNOZORLAR DEVRİ

42 | Dinozor nedir? Temel özellikleri nelerdir?

Bu kısımda dünya üzerinde 160 milyon yıldan uzun bir süre baskın olarak bulunan dinozorlardan bahsedeceğiz. Bilimsel konularla çok ilgili olmayan kişiler için bile, dinozorlar heyecan ve şaşkınlıkla takip edilen bir konudur. Çevrenizdeki herkesin dinozorlar hakkında bir fikri olduğunu görebilirsiniz. Genel kabul gören fikirlere göre, dinozorlar devasa boyutlarda, soğukkanlı, yavaş hareket eden, aptal, acımasız sürüngenlerdir ve bir göktaşının Dünya'ya çarpmasıyla ortadan kalkmışlardır.

İnsanların ilgisini en çok hangi yönleri çekiyor, kesin olarak söylemek zor. Son dönemlerde yapılan sinema filmlerinin de etkisiyle olsa gerek, ulaşabildikleri devasa boyutları ve avlarını acımasızca parçalamalarını şaşkınlıkla izlediğimiz kesin. Ancak sahip olduğumuz genel fikirler arasında, tartışmasız doğru olarak kabul gören dinozorların bir felaketle tümüyle yok olduğu fikri bile yanlış olabilir. Elde edilen yeni bulgular, dinozorlar hakkında daha önceden bildiklerimizi değiştirmeye devam ediyor.

Burada bir konuyu da vurgulamak gerekli. İnsanların ortaya çıkışının son 5-6 milyon yıllık bir sürece dayandığı ve bu canlılığın tarihine göre oldukça kısa sayılabilecek sürede dünyayı ne kadar yaşanılmaz bir hale getirdiğimiz göz önüne alınırsa, dinozorların 160 milyon yıl boyunca soylarını sürdürmede ne kadar başarılı olduklarını görebiliriz.

Dinozorların boyutları

Dinozorların boyutları bir tavuk boyutundan balina boyutuna kadar çeşit çeşittir. Dinozor kelimesi söylendiğinde, çok kişinin aklına devasa yapısıyla tarihöncesi ağaçların tepelerinden beslenen *Apatosaurus*, korkutucu yapısıyla *Tyrannosaurus* ya da tank gibi yapısıyla *Triceratops* gelecektir. Bununla birlikte birçok dinozor çok daha küçüktür. Örneğin, *Compsognathus* burnundan kuyruk ucuna kadar yaklaşık 70 cm boyunda olan bir etçildir. Nasıl memelilerde boyut çeşitliliği çok fazla ise, dinozorlarda da çok farklı boyutlar gözlemlenir.

Dinozorların nasıl bu derece büyük boyutlara ulaşabildikleri merak edilen bir konudur. Büyük olasılıkla bulundukları devrin özellikleri ve ortamdaki diğer türlerin rekabet eksikliği sayesinde aşırı boyutlara ulaşmışlardır. Tabi büyük boyutlar türlere farklı avantajlar da sağlamıştır. Örneğin, sauropod devasa boyutlardaki vücut yapısı sayesinde, avcılara karşı pasif bir koruma sağlamıştır. Nasıl yüksek hız, sivri diş ya da dayanıklı zırh tür için avantajlı olabiliyorsa, dev boyutlar da avantaj yaratabilir.

Dinozorlar soğukkanlı mıydı?

Genel düşüncenin tersine, birçok dinozorun, memeliler ya da kuşlar gibi sıcakkanlı olması yüksek ihtimaldir. Bizi bu sonuca götüren farklı bulgular bulunuyor. Örneğin, kemiklerin büyüme hızının yüksek oluşu sıcakkanlılığı gösteren bir kanıt olabilir. Çok soğuk bölgelerde bulunan dinozor fosilleri de sıcakkanlılığı gösteren bir kanıt olabilir. Yılan ya da sürüngenler gibi soğukkanlı hayvanlar, havanın çok soğuk olduğu bölgelerde yaşamlarını kolaylıkla sürdüremezler. Bu yüzden soğuk bölgelerde yaşamış dinozorlar, sıcakkanlılığa bir işarettir. Dinozorların hızlı hareket ediyor olmaları da, sıcakkanlı olduklarını gösteren bir işarettir.

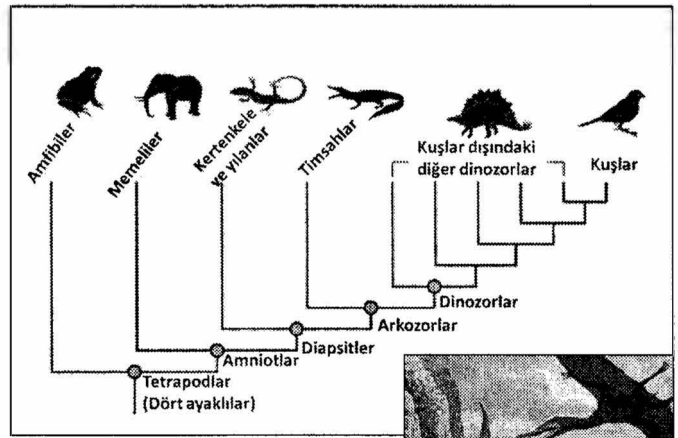
Dinozorların hızları

Bazı dinozorlar modern memeliler kadar hızlı hareket ediyordu. Bu şekilde olduğunu düşünmemiz için birçok neden var. Fosil yataklarında bulunan geniş aralıklı izler, buna bir örnektir. İzleri bırakan dinozorun boyutu ve yapısı bilindiğinde, dinozorun sağ ve sol ayakları arasındaki mesafeden yola çıkılarak hızı hesaplanabilir. Örneğin, bir insan yürürken 0,6-1,0 m mesafe yol alırken, koşu anında 1,2-1,5 m yol alacaktır.

Teksas'ta bulunan ve *Acrocanthosaurus* olduğu düşünülen avcı dinozorun bıraktığı ayak izlerinden 40 km/saat hızla koştuğu hesaplanmıştır. Benzer şekilde *Allosaurus* ve *Tyrannosaurus*'un insandan daha hızlı koşabildikleri düşünülmektedir. Zırhlı dinozorlarla devasa sauropodlar büyük ihtimalle daha yavaş hareket ediyordu. Genel olarak ise, daha küçüklerin daha aktif ve hızlı oldukları söylenebilir.

Dinozorlar aptal mıydı?

Bazı dinozorların beyin-vücut oranının modern türlere yakın olduğunu biliyoruz. Son bulgular bazı dinozorların sürüler halinde yaşadığını gösteriyor. Birçoğu yavrularıyla ilgilenmiştir. Günümüzde benzer davranışlar kuş sürülerinde, bizon sürülerinde, kurtlarda, aslan sürülerinde ve balıklarda da görülmektedir.

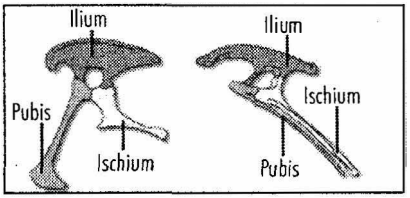




Şekil 118. Genel sınıflandırmada dinozorlar, timsahlar ile birlikte Arkozorlar içinde yer alır. Şekilde, gruplardaki tüm türler gösterilmiyor. Sağda Pterosaurlar, göklerin hâkimleri.

Dinozorların keşfi

Bilinen en eski belgelenmiş dinozor keşiflerinden birisi 1677'de İngiltere-Oxford'da yapılan fosil keşifleridir. Bulunan fosil bir *Megalosaurus* uylukkemiğidir. Doğa bilimci Robert Plot fosili, bir insanın ya da diğer bir hayvanın uylukkemiği olarak tanımlamıştır. Yine İngiltere-Oxfordshire'da, 1818'de, üzerinde dişlerle birlikte bir çene kemiği keşfedilmiştir. Fosilin geldiği canlı *Megalosaurus* olarak isimlendirilmiştir. *Iguanodon* ise ilk olarak 1825 yılında tanımlandı. 1842'ye gelinceye kadar devasa ve garip birçok fosil kalıntısı keşfedilmişti. Sör Richard Owen keşfedilen bu kalıntıların şimdiye kadar bilinmeyen bir hayvana ait olduğunu ileri sürdü ve hayvana Yunanca'da "korkunç sürüngen" anlamına gelen "dinozor" ismini verdi. Bu dönemden kalan çizimler, dinozorların aşırı boyutlardaki sürüngenler olarak düşünüldüğünü gösteriyor. Aslında, yüzeysel benzerlikler olsa da dinozorlar sürüngen değildir. *Archosauria* adı verilen bir gruba dahildirler. Bu grupta dinozorlarla birlikte kuşlar ve timsahlar da bulunur.



Şekil 119. Solda, Saurischia takımının leğen kemiği; sağda, Ornithischia takımının leğen kemiği.

Dinozorların sınıflandırılması

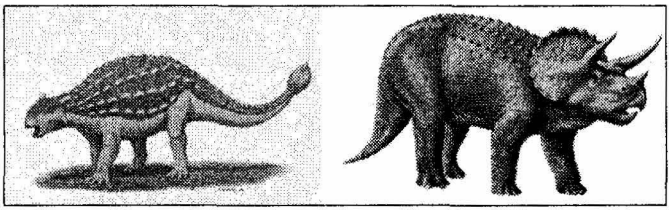
Dinozorların (kuşlar dahil), Pterosaurların ve modern timsahların ortak atası 250 milyon yıl önce yaşamış Arkozorlardır. Arkozor olup da dinozorlar arasında sınıflandırılmayan Pterosaurlar, dev kanatlarıyla birçok filme de konu olmuş, Mesozoyik Dönem göklerinin hâkimleridir. (Şekil 118)

Dinozorların sınıflandırılmasında farklı sistemler kullanılsa da, yaygın olarak kabul gören sisteme göre iki dinozor takımı bulunur: Saurischia ve Ornithischia. Bu ayrımın temelinde leğen kemiklerindeki şekil farklılığı bulunur. Saurischia takımında kasık kemiği çıkıntısı ileri doğruyken, kalça kemiğindeki oturga kemiği ise geri doğrudur. Ornithischia alt takımında ise her iki kemik de geriye doğrudur. Bu basit bir sınıflandırma yolu olmasına karşın 19. yüzyıldan beri kullanılmaya devam etmektedir. (Şekil 119)

Tanınmış etçil dinozorlar Saurischia takımındandır; bilinen en büyük otobur dinozor da bu takımdandır. (Şekil 120) Bu takım kendi içinde Theropoda ve Sauropodomorpha olmak üzere iki alt takıma ayrılır. Ornithischia takımındakilerin tümü ise otçuldur. Alt takımlar

Şekil 120. Saurischia takımından *Tyrannosaurus rex* (solda) yaşamış en büyük etçil dinozorlardandı. Bilim insanları *T. rex*'in bir ısırışta 200 kilodan fazla eti yutabildiğini düşünüyor. *Velociraptor mongoliensis* (sağda) ise, kuş benzeri tüylere sahip olsa da uçamıyordu.





Şekil 121. Ornithischia takımından *Ankylosaurus magniventris* (solda) avcılardan korunmak için kemiksi sırt tabakası ve iğneler geliştirmiş. *Triceratops*'un (sağda) başı, en heybetli özelliğiydi. 1,2-1,5 m büyüklüğündeydi ve etkileyici boynuzları ve arkada kafa tabakası vardı.

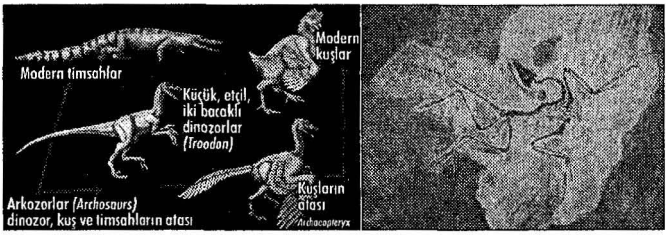
ise Ornithopoda, Marginocephalia ve Thyreophora'dır. (Şekil 121)

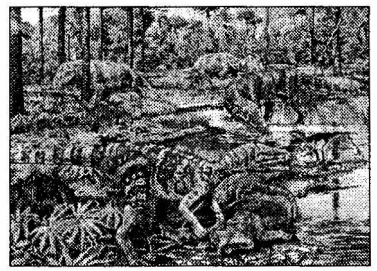
Paleontologlar dinozorların sınıflandırılmasının detayları hakkında farklı görüşlere sahipler. Bunun temel nedenlerinden biri, birçok fosilin eksik olması ve elde edilen fosil kısımlarının da farklı farklı yorumlanabilmesidir.

Kuşlar dinozorların günümüzdeki temsilcisidir

Dinozorların Saurischia takımını, kuşların son ortak atası olarak da tanımlayabiliriz. Modern kuşlar dinozorların bir alt takımının devamı şeklinde günümüze kadar gelmiştir. Günümüzde devasa boyutlarda vahşi dinozorlar bulunmasa da, kuşlar dinozorların günümüzdeki temsilcileridir. (Şekil 122)

Şekil 122. Timsahlar ve dinozorların ortak atası Arkozorlardır. Kuşlar da Troodon gibi etçil, iki bacak üzerinde hareket eden dinazorların evrilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Sağda *Archaeopteryx lithographica*, dinozor pençelerine ve tüylü kuş kanatlarına sahiptir. Modern kuşlara geçiş formudur.





Şekil 123. Permiyen Dönemi sonunda meydana gelen yok oluş sonrasında, yeni gelen türler, rekabet ve avcı tehlikesinden uzak hızlı bir şekilde geliştiler ve çeşitlendiler.

43 Dinozorların yaşadığı dönemin özellikleri nelerdir?

Permiyen Dönemi'nin (290-248 myö) sonunda, dünyada yaşanan en geniş çaplı kitlesel yok oluş gerçekleşmişti. Deniz türlerinin yüzde 95'e, kara türlerinin de yüzde 70'e yakını ortadan kalkmıştı. Bu yok oluşun nedeni yüksek ihtimalle iklimdeki aşırı dalgalanmalardı. Küresel buzlanma ve ısınma döngüleri sonucunda, türlerin çoğunluğu uyum sağlayamayarak ortadan kalktı. Sonuç olarak yeni dönemde gelecek olan yeni türler için yer açılmış oldu. (Şekil 123)

Bundan sonra gelen dönem, dinozorların dünya üzerine yayıldığı ve hâkim olduğu Mesozoyik Dönem'dir (251,4 myö-65,5 myö). Üç devre ayrılır: Triyas (Triyasik) Devri (251-199 myö), Jura (Jurasik) Devri (199-145 myö) ve Kretase Devri (145-65 myö).

Madagaskar'da bulunan 240 milyon yıllık kanguru boyutundaki otçul Prosauropod fosilleri, bilinen en eski dinozor fosillerindendir. Daha iyi bilinen ve dinozorların ortaya çıkışını simgeleyen fosiller ise yakın dönemde Arjantin'deki İshigualasto Çukuru'nda bulunan ve 228 milyon yıl önceye tarihlenen fosillerdir. Bu fosiller nedeniyle bazı bilim insanları Güney Amerika'yı dinozorların beşiği olarak adlandırmaktadır. Dinozorlar, dünya üzerinde geçirdikleri 160 milyon yıl sonunda, günümüzden 66 myö ortadan kalkmışlardır.

Dünya yüzeyi Mesozoyik Dönem boyunca günümüzden çok farklı bir şekildeydi. Yüzey yavaş da olsa sürekli bir değişim halindeydi. Kıtalar birbirlerinden ayrılıyordu. Ayrılma yıl içerisinde çok fazla olmasa da (7-8 cm), mil-

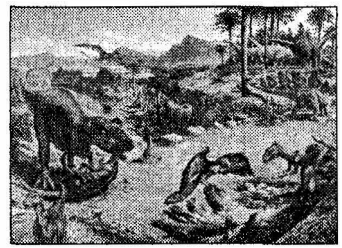
yonlarca yıllık bir süre sonunda kıtalar birbirlerinden binlerce km uzaklaşabiliyordu.

Triyas Devri başladığında dünya üzerinde Pangea adı verilen tek bir süperkıta bulunuyordu. Pangea, Jura Devri boyunca ikiye bölünerek, güneyde Gondvana, kuzeyde ise Laurasia kıtalarını oluşturmuştur. Kretase Dönemi boyunca da, günümüzün modern kıtaları oluşmaya başlamıştır. Gondvana bölünerek Antarktika, Güney Amerika, Avustralya ve Afrika Kıtalarını oluştururken, Laurasia ise Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya Kıtalarını oluşturmuştur. Zaman içerisinde de bu kıtalar günümüzdeki yerlerine doğru kaymıştır.

Genel olarak bakıldığında, Mesozoyik Dönem'deki iklim, günümüzdekinden daha sıcaktı ve kışlar ile yazlar arasında fazla bir fark yoktu. Dinozorların tropik bölgelerde mi yoksa çöl alanlarında mı yaşadıklarını tam olarak söylemek mümkün olmasa da, bu dönemde farklı ılıman bölgeler ve ormanların bulunduğu biliniyor. Toprak yüzeyinde çayırların olmadığı, bunun yerine küçük eğreltiotlarının bulunduğu düşünülüyor.

Triyas Devri başlarında (251-199 myö) dünya üzerindeki ortalama sıcaklığın 10-15 °C olduğu, ancak dönemin sonlarına doğru iklimin daha kuru ve sıcak olmaya başladığı ve Pangea'nın üzerinde yer yer çöllerin ortaya çıktığı düşünülüyor. Kuzey Yarıküre'de gingko ve ağaçsı eğreltiotu ormanları gelişmeye başlarken, ekvator yakınlarında kozalaklı ağaçlar ve tahıllar gelişti. Su kaynaklarının çevrelerinde ise atkuyrukları yetişiyordu. Devrin sonunda Pangea bölünmeye başladı. Öncelikle Avrupa Afrika'dan ayrıldı ve arada Tetis adı verilen bir okyanus oluştu. Devamında da Güney ve Kuzey Amerika merkezden uzaklaştılar. Aralarda oluşan yeni okyanuslar ise canlı türlerinin birbirine karışmasını engelleyen yeni doğal sınırları oluşturdu.

