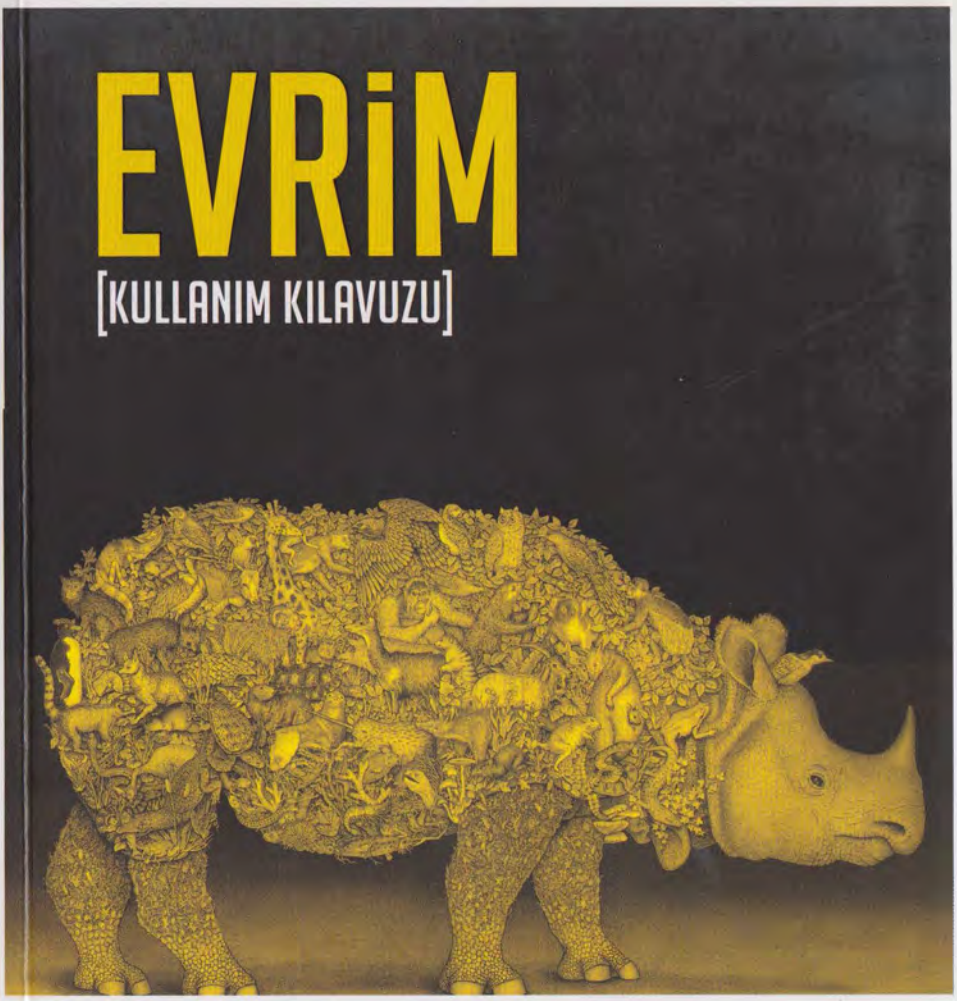
EVRİM

[KULLANIM KILAVUZU]



FRANCISCO J. AYALA

EVRİM NEDİR? • DARWIN HAKLI MIYDI? • DOĞAL SEÇİLİM NEDİR?
EN UYGUN OLANIN HAYATTA KALMASI NEDİR? • TÜR NEDİR?
KROMOZOMLAR, GENLER VE DNA NEDİR? • HAYAT NASIL BAŞLADI?
HAYAT AĞACI NEDİR? • BEN GERÇEKTEN MAYMUN MUYUM?

aylak

Fransisco J. Ayala

Fransisco J. Ayala, Irvine, California Üniversitesi'nde Biyoloji ve Felsefe Profesörüdür. Ulusal Bilim Akademisi (NAS/National Academy of Science) üyesi olan Ayala, 2001 yılı Ulusal Bilim Madalyası'nın sahibidir ve 2008 yılında NAS ve Tıp Enstitüsü (Institute of Medicine) tarafından ortaklaşa yayımlanan *Science, Evolution, and Creationism*'in (*Bilim, Evrim ve Yaratılışçılık*) Yazım Komitesi Başkanı olarak görev yapmıştır.

Ayala, *Darwin'in Bilime ve Dine Hediyesi ve Ben Bir Maymun muyum?* da dahil olmak üzere, bilim ve dinin kesişimi konusunda bir çok kitap ve makale yazmıştır. Ayala, hayatın ruhani boyutunun ortaya koyulmasına sağladığı katkıdan ötürü kendisine layık görülen 2010 yılı Templeton Ödülü gibi bir çok onursal derece ve ödülün sahibidir.

Simon Blackburn

Günümüzün en önemli felsefecilerinden biri olan Simon Blackburn, Cambridge Üniversitesi'nde ve North Carolina Üniversitesi'nde felsefe profesörüdür.



Evrim
Francisco J. Ayala

Özgün Künye
Evolution
© Francisco J. Ayala, 2012

AYLAK KİTAP
© Her hakkı mahfuzdur.

Çeviri: Ebru Kılıç
Yayına Hazırlayan: G. Mine Olgun
Grafik Tasarım: Özge Kılıç

1. Baskı, Ocak 2014
Aylak Kitap: 34
ISBN: 978-605-5691-97-4

AYLAK KİTAP
Sertifika No: 22806
Caferağa Mah. Nailbey Sok.
Umut Işhanı No: 15 D: 8
Kadıköy İstanbul
Tel: 0 216 345 40 69 (pbx) Faks: 0 216 345 40 68

Baskı
Ertem Basım Yayın Dağıtım San. Tic. Ltd. Şti. Ankara
Tel: 0312 640 16 23
Sertifika No: 26886

www.aylakkitap.com
aylakkitap@aylakkitap.com
facebook/aylakkitapyayinlari

Evrim

Kullanma Kılavuzu

Francisco J. Ayala

Dizi Editörü: Simon Blackburn

aylak

İçindekiler

GİRİŞ 6

EVRİM NEDİR? 9
Biyolojinin birleştirici-merkezî kavramı

DARWİN HAKLI MIYDI? 18
Evrim bir olgudur

DOĞAL SEÇİLİM NEDİR? 30
Tasarımcısız tasarım

EN UYGUN OLANIN HAYATTA KALMASI NEDİR? 41
Evrimci sentez

EVRİM RASTGELE BİR SÜREÇ MİDİR? 51
Şans ve zorunluluk

TÜR NEDİR? 60
Ayrılığın korunması

KROMOZOMLAR, GENLER VE DNA NEDİR? 67
Çifte sarmal

GENLER NASIL OLUR DA BEDENLER OLUŞTURUR? 76
Yumurtadan yetişkine, beyinden zihne

MOLEKÜLER EVRİM NEDİR? 85
Moleküler saat

HAYAT NASIL BAŞLADI? 94
Bir yumurta mı tavuktan tavuk mu yumurtadan sorusu

HAYAT AĞACI NEDİR? 104
LUCA: Son evrensel ortak ata

BEN GERÇEKTEN MAYMUN MUYUM? 114
Biyolojiden kültüre

FOSİL KAYITLARI BİZE NE SÖYLER? 127
Yeryüzünde hayat, gezegenimizin tarihinin büyük bölümü boyunca var olmuştur

KAYIP HALKA NEDİR? 138
İnsan ataların hikayesi

ZEKA KALITIMLA MI MİRAS ALINIR? 149
Bireysel zeka sadecekısmen genlere dayanır

İNSANLAR EVRİLMEYE DEVAM EDECEK Mİ? 159
Biyolojik ve kültürel evrim

KENDİ KENDİMİ KLONLAYABİLİR MİYİM? 169
Genler kopyalanabilir, insanlar değil

AHLAK NEREDEN GELİYOR? 179
Biyolojiye karşı kültür

DİL SADECE İNSANA ÖZGÜ BİR ÖZELLİK MİDİR? 190
Insanlar konuşur; karıncalar ve arılar iletişim kurar

YARATILIŞÇILIK DOĞRU MUDUR? 202
Bilim ve dinin çelişmesi gerekmez

SÖZLÜK 215

Giriş

Önde gelen evrimcilerden Theodosius Dobzhansky, 1973 yılında sarf ettiği meşhur sözünde, "Biyolojide hiçbir şey, evrimden başka bir şeyin ışığında anlam ifade etmez," demişti. Gerçekten de biyolojik evrim, modern biyolojinin merkezî önemdeki örgütleyici ilkesidir. Evrim, Dünya üzerinde neden bu kadar farklı tipte organizma olduğu sorusuna bilimsel bir açıklama getirir, bu organizmaların hem görünümlerindeki hem de genetik yapı ve fizyolojilerindeki benzerlik ve farklılıkların bir değerlendirmesini sunar. Dünya üzerindeki insanların kökenini açıklar ve türümüzün başka canlılarla olan biyolojik bağlantılarını gözler önüne serer. Sürekli evrilen bakteriler, virüsler ve başka patojenik organizmalara dair bir anlayış ortaya koyar ve kendimizi bunların neden olduğu hastalıklara karşı korumamız için etkili ve yeni yollar geliştirmemizi sağlar.

Evrim bilgisi tarım ve tıpta gelişmeleri mümkün kılmış ve biyoloji dışında başka birçok alana uygulanmıştır; örneğin, yazılım mühendisliğinde, genetik algoritmalarla evrimsel süreçlerin taklit edilmeye çalışılmasında ve kimyada, özel işlevleri olan yeni moleküller geliştirmede doğal seçilim ilkelerinin kullanılmasında.

Charles Darwin, haklı olarak evrim kuramının kurucusu olarak tanınır. Darwin, 1859'da yayınlanan *On The Origin of Species*'de (*Türlerin Kökeni*), organizmaların evrildiğini gösteren kanıtları ortaya koymuştu. Ama ondan da önemlisi, doğal seçilimi, yani organizmaların "tasarım"ını ve çeşitliliklerini açıklayan süreci keşfetmişti. Darwin'in *Origin of Species*'i her şeyden önce, organizmaların uyarlanmalarının bilimsel olarak nasıl açıklanacağı sorununu çözme yönünde süreklilik gösteren bir çabaydı.

Darwin, organizmaların tasarımını (karmaşıklıklarını, çeşitliliklerini ve muhteşem düzeneklerini) doğal süreçlerin sonucu olarak açıklar.

Darwin ve on dokuzuncu yüzyıldaki başka biyologlar, canlı organizmaların karşılaştırmalı olarak incelenmesinde, canlıların coğrafi dağılımlarında ve nesli tükenmiş organizmaların fosilleşmiş kalıntılarında, biyolojik evrime dair inandırıcı kanıtlar bulmuşlardı. Darwin'in zamanından beri, bu kaynaklardan gelen kanıtlar daha güçlü ve daha kapsamlı bir hal almış, son dönemde ortaya çıkan biyolojik disiplinler (genetik, biyokimya, ekoloji, hayvan davranışları [etoloji], nörobiyoloji ve özellikle de moleküler biyoloji) çok güçlü ek kanıtlar sağlamış ve kuramı ayrıntılı olarak doğrulamıştır. Bu doğrultuda, evrimciler artık, evrim olgusunu destekleyecek kanıtlar elde etme çabasında değildir. Evrimci araştırma bugünlerde daha çok, evrim sürecinin nasıl meydana geldiğini daha fazla ve daha ayrıntılı olarak anlama çabası içindedir.

Evrim kuramı birçok kişi tarafından tartışmalı bir kuram olarak görülür. Ben bu algıyı şaşırtıcı buluyorum. İnsanlar da dahil olmak üzere organizmaların, onlardan çok farklı olan atalardan evrilmiş oldukları su götürmezdir. Bilim insanları organizmaların evrimini, Dünya'nın Güneş'in etrafında dönmesi, galaksilerin genişlemesi, atom kuramı ya da genetik biyolojik kalıtım kuramı gibi gayet iyi doğrulanmış bilimsel kuramları kabul ettikleri kadar büyük bir güvenle kabul ediyorlar.

Türlerin Kökeni'nin yayınlanmasından yaklaşık olarak yüz yıl sonra, yirminci yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıkmış bilimsel bir disiplin olan moleküler biyoloji, "evrensel hayat ağacı"nı, yani bütün canlı organizmaların atası olan ilk hayat biçimlerinden bugün Dünya üzerinde bulunan her türe uzanan sürekliliği yeniden inşa etmeyi mümkün kılmıştır. Canlı organizmaların DNA dizilimlerinde şifrelenmiş olan neredeyse sınırsız bilgi, evrimcilerin, bugünkü organizmalara uzanan bütün evrimsel ilişkileri ayrıntılı olarak yeniden inşa etmesini mümkün kılar.

Evrim, evrimi öğrenmek isteyenlerin genellikle yönelttiği yirmi soru hakkında kapsamlı düşünümler sunuyor. Bu sorular, evrim kuramı açısından en önemli sorular arasında yer alır, ne var ki başka birçok soru zorunluluk yüzünden ele alınmamıştır. Uzmanlara değil, uzman bilgisine sahip olmayan ama ilgili ve zeki olduğu varsayılan genel okura hitap ediyor olsa da, burada sunulan bilgiler doğru ve yeri geldiğinde de derinliklidir.

EVRİM NEDİR?

Biyolojinin birleştirici-merkezî kavramı

Organizmaların evrimi genetik, moleküler biyoloji, biyokimya, nörobiyoloji, fizyoloji ve ekoloji gibi biyolojik disiplinlerin özünde yatar ve yeni hastalıkların ortaya çıkmasını, bakterilerde antibiyotik direncinin gelişmesini ve kamu sağlığını ilgilendiren başka meseleleri anlamlı kılar. Evrim, yabani ve evcil bitkiler ve hayvanlar arasındaki tarımsal ilişkileri açıklar. Enformatik ve bilgisayar biliminde, kimyasal bileşiklerin tasarımında ve çok çeşitli başka sanayilerde kullanılır.

"Evrim" terimi, zaman içinde değişim anlamına gelir. Genellikle canlıların evrimini ifade eder, ama başka bilimsel bağlamlarda, özellikle de astronomide, fiziksel evrenin tamamının (galaksiler, yıldızlar ve gezegenlerin) oluştuğu ve değiştiği süreçlere atfen kullanılır.

Yaygın kanının aksine, biyolojik evrim terimi de fikri de Charles Darwin ve onun başlıca çalışması *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* (1859) (*Doğal Seçilimle Türlerin Kökeni Üzerine*) ile başlamamıştır. *Oxford English Dictionary* (*Oxford İngilizce Sözlüğü*), açılma anlamına gelen "evrim" kelimesinin, Latince "bir kitabın açılması" anlamına gelen *evolvere* kelimesinden geldiğini söyler. Bu kelime İngilizce dilinde ilk kez 1647'de, biyolojiyle ilgisiz biçimde kullanıldı, o tarihten itibaren de İngilizcede, başlangıcı daha basit olan her tür ilerlemeyi ifade etmektedir. Evrim, biyolojik bir terim olarak ilk kez 1670'te, böceklerin olgunlaşma sürecinde gözlenen değişiklikleri betimlemek için kullanıldı. Ne var ki ancak Darwin, *Türlerin Kökeni* adlı eserinin 1873'teki basımında, bu terimi ilk kez bugün biyolojik

evrim dediğimiz şeyi anlatmak için kullandı. Darwin daha önce, "değişimle türeyiş" ifadesini kullanmıştı, bu terim hâlâ, bu süreci kısa ve öz bir şekilde betimleyen iyi bir terimdir.

Evren

Evrenin 15 milyar yıl önce Büyük Patlama'yla, madde ve enerjinin her yönde genişlemesine neden olan muazzam bir patlamayla başladığı genel kabul görür. Evren genişlerken madde bulutlar halinde toplanmış, bu bulutlar yavaş yavaş sıkışarak bizim galaksimiz Samanyolu gibi galaksiler oluşturmuşlardır. Bu galaksilerde, kütleçekim maddeyi sıkıştırmış, madde birçok örnekte sıkışarak nükleer tepkimelerin meydana geldiği yıldızlara dönüşmüştür. Güneş'imize gelince, gaz ve tozlar çarpışıp toplanarak çok küçük gezegenler oluşturmuşlar, bu gezegenler sonraki aşamalarda birleşerek bugün Güneş sistemimizdeki sekiz (Pluto'yu da dahil edersek dokuz) gezegeni ve çok sayıda uyduyu oluşturmuşlardır.

Dünya tahminen 4,54 milyar yaşındadır. 3,96 milyar yaşındaki bilinen en eski kayalar kuzeybatı Kanada'da bulunmuşlardır, bununla birlikte Batı Avustralya gibi başka yerlerde bulunan kayalarda, tarihleri 4,3 milyar yıl öncesine uzanan, kayalardan daha yaşlı zirkon kristalleri de bulunmuştur. Dünya'da hayatın kökenleri, 4 milyar yıl öncesi kadar erken bir tarihe uzanıyor olabilir. Bugünkü bakterilere benzer organizmaların 3,5 milyar yıl önce yaşadığına dair kanıtlar mevcuttur. Bugün yaşayan, sayıları tahminen 10 milyonu bulan bütün türler, bu ilk basit organizmalardan evrimle türemişlerdir.

Biyolojik evrim

Evrim, Charles Darwin'in verdiği isimle, "değişimle türeyiş" sürecidir, bugün yaşayan bütün türler ve geçmişte tükenmiş çok daha fazla sayıda tür bu süreçle ortaya çıkmıştır.

Hayatın gösterdiği neredeyse sonsuz sayıda farklılık, evrimin meyvesidir. Bütün canlılar, ortak atalardan türedikleri için akrabadırlar. İnsanlar ve başka memeliler, 150 milyon yılı aşkın bir süre önce yaşamış kır faresi benzeri yaratıklardan; memeliler, kuşlar, sürüngenler, amfibiler ve balıklar, 600 milyon yıl önce yaşamış su solucanlarından; bütün bitkiler ve hayvanlar, 3 milyar yıl önce yaşamış bakteri benzeri mikroorganizmalardan türemişlerdir. Organizmaların soyları kuşaklar boyunca değişir; ortak atalardan türeyen soylar zaman içinde farklı çevrelere uyum sağlayarak farklılaştıkları için çeşitlilik ortaya çıkar.

Evrim araştırmaları, birbiriyle ilişkili olsa da esasen üç farklı meseleden oluşur: 1) evrim olgusu, yani organizmaların değişimle ortak türeyiş yoluyla akraba olduğu; 2) evrim tarihi, yani soyların birbirinden ne zaman ayrıldığına ve her soyda meydana gelen değişikliklere ilişkin ayrıntılar; 3) evrimsel değişimi ortaya çıkaran mekanizmalar ve süreçler.

Evrim olgusu en temel meseledir ve tam bir kesinlikle yerli yerine oturtulmuştur. Darwin evrimi destekleyecek çok fazla kanıt toplamıştır, ama o tarihten beri sürekli olarak toplanan kanıtlar bütün biyolojik disiplinlerden gelmektedir. Organizmaların evrimsel kökenleri bugün, Dünya'nın yuvarlaklığı, gezegenlerin hareketi ve maddenin moleküler bileşimi gibi, kavramla atfedilebilen bir kesinlikle tesis edilmiş bilimsel bir sonuçtur. Biyologlar, evrimin bir "olgu" olduğundan bahsederken, akla yatkın kuşkuların ötesine geçen bu derece bir kesinliği ima ederler; organizmaların evrimsel kökeni neredeyse bütün biyologlar tarafından kabul edilmektedir.

İkinci ve üçüncü meseleler, organizmaların evrildiği yönündeki genel kabulün ötesine geçer. Evrim kuramı, belli organizmalar ile evrim tarihindeki olaylar arasındaki ilişkileri kesinleştirmeye, ayrıca evrimin nasıl ve neden gerçekleştiğini açıklamaya çalışır. Bu meseleler, faal bilimsel araştırmaların konusudur. Varılan birçok sonuç gayet iyi tesis edilmiştir; örneğin, şempanzeler ve goriller insanlarla, bu üç türün babunlar ya da

diğer maymunlarla olduğundan daha yakın akrabadırlar; ya da doğal seçilim, insan gözü ve kuşların kanatları gibi özelliklerin uyarlanmaya dayalı yapılarını açıklar. Başka bazı meseleler o kadar kesin değildir, bazıları da tahminîdir, yine bazıları (örneğin Dünya'da hayatın tam olarak ne zaman başladığı ve ilk canlıların özellikleri) büyük ölçüde çözümsüz kalmıştır.

Bununla birlikte, bu meselelerdeki belirsizlik evrim olgusuna şüphe düşürmez. Benzer şekilde, evrenin yapısı ve galaksilerin kökeniyle ilgili bütün ayrıntıları bilmiyoruz, ama bu, galaksilerin varlığından şüphelenmemize ya da özellikleri hakkında öğrendiğimiz her şeyi çöpe atmamıza yol açacak bir gerekçe değildir. Biyolojik evrim günümüzde bilimsel araştırmanın en faal olduğu alanlardan biridir; sürekli önemli keşifler birikmekte, bunlar büyük ölçüde başka disiplinlerdeki ilerlemelerle desteklenmektedir.

Biyolojik evrim araştırmaları, bu gezegendeki hayata ilişkin anlayışımızı dönüştürmüştür. Evrim, Dünya'da neden bu kadar çok sayıda farklı tür bulunduğuna ve bu türlerin hepsinin nasıl olup da evrimsel bir soyun parçası olduğuna bilimsel bir açıklama getirir. Birbirinden hayli farklı görünen bazı organizmaların neden aslında yakın akraba olduklarını, benzer görünebilecek olanların ise neden uzak akraba olduklarını gösterir. Dünya üzerinde insanların ortaya çıkışını açıklar ve türürnüzün başka canlılarla olan biyolojik bağlantılarını gözler önüne serer. Farklı insan gruplarının nasıl birbiriyle ilişkili olduğunu ve özelliklerimizin birçoğunu nasıl edindiğimizi ayrıntılı olarak ortaya koyar. Kendimizi sürekli evrilen bakteriler ve virüslere karşı korumanın etkili yeni yollarının geliştirilmesini sağlar.

Kısa tarihçe

Dünyanın, insanın ve başka yaratıkların kökenine ilişkin açıklamalar bütün insan kültürlerinde bulunur. Geleneksel Musevilik, Hristiyanlık ve İslam, canlıları ve onların çevrelerine uyum

sağlamalarını (kanatlar, solungaçlar, eller, çiçekler), her şeyi bilen bir Tanrı'nın elinden çıkmış işler olarak açıklar. Antik Yunan filozoflarının da kendi yaratılış mitleri vardı. Anaksimander, hayvanların bir türden diğerine dönüşebileceğini ileri sürmüştü; Empedokles, hayvanların daha önceden var olan parçaların çeşitli bileşimlerinden oluşuyor olabileceği fikrini ortaya atmıştı. Modern evrimci fikirlere en yakın fikirler, Nazianuslu Gregorius ve Augustine gibi erken dönem Hristiyan yazarların iddialarıydı; Gregorius ve Augustine, bütün bitki ve hayvan türlerinin oldukları halleriyle Tanrı tarafından yaratılmadığını, bazılarının eski zamanlarda Tanrı'nın başka yaratılarından geliştiğini söylüyorlardı. Saikleri biyolojik değil dinîydi. Bazı türlerin ancak Tufan'dan sonra ortaya çıkmış olması gerekiyordu, çünkü bütün türlerin temsilcilerini Nuh'un Gemisi gibi tek bir vasıtanın içinde toplamak mümkün değildi.

Orta Çağ'daki Hristiyan ilahiyatçılar, organizmaların doğal süreçlerle değişebileceği mefhumunu doğrudan araştırmamışlardı, ama bu mesele, Albertus Magnus ve öğrencisi Thomas Aquinas da dahil olmak üzere birçokları tarafından bir olasılık olarak değerlendirilmişti.

On sekizinci yüzyılda, Pierre-Louis Moreau de Maupertuis, kökenler kuramının bir parçası olarak, organizmaların kendiliğinden ortaya çıkıp tükenmesini ortaya atmıştı, ama bilinebilir doğal nedenlerle bir türün bir başkasına dönüşme olasılığı hakkında bir kuram ileri sürmemişti. O dönemin en büyük doğabilimcilerinden biri olan Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon, birkaç farklı türde organizmanın ortak bir atadan türemesi olasılığını açıkça değerlendirdi ve reddetti. Ancak, organizmaların kendiliğinden üreme yoluyla organik moleküllerden doğduğu iddiasını ileri sürdü, böylece yaşayabilir molekül bileşimleri kadar fazla türde hayvan ve bitki olabiliyordu.

İsveçli botanikçi Carolus Linnaeus, bugün modernleştirilmiş biçimiyle hâlâ kullanılmakta olan hiyerarşik bitki ve hayvan sınıflandırma sistemini geliştirdi. Linnaeus türlerin sabit olduğun-

da ısrar etse de, kurduğu sınıflandırma sistemi nihayetinde, ortak türeyiş kavramının kabul edilmesine büyük katkıda bulundu. Charles Darwin'in büyükbabası, *Zoonomia*, ya da *The Laws of Organic Life* (*Organik Hayatın Kanunları*) adlı kitabında, evrimle ilgili bazı spekülasyonlarda bulunmuştu, ama bunlar sistematik olarak geliştirilmemişti ve sonraki kuramlar üzerinde de esaslı bir etkileri olmadı.

Büyük Fransız doğabilimci Jean-Baptiste Lamarck, canlı organizmaların bir ilerlemeyi temsil ettiği ve insanların en yüksek biçimi oluşturduğu görüşünü savunuyordu. Lamarck 1809'da, Darwin'in doğduğu yıl basılan *Philosophie Zoologique* (*Zoolojinin Felsefesi*) adlı kitabında, ilk geniş kapsamlı evrim kuramını ortaya attı. Organizmalar çağlar içinde daha alçak biçimlerden daha yüksek biçimlere doğru evrilir, bu süreç bugün de devam etmektedir ve her zaman zirve noktası insanlardır. Organizmalar alışkanlıkları sayesinde ortamlarına uyum sağladıkça, değişiklikler meydana gelir. Bir organın ya da yapının kullanılması onu güçlendirir, kullanılmaması silinip gitmesine neden olur. Örneğin, bir atletin sağlam kaslar geliştirdiğini görürüz, apandisit gibi kullanılmayan organlarsa ölüp gider. Lamarck'ın evrim kuramına göre, kullanım ve kullanılmama ile kazanılan özellikler, kalıtımla miras alınabiliyordu. Daha sonraları, edinilmiş özelliklerin kalıtımla miras alınması olarak adlandırılan bu kuram, yirminci yüzyılda iyiden iyiye reddedildi. Lamarck'ın diğer kuramlarının, örneğin aynı organizmaların sabit bir dönüşüm dizisiyle tekrar tekrar evrildiği kavramının, yani bugünkü primatların atalarının gelecekte insanlar olacağı kavrayışının yanlış olduğu kanıtlandı.

Charles Darwin

Modern evrim kuramının kurucusu Charles Darwin'dir. Darwin, 28 Aralık 1831'de, Cambridge Üniversitesi'nden mezun olduktan birkaç ay sonra, *HMS Beagle*'da görevli doğabilimci olarak, Ekim 1836'ya dek sürecek bir dünya seyahatine çıktı. Bu yolcu-

luk sırasında, yerel fauna ve florayı incelemek ve numuneler toplamak için karaya çıkıp uzun yolculuklar yapma imkanı buldu.

Arjantin'de, nesli tükenmiş devasa memelilerin fosilleşmiş kemiklerini inceledi. Galápagos Adaları'nda, çok sayıda ispinoz türünü, ayrıca adalara ismini veren devasa kaplumbağaları gözlemledi. Bunlar, nasıl olup da farklı yerlerde ve farklı zamanlarda farklı türlerin doğduğu ve neden bazı türlerin tükendiği sorularına karşı ilgisini uyandıran olaylar arasında yer alıyordu. 1859'da *Türlerin Kökeni*'ni yayınladı, bu eserde organizmaların evrimi hakkında kapsamlı kanıtlar sunuluyor, doğal seçilimin evrimin yönünü belirleyen kilit süreç olduğu ileri sürülüyordu. Darwin daha başka birçok kitap yayınladı, bunların başında, insanın kökenlerine dair evrimsel bir anlatı sunan *Descent of Man, and Selection in Relation to Sex* (1871) (*İnsanın Türeyişi*) geliyordu.

İki devrim: Kopernik ve Darwin

Yaygın deyişle Kopernik Devrimi 1543'te, Nicolaus Copernicus'un öldüğü yıl *De revolutionibus orbium celestium* (*Göksel Kürelerin Devinimleri Üzerine*) adlı kitabının yayınlanmasıyla başladı ve 1687'de Isaac Newton'ın *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Doğa Felsefesinin Matematiksel İlkeleri*) adlı kitabının yayımlanmasıyla birlikte serpilip gelişti. Copernicus, Kepler, Galileo, Newton ve diğerlerinin on altıncı ve on yedinci yüzyılda yaptığı keşifler yavaş yavaş, evrenin doğa kanunlarıyla yönetilen hareket halindeki madde olarak kavranmasını beraberinde getirdi. Dünya'nın evrenin merkezinde olmadığı, ortalama bir yıldızın etrafında dönen küçük bir gezegen olduğu; evrenin uzay ve zamanda muazzam olduğu; gezegenlerin Güneş etrafındaki hareketlerinin, gezegenimizdeki fiziksel nesnelerin hareketini açıklayan basit kanunlarla açıklanabileceği gösterildi.

Bu ve başka keşifler, insanın bilgisini büyük ölçüde genişletti. Ama başlattıkları kavramsal devrim daha temel önemdeydi: Evrenin doğal olguları açıklayan içkin kanunlara uyduğunu

koyutlamaya duyulan bir bağlılıktı bu. Evrenin işleyişi, bilimin alanına sokulmuştu: Doğa kanunlarıyla açıklamalar getirilmeye çalışılıyordu. Nedenler yeterince bilinirse, bütün fiziksel olgular açıklanabilirdi.

Fizik biliminde Kopernik Devrimi'nin getirdiği ilerlemeler, insanlığın evreni kavrayışını bir bölünmüş kişilik haline çevirdi, bu durum on dokuzuncu yüzyılın ortasına kadar devam etti. Doğa kanunlarından türetilmiş bilimsel açıklamalar, Dünya'da olduğu kadar göklerde de cansız madde alemine hükmediyordu. Yaratıcı'nın akıl sır ermez işlerine dayanan doğaüstü açıklamalar da canlıların, yani Dünya'nın en çeşitli, en karmaşık ve en ilginç gerçekliklerinin kökenini ve yapısını açıklıyordu.

Bu kavramsal şizofreniyi çözen, Darwin'in dehası oldu. Doğanın, insan aklının doğaüstü amillere başvurmaksızın açıklayabileceği kanunlara dayalı, hareket halindeki madde sistemi olarak kavranmasını biyolojiye uygulayarak, Kopernik Devrimi'ni tamamladı. Darwin'in karşı karşıya kaldığı muamma ne kadar abartılsa azdır. Yaratıcı'nın rolünü işaret eden tasarım argümanının gücü, ilahiyatçılar ve başka yazarlar tarafından kuvvetli bir biçimde ileri sürülmüştü. Canlıların karmaşık örgütlenmesinin ve işlevselliğinin, bir Yaratıcı'ya ya da başka bir dış amile başvurmaya gerek kalmaksızın, doğal bir sürecin (doğal seçilim) sonucu olarak açıklanabileceğini göstermek, Darwin'in en büyük başarısıydı. Böylece, bütün o yayılmışlıkları ve muhteşem çeşitlilikleri içinde organizmaların kökeni ve uyarlanması, bilimin alanına dahil edilmiş oldu.

Darwin, organizmaların belli amaçlar için "tasarlandığı"nı, yani işlevsel olarak örgütlendiklerini kabul ediyordu. Organizmalar belli hayat tarzlarına uyarlanıyorlardı ve kısımları da belli işlevleri gerçekleştirmek için tasarlanıyordu. Kuşların kanatları uçmak içindi, balıkların solungaçları suda nefes almaya yarıyordu, ağaçların yaprakları da güneş ışığını tutuyordu. Ama Darwin daha ileri giderek, tasarıma doğal bir açıklama getirmeye çalışmıştı. Canlıların tasarım özellikleri artık, cansız dünyadaki olgu-

lar gibi, bilimsel yöntemlere dayanarak gözlemler ve deneylerle test edilebilen doğal süreçlerde tezahür eden doğa kanunlarının sonuçları olarak açıklanabiliyordu.

Alfred Russell Wallace'ın, Darwin'den bağımsız olarak, türlerin evrimini açıklayan süreç olarak doğal seçilim sürecini keşfetmiş olduğu söylenir. Wallace'ın doğal seçilimi bağımsız olarak keşfetmiş olması dikkat çekici olsa da, kendisi tasarımı açıklamakla değil, 1858 tarihli makalesinin başlığından da anlaşıldığı üzere, türlerin evrimini açıklamakla ilgileniyordu: "Türlerin Orijinal Tipten Belirsiz Bir Süre Boyunca Ayrılma Eğilimi Üzerine". Wallace, evrimin belirsiz bir süre boyunca devam ettiğini ve ilerlemeci olduğunu düşünüyordu. Darwin ise evrimin ille de ilerlemeyi temsil etmesi gerektiğini kabul etmiyordu, evrimin zaman içinde hep morfolojik değişimle sonuçlanacağına da inanmıyordu. "Canlı fosiller"in milyonlarca yıldır değişmeden kalmış organizmalar olduğunu biliyordu. Örneğin "en eski Silüryen Devri organizmalarının bazıları, örneğin Nautilus, Lingula vs. canlı türlerden pek de farklı değillerdi".

Darwin 1858'de, *On Natural Selection* (*Doğal Seçilim Üzerine*) adını vermeyi düşündüğü, birden fazla ciltten oluşacak bir eser üzerinde çalışıyordu. Wallace'ın makalesi sayesinde harekete geçerek, *Türlerin Kökeni*'ni (*On the Origin of Species*) yazdı, bu kitap ertesi yıl yayınlanacaktı. *Türlerin Kökeni*'nde olduğu gibi başka kitaplarında da Darwin'in odak noktası, tasarımın açıklanmasıydı, evrim destekleyici bir kanıt olarak ikincil bir rol oynuyordu.

DARWIN HAKLI MIYDI?

Evrim bir olgudur

"Bilim insanları birçok kereler sınanmış ve doğrulanmış bir bilimsel açıklama için 'olgu' terimini kullanırlar, olgular o kadar çok sınanmış ve doğrulanmışlardır ki, artık bir daha sınanmalarını ya da başka örnekler aramayı gerektirecek bir gerekçe kalmamıştır... Evrimi destekleyen kanıtlar çok güçlü olduğundan, bilim insanları biyolojik evrimin ortaya çıkıp çıkmadığını ve ortaya çıkmayı sürdürüp sürdürmediğini artık sorgulamaz. Aslında, evrim mekanizmalarını, evrimin ne kadar hızlı gerçekleşebileceğini ve bunlarla ilgili bazı meseleleri araştırırlar."[1]

Birçok bilimsel açıklama o kadar ayrıntılı bir biçimde sınanmıştır ki, yeni gözlemler yapıldığında veya yeni deneyler analiz edildiğinde ciddi biçimde değişmeleri tümüyle ihtimal dışıdır. Bu açıklamalar, bilim insanları tarafından, doğal dünyanın doğru ve olgusal açıklamaları olarak kabul edilir. Maddenin atomik yapısı, kalıtımın genetik temelleri, kan dolaşımı, kütleçekim ve gezegenlerin hareketi ve doğal seçilim yoluyla biyolojik evrim süreci, ezici bir biçimde doğrulanmış çok sayıda bilimsel açıklamaya verilebilecek birkaç örnektir.

Darwin'in evrimi

"Darwin haklı mıydı?" sorusunun, evrim olgusundan, yani Darwin'in evrimi desteklemek için ileri sürdüğü kanıtlardan ve evrimin bilim tarafından kesin olarak doğrulanıp doğrulanmadı-

1 *Science, Evolution, and Creationism*, National Academy of Sciences and Institute of Medicine, Washington, D. C. (2008)

ğı sorusundan bahsettiği söylenebilir. Bu soru doğal seçilimden, yani Darwin'in keşfettiği, evrimin nasıl gerçekleştiğini, organizmalar ve organlarının neden belli hayat tarzlarını gerçekleştirmek üzere tasarlandığını açıklayan süreçten de bahsediyor olabilir. Darwin, *Türlerin Kökeni*'nde, 9-13. bölümleri bahsettiğimiz ilk veçheye, yani evrimin kanıtlarına; 1-8. ve 14. bölümleriyse sorunun ikinci veçhesine, yani tasarım ve uyarlanmayı açıklayan bir süreç olarak doğal seçilime ayırmıştı. Bilim, Darwin'in her iki veçhe açısından da haklı olduğunu doğrulamıştır.

Doğal Seçilim Nedir? sorusu, bu kitabın üçüncü bölümünü oluşturuyor ve bu mesele, *En Uygun Olanın Hayatta Kalması Ne Demektir?* sorusu çerçevesinde ve başka yerlerde inceleniyor. Darwin'in değerlendirdiği evrim kanıtları paleontoloji (fosil araştırmaları), biyocoğrafya (bitkiler ve hayvanların coğrafi dağılımı), karşılaştırmalı anatomi (biçim) ve embriyoloji (biçimin nasıl ortaya çıktığı) alanlarından gelmektedir. Paleontoloji alanından gelen kanıtları, *Fosil Kayıtları Bize Ne Söyler?* ve *Kayıp Halka Nedir?* soruları çerçevesinde inceleyeceğiz. Bu bölümde, biyocoğrafya, karşılaştırmalı anatomi ve embriyoloji alanından gelen kanıtlara bakacağız. Daha sonra *Moleküler evrim sorusu nedir?* başlığıyla, moleküler biyoloji alanındaki kanıtlara bakacağız, bu bilimsel disiplin ve kanıtlar Darwin'in zamanında aslında mevcut değildi, 1950'lerden sonra, biyolojik kalıtımı içeren molekül olarak DNA'nın (deoksiribonükleik asit) yapısının keşfedilmesi sonrasında ortaya çıktı. Moleküler biyoloji, evrim açısından en ikna edici kanıtları sunar ve bütün canlıların evrimsel tarihinin yeniden inşa edilmesini mümkün kılar.

Evrim araştırmalarındaki muazzam ilerlemeler sayesinde, canlı organizmaların evrimsel tarihindeki bilgi boşluklarının artık bulunmadığını ileri sürmek şu anda mümkündür. Bilim insanları, moleküler biyolojiyi kullanarak, bütün organizmaların atası olan ilk hayat biçimlerinden bugün yeryüzünde yaşayan bütün türlere varıncaya dek "evrensel hayat ağacı"nı yeniden inşa etmişlerdir (bkz. *Hayat ağacı nedir?* sorusu). Canlı organiz-

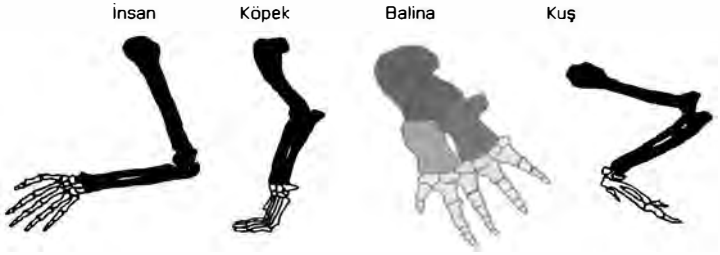
maların DNA diziliminde şifrelenmiş neredeyse sınırsız evrimsel bilgi, evrim bilimcilerin, bugünkü organizmaları ortaya çıkaran bütün evrimsel ilişkileri en ince ayrıntısına dek kopyalamalarını mümkün kılar. Gerekli kaynak yatırımında bulunduğunuzda (zaman ve laboratuvar masrafları), bütün soruların cevaplarına istediğiniz kesinlikle ulaşabilirsiniz.

Biçimsel benzerlik

İnsanlar, atlar, fareler, balinalar, yarasalar, kuşlar ve kaplumbağaların, sürdükleri farklı hayat tarzlarına ve bulundukları doğal ortamın gösterdiği çeşitliliğe rağmen, çarpıcı derecede birbirine benzer iskeletleri vardır. Bu kemikten kemiğe benzerlik, bedenin başka yerlerinde olduğu gibi, uzuvlarda da görülebilir. Tümüyle pratik bir bakış açısıyla yaklaşıldığında, aynı kemiklerden oluşmuş ön uzuv yapılarıyla bir deniz kaplumbağası ve balinanın yüzmesi, bir atın koşması, bir insanın yazması, bir kuşun ya da yarasanın uçması akıl almaz gibi görünmektedir. Bir mühendis, bütün bu amaçlar için daha iyi uzuvlar tasarlayabilirdi. Ama bu hayvanların iskelet yapılarını ortak bir atadan miras aldıklarını ve bu yapıların ancak hayvanların farklı hayat tarzlarına uyum sağlamasıyla birlikte değiştiğini kabul edersek, yapıların benzerliği bir anlam ifade eder.

Bilim insanları bu tür yapılara, homolog ya da kalıtımla miras alınmış benzerlikler der, bunları açıklamanın en iyi yolunun da ortak türeyiş olduğu sonucuna varmışlardır; yani homolog bir yapı, bütün türlerin benzer yapıyı gösteren ortak bir atasında evrilmiş ve sonra doğal seçilimle değişerek, farklı hayat tarzlarına uyum sağlamıştır. Karşılaştırmalı anatomi uzmanları, yalnızca kemik yapısında değil, bedenin başka kısımlarında da gözlenen bu tür homolog yapıları inceler, benzerlik derecelerinden yola çıkarak ilişkileri araştırırlar. Yapıların birbirine tekabül etmesi, bazı organizmalarda tipik olarak çok yakındır (örneğin farklı ötücü kuş türleri), ama karşılaştırılan organizmalar evrim tari-

hinde birbirleriyle o kadar ilişkili değilse, bu yakınlık o kadar fazla değildir. Memelilerle kuşlar arasındaki benzerlik, memeli türleri arasındaki benzerliklerden daha azdır, memelilerle balıklar arasındaki benzerliklerse daha azdır. Dolayısıyla, yapıdaki benzerlikler evrimi ortaya koymakla kalmaz, organizmaların filojenisinin, yani evrim tarihinin de yeniden inşa edilmesini mümkün kılar.