Jura Devri boyunca (199-145 myö), yağmurların artmasıyla okyanuslar yükseldi. Günümüzdeki tropik ormanlarda görüldüğü gibi gür otlaklar ve çayırlar, dünya yüzeyinin çoğunu kapladı. Daha önceden çöllerle kaplı bölgeler



Şekil 124. Jurasik Dönem boyunca iklim sıcak ve nemliydi. Bitkiler ve hayvonlar rahatça geliştiler. Birçok yeni dinozor türü ortaya çıktı. Bunlar arasında Stegosaurlar, Brachiosaurlar ve Allosaurlar bulunur.

verimli çayırlarla örtüldü. Bu dönemden kalan geniş kömür madenleri geniş bitkisel yaşamın kanıtlarıdır. Tahıllar, eğreltiotları, ağaçsı eğreltiotları, kozalaklı ağaçlar ve dev likenli yosunlar ormanları ve bataklıkları kapladı. Bu devirde birçok yeni dinozor türü ortaya çıktı. Bunlar arasında Stegosaurlar, Brachiosaurlar ve Allosaurlar bulunur. (Şekil 124, 125)

Kretase Devri'nde (145-65 myö) Jurasik Devri'nde ortaya çıkan dev ormanlar ortadan kalkmaya başladı. Dönemin ortalarına doğru küresel soğumanın gerçekleşmeye başlamasıyla daha farklı bitki türleri gelişti. Kayın, incir, manolya gibi çiçekli bitkiler ortaya çıktı ve tohumlu eğreltiotları ortadan kalktı. Kretase Dönem sonlarına doğru dinozorlar günümüzdekine benzer ormanlarda yaşamaya başlamıştı.

44 | Dinozorlar nasıl yok oldular? (oldular mı?)

Dinozorların yok olmasıyla ilgili farklı teoriler olsa da hepsinin ortak noktası, dinozorların 160 milyon yıl boyunca dünya üzerinde yer aldıktan sonra, günümüzden 66 milyon yıl önce birdenbire ortadan yok olduğudur. Yok oluşun gerçekleştiği jeolojik döneme K-T sınırı (Kretase- Tersiyer sınırı) adı verilir. Dinozorların baskın olduğu Kretase Dönemi'nden memelilerin baskın hale geçtiği Tersiyer Dönemi'ne geçişi işaret eder.

Dinozorların birdenbire ortadan kaybolduklarını söylesek de, bu süreç yüz binlerce yıla yayılmış olabilir. Di-



Şekil 125. Allasaur Geç Jurasik Devir'deki en önemli avcıydı. Hem hızlıydı, hem de avlarını pusuya düşürerek avlardı.

nozorların dünya üzerinde yaşadıkları 160 milyon yıllık bir zamana göre 100 binyıllık bir zaman dilimi, anlık bir yok oluş olarak değerlendirilebilir. Nedeni ne olursa olsun, K-T yok oluşu, dinozorlarla birlikte birçok kara ve deniz türünün de sonunu getirmiştir. Ancak, ilginç biçimde, timsah ya da kaplumbağa gibi sürüngenler bu dönemde yok olmadan yollarına devam etmiştir.

Dinozorların yok oluşuyla ilgili farklı teoriler

Peki dinozorlara ne oldu? Cevabı kesin olarak bilmiyoruz. Çok farklı teoriler, dinozorların nasıl yok olduğunu açıklamaya çalıştı. Her bir teorinin güçlü yanları olduğu gibi, zayıf yanları da var. Hatta dinozorların tamamen yok olmadığı ve *Tyrannosaurus* gibi avcı dinozorların modern kuşlara evrildiği, oldukça kuvvetli bir teoridir. Günümüzün kuşları halen yaşamını sürdüren dinozorlardır.

Teorilerin temelini oluşturan nedenler arasında, iklimlerin değişmesi, sera etkisi, dinozorların aşırı boyutlara ulaşması, hastalık ve salgınlar, açlık, yumurtaların avlanması, yaşama şansı düşük yumurtalar, memelilerle ekolojik olarak yer değiştirmeleri, Dünya'nın manyetik alanındaki değişmeler, uzayda yakın bir bölgede meydana gelen bir süpernova patlaması gibi nedenler bulunuyor.

Meteor çarpması

Günümüzde geniş olarak kabul gören teori, Dünya'ya çarpan bir meteorun dinozorların sonunu getirdiği yönündedir. Meteorun düşmesi nedeniyle havalanan toz bulutu atmosferi sarmış ve güneş ışınlarının yüzeye ulaşmasını engelleyerek mevsimlerin değişmesine neden olmuştur.

Bu "nükleer kış" olarak adlandırılır. Güneş ışığından yoksun kalan bazı bitkiler ve bitkilerle beslenen otçul hayvanlar ve son olarak da otçul hayvanlarla beslenen etçil hayvanlar yaşamlarını devam ettirememiştir. Ekolojideki bu değişiklik, jeolojik zaman ölçeklerine göre hızlı bir şekilde meydana gelmiş ve canlıların bu hızlı değişime uyum sağlayabilmesi ve evrilmesi için yeterli zamanları olmamıştır. Ortama uyum sağlayamayan bir canlı grubu da dinozorlardır.

Meteor büyük olasılıkla 10-19 km çapındaydı ve Meksika'da bulunan Yukatan Yarımadası kıyılarında 120 km çapında bir krater (Chicxulub Krateri) oluşturmuştu. Çarpışmanın şiddetiyle ilk olarak erimiş kaya ve toz bulutu dünya çapında yayılmış, buhar haline gelmiş mineraller atmosferin üst tabakalarına saçılmış ve yıllar boyunca da güneş ışığını engellemişti. (Şekil 126)

Ancak yapılan bazı çalışmalar, söz edilen meteor çarpmasının yok oluştan 300.000 yıl kadar önce meydana geldiğini öne sürüyor. Bu yüzden dinozorların yok oluşu için meteor çarpması dışında bir neden aramak daha mantıklı görünüyor.

Çifte felaket: Meteor çarpması ve volkanik patlamalar

Meksika'daki Sandia Ulusal Laboratuvarları'ndan bir grubun öne sürdüğü yeni bir teoriye göre, dinozorların yok oluşunun iki farklı nedeni vardı. Dünya yüzeyine çarpan meteor Dünya'nın diğer tarafında devasa volkanik patlamalara neden olmuş olabilirdi. Çarpma nedeniyle oluşan kaya ve toz bulutu, volkanik patlamayla yayılan küllerle birleşerek dünya çapında bir kaosa neden olmuş ve birçok bitki ve hayvanın sonunu getirmiştir.

Şekil 126. Büyük bir meteorun Dünya'ya çarpması dinozorların sonunu getirmiş olabilir.



Sandia'daki bilim insanlarının yaptıkları simülasyon, 9,7 km çapında bir asteroidin 72.000 km/saat hızla Dünya'ya çarptığında 24,1 km derinliğinde bir krater oluşturacağını gösteriyor. Dünya içerisinde yayılan şok dalgaları 80 dakika içerisinde Dünya'nın diğer tarafına ulaşırken, bir yandan diğerine doğru bir boru hattı gibi yok ederek ilerleyecektir. Teoriye göre şu anda Hindistan'ın bulunduğu yerde meydana gelen dev volkanik patlama "Deccan Traps" adı verilen lav akıntılarını oluşturmuştur. Deccan Traps ile Chicxulub Krateri tam olarak Dünya'nın zıt taraflarında olmasalar da, Deccan Traps'ın karşı tarafında Pasifik Okyanusu'nun doğusunda deniz dibinde bulunan izler bir çarpmanın kanıtları olabilir. Bazı bilim insanlarının öne sürdüğü gibi birden fazla meteor çarpması aynı zamanda da meydana gelmiş olabilir.

Ancak hâlâ kurbağaların, timsahların, kaplumbağaların, deniz türlerinin ya da memelilerin yaşamlarını nasıl sürdürdüklerini bilemiyoruz.

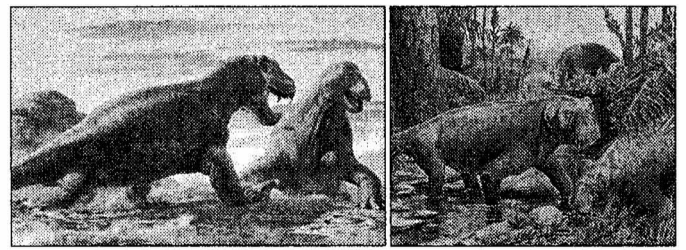
6.5. MEMELİLERİN GELİŞİMİ

45 | Memeliler nasıl ortaya çıktı?

Bizim de içinde bulunduğumuz "memeliler sınıfının" dünya üzerinde ortaya çıkışını ve yayılmalarını daha iyi kavrayabilmek için, zamanda biraz daha geriye gitmek gerekiyor. Yaşamın karalarda olmadığı, sadece okyanuslarda bulunduğu zamandan başlayabiliriz.

Önce balıklar ve sudan karaya çıkış

Günümüzden 510 milyon yıl önce "balıklar" denizlerde ortaya çıktı. O dönemde yaşam sadece suda bulunuyordu. 350 myö de öncelikle bazı böcek ve bitkiler karada



Şekil 127. Memeli benzeri sürüngenlerden 260 myö yaşayan *Anteosaurus* (5-6 m boyunda ve 500-600 kg ağırlığında, etçil) ve 250 myö yaşayan *Lystrosaurus* (1 m boyunda otçul) bu dönemin örnekleri arasında gösterilebilir.

gelişmeye başladı ve devam eden 50 milyon yıl boyunca da çoğalarak sonradan gelecek avcı canlılar için zengin bir menü oluşturdular. Kısacası, sonradan gelecek daha farklı ve yeni türler için karalar hazır hale geliyordu.

Sonunda bazı balıkların yüzgeçleri bacaklara dönüştü, zaman içerisinde akciğer yapısı geliştirdiler ve sudan karaya geçiş başlamış oldu. 41. Soruda, sudan karaya geçişten daha detaylı olarak söz etmiştik.

Devam eden 10 milyon yıl içerisinde amfibilerden (suda ve karada yaşayabilen canlılar, iki-yaşamlılar) ilk sürüngenler evrilmeye başladı. Bu ilk sürüngenlerden evrimleşen gruplar arasında timsahlar, dinozorlar, kuşlar ve memeli-benzeri sürüngenler vardı.

İşte memelilerin evrimindeki ilk aşama, ilk defa 285 milyon yıl önce ortaya çıkan "memeli benzeri sürüngenlerdir" Hızlı bir şekilde evrimleştiler ve çok farklı gruplar oluşturdular. Sürüngen oldukları halde memeli benzeri özelliklere sahiptiler. (Şekil 127) Memelilerin de bu gruplardan bazılarının devamı şeklinde ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Memeli benzeri sürüngenler, Permiyen Dönemi'nin sonuna, 245 milyon yıl öncesine kadar oldukça başarılıydı, ancak tüm dünyayı etkileyen büyük bir felaket sonucu türlerin tamamına yakını ortadan kalktı. Meydana gelen diğer büyük felaketlerde olduğu gibi yeni ve farklı canlılar hızlıca ortaya çıktı ve yok olan organizmaların bıraktığı boşluğu doldurdular. Yeni gelenler arasında ilk dinozor-



Şekil 128. Memeli benzeri sürüngenlerle ilkel memeliler arasında benzerliği gösteren bir çizim.

lar ve sonraki birkaç milyon yıl sonra da ilk memeliler vardı. (Şekil 128)

İlk basit memeliler

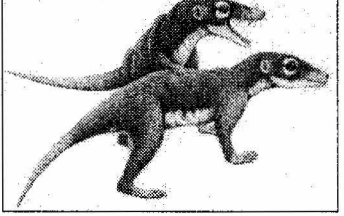
İlk memelinin hangi canlı olduğu bilinmese de, *Morganucodon* cinsi ve özellikle *Morganucodon watsoni* türü ilk memeli türlerinden biridir. 10 cm uzunluğunda, sansara benzer hayvanın ilk fosilleri Galler ve İngiltere'de ve sonra da Çin, Hindistan, Kuzey Amerika, Güney Afrika ve Batı Avrupa'da bulundu. Günümüzden 200-210 myö yaşadığı düşünülüyor. Bu ilk memeliler küçük, böcekle beslenen, geceleri avlanan, kıllı ve sıcakkanlı canlılardı. (Şekil 129)

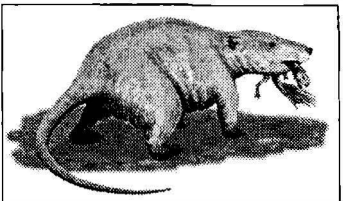
Dinozorların gölgesinde

Jura (Jurasik) Devri boyunca memeliler küçük boyutlarda kalmaya devam etti. Geceleri avlandılar. Dinozorların ayakları arasında yaşadıkları söylenebilir. Büyük ihtimalle çoğalmak için yumurtluyorlardı.

Jura Devri sonlarında yaşamış sekiz temel memeli kolu biliniyor. Jurasik sonlarına doğru "multituberculate" adı verilen ufak kemirgen benzeri memeliler ortaya çıktı. Bunlar en başarılı ilkel memeli gruplarından biridir ve günümüzden 30 milyon yıl öncesine kadar, yani 130 milyon yıl boyunca yaşamlarını sürdürmüşlerdir. Bu grubun

Şekil 129. *Morganucodon* büyük bir fare boyutunda kürklü bir hayvandı ve modern memelilere benziyordu.





Şekil 130. *Repenomamus*'un küçük dinozorlarla beslendiği düşünülüyor.

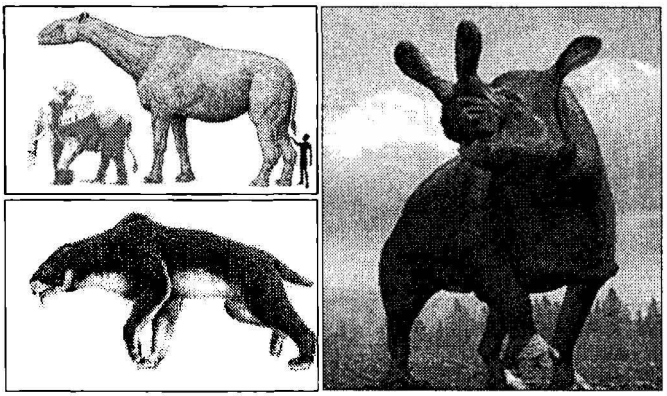
daha sonra gelen bazı türlerinde kese benzeri yapılar bulunuyordu. Yavrular olgunlaşmadan doğurulup, kese içinde büyütülüyor olmalıdır.

Memeliler, Jura Devri boyunca genel olarak dinozorların gölgesinde kalsalar da, 13 kg ağırlığa kadar çıkan örnekleri olmuştur. Kretase Dönemi'nin ilk zamanlarında (130 myö) yaşayan etçil memeli *Repenomamus robustus*'un küçük dinozorları avladığı bilinmektedir. (Şekil 130)

Dinozorların sonu ve memelilerin yükselişi

Kretase Dönemi sonlarına doğru yaşamını sürdüren bildiğimiz 15 memeli grubu bulunuyordu. Ancak bu dönemin sonunda yaşanan felaket sonucu türlerin büyük kısmı ortadan yok oldu. 44. Soruda ayrıntılı olarak söz ettiğimiz gibi, K-T sınırı (Kretase-Tersiyer sınırı) diye anılan bu olayın nedeni tam olarak bilinmese de, Dünya'ya çarpan bir meteor nedeniyle yaşanmış olabileceği üzerinde durulmaktadır. Bu felaket, dinozor ve uçan sürüngenlerin sonunu getirmiştir. Felaketle birlikte ortadan kalkan türlerin boşalttığı habitatlara yeni gelen türler yerleşmiştir. Bu durumdan en iyi yararlanan grup memeliler olmuştur. Felaket sonrası soyunu sürdürebilen 10 memeli grubu, devam eden 15 milyon yıl içinde 78 farklı memeli ailesine dallanmıştır. Paleojen Dönemi başlarında, farklı cins sayısı 40'tan 200'e kadar çıkmıştır. Paleojen Dönemi ortalarına doğru ise (45 myö), bugün var olan temel memeli gruplarının tümü ortaya çıkmıştı. Örneğin, primatlar 65 myö ortaya çıkmıştı.

Görüleceği gibi dünya üzerinde sürekli olarak baskın olan bir tür yok. Çok başarılı türler bile farklı nedenlerle ortadan kalkmış ve yerlerini yeni türlere bırakmışlardır. Jura ve Kretase Devirleri (150 milyon yıl) dinozorların



Şekil 131. Dev *Indricotherium*, çift boynuzlu *Brontotherium* ve kılıç dişli *Smilodon*, dinozorların yokluğunda rahatça gelişen ve çeşitlenen memelilere örneklerdendir. Şekiller birbiriyle ölçekli değildir.

baskın olduğu dönemdi. Bu dönemlerde memeliler de ortaya çıktıkları halde, dinozorların hâkimiyeti altında kaldılar ve rahatça gelişecekleri bir ortam bulamadılar. Ancak Tersiyer Dönemi, memelilerin dönemi oldu. Dinozorlar ortadan çekilmişti ve memelilere çok farklı şekillere ve boyutlara varabilecekleri bir şans kapısı açılmıştı. O dönemden günümüze kadar geçen sürede memeliler baskın sınıf olarak devam etse de, geçtiğimiz 10 milyon yıl içerisinde 24 temel memeli grubundan 6'sının soyu tükenmiştir. Bunun nedenini tam olarak bilmiyoruz.

Paleojen Dönem sonları ve Neojen Dönemi'nden (30-5 milyon yıl öncesi) kalma çok miktarda fosil elde edildi. Bunlar arasında, omuz yüksekliği 5,4 m olan dev kara memelisi *Indricotherium* da bulunuyor. Çift boynuzlu, bir fil boyutlarındaki *Brontotherium*, dev kılıç dişli kedi *Smilodon* türleri sonradan tükenen memelilerdendir. Bu türler memelilerin ulaştıkları farklı boyut ve şekiller hakkında bize fikir verebilir. (Şekil 131)

6.6. İNSANIN EVRİMİ

46 İnsan nasıl evrimleşti?