DÖRT OMURGALININ UZUVLARI BENZER BİÇİMLERDE DÜZENLENMİŞ BENZER YAPILAR GÖSTERİR, AMA FARKLI İŞLEVLERDE KULLANILIR: YAZMA [İNSAN], KOŞMA [KÖPEK], YÜZME [BALİNA], UÇMA [KUŞ]

Karşılaştırmalı anatomi de neden çoğu organizma yapısının mükemmel olmadığını ortaya koyar. Deniz kaplumbağaları, atlar, insanlar, kuşlar ve yarasaların ön uzuvları gibi, bir organizmanın bedeninin çeşitli kısımları, mükemmel biçimde uyarlanmış olmaktan uzaktır, çünkü belli bir amaç için tümüyle ham maddelerden tasarlanmış olmak yerine, kalıtımla miras alınmış bir yapıda meydana gelen değişikliklerle ortaya çıkmıştır. Hayvanların anatomisi, onların hayat tarzlarına uymak için tasarlanmış olduğunu gösterir, ama bir mühendisin tasarlayacağı gibi "zeki" bir tasarım değil, doğal seçilimle ortaya çıkmış, "kusurlu" bir tasarımdır. Tıpkı bir saatin tasarımının, bir saat yapımcısı tarafından tasarlandığını göstermesi gibi, organizmaların tasarımının bir Yaratıcı tarafından tasarlandıklarını gösterdiğini ileri süren Yaratılışçıların argümanlarının tersine, yapıların kusurluluğu evrimin kanıtıdır.

Ayrı soylarda bazen bağımsız olarak benzer özellikler evrilir,

bunlar analog yapılar olarak bilinir. Bu yapılar homolog yapılara benzeseler de, ortak bir atadan değil, organizmaların aynı ortamda yaşamasından ileri gelen bir "yakınlaşma"dan kaynaklanırlar. Örneğin, yunuslar geçen 50 milyon yıl içinde karadaki memelilerden evrilmiş su memelileridir. Evrim terimleriyle söyleyecek olursak, fareler insanlardan ne kadar uzaksa, yunuslar da balıklara o kadar uzaktır. Ama balıkların, köpekbalıklarının, hatta ihtiyozor olarak bilinen nesli tükenmiş dinozorların bedenlerine benzeyen aerodinamik bedenler geliştirmişlerdir. Biyolojinin (morfoloji, fizyoloji, ekoloji vs.) birçok alanından elde edilen kanıtlar, evrim biyologlarının, fiziksel ve davranışsal benzerliklerin ortak türeyişin mi yoksa benzer çevresel zorluklara verilmiş bağımsız cevapların mı ürünü olduğunu ayırt etmesini mümkün kılar. Tipik olarak, analog özellikler genel yapıda birbirine benzerdir, ama homolog yapıların tersine, ayrıntılarda benzer değildir. Örneğin, insanlar, köpekler, balinalar ve kuşların ön uzuvlarının iskeletleri, benzer şekilde düzenlenmiş bileşenlerden oluşur: humerus, radius ve ulna. Bilek kemikleri, el tarakları ve parmak kemiklerinin sayısı ve düzenlenmesi de insanlar, köpekler ve balinalarda aynıdır, ama kuşlarda biraz değişmiştir. Birkaç organizmada bir uzvun ya da bir organın bileşenleri arasındaki bu kesin tekabül, aynı biçimde düzenlenmiş aynı bileşenlerden oluşan benzer bir yapıya sahip bir atadan ortak türeyişi gösteren bir kanıttır; yani bu yapılar homologdur. Bir yunusun ve bir ton balığının yapılarının, yüzmek ve okyanuslarda yaşamak için tasarlandığı açıktır, ama tasarımın ayrıntıları çok farklıdır (örneğin, yunusların tersine, ton balıklarında nefes almak için solungaçlar bulunur), bu farklılık söz konusu yapıların analog olduğunu gösterir. Benzer şekilde, bir kuşun ve bir yarasanın kanatları uçmak için tasarlanmıştır, ama anatomik ayrıntıları bakımından büyük farklılıklar gösterirler; buradan yola çıkarak, bu yapıların aynı kanatlara sahip bir atadan kalıtımla miras alınmak yerine, bağımsız olarak evrildiğini söyleyebiliriz.

Embriyoların benzerliği

Darwin'in ardından gelen evrimciler, embriyoların gelişimindeki benzerliklerde, yani döllenmiş yumurtadan doğum ya da kuluçka anına dek organizmaların gelişiminde evrim kanıtları buldular. Balıklardan kertenkelelere ve insanlara, omurgalılar ilk aşamalarda çarpıcı bir benzerlik gösteren biçimlerde gelişmişler, ama embriyo olgunluk dönemine yaklaşırken, daha fazla farklılaşmışlardır. Benzerlikler, birbirleriyle o kadar yakın ilişkili olmayan organizmalardan çok (insanlar ve kertenkeleler gibi), birbiriyle daha yakından ilişkili organizmalar arasında (insanlar ve maymunlar gibi) daha uzun süre varlığını korur.

Ortak gelişim örüntüleri, evrimsel akrabalığı yansıtır. Kertenkeleler ve insanlar, uzak ortak atalarından kalıtımla miras aldıkları gelişimsel bir örüntüyü paylaşır; her birinin miras aldığı örüntü, ancak ayrı ayrı türemiş soyların farklı yönlerde evrilmesiyle farklılaşmıştır. İki canlının da ortak embriyonik aşamaları, bu ortak mirasın dayattığı sınırlamaları yansıtır; bu miras, farklılaşan doğal ortamların ve hayat tarzlarının gerektirmediği değişimleri engellemiştir.

İnsanların ve suda yaşamayan başka omurgalıların embriyolarında, solungaçlarla nefes almamalarına rağmen, solungaç yarıkları görülür. Bu yarıklar bütün omurgalıların embriyolarında bulunur, çünkü ortak ataları, bu yapıların ilk kez gelişmiş olduğu bir balıktır. Ayrıca, insan embriyolarında, gelişimlerinin dördüncü haftasında gayet belirgin bir kuyruk görülür, bu kuyruk altıncı haftada en uzun boyuta ulaşır. Köpekler, atlar ve maymunlar gibi başka memelilerin embriyolarında da benzer kuyruklara rastlanır; ne var ki insanlarda bu kuyruk nihayetinde kısalır ve yetişkinlerde bir kalıntı olarak kuyruksokumu kemiği halini alır. Embriyonik kalıntılar, zeki tasarım iddialarına ters düşer: Doğumdan önce kaybolacaksa, neden bir yapının gelişiminin erken aşamalarında tasarlanması gereksin ki? Evrim embriyonik kalıntıları anlamlandırır.

Yetişkin halleriyle birbirlerinden çok farklı görünen organizmalar arasındaki yakın evrimsel ilişki bazen embriyonik homolojilerle teşhis edilebilir. Örneğin, kaya midyeleri istakoz, karides ya da copepod gibi yüzen kabukluklara görünürde pek benzemeyen yapışık kabuklulardır. Ne var ki serbestçe yüzdükleri bir larva, nauplius aşamasından geçerler ki, bu aşama başka kabuklu larvalarının geçirdiği aynı evreye şaşmaz bir biçimde benzer.

İnsanlardaki solungaç yarıkları gibi, hiçbir zaman tam olarak gelişmemiş embriyonik kalıntılar, her tür hayvanda ortaktır. Ne var ki bazıları, yetişkinlerde evrimsel ataları yansıtan kalıntılar olarak varlıklarını sürdürür. İnsanlarda tanıdığımız kalıntı organlardan biri apandisittir. Bu solucana benzeyen yapı, kalın ve ince bağırsakların birleşme noktasında bulunan, ince bağırsağın körbağırsak denilen kısa bir bölümüne bağlıdır. İnsan apandisiti, tavşan ve başka otoburlar gibi memelilerde bulunan, geniş bir körbağırsakla apandisitin, bakterilerin yardımıyla sindirilmesi için sebze selülozunu depoladığı, tam anlamıyla gelişmiş bir organın işlevsiz bir kalıntısıdır. Kalıntılar, tasarımla yaratıma karşı kanıt oluşturan, ama doğal seçilimle evrimin sonucu olarak tam olarak anlaşılabilir olan kusurluluk örnekleridir (anatomik yapılarda görüldüğü gibi).

Biyocoğrafya

Bitkiler ve hayvanların dünya çapında farklılık gösteren coğrafi dağılımı ve takımadaların farklı floraları ve faunaları, Darwin'e göre evrimin kanıtıydı, ki bu kanıt daha sonraki bilgilerle desteklenmişti. Hayatın çeşitliliği muhteşemdi. Yaklaşık 250.000 canlı bitki türü, 100.000 mantar türü ve bir milyonu aşkın hayvan türü tanımlanmış ve adlandırılmıştır; bu türlerin her biri kendisine özgü bir ekolojik ortamda, yani nişte bulunur, türlerin sayımı da tamamlanmış olmaktan çok uzaktır. İnsanlar ve dostumuz köpek gibi bazı türler, çok geniş bir çevresel koşullar yel-

pazesinde yaşayabilir. Diğerleriyse inanılmaz derecede özelleşmiştir. *Laboulbenia* mantarının bir türü sadece güney Fransa'da bazı mağaralarda bulunan tek bir kınkanatlı (*Aphaenops cronei*) türünün üst kanatlarının arka kısmında yetişir. *Drosophila carcinophila* sineğinin larvaları bazı Karayip Adaları'nda rastlanan bir kara yengecinin (*Gecarcinus ruricola*) ağız uzantılarının üçüncü çiftinin kanatları altındaki yivlerde bulunur.

Canlı varlıkların gösterdiği muazzam çeşitliliği ve kınkanatlı mantarı ya da yukarıda anlattığımız sineğe benzer, böyle görünürde garip, olağanüstü yaratıkların varlığını nasıl anlaşılır hale getirebiliriz? Galápagos gibi ada gruplarında, en yakın anakaradakilere benzer olup farklı türlere ait biçimler neden bu kadar sık bulunur? Evrim, biyolojik çeşitliliğin, yerel ya da göçmen öncüllerden türeyen soyların farklı doğal çevrelere uyum sağlamasından kaynaklandığı açıklamasını getirir. Bu açıklama, benzer yapılara sahip olup olmadıklarını görmek için mevcut türler ve yerel fosillerin incelenmesiyle sınanabilir, bu sınama bir türün diğerinden nasıl türediğini gösterecektir. Yerleşik yerel ataları olmayan biçimlerin de bölgeye göç ettiğine dair kanıtlar olması gerekir.

Bu gibi sınamalar nerede gerçekleştirilmiş olursa olsun, bu koşullar doğrulanmıştır. Yaklaşık üç milyon yıl önce Panama kanalının ortaya çıktığı tarihe dek, farklı endemik biçimlerin birbirinden yalıtılmış halde evrildiği Kuzey ve Güney Amerika'daki memeli nüfusları iyi bir örnek oluşturur. Panama kanalının ortaya çıkması sonrasında armadillo, oklu kirpi ve keseli sıçan (Güney Afrika kökenli memeliler) başka birçok bitki ve hayvan türüyle birlikte kuzeye göç etmişlerdir, dağ aslanı ve Kuzey Amerika'daki diğer türlerse kanaldan geçerek güneyin yolunu tutmuşlardır.

Dünyadaki kıtaların her birinde o kıtaya özgü hayvan ve bitki toplulukları bulunur. Afrika'da gergedanlar, hipopotamlar, aslanlar, sırtlanlar, zürafalar, zebralar, lemurlar; dar burunları olan ve kavrama yeteneğinden yoksun kuyruklara sahip maymunlar, şempanzeler ve goriller vardır. Afrika'yla hemen hemen aynı

enlemlerde yer alan Güney Amerika'da bu hayvanların hiçbiri bulunmaz, bunlar yerine pumalar, jaguarlar, tapirler, lamalar, rakunlar, keseli sıçanlar, armadillolar ve geniş burunları ve kavrama yeteğine sahip kuyrukları olan maymunlara rastlanır. Avustralya'da, keseli memeliler büyük bir çeşitlilik gösterir; plasentadan yoksun olan bu hayvanlarda erken dönemdeki gelişimin büyük bir bölümü, rahim yerine annenin dış kesesinde gerçekleşir. Kangurular keseli memelilerdendir, Avustralya köstebekleri, karıncayiyenler ve Tazmanya köpekleri de öyle.

Biyocoğrafyanın gariplikleri sadece farklı çevrelere uyum sağlayabilmekten kaynaklanmaz. Güney Amerika'daki hayvanların Afrika'da yaşamaya uygun olmadığına, Afrika'da yaşayanların Güney Amerika'da yaşamaya uygun olmadığına inanmamız için hiçbir sebep yoktur. Tavşanlar spor olsun diye avlanabilmeleri amacıyla Avustralya'ya götürüldüklerinde, onları getirenlerin beklediğinden fazla üremişler ve tarımın başına bela olmuşlardı. Hawaii'de kara memelileri bulunmaz, ama on dokuzuncu yüzyılda avlanma amacıyla adaya getirilen yaban domuzları ve keçiler üreyerek çok büyük sayılara ulaştılar, bugün adadaki yerel bitki örtüsünü tehdit ediyorlar.

Los Angeles'ın yaklaşık 50 km güneybatısında bulunan Santa Catalina Adası'nın hikayesi ilginçtir. 1940'larda bazı film yapımcıları bu adaya bizon getirdiler. Film çekimleri tamamlandığında, hayvanları geri götürme zahmetine girmediler. Santa Catalina adasında, tilkiden daha büyük memeli hayvan bulunmaz. Gelgelelim bizon adada yaşamayı sürdürdü, yerleşimin olmadığı kısımlarda üredi ve yerel bitki örtüsünü tehdit etmeye başladı. Bugün adada bizonlar düzenli olarak imha edilir, öyle ki geride sadece elli-altmış baş hayvanlık iki sürü bırakılır. Bu hayvanların adadaki varlığı, turistlerin büyük ilgisini çeker.

Dünyanın farklı kısımlarında hayatın gösterdiği dikkat çekici çeşitlilik, doğal seçilimle ilerleyen evrimin kanıtıdır. Benzer enlemlerde iklim ve başka çevre koşulları birbirine benzer olsa da, farklı kıtalarda, farklı adalarda flora ve fauna farklıdır. Doğal se-

çilimin, rastgele olaylar olan genetik mutasyonların fırsatçılığına dayanması yüzünden böyle bir çeşitlilik meydana çıkar. Ayrıca, evrim daha önceki değişikliklere dayanır, öyle ki bir kıtanın ya da adanın bir diğerinden farklı olması ya da kıtalar ve adalar arasındaki farklılıklar zaman içinde birikir. Evrimsel değişim çevreye cevaben gelişir, ama tarihle koşullanmıştır: Memeliler balıklara evrilmez, böcekler de kafadan bacaklılara.

Darwin'in Eski Dünya'dan çok farklı olan Güney Amerika fauna ve florasına dair gözlemleri, onu evrimin gerçekliğine inandırmıştı. Biyocoğrafyanın kanıtları, kıtasal ölçekten daha küçük ölçeklerde de belirgindir: Darwin Galápagos'ta, farklı adalarda farklı türde kaplumbağalar ve ispinozlar bulunduğunu, bunların Güney Amerika anakarasındaki türlerden de farklı olduğunu görmüştü. Galápagos Adaları'ndaki kaplumbağalar, devasa kertenkeleler, alaycı kuşlar ve ispinozlarla anakaradaki türler arasındaki farklılar ve adadan adaya bu türler arasında gözlenen çeşitlilik, Darwin'i hayrete düşürmüştü.

Hawaii kazanı

Galápagos Adaları ekvatorda, Güney Amerika ülkesi Ekvador'un 600 km batısındadır. Hawaii adaları Galápagoslar'dan da uzakta, Kuzey Amerika anakarasının 2500 milden fazla ötesindedir. Birçok bitki ve hayvan türü Hawaii'de bulunmaz, bazılarıysa yaygındır ve olağanüstü bir çeşitlilik gösterir. Aşağıdaki tabloda, Hawaii'de bulunan çok sayıda çok farklı tür, organizma grupları halinde listelenmiştir:

	TÜR SAYISI	ENDEMİK OLMA ORANI
Eğreltiotları	168	65
Çiçekli bitkiler	1729	94
Salyangozlar	1064	99+
Drosophila	510	100
Başka böcekler	3750	99+
Kara memelileri	0	0

Büyük Hawaii adasındaki en eski yanardağ olan Kohala, yaklaşık bir milyon yaşındadır, diğer yanardağlardan Mauna Kea ve Mauna Loa ondan daha gençtirler ve Kilauea hâlâ faaldir. Kauai adası yaklaşık 10 milyon yıl önce oluşmuştur, diğer adalar orta yaştadır, güneydoğudan güneybatıya doğru giderek yaşlandıkları gözlenir. Bu volkanik adaların milyonlarca yılda ağır ağır gelişen oluşumunu bitkiler ve hayvanların peş peşe koloniler oluşturması izlemiş, bu da türlerin çeşitlilik göstermesine yol açmıştır. *Drosophila* meyve sinekleri, deneysel genetikçilerin gözdesidir, çünkü kolayca ve pahalıya mal olmayacak şekilde laboratuvar ortamında yetiştirilebilirler. Hawaii meyve sineklerinin ekolojisi, davranışları ve genetiği yoğun olarak incelenmiştir. *Drosophila* sineklerinin, dünya üzerinde bilinen 1500 türü bulunmaktadır, yaklaşık üçte biri, takımadaların toplam yüzölçümü California'nın yirmide birinden az olsa da, Hawaii'den başka bir yerde yaşamaz. Ayrıca Hawaii *Drosophila*'sının morfolojik ve davranışsal çeşitliliği, dünyanın geri kalan kısımlarında gözlenen Drosophila çeşitliliğini geride bırakır. Hawaii'de 1000 tür kara salyangozu bulunur, bunların hepsi de takımadalarda evrilmiştir; ayrıca, yaklaşık 80 kuş türü bulunur, bunlardan biri dışında hepsi sadece takımadalarda bulunur.

Böyle "patlamayı andıran" bir evrim neden Hawaii'de meydana gelmiştir? Buradaki meyve sineklerinin bolluğu, sinek ve hamamböceği gibi başka birçok yerel böceğin yokluğuyla tezat oluşturur. Hawaii adaları uzakta yalıtılmış olduklarından, koloniler oluşturan bitkiler ve hayvanlar buraya nadiren ulaşabilmiştir. Adalara ulaşabilen bazı türler, rakiplerin ya da yırtıcıların olmadığı uygun yaşam ortamları bulmuştur. Hawaii meyve sineklerinin ataları takımadalara hava akımları ya da yüzen enkazlarla ulaşmış, daha sonra başka böcek grupları buraya ulaşmış ve çok sayıda yaşam fırsatı bulmuştur. Bu türler mevcut kaynakları kullanarak hızla evrilmiş ve çeşitlenmiştir. Genetik araştırmalar, koloni oluşturan tek bir türden birkaç yüz türün türediğini göstermiştir; bu türler, bir türden diğerine büyük farklılıklar

gösteren uygun uyarlanmalar geliştirerek farklı yaşam ortamlarında mevcut fırsat çeşitliliğine uyarlanmışlardır. Hawaii'de bazı *Drosophila* türleri orman tabanındaki çürüyen yaprakları yiyerek beslenir; bazıları çiçeklerle; bazıları da mantarlarla.

Hawaii adalarının coğrafi uzaklığı, birkaç organizma türünün (meyve sinekleri, salyangozlar ve kuşlar gibi) patlayıcı bir çeşitlilik göstermesine getirilebilecek, akla yatkın bir açıklamadır; Yaratıcı'nın oransız bir tercihte bulunarak, takımadaları çok sayıda sinekle doldurmuş ya da tuhaf bir zevkle buradaki sivrisinekleri, hamamböceklerini ve başka böcekleri yaratmış olmasından daha akla yatkındır. Hawaii'de hiç yerli kara memelisi bulunmaz, insanlar tarafından domuzlar ve keçiler getirilene kadar, burada hiç memeli bulunmuyordu. Hawaii'de memeliler hiç koloni oluşturmadılar, çünkü hiçbiri, memelilerin yaşadığı uzak kıtalardan takımadalara ulaşmayı başaramadı.

Hawaii adaları en az dünyanın diğer kısımları kadar misafirperverdir. Birçok organizma türünün yokluğu ve birkaç türün üreyip çok büyük sayılara ulaşması, birçok organizma türünün, coğrafi yalıtılmışlıkları yüzünden adalara hiç ulaşmamış olmasından kaynaklanır. Ulaşabilenler de, kaynaklar için rekabet edecek ilişkili organizmaların yokluğu yüzünden, zaman içinde çeşitlenmişlerdir.

DOĞAL SEÇİLİM NEDİR?

Tasarımcısız Tasarım

"Ne kadar ufak olursa olsun, diğerleri karşısında avantajlı olan bireylerin hayatta kalma ve kendi türlerini devam ettirme konusunda en iyi şansa sahip olacağından şüphe edebilir miyiz? Öte yandan, en az düzeyde bile olsa hasar yaratacak bir farklılaşmanın katı bir biçimde ortadan kaldırılacağından emin olabiliriz. Olumlu farklılaşmaların korunması ve hasar yaratan farklılaşmaların reddedilmesine ben doğal seçilim diyorum."[2]

Yukarıda alıntıladığımız cümlede Darwin retorik olarak şu soruyu yöneltir: "O halde, insan için yararlı olan farklılaşmaların hiç kuşkusuz ortaya çıkmış olduğu görüldüğünde, büyük ve karmaşık hayat mücadelesinde her varlığa bir biçimde yararlı olan farklılaşmaların binlerce kuşaklık bir süre zarfında kimi zaman ortaya çıkmasının ihtimal dışı olduğu düşünülebilir mi?" Darwin *Türlerin Kökeni* adlı kitabındaki "Ehlileştirme Sürecinde Varyasyon" başlıklı birinci bölüme atıfta bulunmaktadır. Darwin, bulabildiği her tür ehlileştirilmiş güvercini toplamıştı. "Türlerin çeşitliliği kimi zaman hayret vericidir," diye yazmış, dokuz sayfayı birçok türü betimlemeye ayırmıştı. Daha genel bir ifadeyle, tarım deneyiminin bize hayvanlar ve bitkilerin zaman zaman özelliklerinde yeni farklılaşmalar gösterdiğini, böylece çiftçilerin istenen özellikleri, örneğin dişleri daha büyük olan mısırlar ya da daha fazla süt veren inekler üretmeyi seçebildiğini söylüyordu. Bu farklılaşmalar kalıtımla miras alınabiliyordu, başka bir deyişle, yavrulara aktarılabiliyordu. Darwin, insana yararı dokunan

2 Charles Darwin, *On the Origin of Species*, 1st edition, ch. 4 (1859)

farklılaşmalar ortaya çıktıysa, bunun organizmalara yararlı olan farklılaşmaların (örneğin çitalarda daha hızlı koşma, meşelerde tohumların daha iyi dağılma özelliğinin) zaman zaman ortaya çıkması gereğinden kaynaklandığını söylüyordu. Bu farklılaşmalar, hayatta kalma ve üreme şansını artırdıkları için, organizmalar açısından "yararlıdır." Bu da bu avantajlı farklılaşmaların, o kadar avantajlı olmayan farklılaşmaların ortadan kaldırılması pahasına, kuşaklar boyunca çoğalması anlamına gelir. Bu süreç, "doğal seçilim" olarak bilinir. Burada kilit önemdeki nokta, doğal seçilimin (Darwin'in deyişiyle "olumlu farklılaşmaların korunması ve hasar verici farklılaşmaların reddedilmesinin") organizmaların tasarımını açıklamasıdır: Organizmaların neden içinde yaşadıkları ortamda işleyebilecek şekilde kurulmuş olduklarının açıklanması. Çevik bir çita daha fazla av yakalar; daha fazla yaprağı olan bir ağaç gün ışığını daha etkili bir biçimde yakalar.

Doğal seçilim

Darwin'in çığır açıcı doğal seçilim kuramı, Dünya üzerinde hayatın (yani üreyen organizmaların) ortaya çıkmasından bu yana milyonlarca yıldır gerçekleşmekte olan birikimsel süreci açıklar. Doğal seçilim evrimi açıklar, çünkü uyarlanmaya yatkın değişiklikler zaman içinde birikir ya da uyarlanmaya o kadar yatkın olmayan değişikliklerin yerini alır. Doğal seçilim türlerin farklılaşmasını açıklar, çünkü farklı değişiklikler farklı zamanlarda ya da farklı yerlerde az çok avantajlı olabilirler. Daha da temelde, bu kuram organizmaların ve özelliklerinin "tasarım"ını açıklar. İnsanların ya da ahtapotların karmaşık "kamera gözleri" ortaya çıkmıştır, çünkü ezelden beri, görme bu türlerin atalarına yararlı olmuştur, böylece ışığın algılanmasını iyileştiren farklılaşmalar yavaş yavaş birikmiştir.

Darwin *Türlerin Kökeni*'nin büyük bir kısmını doğal seçilimin nasıl işlediğini açıklamaya vakfetmişti. Geçen bir buçuk yüzyıl içinde, bilim insanları çok daha fazla şey öğrendiler. Sürecin

özünü yakalayan kısa bir tanım yapmamız istenseydi, doğal seçilimin "kalıtımsal farklılaşmaların farklı biçimlerde yeniden üremesi" olduğunu söyleyebilirdik ki, ders kitaplarında da genellikle böyle tanımlanır. Kuşaklar boyunca, neden yararsız (ya da zararlı) farklılaşmalar yerine yararlı farklılaşmaların daha etkili bir biçimde çoğaldığı böylece yalın bir dille açıklanır. Şöyle ki daha hızlı koşabilen bir çita yavaş koşan bir çitadan daha fazla av yakalayacaktır, dolayısıyla daha uzun yaşayacak ve geride daha fazla yavru bırakacaktır. Böylece, çevikliği artıran kalıtsal farklılaşmanın sıklığı kuşaklar boyunca artacak, nihayetinde daha yavaş olmaya neden olan farklılaşmanın yerini alacaktır.

Ne var ki önceki paragrafta verdiğimiz kısa tanım, doğal seçilim sürecine ve bu sürecin organizmaların evrimini ve tasarımını nasıl açıkladığına dair tatmin edici bir kavrayış sunmaz. Keza, "Güneş etrafında dönen üçüncü gezegen" tanımından yola çıkarak Dünya hakkında da fazla bir şey öğrenemeyiz. Bu tanımı şu şekilde genişleterek kavrayışımızı güçlendirebiliriz: "Doğal seçilim, alternatif farklılaşmaların farklı biçimlerde yeniden üremesidir; bu süreci, bazı farklılaşmaların, onlara sahip olan organizmaların daha uzun yaşama olasılığını artırdıkları ya da alternatif farklılaşmalara sahip organizmalardan daha doğurgan olmalarını sağladıkları için yararlı oldukları olgusu belirler." Bu tanım farklılaşmış üremenin gerçekleşme nedenini, yani bazı farklılaşmaların diğerlerinden daha yararlı olmasını da ekler. Ayrıca, üremenin iki temel bileşenini belirtir: Hayatta kalma ve doğurganlık. Bundan daha bilgilendirici bir tanım, sürecin sonuçlarından bahsederek yukarıdaki tanıma şöyle bir eklemede bulunabilir: "Kuşaklar boyunca yararlı farklılaşmalar korunup çoğalacak, zarar verici ya da o kadar yararlı olmayan farklılaşmalar bertaraf edilecektir." Ayrıca, tanımımızda bu sürecin uzun vadeli sonuçlarından da bahsedebiliriz: "Uzun bir süre zarfında, doğal seçilim genellikle organizmaların oluşumunu ve işleyişini değiştirir, onların farklı çevrelere uyarlanmasıyla birlikte çeşitlenmeye (türlerin çoğalmasına) neden olur."

Doğal seçilim sürecinin karmaşıklıkları üzerine kafa yoran birçok kitap, sayılamayacak kadar çok bilimsel makale mevcuttur; doğal seçilim sürecini açıklayan uygun matematiksel modeller ve denklemlerin geliştirildiği yayınlar, doğada doğal seçilimle ilgili araştırmalar ve laboratuvarda yapılan deneyleri aktaran yayınlar vardır. Darwin *Türlerin Kökeni'nin* yanı sıra, doğal seçilimin nasıl işlediğini daha ayrıntılı olarak betimleyen birkaç kitap daha yazmıştır; orkideler, kabuklular, solucanlar, primatlar ve insanların evrimini açıklayan kitaplardır bunlar.

Kalıtım ve mutasyon

Organizmalar için yararlı olsalar da olmasalar da, kalıtsal farklılaşmalar bir genin değişip bir başka gene dönüşmesine yol açan mutasyon denilen bir süreçle ortaya çıkar. Örneğin, bir bitkinin kısa olmasına neden olan bir gen, bir bitkinin uzun olmasına yol açan bir gene dönüşür. Mutasyon sürecinin ayrıntıları, yirminci yüzyılda yavaş yavaş ortaya çıkarılmıştır. Evrim söz konusu olduğunda, önemli olan olumsuz mutasyonların doğal seçilimle bertaraf edilmesidir; çünkü bu mutasyonları taşıyanlar, alternatif olumlu mutasyonları taşıyanlara nazaran daha az sayıda yavru bırakır, dolayısıyla olumlu mutasyonlar kuşaklar boyunca birikir. Farklı çevreler ya da yaşam ortamları farklı mutasyonlar için elverişlidir; yaşam ortamları değiştikçe (ya da organizmalar yeni yaşam ortamlarında koloniler oluşturdukça) organizmalar evrilecektir.

Mutasyonun rastgele bir süreç olduğu söylenir. Bu sözlerle kastedilen şey, mutasyonların, organizmaların hayatta kalma ve üreme becerisi üzerindeki etkileri dikkate alınmaksızın ortaya çıktığıdır. Mutasyon evrimsel değişimi etkileyen tek süreç olsaydı, canlıların örgütlenmesi yavaş yavaş çözülürdü. Doğal seçilim, mutasyonun örgütlenmeyi bozucu etkilerini kontrol altında tutar, çünkü yararlı mutasyonları çoğaltır ve zararlıları bertaraf eder. Bu süreci, bir metnin anlamını iyileştirecek olan harfler ve

kelimeleri seçen, anlamsız değişiklikleri bir kenara bırakan bir editöre benzetebiliriz.

Yukarıda belirttiğimiz gibi, doğal seçilim canlıların örgütlenmesinin korunmasını ve iyileştirmesini açıklamakla kalmaz, çeşitliliklerini de açıklar. Doğal seçilim, farklı yerlerde ve farklı koşullarda, farklı özellikleri kayırır: Organizmaların belli koşullar ve hayat tarzlarına iyi uyum sağlamasını beraberinde getiren özellikleri.

Çok sayıda organizmada mutasyonların hızları ölçülmüştür; çoğunlukla da apaçık etkiler gösteren mutantlar için. İnsanlar ve başka çok hücreli organizmalarda, bu hız genellikle 1.000.000 cinsiyet hücresinde 1 mutasyon düzeyindedir. Örneğin, her 500.000 doğumdan birinde, orak hücre anemisine yol açan bir mutasyon belirebilir. (Her birey iki cinsiyet hücresinden meydana gelir: bir yumurta ve bir sperm hücresi.) Mutasyon hızı düşük olsa da, doğada sürekli yeni mutantlar ortaya çıkmaktadır, çünkü her türde birçok birey ve her bireyde birçok gen bulunur. İnsan nüfusu yaklaşık 7 milyar kişiden oluşmaktadır. Belli bir mutasyon her 500.000 kişiden birinde ortay çıkıyorsa, yaşayan insanlar olası her mutasyonun 14.000 kopyasını taşıyordur.

Mutasyon süreci her kuşağa, önceki kuşaklardan gelenlere ek olarak yeni genetik farklılaşmalar katar. Dolayısıyla, doğal çevrede yeni güçlükler ortaya çıktığında, türlerin bunlara uyarlanabilir olduğunu görmek hiç şaşırtıcı değildir. Örneğin, 100'ü aşkın böcek türü, dünyada ilaçlamanın yoğun olduğu bölgelerde, böcek ilacı DDT'ye karşı direnç geliştirmiştir. Böcekler bu sentetik bileşimle daha önce hiç karşılaşmamış olsalar da, bu ilacın karşısında hayatta kalmalarını mümkün kılan mutasyonlar ortaya çıkmıştır. Bu uyarlanma (DDT'ye karşı direnç), doğal seçilimle hızla çoğalmıştır.

Hastalıklara yol açan bakteriler ve parazitlerin antibiyotiklere karşı dirençli hale gelmesi de aynı sürecin bir sonucudur. Bir birey bir hastalığa (diyelim ki vereme) yol açan bir bakteriyi öldüren bir antibiyotik alırsa, bakterilerin büyük çoğunluğu ölür,

ama birkaç milyonda birinde antibiyotiğe karşı direnç sağlayan bir mutasyon ortaya çıkar. Bu dirençli bakteriler hayatta kalıp çoğalacak, nihayetinde antibiyotik bu hastalığı tedavi edemez hale gelecektir. Modern tıbbın, bakterilerin yol açtığı hastalıkları antibiyotik kokteylleriyle tedavi etmeye çalışmasının nedeni budur. Belli bir antibiyotiğe karşı direnç aktaran bir mutasyon olasılığı bir milyonda birse, her biri bir antibiyotiğe karşı direnç aktaran üç mutasyon taşıyan bir bakterinin var olma olasılığı bir kantilyonda (bir milyon milyon milyonda) birdir; hastalık kapmış bir bireyde böyle bir bakterinin var olma olasılığı tümüyle imkansız değilse bile, muhtemel değildir.

Yaratıcı bir süreç

Doğal seçilim yaratıcı bir süreçtir. Bu süreç, üzerinde etkili olduğu bileşen niteliğindeki oluşumları (genler ve genetik mutasyonları) "yaratmasa" da, "tasarım", yani başka türlü var olamayacak ve organizmalar için yararlı bileşimler ortaya çıkarır.

Zeki tasarım savunucuları ve başka yaratılışçılar, rastgele bir süreç olduğunu varsayarak evrime karşı çıkarlar. Oysa, örneğin omurgalı gözlerinin oluşumundan sorumlu kalıtsal bilgileri taşıyan genetik birim bileşenlerin tümüyle şans eseri olarak ortaya çıkması, Dünya üzerinde hayatın mevcut olduğu üç milyar yılı aşkın süreyi tanısak bile mümkün olmazdı. Gözün karmaşık anatomisi, tıpkı böbreklerin kesin işleyişi gibi rastgele olmayan bir sürecin, yani doğal seçilimin sonucudur.

İnsanların ve başka memelilerin bağırsaklarında bulunan tek hücreli *Eschericha coli* bakterisiyle yapılan bir deney, doğal seçilimin yararlı kalıtsal farklılaşmaları nasıl biriktirdiğini ortaya koyabilir. *E. coli*'nin bazı kolları, bir kültürde (içinde şekerli su çözeltisi bulunan küçük bir test tüpü) üreme için şekerin sağlayacağı belli bir maddeye, histidin adlı amino aside gerek duyar. İçinde histidin bulunan bir kültür çözeltisine eklenen böyle birkaç bakteri hızla çoğalır ve bir-iki gün içinde 20-30 milyar bak-

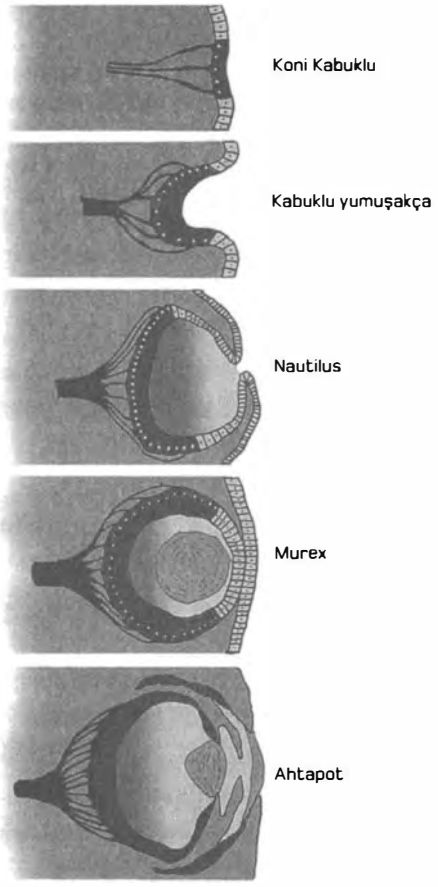
teri üretir. Bu kültüre streptomisin adlı antibiyotikten bir damla eklenirse, bakterilerin çoğu ölecektir, ama bir-iki gün sonra kültür yine milyarlarca bakteriyle kaynıyor olacaktır. Peki bu nasıl olabilir? Streptomisine direnç göstermeye neden olan kendiliğinden genetik mutasyonlar normal (yani direnç göstermeyen) bakterilerde rastgele, 100 milyon bakteri hücresinde 1 gibi bir hızla ortaya çıkar. 20-30 milyar bakterinin bulunduğu bir bakteri kültüründe, 200-300 bakterinin dirençli olmasını bekleyebiliriz. Kültüre streptomisin eklendiğinde, sadece dirençli hücreler hayatta kalır. Hayatta kalan 200-300 bakteri üreyecektir, gerekli sayıda hücre bölünmesine bir-iki gün tanırsak, hepsi streptomisine dirençli yaklaşık 20 milyar bakteri üretilir.

Şimdi bu deneyin ikinci adımını düşünelim. Streptomisine dirençli hücreler, streptomisin bulunan ama histidinden (büyümeleri ve üremeleri için gerekli amino asitten) yoksun bir kültüre aktarılır. Bakterilerin çoğu üreyemeyecek ve ölecektir, ama bir-iki gün sonra kültür milyarlarca bakteri kaynıyor olacaktır. Bunun sebebi büyümek için histidin amino asidine gerek duyan hücreler arasında, histidin yokluğunda üreyebilen mutantlar 100 milyonda 4 bakteri hızıyla kendiliğinden ortaya çıkacaktır. Bu kültürde 20-30 milyar bakteri bulunuyorsa, histidin yokluğunda yaklaşık 1000 bakteri hayatta kalacak ve mevcut ortamda bir doygunluk ortaya çıkıncaya kadar üreyecektir.

Doğal seçilim iki adımda, streptomisine dirençli ve büyümek için histidine gerek duymayan bakteri hücreleri ortaya çıkarmıştır. Bu iki mutasyonun aynı bakteride ortaya çıkması olasılığı, 10 milyar hücrede 4'tür. Böyle düşük olasılıklı bir gelişmenin, bakteri hücreleriyle dolu büyük bir laboratuvar kültüründe meydana gelmesi çok düşük bir ihtimaldir. Fakat doğal seçilim sonucunda, her iki özelliğe de sahip hücreler sıklıkla ortaya çıkar. İki bileşenden oluşan karmaşık bir özellik, gerçek zamanda doğal süreçlerle ortaya çıkmıştır. Bu örneği üç, dört ya da daha fazla adıma çıkarabileceğimizi kolayca anlayabiliriz. Uzun bir evrim süreci sonucunda, her biri yaşam ortamında hayatta kalmak için "tasarlanmış" özellikler gösteren organizmalar var olacaktır.

Şans meselesi değil

Evrimin rastgele süreçlerin sonucu olmadığını biraz daha vurgulamamız gerekiyor. Daha etkili bir biçimde üredikleri, bu yüzden de nüfuslarda baskın hale geldikleri için uyarlanmaya yatkın bileşimleri seçen bir seçilim süreci söz konusudur. Uyarlanmaya yatkın basit bileşimler, mutasyon (rastgele) ve seçilim (rastgele olmayan ya da yönlü) süreçlerinin etkili olduğu yeni örgütlenme düzeylerini oluşturur. Hayvanlar ve bitkilerin örgütsel karmaşıklığı, doğal seçilimin milyonlarca yıllık uzun bir süreçte, her seferinde bir atım atması sonucu ortaya çıkmıştır.



BUGÜN VAR OLAN YUMUŞAKÇALARDA GÖZLER; KONİ KABUKLU *PATELLA*'NIN [EN ÜSTTE] ÇOK BASİT GÖZÜ, KABUKLU *PLEUROTOMARIA*'NIN, DENİZ SALYANGOZLARI NAUTİLUS VE MUREX'İN GİDEREK KARMAŞIKLAŞAN GÖZLERİ VE AHTAPOTUN [EN ÜSTTE] KARMAŞIK KAMERA GÖZÜ.

Modern hayvanlarla Kambriyen jeolojik devrinin (542 milyon yıl öncesi) ilk memelileri arasında birkaç yüz milyon kuşak vardır. Milyonlarca kuşak boyunca milyonlarca hayvanda sınanabilen ve nihayetinde seçilebilen mutasyonların sayısını kavrayabilmek insan zihni açısından zordur, ama binlerce, hatta milyonlarca küçük, işlevsel olarak yararlı değişikliğin dikkat çekici derecede karmaşık ve uyarlanmaya yatkın organlar ortaya çıkardığını *anlayabiliriz* (*bkz. Yaratılışçılık Doğru Mudur?*).

Yaygın deyişle "kamera" göz gibi karmaşık organların adım adım, ara düzeyde karmaşıklık gösteren organların ortaya çıkmasıyla ilerlediği, bugünkü kafadan bacaklılarda (mürekkep balığı, deniz tarağı ve salyangoz) görülebilir; burada çok basit bir gözden (deniz minarelerinde olduğu gibi, birkaç pigment hücresinden ve onlara bağlı birkaç sinir lifinden oluşan bir göz noktası), bir pigment kabına (kabuğu açılan kafadan bacaklılar), mercek rolü gören minicik bir deliğin bulunduğu optik kaba (açık denizlerde bulunan *Nautilus*), kornea vazifesi gören deri hücrelerinden oluşan bir tabakayla korunan ilkel yansıtıcı merceğe (*Murex* deniz salyangozları), ahtapotlar ve mürekkepbalıklarının kornea, iris, yansıtıcı mercek, retina, camsı iç madde, optik sinirler ve kaslardan oluşan insan gözü kadar karmaşık gözlerine varıncaya dek bir derecelenme görülür.

Seçilim iş başında

Doğal seçilimle evrim, birikimsel bir süreçtir, zaman içinde işler ve hayatta kalma ve üreme becerisi diğerlerinden daha iyi olan, genelde birbirlerinden küçük farklılıklar gösteren organizmalar ortaya çıkarır; histidin amino asidini sentezleyecek bir enzime sahip olmak ya da bu enzimden yoksun olmak örneğindeki gibi. Yukarıda verdiğimiz bakteri örneğinde olduğu gibi, bir ya da sadece birkaç genin söz konusu olduğu çok sayıda uyarlanma bilinmektedir. Bir başka örnek de, Arizona'nın kayalıklarında yaşayan *Chaetodipus intermedius* isimli fare türüdür. Bu açık kum rengi fareler açık renkli yaşam ortamlarında bulunur, koyu renkli farelerse kadim bazaltik lav akıntılarıyla oluşmuş koyu renkli kayalar arasında yaşar. Zemin ile tüy rengi arasındaki uyum bu fareleri, büyük ölçüde görme yetilerinin kılavuzluk ettiği uçan yırtıcılardan ve memeli yırtıcılardan korur. Tek bir gendeki (MC1R olarak temsil edilen melanokortin 1 reseptörünü şifreleyen gen) mutasyonlar, açık ve koyu renk tüyler arasındaki farkın sebebidir.

Karmaşık yapılar, işlevler ya da davranışlarla ilgili uyarlan-

malar genelde çok sayıda geni ilgilendirir. Keseliler olmasa da bildiğimiz birçok memelinin bir plasentası vardır. Keseliler başta Avustralya ve Güney Amerika'da yaşayan kanguru ve başka memelileri içerir. Köpekler, kediler, fareler, eşekler ve primatlar plasentalıdır. Plasenta, gelişmekte olan embriyonun annenin içinde korunduğu sürenin uzamasını mümkün kılar, böylece yeni doğanın bağımsız olarak hayatta kalmaya daha iyi hazırlanmasını sağlar. Bununla birlikte, plasenta karmaşık uyarlanmalar gerektirir: anne ile embriyo arasındaki zararlı bağışık etkileşimlerin bastırılması, uygun besinler ve oksijenin embriyoya aktarılması ve embriyonik atıkların atılması gibi.

Memeli plasentası, 100 milyonu aşkın yıl önce evrilmiştir ve başarılı bir uyarlanma olduğu anlaşılmıştır, çünkü Avrupa ve Kuzey Amerika kıtalarında keseli türlerinin çoğunun neslinin tükenmesine yol açmıştır. Plasenta, *Poeciliopsis* gibi bazı balık gruplarında da evrilmiştir. Bazı türlerde, dişiler yumurtanın sarısını besler, yumurtanın sarısı gelişmekte olan embriyo için besin hazırlar, ama doğrudan besin katkısında bulunmaz. Fakat başka *Poeciliopsis* türlerinde, annenin gelişmekte olan embriyoya ek besinler sağlamasına yarayan plasenta evrilmiştir. Moleküler biyoloji sayesinde *Poeciliopsis*'in evrim tarihinin yeniden kurulması, plasentanın bu balık grubunda bağımsız olarak üç kez geliştiğini, gerekli karmaşık uyarlanmaların birikmesinin 750.000 yıldan daha az sürdüğünü göstermiştir.

Karmaşıklığın artması, doğal seçilimin zorunlu bir sonucu değildir, ama zaman zaman ortaya çıkar. Zaman zaman, doğal seçilim karmaşıklığı artıran bir mutasyondan yana işler, onu karmaşık olmayan mutasyonlardan daha fazla kayırır, tıpkı kafadan bacaklılar ve omurgalılarda olduğu gibi. Ne var ki karmaşıklığı artıran mutasyonlar mutlaka zaman içinde birikmez. Dünya'da en uzun süredir yaşayan organizma grupları yaklaşık 3,5 milyar yıldır gezegenimizde sürekli varlık göstermiş olan, ama kadim atalarından çok daha büyük bir karmaşıklık sergilemeyen mikroskobik bakterilerdir. Daha karmaşık organizmalar daha sonra,

daha basit akrabaları ortadan kaldırılmaksızın ortaya çıkmışlardır. Milyonlarca yıl içinde, Dünya üzerinde çok sayıda karmaşık organizma ortaya çıkmıştır. Örneğin, primatlar sadece 50 milyon yıl; bizim türümüz olan *Homo sapiens* ise 200.000 yıldan daha az bir süre önce ortaya çıkmıştır.

Doğal seçilim kendi başına yaratıcı bir süreç değildir, çünkü ham maddeleri, yani rastgele ortaya çıkan mutasyonları yaratmaz. Ne var ki elverişli mutasyonların birçok kuşak boyunca devam edip türün tamamına yayılmasına neden olarak ve organizmalar için yararlı farklı mutasyonları biriktirerek yaratıcı bir süreç *haline gelir*.

EN UYGUN OLANIN HAYATTA KALMASI NEDİR?

Evrimci sentez

"Farklılaşmalar ne kadar ufak olsalar da... eğer bir türün bireyine herhangi bir ölçüde yararlıysalar... bu gibi bireylerin korunmasına meyledecekler, genellikle de yavrular tarafından kalıtımla miras alınacaklardır... Her ufak farklılaşmanın yararlıysa korunmasını sağlayan bu ilkeye Doğal Seçilim diyorum... Ama Herbert Spencer'ın kullandığı En Uygun Olanın Hayatta Kalması terimi daha doğrudur ve bazen aynı derecede uygundur."[3]

"En uygun olanın hayatta kalması", Darwin'in gördüğü biçimiyle, doğal seçilimin bir başka ifadesidir. "Doğal seçilim" terimi, farklılaşan hayatta kalma ve üreme sürecine işaret eder, ki bu da organizmaların hayatın çevre koşullarına uyum sağlamasını açıklar. En uygun olanın hayatta kalmasıysa aksine, bu sürecin *sonucuna* odaklanır. Hayatta kalıp üremeleri en muhtemel olanlar, açık olarak daha yararlı farklılaşmalara sahip olanlar, yani en uygun olanlardır.

"En uygun olanın hayatta kalması" terimini Darwin geliştirmemiştir. Bu ünlü deyişi ilk ortaya atan, ondan daha genç bir çağdaşı, filozof Herbert Spencer olmuştur. Darwin bu terimi ilk kez, *Türlerin Kökeni*'nin beşinci basımında kullanmıştır. (Kitabın hızla başarı kazanması, yeni baskıların hızla birbirini izlemesinden ve baskı adedinden görülebilir. Londralı yayıncı John Murray bu girişim konusunda biraz endişeliydi. Nihayetinde 1250 adet basmayı kabul etti, bu baskı, gayet iyi bilindiği üzere, satışa çıktığı gün, büyük ölçüde abonelik usulüyle satılıp bit-

3 Charles Darwin, *On the Origin of Species*, 5th edition, ch. 3 (1869)

ti. İkinci basım üç ay sonra, Aralık 1859'da yapıldı, 3000 adet basıldı; üçüncü baskı 1861'de yapıldı ve 2000 adet basıldı; dördüncü baskı 1866'da yapıldı ve 1500 kopya satıldı; beşinci baskı 1869'da yapıldı ve 2000 kopya basıldı; altıncı basım, Darwin hayattayken 1872'de 3000 kopya basıldı.)

Malthus, Wallace ve Darwin

Darwin evrim ve uyarlanmayı açıklayan süreç olarak doğal seçilim fikrinin ilham kaynağının Muhterem Thomas Malthus olduğunu açıklamıştı. Malthus 1798'de, insan nüfusu hakkında sadece 600 kelimelik kısa bir deneme yayınlamıştı. Şöyle yazmıştı:

> *Nüfus, kontrol altında tutulmazsa, geometrik oranlarla artar. Gıda maddeleri ise ancak aritmetik oranla artar. Rakamlarla ufak bir tanışıklık, bahsettiğimiz birinci kuvvetin ikinciye nazaran muazzam olduğunu gösterecektir... Bu da, gıda maddeleri bulma güçlüğü yüzünden nüfus üzerinde güçlü ve sürekli bir kontrolün işlediği anlamına gelir.*

Darwin otobiyografisinde Malthus'un denemesiyle tanışıklığını şöyle açıklar:

> *Ekim 1838'de, sistematik araştırmama başlamamdan on beş ay sonra [ve* HMS *Beagle'la yaptığı beş yıllık dünya seyahatinden dönmesinden sadece iki yıl sonra], eğlenmek için "Malthus'un Nüfus Hakkındaki Düşünceleri"ni okuyordum, hayvanlar ve bitkilerin alışkanlıklarına dair uzun süredir yaptığım gözlemler sayesinde, her yerde devam eden varoluş mücadelesini takdir etmeye gayet hazırlıklı olduğumdan, birden aklımda, bu koşullar altında olumlu farklılaşmaların korunması ve olumsuz farklılaşmaların ortadan kalkması eğiliminin gözleneceği fikri geldi. Bunun sonucu, yeni türlerin oluşması olacaktı. Bu durumda sonunda üzerinde çalışa-*

bileceğim bir kuramım olmuştu.

1858'de, o tarihlerde Güneydoğu Asya adalarında böcekler, kuşlar ve memeliler toplamakla uğraşan bir doğabilimci olan Alfred Russel Wallace, Darwin'den bağımsız olarak, doğal seçilim fikrine ulaşmıştı (Ayrıca bkz. *Evrim Nedir?*). Dikkat çekici bir şekilde, Wallace'ın ilham kaynağı da Malthus'tu. 1891'de şunları yazmıştı:

> *O sıralarda [Şubat 1858] Molukka adalarında Ternate'de aralıklarla gidip gelen bir humma nöbeti geçiriyordum.... Bir şey, Malthus'un "Nüfus Üzerine Denemesi"nde betimlediği kontrol edici etkenler üzerine düşünmeme yol açtı, birkaç yıl önce okuduğum bir çalışmaydı, bende derin ve kalıcı bir etki bırakmıştı. Bu kontrol edici etkenlerin (savaş, hastalıklar, kıtlık vb.) insanların yanı sıra hayvanlar üzerinde de etkili olması gerektiği düşüncesi uyandı. Sonra, hayvanların muazzam derecede hızlı bir şekilde çoğaldığını, bu çoğalmanın, kontrol edici etkenleri insanlarda olduğundan daha etkili kıldığını düşündüm; belli belirsiz bu fikir üzerine kafa yorarken, birden en uygun olanın hayatta kalması fikri (kontrol edici bu etkenlerin ortadan kaldırdığı bireylerin genel olarak hayatta kalanlardan aşağı olması gerektiği düşüncesi) doğdu.*

Doğal seçilim fikrine dair başka bağımsız keşifler ya da en azından kuşkulanmalar da olmuştu, en dikkat çekicisi de sonradan fizyolog olan Amerikalı doktor William Wells'e aitti. Darwin, Wells'in fikirlerinden, *Türlerin Kökeni*'nin yayınlamasından sonra haberdar olmuştu, kitabının dördüncü basımında Wells'e atıfta bulunarak, "doğal seçilimin ilkelerini" "açık seçik" fark eden ilk yazarın Wells olduğunu belirtmişti.

Evrimci sentez: doğal seçilim ve genetik

Darwin'in evrimci fikirlerinin karşı karşıya kaldığı en büyük güçlük, doğal seçilimin etkilediği varsayılan farklılaşmaların kuşaklar boyunca korunmasını açıklayacak yeterli bir kalıtım kuramının bulunmamasıydı.

Darwin'in argümanındaki kayıp halkayı Mendelci genetik tamamladı. Darwin, Gregor Mendel'in 1866'da yayınladığı keşiflerden bihaberdi, bu durum Darwin hayattayken değişmedi; aslına bakarsanız, Mendel'in keşifleri, Avrupa'daki birkaç bilim insanı tarafından yeniden keşfedildikleri 1900'e kadar, bilim camiasının genelinde de bilinmiyordu (bkz. *Kromozomlar, Genler ve DNA Nedir?*). Genetik ve doğal seçilimin uygun bir biçimde bütünleştirilmesi ancak 1920'lerde ve 1930'larda, birkaç bilim insanının, küçük ve görünürde süreklilik gösteren farklılaşmaların (örneğin beden büyüklüğü, kuluçkaya yatırılan yumurtaların sayısı vs.) Mendel kanunlarıyla açıklanabileceğini, matematiksel argümanları kullanarak göstermesiyle sağlandı. Bu seçkin kuramsal genetikçiler arasında, Britanya'dan R. A. Fisher ve J. B. S. Haldane'le ABD'den Sewall Wright yer alıyordu. Bunlar ve başka bilim insanları, küçük farklılaşmaların birikmesiyle işleyen doğal seçilimin zaman içinde biçim ve işlevde büyük evrimsel değişikliklere yol açabileceğini de gösterdiler. Çalışmaları, genetiğin Darwin'in doğal seçilim kuramıyla bütünleştirilmesini sağladı, ama dönemin biyologları üzerinde önemsiz denilebilecek bir etkisi oldu, çünkü çoğu biyoloğun anlayamayacağı matematiksel bir dille formüle edilmişti ve ölçeği açısından sınırlıydı, biyologların çok büyük önem verdiği çeşitlenme (yeni türlerin oluşma süreci) gibi birçok meseleyi es geçiyordu.

Rusya doğumlu Amerikalı doğabilimci ve deneysel genetikçi Theodosius Dobzhansky'nin 1937'de *Genetics and the Origin of Species*'i (*Genetik ve Türlerin Kökeni*) yayınlamasıyla birlikte, büyük bir atılım oldu. Dobzhansky'nin kitabı, evrim sürecinin genetik terimlerle makul ve anlaşılır bir değerlendirmesini ileri

sürüyordu ve kuramsal argümanı destekleyen deneysel kanıtlarla donanmıştı. *Genetik ve Türlerin Kökeni*, Darwinci doğal seçilimi ve Mendelci genetiği etkili bir biçimde birleştiren "sentetik evrim kuramı" ya da "evrim sentezi" olarak bilinen şeyin formüle edilmesinde en önemli dönüm noktası olarak görülebilir. Bu kitabın doğabilimciler ve deneysel biyologlar üzerinde muazzam bir etkisi oldu, evrimci sürece dair bu yeni anlayış hızla nüfuslardaki genetik değişime dair yeni bir kavrayış olarak kabul edildi. Evrim araştırmalarına karşı ilgide büyük artış oldu ve kısa süre sonra kurama, genetik ve doğal seçilim sentezini çok çeşitli biyolojik alanlara taşıyan katkılarda bulunuldu.

Sentetik kurama ilk büyük katkılarda bulunduğu söylenebilecek diğer yazarlar arasında, Almanya doğumlu Amerikalı zoolog Ernst Mayr, İngiliz zoolog Julian Huxley, Amerikalı paleontolog George Gaylord Simpson ve Amerikalı botanikçi George Ledyard Stebbins yer alır. Bu araştırmacılar hem geleneksel biyoloji disiplinlerinde hem doğmakta olan biyoloji disiplinlerinde (başta nüfus genetiği ve daha sonra da evrim ekolojisinde) bir evrim araştırmaları patlaması yaratmışlardır. 1950'ye gelindiğinde, Darwin'in doğal seçilimle evrim kuramı, biyologlar arasında genel bir kabul görüyordu ve sentetik kuram da yaygın olarak benimsenmişti.

Uygun olmayan, uygun olan, en uygun olan

Doğal seçilim, bazı genleri ve genotipleri diğerlerine karşı destekleyen bir üreme yanlılığını ifade eder. Organizmaların, içinde yaşadıkları ortama uyum sağlamalarını teşvik eder; bir doğal ortamda hayatta kalma ve üreme becerisini geliştiren kalıtsal bir farklılaşmanın sıklığı, kuşaklar boyunca artacaktır, bunun sebebi açık olarak, böyle bir farklılaşmayı taşıyan organizmaların taşımayanlardan daha fazla yavru bırakacak olmasıdır. Kalıtsal farklılaşmalar mutasyonla ortaya çıkar. Elverişli olmayan farklılaşmalar doğal seçilimle elenir; bunları taşıyanlar, alternatif elve-

rişli farklılaşmalar taşıyanlardan daha az yavru bırakır. Elverişli mutasyonların sıklığı, kuşaklar boyunca artar. Bu süreç, tanımsız bir süre boyunca devam eder, çünkü organizmaların yaşadığı doğal ortamlar sonsuza dek değişir. Doğal ortamlar fiziksel olarak (iklimleri, yapıları vs.) değişir, ama biyolojik bir değişim de geçirirler, çünkü bir organizmanın etkileşimde bulunduğu avcılar, asalaklar ve gıda kaynakları bakımdan rakipler de evrim geçirir.

Doğal seçilimin etkilerini ölçmekte kullanılan parametre, uygunluktur; uygunluk, mutlak ya da göreli bir değer olarak ifade edilebilir. Belli bir gende A_1 ve A_2 olmak üzere iki alel, dolayısıyla da $A_1 A_2$, $A_1 A_1$, $A_2 A_2$ olmak üzere üç genotip bulunduğunu düşünelim. Her $A_1 A_2$ ve $A_1 A_1$ bireyinin ortalama bir yavru doğurduğunu, ama her $A_2 A_2$ bireyinin iki yavru doğurduğunu farz edelim. Her genotipin geride bıraktığı ortalama yavru sayısı, o genotipin mutlak uygunluğunun bir ölçüsü olarak kullanılabilir, bu üç genotipin geride bıraktığı yavru sayısı tam olarak bilinirse, kuşaklar boyunca gen sıklığında meydana gelecek değişiklikler hesaplanabilir. Gelgelelim evrimciler çoğu hesaplamada *w* harfiyle belirtilen göreli uygunluk değerlerinin kullanılmasını matematiksel olarak daha uygun bulurlar. En yüksek üreme verimliliği gösteren genotipe genellikle 1 değerini verirler ve diğer göreli uygunluk değerlerini oransal olarak hesaplarlar. Biraz önce bahsettiğimiz örnekte, $A_2 A_2$ genotipinin göreli uygunluğu $w=1$, diğer iki genotipten her birinin göreli uygunluğuysa $w=0,5$ olacaktır. Uygunlukla ilgili bir parametreyse, genellikle s harfiyle gösterilen seçilim katsayısıdır, $s=1-w$ olarak gösterilir. Seçilim katsayısı, bir genotipin uygunluğundaki azalmanın bir ölçüsüdür. Yukarıda verdiğimiz örnekte, seçilim katsayıları $A_2 A_2$ için $s=0$, $A_1 A_1$ ve $A_1 A_2$ içinse $s=0,5$ olacaktır.

Tek tek genlerin seçilimi

Doğal seçilimin gen sıklıklarını etkilemesinin farklı biçimleri, aşağıdaki örneklerle gösterilmiştir. Homozigot $A_2 A_2$ genotipinin

uygunluğunun diğer iki genotip A_1A_2 ve A_1A_1'den daha düşük olduğunu varsayalım. (Fenilketonurya -PKU- ve orak hücre anemisi gibi birçok hastalıkta durum budur, özelliğin ortaya çıkması iki zararlı mutant genin varlığını gerektirir.) Normal alelin (A_1) heterozigotları ve homozigotlarının uygunluk derecesi de aynıdır ve zararlı mutant alelin (A_2) uygunluğundan yüksektir. Mutant alelin homozigotlarının uygunluğuna 1-s diyelim (diğer iki genotipin uygunluğu 1'dir), A_1 sıklığının p, A_2 sıklığının da q olduğunu düşünelim. Her kuşakta A_2 sıklığının $\Delta q = -spq^2 / (1-sq^2)$ denklemiyle elde edilen miktar kadar azaldığı gösterilebilir. Bu zararlı alel tam olarak ortadan kalkıncaya kadar, sıklığı sürekli azalacaktır. s=1 (yani göreli uygunluk w=0) olduğunda, bertaraf olma hızı çok yüksektir; bu durum, homozigotların üreme çağı öncesinde öldüğü, tedavi edilmemiş PKU gibi ölümcül hastalıklarda ortaya çıkar.

Yeni mutasyonlar yüzünden zararlı bir alelin bertaraf edilmesi hiç tamamlanmaz. Mutasyonun ürettiği yeni alel sayısı seçilimin bertaraf ettiği alel sayısıyla aynı olduğunda dinamik dengeye dayalı bir sıklık söz konusu olacaktır.

Aşırı baskınlık

Birçok örnekte heterozigotlar, alellerin biri ya da diğerindeki homozigotlardan daha yüksek bir uygunluk derecesine sahiptir. Heterosis ya da aşırı baskınlık olarak bilinen bu durum, her iki alelin nüfus içinde istikrarlı bir biçimde bir arada var olmasına yol açar, dolayısıyla çoğu organizma nüfuslarında gözlenen yaygın genetik çeşitliliğe katkıda bulunur. Model durum şudur:

Genotip	A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2
Uygunluk	1-s	1	1-t

Dünyada ağır sıtma hastalığının görüldüğü bölgelerde orak hücre anemisinden sorumlu olan gen, insanlarda heterosisin

özellikle ilginç bir örneğini oluşturur. Yetişkinlerdeki insan hemoglobini çoğu kez, iki α, iki de β hemoglobin zincirinden oluşan dört bileşenli bir molekül olan hemoglobin A'dır. Hb^A geni, 146 tane amino asit zincirinden oluşan normal β hemoglobin zincirini şifreler. Bu genin mutant bir aleli Hb^S β zincirinin altıncı konumunda, glutamik asit yerine, valine amino asidinin bulunmasına yol açar. Görünürdeki bu küçük değişiklik, hemoglobinin özelliklerini değiştirir, öyle ki mutant $Hb^S Hb^S$ alelinin bulunduğu homozigotlar, birçok vakada, tedavi edilmemesi halinde, üreme çağından önce ölmeye yol açan ciddi bir anemi hastalığına yol açar.

Hb^S aleli bazı Afrika ve Asya nüfuslarında yüksek bir sıklıkla görülür. Bu durum bir zamanlar bilim insanlarının kafasında soru işaretleri uyandırmıştı, çünkü aneminin homozigotlara karşı güçlü bir doğal seçilimin iş başında olduğunu gösteren ciddiyeti, kusurlu aleli ortadan kaldırmış olmalıydı. Ama araştırmacılar Hb^S alelinin, sıtmanın *Plasmodium falciparum* asalağının neden olduğu özellikle ağır bir biçiminin yaygın olarak görüldüğü bölgelerde yüksek bir sıklık gösterdiğini fark ettiler. Sıtmanın gözlendiği bölgelerde, heterozigotların hayatta kalma şansı, homozigotların ikisinden de daha yüksekti; homozigotlar ya sıtmadan ($Hb^A Hb^A$ homozigotları) ya da anemiden ($Hb^S Hb^S$) ölüyorlardı. Sıtmadan ölüp gitmiş 100 çocuk üzerinde yapılmış bir araştırmada, çocuklardan sadece birinin heterozigot taşıdığı anlaşılmıştı, oysa Hb^S alelinin nüfustaki sıklığından yola çıkarak, bu sayının 22 olması bekleniyordu.

Sıklığa dayalı uygunluk

Genotiplerin uygunluğu, göreli sayılarına bağlı olarak farklılık gösterebilir ve genotip sıklıkları da bunun sonucunda değişebilir. Bu durum, sıklığa bağlı seçilim olarak bilinir. Genotipik uygunlukların sıklıklarla ters orantılı bir ilişki gösterdiği durumlar özellikle ilginçtir. Sıklığa dayalı seçilim, doğal çevre heterojen

olduğu için, farklı genotipler farklı alt çevreleri daha iyi kullanabildikleri için ortaya çıkabilir. Bir genotip nadir olduğunda, kullandığı alt çevreler de nispeten bol olacaktır. Ama genotip yaygınlaştıkça, sevdiği alt çevreler o genotipe doyar. Bu durumda, o genotipin alt çevrelerde başka genotipler için de uygun olan kaynaklar için rekabet etmesi gerekir. Bunun sonucunda, bir genotip karışımı, doğal kaynakları tek bir genotipten daha iyi kullanır. Bitki yetiştirenler, karma dikimlerin (farklı köklerden bir karışımın) tek tek filizlerden (tek bir kökten gelen filizler) daha üretken olduğunu bilir, gerçi çiftçiler dikim ve hasat maliyetlerinin artması gibi gerekçeler yüzünden karma dikimlerden kaçınır.

Cinsel tercihler de sıklığa dayalı seçilime yol açabilir. Bazı böcekler, kuşlar, memeliler ve başka organizmalarda, tercih edilen eşlerin, nadir olanlar olduğu gösterilmiştir. Daha da genel bir bakış açısıyla, sıklığa dayalı seçilim, eşeyli üreyen birçok türde erkekler ve dişilerin neredeyse aynı sayıda olmasını açıklayabilir. Erkeklerin dişilerden fazla olduğu bir nüfusta, doğal seçilim dişileri kayırır. Her çocuğun bir erkek bir dişi ebeveyni olması gerekir. Erkek sayısı dişilerden daha fazlaysa, ortalama olarak her dişinin daha fazla sayıda yavrusu olacaktır. Doğal seçilim, erkeklerin sıklığını azaltan genleri kayırır, ta ki sayıları dişilerin sayısını aşmaz hale gelinceye kadar. Dişi sayısının erkeklerden fazla olduğu bir nüfusta tam tersi olacaktır: Doğal seçilim, her iki cinsiyetin sayıları eşitleninceye kadar nüfustaki erkeklerin oranını artıran genleri destekleyecektir.

Sıklığa dayalı seçilim, kelebekler ve başka böceklerde yaygın olan Batezyen taklitte de gerçekleşir. Taklit (mimicry) bir türün (taklit/mimik) bir başka türe (model) benzemesini ifade eder. Batezyen taklit, taklitin kuşlar ya da başka avcılar tarafından yenebilir olduğu, ama modelin tatsız olduğundan yahut kusma ya da başka bir olumsuz tepkilere yol açtığından yenilemediği durumlarda ortaya çıkar. Modeli deneyimlemiş yırtıcılar da, model gibi görünen taklitlerden kaçınacaktır. Taklitlerin sıklığı artar-

ken bu koruma azalır, böylece avcılar çoğunlukla, tatsız modeller yerine, yenebilir mimikleri (taklitleri) deneyimler. Doğu Afrika'da, kırlangıç kuyruklu kelebek *Papilio dardanus*'un dişileri, görünüm bakımından birbirinden hayli farklı olan birkaç model türü taklit eder. Bir taklidin diğeri karşısındaki avantajını belirleyen şeyler, farklı modellerin bolluğudur.

EVRİM RASTGELE BİR SÜREÇ MİDİR?

Şans ve zorunluluk

Organizmalar işlevsel olarak örgütlenmiştir, belli hayat tarzlarına uyarlanmışlardır, kısımları belli işlevleri gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Balıklar suda yaşamaya uyarlanmıştır, böbreklerin amacı kanın bileşimini düzenlemektir, insan eli kavramak, göz görmek için yapılmıştır. Uyarlanma ve tasarım şans eseri ortaya çıkmış olamaz. Darwin'in dehası, organizmaların tasarımına doğal bir açıklama getirmek olmuştu. Canlıların görünürde bir amaca hizmet eden yönleri, böylece bilimsel yöntemlerle, doğa kanunlarının doğal süreçlerde tezahür etmesinin bir sonucu olarak açıklanabilmiştir.

İngiliz teolog William Paley, *Natural Theology* (1802) (*Doğal Teoloji*) adlı kitabında, organizmaların uzuvlarının ve göz, böbrek, safra kesesi gibi organlarının tasarımında amaçlılık gözlendiğine işaret ediyordu; uzuvlar ve organlar birlikte, organizmaların her birini kendisine özgü hayat tarzına uyarlıyordu. Paley, canlı organizmaların örgütlü karmaşıklığının, rastgele bir süreçle değil, amaçlı tasarımla ortaya çıktıklarını gösterdiğine dikkat çekiyordu; "bir yağ bezesi, bir siğil, bir ben, bir sivilce" şans eseri ortaya çıkabilirdi, ama bir göz asla; "bir toprak parçası, bir çakıl taşı ya da bir sıvı damlası" şans eseri ortaya çıkabilirdi, ama bir saat ya da teleskop asla. Darwin, organizmalar ve kısımlarının belli işlevler ve hayat tarzları için tasarlandığını kabul etmiş, ama bu tasarıma bilimsel bir açıklama getirme çabasını sürdürmüştü. Canlıların karmaşık örgütlenmesi ve işlevselliğinin doğal bir sürecin, yani doğal seçilimin sonucu olarak açıklanabileceğini göstermişti.

Genler ve evrim

Darwin'in evrim kuramının temel argümanı, kalıtsal farklılaşmaların varlığıyla başlar. Hayvan ve bitki yetiştirme deneyimleri, "insana yararlı" farklılaşmaların geliştirilebileceğini göstermiştir. Darwin, dolayısıyla, organizmanın kendisine şu veya bu şekilde yararlı farklılaşmaların doğada bulunması gerektiği yönünde akıl yürütmüştü. Yararlı farklılaşmalar korunuyor ve kuşaktan kuşağa aktarılarak o kadar yararlı olmayan farklılaşmaların ortadan kaldırılması pahasına çoğalıyorlardı. Doğal seçilim olarak bilinen süreç buydu. Evrim, bunun bir sonucu olarak ortaya çıkıyordu.

Biyolojik evrim, canlıların zaman içinde değişmesi ve farklılaşması süreciydi, canlıların hayatlarının bütün yönlerini etkiliyordu; morfolojilerini, fizyolojilerini, davranışlarını ve ekolojilerini. Bu değişimlerin temelinde, kalıtsal malzemede meydana gelen değişiklikler yatıyordu. Dolayısıyla, genetik terimlerle bakıldığında, evrim, organizmaların kalıtsal yapısındaki değişikliklerden oluşur.

Buna göre, doğal seçilim, alternatif kalıtsal farklılaşmaların farklılaşarak üremesi olarak tanımlanmıştır, bu süreçte belirleyici etken, bazı farklılaşmaların, bunlara sahip olan organizmaların sahip olmayanlara kıyasla hayatta kalma ve üreme başarısını artırma olasılığıdır. Seçilim, hayatta kalma olasılığı, kısırlık, gelişme hızı, çiftleşme başarısı ya da hayat döngüsünün başka bir yönündeki farklılıklardan kaynaklanabilir. Bütün bu farklılıklar, "farklılaşan üreme" başlığı altında toplanabilir, çünkü hepsi de organizmanın yavru sayısını etkiledikleri ölçüde doğal seçilimi ortaya çıkarır.

Evrim iki adımlı bir süreç olarak görülebilir: Birinci adım rastgeledir, ikinci adım rastgele değildir. Birinci adımda, kalıtsal farklılaşma ortaya çıkar; ikinci adımda, sonraki kuşaklara çok etkili bir biçimde aktarılabilecek olan genetik varyantların seçilimi gerçekleşir. Kalıtsal farklılaşma, rastgele olan iki meka-

nizmayı gerektirir: Bir farklılaşmanın kendiliğinden mutasyon geçirip bir diğerine dönüşmesi ve bu farklılaşmaların cinsel süreçle yeniden birleştirilmesi. Kalıtsal farklılaşmaların bir kuşaktan diğerine aktarılması büyük ölçüde, rastgele olmayan doğal seçilim süreciyle yönetilir, gerçi genetikçilerin "genetik sürüklenme" dediği rastgele bir süreç de vardır: Bazı alternatif genetik farklılaşmalar da uyarlanma bakımından eşdeğerdir, bir organizmanın yaşadığı doğal ortama uyarlanmasını iyileştirmedikleri gibi, kötüleştirmezler de. Uyarlanma açısından etkisiz olan bu farklılaşmaların, bir sonraki kuşağa aktarılma olasılıkları eşittir, ama sıklıkları şans eseri artabilir de azabilir de.

Gen havuzu

Aynı türün bütün organizmalarında bulunan bütün genlerin ve gen bileşimlerinin toplamına, bir türün "gen havuzu" denir. Evrimsel değişikliklerin meydana gelmesi için kalıtsal farklılaşmanın gerçekleşmesi zorunluluğu, gen havuzuyla anlaşılabilir. Örneğin, belli bir nüfusta, insanda MN kan grubunu şifreleyen gende hiçbir farklılaşma olmadığını; bütün bireylerde sadece M geninin bulunduğunu varsayalım. Böyle bir nüfusta MN kan grubu evrilemez, çünkü alel sıklıkları kuşaktan kuşağa değişme fırsatı bulamaz. Hem M hem N genlerinin bulunduğu nüfuslarda, evrimsel değişim mümkündür.

Bir nüfusta genetik farklılaşma ne kadar fazlaysa, evrimin ortaya çıkması olasılığı o kadar fazladır. Değişken genlerin sayısı ve her genin alternatif biçimlerinin (aleller) sayısı arttıkça, bazı alellerin sıklığının diğerleri aleyhine artması olasılığı da artar. Britanyalı genetikçi R. A. Fisher, bir nüfusta genetik farklılaşma miktarıyla doğal seçilimle evrimsel değişim hızı arasında doğrudan bir korelasyon olduğunu matematiksel olarak göstermişti. Bu kanıt, Fisher'ın temel doğal seçilim kuramında ortaya konmuştur: "Herhangi bir zamanda bir organizmanın uygunluğundaki artış, o tarihte uygunluğundaki genetik farklılaşmaya eşit-

tir." Bu kuram deneysel olarak kanıtlanmıştır.

Bir nüfusun evrilme potansiyeli genetik farklılaşmasıyla belirlendiğinden, evrimciler doğal nüfuslarda bu farklılaşmanın ölçüsünü keşfetmekle ilgilenir. Genelde, böcekler ve başka omurgasızlar, genetik olarak memeliler ve başka omurgalılardan daha büyük bir genetik farklılaşma gösterirler; çapraz döllenmeyle üretilen bitkiler, kendi kendine polenlenmeyle üreyen bitkilerden daha fazla farklılaşma gösterir. Ama genetik farklılaşmanın miktarı her halükarda şaşırtıcıdır. Çoğu organizmada, her birey bir kere daha tekrarlanmayacak benzersiz bir genetik yapıyı temsil eder. Doğal nüfuslardaki muazzam genetik farklılaşma rezervuarı, evrimsel sınırlamalara ve organizmaların ihtiyaçlarına cevaben evrimsel değişikliklerin ortaya çıkması için neredeyse sınırsız fırsatlar yaratır.

Mutasyon ve rastgelelik

Boyutları, şekilleri ve hayat tarzlarının yanı sıra, genetik bilgilerini içeren DNA dizilimleri açısından da büyük bir çeşitlilik gösteren, yaklaşık iki milyon bilinen tür vardır. Doğal nüfuslara nüfuz eden bu genetik farklılaşmayı ve türler arasındaki genetik farklılıkları yaratan şey nedir?

DNA'nın nükleotid (harf) diziliminde şifrelenen bilgi kural olarak, kopyalanma sırasında aslına sadık kalınarak yeniden üretilir, öyle ki her kopyada birbirinin ve ana molekülün tıpatıp aynısı iki DNA molekülü bulunur. Ama kopyalama sırasında zaman zaman, DNA molekülünde "hatalar" ya da mutasyonlar ortaya çıkar, bu mutasyonlar yavru hücrelerde, DNA dizilimindeki harflerden en az birinin ana hücredekilerden farklı olmasına yol açar. Bir mutasyon öncelikle, bir organizmanın tek bir hücresinde ortaya çıkar, ama sonra, ilk hücreden türeyen bütün hücrelere aktarılır. Mutasyonlar iki gruba ayrılabilir: Bir gende sadece bir ya da birkaç harfi etkileyen gen ya da nokta mutasyonları ile ya kromozomların sayısını ya da bir kromozomdaki genlerin

sayısını ya da dizilimini değiştiren kromozomsal mutasyonlar. Kromozomlar her hücrenin DNA'sını depolayan uzun yapılardır.

Şans, evrim sürecinin ayrılmaz bir bileşenidir, çünkü doğal seçilime müsait olan kalıtsal farklılaşmaları ortaya çıkaran mutasyonlar rastgele ortaya çıkar. Mutasyon süreci üç açıdan rastgeledir. Birincisi, kendiliğinden mutasyonlar rastgeledir, çünkü bunlar belirlenimci olmayan (ya da en azından bugünkü bilimsel bilgimizle belirlenemeyen) fiziksel nedenler sonucu ortaya çıkan DNA kopyalama sürecinin sadakati açısından nadir istisnalardır. İkincisi, belli bir hücre ya da belli bir bireyde hangi genin mutasyon geçireceğini belirlemenin bir yolunun olmaması anlamında, rastgele olaylardır. Üçüncüsü ve evrim bağlamında daha da önemlisi, uyarlanmayla ilgili olarak yönsüzdürler; organizma açısından yararlı da olsalar zararlı da olsalar, bağımsız olarak ortaya çıkarlar. Bazıları yararlıdır, çoğu yararsızdır. Yararlı mutasyonlar, tam da organizmanın hayatta kalma ve üreme şansını artırdıkları için, büyük ihtimalle sonraki kuşaklara aktarılacaktır. Zararlı mutasyonlarsa muhtemelen, doğal seçilim tarafından bertaraf edilecek ya da kontrol altında tutulacaklardır.

Yararlı olanları koruyan ve zararlı olanları bertaraf eden doğal seçilim, mutasyon sürecinin uyarlanmaya açık rastgeleliğine karşı koyar. Kalıtsal mutasyonlar olmaksızın, evrim meydana gelemez, çünkü bir kuşaktan diğerine farklı biçimde aktarılacak farklılaşmalar olmayacaktır. Ama doğal seçilim olmazsa, mutasyon süreci örgütsüzlüğe ve nesillerin tükenmesine yol açar, çünkü çoğu mutasyon dezavantajlıdır. Mutasyon ve seçilim, mikroskobik organizmalardan başlayarak orkideler, kuşlar ve insanları ortaya çıkaran muhteşem sürecin itici gücü olmuştur.

Çok çeşitli organizmalarda, çoğunlukla göze çarpan etkiler gösteren mutantlar için mutasyon hızları ölçülmüştür. İnsanlarda, başka hayvanlar ve bitkilerde, belli bir gendeki belli bir mutasyon genelde 1.000.000 cinsiyet hücresinde 1 mutasyon ortaya çıkarır. Mutasyon hızı düşük olsa da, doğada sürekli yeni mutantlar ortaya çıkar, çünkü her türde birçok birey, her birey-

de birçok gen vardır. Dolayısıyla, mutasyon süreci her kuşağa birçok yeni genetik farklılaşma katar. Ayrıca, geçmişte meydana gelmiş bazı mutasyonlar kuşaklar boyunca birikir. Dolayısıyla, yeni çevresel zorluklar ortaya çıktığında türlerin bunlara uyum sağlayabildiğini görmek şaşırtıcı değildir. Örneğin, DDT ve başka böcek ilaçlarına dirençli çok sayıda böcek türü gelişmiştir; sanayileşmiş bölgelerdeki birçok kelebek ve güve türünde, çevre kirliliğine cevaben, sanayi melanizmi olarak bilinen bir uyarlanmayla, kanatlarının rengi koyu olan bireylerin sıklığında bir artış gözlenmektedir.

Yeni mutasyonlar gen sıklıklarını çok yavaş değiştirir, çünkü doğal seçilimin verimliliğiyle karşılaştırıldığında, mutasyon hızları düşüktür. Doğal seçilim, mutasyon geçirmiş genleri (bir kuşakta ya da çok az sayıda kuşakta) çok hızlı bir şekilde bertaraf edebilir ya da yayabilir.

Evrimde, biraz önce bahsettiğimiz üzere, başka bir rastgele süreç daha vardır. Gen sıklıkları, genetik sürüklenme denilen tesadüfi bir süreçle bir kuşaktan diğerine değişebilir. Böyle bir durum, nüfuslar sayı bakımından sınırlı olduğu için ortaya çıkar ve dolayısıyla, bir genin sıklığı sonraki kuşakta örneklem kazalarıyla değişebilir, tıpkı bir bozuk paranın 100 kere fırlatılması sonucunda, 50'den fazla ya da az tura gelebilecek olması gibi. Gen sıklığının büyüklüğü, genetik sürüklenmenin nüfus büyüklüğüyle ters orantılı olması yüzünden değişir; üreyen bireylerin sayısı ne kadar fazlaysa, genetik sürüklenmenin etkileri o kadar küçük olur. Adalar ve göllerin kolonileştirilmesi örneklerinde olduğu gibi, yeni bir nüfus sadece birkaç birey tarafından tesis edildiğinde, genetik sürüklenme önemli evrimsel sonuçlar doğurabilir.

Rastgelelik ve belirlenimcilik

Mutasyon ve sürüklenme yegane evrimsel süreçler olsaydı, canlıların örgütlenmesi yavaş yavaş bozulurdu, çünkü bunlar uyar-

lanmaya nazaran rastgele süreçlerdir. Mutasyon ve sürüklenme, değişikliklerin organizmaların hayatta kalma ve üreme becerisinde yaratacağı sonuçlara bağlı olmaksızın meydana gelir. Bu gibi süreçlerin tek başına gösterdiği etkiler, bir arabanın motorundaki parçaları, rollerini dikkate almaksızın rastgele değiştiren bir tamircinin yarattığı etkilere benzer olacaktır. Doğal seçilim, mutasyon ve başka süreçlerin örgütlenmeyi bozan etkilerini kontrol altında tutacaktır, çünkü yararlı mutasyonları çoğaltır ve zararlıları bertaraf eder, sadece canlıların örgütlenmesinin korunmasını ya da iyileştirilmesini değil, çeşitliliklerini de açıklar.

Doğal seçilimin etkileri, gen sıklıklarında devam eden değişikliklerin ölçülmesiyle incelenebilir; ama bir nüfustaki bireylerin gözlemlenebilir özelliklerindeki (fenotiplerdeki) değişikliklerin incelenmesiyle de araştırılabilir. Boy, ağırlık, yavru sayısı ve ömür uzunluğu gibi fenotipik özelliklerin dağılım ölçekleri genelde, çok sayıda bireyin orta değerlerde olduğunu, çok çok daha az sayıda bireyin uç değerler taşıdığını gösterir (buna normal dağılım denir). Ara fenotipler taşıyan bireyler desteklenip uç fenotipler ayıklandığında, seçimin istikrar sağlayan bir etkisi olduğu söylenir. Bu durumda, fenotip yelpazesi ve dağılımı bir kuşaktan diğerine yaklaşık olarak aynı kalır. İstikrar kazandırıcı seçilim, az sayıda kuşağı içeren, organizmaların bir süre aynı doğal çevrede kaldığı kısa vadeli ölçekte çok yaygındır. Hayatta kalma ve üremede daha başarılı olan bireyler, ara fenotip değerlerine sahip olanlardır. Örneğin yeni doğmuş bebeklerde ölüm oranları, çok küçük veya çok büyük olduklarında çok yüksektir; orta boydaki bebeklerin hayatta kalma şansı daha yüksektir.