Dünya üzerinde ilk canlılığın gelişmeye başlamasının üzerinden milyarlarca yıl geçtiği halde, bizim türümüz olan insanın tarihi sadece 6-7 milyon yıl geriye giden bir süreç. Bu süre, Dünya'nın ve üzerindeki canlılığın yaşları dikkate alındığında çok kısa bir zaman dilimi.

Her ne kadar kendimizi dünyanın efendisi olarak görme fikri hoşumuza gitse de, dünya üzerinde yaşamış milyonlarca farklı türden sadece birisiyiz. Buna karşın, dünyayı ve üzerindeki canlıları bu derece kökten etkileyebilen bir başka canlı türü daha olmamıştır kuşkusuz.

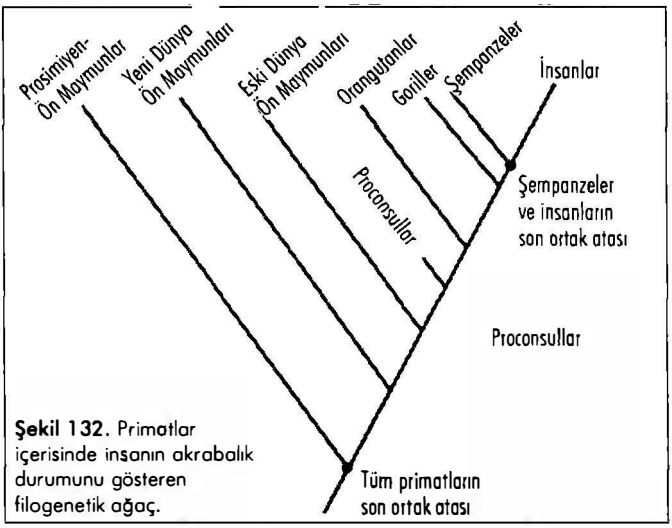
Öncelikle şu bilinmelidir ki, insan dünya üzerinde birden ortaya çıkmadı. Milyonlarca yıl süren evrimsel değişimler sonucunda bugünkü halini aldı. Zaman içerisinde her köşesine yayılarak, dünyanın geleceğini kökten etkileyen birinci faktör haline geldi.

Evrimsel biyologlar insanın evriminin nasıl gerçekleştiğini ortaya koymak için sayısız araştırma gerçekleştirdi. Bu çalışma alanı sürekli olarak gelişen ve yeni bulgularla şekillenen bir alan. Yeni kanıtlar, bulgularla ortaya konulan yeni hipotezler test ediliyor, doğrulanıyor ya da değiştiriliyor; ancak ilerleme devam ediyor.

İnsanın dünya üzerindeki yolculuğu:

İnsansı türlerden modern insana hangi aşamalardan geçildi?

İnsan doğanın bir parçasıdır ve daha önce yaşamış türlerden evrilerek ortaya çıkmıştır. İnsanın akrabası olarak tek bir türden bahsedemeyiz. Her canlı türü ile akrabalık bağımız bulunur. Önemli olan zamanda ne kadar geriye gittiğimizdir. Diğer canlılar arasında, insanları bir gruba



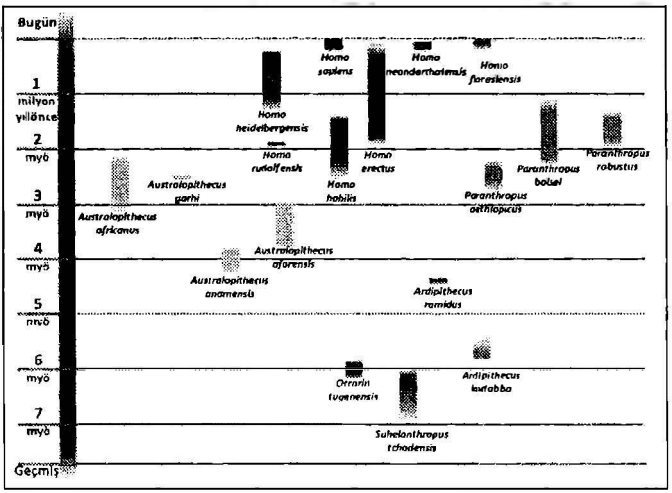
Şekil 132. Primatlar içerisinde insanın akrabalık durumunu gösteren filogenetik ağaç.

koymak gerekirse, bu grup "primatlar" olacaktır. Bu grubun üyeleri ile akrabalığımızın diğer canlı türleri ile olan akrabalığımızdan daha fazla olduğu bilimsel olarak tartışma götürmeyecek şekilde ispatlanmıştır. (Şekil 132)

Primat takımı temel olarak iki alt gruba ayrılır: nemli burunlu maymunlar ve kuru burunlu maymunlar. İlkel maymunlar, eski dünya maymunları, yeni dünya maymunları, gibonlar, orangutanlar, goriller, şempanzeler ve insansılar da primatlar içerisinde yer alır. İnsansılarla şempanzeler arasındaki ayrım, günümüzden 6-7 myö Afrika'da gerçekleşmiştir. Ancak ayrım gerçekleştikten sonra, doğrudan bizim türümüz olan *Homo sapiens*'e gelinmemiştir. Şempanzelerle ayrım gerçekleştikten sonra insansılar, günümüzde yok olmuş birçok yeni tür oluşturmuş, devam eden zaman içerisinde de günümüz modern insanlarına gelinmiştir.

İnsansı ailesi

6 milyon yıl öncesinden günümüze kadar birçok farklı insansı türü ortaya çıktı ve zaman içerisinde de yok oldu. Şekil 133'de insansı türlerin ortaya çıkış zamanları görülebilir.



Şekil 133. İnsan ile şempanze arasındaki son ortak atadan itibaren ortaya çıkan insansı türler.

Bu türler birbirlerinden temel özellikler bakımından ayrılıyordu. Şimdi bu türlerden, nerede ve ne zaman yaşadıklarından kısaca söz edelim.

1) ***Sahelanthropus tchadensis:*** Bilinen en eski insan türlerinden biridir. Günümüzden 6-7 myö Orta-Batı Afrika'da yaşamıştır. Maymun ve insan benzeri özellikleri birlikte barındırdığı söylenebilir. Küçük bir beyin, eğimli bir yüz, belirgin kaş çıkıntısı ve uzun bir kafatası yanında, ufak köpekdişi, küçük bir yüz yapısı ve maymunların aksine sırt yerine kafatasının altından başlayan bir omuriliğe sahiptir. İki ayağı üzerinde dik olarak yürüyebildiği ihtimali yüksektir.

2) ***Orrorin tugenensis:*** 6 milyon yıl kadar önce Doğu Afrika'da yaşamıştır. Bir şempanze büyüklüğündedir ve insanda olduğu gibi küçük dişlerle birlikte kalın bir diş minesine sahiptir. Ağaçlara tırmanmanın yanında yerde iki bacakları üzerinde yürüyor olması yüksek ihtimaldir. Uylukkemiğinin yapı ve bağlantısı iki ayak üzerinde hareket eden hayvanlara benzerlik gösterir.

3) ***Ardipithecus kadabba:*** İki ayağı üzerinde dik olarak yürümektedir. Modern şempanze ile aynı boya ve beyin hacmine sahiptir.

4) ***Ardipithecus ramidus:*** Yaklaşık 4,4 myö Doğu Afrika'da yaşamıştır. İlk defa 1994'de ortaya çıkarılan türe "Ardi" ismi verilmiştir. Ağaçlara tırmanma ve iki ayak üzerinde dik yürüme özelliklerini birlikte içermektedir. Bilim insanlarına göre Ardi, insan ve Afrika maymunun şempanze benzeri olmayan son ortak atasıdır.

5) ***Australopithecus anamensis:*** 4,2-3,9 myö Doğu Afrika'da yaşamıştır. Maymun ve insan özelliklerinin karışımına sahiptir. Bilek eklemleri, incikkemiği yapısı düzenli şekilde iki ayak üzerinde dik yürüdüğünü; uzun kolları ve el bilek kemikleri de yüksek ihtimalle ağaçlara tırmanabildiğini göstermektedir.

6) ***Australopithecus afarensis:*** En uzun süre var olmuş ve en iyi bilinen ilk insan türlerinden biridir. Türün 300'den fazla üyesinin fosili çıkarılmıştır. 3,85-2,95 myö Doğu Afrika'da yaşamıştır ve 900.000 yıldan fazla varlığını sürdürmüştür. Ünlü Lucy fosili de bu türün bir örneğidir. Maymun ve insan benzeri özellikleri birlikte barındırır. Maymun benzeri yüz yapısına ve beyin boşluğuna (hacim olarak da) ve uzun güçlü kollara ve kıvrımlı parmaklara sahiptir. Bunlar ağaçlara tırmanmak için gerekli özelliklerdendir. Bunun yanında küçük köpekdişleri bulunur ve düzenli olarak iki ayak üzerinde dik olarak yürür.

7) ***Australopithecus garhi:*** Çok fazla bilgiye sahip olmasak da yaklaşık 2,5 myö Doğu Afrika civarında yaşadığı bilinmektedir. Uzun bir uylukkemiğine ve kuvvetli kollara sahiptir.

8) ***Paranthropus aethiopicus:*** 2,7-2,3 myö Doğu Afrika civarında yaşamıştır. Hakkında çok fazla bilgiye sahip değiliz. Öne çıkık bir yüze, mega bir dişe, kuvvetli bir çeneye sahip olması çiğneme kaslarının geliştiğini gösteriyor.

9) ***Australopithecus africanus:*** Yaklaşık 3,3-2,1 myö Güney Afrika'da yaşamıştır. Anatomik olarak *Australopithecus afarensis* ile benzerlik gösterir. Maymun ve insan benzeri özellikleri birlikte taşır. Ancak daha geniş bir beyin ve daha küçük dişlere sahiptir. Uzun kolludur ve eğimli bir yüzü vardır. İki ayak üzerinde yürüyebildiği gibi ağaçlara da tırmanabilmektedir.

10) ***Homo rudolfensis:*** Yaklaşık 1,9-1,8 myö Doğu Afrika'da yaşamıştır. 775 cm^3 gibi daha öncekilere göre geniş bir beyin hacmine sahiptir.

11) ***Homo habilis:*** Yaklaşık 2,4-1,4 myö Doğu ve Güney Afrika'da yaşamıştır. *Homo* cinsinin ilk örneklerinden biridir. Daha önceki insansı türlerine oranla daha geniş bir beyin boşluğuna ve daha küçük bir yüze ve dişlere sahiptir. Beyin hacmi genişlemiştir. Bunun yanında uzun kol, öne çıkık çene gibi maymunsu özellikleri de taşır.

Bu tür, taştan alet yapan ilk tür olarak kabul edildiğinden "handy man" olarak da adlandırılır.

12) ***Paranthropus robustus:*** 1,8-1,2 myö, Güney Afrika'da yaşamıştır. Büyük bir çene dişine sahiptir ve çiğnemeyi çenenin arkası ile yapar. Geniş ve tabak şeklinde bir yüze çenenin arkasında yoğunlaşmış çiğnemeyi sağlayan diş yapısına ve kalın mine tabakasına sahiptir. Bu sayede de fibrilli yiyecekleri ezerek parçalayabilirler.

13) ***Paranthropus boisei:*** 2,3-1,2 myö Doğu Afrika civarında yaşamıştır. Ayırt edici özelliği, diğer *Paranthropus* cinsi üyelerinde olduğu gibi, yoğun çiğnemeye uygun gelişmiş kafatası yapısıdır. Özellikle gerideki büyük dişler çiğneme sırasında gerekli kuvveti uygulayabilir. Çok geniş ve tabak şeklinde bir yüze sahiptir. Geçmiş 1 milyon yıllık sürede beyin hacminde 100 cm^3'lük bir artış görülmüştür.

14) ***Homo heidelbergensis:*** 700.000-200.000 yıl önce Avrupa'da, Asya'da (Çin), Güney ve Doğu Afrika'da yaşamıştır. Bu ilk insan türü büyük bir kaş kemiği, büyük bir beyin kafesi ve daha önceki insansı türlerden daha düz bir yüze sahiptir. Soğuk iklimlerde yaşayan ilk insansı türdür ve ısı kaybını azaltmak için vücut yapıları kısa ve geniştir. Rutin olarak avcılık yapan ilk türdür. Ateşi ve ağaçtan yapılmış mızrakları kullanabilir. Aynı şekilde basit de olsa ilk barınak yapan türdür.

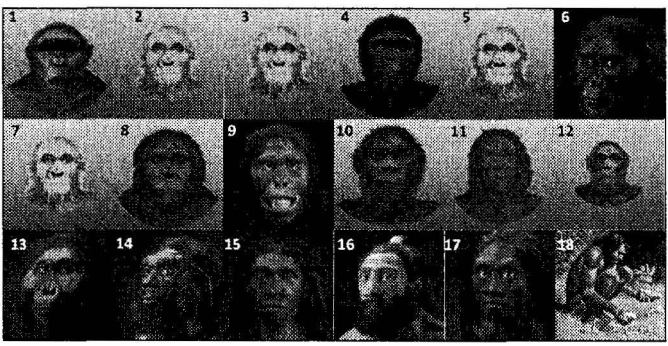
15) ***Homo erectus:*** 1,89 milyon yıl öncesinden 70.000 yıl öncesine kadar Kuzey, Doğu ve Güney Afrika'da, Batı Asya'da ve Doğu Asya'da yaşamıştır.

İlk Afrika *Homo erectus* fosilleri, modern insan vücut

yapısına benzeyen en eski türdür. Görece uzun bacaklar ve gövdeye oranla kısa kollar ağaçlar yerine yerde süren bir yaşam için gelişen adaptasyonlardır. Zamanın çoğunu yerde geçiren, uzun mesafeler yürüyen ve koşabilen bir türdü. Önceki türlerdekine göre, yüz boyutuna göre daha büyük bir beyin kâsesi bulunuyordu. Bu türden bilinen en korunmuş örnek "Turkana çocuğu" olarak adlandırılan ve günümüzden 1,6 myö yaşamış bir örnektir. Dişler üzerine yapılan araştırmalar bu türün büyüme hızının büyük maymunlardakine benzer olduğunu gösteriyor. Fosil bulguları, bu türün yaşlı ve zayıf bireylerinin bakımıyla ilgilendiğini gösteriyor. *Homo erectus* türünün ortaya çıktığı zamanlar, aynı zamanda taştan alet teknolojisinin ilk büyük buluşlarından olan el baltalarının da ortaya çıktığı dönemlerdir. *Homo erectus* Afrika'ya ve Asya'ya yayılmıştır. İlk insan türlerinden dünya üzerinde varlığını en uzun zaman sürdüren türdür.

16) ***Homo neanderthalensis:*** Günümüzden 200.000-28.000 yıl öncesinde Avrupa'da Güneybatı Asya'dan Orta Asya'ya kadar olan bölgede yaşamıştır. Soyu tükenmiş insan türleri arasında bize en yakın akraba olanlar *Neandertal*lerdir. Bize göre daha kısa ve tıknaz bir vücut yapısına sahiptir. Bu şekilde daha soğuk iklimlerde yaşamaya uyum sağlamıştır. Beyin hacimleri bizimki kadar vardır, ancak beynin vücuda oranı bizden daha fazladır. Karma-

Şekil 134. Şempanze ile ayrımdan sonra, modern insana kadar ortaya çıkan insansı türler.



şık aletler kullanmış, ateşi kontrol etmiş, barınaklarda yaşamış, giysi yapmış ve giymişlerdir. Büyük hayvanları ustalıkla avlıyor, aynı zamanda bitki de yiyorlardı. Sembolik nesneler de yapıyorlardı. Ölülerini gömdüklerine ve mezarlara sundukları çiçek gibi nesnelerle ölülerini andıklarına dair bulgular vardır. Diğer hiçbir primat ya da ilk insan türü bu derece komplike ve sembolik bir hayat tarzına sahip değildi.

Bir düzineden fazla *Neandertal* fosilinden elde edilen DNA örneği sayesinde, Neandertal Genom Projesi yürütülmüş ve DNA yapıları ortaya konmuştur.

17) ***Homo floresiensis:*** Günümüzden 95.000-17.000 yıl öncesinde Asya'da (Endonezya'da) yaşamıştır. En son keşfedilen insan türü olan *Homo floresiensis* 90-180 cm boyunda, küçük beyinli, boyutlarına göre büyük dişlere sahip, kısa bacaklarına oranla büyük ayaklara sahip bir türdür. Taş aletler yapmış ve kullanmıştır. Küçük filleri ve büyük kemirgenleri avlamış, yüksek ihtimalle ateş de kullanmıştır.

18) ***Homo sapiens:*** Bizim türümüz olan *Homo sapiens* günümüzden 200.000 yıl kadar önce Afrika'da evrimleşmiş ve dünyanın her yanma yayılmıştır. (Şekil 134)

47 | İnsanın evrimindeki temel aşamalar nelerdir? İnsan dünyaya nasıl yayıldı?

Şimdi, insanın 6-7 milyon yıllık hikâyesinin ana kısımları üzerinde duracağız. Yeterli zaman verildiğinde fiziksel ve davranışsal olarak nasıl evrildiğimizi, dünyaya yayıldığımızı, teknolojiyi geliştirerek diğer türlere nasıl hâkimiyet kurduğumuzu bu kısımda daha iyi anlayabiliriz.

7-6 myö: Son ortak atadan şempanze ve insanın ayrılması. Fosil ve genetik kanıtlar, insan ile şempanzenin son ortak atasının günümüzden 6-7 myö yaşadığını gösteriyor.

6 myö: İki bacak üzerinde yüründüğünü gösteren en

eski kanıtlar bu dönemden geliyor. İlk insan türlerinden *Sahelanthropus* ve *Orrorin tugenensis*, kısa bacakları üzerinde dik olarak yürümeye başladı. Dik bir şekilde yürümek bu türlerin farklı habitatlarda (ormanlar ve çayırlarda) yaşamını sürdürebilmesine olanak sağlamıştır.