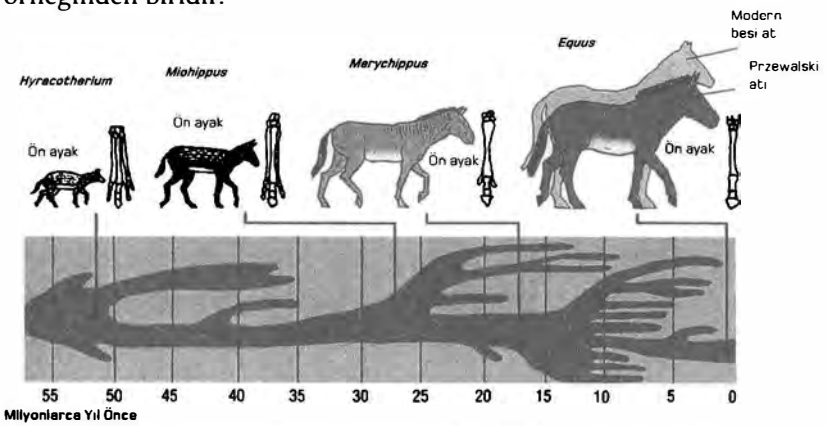
Fakat bir nüfustaki fenotiplerin dağılımı bazen sistematik olarak bir yönde değişir, buna yönlü seçilim denir. Doğal çevrenin fiziksel ve biyolojik yönleri sürekli değişiyordur, uzun bir süreçte ciddi değişiklikler olabilir. İklim, hatta kara ya da suların yapısı kesintisiz olarak değişir. Biyotik koşullarda değişiklikler meydana gelir, yani avcı, av, parazitler ya da rakipler gibi başka ortamda mevcut olan başka organizmalarda. Genetik değişiklik-

ler bunun bir sonucu olarak ortaya çıkar, çünkü farklı genotiplerin uygunluğu değişebilir, böylece başka farklılaşma kümeleri desteklenir. Organizmalar, koşulların orijinal yaşam ortamlarından farklı olduğu yeni çevrelerde koloniler oluşturduklarında da yönlü seçilim fırsatı ortaya çıkar. Yönlü seçilim süreci genellikle ani çıkışlarla gerçekleşir. Bir genetik yapının diğerinin yerini alması, başka özellikleri şifreleyen genlerin genotipik uygunluklarını değiştirir, bu da yeni değişiklikleri harekete geçirir, ve böylece bir sonuçlar silsilesi ortaya çıkar.

Yapay seçilimin neredeyse genel başarısı ve doğal nüfusların yeni çevresel güçlüklere hızla cevap vermesi, Darwin'in açıkladığı üzere, mevcut farklılaşmanın yönlü seçilim için gerekli malzemeleri hazırladığının kanıtıdır. İnsanların eylemleri, bu tip seçilim için önemli bir uyarıcı olmuştur. İnsanlar birçok organizmanın doğal çevresini değiştirir, bu organizmalar yeni çevresel güçlüklere yönlü seçilimle hızla cevap verir. İyi bilinen örnekler arasında, birçok böceğin, böcek ilaçlarına, yani doğal çevrede mevcut olmayan sentetik maddelere direnç göstermesi sayılabilir. Zaman geçtikçe, belli bir düzeyde denetim sağlamak için gereken böcek ilacı miktarının, sonunda etkisiz ya da ekonomik bakımdan uygulanamaz hale gelinceye dek tekrar tekrar artırılması gerekir. Organizmalar yönlü seçilim sayesinde böcek ilaçlarına dirençli hale geldikleri için böyle bir durum ortaya çıkar. Ev sineği *Musca domestica*'nın DDT'ye dirençli olduğu 1947'de bildirilmiştir. Bugün itibarıyla, 100'ü aşkın böcek türünde bir ya da daha fazla böcek ilacına karşı direnç gözlendiği kayıtlara geçmiştir.

Süreklilik gösteren yönlü seçilim, jeolojik zaman içinde, morfoloji ve hayat tarzlarında büyük değişikliklere yol açar. Uzun süreler boyunca az çok süreklilik gösteren bir tarzda varlığını sürdüren evrimsel değişiklikler, evrimsel eğilimler olarak bilinir. Yönlü evrimsel değişimler, dört milyon yıl önce yaşamış, yaklaşık 300 gramlık küçük bir beyni olan *Australopithecus afarensis*'den, onlardan dört kat daha büyük bir beyne sahip olan

modern insan *Homo sapiens*'e gelinceye dek, insan soyunun kafatası kapasitesini artırmıştır. 50 milyon yıl öncesinden bugünlere, at familyasının evrimi sırasında büyüklükte meydana gelen az çok aşamalı artış da, çok iyi incelenmiş birçok yönlü seçilim örneğinden biridir.



YAKLAŞIK 55 MİLYON YIL ÖNCE YAŞAMIŞ *HYRACOTHERIUM*DAN MODERN ATA, ATIN EVRİMİ. GRAFİĞİN ALT KISMINDAKİ DALLAR FARKLI TARİHLERDE YAŞAMIŞ OLUP DA NESİLLERİ TÜKENMİŞ TÜRLERİ GÖSTERİR.

Bir doğal çevredeki iki ya da daha fazla ayrı özellik eş zamanlı olarak desteklenebilir. Buna farklılaşan seçilim denir. Hiçbir doğal çevre homojen değildir, bir bitki ya da hayvan nüfusunun doğal çevresi daha ziyade az çok birbirinden farklı alt çevrelerden oluşan bir mozaiktir. İklim, gıda kaynakları ve yaşam mekanı bakımından heterojenlik söz konusudur. Bu heterojenlik geçici olabilir, değişim zaman içinde meydana gelir, aynı zamanda mekansaldır, farklılıklara farklı bölgelerde rastlanır. Türler çevresel heterojenliğe farklı biçimlerde ayak uydurur. Bu stratejilerden biri, türlerin karşı karşıya kaldığı bütün doğal çevrelere iyi uyum sağlayan genel bir genotipin seçilmesidir. Bir başka stratejiyse, genetik polimorfizm, yani her biri belli bir alt çevreye uyum sağlayan farklı genetik yapılar ortaya çıkaran farklılaşmış bir gen havuzunun seçilmesidir.

TÜR NEDİR?
Ayrılığın korunması

Türler, doğal seçilimin teşvik ettiği aşamalı değişim sonucu ortaya çıkmıştır. Organizmaların yaşadığı doğal çevreler zaman içinde sürekli değişir, bir yerden diğerine de farklılık gösterir. Dolayısıyla, doğal seçilim farklı koşullarda farklı özellikleri destekler. Farklılıkların birikmesi, nihayetinde ayrı türlere yol açar.

Gündelik hayatımızda, farklı türde organizmaları görünümlerinden tanırız. İnsanların insan türüne ait olduklarını, kediler ve köpeklerden farklı olduklarını, kediler ve köpeklerin de birbirlerinden farklı olduklarını herkes bilir. İnsanlar arasında farklılıklar vardır, her kedi ve her köpek de birbirinden farklıdır; ama aynı türün bireyleri arasında, başka bir türün bireyleriyle aralarında olandan çok daha fazla sayıda benzerlik bulunur.

Türleri tanımlamak

Dışsal benzerlik, bireyleri aynı türün mensupları olarak tanımlamanın ortak temelidir, ama bir türü tanımlamak, benzerlikten daha fazlasını gerektirir. Bir dalmaçyalı, bir tazı ve bir teriyer çok farklı görünür, ama hepsi de köpektir, çünkü kendi aralarında çiftleşebilirler. İnsanlar da birbiriyle çiftleşebilir, kediler de başka kedilerle çiftleşebilir, ama insanlar kediler ya da köpeklerle çiftleşemez, bu iki tür de birbirleriyle çiftleşemez. Görünüm benzerliğinin ötesine geçen, büyük bir biyolojik önemi olan temel bir şey vardır; bir türün bireyleri birbirleriyle çiftleşebilir, ama başka bir türün bireyleriyle çiftleşemez. Bu durum şu tanımla ifade edilir: Türler kendi aralarında çiftleşebilen ve bu tür başka gruplardan üreme bakımından yalıtılmış doğal nüfuslardır. Bu

tanım özellikle, eşeyli üreyen organizmalar için geçerlidir. Eşeyli üreyen organizmalar bitkiler, hayvanlar ve mantarların büyük çoğunluğunu kapsar. Bakteriler ve archaea (büyük bir mikroskobik organizma grubu) eşeyli olarak değil, bölünerek ürer. Eşeyli üreme özelliğinden yoksun organizmalar, dışsal özellikler ve morfoloji, kimyasal ve fizyolojik özellikler ve genetik yapı gibi kriterlere göre farklı türlere ayrılırlar.

Çiftleşme becerisi, evrim açısından büyük bir önem taşır, çünkü türlerin bağımsız evrimsel birimler olmalarını belirler. Genetik değişiklikler tek tek bireylerde başlar, doğal seçilimle türün bütün mensuplarına yayılabilirler, ama başka türlerin bireylerine geçmezler. Dolayısıyla, bir türün bireyleri, başka türlerin bireylerinin paylaşmadığı ortak bir "gen havuzu"na sahiptir. Farklı türlerin, üreme açısından yalıtılmış oldukları için, bağımsız olarak evrilen gen havuzları olabilir.

Türlerin kronolojisi

Bugünkü insanların binlerce yıl önce yaşamış insanlarla çiftleşip çiftleşemeyeceklerini sınamanın bir yolu yoktur. Yaşayan insanların ya da yaşayan kedilerin, birkaç kuşak önce yaşamış insanlara ya da kedilere benzer insanlar ya da kedilerle çiftleşebileceğini varsaymak akla yatkın olabilir. Peki ya binlerce ya da milyonlarca kuşak öncesindeki kadim atalar? Modern insanların bir milyon yıl (yaklaşık 50.000 kuşak) önce yaşamış ataları *Homo erectus* türü olarak sınıflandırılır, bugünkü insanlarsa farklı bir tür, *Homo sapiens* olarak sınıflandırılır. Bu atalar görünümleri açısından bizden bir hayli farklıydılar, bu yüzden de modern insanlarla çiftleşemeyecekleri sonucuna varmak akla yatkın görünmektedir.

Homo erectus'un ne zaman *Homo sapiens* haline geldiğine dair kesin bir tarih yoktur. Bu mesele, bir ergenin ne zaman bir yetişkin haline geldiğini ya da günün ne zaman geceye döndüğünü belirlemeye benzer. Bir kuşaktan diğerine gözlenen değişiklikler

küçük olduğu için, insanların uzak atalarını ve modern insanları aynı tür içinde sınıflandırmak uygun olmayacaktır. Farklı tür isimleri vererek iki grup arasında bir ayrıma gitmek yararlıdır; tıpkı çocukluk, ergenlik ve yetişkinliğe farklı isimler vermenin yararlı olması gibi. Biyologlar, organizmaların farklı tarihlerde yaşamış türlerini, sağduyuya dayalı morfolojik bir kritere dayanarak ayırırlar. İki organizma birbirinden, iki farklı türe ait iki canlı birey kadar ayrılıyorsa, bunları ayrı türler olarak sınıflandırır ve farklı isimler verirler. Farklı tarihlerde yaşamış olan, ama soy bakımından birbirleriyle akraba olan türlere genellikle chronospecies denir. ("Kronolojik"te olduğu gibi, Yunancada zaman anlamına gelen *chronos* teriminden hareketle.)

Bir türün iki ya da daha fazla türe ayrıldığı sürece, kladojenez ya da basitçe, türlerin farklılaşması denir. Hawaii takımadalarında yaklaşık 500 tür meyve sineği *Drosophila* bulunur, son 20 milyon yıl içinde ağır ağır evrilmişlerdir; ataları Kuzey Amerika'dan gelen bir türdür. Afrika'nın doğusundaki tatlı su göllerinde bulunan ciklet balığı, aşırı kladojenezin, yani "uyarlanmaya bağlı radyasyon"un etkileyici bir örneğidir. Büyük göller Victoria, Malawi ve Tanganyika'nın her birinde koloniler oluşturan bir türden (ya da Victoria Gölü örneğinde olduğu gibi iki türden), nispeten kısa bir zaman içinde evrilmiş yüzlerce tür bulunmaktadır. Victoria Gölü'nde, bir milyon yılı bulmayan bir süre zarfında evrilmiş yaklaşık 500 ciklet türü bulunur. Malawi Gölü'nde, bir ya da iki milyon yıl içinde evrilmiş 600'ü aşkın tür yaşamaktadır. Üç gölün en eskisi olan Tanganyika Gölü'nde, geçen 10 milyon yıl içinde evrilmiş yaklaşık 200 tür bulunmaktadır.

Üremenin yalıtımı

Eşeyli üreyen organizmalarda, belli bir türün yavrularında farklılaşma meydana geldiğinde evrimle yeni türler ortaya çıkar, böylece sonunda üreme açısından yalıtılmış iki (ya da daha fazla) nüfus oluşur. Farklı türlerin varlığı üreme yalıtımıyla belir-

lendiğinden, bunu açıklayan özellikleri tartışmak yerinde olur; bu özellikler üreme yalıtma mekanizmaları olarak bilinir. Farklı adalardaki meşeler, farklı nehirlerdeki tatlı su balıkları ya da farklı dağlardaki sincaplar birbirleriyle çiftleşemezler, çünkü fiziksel olarak ayrılmışlardır; ama bunun sebebi tam olarak biyolojik olarak uyuşmaz olmaları değildir. Dolayısıyla, coğrafi bakımdan ayrılma, üreme yalıtım mekanizması değildir, çünkü organizmaların biyolojik bir özelliği değildir.

Üreme yalıtım mekanizmaları iki büyük gruba ayrılır: Prezigotik grup, yani bu özelliği döllenmeden önce alan grup ve postzigotik, yani özelliği döllenme sonrası edinen grup. Prezigotik üreme yalıtım mekanizmaları ekolojik, zamansal, etolojik (davranışsal), mekanik ve gametik yalıtımla, farklı nüfusların mensupları arasında melezler oluşmasını engeller. Postzigotik üreme yalıtım mekanizmaları, melezler ve yavrularının yaşayabilirliğini ya da doğurganlığını azaltır. Epeyce bir süre önce birbirlerinden ayrılmış olan türlerin birbirleriyle çiftleşmesi genellikle birkaç üreme yalıtım mekanizmasıyla engellenir. Bir türün soyundan gelenler yavaş yavaş farklılaşıp nihayetinde farklı türlere evrilirken, genellikle birkaç üreme yalıtım mekanizması devreye girer ve karşılıklı olarak birbirini güçlendirerek birikir.

Türlerin kökeni

Daha önce ortaya koyduğumuz gibi, eşeyli olarak üreyen organizmalarda bir tür, birbirleriyle çiftleşebilen ve üreme bakımından başka nüfuslardan yalıtılmış olan bireylerden oluşan bir nüfus ya da gruptur. Türlerin kökenini sorgulamak, birbirleriyle çiftleşebilen organizmaların nasıl olup da üreme bakımından yalıtıldığını sormaya benzer.

Coğrafi özelleşme: Bu süreçte iki nüfus (ya da nüfus grupları, bundan sonraki tartışmalarda bu terimi hep bu şekilde kullanacağız) coğrafi olarak ayrılır ve birçok kuşak boyunca birbirlerinden ayrı olarak evrilir, böylece (coğrafi olarak yeniden

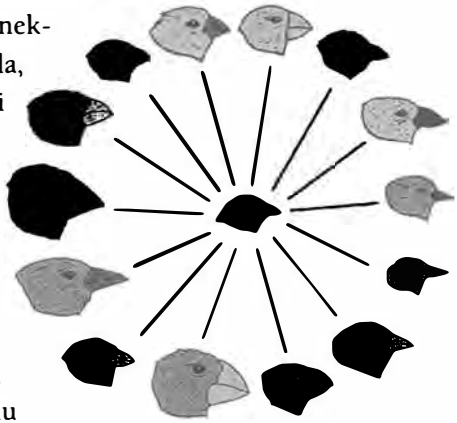
yakınlaşamayacak ya da örtüşemeyecek olsalar bile) birbirleriyle çiftleşemeyecek kadar farklılaşırlar. Coğrafi yalıtımda, doğal seçilim, üreme yalıtımını teşvik eden bir rol oynamaz, gerçi birbirinden ayrılmış nüfuslar, başka organizmalarla etkileşimlerinin yanı sıra, doğal çevrenin fiziksel bileşenleri de dahil olmak üzere farklı çevresel koşullara cevaben evrilirlerken doğal seçilim ortaya çıkacaktır.

Coğrafi özelleşme, allopatrik (farklı bölgeler) özelleşmesi olarak da bilinir. Bu süreç, nüfuslar arasında coğrafi ayrılma sonucu başlar. Koloni oluşturan birkaç tür fiziksel olarak ayrı bir yaşam ortamına, bir adaya, bir göle, bir nehre, yalıtılmış bir vadi ya da dağ sırasına ulaştıklarında böyle bir durum ortaya çıkabilir. Ya da bir nüfus volkanik patlamalar, depremler ya da iki nehir arasındaki su bağlantısının kaybolması, rakipler, parazitler ya da avcıların ara bir bölgeyi işgal etmesi sonucu meydana gelen topografik değişiklikler sonucunda coğrafi olarak iki ayrı bölgeye ayrılır. Coğrafi ayrılma süreci yeterince uzun bir süre boyunca devam ederse, ayrı nüfuslar genetik olarak farklılaşacaklar ve nihayetinde, bir ya da birkaç üreme yalıtım mekanizmasının varlığından ötürü birbirleriyle çiftleşemez hale geleceklerdir.

Uyarlanmaya dayalı özelleşme: Bu süreç, bir nüfusta farklı birey alt kümeleri arasındaki gen akışının, farklı yiyecek, davranış vs. tercihleri yüzünden desteklenmez hale gelebileceğini varsayar. Doğal seçilim yüzünden ya da tesadüflere bağlı olarak, başta bazı genetik farklılaşmalar ortaya çıkabilir. İki birey kümesi arasındaki çapraz döllenme, uygunlukları azalmış melezlerin ortaya çıkmasına yol açarsa, doğal seçilim doğrudan, ek üreme yalıtımı mekanizmalarının evrilmesini teşvik edecektir. Bunun sebebi, doğal seçilimin, melezlerin oluşma olasılığını azaltan genleri destekleyecek olmasıdır.

Kromozomsal özelleşme ve poliploidi(çok kromozomluluk): Mutasyonlar genellikle, tek bir gen üzerindeki etkileriyle tanımlanır, ama özellikle kromozom örgütlenmesi ya da sayısını değiştirdiklerinde, birçok geni etkileyebilirler. Kromozom kü-

melerinin tamamının çoğalması anlamına gelen poliploidi, aşırı bir örnektir. Diploid (çift) bir organizmada, her hücrenin çekirdeğinde iki kromozom kümesi bulunur, her biri bir ebeveynden kalıtımla miras alınmıştır; poliploid bir organizmadaysa üç ya da daha fazla kromozom kümesi bulunur. Yetiştirilmiş birçok bitki poliploiddir (muzlar triploid, patatesler tetraploid, ekmek unu heksaploid, bazı çilekler oktaploiddir). Bu yetiştirilmiş poliploidler doğada bulunmazlar, en azından önemli denilebilecek bir sıklıkla. Bazılarının ilk ortaya çıkışı kendiliğinden olmuştur; oktaploid çilekler gibi bazılarıysa, amaçlanarak üretilmiştir.



DARWIN'İN GALÁPAGOS ADALARI'NDA BULDUĞU 14 İSPİNOZ TÜRÜ. FARKLI TÜRLERDE FARKLI BESLENME ALIŞKANLIKLARINA UYARLANMIŞ FARKLI GAGALAR EVRİLMİŞTİR.

Hayvanlarda poliploidi nispeten nadirdir, çünkü cinsiyet kromozomuyla diğer kromozomlar arasındaki dengeyi bozar; cinsiyetin uygun bir biçimde gelişmesi için gerekli olan bir dengedir bu. Salyangozlar, solucanlar ve planaryanların (bir grup yassı solucan) da arasında bulunduğu hermafrodit (hem erkek hem dişi organlara sahip) hayvanlar arasında, doğal poliploid türlere rastlanır. Bazı kınkanatlılar, tahtakuruları, Japon balığı ve semender gibi partenojenetik (döllenme olmaksızın, yaşayabilir yavrular üretebilen) dişilere sahip türler arasında da rastlanır. Angiospermler, yani çiçekli bitkiler arasında poliploid bitkiler yaygındır, bu bitkilerin yüzde 47'si poliploiddir. Çam ağaçları, firs ve sedir ağacı gibi gymnospermler (kabuksuz tohumlu bitkiler) arasında poliploidiye nadiren rastlanır, kızılağaç, *Sequoia sempervirens* bir poliploiddir.

İki tür poliploid bulunur: Tek bir türden evrilmiş olan otoploidler ve farklı türlerin kromozom kümelerinin bileşiminden

kaynaklanan allopoliploidler. Doğada allopoliploid bitki türlerinin sayısı otopoliploidlerin sayısından daha fazladır.

Allopoliploid bir tür, aynı diploid kromozom sayısına sahip iki bitki türünden doğabilir. Bir türün kromozom çifti *AA*, diğerininki *BB* olarak tanımlanabilir. İki farklı türün *AB* olarak temsil edilen melezi, gametlerin mayozu sırasında kromozomların anormal eşleşmesi ve ayrılması yüzünden genellikle kısır olacaktır. Gametler haploiddir, yani kromozomların yalnızca yarısına sahiptirler, bir gametteki kromozomların bir bölümü A kümesinden, bir bölümü B kümesinden gelir. Kromozomların bölündüğü, ama hücrelerin bölünmediği anormal hücre bölünmesi sonucu, bir diploid hücrede kromozom sayısı iki katına çıkabilir. Böyle bir durum melez AB'de ortaya çıkarsa, sonuçta *AABB* şeklinde dört kromozom kümesine sahip bir bitki hücresi meydana gelir. Böyle bir tetraploid hücre (diploid hücrelerden oluşmuş) bitki içinde çoğalıp tetraploid hücrelerden oluşan dallar ve çiçekler meydana getirebilir. Çiçek hücreleri her türden iki kromozom taşıdıkları için, AB yapısına sahip işlevsel diploid gametler oluşturabilirler. Böyle iki gametin bir araya gelmesi, kendi kendine döllenme sırasında olduğu gibi, tam bir tetraploid birey ortaya çıkarır (AABB). Bu şekilde, bitkilerde kendi kendine döllenme, tek bir anormal hücre bölünmesi sonucu tetraploid bir bireyin ortaya çıkmasını mümkün kılar.

Otopoliploidler de benzer şekilde ortaya çıkarlar, sadece anormal mitoz bölünmenin ortaya çıktığı birey melez değildir. Böylece, kendi kendine döllenme, tek bir bireyin çoğalmasını sağlar ve bir nüfus ortaya çıkarır. Bu nüfus yeni bir türdür, çünkü poliploid bireyler diploid atalarından üreme bakımından yalıtılmıştır. Bir tetraploid ile bir diploid arasındaki çapraz döllenme, kısır triploid yavrular ortaya çıkarır.

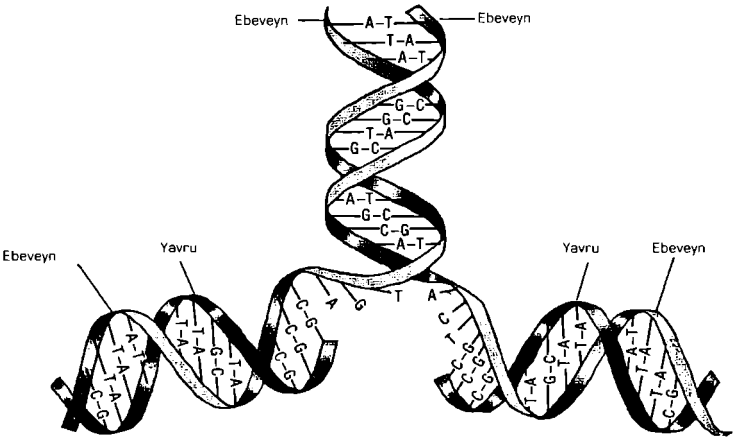
KROMOZOMLAR, GENLER VE DNA NEDİR?
Çifte sarmal

Darwin'in doğal seçilimle evrim kuramı, çağdaşları arasında ve sonraki yıllarda dirençle karşılandı, çünkü yeterli bir kalıtım kuramından yoksundu. 1866'da, Augustinci keşiş Gregor Mendel, kalıtım kuramının bugün hâlâ geçerliliğini koruyan temel ilkelerini yayınladı. Genetik bilgi, çiftler halinde bulunan, çiftin her bir mensubunun bir ebeveynden geldiği ayrı etkenlerde, yani genlerde bulunur.

Mendel'in biyolojik kalıtım kuramı, biyologların geneli tarafından ancak 1900'lerde bilinir hale gelmiştir. Genlerin doğasının anlaşılması yolundaki bir sonraki adım, yirminci yüzyılın ilk çeyreği sırasında, genlerin kromozomların bir parçası olduğunun ve kromozomlar boyunca çizgisel olarak düzenlendiklerinin tesis edilmesiyle tamamlanmıştır. Genlerin kimyasal bileşiminin, yani DNA'nın belirlenmesi, bir çeyrek yüzyıl daha almıştır.

DNA

Deoksiribonükleik asit genellikle, kısaltılmış haliyle DNA olarak bilinir. Kimyasal yapısı birbirini tamamlayan iki şeritten oluşan çifte bir sarmaldır, bu sarmallar dört farklı nükleotidden oluşan uzun zincirlerdir: Adenin (A), sitosin (C), guanin (G) ve timin (T). DNA'nın hayat açısından temel önem taşıyan üç özelliği bulunmaktadır.



DNA ÇİFTE SARMALI. KOPYALAMA SIRASINDA İKİ ŞERİT AYRILIR VE HER BİRİ TAMAMLAYICI BİR ŞERİTİN SENTEZLENMESİ İÇİN MODEL İŞLEVİ GÖRÜR. SONUÇTA BİRBİRLERİNE VE ASIL MOLEKÜLE TIPATIP BENZER İKİ TANE ÇİFTE SARMAL ORTAYA ÇIKAR.

İlki, bütün hayat süreçlerini yöneten genetik bilgiyi barındırmasıdır. Bu bilgi dört nükleotid dizisinde, semantik bilginin alfabedeki harflerin dizilimiyle aktarılmasına benzer bir biçimde tutulur. Bir organizmanın DNA'sındaki genetik bilgi miktarı muazzamdır, çünkü DNA moleküllerinin toplam uzunluğu devasadır. Örneğin, insan genomu (her insanın her ebeveynden kalıtımla miras aldığı DNA) üç milyar nükleotid uzunluğundadır. Yukarıda olduğu gibi, her nükleotidi bir harfle temsil edecek olursak, bir insan genomu, her biri bin sayfa uzunluğunda, her sayfası yaklaşık 3000 harften (500 sözcükten) oluşan 1000 kitap halinde basılabilir. Bilim insanları, insanların ya da başka organizmaların tam genomlarını matbu hale getirmez; DNA bilgisi bilgisayarlarda elektronik olarak tutulur.

İkincisi, DNA biyolojik kalıtımın kesinliğini açıklar. DNA çifte sarmalının iki şeridi birbirini tamamlar; ikisi de aynı genetik bilgiyi taşır, iki şeritten biri orijinal tamamlayıcı şeride benzeyen tamamlayıcı bir şeridin sentezlenmesi için model işlevi görebilir. Birbirini tamamlayan şeritlerde, dört nükleotidden her biri tek bir nükleotidle eşleşebilir: A sadece T ile, C sadece G ile eşle-

şebilir. Örneğin bir şeridin kısa bir bölümü ATTCAGCA dizilimiinden oluşuyorsa, tamamlayıcı şerit TAAGTCGT şeklinde olacaktır. Bu tamamlayıcılık özelliği, biyolojik kalıtımın sadakatini açıklar. Üreme sürecinde, sarmal oluşturmuş iki şerit açılacak ve her biri tamamlayıcı bir şeridin sentezlenmesi için bir model olarak iş görecek, böylece birbirinin ve annelerinin aynısı olan iki yavru çifte sarmal ortaya çıkacaktır.

DNA'nın üçüncü temel özelliği mutasyondur, mutasyon organizmaların evrilmesini mümkün kılar. Nükleotid dizilimiinde şifrelenen bilgi, kopyalama sırasında, kural olarak, orijinaline sadık olarak yeniden üretilir, böylece her kopya, yukarıda açıkladığımız üzere, birbirinin ve ana hücrenin tıpatıp aynı olan iki DNA molekülü haline gelir. Bu sürecin sadakati muazzamdır, ama mükemmel değildir. Kopyalama sırasında yer yer mutasyonlar meydana gelir, bunun sonucunda yavru hücrelerle ana hücreler (ve birbirleri) arasında nükleotid dizilimi ya da DNA'nın uzunluğu bakımından farklılıklar belirir. Mutasyonlar genelde tek bir harf (nükleotid) içerir, ama zaman zaman birkaç ya da daha fazla harfi de etkileyebilirler. Bir mutasyon öncelikle tek hücreli bir organizmanın DNA'sında ortaya çıkar; yeni, değişmiş DNA da ilk hücreden türemiş bütün hücrelere aktarılır.

Avrupa yakın tarihinde önemli sonuçlar doğurmuş olan korkunç bir mutasyon örneği, X kromozomundaki bir mutasyonun yol açtığı ölümcül bir hastalık olan hemofilinin sebebidir. İnsanlarda cinsiyet X kromozomuyla belirlenir. Kadınlarda iki X kromozomu bulunur; erkeklerde bir X bir de Y kromozomu vardır. Bir X kromozomunda hemofili mutasyonu taşıyan kadınlar, hastalığın kendisinden mustarip olmayabilirler, ama bunu yavrularına aktarabilirler, böylece yavrular annenin hemofili mutasyonu taşıyan X kromozomunu alırlar. Kraliçe Victoria'nın X kromozomlarından birinde bir hemofili mutasyonu meydana gelmiş, bu mutasyon Rusya, İspanya ve Avrupa'daki başka kraliyet ailelerine aktarılmıştır. Rusya'da Çar II. Nikola'nın tek oğlu olan Çareviç Alexis, Kraliçe Victoria'nın torunu olan annesi

Alexandria'dan kalıtımla hemofili almıştır. İspanya tahtının varisi Alfonso hemofiliyi, Victoria'nın bir başka torunundan, Kral XIII. Alfonso'nun eşi Kraliçe Ena'dan miras almıştır. Siyasi tarihçiler, hemofilinin iki kraliyet ailesinin de düşmesine yol açtığı inancındadır.

Evrimi meydana getiren mutasyonlar, cinsiyet hücrelerinde (yumurtalar ve sperm) ya da cinsiyet hücrelerinin türediği hücrelerde meydana gelen mutasyonlardır, çünkü yeni kuşakları bu hücreler üretir. Başka hücrelerde meydana gelen mutasyonlar genellikle önemsiz olacak, aktarıldıkları fark edilmeyecektir. Ama bazı mutasyonlar kansere ve başka hastalıklara yol açabilir.

Genler ve kromozomlar

Bütün hayvanlar, bitkiler ve mantarları kapsayan ökaryot organizmaların DNA'sı, DNA'yla ilişkili birkaç tür histon proteininden oluşan kromozomlar halinde örgütlenmiştir. Kromozomlar çiftler halinde ortaya çıkar, her biri bir ebeveynden kalıtımla alınır. Her türe özgü kromozomların sayısı büyük bir farklılık gösterir, bazı parazit nematodlarda bir çifttir, bazı kelebek türlerinde 100'den fazla, bazı horozlarda 600'den fazla kromozom çifti bulunur. İnsanlarda 23 çift kromozom vardır. Başka primatlardaysa 24 çift kromozom vardır; hominin atalarımızda iki kromozom birleşip bir kromozom, yani kromozom 2'yi oluşturmuştu. Primatlar ve başka memelilerin yanı sıra insanlarda da, bir kromozom çiftindeki iki kromozom bireyin cinsiyetini belirler, yukarıda tanımladığımız üzere, bu kromozomlar kadınlarda birbirlerinin aynıdır (XX), ama erkeklerde aynı değildir (XY).

Bir gen, haberci RNA'ya (mRNA) "yazılmış" bir DNA parçasıdır, haberci RNA bir polipeptide, yani bir proteine ya da protein parçasına "tercüme edilir". (Bazı proteinler birkaç polipeptitten oluşur; örneğin, yetişkin insanlarda çok sık rastlanan hemoglobin A, α ve β denilen iki farklı türden ikişer ikişer gelen dört polipeptitten oluşur.) RNA, DNA'ya benzeyen, ama genellikle,

haberci RNA örneğinde olduğu gibi, tek bir şeritten (DNA'da olduğu gibi iki şeritli değil) oluşan bir molekül olan ribonükleik asidin kısaltmasıdır. RNA molekülleri, dört tür nükleotidden meydana gelir. Üçü (A, C, G) DNA'dakilerin aynısıdır. Dördüncüsüyse, DNA'daki T yerine urasildir (U). Haberci RNA molekülleri, DNA şeritlerinden birinin tamamlayıcısı olarak sentezlenir. DNA ile mRNA arasındaki eşleşme kuralları, DNA kurallarına benzer; sadece, DNA'daki A, mRNA'da U ile eşleşir (çifte sarmalda olduğu gibi, T ile değil). DNA'daki genetik bilgi böylece mRNA'ya aktarılır, mRNA da hücrenin sitoplazmasına geçer, burada belli bir mRNA üçlüsüyle, sentezlenen proteindeki belli bir amino asit arasındaki ilişkiyi aktaran "genetik şifre" uyarınca, proteinlerin sentezlenmesini belirler. Böylece DNA'daki genetik şifre, proteindeki amino asitlerin dizilimini, buna bağlı olarak da moleküler yapısını belirler.

İki tip protein vardır. Bazıları, organizmaların önemli yapısal bileşenleridir; örneğin kolajen, kemiğin başlıca protein bileşenidir. Diğerleri enzimdir, organizmalardaki kimyasal tepkimeleri aktaran katalizörlerdir. Enzimler, hücrelerin içindeki bütün canlı süreçleri aktaran moleküler makineler olarak görülebilir, yani bir maddenin bir diğerine dönüşümünü hızlandırırlar. Enzimler muazzam derecede etkili makinelerdir, en etkili insan yapımı makinelerden milyonlarca kat daha güçlüdürler. Yaygın deyişle nanoteknolojinin hedefi, enzim olarak hareket edebilecek moleküller tasarlamak ve bu enzim benzeri makineleri, istenen ürünleri bugün insan sanayilerinde kullanılan makinelerden çok daha fazla bir verimlilikle üretmek için kullanmaktır. Hücrelerdeki çoğu kimyasal ürün, her biri farklı bir enzimle hızlandırılmış bir dizi zincirleme tepkimenin ürünüdür.

İnsanlardaki ve başka çoğu hayvandaki protein şifreleyen genlerin sayısı 20.000-30.000 civarındadır, her birinin uzunluğu birkaç yüz ile birkaç bin nükleotid arasında değişir, bu da genomdaki üç milyar DNA harfinin yüzde 10'undan daha azını açıklar. Dolayısıyla, ökaryotlardaki DNA'nın büyük bir bölümü

genleri kapsamaz, bu yüzden de genellikle *çöp* DNA olarak adlandırılır. Bu DNA'nın büyük bölümü, binlerce, hatta milyonlarca kez tekrarlanan, çeşitli uzunluklardaki (bazıları hayli kısadır) dizilimlerden oluşur. Çöp DNA'nın büyük bölümü hiç işlevsel olmayabilir, ama bazı dizilimler başka dizilimlerin ifadesini düzenlemekte bir rol oynar.

Bir genin şifreleyici kısımları genellikle, intron denilen şifreleyici olmayan DNA kısımları tarafından ayrılmış parçalar (eksonlar) halinde ortaya çıkar. Tipik olarak, bir genden önce, şifresiz DNA dizilimleri gelir; bunlar genin ifadesini düzenler ve sıklıkla kısadırlar. Genlerin ifadesinin nasıl denetlendiği, kaç denetim sistemi bulunduğu ve bunların nasıl bir etkileşim içinde olduğu, son yıllarda evo-devo'da (gelişim süreçlerinin evrimi bazen böyle adlandırılır) büyük atılımlar kaydedilmiş olsa da, henüz büyük ölçüde ayrıntılı olarak ortaya çıkarılmamıştır (bkz. *Genler Nasıl Olur da Bedenler Oluşturur?*)

Mendel'in kalıtım kanunları

Gregor Mendel, Avusturya'da Brünn'de (bugünkü Çek Cumhuriyeti'nde Brno) bulunan Augustinci bir manastırda yaşayan bir keşişti. Mendel, 1856 civarında, bireysel özelliklerin kalıtımla nasıl miras alındığını araştırmak için bahçe bezelyeleri (*Pisum sativum*) üzerinde çalışmaya başladı. Deneyleri ve yayınları, bugünün standartlarıyla bile bakıldığında, ustalıklı bilimsel araştırma örnekleridir. Mendel, vardığı sonuçları, 1866'da Brünn'de basılan *Proceedings of the Natural History Society*'de yayınlamıştı, ama o tarihlerde bu araştırmalar bilim insanlarının pek dikkatini çekmemişti.

Mendel'in başarıları, 1900'de üç bilim insanı (Hollanda'dan Hugo de Vries, Almanya'dan Karl Correns, Avusturya'dan Erich Tschermak) tarafından yeniden keşfedildi, bu bilim insanları birbirlerinden bağımsız olarak benzer sonuçlara varmışlar ve bu sonuçlara ilk varanın Mendel olduğunu fark etmişlerdi. Mendel

ilkelerinin önemi artık belirginlik kazanmıştı: Kalıtım bilmecesi çözüme açılmıştı. İlk adım, bu ilkelerin hayvanlar açısından da geçerli olduğunu göstermekti. Yirminci yüzyıl başlarında bu adım atıldı. Çok geçmeden başka önemli keşifler yapılacaktı.

Mendel'den önce gelen birçok bilim insanı, biyolojik özelliklerin kalıtımla nasıl miras alındığını ortaya çıkarmaya girişmişti. Bitkiler ya da hayvanlar arasında çapraz döllenmeler gerçekleştirdiler ve yavrularla ebeveynleri arasındaki genel benzerlikleri incelediler. Sonuçlar kafa karıştırıcıydı: Yavruların bazı özellikleri bir ebeveyne, bazı özellikleri diğerine benziyordu, bazı özellikleriyle hiçbirine benzemiyordu. Hiçbir kesin düzenlilik keşfedilemedi.

Mendel, parlak kavrayışı ve metodolojisi sayesinde, kendisinden önceki araştırmacıların başaramadığı şeyi başarmıştı. Bitkinin tamamı yerine, bir seferde tek bir özelliğe (tohumların şekli, renkleri ya da bitkinin boyu) dikkat etme ihtiyacı duymuştu. Bu amaç doğrultusunda, bitkilerin birbirlerinden açıkça farklılıklaştıkları özellikleri seçmişti. Bitkiler arasında çapraz döllenmeler gerçekleştirmeden önce, safkan olduklarından emin olma yoluna gitmişti: Tohumculardan tohum almış, bunları iki yıl boyunca eşleştirerek, deneylerinde kullanmak üzere sadece yavruların belli bir özellikleri itibarıyla ebeveyne tıpatıp benzedikleri soyları seçmişti. Mendel'in çalışmasının başka bir önemli özelliği de niceliksel yaklaşımıydı: Alternatif özellikleri taşıyanların aynı oranda ortaya çıkmasını sağlamak üzere, her türün yavrularını saymıştı.

Mendel'in genetik analiz yöntemi (uygun çaprazlamaların yavrularında her sınıftan bireylerin sayısını belirlemek) hâlâ kullanılmaktadır. 1950'lerde moleküler biyoloji alanında yapılan keşiflere kadar, yegane genetik analiz yöntemi bu oldu. Mendel'i bilimsel bir deha yapan şey, başarılı metodolojisinin yanı sıra, deneylerinde vardığı sonuçları açıklayan bir kuram formüle etmek ve bu kuramı sınamak için uygun deneyler geliştirmekteki dehasıydı. Bir varsayım olarak uygun bir biçimde sunulmuş olsa

da, Mendel'in kuramı bir eksiksizlik havası içinde formüle edilmişti. Zaman bu kuramın esasen doğru olduğunu göstermiştir.

1902'de, iki araştırmacı (ABD'de Walter S. Sutton ile Almanya'da Theodor Boveri) birbirlerinden bağımsız olarak, Mendelci kalıtım kanunlarının kromozomlara uygulanabileceğini gösterdi; kromozom kalıtım kuramı olarak bilinecek bir fikirdi bu. Bu araştırmacıların argümanları, bir yanda kromozomlar bir yanda genler arasında paralellik gösteren davranışlara dayanıyordu. Belli bir özellik için, her biri bir ebeveynden alınmış iki genin varlığı, yine her biri bir ebeveynden alınmış iki kromozomun varlığına paraleldir. Bir özelliği şifreleyen iki gen, gametlerin oluşumu sırasında ayrılır, çünkü her bir çiftteki iki kromozom, farklı gametlere aktarılır. Farklı özellikleri şifreleyen bazı genler bağımsız olarak karışır, çünkü homolog olmayan (farklı) kromozomlardadırlar; bu kromozomlar da gametlerde, geldikleri ebeveynden bağımsız olarak gruplar oluştururlar.

Çifte sarmal

DNA da RNA da nükleik asittir. Nükleik asitler ilk kez 1874'te F. Miescher tarafından tanımlanmıştır. Oswald Avery, Colin MacLeod ve Maclyn McCarthy 1944'te, DNA'nın kalıtsal bilgi taşıyıcısı olduğunu ortaya koyan sonuçlara ulaştılar. Zehirli bir pneumococcus (*Diplococcus pneumoniae*) türünden, son derece arıtılmış DNA elde ettiler. Zehirli olmayan tür, bu arıtılmış DNA'ya yatırıldı ve bazı zehirli türler elde edildi. Genetik bir dönüşüm meydana gelmişti; DNA, dönüştürücü bir ajan olarak tanımlandı. 1949'da, A. E. Mirsky ve Hans Ris, bir organizmadaki somatik hücrelerin, kural olarak, aynı miktarda DNA içerdiğini, gamet hücrelerinin de bunların yarısı kadar DNA içerdiğini buldu. Genetik malzemeden beklenebilecek bir şeydi bu. O tarihlerde, proteinler, bir çok biyolog tarafından kalıtsal bilgileri şifreleme ihtimali en yüksek maddeler olarak görülüyordu. Mirsky ve Ris, belli bir organizmanın farklı hücrelerinde, bu maddelerden farklı miktarlarda bulmuştu.

Alfred D. Hershey ve Martha Chase, 1952'de, DNA'nın kalıtsal malzeme olduğu yolunda doğrudan kanıtlara ulaşmıştır. Bakteriyofaj virüsü *T2 Escherichia coli* bakterisine bulaştığında, sadece faj DNA'sının bakteriye işlediğini ve kendi kopyasını ortaya çıkardığını göstermişlerdir. Virüs DNA'sını çevreleyen protein mantosu ne bakteriye işleyebilir ne de kopyalama sürecine katılabilir.

James Watson ve Francis Crick 1953'te, DNA için çifte sarmal modelini önerdiler. Bu model, DNA'nın bileşimi ve yapısı hakkında o zamanlar mevcut olan bütün bilgilerle tutarlıydı ve kalıtsal malzemenin temel özelliklerine (bilgi taşıyıcısı olmak ve ikili kopyalama) akla yatkın bir açıklama getiriyordu. Çifte sarmal DNA modeli o tarihten itibaren doğrulandı.

Bazı virüsler dışında bütün organizmaların kalıtsal malzemesi, çifte sarmal halinde örgütlenmiş DNA'dır. Birkaç virüs türünün tek şeritli DNA içerdiği bilinmektedir. RNA içeren çoğu virüste, tek şeritli RNA vardır, bazılarınınsa çifte RNA molekülü bulunur.

Watson ve Crick, çifte sarmalın genlerin tam anlamıyla kopyalanması için bir mekanizma ortaya koyduğuna dikkat çekmişti. Şeritlerden birindeki dizilim, tamamlayıcı şeritlerdeki dizilimi hiç şaşmaz bir biçimde belirler, bunun sebebi iki DNA zinciri arasındaki baz eşleşmesinin kesinliğidir (A ile T, C ile G). Belli bir moleküldeki iki şerit bir geri sarılma süreciyle açılır ve bir nükleotid havuzuna açık hale gelirse, şeritlerin her biri, tamamlayıcı şeridin modeli olarak iş görebilir. Baz eşleşmesi kuralları yüzünden, birbirine ve ana çifte sarmala benzeyen iki yeni çifte sarmal oluşacaktır.

GENLER NASIL OLUR DA BEDENLER OLUŞTURUR?

Yumurtadan yetişkine, beyinden zihne

Ontojenetik şifre çözümü ya da yumurtadan yetişkine dönüşüm ve beyinden zihne muamması, yirmi birinci yüzyılda biyolojinin karşı karşıya olduğu iki büyük araştırma alanıdır. Ontojenetik şifre çözümü tek bir hücrenin DNA'sında şifrelenmiş tek boyutlu genetik bilginin nasıl olup da dört boyutlu bir varlığa, büyüyen, olgunlaşan ve ölen bir bireye dönüştüğü problemiyle ilgilidir. Beyinden zihne muamması, birbirine dayalı iki meseleyi içerir: İlki, duyu organlarımıza ulaşan fizyokimyasal sinyallerin algılar, duygular, fikirler, eleştirel argümanlar, estetik hisler ve etik değerler haline nasıl geldiği meselesidir; ikincisiyse, bu deneyim çeşitliliğinden nasıl olup da bütünlüklü bir gerçeklik, zihin ya da benliğin oluştuğu meselesidir.

Ontojenetik şifre çözümünün ayrıntılı dökümünün insanlığa getireceği yararlar muazzamdır. Kanser de dahil olmak üzere, karmaşık genetik hastalıkların hareket etme biçimlerini, dolayısıyla nasıl tedavi edileceklerini anlamamızı sağlayacaktır. Ayrıca, yaşlanma sürecini, başka güçsüzlüklere karşı mücadeleyi kazanmış olan herkesi öldüren, aşı olmayan hastalığı anlamamıza da katkıda bulunacaktır.

Kanser, ontojenetik şifre çözümünün bir anormalliğidir: Organizmanın iyiliği aksini gerektirse de, hücreler yayılır. Tek tek genlerin (onkojenler) belli kanser tiplerine yol açmakla ilgisi olduğu saptanmıştır. Yaşlanma da ontojenetik şifre çözümü sürecinin bir hatasıdır: Hücreler, genetik şifrelerine yazılmış işlevleri yerine getiremez olurlar ya da daha fazla yayılıp ölü hücrelerin yerini alamaz hale gelirler.

Mendel'den Dolly'ye

Ontojenik süreçlere, yani yumurtadan yetişkine dönüşüm süreçlerine kılavuzluk eden talimatlar, kalıtsal malzemede taşınır. Genetik bilgilerin şifresinin nasıl çözüldüğüne dair ilk önemli adım 1941'de, George W. Beadle ve Edward L. Tatum'un, genlerin enzim sentezini belirlediğini göstermesiyle atılmıştır; enzimler, canlılardaki bütün kimyasal tepkimeleri kontrol eden katalizörlerdir. Daha sonraları amino asitlerin (enzimler ve başka proteinleri oluşturan bileşenlerin) peş peşe gelen üç nükleotid kümesiyle şifrelendiği öğrenildi. Bu ilişki, belli bir şifreleyici nükleotid dizisiyle şifrelenmiş enzimi oluşturan amino asit dizilimi arasındaki doğrusal tekabülü açıklar.

Organizmalarda kimyasal tepkimeler düzenli bir şekilde meydana gelmelidir, organizmaların genleri açması ve kapamasının yolları olmalıdır, çünkü farklı hücrelerde farklı gen kümeleri etkindir. İlk kontrol sistemi 1961'de Francis Jacob ve Jacques Monod tarafından, *Escherichia coli* bakterisindeki şekeri hazmeden enzimi şifreleyen gen için keşfedilmiştir. Bu gen, şifreleyici kısma bitişik olan kısa DNA dizilimlerinden oluşan birkaç düğme sistemiyle açılıp kapatılmıştır. (Bir genin şifreleyici dizisi, şifrelenmiş enzimde amino asit dizilimini belirleyen kısımdır.) Belli bir gen üzerinde etkili olan düğmeler, başka genlerin sentezlediği molekülleri içeren geri besleme halkalarıyla harekete geçirilir ya da durdurulur. Çok geçmeden, bakterilerde ve başka mikroorganizmalarda çok çeşitli gen kontrol mekanizmaları keşfedildi. Genelde iki element bulunuyordu: Geri besleme halkaları ve düğme gibi hareket eden kısa DNA dizilimleri. Geri besleme halkaları, hücre içindeki maddenin varlığının, onu hazmetmek için gerekli enzimin sentezlenmesini başlatmasını ve hücredeki enzimin aşırılığının kendi sentezlenmesini bastırmasını sağlar. (Örneğin, *E. coli*'de şeker hazmeden enzimi şifreleyen gen, hücrede öğütülecek şekerin varlığına ve yokluğuna bağlı olarak açılır ya da kapanır.)

Böceklerde, memelilerde ve başka karmaşık organizmalarda gen kontrol mekanizmalarının araştırılması, 1970'lerin ortalarında, birleşik DNA tekniklerinin geliştirilmesiyle mümkün hale gelmiştir. Bu teknoloji, tek tek genlerin (ve başka DNA dizilimlerinin) yalıtılmasını ve nükleotid dizilimleri ya da başka özellikleri için gerekli miktarların elde edilmesi için çoğaltılmasını ya da "klonlanması"nı mümkün kılmıştır. Önceden beklenmeyen keşiflerden biri, çoğu genin parçalar halinde geldiğiydi: Bir genin şifreleyici dizilimi birkaç parçaya ayrılır, parçaların her biri bir sonrakinden şifreleyici olmayan DNA parçalarıyla ayrılır. Şifreleyici ve şifreleyici olmayan parçaların peş peşe birbirini izlemesinin yanı sıra, memeli genlerinde, bakterilerde bulunanlara benzer, ama genellikle daha fazla sayıda ve karmaşık, kısa kontrol dizilimleri bulunur; bu dizilimler, kontrol düğmeleri gibi hareket eder ve şifreleyici dizilimin nerede başladığını haber verir.

Memeli genlerinin kontrol mekanizmalarıyla ilgili, keşfedilmeyi bekleyen çok şey vardır. Moleküler biyolojinin ilerleme hızı, bazı böcek ve memeli gen kontrol sistemi prototiplerinin keşfedilmesine yol açmıştır, ama hâlâ ortaya çıkarılmamış çok fazla şey vardır. Ayrıca tek tek genlerin kontrol mekanizmaları, ontojenetik şifre çözümünün gizemlerini aydınlatma yolunda atılacak ilk adımdır. İkincisi, farklılaşma bulmacasıdır.

Yumurtadan yetişkine

Bir insan, 300 farklı türde bir trilyon hücreden oluşur, bunların hepsi de kısımsal bölünmeyle türemiştir; her hücre, 0,1 milimetre çapındaki döllenmiş yumurta hücresinden ikiye bölünmüştür. İlk birkaç bölünmede, küresel bir amorf hücreler kitlesi ortaya çıkar. Peş peşe gelen bölünmelere, hücre kitlesinde katlanmalar ve yarıklar eşlik eder, daha sonra da bir insan bireyine ait olan doku, organ ve uzuv çeşitliliği. Genlerin tam olarak tamamlanması, her hücre bölünmesinde kopyalanır, böylece her hücrede eksiksiz iki genom bulunur. Ama farklı hücrelerde farklı gen

kümeleri etkindir. Hücrelerin farklılaşabilmesi için böyle olması gerekir: Bir sinir hücresi, bir kas hücresi ve bir deri hücresi boyut, yapı ve işlev bakımından çok farklıdır. Yine de başka hayvanlarla (ve bazı insanlarla) yapılan deneyler, her hücredeki bütün genlerin harekete geçme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. (Koyun Dolly, yetişkin bir koyundaki hücreden alınan genlerin kullanılmasıyla elde edilmiştir.)

Hücre ve organ farklılaşmasını denetleyen bilgi nihayetinde DNA diziliminde bulunmaktadır, fakat çoğunlukla kısa parçalarda ve sınırlı sayıda gende yer alır. Memeliler, böcekler ve başka karmaşık organizmalarda, tek tek genleri harekete geçiren ya da durduran mekanizmalardan çok daha yüksek düzeylerde faaliyet gösteren kontrol devreleri vardır. Bu üst düzey devreler (örneğin yaygın deyişle homeobox genleri), tek tek genlerden ziyade, kümeler üzerinde etkili olur. Bu kümelerin nasıl denetlendiğine, kaç tane kontrol sisteminin bulunduğuna, birbirleriyle nasıl etkileşim kurduklarına dair sorular, yumurtadan bireye dönüşüm sürecinin ayrıntılarını ortaya koymak için çözülmesi gereken çok sayıda sorudan bazılarıdır. Son yirmi yıl içinde bilgi alanında kaydedilen ilerlemeler etkileyici olmuştur. Bilim insanları kök hücrelerin bir örnekte nasıl olup da beyin hücreleri, bir başkasında kas hücreleri haline geldiğini, bazı hücrelerin nasıl olup da kalbi, bazılarınınsa karaciğeri oluşturduğunu ortaya koydukça, kök hücrelerle yapılan deneylerin önemli ek bilgiler sağlaması muhtemeldir.

Genetik aygıt

Genlerin bir hayvanın oluşumunu ve tasarlanmasını nasıl belirlediğine ilişkin ayrıntıları keşfetmenin başarılı yollarından biri, hayvanın beden planını bozan tek gen mutasyonlarının yalıtılması olmuştur. *Drosophila* sinekleri ve başka böcekler üzerinde gerçekleştirilen ilk araştırmalar, özgül morfolojik özellikleri etkileyen tek tek genleri ve gen kümelerini keşfetmiştir. Çok

geçmeden de, omurgalılar ve başka hayvanlarda beden planı ve beden kısımlarının, böceklerin gelişimindeki genetik aygıtlara benzer olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Hayvan genomlarında, genlerin çoğu, metabolizmayı düzenleyen genlerde olduğu gibi, gerek bütün hücrelerde olsun, gerek bağışıklık sistemi ya da kan hücreleri gibi özgül hücrelerde olsun, hücrelerde meydana gelen temel süreçlere karışan enzimleri ve başka proteinleri şifreleyen "temizlikçi" genlerdir. Beden planını ve organların biçimlendirilmesini belirleyen genetik aygıt, farklı tipte genlerden oluşur. İki ana gen aygıtı türü vardır: Bazıları, gelişim sırasında birçok başka genin ifadesini düzenleyen şifreleme etkenlerini şifreler; bazıları da hücreler arasındaki etkileşimlere aracılık eden yolları haber vermekle uğraşır.

Şifreleme etkenlerini şifreleyen bir aygıt genleri kümesi, *Hox* (homeobox) genleridir, *Drosophila*'da bu genler, etkiledikleri beden kısımlarının dizilimine çizgisel olarak tekabül eden bir sıralamayla, kromozom boyunca dizilmiş sekiz genden oluşan bir kümedir. Yani, başta şekil oluşumundan sorumlu olan genleri, göğsü etkileyen genler izler, bunların ardından, karın bölgesini ve kuyruklu morfolojiyi etkileyen genler gelir. Bu genler *Drosophila*'da ilk kez, bacakların yapısına sahip antenler ya da normal tek gövde ve iki kanat yerine, çift gövde ve dört kanada sahip olan sinekler gibi büyük anormal morfolojilere yol açan mutasyonlar sayesinde keşfedilmiştir.

Omurgalılar ve başka hayvan gruplarında bulunan *Hox* genleri, biraz birbirine benzer ve aynı şekilde sırayla düzenlenmiştir, ama birkaç küme halinde düzenlenmiş çok daha fazla gen bulunur. Örneğin, farede, dört farklı kromozoma dağılmış 39 tane *Hox* geni bulunur, her kromozomdaki genler, *Drosophila Hox* genlerinin dizilimi ve işlevlerine büyük ölçüde paralellik gösteren dizilimlerle, çizgisel olarak düzenlenmiştir.

Metabolik sinyaller veren yollarla ilgili olan, *Drosophila* genlerine benzer şekilde tekabül eden genler fare, insan ve başka omurgalılarda da bulunur. Yol işareti veren genler *Drosophila*'da

ilk kez, anormal morfolojiler gösteren mutantlar sayesinde keşfedilmiştir; bunlara genellikle, ortaya çıkan anormalliğe atıfta bulunularak egzotik isimler verilmiştir: *wingless* (kanatsız), *Delta, Serrate, Notch, hedgehog* (kirpi) ve *cubitus interruptus* gibi. İnsanlar, omurgalılar ve başka birçok hayvanda 20.000 gen bulunur. Aygıt genlerinin toplam sayısının, *Caenorhabditis elegans* nematodunda yaklaşık 200, *Drosophila*'da yaklaşık 400 ve insanlarda yaklaşık 900 olduğu tahmin edilmektedir. Bu üç organizmada da, aygıt genlerinin büyük bir çoğunluğu, şifreleyici etkenleri şifreler, yüzde 10'u ya da daha azı, işaret verici yollarla ilgilidir.

Genetik aygıtın hayvanlar aleminde genel olarak korunması dikkat çekicidir. Hiç kuşku yok ki, evrimde ortak bir atayı yansıtmaktadır. Ama henüz çözüme ulaştırılmamış sorular bulunmaktadır. Bir böceğin gözüyle bir omurgalının gözü birbirinden çok farklıdır. Bir böceğin, örneğin *Drosophila*'nın, her biri merkez bir hücre ve çevreleyici sekiz fotoreseptör hücrenin oluşturduğu birkaç yüz ommatidiadan oluşan bileşik bir gözü vardır. İnsanlar ve başka omurgalılarda, kornea, mercek, retina, optik sinir, kas ve daha fazlası olmak üzere çok sayıda kısmın karmaşık bir biçimde örgütlendiği bir "kamera göz" vardır. Ne var ki insandaki *Pax 6* geni ve *Drosophila eyeless* geni, *sine oculis, eyes absent* ve *opsin* gibi gözün gelişiminden sorumlu başka genleri de paylaşan iki ayrı hayvanda gözün gelişimini yöneten düzenleyici süreçlerin başında yer alan ortolog genlerdir (yani aynı ata genden türemişlerdir).

Beyinden zihne

Beyin en karmaşık ve en ayrıksı insan organıdır. Her biri, akson ve dentrit olarak bilinen iki tür hücre uzantısıyla başka birçoklarına bağlanan 30 milyar sinir hücresinden, yani nörondan oluşur. Evrimci bakış açısıyla yaklaşıldığında, hayvan beyni güçlü bir biyolojik uyarlanmadır, organizmaların çevre koşulları hakkında bilgi toplayıp işlemesini, sonra da bunlara uyarlanmasını müm-

kün kılar. Bu beceri insanlarda sınıra ulaşmıştır, insan beyninin ekstravagant hipertropisi (aşırı büyüme), serbest iradeyi ve dili, toplumsal ve siyasi kurumları, teknoloji ve sanatı mümkün kılar.

Çevreyle ilgili bilgileri toplayıp işleme konusunda en ham beceriye, bazı tek hücreli mikroorganizmalarda da rastlanır. Protozoa (tek hücreli hayvan) *Paramecium* besbelli ki rastgele yüzer, karşılaştığı bakterileri öğütür, ama uygun olmayan bir asitlik ya da tuzlulukla karşılaştığında ilerlemesini kontrol eder ve yeni bir yön tutar. Tek hücreli alga (yosun) *Euglena* uygun olmayan çevrelerden kaçınmakla kalmaz, kendisini hücrede, ışığa duyarlı bir nokta sayesinde algıladığı ışık yönünde ayarlar. Bitkiler fazla ileri gidememişlerdir. Herhangi bir katı nesnenin etrafında dolanabilen dokunaçları olan bitkiler ve dokunmaya tepki veren birkaç etobur bitki dışında, çoğu bitki sadece farklı ölçülerde ışık, kütleçekim ve neme tepki verir.

Hayvanlarda çevresel bilgileri güvenceye alıp işleme becerisi, sinir sistemiyle aktarılır. En basit sinir sistemleri, mercanlar ve denizanalarında bulunur; bu hayvanlarda, bedenin farklı kısımları arasında doğrudan koordinasyon yoktur, bu yüzden kısımların her biri ancak doğrudan harekete geçirildiğinde tepki verebilir. Denizkestanesi ve denizyıldızında, bedenin farklı kısımlarından gelen uyarıcıları kontrol eden bir sinir halkası ve radyal sinir bağları bulunur; böylece bedenin doğrudan ve birleşik eylemleriyle tepki verebilirler. Ne var ki hiç beyinleri yoktur, deneyimleriyle öğrenme becerisine sahip değillermiş gibi görünmektedirler. Planaryen kurtçuklar, bilinen en ilkel beyinlere sahiptir; merkezî sinir sistemleri ve beyinleri, duyum hücrelerinin topladığı bilgileri işleyip koordine eder. Bu hayvanlar basit öğrenme becerilerine sahiptirler ve dolayısıyla da tekrar tekrar karşı karşıya kaldıkları uyarıcılara farklı cevaplar verebilirler. Böcekler ve akrabaları, çok daha gelişmiş beyinlere sahiptir; çevreden kesin kimyasal, akustik, görsel ve dokunsal sinyaller alıp bunları işlerler, karmaşık davranışlar göstermeleri mümkün hale gelir, özellikle yiyecek arayışı ve eş seçimi sırasında.

Omurgalılar, böcekler ya da başka omurgasızlara kıyasla, çevreden çok daha karmaşık sinyaller alıp işleyebilme ve çevreye çok daha çeşitli cevaplar verebilme kapasitesine sahiptirler. Omurgalı beyninde, karmaşık örüntüler halinde düzenlenmiş muazzam sayıda bitişik nöron bulunur. Omurgalılarda, bütün reseptörler ve beyin merkezinden gelen sinyalleri ilişkilendirerek koordine etmekle ilişkili bir organ olan neopalliumun ve beyin yarıkürelerinin göreli büyüklüğünde gözlenen artışla, çevreden gelen bilgilere tepki verme becerisi arasında bir korelasyon vardır. Memelilerde, neopallium genişlemiş ve serebral korteks haline gelmiştir. İnsanların, beden büyüklüklerine nazaran çok büyük bir beyinleri vardır, serebral korteksleri de beyin büyüklüklerine nazaran oransız bir büyüklük ve karmaşıklıktadır. Soyut düşünme, sembolik dil, karmaşık toplumsal örgütlenme, değerler ve etik, insan beyninin dış dünya hakkında bilgi toplama, bu bilgiyi bütünleştirme, algılananlara esnek bir biçimde tepki verme konusundaki muhteşem yetisinin tezahürleridir.

Son yirmi yıl içinde, nörobiyoloji en heyecan verici biyolojik disiplinlerden biri haline gelmiştir. Tahsis edilen maddi ve insani kaynakların artması, görülmemiş bir keşif hızına ulaşılmasını sağlamıştır. Duyu organlarımızın topladığı ışık, ses, ısı, direnç ve kimyasal izlenimlerin, kimyasal taşıyıcılar ve elektrik potansiyeli farklılıklarının salınmasını nasıl tetiklediği ve bunların sinirler yoluyla sinyalleri beyne ve bedenin başka kısımlarına nasıl taşıdığı konusunda çok fazla şey öğrenilmiştir. Bilgi aktarımını sağlayan nöral kanalların, kullanım sayesinde nasıl güçlendiği ya da hasardan sonra nasıl değiştirilebileceği, hangi nöronların ya da nöron gruplarının belli bir organdan ya da çevreden alınan bilgileri işlemekle görevli olduğu ve daha başka birçok mesele hakkında da çok fazla şey öğrenilmiştir. Fakat bütün bu ilerlemelere rağmen, nörobiyoloji henüz emekleme çağında olan bir disiplindir, yirminci yüzyıl başında genetik alanında yaşanana benzer bir kuramsal gelişme aşamasındadır. En önemli olan şeyler, bir gizem perdesinin ardındadır: Fiziksel fenomenlerin nasıl

olup da zihinsel deneyimler haline geldiği, bu deneyim çeşitliliğinden nasıl olup da zihnin, özgür irade ve benlik farkındalığı gibi bütünlüklü özelliklere sahip, bireyin hayatı boyunca varlığını sürdüren bir gerçekliğin ortaya çıktığı gibi sorular.

Bu gizemler alt edilemez değildir; daha ziyade, insan zihninin bilimin yöntemleriyle üstesinden gelebileceği muammalardır. Gelecek yarım yüzyıl içinde, yumurtadan yetişkine dönüşümle ilgili sorular gibi böyle birçok muamma çözülecektir. Bundan sonra, "Kendini bil" deyişinin hakkını vermeye koyulabiliriz.

MOLEKÜLER EVRİM NEDİR?

Moleküler saat

Moleküler evrim, moleküler biyoloji yöntemlerini kullanarak evrimi inceleyen biyolojik disiplindir. Yirminci yüzyıl ortasında, 1953'te, kalıtsal kimyasal DNA'nın çifte sarmal yapısının keşfedilmesi sonrasında doğmuştur. Moleküler biyoloji, biyolojik evrime dair en güçlü kanıtları sunar ve canlı türlerin evrim tarihinin arzulanabileceği kadar detaylı ve kesin bir biçimde yeniden kurulmasını mümkün hale getirir.

Bakteriler ve protozoalardan (tek hücreli hayvanlar) bitkiler ve hayvanlara dek bütün organizmalarda, hayatın kimyasal bileşenleri aynıdır ve birbirine çok benzer oranlarda ortaya çıkarlar. Bu tektiplik, ancak ortak bir kökenden kaynaklanıyorsa anlamlıdır. Evrim tarihinin yeniden inşasında, DNA'yı oluşturan çizgisel harf (nükleotid) dizisinde sıralanmış genetik bilgi çok önemlidir. Bu durumda farklı organizmalardan gelen DNA dizilimleri aynı hizaya çekilebilir ve aralarında farklı olan harflerin sayısı da son ortak atadan bu yana geçen zamanı yansıtır.

Hayatın birliği

Türlerin Kökeni'nin yayınlanmasından yaklaşık 100 yıl sonra ortaya çıkmış bir disiplin olan moleküler biyoloji, organizmaların evrimi hakkında gelmiş geçmiş en güçlü kanıtları sunmuştur. Moleküler biyoloji evrimi iki biçimde açıklar: Birincisi, DNA'nın doğasında, enzimler ve başka protein molekülleri düzeyinde organizmaların işleyişinde hayatın birliğini göstererek; ikincisi ve evrimciler açısından en önemlisi, daha önceden bilinmeyen ev-

rimsel ilişkileri yeniden kurmayı, genel ortak atadan bütün canlı organizmalara varıncaya dek evrimsel ilişkileri doğrulamayı, daha incelikli bir kavrayışa oturtmayı ve tarihlendirmeyi mümkün kılarak. Bu olayların yeniden kurulmasına uygulanabilecek kesinlik, moleküler biyoloji alanından gelen kanıtların evrimciler için bu kadar yararlı ve zorlayıcı olmasının nedenlerinden biridir.

Organizmaların moleküler bileşenleri, bir araya getirilme biçimleri ve hücrelerin metabolik yolları dikkat çekici bir benzerlik gösterir (bkz. *Hayat Nasıl Başladı?*). Hücre çekirdeğindeki DNA'da bulunan bilginin proteinlere aktarılmasını sağlayan genetik şifre hemen her yerde aynıdır. Çok çeşitli organizmalar, enerji üretmek ve hücrenin bileşenlerini meydana getirmek için benzer metabolik yolları (biyokimyasal tepkime dizilerini) kullanırlar. Başka birçok yol, kuramsal olarak mümkündür, ama sadece sınırlı sayıda yol kullanılır, ve son derece farklı hayat tarzları süren organizmalarda yollar aynıdır.

Moleküler bilgi

Genler ve proteinler, tıpkı harf ve kelime dizilerinin cümlelerin anlamını aktarması gibi, bileşenlerinin diziliminde bilgi içeren uzun moleküllerdir. Genleri oluşturan dizilimler ebeveynlerden yavrulara aktarılır ve mutasyonların zaman zaman yarattığı değişiklikler dışında kuşaktan kuşağa benzerlik gösterirler. Yakından ilişkili türlerin DNA dizilimleri birbirine çok benzer; pek az sayıda farklılık, son ortak atalarından bu yana ortaya çıkmış mutasyonları yansıtır. Birbirleriyle o kadar yakından ilişkili olmayan türler, DNA'larında çok daha fazla farklılık gösterirler, çünkü son ortak atalarından bu yana çok daha fazla süre geçmiştir. Molekülleri kullanarak evrim tarihini yeniden inşa etmekte dayanılan mantık budur.

Moleküler biyoloji, evrimle ilgili olarak iki tür argüman sunar. Alfabe analojisini kullanan ilk argüman, aynı alfabeyi (aynı

kalıtsal molekülü, yani aynı dört nükleotid ve proteinleri itibarıyla aynı 20 amino asitten oluşan DNA'yı) ve aynı sözlüğü (aynı genetik şifreyi) kullanan dillerin kökenlerinin bağımsız olamayacağını söyler. İkinci argüman, DNA'daki nükleotidlerin dizilimindeki benzerliğin ölçüsüyle (dolayısıyla proteinlerdeki amino asitlerin dizilimiyle) ilgilidir. DNA (ve protein) dizilimleri arasındaki benzerliğin ölçüsü, moleküler bilgileri kullanarak evrimsel tarihi yeniden kurmayı mümkün kılar.

Enformasyonel makromoleküller

DNA ve proteinlere "enformasyonel makromoleküller" denir, çünkü evrimsel bilginin somutlaştığı birim (nükleik asitlerdeki nükleotidler, proteinlerdeki amino asitler) dizilimlerinden oluşan uzun çizgisel moleküllerdir. İki makromoleküldeki bileşenlerin dizilimini karşılaştırmak, kaç birimin farklı olduğunu ortaya koyar. Evrim genellikle bir seferde bir tek birimin değişmesiyle ortaya çıktığından, farklılıkların sayısı, ortak atanın tarihsel yakınlığının bir göstergesidir. Dolayısıyla, paleontoloji, karşılaştırmalı anatomi ve evrim tarihini inceleyen başka disiplinlerin çıkarımları, moleküler DNA ve protein araştırmalarında nükleotid ve amino asit dizilimleri incelenerek sınanabilir. Bu tür testlerin otoritesi ezicidir: Bir organizmada bulunan binlerce gen ve binlerce proteinin her biri o organizmanın evrim tarihinin bağımsız bir sınamasını oluşturur.

Bir nükleotid ya da amino asit dizilimindeki benzerlik derecesi, kesin olarak niceliklendirilebilir. Örneğin insanlar ya da şempanzelerde *sitokrom c* denilen, hücreler içinde solunumda hayati bir işlevi yerine getiren protein molekülü, kesinlikle aynı dizilimi gösteren aynı 104 amino asitten oluşur. Fakat bir amino asitle rhesus maymunlarında gözlenen *sitokrom c*'den, 11 amino asitle atlarda gözlenenden, 21 amino asitle ton balıklarında gözlenenden ayrılır.

Moleküler evrim araştırmalarının karşılaştırmalı anatomi ve

başka klasik disiplinler karşısında üç dikkate değer avantajı vardır: Kesinlik, genellik ve çoğulluk. Kesinlik mevcuttur, çünkü bilgi rahatça niceliklendirilebilir. Birbirinden farklı birimlerin sayısı, farklı organizmalarda belli bir makromolekül için birimlerin dizilimi bilindiğinde kolayca ortaya konur. Mesele sadece iki ya da daha fazla tür arasında birimleri (nükleotidler ya da amino asitler) hizalandırmak ve farklılıkları saymak meselesidir.

İkinci avantaj genelliktir: Çok farklı organizma tipleri arasında karşılaştırmalar yapılabilir. Yulaf, çam ağacı ve insan gibi birbirinden çok farklı organizmalar karşılaştırıldığında, karşılaştırmalı anatominin söyleyebileceği çok az şey vardır, ama üçünde de karşılaştırılabilecek çok sayıda DNA ve protein dizilimi bulunur.

Üçüncü avantaj çoğulluktur. Her organizmada binlerce gen ve protein bulunur, bunların her biri aynı evrim tarihini yansıtır. Belli bir gen ya da proteinin araştırılması bir türler kümesinin evrimsel ilişkilerini tatmin edici bir biçimde çözemiyorsa, meselenin halledilmesi için ek genler ve proteinler araştırılabilir.

Ayrıca, gen kümeleri arasında, çok büyük farklılıklar gösteren evrim hızları, evrim ağacında farklı ölçülerde çözüme ulaşmak için farklı genleri araştırma fırsatının kapısını aralar. Evrimciler, uzak evrimsel olayları yeniden kurmakta ağır ağır evrilen genlere, daha yakın tarihte farklılaşmış organizmaların evrim tarihini yeniden kurmakta artan bir hızla evrilen genlere dayanırlar.

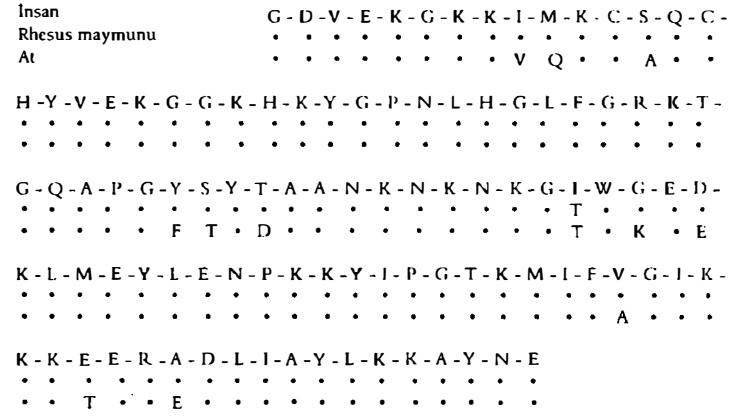
Ribozomsal RNA moleküllerini şifreleyen genler, en yavaş evrilen genler arasında yer alır. (Ribozomlar, protein sentezlerini aktaran karmaşık moleküllerdir, her ribozom birçok proteinden ve birkaç RNA molekülünden oluşur.) Uzun süre önce evrilmiş organizma grupları arasındaki evrim ilişkilerini yeniden kurmakta kullanılmışlardır: örneğin iki milyar yılı aşkın bir süre önce birbirinden ayrılmış bakteriler, *archaea* ve ökaryotlar (canlılar dünyasındaki üç büyük grup) ya da bitkiler ve hayvanlarla karşılaştırılan, yaklaşık bir milyar önce birbirinden ayrılmış organizma grupları olan mikroskobik protozoa (örneğin, sıtmaya

yol açan *Plasmodium*). Daha önce bahsettiğimiz *sitokrom c* yavaş yavaş evrilir, ama ribozomsal RNA genleri kadar yavaş evrilmez. Bu yüzden de insanlar, balıklar ve böcekler gibi büyük organizma grupları içindeki ilişkilerin şifresini çözmekte kullanılır. Kanın kaplanmasıyla görevli fibrinopeptitler gibi, hızla evrilen moleküller, birbirleriyle yakından ilişkili hayvanların, örneğin makaklar, şempanzeler ve maymunların evrimini araştırmaya uygundur.

Moleküler evrim ağaçları

DNA ve proteinler yalnızca ortak atalardan gelen soyların dallanması (farklılaşma ya da kladojenez) hakkında değil, belli bir soyda (anajenez) meydana gelmiş değişimin miktarı hakkında da bilgi verir. Başta, bir soyun geçmiş evriminde meydana gelmiş değişikliklerin sayısını niceliklendirmek imkansızmış gibi görünebilir, çünkü artık nesli tükenmiş olan organizmalara ait moleküllerin, canlı organizmalara ait moleküllerle karşılaştırılmasını gerektirecektir; örneğin, ortak atadan insanlar ve maymunlara, ne kadar *sitokrom c*'nin değişmiş olabileceğini bilmek isteyebiliriz. Geçmişteki organizmalar bazen fosil olarak korunurlar, ama DNA'ları ve proteinleri büyük ölçüde çözülmüştür. Bununla birlikte, canlı türler arasında yapılan karşılaştırmalar, zaman içinde yaşanan değişimle ilgili bilgi verebilir.

Örneğin, hücrelerin solumasında rol oynayan *sitokrom c*'yi yeniden ele alalım. Hayvanlarda *sitokrom c* 104 amino asitten oluşur. İnsanlar ve rhesus maymunlarındaki amino asit dizilimleri karşılaştırıldığında, 58 konumda (insanlarda *isoleucine* [I], rhesus maymunlarında *threonine* [T]) farklı, başka 103 konumda aynı oldukları görülmüştür. (90. sayfada yer alan şekle bkz.; noktalar, insan *sitokrom c*'sine benzer amino asitleri göstermektedir.)

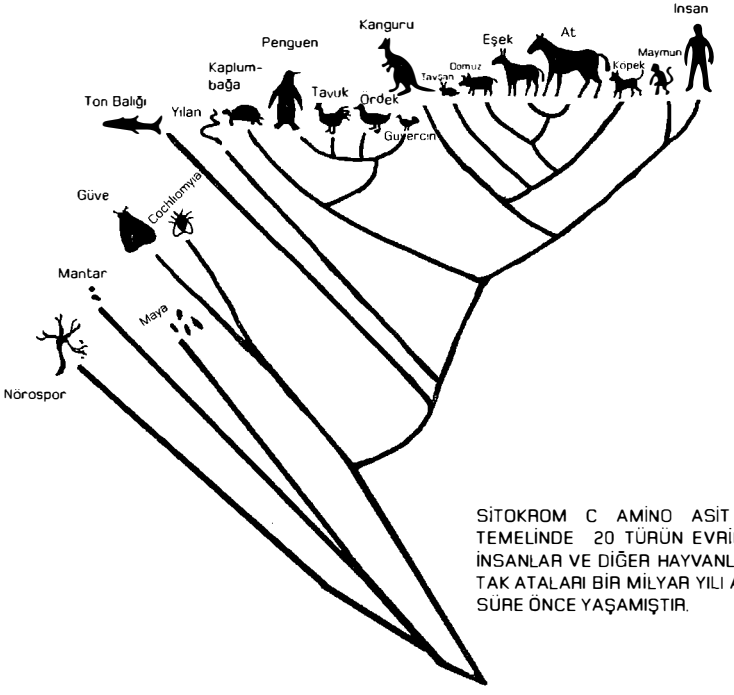


İnsanlarla atlar karşılaştırıldığında, 12 amino asidin farklı olduğu görülmüştür, atlarla rhesus maymunları arasındaysa 11 amino asit farklıdır. Memelilerin evrim tarihi hakkında başka bir şey bilinmese bile insan ve rhesus maymunu soylarının birbirlerinden ayrılma tarihinin, at soyundan ayrılma tarihlerinden çok daha yakın olduğu söylenebilir. Ayrıca insanlar ile rhesus maymunları arasındaki amino asit farklılığının insan soyunda, rhesus maymunu soyundan ayrılması sonrasında ortaya çıkmış olması gerektiği sonucuna da varılabilir. Böyle bir sonuca varılır, çünkü maymun ve atta (ayrıca başka memelilerde) bu konumda aynı amino asit (T) bulunur, insandaki amino asitse (I amino asidi) farklıdır.

Birbirinden çok farklı 20 organizmanın sitokrom *c*'sindeki amino asit dizilimleri 1967'de kesinleştirilmiştir. Türler arasındaki amino asit farklılıklarının sayılması (türler ve tür kümeleri arasındaki muhtemel ilişkileri belirlemek için uygun istatistiksel yöntemlerin kullanılması), şekilde görülen evrim ağacını ortaya çıkarmıştır. Birbirlerinden yüz milyonlarca yıl önce ayrılmış organizmaların evrim ağacını yeniden kurmakta moleküler evrim verilerinin kullanıldığı ilk önemli örnek bu olmuştur. Yulaf ve

insanların ortak atası, bir milyardan fazla yıl önce yaşamıştı.

Evrim tarihinin DNA ve protein molekülleriyle yeniden kurulması, karşılaştırmalı anatomi ve başka geleneksel yöntemlerde kullanılan mantığı izler. Paleontolojide, fosillerin zaman dizilimi, içlerine gömüldükleri kayaların yaşlarıyla belirlenir. Yukarıda belirttiğimiz üzere, bir organizmanın içerdiği binlerce gen ve binlerce proteinin her biri, o organizmanın evrim tarihinin bağımsız bir sınamasını oluşturur. Binlerce test yapılmıştır (her yıl binlercesi yayınlanmaktadır); bir tanesinde bile evrim aleyhine kanıtlara rastlanmaz. Bilim alanında, canlı organizmaların evrimsel kökenleri kadar kapsamlı bir biçimde sınanmış ve ayrıntılı bir biçimde ortaya konmuş başka bir mefhum daha yoktur herhalde.



SİTOKROM C AMİNO ASİT DİZİLİMİ TEMELİNDE 20 TÜRÜN EVRİM TARİHİ. İNSANLAR VE DİĞER HAYVANLARIN ORTAK ATALARI BİR MİLYAR YILI AŞKIN BİR SÜRE ÖNCE YAŞAMIŞTIR.

Moleküler saat

Moleküler evrimin yukarıda işaret ettiğimiz ilginç özelliklerinden biri, homolog moleküller arasındaki farklılıkların gayet rahat bir şekilde niceliklendirilip, değişen nükleotidlerin ya da amino asitlerin oranı olarak ifade edilebilecek olmasıdır. (Homolog moleküler, ortak bir ata molekülden evrilmiş moleküllerdir.) Dolayısıyla, evrimsel değişim hızını daha kesin bir biçimde ortaya koymak, bir organ ya da uzvun yapısı ya da işlevi gibi özelliklerden çok, DNA ya da proteinlerle ilgili olarak mümkün olabilir. Moleküler evrim hızına ilişkin araştırmalar, makromoleküllerin evrimsel saatler olarak iş görebileceği varsayımını doğurmuştur.

Herhangi iki türün homolog proteinleri arasındaki amino asit farklılıkları sayısının, ortak bir atadan farklılaşma tarihleriyle kabaca orantılı göründüğü, ilk kez 1960'larda gözlendi. Belli bir protein ya da genin evrim hızı, farklı türlere yol açan evrim soylarında yaklaşık olarak aynıysa, proteinler ve DNA dizilimleri, moleküler bir evrim saati sunabilirdi. Bunun ardından, sadece bir filojenideki dallanma olaylarının dizilimini değil, çeşitli olayların ortaya çıktığı tarihleri yeniden inşa etmek için de kullanılabilirlerdi.

Örneğin sitokrom *c*'yi ele alalım. Gende sitokrom *c*'yi şifreleyen nükleotidlerin yerlerini başkalarının alması zaman içinde sabit bir hızla ortaya çıktıysa, filojeninin herhangi bir dalında geçmiş olan zamanı o daldaki nükleotid değişimlerinin sayısını inceleyerek belirleyebiliriz. Saati, en azından belli bir soyda ya da belli bir dallanma noktasından itibaren fiilen geçmiş jeolojik zamanı sunacak fosil kayıtları gibi dış bir kaynağa göre ayarlamamız gerekecektir. Örneğin böcekler ile omurgalılar arasındaki farklılaşmanın tarihinin 700 milyon yıl öncesine uzandığı belirlenirse, başka farklılaşma tarihleri de amino asit değişimleri sayısının oranına göre belirlenebilir.

Moleküler evrim saatinin, zamanı kesin olarak ölçen bir saat

gibi metronomik bir saat değil, radyoaktif çürüme gibi, stochastic (olasılıklara dayalı) bir saat olması beklenir. Olasılıklara dayalı bir saatte, belli bir miktarda değişim olasılığı sabittir (Örneğin, çürüme yoluyla, belli miktarda karbon-14 atomunun 5730 yılda, yani "yarı ömründe", azalarak yarıya inmesi beklenir), gerçi fiili değişim miktarında bazı farklılıklar meydana gelebilir. Hayli uzun süreler zarfında, olasılıklara dayalı bir saat hayli doğru olabilir. Moleküler evrim saatinin muazzam potansiyeli, her gen ve proteinin ayrı bir saat olması olgusunda yatmaktadır. Saatler farklı hızlarla "tiktaklar" (belli bir gen ya da proteine özgü evrim hızı), ama binlerce gen ya da proteinin her biri, aynı evrimsel olaylara ilişkin bağımsız bir ölçü sunar.