İlk insan türlerinin vücut yapıları daha küçüktü ve genellikle de uzun kollara ve kısa bacaklara sahiptiler. Bitkiye dayanan besin diyetleri geniş bir sindirim sistemi gerektiriyordu. Geniş bir kaburga kafesi içerisinde bulunan mide, bağırsaklar ve diğer organlar besini parçalamaya yarar.

6-3 myö: İlk insan türleri küçük vücut yapısına ve büyük bir sindirim sistemine sahipti.

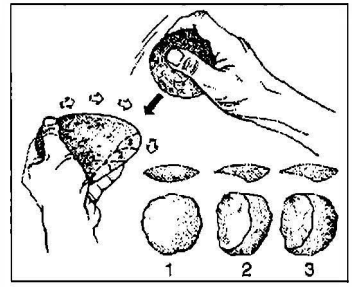
6-2 myö: Bu dönem boyunca ilk insanlar dik olarak yürümeye ve basit el aletleri yapmaya başladı. Beyin hacminde yavaş da olsa artış gözlemlendi.

4 myö: Bu dönemdeki ilk insan türleri (*Australopithecus anamensis*) çoğunlukla sık ağaçlık ya da açık alanlarda yaşadı. Bulunan örneklerin vücut yapıları, türün zamanının çoğunu iki ayağı üzerinde geçirdiğini, ancak ağaçlara da tırmanabildiğini gösteriyor.

3,5-3 myö: Farklı *Australopithecus* türleri Afrika'nın güneylerinden Doğu ve Kuzey Afrika'ya doğru yayılmaya başladı.

2,6 myö: **Teknolojinin doğuşu.** Yapılan ilk aletler şekillendirilmiş basit taş parçalarıydı. Çekiç taşları kullanılarak taş parçaları keskinleştirildi. İlk insanlar devam eden 2 milyon yıl boyunca yaptıkları basit aletleri birer bıçak, çekiç ya da tokmak gibi kullandı. (Şekil 135) Büyük hayvanların etlerini bu aletler yardımıyla ufak parçalara ayırarak yenebilir duruma getiriyorlardı.

Şekil 135. Basit el aletleri yontulabilir taşlar ve kemikler kullanılarak yapılmaya başlandı.



2,6-1,8 myö: Sosyal ya-

şamın gelişmeye başlaması. Bazı ilk insan grupları farklı yerlerden basit araç-gereçler ve besini toplamaya ve sıklıkla tercih ettikleri uyuma ve yemek yeme noktalarına getirmeye başladı. Hayati önem taşıyan kaynakların diğer grup üyeleri ile paylaşılması, bireyler arasında daha güçlü sosyal bağların oluşmasını ve sonuç olarak da grubun devamlılığını sürdürmesini sağladı.

2 milyon-800.000 yıl önce: Bu dönemde ilk insanlar dünyanın çok farklı yerlerine yayıldı. Bunun sonucunda da vücut boyutlarındaki artışla beraber beyin hacimlerinde de artış gerçekleşti.

1,9 myö: Tümüyle iki ayak üzerinde. *Homo erectus*'un leğenkemiği ve uylukkemiği modern insanınkine benzemektedir. Bu da bu türün uzun mesafeleri yürüyebildiğini gösterir. Bu dönemde bu özellik oldukça avantajlıydı. Doğu Afrika'nın çevresel özellikleri oldukça değişkendi. Nemli ya da kuru zamanlar arasında dalgalanmalar çok yaşanıyordu ve açık çalılıklar yayılmaya başlamıştı.

Sıcak bölgelere uyum sağlayan ilk insan türleri daha dar vücut yapısı geliştirdi. Bu yolla vücudun daha serin kalması sağlandı. Uzun bacakların gelişmesi daha uzun mesafelere gidilebilmesini kolaylaştırdı. Et gibi daha hızlı sindirilebilen besinlerin yenilmesiyle sindirim sistemi küçülmeye başladı. Bu yolla da daha uzun vücut ve geniş beyin için gerekli enerji de sağlanmış oluyordu.

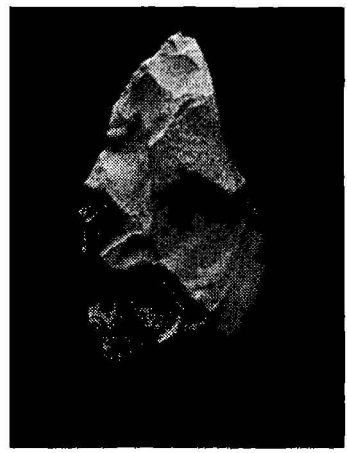
1,8-1,5 myö: İlk insanlar kemiğe şekil vererek basit aletler yapmaya başladı. Örneğin protein bakımından zengin olan termitlerin yuvalarını kazmak için sivriltilmiş kemikler kullanılıyordu.

1,78 myö: İlk insanlar Afrika'nın dışındaki bölgelere de yayılmaya başladı. 1,7 myö Doğu Asya'ya, 1,66 myö de Kuzeydoğu ve Güneydoğu Asya'ya ulaştılar.

1,6 myö: El baltaları. Büyük taşlara şekil verilerek ilk baltalar yapılmaya başlandı. Çok amaçlı kullanılabilen taş baltalar devam eden 1,5 milyon yıl boyunca dünyanın çok yerinde kullanıldı.(Şekil 136)

1,3 myö: *Homo* cinsi Avrupa'ya yayılmaya başladı.

800.000 yıl önce: Ateş. Ateşin kontrol edilmeye baş-



Şekil 136. Çin'de bulunan yaklaşık 803.000 yıllık el baltası.

lanması ile insanlar için birçok yarar elde edildi. Besinler pişirilmeye başlandı. Ateş çevresinde oluşturulan kamp bölgelerinde bir araya gelen bireyler arasında sosyalleşme hızlandı. Daha rahat ve sıcak bir ortamla birlikte avcı hayvanlara karşı güvenli bir ortam da oluşturulmuş oldu.

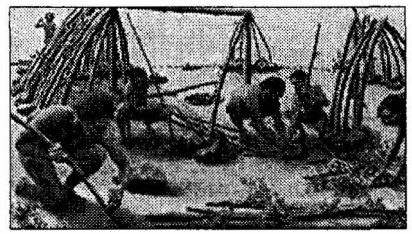
800.000-200.000 yıl önce: **Beyin hacminde hızlı artış.** İnsan beyin hacminin en hızlı artışı, iklimin sıra dışı değiştiği zamanlarda gerçekleşmiştir. Daha geniş ve karmaşık beyin yapısı, bu zaman boyunca, ilk insanların birbirleriyle daha yeni ve farklı yollarla etkileşime girmesini sağlamıştır. Çevre şartları tahmin edilemez olduğu sürece, geniş beyin yapısı ilk insanların yaşamlarını sürdürmesini sağlamıştır.

500.000 yıl önce: Kemikten yapılmış mızraklar kullanılarak büyük hayvanlar avlanmaya başlandı.

500.000-160.000 yıl önce: İlk insanlar daha geniş beyinler geliştirmişti bile. Yeni doğan bebeklerin beyinleri daha küçüktü ve böylece doğum kanalından daha kolay geçiyorlardı. Uzun çocukluk döneminde beyin büyümeye devam ediyordu. Ergenlik döneminde de gençler yetişkinlikle beraber gelecek zorluklara hazırlanmaya devam etti.

400.000 yıl önce: Ağaçtan yapılmış mızraklar ile tehlikeli hayvanlara güvenli bir mesafede durarak yaklaşılabiliyordu. Soğuk iklimlere yayılan türlerin vücut yapısı da kısaldı ve genişledi. Bu yolla da vücuttaki ısı korunmuş oldu.

İlk barınaklar: Bu dönemde ilk barınaklar oluşturulmaya başlandı. İnsanların ateşin çevresinde bir araya gel-



Şekil 137. Tarihöncesinde barınaklar, insanlar için korunaklı bir ortam sağladı.

dikleri bölgelerde yaptıkları bazı barınakların boyu 15 metreye kadar ulaştı. (Şekil 137)

250.000 yıl önce: Semboller yoluyla haberleşmeye başladılar.

200.000 yıl önce: ***Homo sapiens.*** Modern insanlar Afrika'da, iklimde meydana gelen büyük dalgalanmalar zamanında evrimleşti. Modern insanlar da ilk insanlar gibi besini topladı ve aynı zamanda avcılık da yaptı. Çevreden gelen güçlükler karşısında yaşamlarını sürdürmelerini sağlayan davranışlar geliştirdiler.

İlk modern insanlar dünya üzerinde en az üç farklı ilk insan türüyle aynı anda yaşadı. Zaman içerisinde, modern insanlar dünya üzerinde yayıldıkça, diğer üç tür ortadan kalktı. İnsan aile ağacından geriye bir tek bizim türümüz kaldı.

160.000-135.000 yıl önce: Afrika'da yaşayan dört farklı avcı-toplayıcı grubu güneye Ümit Burnu'na, Güney Batı'ya Kongo Havzası'na ve batıda Fildişi Sahili'ne doğru ilerledi.

125.000 yıl önce: Bir grup kuzeye yönelip Sahara'yı geçerek Nil ve Doğu Akdeniz'e ulaştı. Ancak bu grup 90.000 yıl önce iklim koşulları yüzünden yok oldu. Bu dönemde gerçekleşen küresel soğuma sonucu bu bölge ve Kuzey Afrika yaşanmayacak bir çöl haline gelmişti. Bu bölgeye daha sonra *Neandertal*ler yerleşti.

100.000 yıl önce: Kuş gibi hızlı ya da mamut gibi tehlikeli hayvanları avlamak için mızraklar geliştirildi. Bu dönemde insanlar ölen yakınları için mezarlar yapmaya başladı.

90.000-70.000 yıl önce: Çengel görevi gören basit aletlerle balık avlamaya başladılar. Örneğin, tarihöncesi kedibalığı 60-70 kg arası geliyordu ve bu balığın avlanması önemli bir besin kaynağıydı. (Şekil 138)

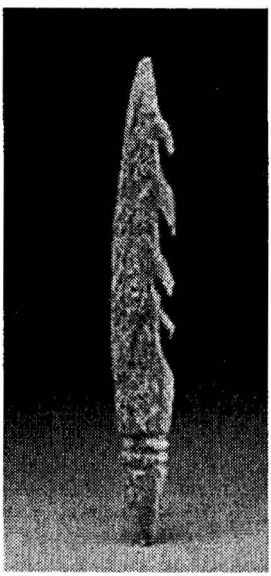
85.000 yıl önce: Bir grup Kızıl Deniz'in ağzından (Gates of Grief) geçerek Arap Yarımadası'nın kıyısı boyunca ilerleyerek Hindistan'a doğru göç etti. Afrika dışındaki tüm insanlar, bu koldan gelen insanlardan türediler.

85.000-75.000 yıl önce: Asya'nın güney kıyılarından ilerleyerek Sri Lanka'dan bir zamanlar Asya'ya bağlı olan Batı Endonezya'ya geçtiler. Buradan Borneo'ya ve Güney Çin'e doğru devam ettiler.

74.000 yıl önce: Yok olmanın kıyısında! Toba Dağı volkanik süper patlaması sonucu altı yıl süren nükleer kış ve devam eden binyıl boyunca da buz devri yaşandı. Bu zaman sonunda insan nüfusu 10.000'e kadar düştü. Patlama nedeniyle Hindistan ve Pakistan 5 m kül altında kalmıştı. Devam eden 10.000 yıl boyunca popülasyonda artış devam etti. Avustralya ve Yeni Gine'ye kadar yayıldılar.

70.000 yıl önce: *Homo erectus* türü yok oldu.

Şekil 138. Orta Afrika'daki insanlar tarihöncesi kedibalığını yakalamak için ucu dikenli mızraklar kullandı.



60.000-40.000 yıl önce: Kalıcı resimler ürettiler.

52.000 yıl önce: İklimin hızlı şekilde ısınmasıyla birlikte, kuzeyde Bereketli Hilal ve Doğu Akdeniz'e doğru yerleşim başladı. 52.000-45.000 yıl önce görülen mini buz çağında Türkiye'den Bulgaristan'a ve oradan da Avrupa'ya yayılma devam ettiler. Modern insanlar daha hafif vücut yapısına evrimleşti. Aynı dönemde Avustralya'ya da ulaştılar.

45.000-40.000 yıl önce: Doğu Asya kıyısındaki gruplar Kuzey Asya üzerinden Orta Asya steplerine doğru yayıldı. Pakistan'dan Orta Asya'ya, Hindi Çin'den Tibet yoluyla Qing Hai Platosu'na ulaştılar. Boyama ve basit heykel yapımı gelişmeye başladı.

40.000-25.000 yıl önce: Orta Asyalı gruplar batıda Doğu Asya'ya doğru, kuzeyde Arktik çembere doğru yayılarak Doğu Asya'dan gelenlerle birlikte Kuzeydoğu Avrasya'ya ulaştılar.

35.000 yıl önce: İlk basit müzik aletleri geliştirildi.

30.000-24.000 yıl önce: Daha sıkı yapılmış giyecekler geliştirildi.

28.000 yıl önce: *Neandertal*lerin (*Homo neanderthalensis*) soyu tükendi.

25.000-22.000 yıl önce: Yerli Amerikanların ataları Bering Boğazı'ndan geçerek Alaska'ya ve Kuzey Amerika'ya ulaştı.

26.000-17.000 yıl önce: 26.000 yıl kadar önce, bitki liflerini kullanarak şeritler ve sepetler yapmaya başladılar. 18.000 yıl kadar önce de, Japonya'da, çömlek yapımı başladı, Kuzey Amerika'daki gruplar Güney Amerika'ya kadar yayıldılar.

17.000 yıl önce: *Homo floresiensis*'in soyu tükendi. Böylece dünya üzerindeki tek insan türü *Homo sapiens* kalmış oldu.

12.000 yıl önce: Dönüm noktası. İnsanlar sonunda bazı bitki ve hayvanları büyütebileceklerini ve çiftleştirebileceklerini fark etti. Bunun sonucunda tarım ve hayvancılık gelişerek Dünya yüzeyinin şekillenmesinde çok önemli bir rol oynadı. 11.200 yıl önce Ürdün'de incir yetiştirildi.

11.000 yıl önce: Ürdün'de Erika Şehri büyümeye başladı.

10.500 yıl önce: Bitki ve hayvan evcilleştirilmeye başlandı. 10.000 yıl önce Afrika ve Ortadoğu'da inek evcilleştirilirken, Amerika'da kabak üretildi.

9500 yıl önce: Ortado-ğu'da ve Anadolu'da buğday ekilmeye başlandı. Türkiye'de Çatalhöyük bir şehir olarak gelişmeye başladı.

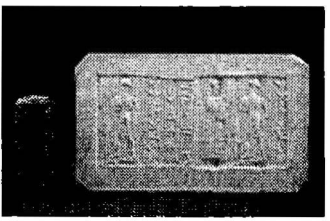
9000 yıl önce: Koyun Ortadoğu ve Anadolu'da yetiştirilmeye, pirinç Çin'de, mısır Kuzey Amerika'da üretilmeye başlandı.

8000 yıl önce: Kelime ve kavramları anlatmak için semboller kullanılmaya başlandı. (Şekil 139) Gerçek an-

lamda yazının kullanımı bunu takip eden birkaç bin yıl içerisinde gelişti. Tavuk Güneydoğu Asya'da evcilleştirildi.

7000 yıl önce: Patates Güney Amerika'da, muz ise Güneydoğu Asya'da ekilmeye başlandı.

5600 yıl önce: At Avrasya'da evcilleştirildi.



Şekil 139. Asurlulara ait, üzerinde semboller bulunan silindir damga görülüyor.

3400-2700 yıl önce: 3500 yıl önce Hattuşa, 3400 yıl önce Atina, 3100 yıl önce ise Xi'an (Çin), 2600 yıl önce de Roma şehir olarak büyümeye başladı.

2000 yıl önce: İnsan popülasyonu 200 milyona ulaştı. Çay, Çin'de ekilmeye başlandı.

1959-1999: Sadece 40 yıl içerisinde insan nüfusu iki katma çıkarak 3 milyardan 6 milyara ulaştı.

1995: Dünya karasal alanının en az yüzde 83'ü, insanların doğrudan etkisi altında.

2012: Tahmin edilen insan nüfusu 7 milyar.

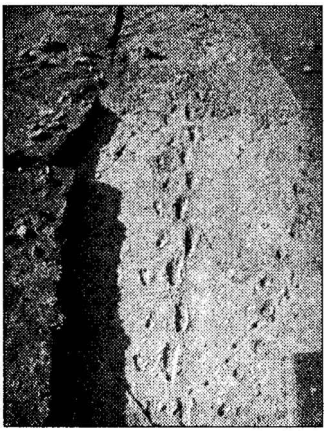
48 | İnsanın 6 milyon yıllık evriminin kanıtları nelerdir?

Araştırmacılar, milyonlarca yıllık bir zaman içerisinde, insanın hangi yollardan geçerek günümüze ulaştığını, hangi evrimsel aşamalardan geçtiğini, gösterdikleri sayısız kanıtlarla ortaya koyuyor. Bu kısımla ilgili kanıtların bir kısmına evrimin kanıtları sorularında yer verdik.

Bu kanıtları dört ana başlık altında inceleyebiliriz.

Davranışsal kanıtlar

Primat davranışı: İnsanlar primat adı verilen grubun bir üyesidir. Bu grupta bizimle birlikte lemurlar, maymunlar ve goriller gibi sosyal, zeki ve ellerini kullanmada



Şekil 140. 3,5 milyon yıldan daha önce, iki insansı Doğu Afrika'da yeni düşmüş külün üzerinde boydan boya dik olarak yürümüşlerdi. Ayak izlerinin üzeri, paleontologlar tarafından keşfedildiği 1978 yılına kadar, daha sonra dökülen küllerle kaplanmıştı. Bulundukları yerin adı verilen Laetoli ayak izleri, insanlara doğru giden soyda anahtar bir kazanım olan dik şekilde yürümenin ilk kanıtıdır.