Evrim araştırmacıları DNA ve proteinlerin evriminde gözlenen farklılık miktarının, olasılıklara dayalı bir saatten beklenenden çok daha fazla olduğunu gözlemiştir, başka bir deyişle, saat "fazla dağılmıştır" ya da biraz hatalıdır. Gerçi farklı soylarda evrim hızlarındaki uyumsuzluklarda aşırı bir fazlalık görülmez. Bu yüzden, filojenetik olayların tarihini hatırı sayılır bir kesinlikle belirlemek mümkün olsa da, istenen kesinlik derecesine ulaşmak için, olasılıklara dayalı saatin sabit olması halinde gerekeceğinden çok daha fazla sayıda genin ya da proteinin incelenmesi gerekecektir. Birkaç proteinden elde edilen ortalama hızların bir arada ele alınması, özellikle birçok türün incelenmesi açısından hayli kesin bir saat sunar.

HAYAT NASIL BAŞLADI?

Bir yumurta mı tavuktan tavuk mu yumurtadan sorusu

Biyologlar, gezegenimizde hayatın, bugün canlı organizmaları oluşturan karbon, azot, oksijen ve hidrojen gibi kimyasal maddelerden, doğal süreçlerle kendiliğinden doğduğu konusunda hemfikirdir. Peki bu, hayatın nasıl başladığını bildiğimiz anlamına gelir mi? Pek değil. Hayatın kökeniyle ilgili bazı iyi fikirler ve deneyler olsa da, nasıl başlamış olabileceğine ilişkin genel bir fikir birliği henüz yoktur. Bildiğimiz, kanıtlar ağır bastığından, Dünya üzerindeki bütün canlı organizmaların başlangıçtaki tek bir hayat biçiminden evrilmiş olduğudur.

Dünya üzerindeki hayatın çeşitliliği hayret vericidir. Mevcut bitki ve hayvan türlerinin bir milyondan fazlası isimlendirilmiş ve tanımlanmıştır; daha birçoğu (çoğu tahmine göre en az on milyon tür daha) keşfedilmeyi beklemektedir. Etkileyici olan, sadece rakamlar değil, boyut, şekil ve hayat tarzı bakımından gözlenen inanılmaz heterojenliktir: Çapları bir milimetrenin binde birinden daha az olan düşük bakterilerden, Kaliforniya'nın yerden 100 metre yüksek, birkaç bin ton ağırlığında devasa sekoyalarına; Yellowstone Ulusal Parkı'ndaki sıcak su kaynaklarında suyun kaynama noktasına yakın ısılarda yaşayan, *Pyrolobus fumarii* gibi bazıları 100 dereceden yüksek ısılarda büyüyebilen mikroorganizmalardan, Antarktika'nın buz kütlelerinde ve –23 derecedeki tuzlu havuzlarda gelişip büyüyen mantarlara ve alglere; okyanusların derinliklerinde, yüzeyin binlerce metre altında keşfedilen tuhaf kurtsu yaratıklardan, Everest Dağı'nda deniz seviyesinden 6600 metreden fazla yüksekte yaşayan örümcekler ve larkspur bitkilere uzanan bir çeşitlilik.

Hayatın birliği

Dünya üzerindeki türlerin tam sayısı bilinmiyor, gerçi tahminler 10 milyon ile 30 milyon arasında değişiyor. Bu muazzam tür zenginliği ve türlerin gösterdiği muhteşem çeşitlilik, tek bir hayat biçimiyle başlayan evrim süreçlerinin sonucudur.

Organizmaların moleküler bileşenleri, dikkat çekici bir tektiplik gösterir; bileşenlerin niteliği itibarıyla olduğu kadar, bu bileşenlerin bir araya gelme ve kullanılma biçimleri itibarıyla da. Bakteriler ve archaea'dan bitkiler, hayvanlar ve insanlara varıncaya dek gelişim ve işleyişe kılavuzluk eden talimatlar, proteinlerin sentezlenmesi için gerekli talimatları sağlayan aynı kalıtsal malzemede, yani DNA'da saklanmıştır. Organizmalarda mevcut, muazzam çeşitlilik gösteren binlerce protein, bütün protein ve bütün organizmalarda aynı olan 20 amino asidin oluşturduğu değişen uzunluklarda farklı bileşenlerden sentezlenmiştir. Gelgelelim doğada başka birkaç yüz amino asit daha bulunur. Alternatif yapılar oluşturabilecek, ama hayat boyunca tektiplik gösteren çok uzun bir özellikler listesi mevcuttur.

Ayrıca, kalıtsal bilgiyi hücrenin çekirdeğinden ana gövdesine aktaran karmaşık mekanizma her yerde aynıdır: DNA'daki nükleotidlerin dizilimi, tamamlayıcı bir RNA dizilimine ("haberci RNA") yazılmıştır, daha sonra bu dizilim, hayatın bütün süreçlerini gerçekleştiren protein ve enzimleri oluşturan belli amino asit dizilimlerine tercüme edilmiştir. Bu tercüme, evrensel olarak paylaşılan belli RNA moleküllerini ("transfer RNA"sı) ve RNA-protein komplekslerini içerir. Haberci RNA diziliminin proteinlerin amino asit dizilimine çevrilmesine kılavuzluk eden genetik sözlük de evrenseldir.

Hayatın birliği (yani bütün organizmalarda bileşenler ve süreçlerin birliği), bütün organizmaların genetik sürekliliğini ve ortak atasını ortaya koyar. Genetik şifreyi bir örnek olarak alalım. DNA çekirdeğindeki üç nükleotidin kendine özgü dizilimi, bütün organizmalarda tam olarak aynı amino asit için bir şifre

olarak hareket eder. Örneğin, herhangi bir organizmanın belli bir geninde, GCC kodonu, alanin amino asidinin, GAC kodonu, asparagin amino asidinin genin tanımladığı proteinle birleştirilmesini belirler. DNA dili (kodonlar) ve protein dili (amino asitler) arasındaki evrensel uygunluk, aynı kavram ya da nesneyi temsil etmek için aynı harf bileşenlerini kullanan iki dil arasındaki benzerliği andırır. Birkaç farklı kitapta belli harf dizilimlerinin (gezegen, ağaç, kadın) aynı anlamda kullanıldığını fark edersek, ortak bir kökenden geldiklerine emin olabiliriz.

Hayatın ilk örnekleri

Hayat ne zaman başladı? Dünya üzerindeki bilinen en eski kayalar 4,3 milyar yaşındadır, 4,5 milyar yıl öncesinden biraz daha önce oluştuğu düşünülen Güneş'ten sadece birkaç milyon yıl daha gençtir. Dünya üzerinde hayat, bundan birkaç yüz milyon yıl sonra, en az 3,4 milyar yıl önce başlamıştır. Stromatolitler, bir tür fotosentetik bakteri olan siyanobakteri sütunlarının oluşturduğu yapılardır. Avustralya, Kanada ve Meksika'daki Baja California'da stromatolitlere benzer antik yapılar keşfedilmiştir. Radyometrik yöntemler sayesinde, stromatolite benzer bu yapıların bazılarının yaklaşık 3,5 milyar yıl öncesine uzandığı keşfedilmiştir. Elektron mikroskopları bazı stromatolitlerde siyanobakterilere benzer yapılar ortaya çıkarmıştır.

3,4 milyar yaşında olduğu anlaşılan en eski fosiller kısa süre önce, Batı Avustralya'daki kadim sahillerde betonlaşmış kum tanecikleri arasında keşfedilmiştir. Dünyanın faklı yerlerindeki kaynaklardan gelen kanıtlar, en az 3 milyar yaşında, çeşitli biçimlerde mikroskobik bakteri benzeri organizmalar bulunduğunu göstermektedir. Uzmanlar, Dünya üzerindeki hayatın 3,8 milyar yıl öncesiyle 3,5 milyar yıl öncesi arasındaki 300 milyon yıllık süre zarfında başladığını kabul etmektedir.

Hayat nedir?

"Hayat nasıl başladı?" sorusunu cevaplayabilmemiz için, ilgili bir soruyu, "Hayat nedir?" sorusunu cevaplamamız gerekiyor. Hayatın iki temel özelliği, kalıtsallık ve metabolizmadır. Hücreler bölünerek, kendi kendilerinin kopyalarını oluşturarak çoğalır. Hayatın sürekliliğinin sağlanması için, yavru hücrelerin anne hücreyi oluşturan bileşenleri miras alması gerekir. Bu bileşenler arasında, hücrenin kimyasal mekanizmasıyla ilgili talimatlar da bulunur: Hangi kimyasallar yapılacak ve bunlar nasıl işleyecek? Bu talimatlar (DNA) kimyasallarda saklıdır. Ama talimat kimyasallarının sentezlenmesi, hücrenin kimyasal mekanizmasını gerektirir. Sürecin başlatılması açısından, bir yumurta mı tavuktan tavuk mu yumurtadan sorusuyla karşı karşıyayız. Talimatlar kimyasal mekanizmanın nasıl işleyeceğini belirler, ama kimyasal mekanizma *olmaksızın* da sentezlenemezler. Kopyalamanız gereken bir belge olduğunu düşünün: Kopyalama işlemi için bir fotokopi makinesi olması gerekir. İyisi mi elektronik bilgisayarları düşünün: Talimatların yerine getirilmesi için donanıma (bilgisayar), bilgisayarın nasıl işletileceğine ilişkin bilgileri sunması için de yazılıma gerek vardır. Hayatta da, bilgisayarın (hücre mekanizması) nasıl yapılacağıyla ilgili talimatlar (DNA) yazılımdadır.

Enformasyon taşıyan bileşenler, DNA (deoksiribonükleik asit) ve RNA (ribonükleik asit) molekülleridir. DNA ve RNA, dört tür kimyasal bileşenden oluşan dizilerdir; bu bileşenler DNA'da A, C, G, T harfleriyle, RNA'daysa A, C, G ve U harfleriyle simgelenir; yani RNA'da U harfiyle temsil edilen bileşen, T'nin yerini alır. *Kromozomlar, Genler ve DNA Nedir?* başlığı altında betimlendiği üzere, kalıtsal bilgi, semantik bilginin alfabenin harf dizilerinde içerilmesinde olduğu gibi, dört harften oluşan uzun dizilerde içerilir. Kimyasal tepkimeleri gerçekleştiren mekanizma ("metabolizma" denir), kimyasal tepkimeleri büyük bir kesinlikle ve insan yapımı herhangi bir makineden çok daha yüksek hızlara çıkarma yetisine sahip proteinler olan enzimlerden

oluşur. Proteinler, amino asit denilen 20 farklı tür bileşenden oluşur.

Bir hücrenin, büyük bir bölümü kesin bir biçimde belirlenmiş tepkime dizileri olan, binlerce kimyasal tepkimeyi muazzam bir verimlilik ve kesinlikle gerçekleştiren binlerce farklı türde enzim de dahil olmak üzere, binlerce bileşeni vardır. Hücrede gerçekleşen süreçlerin grafik temsilleri, muazzam derecede karmaşık ağlar olduklarını, ABD'deki toplu taşıma sisteminin haritası gibi bir şeye benzediklerini gösterir. Eyaletler arası ve eyalet otobanları vardır, ayrıca ek yollar, geçitler ve çıkış yolları; petrol kuyuları, rafineriler, benzin istasyonları ve fabrikalar; otomobiller, kamyonetler, motosikletler ve başka araçlar; nehirler, dereler, limanlar ve her tür gemi; havaalanları ve uçaklar da başka bir ağ oluşturur.

Şimdi, şu soruyu değerlendirelim: ABD'deki toplu taşıma sistemi nasıl başladı? Başlangıçta basit patikalar bulunduğunu, bunların yerini daha sonra at arabaları için uygun hale getirilmiş taş döşeli yolların aldığını düşünebiliriz. Ama ilk patikaların nerede oluştuğunu, hangi kasabalar ya da köyleri birbirine bağladığını kestirmek zor olacaktır. Kuzey Amerika'daki ilk patikalar birkaç bin yıl önce yapılmıştır. Oysa dünya üzerinde hayat birkaç bin milyon yıl önce başlamıştır. Bu yüzden, hayatın geçtiği patikaların kökenlerini belirlemek çok daha güçtür.

Hayat laboratuvarda mı başladı?

Hayatın ilk kez nasıl başladığını belirlemek istiyorsak, hayatın en basit bileşenlerini oluşturan ilkel bileşenleri tanımlamamız gerekir. En başından itibaren, işaret ettiğimiz üzere, yumurta mı tavuktan tavuk mu yumurtadan sorusuyla karşı karşıya kalırız. DNA ya da RNA gibi, ana hücreden yavru hücrelere, enzimlerin neye göre ve nasıl sentezleneceği bilgisini taşıyan bilgi moleküllerine ihtiyacımız vardır. Ama DNA ve RNA moleküllerinin kendi kendilerine sentezlenmeleri gerekir, bunun için de meta-

bolizmaya, yani canlı süreçlerin kimyasal mekanizmasına ihtiyaç vardır. Bilgisayar metaforuna geri dönecek olursak, hayatta, yazılım bilgisayarın nasıl kurulacağı bilgisine sahiptir, ama yazılım (kalıtım molekülleri), bilgisayar (metabolik mekanizma) olmaksızın okunamaz. Bilgisayarlar varsa sorun yoktur. Sorun, ilk bilgisayarın nasıl yapılacağıdır.

1953'te, Chicago Üniversitesi'nde kimya bölümünde yüksek lisans öğrencisi olan Stanley Miller, masaüstüne kurulabilen cam bir aygıtta, doğuşundan kısa bir süre sonra gezegenimizde ortaya çıkmış olabilecek koşulları simüle etti. Amonyak, metan ve hidrojen gibi Dünya'nın ilk zamanlarında mevcut olabilecek bazı inorganik kimyasalları da bu deneye dahil etti ve su buharı ve elektrik yükü vererek şimşekleri simüle etti; çünkü böyle bir şey de gerçekleşmiş olabilirdi. Bir hafta sonra, deneyin gerçekleştirildiği beş litrelik cam kavanozun içinde, üre gibi başka bileşenlerin yanı sıra, birçoğu bugünkü proteinlerde bulunan amino asitler doğal olarak ortaya çıktı. Miller böylece, enzimlerin aracılığına gerek kalmaksızın organik bileşenler oluşabileceğini göstermiş oldu. Dünya'nın ilk dönemlerindeki koşullara daha fazla benzeyen koşullar altında gerçekleştirilen sonraki deneylerde, basit organik bileşenlerin kendiliğinden oluşabileceği doğrulandı. Çok sayıda deney sayesinde ve aynı zamanda dünyamıza düşen göktaşları, kuyruklu yıldızlar, hatta yıldızlar arası gaz bulutlarında basit organik moleküller bulunduğundan, bu olasılık artık verili kabul edilmektedir.

Mesele, bu temel yapıtaşlarının enzimler ve DNA gibi daha karmaşık moleküllerde ve canlı hücrelerde nasıl bir araya getirildiğidir. Desteklenen senaryolardan birine göre, Dünya okyanusların oluşmasını mümkün kılacak kadar soğuduğunda, bir organik molekül çorbasında ("ilksel çorba"da), Miller ve diğerlerinin gözlediğine benzer süreçler meydana gelmeye başladı, yeterince zaman geçtiğinde (milyonlarca yıldan bahsediyoruz!) bu süreçler şans eseri, bazıları diğerlerinden daha başarılı olan molekül bileşenleri üretmeye başladı. Bir noktada, bildiğimiz

biçimiyle hayata dönüşen kopyalayıcı bir oluşum ortaya çıkmış olsa gerektir.

Kalıtım ve mutasyon

Yumurta mı tavuktan tavuk mu yumurtadan sorusu hâlâ varlığını korumaktadır. DNA ya da RNA molekülleri, enzimleri sentezleme becerisiyle ortaya çıkmış, bu enzimler de daha önceden mevcut olanların aynısı ya da en azından benzeri DNA ve RNA molekülleri sentezleyebilmiş olabilir mi? Enzimlerin hayat süreçlerini gerçekleştirmek üzere sentezlenmesini belirleyen kalıtsal moleküllerin, uygun enzimler olmaksızın kendiliğinden sentezlenmesi yoluyla hayatın sürekliliği söz konusu olabilir mi? 1980'lerin başında, Thomas R. Cech ve Sydney Altman'ın, bazı RNA moleküllerinin, kendi sentezlenmeleri de dahil olmak üzere kimyasal tepkimeleri hızlandırabileceğini birbirlerinden bağımsız olarak keşfetmesiyle birlikte, önemli bir ilerleme kaydedildi, bu keşif onlara 1989'da Nobel Ödülü getirdi. Yumurta mı tavuktan tavuk mu yumurtadan probleminin çözümüne de önemli bir katkı sağlandı; şöyle ki, ribozim denilen RNA molekülleri, kalıtım ve metabolizma olmak üzere iki rol birden oynayabilirler, bunlar bugünkü canlı organizmalarda çoğunlukla ayrı moleküllerin (DNA ve proteinlerin) oynadığı rollerdir. Artık birçok bilim insanı hayatın, biyolojik kalıtımın ağırlıklı olarak DNA moleküllerinde saklı olduğu bugünkü DNA dünyasından önce gelen, "RNA dünyası" denilen, RNA'nın baskın olduğu bir evreden geçtiğine inanıyor.

Son dönemdeki çabalar, nasıl olup da ribozim RNA moleküllerinin Dünya'nın ilk evrelerinde kendiliğinden oluştuğu ve sonunda RNA dünyasını doğurduğu meselesine bir çözüm getirmiştir. Ribozimler, tıpkı başka RNA molekülleri gibi, daha önce belirttiğimiz üzere A, C, G ve U harfleriyle temsil edilen dört tür nükleotidden oluşur. Bu nükleotidler sınırlı sayıda nükleotidden, yaklaşık iki düzine kadar nükleotidden oluşmuştur. Ama

nükleotidler basit olmaktan çok uzaktır, üç moleküler bileşenleri mevcuttur: riboz şekeri, fosfat ve azot bazı. Azot bazı bir nükleotidden diğerine farklılık gösteren tek bileşendir. A, C, G ve U nükleotidlerine tekabül eden dört farklı azot bazı mevcuttur. Bilim insanları, riboz şekerinin nasıl olup da azot bazları C ve U'ya kendiliğinden bağlanabildiğini kısa süre önce göstermişler, önceden açıklanması en zor olan adımı açıklayabilmişlerdir.

RNA'nın, bilgi taşıyıcısı ve talimatları yerine getiren bir hızlandırıcı olarak ikili bir işlev görebileceği fikri, James Watson'la birlikte 1953'te DNA'nın ikili sarmal yapısını keşfeden Francis Crick tarafından 1960'larda ileri sürülmüştü. Ribozimlerin keşfedilmesi, dikkatleri Crick'in fikrine çekti. Ribozim varsayımının yaşayabilirliği, RNA moleküllerinin bugünkü organizmalarda oynadığı çok çeşitli rollerin değerlendirilmesiyle birlikte güçlendi. DNA'nın rolü büyük ölçüde genetik bilginin taşınmasıyla sınırlıyken, RNA genetik bilginin aktarıldığı tercüme sürecine dahil oluyordu. Yukarıda işaret ettiğimiz üzere, farklı haberci RNA molekülleri, transfer RNA'sı ve RNA protein kompleksleri, tercüme sürecine katılır. Küçük RNA molekülleri de DNA'nın parçalanması ve DNA ve RNA'nın işlenmesi süreçlerinde yer alır; her tür DNA ve RNA sinyaline kapsamlı bir biçimde katılan çok çeşitli RNA molekülleri (RNA karışımı ya da RNA*i* olarak bilinir) mevcuttur.

RNA'dan hayata mı?

Yeni RNA moleküllerinin sentezlenmesinde bazı hatalara (mutasyon) maruz kalmakla birlikte, kendi kendilerini kopyalayarak üreyebilen RNA molekülleri oluştuğunda, doğal seçilim ortaya çıkacak, yavaş yavaş daha büyük bir moleküler karmaşıklığa, nihayetinde de hücrelere yol açacaktır: Önce, bakterilerde olduğu gibi daha basit hücreler; sonra, hayvanlar, bitkiler ve başka ökaryot organizmalarda olduğu gibi daha ileri hücreler ortaya çıkacaktır. Yeniden üreyebilen moleküller ortaya çıktığında, bazı-

ları büyük ihtimalle diğerlerinden daha etkili bir biçimde üreyecektir. Yeniden üreyebilen ilkel hücreler ortaya çıktığında, bunların bazıları başka hücrelere nazaran daha verimli bir biçimde üreyebilecektir. Daha verimli bir biçimde üreyebilen hücrelerin niteliklerinin sıklığı, o kadar verimli üremeyen hücrelerin silinmesi pahasına artacaktır. Daha verimli üreyebilen hücrelerin genellikle, kalıtım malzemeleri daha kesin ve metabolizmaları daha etkili hücreler olacağı akla yatkındır. Evrim süreci, yani hayat biçimlerinin muazzam çeşitliliğini doğuran o devasa proje başlamıştır.

Peki şimdi hayatın nasıl başladığını biliyor muyuz? Hayır, bilmiyoruz. Bildiğimiz şudur: Daha önceden bir hayatın söz konusu olmaması halinde, Dünya'nın ilk zamanlarında bulunması akla yatkın koşullar altında, kendiliğinden kimyasal süreçler, hayatın temel yapıtaşı olanlar da dahil olmak üzere organik bileşenler ortaya çıkarabilir: Kalıtımı taşıyan nükleik asitler ile metabolizmayı açıklayan enzimler, yani bütün yaşamsal süreçleri oluşturan kimyasal süreçleri hızlandıran proteinler.

Ulaşım ağı benzetmesine geri dönecek olursak, bugün artık ilk ayak izlerinin ortaya çıkmış olabileceğini ve bunlardan ne kadar fazla gelişmiş yol üretilebileceğini biliyoruz, ama bu ilk ayak izlerinin nerede ya da kesin olarak nasıl yapıldığını bilmiyoruz. Hayatın Dünya üzerinde bir kez ortaya çıktığını ya da birden fazla kez ortaya çıktıysa, biri dışında bütün hayat biçimlerinin neslinin tükendiğini biliyoruz.

Evrendeki hayat

Dünya, Güneş sisteminde halihazırda hayat belirtileri gösteren muhtemelen tek gezegendir. Galaksimizde yaklaşık 100 milyar yıldız vardır, bunların birçoğu gezegen sistemleridir. Evrende 100 milyarı aşkın galaksi bulunmaktadır. Hayatın başka bir yerde de bulunması pekâlâ mümkün olabilir. Isı, kimyasal bileşenler ve hayatı destekleyen başka özellikler ortaya çıkarsa,

evrenin tamamına yayılmış gezegenlerin bazılarında hayat olabilir; galaksiler, yıldızlar ve gezegenlerin muazzam sayısı dikkate alındığında, mümkün görünen bir şeydir bu. Hayatı destekleyen koşullar gezegenimizde mevcut olduğu için, Dünya üzerinde hayat ortaya çıkmıştır. Benzer koşullar söz konusu olduğunda ve milyarlarca yıllık bir zaman tanındığında, aynı şeyin başka gezegenlerde ortaya çıkması da muhtemeldir. Kısa süre önce, galaksimizde hayata uygun koşulların (en azından ısı bakımından) gözlendiği gezegenler saptanmıştır.

Başka yerlerde mevcut olabilecek hayat, yukarıda saydıklarımızdan farklı özellikler gösterecektir. Temel kimyasal elementler farklı olabilir; örneğin, hidrojen, oksijen ve başka elementlerle, karbon yerine silikon birleşiyor ve hayatın temel moleküllerini oluşturuyor olabilir.

HAYAT AĞACI NEDİR?
LUCA: Son Evrensel Ortak Ata

Evrensel hayat ağacı, ortak atalarından bugüne gelinceye kadar bütün canlı organizmaları kucaklar. Organizma grupları, ağacın dallarıyla temsil edilir. Üç büyük dal kümesi vardır: Ökaryotlar, bakteriler ve archaea; bakteriler ve archaea prokaryot ve mikroskobik organizmalardır. Ökaryot organizmaların çoğu aynı zamanda mikroskobik hücrelerdir, ama bildiğimiz hayvanlar, bitkiler ve mantarlar çok hücreli organizmalardır. Bütün organizmalar, ortak bir türeyişle tek bir hayat biçimiyle akrabadır: LUCA, Last Universal Common Ancestor (Son Evrensel Ortak Ata).

Sınıflandırma bir zorunluluktur. İsimleri rastgele bir sıralamayla içeren bir telefon rehberi değersiz olacaktır. Kitaplar sistematik bir biçimde düzenlenmemişse, bir halk kütüphanesinin yararları ciddi biçimde kısıtlanır. Bir milyonu aşkın tür isimlendirilip tanımlanmıştır, birçoğunun da var olduğu bilinmektedir; nesli tükenmiş türlerin sayısı, mevcut türlerin sayısından yüz kat daha fazladır. Hayatın başlangıcından bugüne kadar Dünya üzerinde yaşamış farklı türlerin sayısı muhtemelen bir milyar kadardır. Canlılar dünyasının çeşitliliği sadece türlerin sayısında değil, heterojenliklerinde de kendisini gösterir. Organizmalar, boyutları, hayat tarzları ve yaşam ortamlarının yanı sıra, yapıları ve biçimleri bakımından da muazzam bir çeşitlilik gösterir.

Olağanüstü çeşitliliklerine rağmen, organizmaların birçok ortak yönü vardır. Kesin benzerlikler bazılarında ortaktır, ama hepsinde değil. Bu benzerlikler sınıflandırmada, yani bazı organizma gruplarının niteliklerini belirleyip onları diğerlerinden ayırmada kullanılabilir. Canlılar arasındaki benzerlikler hiyerar-

şisinden sorumlu olan temel süreç, evrimdir; bazı organizmalar birbirlerine diğerlerinden daha fazla benzer, çünkü soylardan dolayı birbirlerine daha yakın akrabadırlar.

Taksonomi

Bazı türler birbirlerine çok yakından benzer ve bazı organizma gruplarının da onlara bir tür ailevi benzerlik kazandıran ortak yönleri vardır. Örneğin, sivrisineklerin hepsi birbirlerine çok fazla benzer. Ayrıntılı olarak bakıldığında ayrı ayrı böcek grupları birbirlerinden biraz farklı olsalar da, genel olarak böcekler solucanlar, istiridyeler ya da balıklar gibi ayrıksı hayvan gruplarına kıyasla, birbirlerine daha fazla benzeme eğilimi gösterirler. Böceklerin hemen hepsinin karasal yaşam ortamlarıyla sınırlı olmasına ve pek az sayıda böcek türünün gerçekten su ortamlarında yaşamasına rağmen, böcek türlerinin sayısı, başka benzer hayvan gruplarının sayısından çok daha fazladır. Okyanuslarda, salyangozlar en fazla türü olan gruptur. Öyle görünüyor ki organizmalar, büyük okyanusların derinliklerinden tutun, Himalaya Dağları'nın zirvesine, kutuplarda sıfırın altındaki düzlüklerden sıcak kaynaklara varıncaya dek, yeryüzünde akla gelebilecek bütün yaşam ortamlarında yaşamaktadır. Canlıların büyük bir çeşitlilik göstermesinin ardındaki başlıca gerekçelerden biri, yeryüzündeki çevre koşullarının büyük bir çeşitlilik göstermesidir.

İnsanlar, morfolojik benzerlik ve farklılıkları ezelden beri tanımıştır. Klasik Yunan'da, Aristo, daha sonra onun ve Platon'un takipçileri, en başta da Porphirius, organizmaları benzerliklerine dayanarak sınıflandırmışlardı. Taksonomi, bütün organizmaları sınıflandırmaya çalışan biyoloji disiplinidir. On sekizinci yüzyılda, İsveçli doğabilimci Carolus Linnaeus, *Systema Naturae* (1758) (*Doğa Sistemi*) adlı kitabının onuncu baskısında, modern taksonominin başlangıç noktası olarak kabul edilen bir sınıflandırma sistemi geliştirmişti.

Sınıflandırma sistemi hayvanlar ve bitkiler için biraz farklıdır,

ama genel sistemler bir hayli benzerdir. Birbirlerine yakından benzeyen hayvan türleri bir cins olarak sınıflandırılır; birbirlerine yakından benzeyen cinsler, aynı ailenin mensupları olarak sınıflandırılır; birbirlerine yakından benzeyen familyalara takım denir; birbirlerine yakından benzeyen takımlar bir sınıf oluşturur; birbirlerine çok benzeyen sınıflarsa bir filum. Filumlar daha sonra bir alem olarak gruplandırılır, Metazoa (hayvanlar) gibi. Bitkiler de hiyerarşik bir düzenle sınıflandırılır.

Türleri bir hiyerarşiye yerleştirmek, sınıflandırmanın amaçlarından sadece bir tanesidir. Türleri ve biçimsel tür gruplarını belirlemek için de bir sistem olması gerekir, böylece bunlar hakkındaki bilgiler paylaşılabilir ve düzenli bir biçimde toplanabilir. Türlerin popüler isimleri yeterli değildir; dilden dile ve hatta aynı dilin konuşulduğu yerlerde bölgeden bölgeye farklılık gösterir. Çoğu türün ayrı popüler isimleri yoktur. Bilim insanları her türü ve tür gruplarını açıkça tanımlayan özel bir isimlendirme sistemi geliştirmiştir. Türlerin en küçük grubu cinstir. Bir türün tam ismi, cins ismi ve ardından türün kendi isminden oluşur. Örneğin insan türünün ismi *Homo sapiens*'dir, hiçbir hayvan türü bu ismi taşıyamaz. Şempanzenin ismi *Pan troglodytes*, Afrika leoparının ismi *Felix pardus*, bal arısının ismi *Apis mellifera*'dır. Teamüller gereği, cins ismi büyük harfle yazılır ve hem cins hem tür ismi italiktir.

Hayat ağacı

Hayatın çeşitliliği ve organizmaların hiyerarşisi, evrim sürecinin sonucudur. İnsanlar memelidir, 150 milyon yılı aşkın bir süre önce yaşamış olan kır faresi benzeri hayvanlardan türemişlerdir; memeliler, kuşlar, sürüngenler, amfibiler ve balıkların ortak atası, dünyanın okyanuslarında 600 milyon yıl önce yaşamış küçük solucan benzeri yaratıklardır; bitkiler ve hayvanlar, üç milyar yılı aşkın bir süre önce yaşamış, bakteri benzeri mikroorganizmalardan türemişlerdir. Biyolojik evrim yüzünden, organizma soyları

zaman içinde değişir; ortak atalardan türeyen soyların kuşaklar boyunca farklı hayat tarzlarına alıştıkça farklılaşmaları yüzünden, çeşitlilik doğar. İki türün son ortak atası ne kadar yakın bir tarihte yaşadıysa, aralarındaki benzerlikler de o kadar fazla olacaktır, çünkü evrim süreklilik gösteren bir biyolojik değişim sürecidir. Dolayısıyla, biyologlar, türlerin zaman içinde peş peşe gelmesini ağaç benzeri bir yapı içinde göstermeyi uygun bulurlar. Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nde kullandığı tek şekil, dördüncü bölümde, bir türün soyundan gelenlerin zaman içinde nasıl yavaş yavaş farklılaşacaklarını göstermek üzere kullandığı dallanan bir grafiktir. Hayatın tamamını kapsayan, açıkça ağaç benzeri bir şekil ilk kez 1866'da, Alman doğabilimci Ernst Haeckel tarafından yayınlanmıştır.

Yeryüzünde üç büyük organizma grubu bulunmaktadır: Ökaryotlar, bakteriler ve archaea. Ökaryotlar, genetik malzemeleri özel bir kapsülün, yani çekirdek denilen bir hücre organelinin içinde bulunan organizmalardır. Biz ökaryotuz. Hayvanlar, bitkiler, mantarlar duyularımızla doğrudan deneyimleyebileceğimiz kadar büyük yegane organizmalardır, dolayısıyla üç asır öncesine kadar varlıkları insanlar tarafından bilinen yegane organizmalar onlardı. Ne var ki bunlar, ökaryotlarda gözlenen çeşitliğin tamamının sadece bir bölümünü açıklar. Diğer ökaryotların hepsi de mikroskobiktir. Bazıları iyi bilinen hastalıklara yol açar; örneğin *Plasmodium* sıtmaya sebep olur, *Entamoeba* ise ciddi bağırsak rahatsızlıklarından sorumludur.

İnsanlar bakterilerin, yani ikinci organizma grubunun varlığını bir asrı aşkın bir süredir biliyorlar. Bakterileri hastalıklarla ilişkilendiririz, ama bakteriler birçok yararlı işlevi de yerine getirirler, bunlar arasında hayvanlar ve bitkilerin ihtiyaç duyduğu, ama doğrudan alamadığı azotun atmosferden alınması da vardır. (Azot atmosferde boldur, atmosferin yüzde 75'ini oluşturmaktadır, geri kalan kısmın büyük bölümü oksijendir.) Ölü maddenin çürümesinden, yani hayat ve ölüm döngüsünün korunmasında temel önem taşıyan bu süreçten de bakteriler sorumludur, çün-

kü bu süreç, ölü organizmaların değerli bileşenlerini yeni organizmalar için elverişli kılar.

Genetik çeşitlilik ve bakteri türlerinin sayısı muazzamdır. Hayvan, bitki ve mantar türlerinin toplam sayısından çok daha fazla bakteri türü bulunmaktadır. Bakteri türlerinin toplam sayısı o kadar fazladır ki, toplam ağırlıkları (biyokütle), tek tek çok daha küçük olsalar da, bütün bitkiler, hayvanlar ve mantarların toplam biyokütlesi kadar fazladır. Bu, alçakgönüllülük aşılayan bir düşünce. Kendimizi, yani insan türünü, hayatın zirvesi, ayrıca bütün büyük hayvanların en kalabalığı olarak görürüz; hayvanlar ve bitkilerin de yeryüzünde baskın hayat biçimleri olduğunu düşünürüz. Ne var ki modern biyoloji bize, biyokütlenin yanı sıra sayısal olarak da, insanlar dahil olmak üzere bilinen bir milyon hayvan türünün, yeryüzündeki hayatın ancak küçük bir bölümünü oluşturduğunu öğretir.

Üçüncü grubun, archaea'nın da muhtemelen ökaryotlar ya da bakteriler kadar geniş olması muhtemeldir. Archaea'nın varlığı, moleküler biyoloji alanındaki çok yeni bir keşiftir. Bu organizmalar bizimle pek doğrudan temas kurmadıklarından, onların varlıklarını bilmiyorduk. Biyologlar pek az archaea türü biliyorlardı, örneğin ABD'de Yellowstone Ulusal Parkı'nın sıcak kaynaklarında ya da başka volkanik kaynaklarda yaşayan, suyun kaynama noktasına yaklaşan ısılarda kaynaşan türler gibi. Modern moleküler biyoloji teknikleriyle incelenen bir kova deniz suyunda, onlarca ya da yüzlerce yeni archaea türü bulunabilir.

Fosiller ve biçimleri

Evrimciler, canlı ve nesli tükenmiş organizmalar arasında atalardan türeyen soyları anlayabilmek için, organizmaların türeme çizgisini keşfetmeye çalışır. Amaçları, farklı organizma grupları arasında akrabalık örüntüsünü resmeden familya ağaçlarıyla, farklı ölçeklerde ve çözümlenmişlik düzeyleriyle ifade edilen hayat soyağacını çıkarmaktır. Ağaçlar Darwin'in gözlediği Galá-

pagos ispinozları gibi birbiriyle yakından ilişkili ya da amfibiler, sürüngenler, kuşlar ve memeliler kümesi gibi birbiriyle çok daha uzaktan akraba türler arasındaki, hatta hayatın tamamındaki (yani evrensel hayat ağacı) filojenetik ilişileri çözmeye çalışabilir. Bu, moleküler biyoloji sayesinde ancak elli-altmış yıl önce mümkün hale gelmiş bir şeydir.

Filojenileri yapılandırma yollarından biri birbirine benzeyen, ama zaman içinde bir atadan bir soy biçimine yol açan değişiklikler dizisini göstermektir. Böylece fosiller arasındaki ilişkiler göreli yaşlarına, birbirlerine benzerlik ve farklılıklarına göre değerlendirilir. Bu, bol bulunan fosiller süreklilik gösteren bir kayıt oluşturuyorsa gayet işe yarar, ama maalesef fosil kaydı bir hayli eksiktir. Çoğu hayvan kolayca fosilleşebilen sert organlardan yoksundur, kabuklu ya da kemikli hayvanların ancak küçük bir bölümü aslında fosil olarak korunmuştur. Bitkiler, mantarlar ve protozoadan archaea ve bakterilere varıncaya dek diğer organizmaların fosil kaydı çok azdır ya da hiç yoktur. Çoğu soyu ortaya çıkarmak için başka filojenetik yapılandırma yöntemlerini kullanmamız gerekmektedir.

Genler ve proteinler

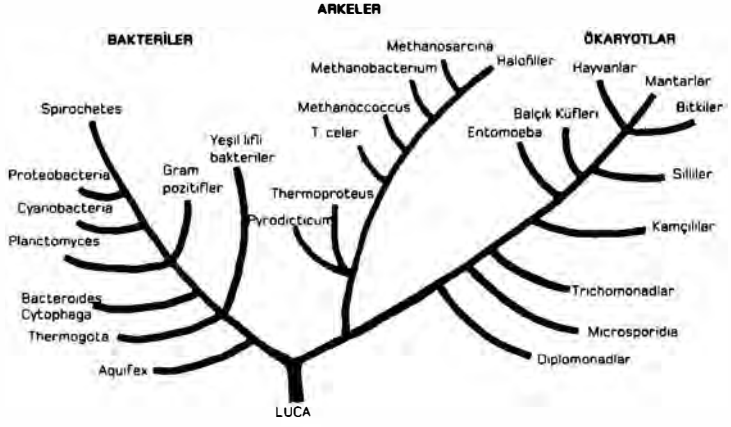
Moleküler biyoloji disiplini yirminci yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıktı. Moleküler biyoloji evrimsel filojeniyi inşa etmenin en etkili yolu haline geldi, çünkü *Moleküler Evrim Nedir?* sorusunu yanıtlarken açıkladığımız üzere, fosiller ya da karşılaştırmalı morfolojiye dayalı geleneksel sınıflandırma yöntemleri karşısında üç avantajı vardır: Kesinlik, çünkü enformasyon halihazırda niceliklendirilebilir haldedir; genellik çünkü bütün organizma türleri, evrimsel olarak ne kadar uzak olurlarsa olsunlar birbirlerine benzeyebilirler; çoğulluk, çünkü organizmaların, her biri aynı evrim tarihini yansıtan binlerce geni ve proteini bulunmaktadır. Hayat ağacında istenen çözüm derecesine ulaşmak için çok daha fazla gen ve protein araştırılabilir.

111. sayfada bulunan Evrensel Hayat Ağacı ancak moleküler biyoloji yöntemleriyle inşa edilebilir. Şekildeki ağaç, ribozomal RNA moleküllerini şifreleyen genlerle elde edilmiştir, çünkü bunlar yavaş evrilen genler arasındadır, bu da bakteriler ve archaea ya da bakteriler ve ökaryotlar gibi en farklı organizmalar arasında bile farklı ölçülerde benzerlik tespit edilebileceği anlamına gelmektedir.

Uzaklık yöntemleri

Moleküler yöntemler kullanarak belli organizmaların evrim tarihini çözmemiz gerekiyorsa, ilk adım, değerlendirilecek türler arasında bir gen ya da protein seçmek, DNA'daki nükleotidleri ya da proteinlerdeki amino asitleri sıralamaktır (bkz. s. 90). Gözlenen farklılıklara dayanarak moleküler evrim ağaçları inşa etmenin birkaç tekniği vardır. Bazı yaklaşımlar ilk kez paleontolojik (fosiller) ya da morfolojik verileri yorumlamak için; bazıları da moleküler verileri değerlendirmek için geliştirilmiştir. Bugün kullanımda olan başlıca yöntemler, uzaklık, tutumluluk ve azami olasılık yöntemleri olarak bilinir.

Uzaklık, iki takson (akraba organizmalar grubu) arasındaki farklılıkların sayısıdır. Evrim hızının genellikle, zaman içinde bütün organizmalar için sabit olduğu varsayılır, dolayısıyla farklılıkların sayısı aradan geçen zamanla orantılıdır. Farklılıklar DNA'daki (ya da RNA'daki) proteinler ya da nükleotidlerin dizilimi dikkate alınarak ölçülür. İlk adım bütün tür çiftleri arasındaki farklılıkların sayısını içeren bir tablo elde etmektir. "Topluluk analizi" olarak bilinen yöntem, öncelikle aralarında en az sayıda farklılığın gözlendiği iki taksonu belirlemek ve bunları iki dal olarak birleştirmektir. Bundan sonra iki tür arasındaki en kısa mesafe belirlenecek ve bu iki tür benzer şekilde birbirleriyle birleştirilecektir. Yeni bir uzaklık topluluğa zaten dahil olan bir taksonla ilgiliyse, yeni taksonla önceden mevcut topluluk arasındaki ortalama uzaklık alınır ve bütün taksonlar dallanan ağaca dahil edilinceye dek devam edilir.



rRNA [RİBOZOMAL NÜKLEİK ASİT] GENLERİYLE YENİDEN KURGULANMIŞ EVRENSEL HAYAT HAYAT AĞACI. ORTAK BİR ATADAN, LUCA'DAN EVRİLMİŞ BAŞLICA ÜÇ ORGANİZMA GRUBU: BAKTERİLER, ARKELER VE ÖKARYOTLAR.

91. sayfada gösterildiği üzere, türler arasında sitokrom *c*'ye dayalı ilişkiler, fosil kayıtları gibi başka kaynaklara dayanarak belirlenen ilişkilere hayli uygun düşmektedir. Bu şekillere göre, tavuklarla ördekler ve güvercinler arasındaki akrabalık, penguenlerle olan akrabalıktan daha uzaktır, insanlar ve maymunlar da keseli kangurunun primat olmayan plasentalılardan ayrılmasından daha önce diğer memelilerden ayrılmıştır. Bunların hatalı ilişkiler olduğu bilinmektedir, ama tek bir proteinin bir milyar yıl önce birbirlerinden ayrılmaya başlayan 20 organizmanın evrim tarihinin gayet doğru bir biçimde yeniden kurulmasını mümkün kılması itibarıyla, bu yöntemin gücü belirgindir.