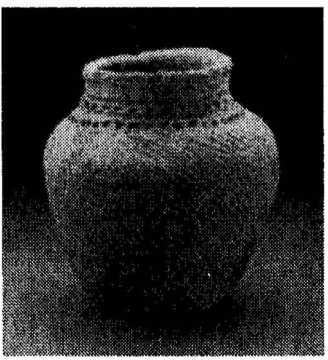
marifetli türler bulunmaktadır. Bu türlerde grup içerisinde sesli ve görsel olarak iletişim güçlüdür ve insanlarda olduğu gibi iki ayak üzerinde hareket etme de görülür.

Ayak izi fosilleri: Günümüze kadar ulaşan ayak izi fosilleri de türlerin davranışları hakkında bilgi verecektir. İzi bırakan insan türünün boyu, ağırlığı, yürüme tarzı ya da o sırada kaç kişi oldukları hakkında bilgi edinilebilir. İzin kaldığı bölgedeki çevresel şartlar ve varsa diğer hayvanların izleri de yaşam tarzı üzerinde fikir verecektir. (Şekil 140)

Tarihöncesi aletler: Tarih boyunca insansı türlerinin taş, kemik, ağaç ya da deriden yaptıkları basit aletler gün ışığına çıkarıldıkça; o türlerin nasıl yaşadığı, günlük olarak neler yaptığı, çevresiyle nasıl etkileşim halinde olduğu ve zaman içerisinde nasıl evrimleştiği hakkında bilgi sahibi olabiliriz.

Günümüzden milyonlarca yıl öncesinden kalan binlerce antik örnek, farklı arkeolojik kazı bölgelerinde ortaya çıkarıldı. Özellikle taş aletler zamanın etkilerinden daha az etkilendiği için bize önemli bilgiler sağlıyor. Zamanın teknolojisi, el becerisi, zihinsel becerinin gelişmişlik seviyesi ya da gerçekleştirilen yenilikler elde edilen bulgular yoluyla anlaşılabilir.

Milyonlarca taş alet, heykelcik, çekiç taşları, keskinleştirilmiş taşlar, kemik ya da taştan mızraklar, fildişinden süsler, çömlek ve sepetler, ayak izi ya da diğer izler, insanın zaman içerisindeki evrimsel gelişimi hakkında bizi bilgilendirir.



Şekil 141: Bilinen en eski çömlek Japonya'da bulunan resimdeki 18.000 yıllık çömlek.

Besini elde etmek ve taşımak: İlk insanlar besinlerini avlanarak, leşleri ya da yenebilir bitkileri toplayarak sağlarken, zaman içerisinde yerleşik düzene geçerek kendi besinlerini kendileri üretmeye ve tarımla da uğraşmaya başladılar. Bitkileri ve hayvanları evcilleştirdiler. Günlük yaşam tarzları önemli ölçüde değişmiş oldu.

Besinlerin taşınması için deriden çantalar yapmaya başladılar ve zaman içerisinde bitki liflerinden ördükleri sepet ve çömleklere geçtiler. (Şekil 141)

Ocaklar ve sığınaklar: Ateşin kontrol edilmeye başlanmasıyla birlikte ilk insanların yaşam tarzlarında önemli değişiklikler yaşandı. Ateş başlarında bir araya gelerek beslenen gruplar arasındaki sosyalleşme, insan evriminde önemli ilerlemelerin yaşanmasını sağladı. Yiyeceklerin pişirilmeye başlanması ve tehlikeli hayvanlara karşı güvenli ortamın sağlanması, yaşamın daha kolaylaşmasını sağladı. Bu tür etkinliklerle birlikte insan beyninde de önemli ölçüde hacim artışı gerçekleşti.

Ölülerin gömülmesi: İlk insanlar zaman içerisinde ölülerini de gömmeye başladı. Mezar içerisine ölen kişinin eşyaları ya da ölümden sonra işe yarayacağı düşünülen eşyalar da konulmaktaydı. Anı ve diğer dünya kavramları gelişmeye başladı.

Bilgilerin saklanması: Basit duvar şekillerinden başlanarak zaman içerisinde detaylı çizimlere, çömlekler üzerindeki sembolik haberleşmelere gidildi.

Giysi yapımı: İnsanın zaman içerisinde evrimine paralel olarak giysilerinde de farklılaşma gözlemlenmiştir. Sıcak bölgelerden soğuk bölgelere doğru göç edildikçe daha kalın giysilere geçilmiş, kemik ya da fildişi iğneler yoluyla za-



Şekil 142. Resimdeki flüt bilinen en eski örneklerden, 35.000 yıl öncesinden kalma. Fildişinden yapılmış ve en az üç delikle beş notalı bir sistemde çalınabiliyor.

man içinde geliştirilen örgü teknikleri oluşturulmuştur.

Sanat ve müzik: 40.000 yıl önce en basit müzik aletleri yapılmaya başlanmıştır. (Şekil 142) 17.000 yıl öncesinden itibaren de resim, çizim, oymacılık, seramik ve şablon kullanımı gelişmeye başlamıştır.

İnsan fosilleri

Günümüze kadar ilk insana ait 6000'den fazla fosilleşmiş parça keşfedildi. Bulunan iskelet parçaları, dişler, kafatasları ve diğer kısımlar sayesinde bilim insanları ilk insanların üç boyutlu yapısını ortaya koyabiliyor. Fosiller sayesinde, beyin hacminde ve vücut boyutlarındaki değişim, hareket organlarında zaman içerisindeki farklılaşma, değişen diş yapısıyla birlikte farklılaşan besin diyeti ya da yaşamın diğer kısımları ortaya çıkarılarak 6 milyon yıllık insan evrimi aydınlatılıyor.

Bazı türler sadece birkaç parça fosille temsil edilirken, bazı türler içinse binlerce farklı fosilleşmiş parça bulunuyor.

Dik olarak yürümeye geçiş, bacakların gelişmesi ve zamanla ağaçlarda sürdürülen yaşamdan yere geçiş, farklı iklim koşullarına göre değişen vücut yapısı, erkek ve dişi bireyler arasındaki farklılıklar yoluyla sosyal ilişkiler, yavruların büyüme hızı, fosil örneklerinden elde edilen bilgilerle açığa çıkarılabilmektedir.

Genetik

İnsanın genetik yapısının çalışılması, diğer primatlarla ne kadar yakın akraba olduğumuzu ortaya koyuyor. Tabii ki insanların diğer canlılara olan yakınlığı sadece primatlarla sınırlı değil. Diğer canlılarla da akrabayız, ancak genetik çalışmalar yoluyla hangi türlere yakın akraba

hangilerine ise daha uzak akraba olduğumuz ortaya konuluyor.

İki türün DNA'ları arasındaki fark, bize o iki türün birbiriyle yakın mı uzak mı akraba olduğu hakkında bilgi verir. İnsanlar arasındaki genetik farklılık ortalama yüzde 0,1 civarındadır. İnsan ve şempanze arasındaki genetik farklılık ise yüzde 1,2 civarındadır. Bu oran şempanzelerin yakın kuzeni olan bonobolar için de aynıdır. Gorillerle aramızdaki genetik farklılık yüzde 1,6 iken bu fark orangutanlarla yüzde 3,1'dir. İnsan, şempanze ve bonoboların goril ve diğer primatlara oranla birbirine daha yakın akraba olduğu anlaşılmıştır. DNA karşılaştırmalarından insan ve şempanzelerin birbirinden 6-8 myö ayrıldığı da ortaya çıkmaktadır.

Evrimin kanıtlarının ne olduğunu ele alan 12. Soruda yer verdiğimiz Şekil 36'da kistik fibroza (kalıtsal bir hastalık) neden olan genin insanlarda ve diğer hayvanlardaki benzerliklerini göstermiştik. İnsan geni ve şempanze ya da orangutan genleri birbirine çok benzerken, akrabalık uzaklaştıkça genler arasındaki benzerlik de azalıyordu.

Neandertaller: 1997 yılından beri, fosillerden elde edilen farklı Neandertal mitokondri ve çekirdek DNA'ları açıklanıyor ve geçen zaman içinde de bu DNA dizileri okunuyor. DNA dizilerinden elde edilen bilgiler bize Neandertallerin görünüşleri, konuşma yetenekleri, popülasyon yapısı ve modern insanlarla olan filogenetik ilişkisi hakkında önemli sonuçlar verdi.

Araştırmacılar *Neandertal* DNA dizisi ile modern insan ve şempanzenin DNA dizilerini karşılaştırdı. Çoğu insan DNA dizisi arasında ortalama 8 baz (nükleotid, ATGC) değişikliği bulunur. Bu farklılık insanla şempanze arasında yaklaşık 55 iken, *Neandertal* ve insan DNA'ları arasındaki fark ortalama 27,2'dir.

Homo sapiens: Tüm dünyaya yayılmış tek bir tür: dünya üzerinde yaşayan 6 milyardan fazla insanın hepsi *Homo sapiens* türüne aittir. Her türde olduğu gibi bizde de bireyler arasında çeşitlilik oldukça fazladır. Boyut,

şekil, deri renk tonu ya da göz rengi farklılık gösterir. Buna rağmen, bireylerin DNA'ları yüzde 99,9 oranında benzerdir. İlk insan türlerinin 6 milyon, modern insanların ise 200.000 yıllık bir geçmişi vardır. Benzer DNA dizisine sahip olmaları, Afrika'da evrilip dünyaya yayılan modern insanın tek bir ortak atadan geldiğini gösterir.

Tarihleme metotları

Fosillerin ve tarihöncesinden kalma nesnelerin tarihlendirilmesi metotları sayesinde, bu kalıntıların gerçek yaşlarını hesaplayabiliyoruz. Temel fizik, kimya ve yerbilimi tekniklerini kullanan bir düzineden fazla tarihleme tekniği, fosillerin ve kalıntıların bulunduğu toprak tabakasının tarihini bize söyler. Bu konudan, yine evrimin kanıtlarından söz ettiğimiz 12. Soruda söz etmiştik.

7. Bölüm
KİTLESEL YOK OLUŞLAR

49 | Kitlesel yok oluş nedir? Dünya üzerinde canlılık hiç yok oluşun eşiğine geldi mi?

İlk canlılığın dünya üzerinde ortaya çıkışından günümüze kadar geçen milyarlarca yıllık sürede sayısız türde canlı yaşamını sürdürdü. Günümüzde bile isimlendirilebilen canlı türü sayısı milyonlarla ifade edilirken, tarih boyunca ortaya çıkmış türlerin sayısı çok daha fazladır. Ancak bu türlerin büyük bir bölümü günümüze ulaşamadı. Evrimsel sürecin bir gerekliliği olarak eski türler zaman içerisinde ortadan kalkarak, yeni gelen türler için yaşam alanları bırakırlar. Bu, doğada bulunan varoluş savaşının bir parçasıdır, uyum sağlayamayan türler ortadan kalkar. Türlerin bu şekilde zaman içerisinde ortadan kalkmalarına kısaca "arkaplan yok oluşu" denir. Bunun yanında, çok kısa bir süreç içerisinde çok fazla canlı türünün ortadan kalktığı zamanlar da yaşanmıştır. Geçmiş 500 milyon yıllık zaman içerisinde belirli dönemlerde canlıların yüzde 50-90'ı hızlı bir şekilde ortadan kalkmıştır. Bu acımasız ve devasa olaylar ise "kitlesel yok oluş" olarak adlandırılır.

Kitlesel yok oluşlar, dünya üzerindeki canlıların büyük çoğunluğunu ortadan kaldıran ölümcül olaylar olsa da, yeni gelecek canlı türlerinin gelişmesi için olanak sağlamıştır. Örneğin, dinozorlar 250 myö gerçekleşen Permiyen-Triasik yok oluşundan sonra baskın hale geldiler ve 65 myö yine kitlesel bir yok oluşla ortadan kalktılar. Dinozorlardan boşalan biyolojik alan, yeni baskın tür olan memeliler tarafından dolduruldu. Görüldüğü üzere, kitlesel yok oluşlar evrimsel açıdan oldukça önemlidir.

Beş büyük kitlesel yok oluş

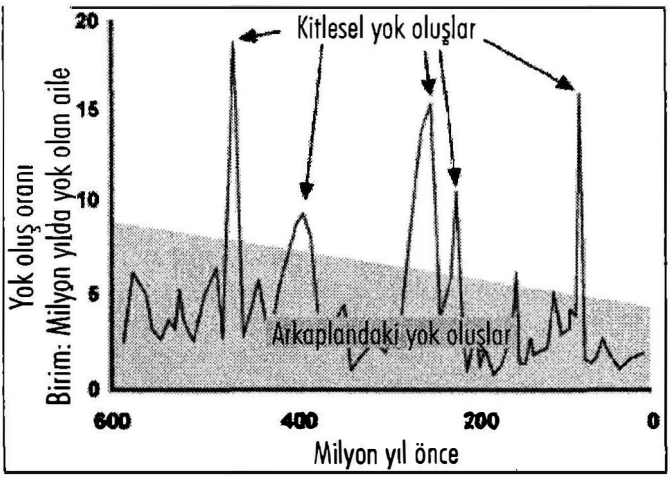
Bilim dünyasında yaygın olarak kabul gören beş büyük kitlesel yok oluş tanımlanmıştır. Türlerin sonunu getiren daha küçük çapta felaketler yaşansa da, aşağıda yazılan felaketler devasa boyutlardadır ve dünya üzerindeki canlılığın sonunu getirmeye yaklaşmıştır. Her biri meydana geldiği jeolojik devrin sonunu getirerek yenisini açmıştır.

Ordovisiyen-Silüriyen Devri yok oluşu: Günümüzden yaklaşık 440-450 myö meydana gelmiştir. En büyük ikinci kitlesel yok oluş olarak kabul edilmektedir. Tüm canlı ailelerinin yüzde 27'si ve cinslerin de yüzde 54'ü yok olmuştur.

Devoniyen Devri sonu yok oluşu: Günümüzden yaklaşık 360-375 myö meydana gelmiştir. 20 milyon yıl kadar sürmüş olabilir. Canlı ailelerinin yüzde 19'u, cinslerin yüzde 50'si ve tüm türlerin yüzde 70'i ortadan kalkmıştır.

Permiyen-Triyas Devri yok oluşu: Günümüzden yaklaşık 250 myö meydana gelmiştir. Meydana gelen en büyük kitlesel yok oluştur. Tüm canlı ailelerinin yüzde 57'si, sinekler de dahil tüm cinslerin yüzde 83'ü (deniz ailelerinin yüzde 53'ü ve cinslerin yüzde 84'ü, tüm deniz türlerinin yaklaşık yüzde 96'sı ve kara türlerinin de yüzde 70'i) yok olmuştur. Karalarda memeli benzeri sürüngenlerin sonu gelmiş ve omurgalıların kendini toparlaması 30 milyon yıl almıştır.

Triyas-Jura Devri yok oluşu: Yaklaşık 205 myö meydana gelmiş ve tüm canlı ailelerinin yüzde 23'ü, cinslerin



Şekil 143. Canlılık tarihi boyunca beş büyük kitlesel yok oluş, canlıları yok olmanın eşiğine getirmiştir.

yüzde 48'i (deniz ailelerinin yüzde 20'si ve cinslerin yüzde 55'i) yok olmuştur. Dinozor dışında arkosaur, terapsidlerin (memelilerin atasıdır) ve amfibilerin çoğu yok olmuştur. Karalar üzerinde dinozorlar rakipsiz bir biçimde yaşamaya başlamıştır.

Kretase-Tersiyer Dönem yok oluşu (K-T yok oluşu): Günümüzden yaklaşık 65-70 myö meydana gelmiştir. Tüm canlı ailelerinin yüzde 17'si, cinslerin yüzde 50'si ve türlerin de yüzde 75'i yok olmuştur. Devam eden zamanda memeliler ve kuşlar baskın tür olarak yayılmıştır. Dinozorların (kuşlar haricinde), yerküredeki türlerin üçte ikisiyle birlikte yok olmasıyla ünlenmiş olan yok oluştur. Fakat küçük memeliler, kaplumbağalar, timsahlar, kuşlar, kızılağaçlar ve pek çok hayvan grubu hayatta kalabilmiştir. (Şekil 143)

Kitlesel yok oluşun nedenleri

Bilim insanları, türlerin büyük çoğunluğunu yok olma noktasına getiren kitlesel felaketlerin nedenleri hakkında farklı teoriler öne sürmüştür.

Meteor/kuyrukluyıldız çarpması: Kitlesel yok oluşlar için ilk olasılık, Dünya'ya çarpan büyük bir meteor ya da

kuyrukluyıldızdır. Örneğin, Kretease-Tersiyer yok oluşunun nedeninin büyük olasılıkla bir meteor ya da kuyrukluyıldız olduğu düşünülmektedir. Meksika'nın Yucatan Yarımadası yakınlarındaki devasa boyutlardaki krater, yok oluşun yaşandığı zaman olan 65 myö oluşmuştur. Tarihlerin tutuyor olması, büyük bir cismin Dünya'ya çarparak türler için bir felaket oluşturduğu anlamına gelebilir. Benzer şekilde Permiyen-Triyas yok oluşunun nedeni de bir asteroid ya da buzdan bir kuyrukluyıldız olabilir.

Böyle bir çarpışma o kadar şiddetli gerçekleşecektir ki, Dünya üzerinde depremler, tsunamiler ve tüm yüzeyi dolaşacak bir sıcak hava dalgasını tetikleyecektir. Çarpma sonucu atmosfere yayılan sıcak toz bulutu geniş bir alanda orman yangınlarına yol açacaktır. Toz ve duman güneş ışığını aylar boyunca engelleyecek, sonuç olarak fotosentez duracak, bitkiler ve bitkilerle beslenen canlılar kısa bir sürede ölecektir. Dünya hızlı bir soğumaya girecektir. Gökyüzünün tozdan temizlenmesi sonrasında, atmosferde asılı kalan gazlar nedeniyle hızlı bir ısınma gerçekleşecektir.