Bazı uzaklık yöntemleri (91. sayfadaki ağacı kurmakta kullanılan da dahil olmak üzere) tektip evrim hızı koşulunu gevşetir ve dallar arasında evrim hızının eşit olmamasına izin verir. Bu tür yöntemlerin en yoğun olarak kullanılanlarından birine komşuların birleştirilmesi denir. Bu yöntem, daha önce olduğu gibi, tablodaki en küçük farklılığın belirlenmesi ve ilgili iki taksonun

birleştirilmesiyle başlar. Bundan sonraki adım, iki taksonu kaldırmak ve bunların diğer taksonlara uzaklıklarının yerini, iki taksonu birleştiren noktayla diğer bütün taksonlar arasındaki uzaklığın aldığı yeni bir takson hesaplamaktır. Bu yeni tablodaki en küçük farklılık yeni bağlantıyı kurmakta kullanılır, yeni bağlantı başka iki takson ya da önceki bağlantı noktası ile yeni takson arasında olacaktır. Bütün taksonlar birleştirici düğümlerle birbirleriyle birleştirilene kadar bu süreç tekrarlanır.

Tutumluluk yöntemleri

Azami tutumluluk yöntemleri, bütün dallarda toplam olarak en az sayıda değişikliği gerektirecek şekilde hayat ağacını yeniden kurmaya çalışır. Bu akla yatkındır, çünkü başka hiçbir bilgi mevcut değilse, büyük ihtimalle böyle bir sonuç ortaya çıkacaktır. Ama evrimin ille de asgari bir yolu izleyerek gerçekleşmiş olması gerekmez. Aynı değişiklik farklı dallarda bağımsız olarak da ortaya çıkmış olabilir, bazı değişiklikler ara adımları ya da geri mutasyonları gerektirmiş de olabilir.

Azami tutumluluk yöntemleri kladistikle, yani morfolojik ve paleontolojik verilerle birlikte yoğun olarak kullanılmış çok bizimsel bir taksonomik sınıflandırma yöntemiyle ilgilidir. Kladistiğin kritik önemdeki yönü, sinapomorfik özellikler denilen türemiş ortak özelliklerin tanımlanmasıdır. Sinapamorfik bir veri bazı taksonlarda ortaktır, bazılarında değildir; çünkü bazıları bu özelliği, soyu diğer taksonlarda yer alan taksonlardan ayrıldıktan sonra edinmiş olan ortak bir atadan almıştır. Örneğin, etoburların evriminde evcil kediler, kaplanlar ve leoparlar bir araya toplanmıştır, çünkü geri çekilebilen pençelere sahiplerdir; bu özelliği, ortak atalarının köpekler, kurtlar ve yaban köpeklerini ortaya çıkaran soydan ayrılması sonrasında edinmişlerdir. Ortak özelliklerin analog değil homolog olduğunu kesin olarak ortaya koymak önemlidir. Örneğin, memeliler ve kuşlarda dört odacıklı bir kalp bulunur, ama kertenkelelerde bulunmaz. Yine de kuşlar-

la kertenkeleler arasında, memelilerle olduğundan daha yakın bir ilişki bulunur; dört odacıklı kalp, kuş ve memeli soylarında paralel evrimle bağımsız olarak evrilmiştir.

Azami olasılık

Azami olasılık yöntemleri eldeki verilere dayanarak en olası ağacı tanımlamaya çalışır. Tek tek her olası değişikliğin gerçekleşme olasılığını tahmin etmeyi mümkün kılacak evrimsel bir model tanımlanmasını gerektirirler. Olası bütün ağaçlar değerlendirilir. Her ağaç için, tek tek her değişikliğin gerçekleşme olasılığı çoğalarak artar. En iyi ağaç, bütün ağaçlar arasında en yüksek olasılığa (azami olasılığa) sahip ağaçtır.

Azami olasılık yöntemleri, takson sayısı fazlaysa, hesaplama açısından pahalı yöntemlerdir; çünkü takson sayısıyla birlikte olası ağaçların (her biri için olasılığın hesaplanması gerekir) sayısı da katlanarak artar. 10 takson olduğunda yaklaşık 3,6 milyon olası ağaç vardır, 20 takson varsa olası ağaç sayısı 2×10^{18}'dir (2'den sonra 12 tane sıfır). Çok güçlü bilgisayarlar kullanılsa bile, takson sayısı fazlaysa, azami olasılık yöntemleri engelleyici olabilir. Bütün olası ağaçların sadece bir alt örnekleminin incelendiği, böylece yorucu bir araştırmadan kaçınıldığı bulgusal yöntemler de mevcuttur.

Bir ağacın istatistiksel güven derecesi, uzaklık ve azami olasılık yöntemleriyle tahmin edilebilir. En olası yönteme ön yükleme denir. Bu yöntem en az bir veri noktasını rastgele alıp, sonra yeni veri kümesi için bir ağaç inşa edilmesiyle veri örneklemlerinin oluşturulmasından ibarettir. Bu rastgele örneklem alma süreci yüz binlerce kez tekrar edilir. Her bağlantı için ön yükleme değeri, bu noktadan türemiş bütün türlerin ağaçlarda hep birlikte göründüğü örneklerin yüzdesi alınarak bulunur. Yüzde 90'ın üzerindeki ön yükleme değerleri, istatistiksel olarak çok güvenilir bulunur; yüzde 70'in altındakilerse güvenilmez addedilir.

BEN GERÇEKTEN MAYMUN MUYUM?
Biyolojiden kültüre

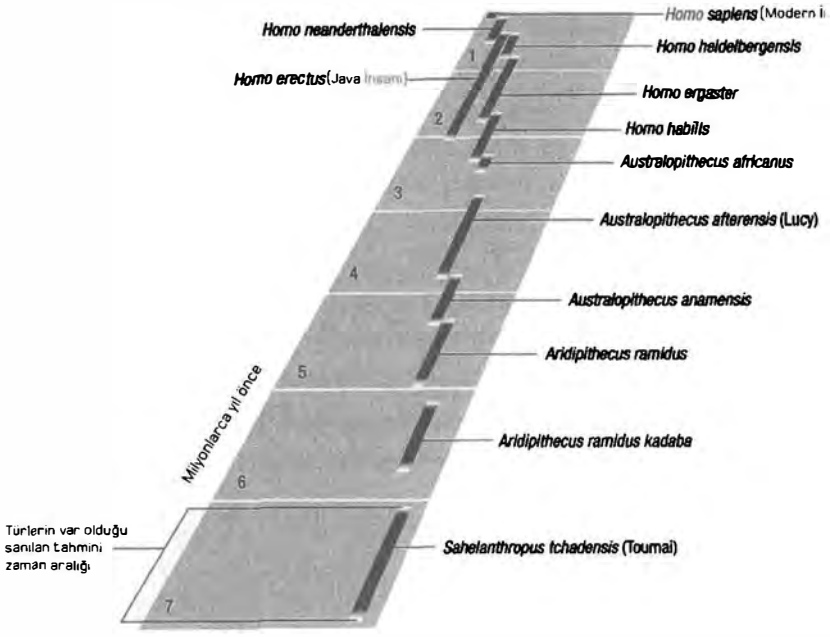
İnsanlar ve şempanzelerin ortak atası altı-yedi milyon yıl önce yaşamıştı. İnsanlar, kuyruksuz maymunlar ve maymunlar primattır, ama insanlar özel bir primat türüdür. Bizler iki ayağımızın üstünde yürürüz, beyinlerimiz büyüktür ve aletlerin, başka nesnelerin düzgün bir biçimde kullanılmasını mümkün kılan başparmaklarımız vardır. Ayrıca ve daha da önemlisi, insanların dili, gelişmiş teknolojiyi, karmaşık toplumsal ve siyasi kurumları, bunların yanı sıra etik ve dini içeren üstün bir zekaları ve kültürleri vardır.

İnsanların başka hayvanlarınkine benzer organları ve uzuvları olduğunu, başka memeliler gibi yavrularımızı doğurduğumuzu, bir şempanzenin iskeletiyle bir insanın iskeleti arasında kemik kemik tam bir uyuşma olduğunu fark etmek büyük bir biyolojik uzmanlık gerektirmez. Ama türümüzün ayrıksı biricikliğini fark etmek için de fazla uzun düşünmeye gerek yoktur. İki ayak üstünde yürümek ve büyük bir beyne sahip olmak da bariz anatomik farklılıklar arasında yer alır. İnsanların ayrıksı davranışları anatomik farklılıklardan çok daha belirgindir. İnsanların ayrıntılı olarak düzenlenmiş toplumsal ve siyasal kurumları, kanunları, edebiyat ve sanatı, etik ve dini vardır; yollar ve şehirler yaparız, otomobiller, gemiler ve uçaklarla seyahat ederiz, telefonlar, bilgisayarlar ve televizyonlarla iletişim kurarız.

Primatlar ve hominidler

Maymunlar, kuyruksuz maymunlar ve insanların hepsi de primat olarak bilinen memeli türüne aittir. Yani tabiri caizse, kuyruksuz maymunlar birinci dereceden kuzenlerimizdir, maymunlarsa ikinci ya da üçüncü dereceden. Maymunlarla son ortak atamız 25-30 milyon yıl önce, şempanzelerle son ortak atamız altı-yedi milyon yıl önce, orangutanlarla son ortak atamız on milyon yılı aşkın bir süre önce yaşamıştır. Bu meseleleri üç şekilde biliriz: İnsanlar da dahil canlı primatları birbirleriyle karşılaştırarak, geçmişte yaşamış primatların fosil kalıntılarını keşfedip araştırarak ve DNA'larını, proteinlerini, başka moleküllerini karşılaştırarak. DNA ve proteinler, primatların her birine ne kadar yakından akraba olduğumuza dair en iyi bilgileri verir. Ama atalarımız giderek daha fazla insana benzer hale geldikçe, insan soyunun anatomi ve davranış bakımından nasıl değiştiğini bilebilmek için fosilleri, aletleri ve faaliyetlerinden geri kalan diğer şeyleri incelememiz gerekir. Bu bilgi *Kayıp Halka Nedir?* başlığı altında incelenmiştir.

En yakın biyolojik akrabalarımız büyük kuyruksuz maymunlardır ve bunlar arasında da, gorillerden çok bize yakın akraba olan şempanzelerdir. Hominid soyu şempanze soyundan 6-7 milyon yıl önce ayrılmış, 1,8 milyon yıl önce *Homo erectus*'un ortaya çıkışına kadar sadece Afrika kıtasında evrilmiştir. *Homo erectus*, tropikal ya da tropikal altı doğu Afrika'da ortaya çıkmasından çok kısa bir süre sonra bütün kıtalara yayılmıştır. *Homo erectus*'un fosil kalıntıları, Afrika, Endonezya (Java), Çin, Ortadoğu ve Avrupa'da bulunmuştur. Java'da bulunan fosillerin 1,81 ± 0,04 ve 1,66±0,04 milyon yıl, Gürcistan'da bulunan fosillerin ise 1,66-1,8 milyon yıl öncesine ait olduğu anlaşılmıştır. İspanya'da anatomik olarak ayrıksı *Homo erectus* fosilleri bulunmuştur, 780.000 yıl öncesine ait olan bu fosiller güney Avrupa'da bulunan en eski fosillerdir.



HOMİNİD TÜRLER; 6-7 MİLYON YIL ÖNCE YAŞAMIŞ *SAHELAHTHROPUS TEHADENSİS* [EN ALTTA] İLE MODERN İNSAN [EN ÜSTTE] ARASINDA BİRKAÇ ARA TÜR GÖSTERİLİYOR.

Homo erectus'tan *Homo sapiens*'e geçiş yaklaşık 400.000 yıl önce gerçekleşmiştir, gerçi bu tarih pek kesin olarak belirlenmemiştir, bu belirsizliğin gerisinde, bazı fosillerin *erectus*'a mı yoksa "arkaik" *sapiens* biçimlerine mi ait olduğunun belirlenememiş olması vardır. *Erectus* Asya'da bir süre varlık göstermiş, Çin'de 250.000 yıl, Java'da 100.000 yıl öncesine kadar yaşamıştır, dolayısıyla kendisinden türeyen *Homo sapiens* türünün ilk mensuplarıyla aynı tarihlerde varlık göstermiştir. *Homo sapiens* kadar büyük beyinlere sahip Neanderthal hominidlerin (*Homo neanderthalis*) fosil kalıntıları, 200.000 yıl önce Avrupa'da ortaya çıkmış, 30.000-40.000 yıl öncesine kadar varlık göstermiştir.

Modern insanların kökeni tartışmalıdır. Bazı antropologlar,

Homo erectus'tan arkaik *Homo sapiens*'e, daha sonra da anatomik olarak modern insana geçişin Avrupa'nın çeşitli bölgelerinde eş zamanlı olarak meydana geldiğini savunur. Bu "çok bölgeli" modeli savunanlar, fosil kanıtların, geçiş sürecinde bölgesel bir süreklilik gösterdiğini savunur. Bazı antropologlar da modern insanların ilk kez Afrika'da ya da Ortadoğu'da yaklaşık olarak 100.000 yıl önce ortaya çıktığını ve buradan dünyaya yayıldığını, başka yerlerde önceden var olan *Homo erectus* ya da arkaik *Homo sapiens* nüfuslarının yerini aldığını savunur. Modern insanların kökeninin Afrika (ya da Ortadoğu'ya) uzandığı görüşü son dönemde elde edilmiş çok zengin kanıtlarla desteklenmekte, bu yüzden de birçok evrimci tarafından benimsenmektedir.

Bu "Afrika" modelini savunanların bazıları, arkaikten modern *Homo sapiens*'e geçişi bütün modern insanların ataları olan iki-üç bireyden oluşan çok dar bir boğazla ilişkilendirir. Bu dar boğaz iddiası, genetik mirasımızın küçük bir bölümünün (mitokondrisel DNA [mtDNA]) araştırmalarıyla hatalı olarak desteklenmiştir.

Mitokondrisel Havva miti

Modern insanların sadece bir ya da pek az sayıda kadın atadan türediği argümanı, etnik olarak farklı bireylerin mitokondrisel DNA'larının incelenmesine dayanmaktadır. Modern insanlardaki mitokondrisel DNA dizilimlerinin filojenileri, bir tek ata dizilimde, yani Afrika'da yaklaşık 200.000 yıl önce yaşamış "mitokondrisel Havva"da birleşir. Fakat bu Havva, bütün insanların türediği tek ana değil, bütün mitokondrisel DNA moleküllerinin türediği mitokondrisel bir DNA molekülüdür (ya da bu molekülün kadın taşıyıcısıdır). Mitokondrisel DNA sadece anneden alınır, anne oğullarına ve kızlarına bu molekülü geçirir, ama sadece kızlar bu molekülü çocuklarına aktarır.

Mitokondrisel Havva miti, gen jenealojileriyle (filojeni) bireysel jenealojiler arasındaki bir kafa karışıklığına dayanıyordu.

Gen jenealojileri yavaş yavaş benzersiz bir ata DNA dizilimine doğru ilerleyip birleşir. (İnsanlar, şempanzeler, goriller gibi canlı türlerin tek bir ata türde birleşmesi gibi.) Öte yandan, bireysel jenealojiler her ata kuşakta iki kat artar: Bir bireyin iki ebeveyni, dört büyük ebeveyni vs. vardır. Gen jenealojisinin başta bir tek bireyde var olan tek bir ata gende birleşmesi, yine bizim atamız olan, kendilerinden başka genleri almış olabileceğimiz başka birçok bireyin eş zamanlı olarak var olmasını imkansız kılmaz.

Bu sonuç bir benzetmeyle gösterilebilir. Benim soyadım Ayala, İspanya, Meksika, Filipinler ve başka birçok ülkede birçok kişi tarafından paylaşılıyor. Soyadımızı araştıran bir tarihçi, bütün Ayalaların Don Vela'nın torunu, Kral VI. Alfonso'nun vassalı olan, bugün İspanya'nın Bask bölgesinde Alava şehri olan de Ayala'yı 1085'de kuran Don Lope Sanchez de Ayala'dan geldiğini ortaya çıkarmıştı. Don Lope, baba soyundan hepimizin geldiği atadır, ama on birinci yüzyılda ve aynı zamanda öncesinde ve sonrasında yaşamış başka birçok erkek ve kadın da atamızdır.

Mitokondrisel DNA analizinin gerektirdiği çıkarım, yaygın deyişle mitokondrisel DNA'nın ana soyundan modern insanların atası olduğunu söyler. Herhangi bir kuşakta, herhangi bir kişinin, ana soyundan tek bir atası vardır. Dolayısıyla bir insan mitokondrisel DNA'yı annesinden, anne tarafından büyükannesinden, anne soyundaki büyük büyükannesinden miras alır. Ama başka atalardan başka genler de alır. Mitokondrisel Havva'dan miras aldığımız mitokondrisel DNA, modern bir insanda mevcut olan DNA'nın dört yüz binde birini temsil eder (6 milyar nükleotidden 16.000'i). DNA'nın geri kalanını, yani mitokondrisel DNA'nın 400.000 katını, mitokondrisel Havva'nın diğer çağdaşlarından miras alırız.

Kuyruksuz maymundan insana dönüşüm

"Kuyruksuz maymundan insana dönüşüm" derken, belli bir kuyruksuz maymun soyunun bir hominid soyu haline gelme-

sinin, bu hominid soyundan da sadece birkaç milyon yıl sonra, düşünebilen ve sevebilen, karmaşık toplumlar geliştirmiş, etik, estetik ve dinî değerlere sahip insanların ortaya çıkmasının gizeminden bahsediyorum.

Kuyruksuz maymundan insana dönüşüm birçok kişinin büyük kaygılarından biridir. Bilim insanları insanların, şempanzelerin gorillerden ya da başka kuyruksuz maymun türlerinden farklı olmaması gibi, sadece bir başka kuyruksuz maymun türü olduğunu mu iddia etmektedir? Bu görüş, insanların çok özel yaratıklar olarak görülmesinin temelsiz olduğu anlamına mı gelir? Bu sorulara verilecek cevap, bazı biyolojik bakımlardan kuyruksuz maymunlara çok benzediğimiz, ama bazı bakımlardan çok farklı olduğumuz, bu farklılıkların insanların çok özel yaratıklar olarak görülmesine geçerli bir temel sağladığı yönündedir.

İnsan Genomu Projesi

İnsanlar ve kuyruksuz maymunlar nasıl benzeşir ve birbirlerinden nasıl farklılaşır? İnsanlar ve başka hayvanlardaki biyolojik kalıtım, genetik bilginin ebeveynlerden yavrulara aktarılmasına dayanır. İnsan DNA'sı 23 kromozomluk iki küme halinde bulunmaktadır, her bir küme bir ebeveynden kalıtımla miras alınmıştır. Her kromozom kümesinde, DNA harflerinin (A, C, G ve T olarak temsil edilen dört nükleotidin) toplam sayısı yaklaşık üç milyardır. İnsan Genomu Projesi, bir insan genomundaki üç milyar harfin diziliminin şifresini çözmüştür. (Yani belli bir kromozom kümesindeki; insan genomunun dizilimi, genomlar arasında bir harfte bir farklılık gösterir.)

Her bireyin iki genomu (kromozom kümeleri) birbirinden ve başka bir insanın genomlarından farklıdır. (İkizler ilginç bir istisna oluşturur, onlarda iki gen kümesi ortaktır, çünkü tek yumurta ikizleri bir tek döllenmiş insan yumurtasından gelişmişlerdir.) Kral James İncili'nde tahminen üç milyon harf, noktalama işaretleri ve boşluklar bulunur. Bir insan genomunun DNA

diziliminin yazılması, İncil büyüklüğünde 1000 cilt gerektirecektir. İnsan genomu dizilimi elbette ki kitap halinde basılmaz, elektronik bir biçimde bilgisayarlarda saklanır, araştırmacılar buradan bilgi parçacıklarına ulaşabilirler. Ama bu bilginin bilgisayar çıktısına gerek duyulsaydı, her bir kromozom kümesi için 1000 cilt olmak üzere toplam 2000 cilt kitap çıkardı. Ama kuşkusuz, ikinci kümedeki bilgiyi sunmanın, harf dizilimini eksiksiz vermekten daha ekonomik yolları vardır; örneğin ikinci kümede değişen her harfin konumu birinci kümedeki harfle ilişkili olarak verilebilir. Bir bireyin iki kromozom kümesi arasında farklılık gösteren harflerin sayısı yaklaşık üç milyondur, yani 1000'de 1'dir.

ABD'deki İnsan Genomu Projesi 1989'da, iki kurumun, Ulusal Sağlık Enstitüleri ve Enerji Bakanlığı'nın maddi desteğiyle başladı. (Özel bir kuruluş olan Celera Genomics ABD'de biraz daha sonraki bir tarihte kuruldu, ama büyük ölçüde bağımsız bir şekilde benzer sonuçlara vardı.) Hedef, 15 yılda yaklaşık 3 milyar dolara, bir insan genomunun eksiksiz dizilimini çıkarmaktı; tesadüfe bakın ki bir DNA harfi 1 dolar ediyordu. Genom diziliminin taslağı, 2001'de belirlenen tarihten önce tamamlandı. İnsan Genomu Projesi 2003'te bitti.

İnsanın DNA dizilimini bilmek, bir insanın genetik oluşumunu anlama yolunda atılmış ilk adımdır, ama bunun pek ötesine geçmez. İncil büyüklüğündeki 1000 cildi düşünün. Artık üç milyar harfin düzenli diziliminin nasıl olduğunu biliyoruz, ama bu dizilim insanlara dair bir anlayış sunmaz; dünya dışından bir dille yazılmış, sadece alfabesini bildiğimiz, bu yüzden harf dizilimini ortaya çıkarmak zorunda olduğumuz bir dille yazılmış, İncil büyüklüğündeki 1000 cilt kitabı ne kadar anlıyorsak, genomu da o kadar anlarız.

Şempanze genomu

Şempanze genomundaki DNA diziliminin bir taslağı 1 Eylül

2005'te yayınlandı. İnsanlar ve şempanzelerin paylaştığı genom bölgelerinde iki tür yüzde 98-99 birbirine benzer. Bu farklılıklar, nasıl bir bakışın seçildiğine bağlı olarak, ya çok küçükmüş ya da bir hayli büyükmüş gibi görünmektedir: Toplamın yüzde 1'i kulağa çok azmış gibi gelir, ama her genomda üç milyar DNA harfinde 30 milyonluk bir farklılığa tekabül eder. Genlerin şifrelediği enzimler ve başka proteinlerin yüzde 29'u her iki türde de aynıdır. Her proteini oluşturan yüz ila birkaç yüz amino asitten, yüzde 71 oranındaki benzer olmayan proteinler, insanlar ve şempanzelerde ortalama sadece iki amino asitle farklılık gösterir. Bir türde bulunan diğerinde bulunmayan DNA parçaları dikkate alındığında, iki genom, DNA dizilimleri dikkate alındığında olduğu gibi yüzde 98-99 oranında aynı olmak yerine, yaklaşık yüzde 96 oranında aynıdır. Başka bir deyişle, insanlar ve şempanzeler altı-yedi milyon yıl önce ayrı evrim yolları tuttuğundan beri, çok büyük miktarda genetik malzeme (yaklaşık yüzde 3'ü ya da 90 milyon DNA harfi), genomlarına eklenmiş ya da genomlarından silinmiştir. Bu DNA'nın çok büyük bir bölümü, proteinleri şifreleyen genler içermez.

İki genomun karşılaştırılması, iki türde belli genlerin evrim hızıyla ilgili de kavrayışlar sunar. Önemli bulgulardan biri, beyinde etkin olan genlerin, insan soyunda, şempanze soyunda olduğundan daha fazla değişmiş olduğudur. İnsan genlerinin en hızlı evrilenleri, "şifreleme etkenleri"ni, yani başka genlerin ifade edilme biçimini kontrol eden, açık mı kapalı mı olduklarını belirleyen "açma-kapama proteinleri"ni şifreleyenlerdir. Sıtma ve vereme direnç göstermekle ilgili genler de dahil olmak üzere toplam 585 genin insanlarda, şempanzelerde olduğundan daha hızlı evrildiği belirlenmiştir. (Sıtmanın şempanzeler için değil, insanlar için ciddi bir hastalık olduğunu unutmayalım.)

Sadece erkekte bulunan Y kromozomunda yer alan genler insanda doğal seçilimle, şempanze soyunda olduğundan daha iyi korunmuştur; şempanze soyunda birkaç gen, genleri işlevsiz hale getiren sakatlayıcı mutasyonlar edinmiştir. Ayrıca insan

genomunun birkaç bölgesi, son 250.000 yıl içinde evrilmiş olan yararlı genler içeriyormuş gibi görünmektedir. Bunlardan biri, konuşmanın evriminde rol oynayan *FOXP2* genidir.

İnsan ve şempanze genomlarının kapsamlı bir biçimde karşılaştırılması ve önemli genlerle ilişkili işlevlerin deneysel olarak araştırılması hiç kuşkusuz, gelecek on-yirmi yıl içinde, bizi insan yapanın ne olduğuna dair kavrayışımızı hatırı sayılır ölçüde genişletecektir. Gelişimin ilk evrelerinde, doğumdan epey önce bizi insan olarak ayrı bir yere oturtan özellikleri, genomda şifreli çizgisel bilginin yavaş yavaş dört boyutlu bir birey, zamanla yapısı değişen bir birey haline gelmesiyle gelişen özellikleri kavrayışımız değişecektir. Önemli bir nokta şudur: İnsanın en ayrıksı özellikleri beyinde ifadesini bulan, insan zihni ve insan kimliğini açıklayan özelliklerdir.

İnsanın eşsizliği

İnsanın en ayrıksı anatomik özellikleri, dik durması ve büyük bir beyne sahip olmasıdır. İki ayağı üzerinde yürüyüp dik durabilen tek omurgalı türü biziz; kuşlar da iki ayaklıdır, ama omurgaları dik değil neredeyse yataydır. Beyin büyüklüğü genellikle beden büyüklüğüyle orantılıdır; beden kütlesiyle orantılı olarak, insanlar en büyük (ve en karmaşık) beyne sahiptir. Erkek insan beyni 1400 santimetreküptür, ağırlığı da yaklaşık olarak 1360 gram, yani şempanze beyninden en az üç kat daha büyüktür.

Evrimciler, insan soyunun evriminde iki ayak üzerinde yürümenin mi yoksa büyük beynin mi önce geldiği, yoksa ikisinin birlikte mi evrildiği sorusunu ortaya atmışlardı. Bu mesele artık çözülmüştür. Atalarımız dört milyon yılı aşkın bir süre önce iki ayakları üzerinde yürüyorlardı, ama bu ataların küçük bir beyni vardı, yaklaşık 450 santimetreküplük 453 gram çeken bir beyin. Beyin büyüklüğü, 2-2,5 milyon yıl önce yaşamış *Homo habilis* atalarımızla birlikte dikkat çekici bir biçimde artmaya

başlamıştır, *Homo habilis* 650-800 santimetreküplük beyinlere sahipti. *Homo erectus* yetişkinlerin beyinleri yaklaşık 1200 santimetreküptü. Yukarıda belirttiğimiz üzere, bizim türümüz *Homo sapiens*'in yaklaşık 1300-1400 santimetreküplük bir beyni vardır, yani gri maddesinin ağırlığı 1360 gramdır.

Bizi insan olmayan primatlardan ayıran anatomik özellikler sadece dik durmak ve büyük bir beyne sahip olmak değildir. En ayrıksı anatomik özelliklerimiz şu şekilde sıralanabilir:

- Dik duruş ve iki ayak üzerinde yürüme (Omurgadaki, kuyruksokumundaki ve ayaklardaki değişiklikleri içerir)
- Başparmaklar, kollar ve ellerdeki değişiklikler (Kesin yönlendirmeyi mümkün kılan değişiklikler)
- Büyük beyin
- Çenelerin küçülmesi ve yüzün yeniden şekillenmesi
- Deri ve deri altı bezlerdeki değişiklikler
- Vücut kıllarında azalma
- Kriptik ovülasyon (dişilerin cinsel alıcılığının sürekliliği)
- Yavaş gelişim
- Ses telleri ve larenkste değişim
- Beynin yeniden örgütlenmesi

İnsanlar sadece anatomileriyle değil, hem bireysel hem toplumsal olarak davranışlarıyla da başka hayvanlardan hatırı sayılır farklılıklar gösterir. İnsanın ayrıksı davranış özelliklerini şöyle sıralayabiliriz:

- Duyguların incelikli ifadesi
- Zeka: soyut düşünme, sınıflandırma ve akıl yürütme
- Sembolik (yaratıcı) dil
- Özbilinç ve ölümün farkında olma
- Alet yapımı ve teknoloji
- Bilim, edebiyat ve sanat

- Etik ve din
- Toplumsal örgütlenme ve işbirliği
- Yasalar ve siyasi kurumlar

Biyolojik evrim ve kültürel evrim

Hem insanlar hem başka primatlar, toplumsal olarak örgütlenmiş gruplar halinde yaşar. Ama primat toplumları, insanın toplumsal örgütlenmesinin karmaşıklığına yaklaşamaz. İnsana özgü toplumsal bir özellik de sıkı sıkıya biyolojik olmayan insan faaliyetleri ve yaratıları olarak anlaşılabilecek olan kültürdür. Kültür, toplumsal ve siyasi kurumları, dinî ve etik gelenekleri, dili, sağduyuyu, bilimsel bilgiyi, sanat ve edebiyatı, teknolojiyi ve genel olarak insan zihninin bütün yaratılarını içerir. Kültürün evrimi, beraberinde kültürel evrimi, baskın olan organik evrim biçimi üzerine binmiş süperorganik evrim biçimini beraberinde getirmiştir. Kültürel evrim, kültürel değişim ve kalıtım, çevreye uymanın insana özgü ayrıksı yollarından biri sayesinde ortaya çıkmıştır.

İnsanda iki tür kalıtım söz konusudur: biyolojik ve kültürel, bunlara organik ve süperorganik kalıtım sistemleri de denir. İnsanlardaki biyolojik kalıtım, eşeyli olarak üreyen başka organizmalardaki kalıtım sistemlerine benzer; DNA'da şifrelenmiş genetik bilginin cinsiyet hücreleriyle bir kuşaktan diğerine aktarılmasına dayanır. Kültürel kalıtımsa, bilginin öğretme-öğrenme süreciyle aktarılmasına dayanır, bu süreç biyolojik ebeveynlikten bağımsızdır. Kültür, öğretim ve öğrenmeyle, örnek olma ve taklit etmeyle, kitaplarla, gazetelerle, radyo ve televizyonla, filmlerle, sanat eserleriyle, başka iletişim araçlarıyla aktarılır. Kültür herkes tarafından ebeveynlerden, akrabalar ve komşulardan, insani çevrenin tamamından edinilir.

Kültürel kalıtım, insanların başka hiçbir organizmanın başaramadığı şeyi başarmasını mümkün kılar: deneyimlerin kuşaktan kuşağa birikimsel olarak aktarılmasını. Hayvanlar deneyimle

öğrenebilirler, ama deneyimlerini, "keşifleri"ni (en azından büyük ölçüde değil) sonraki kuşaklara aktaramazlar. Hayvanların bireysel hafızası vardır, ama "toplumsal hafızası" yoktur. İnsanlarsa bir kültür geliştirmişlerdir, çünkü deneyimlerini birikimsel olarak kuşaktan kuşağa aktarabilirler.

Kültürel kalıtım kültürel evrimi, yani bilgi, toplumsal yapılar, etik ve insan kültürünü oluşturan başka bileşenlerin evrimini mümkün kılar. Ayrıca çevreye uyum açısından, insan olmayan organizmalarda söz konusu olmayan yeni bir biçimi mümkün hale getirir: kültür yoluyla uyarlanma. Organizmalar çevreye genelde doğal seçilim yoluyla, yani genetik yapılarını kuşaklar boyunca çevrenin taleplerine uyacak şekilde değiştirerek uyum sağlar. Ama insanlar, sadece insanlar çevreyi genlerinin ihtiyaçlarına uyacak şekilde değiştirerek de uyum sağlayabilir. (Hayvanlar yuva yapar, çevrelerini çeşitli biçimlerde değiştirir, ama insan olmayan türlerin çevreyi değiştirmesi, insanınkiyle karşılaştırıldığında önemsizdir.) Son birkaç bin yıldır insanlar genlerini çevreye uyarlamaktan çok çevreyi genlerine uyarlamışlardır.

Bir organizma nüfusunun coğrafi yaşam ortamını genişletmesi ya da değişen bir doğal ortamda hayatta kalabilmesi için, doğal seçilimle ayıklanmış genetik farklılaşmaların ağır ağır birikmesi sayesinde, yeni iklim koşullarına, yiyecek kaynaklarına, rakiplerine vs. uyarlanması gerekir. Ateşin keşfedilmesi, barınak ve giyeceklerin kullanılması, insanların Eski Dünya'nın sıcak tropikal ve tropikal altı bölgelerinden Antarktika'nın donmuş bölgeleri hariç Dünya'nın tamamına anatomik olarak kürk ya da tüy geliştirmeksizin yayılmasını sağlamıştır. İnsanlar, kanat gelişimini teşvik edecek genetik mutantları beklememiştir; uçan makineler inşa ederek, gökleri biraz daha etkili ve daha saldırıya açık bir biçimde fethetmişlerdir. İnsanlar, yüzgeçlere ya da kuyruklara ihtiyaç duymaksızın nehirlerde ve denizlerde yol almışlardır. Bize oksijen basıncının düşük olduğu ortamlarda nefes alma ya da kütleçekimin mevcut olmaması halinde hareket edebilme yetisi kazandıran mutasyonları beklemeksizin, dış uzayın

keşfi başlamıştır; astronotlar kendi oksijenlerini taşırlar ve özel olarak donatılmış basınçlı giysiler giyerler. Afrika'daki karanlık başlangıçlarından itibaren insanlar, yeryüzündeki en yaygın ve sayıca en kalabalık memeli türü olmuştur. Bunu mümkün kılan da, kültürün süperorganik bir uyarlanma biçimi olarak ortaya çıkmasıdır.

Kültürel uyarlanma insanda biyolojik uyarlanmaya baskın çıkmıştır, çünkü daha etkili bir evrim biçimidir; daha hızlıdır ve yönlendirilebilir. Bir bireyde yenice ortaya çıkmış elverişli bir mutasyon, ancak sayılamayacak kadar çok sayıda kuşak boyunca insan türünün hatırı sayılır bir bölümüne aktarılabilir. Bununla birlikte, yeni bir bilimsel keşif ya da teknolojik ilerleme, en azından potansiyel olarak, bir kuşaktan daha kısa bir sürede insanlığın tamamına aktarılabilir. Kişisel bilgisayarların, iPhone'un ve internetin ne kadar hızlı yayıldığına bir bakın. Ayrıca bir ihtiyaç doğduğunda, kültür zorlukları aşmak için doğrudan uygun değişiklikleri gerçekleştirmeye çalışır. Biyolojik uyarlanmaysa, elverişli bir mutasyonun ya da birkaç mutasyon bileşiminin, ihtiyacın ortaya çıktığı yer ve zamanda tesadüfen bulunuyor olmasına dayanır.

FOSİL KAYITLARI BİZE NE SÖYLER?

Yeryüzünde hayat gezegenimizin tarihinin büyük bölümü boyunca var olmuştur

"Paleontologlar, geçmişte yaşamış binlerce organizmanın fosil kayıtlarını bulup incelemiştir. Bu fosillerde, nesli tükenmiş birçok organizma türünün bugün yaşayan türlerden çok farklı olduğu görülür. Fosil kayıtları, organizmaların zaman içinde birbirlerini nasıl izlediklerini, bir biçimden diğerine nasıl dönüştüklerini de gösterir."[4]

Paleontoloji, Darwin'in zamanında tam anlamıyla gelişmemiş bir bilimdi ve katmanlı kayaların jeolojik olarak nasıl bir sıra izlediği büyük ölçüde bilinmiyordu ya da bu konudaki araştırmalar yetersizdi. Dolayısıyla, Darwin büyük organizma grupları arasında ara biçimlere ender rastlanacağından yana kaygılıydı. Evrim karşıtları, o zaman da şimdi de bunu evrim kuramının bir zayıflığı olarak görmüşlerdir. Paleontolojik kayıtlardaki boşluklar bugün bile varlığını korusa da, bunların birçoğu, Darwin'in zamanından bu yana paleontologların araştırmalarıyla doldurulmuştur. Gayet iyi tarihlendirilmiş kaya dizilimlerinde bulunan yüz binlerce fosilleşmiş organizma, zaman içinde biçimlerin nasıl peş peşe geldiğini gösterir ve birçok evrimsel geçişi gözler önüne serer.

4 *Science, Evolution, and Creationism*, National Academy of Sciences and Institute of Medicine (2008)

Dünya'nın ve hayatın yaşı

Bir organizma öldüğünde, genellikle bakteriler ve başka organizmalar, ayrıca hava koşullarındaki değişiklikler tarafından parçalanır. Çok ender bazı durumlarda, bedenin bazı kısımları (özellikle de kabuklar, dişler ve kemikler gibi sert kısımları) çamura gömülür ya da başka bir biçimde avcılardan, çürümeden, hava koşullarından korunur; bu kısımlar, içlerine gömüldükleri kayaların içinde sonsuza dek korunabilirler. (Çamur ve başka çökeltiler zaman içinde kireçtaşına ve başka kaya türlerine dönüşebilir.) Radyometrik tarihlendirme (bazı minerallerde bulunan radyoaktif atom miktarının ölçülmesi) gibi yöntemler, kayalar ve onlarla ilişkili fosillerin ne zaman oluştuklarını tahmin etmeyi mümkün kılmıştır.

Radyometrik tarihlendirme, yeryüzünün yaklaşık 4,5 milyar yıl önce oluştuğunu gösterir. Bilinen en eski fosiller kısa süre önce keşfedilmiştir ve yaklaşık 3,4 milyar yıl öncesine aittirler. Yaklaşık 700 milyon yaşındaki bilinen en eski hayvan fosilleri Ediacara faunasına, yumuşak bedenleri olan küçük solucan benzeri yaratıklara aittir. Birçok hayvan filumuna ait olan ve mineralleşmiş iskeletler gösteren çok sayıda fosil yaklaşık 540 milyon yaşındaki, Kambriyen olarak bilinen jeolojik döneme ait kayalarda görülür. (Filum, kafadan bacaklılar ya da sırt iplikliler gibi büyük bir organizma grubudur.) Bu organizmalar, bugün yaşayan canlılardan ve ara dönemlerde yaşayanlardan farklıdır. Bazıları o kadar kökten farklılıklar gösterirler ki, paleontologların onları sınıflandırmak için yeni filumlar yaratmaları gerekmiştir. İlk omurgalılar (kordalı filumu, yani kordalılar) 400 milyon yıl önce, ilk memeliler 200 milyon yıldan önce ortaya çıkmıştır. Hayatın fosillere kaydedilmiş tarihi, evrime dair ikna edici kanıtlar sunar.

En basit biçimiyle mikrobiyal hayat (yani prokaryotlar, çekirdek maddeleri bir çekirdek zarıyla kaplanmamış hücreler), 3 milyar yılı aşkın bir süre öncesinden beri varlık göstermektedir. Daha karmaşık organizmaların (örneğin gerçek bir çekirdeği

olan ökaryot hücrelerin) varlığını akla getiren en eski kanıtlar, yaklaşık 1,4 milyar yaşındaki çakmaktaşlarında gizli olan fosillerde keşfedilmiştir, ama bu kadar karmaşık hücrelerin 2 milyar yıl kadar önce doğduğu sanılmaktadır. Gerçek algler, mantarlar, daha yüksek bitki ve hayvanlara ait daha ileri biçimler sadece daha genç jeolojik katmanlarda bulunmuştur. Şu liste giderek karmaşıklaşan hayat biçimlerinin ortaya çıkma sırasını göstermektedir:

HAYAT BİÇİMİ	BİLİNEN İLK ORTAYA ÇIKIŞINDAN İTİBAREN GEÇEN SÜRE (MİLYON YIL)
Mikrobiyal (prokaryot hücreler)	3.500
Karmaşık (ökaryot hücreler)	1.400-2.000
İlk çok hücreli hayvanlar	670
Kabuklu hayvanlar	540
Omurgalılar (basit balıklar)	490
Amfibiler	350
Sürüngenler	310
Memeliler	200
İnsan dışı primatlar	60
İlk kuyruksuz maymunlar	25
Australopithecine atalar	5
Homo sapiens (modern insanlar)	0,15 (150.000 yıl)

Gözlenen biçimlerin sırası ve listenin ilk sırasında yer alan organizmalar (prokaryotlar) dışında bütün organizmaların aynı basit hücre tipinde oluşuyor olması, bütün bu büyük hayat kategorilerinin (hayvanlar, bitkiler ve mantarlar dahil) ilk ökaryot hücrede ortak bir atası olduğunu kuvvetle ima eder. Ayrıca balıklar ve amfibiler, amfibiler ve sürüngenler, sürüngenler ve memeliler, hatta kuyruklu maymunlardan insanlara uzanan primat soyu boyunca o kadar fazla ara biçim keşfedilmiştir ki, bir cinsten diğerine ya da bir türden diğerine dönüşümün sınıfsal olarak

nerede gerçekleştiğini saptamak genellikle zordur. Neredeyse bütün fosiller, bir anlamda ara biçim olarak görülebilir; kendilerinden önce gelen ata biçimlerle sonra gelen biçimler arasında yer almış hayat biçimleridir.

Böylece, fosil kayıtları zaman içinde sistematik değişime, yani değişimle türemeye dair ikna edici kanıtlar sunar. Bu tutarlı kanıtlar bütününden hareketle, gelecekteki paleontolojik çalışmalarda hiçbir geri dönüşe rastlanmayacağı tahmininde bulunulabilir. Yani, amfibilere balıklardan önce, memelilere sürüngenlerden önce rastlanmayacaktır; jeolojik kayıtlarda, en eski ökaryot hücrelerden önce karmaşık bir hayat görülmeyecektir.

Bazı yaratılışçılar jeolojik kayıtların, düzenli fosil sıralamasıyla birkaç bin yıl önce yaşanmış, bir yıldan biraz kısa sürmüş ve en yüksek dağları yedi metrelik bir derinliğin altında bırakmış tek bir evrensel tufanın ürünü olduğunu iddia etmiş olsalar da, gelgitler arasındaki ve karadaki çökeltilerde geçmişte, gezegenin tamamının su altında olduğunu gösteren bir kanıt yoktur. Ayrıca, bir araya geldiklerinde kilometrelerce kalınlıkta olan mevcut katmanları çökelti halinde bırakacak kadar büyük bir genel tufanın gerçekleşmiş olması, Dünya'nın üzerinde ve içinde, en azından bilinen ilk katı kabuğun yaklaşık dört milyar yıl önce oluşumundan beri mevcut olmuş su hacminden çok daha büyük hacimlerde su olmasını gerektirirdi. Bütün bu çökeltilerin içlerindeki fosillerle birlikte düzenli bir sıra içinde sadece bir yıl içinde çökeldiği inancı, bütün jeolojik gözlemlere ve fiziksel ilkelere aykırıdır. Yağış seviyesinin olağanüstü derecede yüksek olduğu, yerleşim alanlarının büyük seller altında kaldığı dönemler olmuştur, ama dağların yüksekliğini aşan genel bir tufan olduğuna dair bilimsel bir kanıt yoktur.