Buzullaşma: Küresel soğuma ve devasa buzulların gezegeni sarması da kitlesel yok oluşa neden olabilir. Tarihteki ikinci büyük yok oluş olarak bilinen Ordovisiyen-Silüriyen Devri yok oluşunun da olası nedeni, günümüzden 439 myö meydana gelen buzullaşmadır. Küresel soğuma nedeniyle büyüyerek devasa boyutlara çıkan buzullar okyanuslardan suyu çeker ve canlıların yoğun olarak yaşadığı sığ su alanlarını tüketirler. Karada da her yanı kaplayan buzullar, göç etme şansı olmayan türlerin sonunu getirecektir.

Volkanik aktiviteler: Diğer bir olasılık ise volkan patlamalarıdır. Ancak küçük çapta bir patlama yerine, binlerce yıl süren volkan aktivitesinden ya da süper volkan patlamasından bahsediyoruz. Örneğin, Permiyen-Triyas Devri sonunda, Sibirya'da bir milyon yıldan daha uzun bir süre boyunca meydana gelen dev volkanik patlamalar, Amerika Kıtası büyüklüğünde bir bölgede kilometrelerce kalınlıkta lav ve kül katmanları oluşturmuştur. Bu

dönemdeki kitlesel yok oluşun nedeni meteor çarpması, volkan aktivitesi ya da diğer bir etken olabilir. Ya da hepsinin de payı olabilir. Geçtiğimiz 250 milyon yıl boyunca daha küçük boyuttaki birçok volkan patlaması da küçük çapta kitlesel yok oluşlara neden olmuştur. Patlamayla ortaya çıkan lavlar sonucu yanarak ölen canlılar, yok oluşun sadece küçük bir kısmıdır. Ancak patlamayla açığa çıkan sülfür gazı ve toz bulutları atmosfere yayılarak dünya'yı çevreler ve güneş ışığının yüzeye ulaşmasına engel olur. Asit yağmurları başlar. İlk başlardaki soğumayı aşırı ısınma takip eder. Dengesiz iklim özellikleri birçok türün sonunu getirecektir.

Okyanuslarda oksijen miktarının azalması: Diğer bir olasılık ise okyanuslarda ve özellikle sığ deniz sularındaki oksijen miktarının azalmasıdır. Anoksi (oksijen azalması) denilen bu durum birçok deniz canlısı için boğulma anlamına gelir. Ancak oksijensiz ortamda yaşayan (dışarı hidrojen sülfür veren) bakteriler gibi canlılar çok rahat gelişirler. Hidrojen sülfürün okyanusa yayılması daha çok türü yok edecektir ve zamanla da atmosfere sızarak karalardaki canlılar için de tehlike yaratacaktır. Ozon tabakasının zarar görmesi zararlı UV ışınlarının yüzeye gelmesine neden olacaktır. Bu tür bir oksijen azalması durumu Permiyen Devri sonundaki yok oluşun olası nedenlerindendir.

Metan gazı: Günümüzde de tehlike oluşturmaya devam eden bir diğer etken ise kıtasal tabakalarda bulunan tortulardaki yüksek miktardaki metan gazıdır. Bazı iklim bilimcilere göre günümüzde olduğu gibi, okyanuslarda meydana gelen ısınma bu metanın atmosfere salınmasına neden olabilir. Ortaya çıkan metan ve toksik gazlar küresel ısınmaya ve devamında da kitlesel bir yok oluşa neden olabilir.

Görüldüğü üzere, dünya üzerindeki canlılık değişmez (sabit) değildir. Yeni gelen türler yaşam bölgelerini işgal eder ve değişen şartlara uyum sağladıkları sürece varlıklarını sürdürürler. Ancak zaman içerisinde türler ortadan kalkar ve yerini yenileri alır. Kimi zamanlarda ise meydana gelen devasa felaketler nedeniyle tür sayısında çok hızlı düşüş yaşanır.

50 Bugün 6. büyük kitlesel yok oluşun eşiğinde miyiz? Tehlike altındaki türlerin durumu nedir?

7 Soruda dünya üzerindeki tanımlanan tür sayısından ve birçok ayrı soruda, ama özellikle 49. Soruda dünya üzerinde yaşanmış kitlesel yok oluşlardan bahsetmiştik. Şimdi her iki konuyla da bağlantılı ve bizi doğrudan etkileyen bir soruya geçelim: Bundan sonra ne olacak? Başka bir deyişle dünya nereye gidiyor ve bu gidişin canlılar üzerine etkileri ne olabilir?

Bugün bilim insanları dünyada şimdiye kadar meydana gelen beş büyük kitlesel yok oluşun ardından, 6. yok oluşun da gerçekleşmekte olduğunu düşünüyor. Daha önceki kitlesel yok oluşun nedenleri arasında meteor çarpmaları, süper volkan patlamaları ya da oksijen seviyesindeki değişiklikler gibi nedenler gösterilse de, bu seferki yok oluşun sorumlusu doğrudan biziz. 6. kitlesel yok oluş biz insanların eseri ve şimdiye kadar gerçekleşenlerin en hızlısı. 2100 yılına geldiğimizde insan aktiviteleri nedeniyle oluşan kirlilik, orman alanlarının yıkımı ve denizlerdeki aşırı avlanma sonucunda, denizlerde ve karada önemli miktarda türün sonu gelebilir.

Bu gidişe dikkat çeken, benzer amaçlarla kurulan farklı boyutlarda birçok organizasyon var. Bunlar arasında en önemlilerinden bir tanesi "Doğa ve Doğal Kaynakların Korunması için Uluslararası Birlik" (IUCN; International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). Kuruluşun amacı doğanın bütünlüğünün ve canlı çeşitliliğinin korunması ve doğal kaynakların adil ve ekolojik olarak sürdürülebilir olmasını sağlamak ve bu amaç doğrultusunda toplumları bilgilendirerek yönlendirmek. 1948 yılında kurulan organizasyonda 89 devlet, 109 hükümet kurumu ve 800'den fazla hükümet dışı kuruluş birlikte çalışıyor. Organizasyon, durumumuzu güzel bir şekilde özetliyor ve gerekli uyarıları yapıyor. Tabii ki buradaki soru, insanlık olarak üzerimize düşeni gerektiğince yapıyor muyuz?

Organizasyonun öncelikli konuları arasında gösterdiği alanlar, bu gidişi durdurmak için bize düşen görevleri vurguluyor:

•Biyoçeşitliliğin ve ekosistemin korunması için yapılması gerekenlere öncelik vermeliyiz. İnsanlar dünyada hâkim tür olabilir, ancak kendi gelecekleri açısından ekosistemi korumak ve iyileştirmek zorundadırlar.

•Son yıllarda çok sıkça karşımıza çıkan "iklim değişikliği" konusu, iklimde yaşanan düzensizlik ve büyük dalgalanmalar hem bizi hem de diğer canlı türlerini tehdit ediyor. Doğayı koruyarak ve sera etkisi yaratan gazların salımınını azaltarak bu yolda atım atabiliriz.

•Sürdürülebilir enerji için toplumlar daha güvenli, doğaya zarar vermeyen, ucuz ve sosyal olarak adil dağıtılabilecek enerji kullanımına doğru geçiş yapmalıdır.

İnsanın yaşam şartlarını iyileştirmek ve tabii ki bunu tüm insanlara yaymak önceliklerimizden biri olmalı.

•Yeşil bir ekonomi yaratabilmeli; uygulanabilecek her alanda geri dönüşümlü, doğa dostu seçenekleri tercih etmeliyiz.

Bunlar organizasyonun dikkat çektiği ve çok acil bir şekilde uygulamaya konulması zorunlu konulardır. Aşağıda bahsedilen Kırmızı Liste, dünya üzerinde bulunan ve değerlendirmeye alınabilen teklike altındaki türleri listeliyor. Doğa üzerindeki etkimizi göstermesi açısından çok önemli bir belgedir.

Kırmızı liste

Organizasyonun yayımladığı "Nesli Tükenme Tehlikesi Altında Olan Türlerin Kırmızı Listesi" ("IUCN Red List") binlerce tür ve alttürün neslinin tükenme riskini ortaya koyuyor. Bu liste yoluyla, biyolojik çeşitlilik üzerine etkimizi daha açık olarak anlayabiliriz. Listede geçen 50 bine yakın tür üzerine detaylı bilgi toplanmakta ve durumları belirlenmektedir.

Değerlendirilen türler farklı kategorilere ayrılmış: EX (Tükenmiş), EW (Doğal ortamında tükenmiş), CR (Kritik tehlikede), EN (Tehlikede), VU (Hassas), NT (Neredeyse



Şekil 144. Solda, Rothschild's zürafası (Tehlikede; Dünya üstünde 470 taneden az sayıda kaldı); ortada, Alotra Grebe (Madagaskar'ın dalgıçkuşu, son olarak 1985 yılında görüldü, soyu tükendi); sağda, papatya familyasından *Cadiscus aquaticus* (Kritik tehlikede).

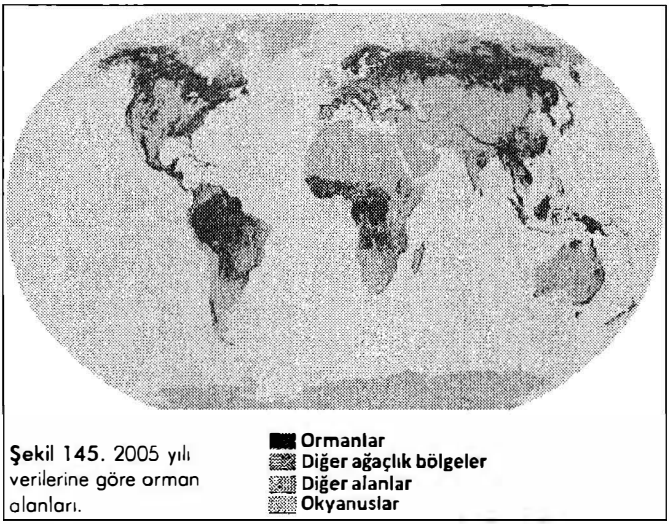
tehdit altında), LC (Asgari endişe), DD (Yetersiz veri) ve NE: (Değerlendirilmemiş Türler). (Şekil 144)

Konuya uzak olanlar için bir hatırlatma yapmakta fayda var. Burada bahsedilen binlerce canlı değil, binlerce canlı türü. Bu yüzden çok daha fazla canlıdan bahsediyoruz. Yok olmakla kastedilen, o türe ait tek bir bireyin bile dünyada artık bulunmamasıdır.

Çizelge 3'de organizasyonun 2010 yılı Mart ayında yayımladığı veriler bulunuyor. 1996'dan beri, alınan veriler her sene yenileniyor. Şimdiye kadar incelenen ve tehlikede olan türlerin sayısı her yıl artış gösteriyor. Tabloda verilen tehlikedeki türler, kritik tehlikede (CR), tehlikede (EN) ya da hassas durumda (VU) olan türler. Bu, geri kalan türlerin tehlike altında olmadığı anlamına gelmiyor. Neredeyse tehdit altında (NT) ve yetersiz bilgi (DD) içeren türler de çok sayıda bulunuyor. Durumu detaylı olarak incelenebilen türlerin yüzde 36'sı tükenme tehlikesi altında ve bunun büyük sorumlusu da bizleriz.

Çizelge 3: 2010 yılı Mart ayına kadar incelenen tür sayısı ve tehlikedeki türler.

	Toplam tür sayısı	İncelenen tür sayısı	Tehlikedeki tür sayısı	Toplam tür sayısına oranı	İncelenen tür sayısına oranı
Omurgalılar	62,305	27,890	6,142	% 10	% 22
Omurgasızlar	1,305,250	7,881	2,669	% 0	% 34
Bitkiler	321,212	12,189	8,495	% 3	% 70
Mantar & Protistalar	51,563	18	9	% 0	% 50
Toplam	1,740,330	47,978	17,315	% 1	% 36



Şekil 145. 2005 yılı verilerine göre orman alanları.

Ormanların geleceği

Son birkaç yüzyıldır yaşanan Sanayi Devrimi biz insanların hayatlarını birçok alanda kolaylaştırsa da, ormanlar bu durumdan olumlu etkilenmedi. İnsan, artan nüfusu ve bununla birlikte de artan ihtiyaçları karşılamak için doğaya saldırdıkça, ormanlar da geriledi. Şu anda dünyada bulunan orman alanları, 20. yüzyılın başında bulunan orman alanlarının yarısı kadardır. Birkaç yüzyıl geriye gidersek, günümüzde olduğundan çok daha fazla ormanlık alan olduğunu görürüz. (Şekil 145)

Orman kayıplarının temel nedenleri insan kaynaklıdır. Ticari amaçlı orman kesimi, yol ve demiryolu yapımı, orman yangınları, açılan madenler, yaşam ve tarım alanı oluşturmak için ağaç kesimi gibi nedenler orman alanlarını bir yüzyıl içerisinde yarıya indirdi. İnsanların dünyadaki diğer tür ve ekosistemler üzerine olan etkisini ormanların durumlarından kolayca gözlemleyebiliriz. (Çizelge 4)

Son dönemlerde dünya çapındaki duruma genel olarak baktığımızda, gelişmiş ülkelerde ormanların durumlarının olumlu yönde geliştiğini ancak azgelişmiş ve gelirin düşük olduğu bölgelerde orman kayıplarının devam et-

Çizelge 4	Toplam Ormanlık Alanı (1000 hektar)	Toplam Alanın Oranı (%)	Yıllık Değişim Oranı 1990-2000 (1000 hektar)	(%)	2000-2005 (1000 hektar)	(%)
Afrika	635.412	21.4	-4375	-0,64	-4040	-0.62
Asya ve Pasifik	734.243	25.8	-1275	-0.17	633	0.09
Batı ve Orta Asya	43.588	4.0	34	0.08	14	0.03
Avrupa	1.001.394	44.3	877	0.09	661	0.07
Kuzey Amerika	677.464	32.7	17	0.00	-101	-0.01
Latin Amerika ve Karipler	859.925	47.3	-4147	-0.46	-4483	-0.51
Türkiye	10.75	13.2	37	0.4	25	0.2
Toplam Dünya	3.952.025	30.3	-8868	-0.22	-7317	-0.18

tiğini görüyoruz. Avrupa ülkeleri ve Asya'da Çin, önemli miktarda orman alanı artışı yakalamış durumda; ancak tüm dünyayı yakından ilgilendiren Brezilya'daki tropik Amazon Ormanları'ndaki kayıplar sürüyor.

Gelirin düşük olduğu, kanuni düzenlemelerin olmadığı ya da zayıf uygulandığı, koruma amaçlı organizasyonların yeterince gelişmediği bölgelerde, ormanların korunması insanların gündemlerinde ilk sıralarda yer almıyor. Artan nüfusla birlikte yeni yaşam alanlarının ve kereste ürünlerinin ihtiyacı da artıyor. Özellikle tarım, besicilik ve biyoyakıt üretimi için ormanlar kesiliyor.

Genele baktığımızda, ormanlık alanların korunması yolunda çalışmalar artsa da, orman kayıplarının önüne geçilebilmiş değildir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün yayımladığı raporlar, dünyadaki ormanların durumunu ve iyileştirilmesi için yapılması gerekenleri açıklıyor. 2009 yılında açıklanan son rapor, ormanların durumunu daha net olarak gözler önüne koyacaktır. Ancak bu sonuçlar 1990 yılına kadar olan zamanı kapsıyor. Rapora göre, tüm önlemlere karşı orman alanlarındaki kayıplar devam ediyor. Özellikle Afrika ve Latin Amerika'da kayıplar daha hızlı.

Sonsöz

Cevaplamaya çalıştığımız 50 soruyla, yaşamın görkemli hikâyesini gözünüzün önüne sermeye çalıştık. Evrenin, Güneş Sistemi'nin ve Dünya'nın oluşumundan diğer gezegenlerdeki yaşam izlerine, en basit moleküllerin karmaşık yapıdaki hücreleri nasıl oluşturmuş olabileceğinden milyonlarca türün bir ağ gibi dünyayı sarmasına kadar birçok farklı noktaya değindik. Milyarlarca yıllık bu hikâyeye tek bir pencereden baktığımızda, yaşamın ne denli görkemli olabildiğine şaşırmamak mümkün değil. Her geçen gün yapılan keşifler, yaşamın ne kadar farklı şekillere girebildiğini, dünya üzerinde aklımıza bile gelmeyecek yerlerde bile geliştiğini ve çeşitlenerek yeni türleri ortaya çıkardığını gösteriyor. Yaşam, tarih boyunca birçok defa tümden yok olma tehlikesiyle karşılaşsa da, her zaman için bir yolunu bulmuş ve yeni canlı türleriyle yeni bir düzen kurarak dünyaya yeniden yayılmıştır.

Bildiğiniz gibi, 4,5 milyar yıllık bu hikâyenin sonlarına doğru ise, doğanın sahip olduğu bu düzeni bozmakta en başarılı tür olan insanoğlu ortaya çıktı. Son sorumuzu iki temel konu üzerinde oluşturduk. Yok olan türler ve ormanların durumu. Bu konular insanın doğa üzerindeki doğrudan etkisini en net gösteren konulardandır. Ama konu listesini arttırabiliriz: İklim değişiklikleri, ozon tabakasının durumu, kirlenen sular, atmosferdeki kirlilik bizim doğaya etkilerimizden sadece birkaçıdır. 6. büyük kitlesel yokoluş içerisindeyiz ve bunun sorumlusu da doğrudan bizleriz.

Aklımızdan çıkarmamamız gereken temel nokta şudur: Yaşam süprizlerle doludur ve bütün görkemi ve güzelliğiyle bizi şaşırtmaya devam edecektir. İnsanoğlu olarak bizler ise, bu güzellik ve düzen içerisinde ortaya çıkmış milyonlarca türden sadece bir tanesiyiz. Sahip olduğumuz farklı özellikler, bizi (yani insanı) diğer türlerden üstün kılmaz ya da dünyanın efendisi yapmaz. Bu yüzden, doğanın düzenini bozmadan, diğer türlerle birlikte doğanın bir parçası olarak yaşamayı öğrenmemiz bizim için kaçınılmazdır.

Dünya ve Ay'ın oluşması
Okyanus ve atmosferin oluşumu
Bitkilerin karada yayılması
Dinozorlar devri
Milyar yıl önce
13.7
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
Büyük patlama
Güneş Sistemi'nin oluşması
Meteor bombardımanı
İlk yaşam örnekleri
Ökaryotların ortaya çıkışı
Kambriyen patlaması
İnsanın evrimi

KAYNAKLAR

(Kaynak olarak kullanılan tüm internet web sayfaları 21.02.2011 tarihinde kontrol edilmiştir.)

Soru 1

- Richard D. Jarrard, "Scientific Methods: An online book"; 2001, http://emotionalcompetency.com/sci/booktoc.html
- "Introduction to the Scientific Method"; http://teacher.nsrl.rochester.edu/phy_labs/AppendixE/AppendixE.html

Soru 2

- Christopher F Chyba, Kevin P Hand, "The Study of the Living Universe", *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 43:31-74, 2005.
- D. J. Des Marais, M. R. Walter, "Exploring the Origins, Evolution, and Distribution of Life in the Universe", *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 30:397-420, 1999.
- G. R. Ivanitskii, "21st century: What is life from the perspective of physics?", Physics ± Uspekhi,53 (4): 327 ± 356, 2010.
- Bernard La Scola vd., "The virophage as a unique parasite of the giant mimivirus" *Nature* 455, 100-104, 4 September 2008.
- "Canlılar Dünyası: Canlı nedir?"; http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/canlilar/canli_nedir.htm
- James Owen, "Virus-Infecting Virus Fuels Definition of Life Debate";
http://news.nationalgeographic.com/news/2008/08/080822-giant-virus.html
- "Life"; http://en.wikipedia.org/wiki/Life
- "Life", *American Heritage Dictionary*, 4. Basım, Houghton Mifflin Company; http://www.answers.com/topic/life

- "Euglena gracilis"; http://bio.rutgers.edu/euglena/Euglenas/Egracili.htm
- Şeklin kaynağı:"Tyrannosaurs", Feenixx Publishing, Inc; http://www.feenixx.com/prehistoric/tyrannosaur_dinosaurs_poster.htm

Soru 3

- A. J. Gooday vd., "Traces of dissolved particles, including coccoliths, in the tests of agglutinated foraminifera from the Challenger Deep (10,897 m water depth, western equatorial Pacific)", *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 57(2):239-247, 2010.
- Neil A. Campbell, "Biology Concepts & Connections Sixth Edition", s.2-3, 2009.
- Heather Beal, "Microbial Life in Extremely Hot Environments", Montana State Üniversitesi; http://serc.carleton.edu/microbelife/extreme/extremeheat/index.html
- The Internet Ancyclopedia of Science, "Hyperthermophiles"; http://www.daviddarling.info/encyclopedia/H/hyperthermo.html
- The Internet Ancyclopedia of Science, "*Deinococcus radiodurans*; http://www.daviddarling.info/encyclopedia/D/D_radiodurans.html
- "The High Life: Birds"; http://audubonmagazine.org/birds/birds0011.html
- "Ecosystem"; http://en.wikipedia.org/wiki/Ecosystem
- "Community"; http://en.wikipedia.org/wiki/Community

Soru 4

- Felisa Wolfe-Simon vd., "A Bacterium That Can Grow by Using Arsenic Instead of Phosphorus", *Science Express*, 2 Dec.2010.
- "Life Built With Toxic Chemical: First Known Microbe on Earth Able to Thrive and Reproduce Using Arsenic"; http://www.sciencedaily.com/releases/2010/12/101202140622.htm
- "Arsenik Sever Bakteriler Hayatı Yeniden mi Tanımlayacak?"; http://biyorss.com/?p=5074

Soru 5

- F. Crick, "On Protein Synthesis", *Symp. Soc. Exp. Biol.* XII, 139-163, 1958.
- F. Crick, "Central dogma of molecular biology", *Nature* 227 (5258):561-3, Ağustos 1970.
- "Central dogma of molecular biology"; http://en.wikipedia.org /

wiki/Central_dogma_of_molecular_biology
- "DNA and RNA"; http://www.dnaandrna.com/
- "DNA-RNA-Protein"; http://nobelprize.org/educational_games/medicine/dna/
- "DNA, RNA and Proteins"; http://www.bioinformatics.org/tutorial/1-1.html
Bu soruda kullanılan şekiller National Human Genome Research Institute'den uyarlanmıştır.

Soru 6

- Carl Woese and George E. Fox; "Phylogenetic Structure of the Prokaryotic Domain: The Primary Kingdoms", *Proceedings of the National Academy of Science* 74:5088-5090, 1977.
- Ernst Mayr, "Two Empires or Three?", *Proceedings of the National Academy of Science* 95:9720-9723, 1998.
- W Ford Doolittle, "Phylogenetic Classification and the Universal Tree", Volume 284, *Nature* 5423:2124-2128, 25 Haziran 1999.
- David Baum, "Reading a Phylogenetic Tree: The Meaning of Monophyletic Groups", *Nature Education* 1, 2008.
- Sandra Knapp, "What's in a name? A history of taxonomy", Natural History Museum, http://www.nhm.ac.uk/nature-online/science-of-natural-history/taxonomy-systematics/history-taxonomy/index.html
- Understanding Evolution, "Switching to Phylogenetics"; http://evolution.berkeley.edu/evosite/evo101/IID1Switchtophylos.html
- Understanding Evolution, "Nested Hierarchies, the Order of Nature: Carolus Linnaeus"; http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/_0_0/history_05
- Understanding Evolution, "Phylogenetic systematics"; http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/phylogenetics_01
- Laura Klappenbach, "How Animals and Wildlife are Classified"; http://animals.about.com/od/scientificdisciplines/a/classifyinganim.htm
"Tree of Life Web Project"; http://tolweb.org/tree/phylogeny.html
- "Cladistics"; http://en.wikipedia.org/wiki/Cladistics
"Biological Classifications"; http://en.wikipedia.org/wiki/Biological_classification

- "Kingdom", http://en.wikipedia.org/wiki/Kingdom_(biology)

Soru 7

- The World Conservation Union. 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Summary Statistics for Globally Threatened Species. Table 1: Numbers of threatened species by major groups of organisms (1996–2010)
- Environmental Literacy Council, "How Many Species are There?"; http://www.enviroliteracy.org/article.php/58.html

Soru 8-12

- Understanding Evolution; http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/home.php
- Evrimi Anlamak, http://evrimianlamak.org/e/Ana_Sayfa
- *NAS Book: "Science, Evolution and Creationism"*, National Academy of Sciences, Institute of Medicine, National Academy Press, Washington, DC, 2008.
- C. Darwin, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, 1859.
- J. A. Coyne, "Speciation in action", *Science* 272:700-701, 1996.
- Mark Page, "Natural selection 150 years on", *Nature*, Vol 457:808-811, 12 Şubat 2009.
- Şekil Kaynağı: C.O. Lovejoy ve ark. "The Great Divides: Ardipithecus ramidus Reveals the Postcrania of Our Last Common Ancestors with African Apes", *Science* 326:73, 100-106, 2009.
- "İnsan evriminde yeni keşif ARDİ: *Ardipithecus ramidus*, -Atalarımızın ataları-", *Bilim ve Gelecek*, S:69, Kasım 2009.
- Tüba bildirileri: http://www.tuba.gov.tr/duyuru.php?id=49 ve http://www.tuba.gov.tr/duyuru.php?id=50

Soru 13

- Natural History Museum, "The search for life: Astrobiology"; http://www.nhm.ac.uk/nature-online/space/planets-solar-system/searchforlife-astrobiology/6---beyond-the-solar-system/index.html
- NASA Astrobiology: Why is water so important for life?; http://astrobiology.nasa.gov/ask-an-astrobiologist/question/?id=178
- "Origin of Water on Earth"; http://en.wikipedia.org/wiki/Origin_of_water_on_Earth
- "Water"; http://en.wikipedia.org/wiki/Water

Soru 14

- James F. Kasting and David Catling, "Evolution Of A Habitable Planet", *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 41:429-63, 2003.
- D. J. Des Marais, M. R.Walter, "Exploring the Origins, Evolution, and Distribution of Life in the Universe", *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 30:397-420, 1999.
- Christopher F. Chyba and Kevin P. Hand, "The Study of the Living Universe", *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 43:31-74, 2005.
- L.S. Hernâni Maia vd. "Origin of Life: Recent Contributions to a Scientific Model", Copyright H. L. S. Maia, K. G. Orrell, I. V. R. Dias, 2010.
- NASA, Jet Propulsion Laboratory, "Looking for Life's Signatures"; http://planetquest.jpl.nasa.gov/

Soru 15

- Christopher F. Chyba and Kevin P. Hand, "The Study of the Living Universe", *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 43:31-74, 2005.
- D. J. Des Marais, M. R.Walter, "Exploring the Origins, Evolution, and Distribution of Life in the Universe", *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 30:397-420, 1999.
- SETI Institute, "Drake Equation"; http://www.seti.org/Page.aspx?pid=336.
The Search for Life Outside of Earth; http://www.chem.duke.edu/~jds/cruise_chem/Exobiology/search.html
- L.S. Hernâni Maia vd., "Origin of Life: Recent Contributions to a Scientific Model", Copyright H. L. S. Maia, K. G. Orrell, I. V. R. Dias, 2010.
- NASA Featured Missions; http://www.nasa.gov/missions/index.html
- S. Iglesias-Groth, A. Manchado, R. Rebolo, J. I. Gonzalez Hernandez, D. A. Garcia-Hernandez, D. L. Lambert; "Anthracene cations toward the Perseus molecular complex", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society,* Mayıs 2010.
- A. Belloche, R. T. Garrod, H. S. P. Müller, K. M. Menten, C. Comito, and P Schilke; "Increased complexity in interstellar chemistry: detection and chemical modeling of ethyl formate and n-propyl cyanide in Sgr B2(N)", *Astronomy & Astrophysics,* Volume 499, Number 1, 3 Mayıs 2009.
- Astronomer To Search Space For Precursors Of Life; http://www.sciencedaily.com/releases/2009/04/090429151946.htm
- Allan Hills 84001, http://en.wikipedia.org/wiki/ALH84001

- NASA, "Planet Quest, Exoplanet Exploration"; http://planet-quest.jpl.nasa.gov/science/science_index.cfm

Soru 16-17

- Ian O'Neill, "The Universe Is Precisely 13.75 Billion Years Old"; http://news.discovery.com/space/the-universe-is-precisely-1375-billion-years-old.html
- NASA, "Big Bang Cosmology"; http://map.gsfc.nasa.gov/universe/bb_theory.html
- NASA, "The Big Bang"; http://nasascience.nasa.gov/astrophysics/what-powered-the-big-bang
- NASA Official: Dr. Gary F. Hinshaw, "Wilkinson Microwave Anisotropy Probe"; http://wmap.gsfc.nasa.gov
- NASA, "What are the origin, evolution and fate of the Universe?"; http://nasascience.nasa.gov/big-questions/what-are-the-origin-evolution-and-fate-of-the-universe
- Big Bang; http://en.wikipedia.org/wiki/Big_Bang
- Timeline of Big Bang; http://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_Big_Bang
- NASA, "Universe"; http://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_matter.html

Soru 18

- Kerem Cankoçak, "Parçacık fiziği ve kozmoloji problemlerinde simetri üzerine"; http://web.itu.edu.tr/~kcankocak/docs/kerem-cankocak-LHC-simetri.pdf
- Kerem Cankoçak, "CERN'deki LHC deneyleri hakkındaki gerçekler ve yanlış bilinenler"; http://web.itu.edu.tr/~kcankocak/docs/ntv-kerem-cankocak-cern-yanlislar-dogrular.pdf
- Kerem Cankoçak, "Kuarklarm kendiliğinden macerasında simetri ve simetri kırınımı"; http://web.itu.edu.tr/~kcankocak/docs/cogito-evrim-kerem-cankocak.pdf
- Tübitak, "Avrupa Nükleer Araştırmalar Merkezi: CERN"; http://www.tubitak.gov.tr/sid/341/pid/0/cid/11239/index.htm;jsessionid=D8C08933BA9CE98BBA37534CD4C0FA86

Soru 19

- O. Manuel vd., "The Sun's Origin, Composition And Source Of Energy"; http://www.umr.edu/~om/, 2000
- Thierry Montmerle and Jean-Charles Augereau, "Solar System Formation and Early Evolution: the First 100 Million Years", 98:39-95, 2006.

- James F. Kasting and David Catling, "Evolution Of A Habitable Planet", *Annu. Rev. Astron. Astrophys*, 41:429-63, 2003.
- D. J. Des Marais, M. R.Walter; "Exploring the Origins, Evolution, and Distribution of Life in the Universe", *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 30:397-420, 1999.
- Christopher F. Chyba and Kevin P. Hand, "The Study of the Living Universe", *Annu. Rev. Astron. Astrophys*, 43:31-74, 2005.
- Alex N. Halliday, "Earth science: In the beginning...", *Nature* 409:144-145, 11 Ocak 2001.
- E. G. Nisbet, N. H. Sleep, "The habitat and nature of early life", *Nature* 409:1083-1091, 22 Şubat 2001.
- NASA, "How did the sun's family of planets and minor bodies originate?"; http://nasascience.nasa.gov/big-questions/how-did-the-suns-family-of-planets-and-minor-bodies-originate

Soru 20-21

- Bernard J. Wood & Alex N. Halliday, "Cooling of the Earth and core formation after the giant impact", *Nature*, Vol 437:27, Ekim 2005.
- E. G. Nisbet, N. H. Sleep, "The habitat and nature of early life", *Nature* 409:1083-1091, 22 Şubat 2001.
- Alex N. Halliday, "Earth science: In the beginning. *Nature* 409:144-145, 11 Ocak 2001.
- James F. Kasting and David Catling, "Evolution Of A Habitable Planet", *Annu. Rev. Astron. Astrophys*. 41:429-63, 2003.
- D. J. Des Marais, M. R.Walter, "Exploring the Origins, Evolution, and Distribution of Life in the Universe", *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 30:397-420, 1999.
- Christopher F. Chyba and Kevin P. Hand, "The Study of the Living Universe", *Annu. Rev. Astron. Astrophys*. 43:31-74, 2005.

Soru 22

- James F. Kasting and David Catling, "Evolution Of A Habitable Planet", *Annu. Rev. Astron. Astrophys*. 41:429-63, 2003.
- Herbert Palme, "The Giant Impact Formation of the Moon", *Science*, Vol 304:977-979, 14 Mayıs 2004.
- Bernard J. Wood & Alex N. Halliday, "Cooling of the Earth and core formation after the giant impact", *Nature*, Vol 437:27, Ekim 2005.
- Şeklin kaynağı http://civetmoon.deviantart.com/art/Giant-Impact-Theory-32670361?q=boost:popular%20giant%20

impact&rqo=25

Soru 23-24

- Daniele L. Pinti M. Gargaud vd., "The Origin and Evolution of the Oceans", *Lectures in Atrobiology*, Vol. I:83-112, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- James F. Kasting and David Catling, "Evolution Of A Habitable Planet", *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 41:429-63, 2003.
- "Oceans: Chemistry and Life"; http://www.chem.duke.edu/~jds/cruise_chem/oceans/oceanintro.html

Soru 25

- James F. Kasting and David Catling, "Evolution Of A Habitable Planet", *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 41:429-63, 2003.
- Stephen J. Mojzsis, "Life and the Evolution of Earth's Atmosphere", *Science*, Vol. 296, 5570:1066-1068, 10 Mayıs 2002.

Soru 26

- "Evolution of the continental crust", C. J. Hawkesworthl & A. I. S. Kemp, Vol 443:19, 811-817, Ekim 2006.
- Şeklin kaynağı http://www.divediscover.whoi.edu/tectonics/tectonics-subduct.html
- Understanding Evolution, "Biogeography: Wallace and Wegener"; http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/history_16
- University of California Museum of Paleontology, "Geological Times"; http://www.ucmp.berkeley.edu/help/timeform.html
- Alfred Wegener; http://en.wikipedia.org/wiki/Alfred_Wegener
- NASA, "Plate Movements"; http://scign.jpl.nasa.gov/learn/plate.htm

Soru 27

- E. G. Nisbet, N. H. Sleep, "The habitat and nature of early life", *Nature* 409:1083-1091, 22 Şubat 2001.
- David W. Deamer, "The First Living Systems: a Bioenergetic Perspective" , *Microbiology And Molecular Biology Reviews*, s.239-261, Haziran 1997
- University of California Museum of Paleontology, "Geological Times"; http://www.ucmp.berkeley.edu/help/timeform.html
- Şeklin kaynağı; http://encyclopediaurantia.org/graphictime.htm

Soru 28

- E. G. Nisbet, N. H. Sleep, "The habitat and nature of early life", *Nature* 409:1083-1091, 22 Şubat 2001.

- L. S. Hernâni Maia vd., "Origin of Life: Recent Contributions to a Scientific Model", Copyright H. L. S. Maia, K. G. Orrell, I. V. R. Dias, 2010.

Soru 29

- D. J. Des Marais, M. R.Walter, "Exploring the Origins, Evolution, and Distribution of Life in the Universe", *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 30:397-420, 1999.
- David L. Alles, "Stromatolites", Western Washington University, 2009; http://fire.biol.wwu.edu/trent/alles/Stromatolites.pdf
- L. S. Hernâni Maia vd., "Origin of Life: Recent Contributions to a Scientific Model", Copyright H. L. S. Maia, K. G. Orrell, I. V. R. Dias, 2010.

Soru 30

- D. J. Des Marais, M. R.Walter, "Exploring the Origins, Evolution, and Distribution of Life in the Universe", *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 30:397-420,1999.

David W Deamer, "The First Living Systems: a Bioenergetic Perspective", *Microbiology And Molecular Biology Reviews*, s.239-261, Haziran 1997
- Peter E. Nielsen, "A New Molecule of Life?", *Scientific American* 299, 64-71, 2008.
- Plankensteiner K, Reiner H, Rode B. M., "From earth's primitive atmosphere to chiral peptides--the origin of precursors for life", Chem Biodivers, 1(9):1308-15., Eylül 2004.
- L. S. Hernâni Maia vd., "Origin of Life: Recent Contributions to a Scientific Model", Copyright H. L. S. Maia, K. G. Orrell, I. V. R. Dias, 2010.

Soru 31

- Oró J. Fox S. W. ed., Origins of Prebiological Systems and of Their Molecular Matrices, New York Academic Press., ss.137, 1967
- Adam P. vd., "The Miller Volcanic Spark Discharge Experiment", Vol 322, *Science* 404, 17 Ekim 2008.
- L.S. Hernâni Maia vd., "Origin of Life: Recent Contributions to a Scientific Model", Copyright H. L. S. Maia, K. G. Orrell, I. V R. Dias, 2010.
- Şeklin kaynağı; http://www.blc.arizona.edu/courses/schaffer/182/Urey-Miller.htm

Soru 32

- Carl Zimmer, "On the Origin of Life on Earth", Vol 323, *Science*, 198-199, 9 Ocak 2009.
- Niles Lehman, "RNA in evolution", *Wiley Interdisciplinary Reviews* – RNA Volume 1, Issue 2, 16 Temmuz 2010.
- Alonso Ricardo and Jack W. Szostak, "The Origin of Life on Earth", *Scientific American Magazine*, Eylül 2009.
- L. S. Hernâni Maia vd., "Origin of Life: Recent Contributions to a Scientific Model", Copyright H. L. S. Maia, K. G. Orrell, I. V. R. Dias, 2010.
- Carl Zimmer, "What Came Before DNA?", *Discover Magazine*, Haziran 2004; http://discovermagazine.com/2004/jun/cover
- Exploring Life's Origins; http://exploringorigins.org/
- Robert Shapiro, "A Simpler Origin for Life"; http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=a-simpler-origin-for-life

Soru 33

- David W. Deamer, "The First Living Systems: a Bioenergetic Perspective", *Microbiology And Molecular Biology Reviews*, s.239-261, Haziran 1997
- Carl Zimmer, "On the Origin of Life on Earth", *Science*, Vol: 323:198-199, 9 Ocak 2009.
- Jack W. Szostak, "Origins Of Life: Systems chemistry on early Earth", *Nature*, Vol 459: 171-172, 14 Mayıs 2009.
- Alonso Ricardo and Jack W. Szostak, "The Origin of Life on Earth" *Scientific American Magazine*, Eylül 2009.
- L.S. Hernâni Maia vd. "Origin of Life: Recent Contributions to a Scientific Model", Copyright H. L. S. Maia, K. G. Orrell, I. V. R. Dias, 2010.
- Şeklin kaynağı: J. Szostak vd., "Template-directed synthesis of a genetic polymer in a model protocell", *Nature*, 454 (7200):122-5, Haziran 2008.
Exploring Life's Origins; http://exploringorigins.org/

Soru 34

- Aneil F. Agrawal, "Evolution of Sex: Why Do Organisms Shuffle Their Genotypes?", *Current Biology*, 16, R696–R704, 5 Eylül 2006.
- Carl Zimmer, "On the Origin of Sexual Reproduction", Vol 324, *Science*, 1254-1256, 5 Haziran 2009.

Soru 35

- Richard E. Michoda vd., "Life-history evolution and the origin of multicellularity", Journal of Theoretical Biology; 239(2):257-72, 21 Mart 2006.
- John Tyler Bonner, "The Origins of Multicellularity", *Integrative Biology: Issues, News, and Reviews,* Volume 1, Issue 1, s.27-36, 1998.
- Nicole King, "The Unicellular Ancestry of Animal Development", *Developmental Cell,* Vol. 7, 313-325, Eylül, Copyright by Cell Press, 2004.
- Schoph J. W., "Microfossils of the early Archean apex chert: New evidence of the antiquity of life." *Science* 260:640-646, 1993.
- Dale Kaiser, "Building A Multicellular Organism", *Annu. Rev. Genet.*, 35:103-23, 2001.

Soru 36

- E. G. Nisbet, N. H. Sleep, "The habitat and nature of early life", *Nature* 409:1083-1091, 22 Şubat 2001.
- Carl Zimmer, "On the Origin of Eukaryotes", *Science*, Vol 325: 666-668, 7 Ağustos 2009.
- J. A. Lake, "The evolution of eukaryotes", *Science* 27;316(5824):542-3, Nisan 2007
- T. Martin Embley, "Eukaryotic evolution, changes and challenges", *Nature* 440, 623-630, 30 Mart 2006.
- Scott Dawson, "Creatures from the Black Lagoon: Lessons in the Diversity and Evolution of Eukaryotes"; http://evolution.berkeley.edu/evosite/resources/readings_dawson.shtml
- "Evolutionary history of life"; http://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary_history_of_life#Earliest_evidence_for_life_on_Earth

Soru 37

- Jin Xiong Carl E. Bauer, "Complex Evolution Of Photosynthesis", *Annu. Rev. Plant Biol.* 53:503-21, 2002.
- E. G. Nisbet, N. H. Sleep, "The habitat and nature of early life", *Nature* 409, 1083-1091, 22 Şubat 2001.
- Mitch Leslie, "On the Origin of Photosynthesis", *Science*, Vol, 323:1286-1287, 6 Mart 2009.

164) Jin Xiong vd., "Molecular Evidence for the Early Evolution of Photosynthesis", *Science*, 289, 1724, 2000.

- Richard A.Kerr, "The Story of O2", *Science*, Vol 308: 1730-

1732, 17 Haziran 2005.

Soru 38

- James F. Kasting and David Catling, "Evolution Of A Habitable Planet", *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* 41:429-63, 2003.
- E. G. Nisbet, N. H. Sleep, "The habitat and nature of early life", *Nature* 409, 1083-1091, 22 Şubat 2001.
- Richard A.Kerr, "The Story of O2", *Science*, Vol 308: 1730-1732, 17 Haziran 2005.
- G. C. Dismukes vd., "The origin of atmospheric oxygen on Earth: The innovation of oxygenic photosynthesis", PNAS, Vol 98: 2170-2175, 27 Şubat 2001.
- Timothy M. Lenton, "The coupled evolution of life and atmospheric oxygen", *Evolution Planet Earth*, Academic Press Limited, s.33, 2002.
- Paul G. Falkowski and Yukio Isozaki, "The Story of O2", *Science*, Vol 322:540-542, 24 Ekim 2008.
- Heinrich D Holland, "The oxygenation of the atmosphere and oceans", Phil. Trans. R. Soc. B 361:903-915, 2006.
- Jason Raymond, "The Effect of Oxygen on Biochemical Networks and the Evolution of Complex Life", *Science*, Vol.311, No: 5768:1764-1767, 24 Mart 2006.
- Victor J. Thannicka, "Oxygen in the Evolution of Complex Life and the Price We Pay", *American Journal Of Respiratory Cell And Molecular Biology*, Vol 40:507-510, 2009.
- Şeklin kaynağı: "Ozone Hole Watch"; http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/

Soru 39

- Lars S. Jermiin, Leon Poladian, Michael A. Charleston, "Is the 'Big Bang' in Animal Evolution Real?" *Science*, Vol 310:1910-1911, 23 Aralık 2005.
- Charles R. Marshall, "Explaining the Cambrian "Explosion" of Animals", *Annu. Rev. Earth Planet.* Sci. 34:355-84, 2006.
- James W. Valentine, "Prelude To The Cambrian Explosion", *Annu. Rev. Earth Planet.* Sci. 30:285-306, 2002.
- PBS, "The Cambrian Explosion"; http://www.pbs.org/wgbh/evolution/library/03/4/l_034_02.html
- Tübitak, "Jeolojik Devirler"; http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/jeolojik/KambrOncesi/index.htm
- Understanding Evolution, "Meet the Cambrian Critters"; http://

evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/_0_0/cambrian_01
- Univ. of California Museum of Paleontology, "The Cambrian Period"; http://www.ucmp.berkeley.edu/cambrian/camb.html

Soru 40

- Raven, J.A. vd., "Roots: evolutionary origins and biogeochemical significance", *Journal of Experimental Botany* 52:381-401, 2001.
184) Geiser Heckman vd., "Molecular evidence for the early colonization of land by fungi and plants", *Science* 293 (5532):1129-1133, Ağustos 2001.
- P. Knauth vd., "The late Precambrian greening of the Earth", *Nature* 460 (7256):728-732, Ağustos 2009.
- C. H. Wellman vd., "Fragments of the earliest land plants", *Nature* 425 (6955):282-285, 2003.
- Osborne, C. P. vd., "Review. Nature's green revolution: the remarkable evolutionary rise of C4 plants", *Philosophical Transactions: Biological Sciences* 361 (1465):173-194, 2006.
- University of California Museum of Paleontology, "Geological Times"; http://www.ucmp.berkeley.edu/help/timeform.html
- The Evolution of Plants; http://www.xs4all.nl/~steurh/engplant/ebladl.html
- University of California Museum of Paleontology, "The Permian"; http://www.ucmp.berkeley.edu/permian/permian.html
- Evolutionary History of Plants; http://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary_history_of_plants
- The Evolution of Land Plants; http://www.world-builders.org/lessons/less/les8/Vles8r.html
- University of California Museum of Paleontology, "The Carboniferous"; http://www.ucmp.berkeley.edu/carboniferous/carboniferous.html

Soru 41

- NAS Book: "Science, Evolution and Creationism" National Academy of Sciences, Institute of Medicine, National Academy Press, Washington, DC, 2008.
- Understanding Evolution, "What has the head of a crocodile and the gills of a fish?";
http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/news/060501_tiktaalik

Soru 42-44

- Paul C. Sereno, "The Evolution of Dinosaurs", Science 284,

2137; 2137-2147, 1999.
- S.C. Wang vd., "Estimating the Diversity of Dinosaurs", *Proceedings of the National Academy of Sciences* USA 103 (37):13601-13605, 2006.
- N. MacLeod vd,. "The Cretaceous–Tertiary biotic transition", *Journal of the Geological Society* 154 (2): 265-292, 1997
- Sciencedaily, "Mass Extinctions And The Evolution Of Dinosaurs"; http://www.sciencedaily.com/releases/2008/09/080930102631.htm
- Dinodatabase, "The Age of Dinosaurs"; http://www.dinodatabase.com/
- National Geopgraphic, "Prehistoric Time Line"; http://science.nationalgeographic.com/science/prehistoric-world/prehistoric-time-line/
- Natural History Museum, "Dinosaurs and other extinct creatures"; http://www.nhm.ac.uk/nature-online/life/dinosaurs-other-extinct-creatures/index.html
- Smithsonian National Museum of Natural History, "Origin of Mammals"; http://paleobiology.si.edu/geotime/main/htmlversion/triassic4.html
- Şeklin kaynağı; http://www.britannica.com/EBchecked/topic-art/66391/62499/
- Şeklin kaynağı; Stephen L. Brusatte, "The origin and early radiation of dinosaurs", *Earth-Science Reviews*, Vol.101, Issues 1-2, s.68-100, Temmuz 2010.
- Chicxulub Impact - No Mass Extinction; http://geoweb.princeton.edu/people/keller/Mass_Extinction/massex.html#8

Soru 45

- Kenneth D. Rose, "The Beginning of the Age of Mammals", The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1993.
- Smithsonian National Museum of Natural History, "Mammal Family"; http://www.mnh.si.edu/mammals/index.htm
- Smithsonian National Museum of Natural History, "Origin of Mammals"; http://paleobiology.si.edu/geotime/main/htmlversion/triassic3.html
- Şeklin kaynağı; Carl Buell, "At the Water's Edge" by Carl Zimmer, 1998.

Soru 46-48

- NAS Book: "Science, Evolution and Creationism", National

Academy of Sciences, Institute of Medicine, National Academy Press, Washington, DC, 2008.
- David L. Alles, "A Review of Current Research on Human Evolution: Teaching Human Evolution. *The American Biology Teacher*, Vol.65, No.5(Mayıs): 333-339, 1-65, 2003.
- Smithsonian National Museum of Natural History, "What does it mean to be human?", http://humanorigins.si.edu/
- Bradshaw Foundation in collaboration with Stephen Oppenheimer, "Journey of Mankind"; http://www.bradshawfoundation.com/journey/
- Understanding Evolution, "Fossil Hominids, Human Evolution: Thomas Huxley & Eugene Dubois"; http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/history_17
- Understanding Evolution, "Human evolution"; http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/humanevo_01

Soru 49

- Evrimi Anlamak, "Kitlesel Yokoluşlar"; http://evrimianlamak.org/e/Evrim_101Y:Kitlesel_yokolu%C5%9Flar
- David Jablonski-Understanding Evolution, "How to survive a mass extinction"; http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/jablonski_01
- Understanding Evolution, "Extinctions: Georges Cuvier"; http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/history_08
- National Geographic, "Mass extinctions: What causes animal die offs?"; http://science.nationalgeographic.com/science/prehistoric-world/mass-extinction/
- PBS, "Mass Extinction"; http://www.pbs.org/wgbh/nova/sciencenow/3318/01-susp-nf.html

Soru 50

The World Conservation Union. 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Summary Statistics for Globally Threatened Species; http://www.iucn.org/what/, http://www.iucnredlist.org/documents/summarystatistics/2010_1RL_Stats_Table_1.pdf, http://www.iucnredlist.org/about/red-list-overview

Food and Agricultural Organization of the United Nations, "State of the World Forests 2009"; http://www.fao.org/docrep/011/i0350e/i0350e00.htm
- Şeklin kaynağı; http://foris.fao.org/static/data/fra2005/maps/2.2.jpg

50 SORUDA KİTAP DİZİSİ

ÇIKMIŞLAR

50 Soruda İnsanın Tarihöncesi Evrimi
Prof. Dr. Metin Özbek

50 Soruda Aydınlanma
Afşar Timuçin - Ali Timuçin

50 Soruda Görelilik Kuramları
Yard. Doç. Dr. İbrahim Semiz

50 Soruda Deprem
Prof. Dr. Haluk Eyidoğan

50 Soruda Büyük Patlama Kuramı
Prof. Dr. Metin Hotinli

50 Soruda Yer'in Evrimi
Prof. Dr. Mehmet Sakınç

50 Soruda Yaşamın Tarihi
Dr. Deniz Şahin

50 Soruda Arkeoloji
Prof. Dr. Mehmet Özdoğan

50 Soruda Matematik
Prof. Dr. Şahin Koçak

50 Soruda Evren
Çağlar Sunay

ÇIKACAKLAR

50 Soruda Bilim ve Bilimsel Yöntem
Ed. Alaeddin Şenel

50 Soruda Darwin ve Evrim Kuramı
Prof. Dr. Haluk Ertan

50 Soruda Kuantum Kuramı ve Nanoteknoloji
Prof. Dr. Tekin Dereli-Prof. Dr. Gülay Dereli

50 Soruda Jeoloji
Prof. Dr. A. M. Celal Şengör

50 Soruda Moleküler Evrim
Doç. Dr. Ergi Deniz Özsoy

50 Soruda Hz. Muhammed ve Kuran
Yard. Doç. Dr. Hasan Aydın

50 Soruda Psikiyatri
Prof. Dr. Ali Nahit Babaoğlu

50 Soruda Antropoloji
Doç. Dr. Sibel Özbudun-Dr. Gülfem Uysal

50 Soruda Maddenin Evrimi
Doç. Dr. Kerem Cankoçak

50 Soruda Enerji Kaynaklarımız
Prof. Dr. Osman Demircan

50 Soruda Genler ve Genetik
Dr. Kenan Ateş

50 Soruda Avrupa-merkezcilik
Ender Helvacıoğlu

50 Filmde Türkiye Sinema Tarihi
Zahit Atam

Bilim ve Gelecek Kitaplığı

50 SORUDA

yaşamın tarihi

Deniz Şahin

Bilim ve Gelecek Kitaplığı "50 Soruda" dizisinin yedinci kitabı olan 50 Soruda yaşamın tarihi, yaşamın evrimine yoğunlaşıyor. İTÜ Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü Araştırma Görevlisi olan Dr. Deniz Şahin'in, yaşamın nasıl oluştuğunu, ne kadar farklı şekillere girebildiğini, aklımıza bile gelmeyecek yerlerde bile nasıl gelişebildiğini ve çeşitlenerek yeni türleri nasıl ortaya çıkarabildiğini gösteren dirençli tarihini geniş bir bilimsel bağlamda ele alırken geçtiği kimi sorular şöyle:

Yaşam nedir? Arsenik seven bakteriler: Yaşamın biyokimyasının tanımı değişiyor mu? Cansızdan canlıya nasıl geçilmiştir? Hücrenin yapısı nasıldır, hücrede bilgi akışı nasıl olur? Canlılar nasıl çeşitlenmiştir? Evrim kuramıyla ilgili yanlış bilinen noktalar nelerdir? Dünya dışında yaşam var mıdır? Evren nasıl ortaya çıkmıştır? Dünya ne zaman ve nasıl oluştu? Dünyada yaşam ne zaman ve nerede başladı? Yaşam için gerekli öncü moleküller nelerdir? Yaşamın ortaya çıkışının, laboratuvar şartlarında deneyi yapılabilmiş midir? Kendini çoğaltabilen ilk molekül/sistem hangisidir? İlk hücre zarı nasıl oluştu? Eşeyli üreme nasıl ortaya çıktı? Memeliler nasıl ortaya çıktı? Dinozorlar yok oldu mu? İnsanın evrimindeki temel aşamalar nelerdir? Dünya üzerinde canlılık hiç yok oluşun eşiğine geldi mi? Bugün kitlesel bir yok oluşun eşiğinde miyiz?



Bilim ve Gelecek Kitaplığı

ISBN 978-605-5888-17-6

9 786055 888176

18.00