Fosiller

Biyolojik evrimi destekleyen ikna edici kanıtları ileri süren, herkesten önce Darwin olmuşsa da, ondan önceki bilim insanları

da yeryüzündeki organizmaların uzun süreler zarfında sistematik olarak değiştiğini fark etmişlerdi. Örneğin, 1799'da William Smith isimli bir mühendis, bozulmamış kaya katmanlarında fosillerin belirli bir sıralamayla bulunduğunu, daha modern görünenlerin en tepeye daha yakında yer aldığını bildirmişti. Alttaki kaya katmanları mantıken daha erken bir tarihte oluştuğundan, bu yüzden de üstteki katmanlardan daha yaşlı olduğundan, fosillerin sıralamasına en eskiden en yeniye doğru uzanan bir kronoloji verilebilirdi. Smith'in bulguları doğrulandı ve 1830'larda paleontolog William Lonsdale tarafından genişletildi; Lonsdale, daha alt katmanlardaki fosil kalıntıların daha yukarıdakilerden ilkel olduğunu anlamıştı. Georges Cuvier genellikle, paleontolojinin kurucu babası olarak görülür. On dokuzuncu yüzyıl başında, Paris'te Doğa Bilimleri Ulusal Müzesi'nin öğretim üyelerinden biri olarak, o tarihlerde mevcut en kapsamlı fosil koleksiyonuna erişme şansına sahipti. Bugün yaşayanlardan farklı olan hayvan fosillerinin, bugünkü türlerin atalarından ziyade, nesli tükenmiş türleri temsil ettiği konusunda sertti. Darwin'in yaşça kendisinden büyük olan çağdaşı Sir Charles Lyell, *Principles of Geology*'de (1830-3) (*Jeolojinin Prensipleri*), Dünya'nın fiziksel özelliklerinin, o sıralarda yaygın olarak inanıldığı üzere Yaratılış'tan beri geçen birkaç bin yılla kıyaslanamayacak kadar uzun, muazzam süreler zarfında etkili olan büyük jeolojik süreçlerin sonucu olduğunu ileri sürmüştü. Bugün, fosil organizmaların birbirini izlemesine denk düşen binlerce antik kaya katmanı tanımlanmıştır.

Dolayısıyla, fosillerin genel dizilimi, Darwin'in değişimle türeme ya da daha sıklıkla dile getirdiğimiz üzere doğal seçilimle evrim kuramını geliştirmesinden önce anlaşılmıştı. Darwin'den önceki paleontologlar ve jeologlar (Charles Lyell de dahil olmak üzere) kayalardaki fosil dizilimlerini biyolojik evrimin kanıtı olarak değil, çoğunlukla depremler ve başka kuvvetlerle yapısal olarak bozulan kaya katmanlarının ilk dizilimini incelemekte kullanmışlardı. Buna rağmen, Darwin'in zamanında, paleonto-

loji hâlâ ilkel bir bilimdi. Katmanlı kayaların jeolojik dizilimi büyük ölçüde bilinmiyordu ya da yeterince incelenmemişti.

Fosil kayıtları hâlâ eksiktir. Fosil olarak korunan küçük bir bölüm organizmadan sadece minicik bir bölüm, paleontologlar tarafından kurtarılıp incelenmiştir. Gerçi sayılamayacak kadar çok örnekte, biçimlerin zaman içinde birbirini izlemesi, hatırı sayılır derecede ayrıntılı bir biçimde yeniden inşa edilmiştir. Örneklerden biri atın evrimidir, bu evrimin izleri köpek boyutlarında, her ayağında birkaç parmağı olan, geviş getirmeye uygun dişlere sahip (filizleri, sürgünleri, ağaçların yapraklarını ve fundaları yiyen) bir hayvana dek götürülebilir; şafak atı denilen (bilimsel adıyla *Hyracotherium*) bu hayvan, 50 milyon yılı aşkın bir süre önce yaşamıştı. En yakın tarihli biçimi, modern at (*Equus*) çok daha büyüktür, tek toynaklıdır ve otlamaya uygun dişlere sahiptir (büyümekte olan bitkileri yer). Geçiş biçimleri fosil olarak iyi korunmuştur, farklı yönlerde evrilen, geride yaşayan bir soy bırakmamış, tükenmiş başka at türlerinin fosilleri de öyle (bkz. *Evrim Rastgele Bir Süreç Midir?*).

Paleontologlar fosilleri kullanarak, biçimsel ve işlevsel olarak radikal evrimsel geçiş örneklerini yeniden kurmuşlardır. Örneğin, sürüngenlerin alt çenesi birkaç kemikten oluşur, ama memelilerin çenesinde sadece bir kemik vardır. Sürüngen çenesindeki diğer kemikler, bugün memelilerin kulağında bulunan kemiklere evrilmiştir. İlk başta, böyle bir değişim ihtimal dışı görünebilir; bu gibi kemiklerin ara aşamalarda nasıl bir işlevi olacağını tahayyül etmek zordur. Gerçi paleontologlar, terapsid denilen memeli benzeri sürüngenlere ait, iki çene eklemi olan (yani yan yana iki birleşme noktası olan) iki geçiş biçimi keşfetmiştir; bir eklem memeli çenesinde varlığını sürdüren kemiklerden oluşur, diğeriyse nihayetinde memeli kulağında çekiç ve örs haline gelen dördül ve eklemsel kemiklerden oluşur.

Archaeopteryx ve Tiktaalik

Yıllar içinde çeşitli organizmalar arasında birçok ara fosil keşfedilmiştir. Medyada son dönemde ilgi çeken iki örnek, sürüngenler ve kuşlar arasında ara bir form olan *Archaeopteryx* ile balıklar ve tetrapodlar (dört uzuvlu hayvanlar) arasında ara bir form olan *Tiktaalik*'tir.

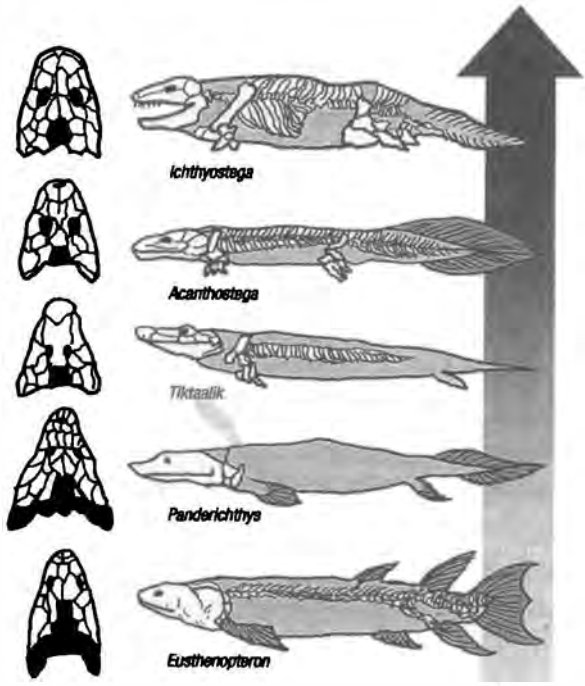
İlk *Archaeopteryx* 1861'de, Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nin yayınlanmasından iki yıl sonra Bavyera'da keşfedilmiş ve kuşların kökenini aydınlattığı ve Darwin'in kayıp halkaların varlığıyla ilgili postülasını güçlendirdiği için büyük ilgi çekmiştir. Geçen yüzyıl içinde, başka *Archaeopteryx* numuneleri de keşfedilmiştir. Bugüne kadar keşfedilmiş onuncu numune olan en yakın tarihlisi Aralık 2005'te tanımlanmıştır. Bugüne kadar en iyi korunmuş numune olan bu fosil, bugün Wyoming'deki Thermopolis'te küçük özel bir müzede korunmaktadır. Tetrapod benzeri balık *Tiktaalik* de çok yakın tarihli bir keşiftir, varlığı daha 6 Nisan 2006'da yayınlanmıştır.

Geç Jurassic döneminde, yaklaşık 150 milyon yıl önce yaşamış olan *Archaeopteryx*, hem uçucu hem sürüngen özellikler gösteriyordu. Bilinen bütün fosiller küçüktür, karga büyüklüğündedir ve daha küçük iki ayaklı dinozorlarla birçok ortak anatomik özellik gösterir. İskelet sürüngen iskeletine benzer, ama *Archaeopteryx*'in tüylerinin, kuşunkine benzer bir kafatası ve gagası olduğu fosillerden açıkça bellidir.

Paleontologlar, tetrapodların (amfibiler, sürüngenler, kuşlar ve memelilerin) yuvarlak yüzgeçli denilen özel bir balık grubundan evrildiğini bir asrı aşkın bir süredir biliyor. Kısa süre öncesine kadar, *Panderichtys* tetrapodlara en yakın bilinen balık türüydü. Biraz krokodil şeklindeydi ve göğüs yüzgeci iskeleti ile omuz kemerinin şekli, tipik yuvarlak yüzgeçli balıklar ile tetrapodlar arasında bir şekildeydi, bu form sığ sularda "yürümesini" mümkün kılıyordu, ama muhtemelen karada yürüyemiyordu. Ne var ki çoğu özelliği itibarıyla, bir tetrapoddan çok bir balığa

benziyordu. *Panderichtys* 385 milyon yıl kadar önce (Orta Devonyen dönemi) yaşadığı Letonya'da bulunmuştur.

Çok kısa bir süre öncesine kadar, balığa daha çok benzeyen ilk tetrapod fosilleri de Devonyen dönemine, yaklaşık 376 milyon yıl öncesine aitti. İskoçya ve Letonya'da bulunmuşlardı. Grönland'da bulunan, daha yakın bir dönemde, yaklaşık 365 milyon yıl önce yaşamış *Ichthyostaga* ve *Acanthostega* gayet açık bir şekilde tetrapoddur, balık atalarından kanat kılçıklarıyla gerçek balık kuyrukları gibi özellikler almış olsalar da parmaklı uzuvları vardı. Dolayısıyla, tetrapod benzeri çoğu balık ve çoğu balık benzeri tetrapod arasındaki zaman aralığı yaklaşık 10 milyon yıldır, 385 milyon yıl ile 376 milyon yıl öncesi arasındadır.



BALIK İLE *TETRAPODLAR* [DÖRT UZUVLU HAYVANLAR] ARASINDA YER ALAN, 385 [*EUSTHEROPTERON*] İLA 359 [*ICHTHYOSTEGA*] MİLYON YIL ÖNCE YAŞAMIŞ DİĞER ARA FOSİL TÜRLERİ.

Son dönemde keşfedilmiş olan *Tiktaalik*, bu açığı kapatma yolunda epey mesafe kaydeder, balıklar ile tetrapodlar arasındaki bugüne kadar bilinen en yakın ara formdur. Birkaç numunesi, Kanada'nın arktik bölgesinde Nunavut'taki Ellesmere Adası'nda, Geç Devonyen devrine ait, yaklaşık 380 milyon yıl öncesinden kalma nehir çökeltilerinde bulunmuştur. *Tiktaalik*, İnuit dilinde "büyük tatlısu balığı" anlamına gelir. Ona balık ile tetrapodlar arasında tahayyül edilebilecek kadar büyük bir kesinlikle bir ara form niteliği kazandıran bir dizi özellik taşımasının yanı sıra, aradaki zaman boşluğunu da gayet iyi doldurur.

Neslin tükenmesi

Dünya üzerinde bugün yaşayan ya da herhangi bir zaman yaşamış olan türlerin sayısı, geçmişte ortaya çıkmış türlerle nesli tükenmiş türler arasındaki dengeyi yansıtır. Geçmişteki birçok tuhaf ve acayip hayvan, fosil kayıtlarıyla gözler önüne serilmiştir: Dinozorlar, amonitler, trilobitler ve başka birçokları. Paleontologların tahminlerine göre, geçmişte yaşamış bütün türlerin yüzde 99,9'undan fazlasının nesli tükenmiştir. Bu da insanın aklını başına getiren bir düşünce doğurur. Bugün Dünya üzerinde yaşayan türlerin (bakteriler ve archaea dışında) sayısı tahminen 10 milyonu aşkındır. Bu rakam bugüne kadar mevcut olmuş toplamın yüzde 1'ini temsil ediyorsa, gelmiş geçmiş toplam tür sayısı tahminen 1 milyardır; sadece yüzde 0,1'i temsil ediyorsa, Dünya üzerinde yaşamış türlerin sayısı 10 milyarı bulacaktır. Neden bu kadar fazla türün nesli tükenmiştir?

Doğal seçilim, baskın koşullara uyumu iyileştirmek ya da korumak için hareket eder. Çevre koşullarındaki değişim çok yavaş olursa, seçilim yüksek bir uyarlanma düzeyini koruyabilir. Ne var ki uyarlanmalar gelecekteki değil, mevcut koşullar için seçilir. Çevre koşullarındaki değişim, organizmalar söz konusu olduğunda, çevre koşullarının bozulması demektir. Çevre koşullarındaki değişim kesintisiz olduğundan, türlerin tükenmesinin

süreklilik göstermesini, daha büyük ve daha hızlı değişimlerin yaşandığı dönemlerde yoğunluğunun artmasını bekleriz.

Paleontologlar iki tür tükenme örüntüsü tanımlar. Biri türün devam etmekte olan çevre koşullarındaki, sadece fiziksel çevrede değil, rakipler, parazitler ve avcılar da dahil olmak üzere biyotik çevrede meydana gelen değişim sürecine uyum sağlamaktaki başarısızlığını yansıtan "arka plan tükenmesi" örüntüsüdür. Ama ayrıca, çok büyük sayıda taksonun, hatta bazı örneklerde çoğunluğun (jeolojik ölçekle) nispeten kısa bir süre zarfında tükendiği "kitlesel tükenişler" de söz konusudur.

Hayvanlarda genel olarak beş kitlesel tükeniş bilinir, bu tükenişler Ordovisyen devrinde, Devonyen devrinin sonunda, Permiyan ve Triassic devirlerinin sınırında, Triassic devrinin sonunda ve Cretaceous ile Tertiary devirleri arasında meydana gelmiştir. Bu beş kitlesel tükenişe tekabül eden tarihler sırasıyla, yaklaşık olarak 440, 370, 260, 200 ve 65 milyon yıl öncesidir. Bu tükenişlerin hepsi de aynı ölçüde ciddi değildi, hiçbirinde de bütün hayvan taksonları tükenişten aynı ölçüde etkilenmemiştir. En ciddi kitlesel tükeniş, yaklaşık 260 milyon yıl önce Permiyen ve Triassic devirlerinin sınırında yaşanmış olan trilobitlerin tükendiği, mercanlar, brachiopodlar (kolsu ayaklılar) ve crinoidlerin (denizlaleleri) tükenmeye yaklaştığı örnektir. Permiyen ve Triassic sınırında, tahminen deniz familyalarının yüzde 54'ü, cinslerin yüzde 84'ü, türlerin de yüzde 80-90'ı tükenmiştir.

Kitlesel tükenişin nedenleri büyük ölçüde konjonktüreldir. Gezegenin her tarafındaki büyük volkanik patlamalar, Permiyen-Triassic sınırında meydana gelen ve küresel ısınmayla da ilişkili olan tükenişin muhtemel sebepleri arasında görülmektedir. K/T tükenişi özellikle ilginçtir. 1980'de, bu tükenişe Dünya dışından gelen bir cismin etkisinin yol açtığı, atmosferde kalın bir toz tabakası oluştuğu, gökyüzünün karardığı ve ısının düştüğü ileri sürülmüştü. Bu kurama göre, büyük kara hayvanlarının, özellikle de dinozorların nesli tükenmiştir. O sıralarda mevcut küçük memeliler daha iyi dayanmış, bazıları hayatta kalmıştır.

Atmosferin durumu düzeldikçe, memeliler çeşitlenmiş, daha geniş taksonlar oluşmuş, en önemlisi primatlar ve insanlar ortaya çıkmıştır. Jeologlar, Meksika'da Yucatan Yarımadası sahilindeki Chicxulub kraterini, bu çarpmanın meydana geldiği yer olarak tanımlamıştır.

Düşünün bir. Dinozorlar Dünya'ya hükmediyor, görünüşe bakılırsa, başka büyük hayvanların evrimini engelliyorlar. Bazı evrimcilere göre, dinozorların tükenişi, önceden mevcut olan küçük memelilerin boyut ve başka bakımlardan çeşitlenmesini mümkün kılmıştır. Eğer böyleyse, biz insanlar varlığımızı bir göktaşına borçluyuz. Bu göktaşının etkisi, primatların ve nihayetinde insanların evrilmesini mümkün kılmıştır.

KAYIP HALKA NEDİR?
İnsan ataların hikayesi

Darwin doğal seçilimle evrim kuramını, Türlerin Kökeni*'nden 12 yıl sonra, 1871'de yayınladığı* İnsanın Türeyişi*'nde, insana taşımıştı. İnsanlar ile kuyruksuz maymunlar arasında gelen fosillerin, Darwin'i eleştirenlerin ileri sürdüğü üzere "kayıp halkaların" keşfedilmesi gerekiyordu. Kayıp halka artık kayıp değildir. Darwin'in zamanından bu yana, binlerce ara fosil kalıntısı ("hominid" olarak bilinirler) keşfedilmiştir ve keşif hızı da ivmelenmektedir.*

İnsan, insan olmayan türlerden evrilmiş biyolojik bir türdür. En yakın biyolojik akrabalarımız başta, bizimle gorillerden, hatta orangutanlarla olduğundan çok daha yakın akraba olan şempanzeler olmak üzere, büyük kuyruksuz maymunlardır. Hominid soyu 6-7 milyon yıl önce şempanze soyundan ayrılmış ve yaklaşık olarak 1,8 milyon yıl önce *Homo erectus*'un ortaya çıkışına kadar, Afrika kıtasında ayrı olarak evrilmiştir.

Kayıp halka

Darwin'in evrim kuramı, insanların ve kuyruksuz maymunların, insan olmayan ortak ataları paylaştığını ileri sürüyordu. Çağdaşlarıysa, "kayıp halka"nın, yani kuyruksuz maymunlarla insanlar arasındaki ara organizma ya da organizmaların nerede olduğunu soruyordu. Soyumuzun şempanze soyundan ayrılması sonrasında, insanın atası olan primatlara hominid (ya da hominin) denir. Darwin 1882'de öldüğünde, modern insanların atası olan hominidlere ait hiç fosil bulunamamıştı, gerçi Darwin nihayetinde bu fosillerin bulunacağına kaniydi.

İlk hominid fosilleri 1889'da Hollandalı doktor Eugene Dubois tarafından Java adasında bulundu. Bu fosil bir femurdan ve bir kafatasından oluşuyordu. Dubois, insan anatomisinde uzman olduğundan, bunların iki ayak üzerinde yürüyen bir bireye ait olduğunu anlamıştı, femur modern insanın femuruna çok benziyordu. Ama küçük kafatasının kapasitesi yaklaşık olarak 850-900 santimetreküp civarındaydı, 900 gramdan daha ağır olmayan bir beyni taşıyabilirdi, modern insan kafatasıysa yaklaşık 1300-1400 santimetreküp civarındadır (beyni yaklaşık 1360 gramdır). Dubois'nın keşfettiği fosil, yaklaşık 1,8 milyon yıl önce yaşamış, bugün *Homo erectus* türünde sınıflandırılan bir bireye aitti. Bizim türümüze *Homo sapiens* denir.

"Kayıp halka" artık kayıp değildir. Java'da bulunan fosil bir ilkti, ama yirminci ve yirmi birinci yüzyıllarda, Afrika, Asya ve Avrupa'da binlerce hominide ait binlerce fosil bulundu, bu keşifler hâlâ da devam etmektedir. Bu fosiller incelenmiş, radyometrik tarihlendirme ve başka yöntemler kullanılarak tarihlendirilmiştir. Bazı hominid fosilleri başka fosillerden, ayrıca insanlardan çok farklıdır, ayrı bir tür olarak sınıflandırılmışlardır. Farklı tarihlerde yaşamış hominidlere ait fosillerin kayıtları, insan olmayan atalardan modern insanlara uzanan soyda zaman içinde birkaç değişiklik meydana geldiğini göstermektedir. Bu değişikliklerden biri, beden büyüklüğünün artması olmuştur; en önemlisi de kafatası kapasitesinin (ve beyin büyüklüğünün) artmasıdır. Türlerin isimleri biraz egzotiktir, kimi zaman fosillerin bulunduğu yerlere, morfolojik özelliklerine göndermede bulunulur, kimi zaman da keşfedenler kendi arzularına göre bir isim belirler.

Hominid atalar

Hominid atalarımızın sıralamasını ortaya çıkarma ve atalarımızın soyunu artık nesli tükenmiş paralel soylardan ayırma işi ağır bir iştir. Binlerce hominid fosili keşfedilmiş olsa da, bunlar parçalanmıştır, coğrafi ayrımları ve zamansal dizilimleri de

genellikle belirsizdir. Çok daha fazla sayıda hominid keşfedilip tanımlandıkça, hominidlerin evrimine dair ortaya çıkan tablo değişme eğilimi göstermektedir, gerçi bazı soylar ve soylar arasındaki paralel ilişkiler çoğu uzman tarafından kabul edilmiştir. Antropologlar, soy sıralamasını tesis etmenin yanı sıra, özelliklerin evrilerek gittikçe daha insana benzer bir hal alması (ya da paralel soylarda insana benzer bir hal almaması) sürecini de belirleme çabası içindedir. Hareket, kol/el ve beyin gelişimi, başka anatomik özellikler, ayrıca beslenme, aile örgütlenmesi, coğrafi dağılım ve başka birçok mesele araştırılmaktadır.

Bilinen en eski fosil hominidler *Orrorin tugenensis* ve *Sahelanthropus tchadensis*'tir, ikisi de yirmi birinci yüzyılın başlarında (2001-2002) tanımlanmıştır. Bu hominidler yaklaşık altı-yedi milyon yıl önce yaşamıştır ve anatomileri, yere bastıklarında büyük bir çoğunlukla iki ayak üzerinde durduklarını, ama beyinlerinin çok küçük, muhtemelen şempanze beyni büyüklüğünde olduğunu göstermektedir. *O. tugenensis*'e ait sadece 12 numune bilinmektedir, bunlar arasında birkaç diş, çene kemiği parçaları, kol ve bacak kemikleri yer almaktadır. *S. tchadensis*'e ait bilinen kalıntılar da belirsizdir: Bir kafatası, iki çene kemiği parçası ve birkaç dişten oluşan dokuz numune vardır.

Ardipithecus kadabba ve *Ardipithecus ramidus* daha yakın dönemde, 4.5 milyon yıl ile 6 milyon yıl öncesinde yaşamıştır. Bunlar, *A. ramidus*'a ait neredeyse eksiksiz bir iskelet de dahil olmak üzere çok sayıda fosille temsil edilir, *A. ramidus*'a ait fosil, 2009'da tanımlanmıştır ve Afrika'da bulunduğu yer olan Aramis'e atıfla, ARAVP-6/500 olarak bilinmektedir. Bu fosiller, ağaçlara tırmanma ile yerdeyken iki ayak üzerinde yürümenin davranışsal bir karışım oluşturduğunu göstermektedir.

Yaklaşık olarak 4 milyon yıl önce yaşamış *Australopithecus*'a ait, Afrika'nın çeşitli yerlerinde keşfedilmiş çok sayıda fosil bulunmaktadır. *Australopithecus*, insan gibi dik duruyordu, ama kafatası kapasitesi yaklaşık 453 gramdı, yani bir goril ya da şempanzeninki kadardı ve modern insanların kafatası kapasitesinin

yaklaşık üçte birine sahipti. Kafatasında, kuyruksuz maymunlar ve insanlara ait özelliklerin bir karışımı görülür: Dar bir alın, uzun, maymunsu bir yüz, ama insanlarınkiyle oranlı dişler. *Australopithecus*'la kısmen çağdaş olan diğer erken hominidler arasında, *Kenyanthropus* ve *Paranthropus* yer alır; ikisinin de beyinleri nispeten küçüktür, gerçi bazı *Paranthropus* türlerinin bedenleri daha büyüktür. *Kenyanthropus* ve *Paranthropus* hominid soyunun artık nesli tükenmiş yan kollarını temsil eder.

Lucy

1976'da, dünya Lucy'yle tanıştı, *Australopithecus afarensis* olarak sınıflandırılan, iki ayak üzerinde yürüyen, küçük beyinli ve yaklaşık bir metre boyundaki hominid bir atanın fosil kalıntılarına bu isim verilmişti. Lucy ünlü olmuştu, çünkü 38 yıl önce keşfedildiği yerde, bu genç kadının iskeletinin yaklaşık yüzde 40'ı bulunmuştu. Uzmanlar, 3 milyon yıl öncesiyle 3,6 milyon yıl öncesi arasında yaşamış bu *A. afarensis*'in, modern insanlara doğru ilerleyen soy üzerinde yer aldığı konusunda genellikle hemfikirdir.

A. afarensis'ten çok daha yakın bir tarihte yaşamış olan, bugüne kadar keşfedilmiş ilk *Australopithecus* türü olan *Australopithecus africanus* da kısa boylu ve küçük beyinliydi. Ama *A. africanus* bizim atamız değildir, daha ziyade paralel hatta yer alan bir akrabamızdır, *Australopithecus* (*Paranthropus*) *robustus*un ve paralel soylarda yer alan, ata soyumuzdan farklılaştıktan sonra 2 milyon yıl ya da daha fazla yaşamış, böylece Afrika'da bazı atalarımızla (*A. afarensis, H. habilis* ve *H. erectus,* aşağıya bkz.) birlikte var olmuş diğer hominidlerin olası atalarından biridir. Yan soylardaki bu akrabaların bazıları biraz daha uzun boylu, biraz daha güçlü olmuştur, ama beyinleri en fazla 500-600 santimetreküp civarında olup (680 gramdan daha hafif) küçük kalmıştır.

3,9-4,2 milyon yıl önce yaşamış olan *Australopithecus anamensis*, genellikle en erken belirleyici örneği yaklaşık 3,6 mil-

yon yıl öncesine tarihlendirilen *A. afarensis*'in atası olan bir tür olarak varsayılır. Etiyopya'nın Afar bölgesinde bulunmuş, 4,12 milyon yıl öncesine tarihlendirilen en az sekiz bireyi temsil eden 30 hominid numunesinin analiz edilmesi ve bu analizin 13 Nisan 2006'da yayınlanması, *A. anamensis*'in *A. afarensis*'in atası olduğu yorumunu desteklemektedir. Ayrıca bu yeni fosiller, *Ardipithecus*'un *A. anamensis* ve sonraki bütün *australopithecus*'ların en olası atası olduğunu düşündürmektedir. Bu fosillere göre, Etiyopya'nın bu bölgesinde *Ardipithecus*'tan *Australopithecus*'a doğru nispeten hızlı bir evrim yaşanmıştır.

Homo habilis olarak sınıflandırılan hominidler bize daha çok benzer, *Homo habilis* bizimle aynı cinste sınıflandırılan en erken türdür. *Homo habilis* bireyleri çok basit taş aletler yapıyorlardı, bunu yapabilen ilk hominidlerdi, Latince "becerikli", "eli işe yatkın" anlamına gelen *habilis* sözcüğüyle adlandırılmalarının sebebi budur. İlk *H. habilis*'in yaklaşık 600 santimetreküplük bir kafatası kapasitesi vardı, daha önceki hominidlerden biraz daha geniş ve büyüktü, ama modern insanların beyin büyüklüğünün yaklaşık yarısı ya da yarısından azı kadar büyüklükte bir beyni vardı. *Homo habilis*, 2,5 milyon yıl öncesiyle 1,5 milyon yıl öncesi arasında, Afrika'nın tropikal bölgelerinde yaşamıştı. *Homo habilis*'te, insan teknolojisinin heyecan verici başlangıçlarını görebiliriz.

Homo habilis'in 1960'ların başında keşfedilmesi, hominidlerin evrimine dair kavrayışı değiştirdi. *Australopithecus*'la karşılaştırıldığında, *Homo habilis*, kafatasında ve diş yapısında meydana gelen değişiklikleri ortaya koyan özellikler gösterir. Yüz yapısında çenesi pek çıkıntılı değildir ve kafatası kapasitesi ise daha geniştir. Çiğneme aygıtı daha küçüktür (özellikle de azı dişleri ve küçük azı dişleri) ve diş mineleri de biraz daha incedir. Bu diş kemerinin şekli, sonraki *Homo* numunelerinde olduğu gibi paraboliktir. Bazı paleontologlar, *H. habilis* numunelerinin *Australopithecus* olarak sınıflandırılması gerektiğini düşünüyorlardı. Diğerleriyse, *H. erectus* olarak sınıflandırılması gerektiği kanısındaydı.

H. habilis'le ilgili bu karşıt görüşler bir bakıma bu tez lehine ileri sürülebilecek en iyi argümanlardır. Yeni numuneler, ara bir morfoloji gösteriyordu, şu ya da bu tarafa dahil edilmeleri benzerlikler ve farklılıklara yapılan vurguya bağlıydı. Yeni numuneler, tam bir fikir birliğiyle *Australopithecus* ya da *H. erectus* olarak sınıflandırılamıyordu. Yeni bir türe gerek vardı, ama neden *Homo* cinsinde?

Bu cins, morfolojik özellikler dışındaki özelliklerle, daha açık bir deyişle leş karıştırmak ve avlanmak için kullanılan aygıtların üretimiyle ilişkilendirilmiştir. Bu davranış biçimi, böyle işler için gerekli karmaşık bilişsel işlevleri yerine getirebilecek kadar büyük bir beyin gerektirir. Bu yeni taksonun varlığını savunanlar, *H. habilis*'in Oldowan kültürünün (Olduvai'de ortaya çıkan taş işçiliği) gerçek sahipleri olduğunu ileri sürüyordu. *Homo*, uyarlanmacı bir strateji olarak taş alet yapımını başlatan cins olacaktı, *H. habilis* de bu cinsin ilk temsilcisi.

Homo habilis'i, Afrika'da 1,8 milyon yıl önce evrilen, 800-1100 santimetreküplük bir kafatası kapasitesine sahip (900-1130 gram) olan ve *Homo habilis*'ten daha ileri aygıtlar yapan *Homo erectus* izledi. *Homo erectus*'un iki özelliği üzerinde özellikle durmaya değer. Biri, bu türün (çeşitli zamanlar ve yerlerde nispeten küçük morfolojik değişiklikler göstererek) uzun bir süre boyunca, 1,8 milyon yıl öncesinden yaklaşık 400.000 yıl öncesine kadar varlığını korumuş olmasıdır. *Homo erectus* hominidlerin ikinci bir ayrıksı özelliğiyse, hominid atalarımız arasında ilk kıtalar arası seyahati yapanların onlar olmasıdır. *Homo erectus*, Afrika'da ortaya çıkmasından kısa bir süre sonra Avrupa ve Asya'ya yayıldı, kuzey Çin ve Endonezya'ya (Eugene Dubois'nın ilk hominid fosillerini keşfettiği Java'ya) kadar uzandı. Endonezya'da bulunan *Homo erectus* fosillerinin 1,81 ile 1,66 milyon yıl öncesi arasındaki bir tarihe; Gürcistan'da (Avrupa'da, Asya sınırına yakın) bulunanlarınsa 1,6 ile 1,8 milyon yıl öncesi arasındaki bir tarihe ait olduğu saptanmıştır.

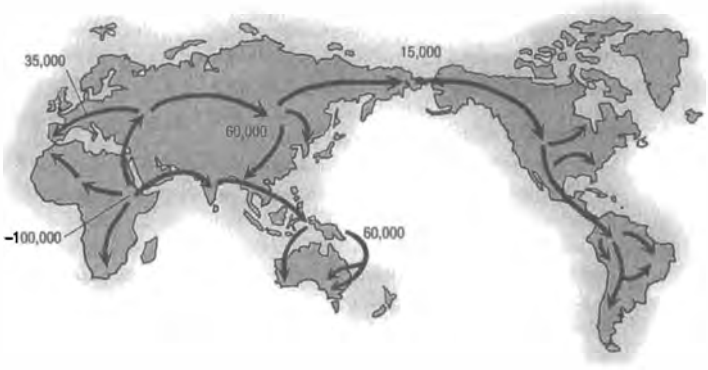
Afrika, Avrupa ve Asya'da, 1,8 milyon ile 500.000 yıl öncesi

arasında, birkaç hominid türü yaşamıştır. Bunlar *Homo ergaster, Homo antecessor* ve *Homo heidelbergensis* olarak bilinir, beyinlerinin büyüklüğü kabaca *Homo erectus*'unki kadardır. Bu türlerin bazıları kısmen çağdaştır, ama Eski Dünya'nın farklı bölgelerinde yaşamışlardır. Bu numuneler kimi zaman *Homo erectus sensu lato* ("geniş anlamda" anlamında) adı altında toplanır.

Modern insanlar

Homo erectus'tan sonra evrilen iki hominid türü, *Homo neanderthalensis* ile *Homo sapiens*'tir, yani bizim türümüzdür. Avrupa'da çok sayıda *Homo neanderthalensis* ("Neandertal insanı") fosili bulunmuştur. *Homo neanderthalensis*, Avrupa'da ilk kez 200.000 yıl önce ortaya çıkmış, 30.000 yıl önce de nesli tükenmiştir. En yakın tarihli *Homo neanderthalensis* fosilleri, görünüşe bakılırsa son kez kalabalık olarak görüldükleri İspanya'da bulunmuştur. Neanderthallerin, bizimkine çok benzeyen büyük beyinleri vardır, bedenleri de bizimkine benzer, ama biraz daha tıknazdırlar.

Homo erectus'un *Homo sapiens*'e evrimi 400.000 yıl önce başlamış olabilir, "arkaik" *Homo sapiens* formları olarak değerlendirilen fosillerin bu tarihlere ait olduğu bulunmuştur. Anatomik bakımdan modern insanlar yaklaşık olarak 200.000-150.000 yıl önce Afrika'da evrilmiş, nihayetinde dünyanın geri kalan bölgelerine yayılmış, diğer hominidlerin yerini almıştır. Daha önceki tarihlerde Asya ve Avrupa'da koloniler kuran *Homo erectus*'un doğrudan kendi soyundan gelen türler bırakmamıştır. (Fosil kalıntıları 2004'te Endonezya'nın Flores adasında bulunan ve 12.000-18.000 yıl önce burada yaşamış küçük hominidler olan *Homo floresiensis*, olası bir istisnadır. *Homo floresiensis* doğrudan, Asya'da yaşamış *Homo erectus*'un soyundan geliyor olabilir, gerçi bu mesele hâlâ araştırılmaktadır.)



DÜNYA KITALARINDA YERLEŞİMLERİN BAŞLAMASI SÜRECİNDE *HOMO SAPIENS*, KÖKENİ OLAN TROPİKAL AFRİKA'DAN ÇIKARAK ÖNCE AFRİKA'NIN DİĞER BÖLGELERİNE, SONRA ASYA VE AVRUPA'YA, NİHAYETİNDE AMERİKA KITALARINA ULAŞMIŞTIR. RAKAMLAR YERLEŞİM TARİHLERİNİ YIL OLARAK GÖSTERİR.

Neandertallerin anatomik olarak modern insanların ataları olduğu düşünülüyordu, ama artık, modern insanların 100.000 yılı aşkın bir süre önce, Neandertal fosillerinin ortadan kaybolmasından uzun süre önce ortaya çıktığını biliyoruz. Ortadoğu'daki mağaralarda bulunan modern insan fosillerinin, Neandertal fosillerinden hem önce hem sonra gelmesi kafa karıştırıcıdır. Bu mağaralarda bulunan bazı modern insan fosillerinin 120.000-100.000 yıl öncesine, Neandertal fosillerininse 60.000-70.000 yıl öncesine ait olduğu, onları 40.000 yıl öncesine ait modern insan fosillerinin izlediği saptanmıştır. Neanderthaller ve modern insanlar, başka bölgelerden göç yoluyla tekrar tekrar birbirlerinin yerine mi geçmiştir, yoksa bir arada mı yaşamıştır, birbirleriyle çiftleşmişler midir, bu soruların cevabı belirsizdir. (Gerçi Neandertal fosillerinden alınan DNA ile yaşayan insanlardan alınan DNA örneklerinin karşılaştırılması, Neandertaller ile çağdaşları olan anatomik olarak modern insanlar arasında hiç çiftleşme olmadığını ya da çok az olduğunu göstermektedir.)

Bazı antropologlar, *Homo erectus*'tan arkaik *Homo sapiens*'e, daha sonra da anatomik olarak modern insanlara geçişin Eski Dünya'nın çeşitli yerlerinde (Afrika, Asya ve belki de Avrupa'da)

eş zamanlı olarak gerçekleştiğini savunmuştur. Çoğu bilim insanıysa, modern insanların ilk kez Afrika'da, 100.000 yıldan biraz daha önce ortaya çıktığına, buradan dünyanın çeşitli bölgelerine yayıldığına, önceden mevcut olan *Homo erectus* ve onlarla akraba hominid türlerinin, daha sonra da *Homo neanderthalensis*'in yerini aldığına inanır. Bu Afrika'dan çıkış modelini savunanların bazıları, arkaikten modern *Homo sapiens*'e geçişin, insan nüfusunun azalıp nispeten az sayıda bireye inmesiyle ilişkili olduğunu, bu az sayıda bireyin bütün modern insanların ataları olduğunu da savunur (bkz. *Ben Gerçekten Maymun Muyum?*).

Son dönemde, yaşayan insanlardan alınan DNA örneklerinin analizi, modern *Homo sapiens*'in Afrika kökenli olduğunu ve yaklaşık 156.000 yıl önce Afrika'nın tropikal bölgelerinde yaşadığını doğrulamıştır. Bundan kısa bir süre sonra, modern insanlar Afrika'ya ve dünyanın her tarafına yayılmıştır. Güneydoğu Asya ve bugün Çin olan bölge yaklaşık 60.000 yıl önce kolonileştirilmiştir. Bundan kısa bir süre sonra, modern insanlar Avustralasya'ya ulaşmıştır. Avrupa, daha kısa bir süre önce, sadece 35.000 yıl önce kolonileştirilmiştir. Amerika ise çok daha kısa bir süre önce, muhtemelen 15.000 yıl önce kolonileştirilmiştir. Modern insan nüfusları arasındaki etnik farklılaşma, dolayısıyla, evrimsel olarak yakın tarihlidir, geçen 50.000 ila 100.000 yıl boyunca coğrafi olarak ayrılmış nüfuslar arasında farklı bir evrimin görülmesinin sonucudur.

İnsanın genetik çeşitliliği

Yüz bin yıl yaklaşık olarak 5.000-6.000 hominid kuşağını kapsar, bu süre evrim ölçeğinde uzun bir zaman değildir. Dolayısıyla, modern insanların Afrika'dan dünyanın geri kalanına yayılmaları 100.000 yıl önce başladıysa, modern zamanlarda giderek artan oranlarda meydana gelen nüfuslar arasındaki karışmayı dışarıda tutsak bile, insan nüfusları arasındaki genetik farklılaşmanın çok fazla olmamasını beklememiz gerekir.

Bilim insanları, dünyanın farklı bölgelerinde insan nüfuslarında gözlenen genetik çeşitliliğin, aynı köylerdeki insanlar arasında gözlenenden sadece yüzde 15 yüksek olduğunu keşfetmiştir. Bu, ilk bakışta şaşırtıcı görünebilir, çünkü dünyanın farklı bölgelerinde insanların görünümlerinin dikkat çekici bir farklılık sergilediğini (insan ırkları ya da etnik gruplar) biliyoruz, ama insan nüfuslarının farklılaşmasının kökenlerinin yakın tarihlere uzandığı gerçeğini dikkate aldığımızda, bu o kadar da beklenmedik bir şey değildir.

İnsan türünde gözlenen toplam genetik farklılaşmanın yüzde 85'i, aynı nüfusun bireyleri, diyelim ki aynı köyün ya da kasabanın insanları arasında gözlenir. (Başka nüfuslardan göçmenlerle çiftleşme dikkate alınmaksızın geçerli olan oran budur, göçmenlerle çiftleşme farklılaşma oranını yüzde 85'in üzerine çıkarır.) Aynı kıtada farklı bölgelerde yaşayan insanlar arasında, yaklaşık olarak yüzde 6 oranında ek farklılaşma görülür; farklı kıtalardan insanlar arasında, yüzde 9 oranında ek farklılaşmaya rastlanır.

Daha önce de işaret ettiğim üzere, insan nüfuslarının evrimsel olarak yakın tarihte yayılmış olması yüzünden, bu sonuçlar beklenebilecek sonuçlardır, ama ortak deneyimlerle çelişiyormuş gibi görünmektedirler. Tropikal bölgelerde yaşayan Afrikalıların İskandinavlardan çok farklı göründüğünü, her iki nüfusun da Japonlardan çok farklı olduğunu biliyoruz. Bu bilmecenin açıklamasının iki bileşeni vardır. Öncelikle, Afrikalı atalarımız, dünyanın geri kalan kısımlarında koloniler oluşturmaya başladıklarında genetik olarak zaten hayli farklılaşmışlardı. Bu beklenmedik bir şey değildir, çünkü çoğu hayvan türünde bu duruma rastlanır: Hayvanlar arasında genetik olarak hayli büyük farklılıklar görülür. Aslına bakarsanız, şempanzeler arasında genetik olarak insanlara nazaran daha büyük bir çeşitlilik söz konusudur, gerçi dünyadaki toplam şempanze nüfusu, toplam insan nüfusundan çok daha küçüktür. Atamız olan *Homo sapiens* nüfusları dünyanın farklı bölgelerinde koloniler oluştururken, orijinal genetik farklılaşmalarının büyük bölümünü korumuş-

lardır. İkincisi, etnik grupları ayıran deri rengi, saç rengi, doku ve yüz hatları gibi stereotip özellikler, nispeten pek az sayıda genle ilgilidir. Bu genlerin bazıları, farklı iklimlere cevaben uyarlanma olarak evrilmiştir. Örneğin, etnik gruplar arasındaki en açık farklılıklardan biri olan deri rengini bir düşünün.

Melanomlar, güneşin ultraviyole ışınlarına sürekli maruz kalmanın neden olduğu ciddi kanserlerdir. Bu yüzden de kuşaklardır düşük enlemlerde yaşayan insanların ultraviyole ışınların büyük bölümünü süzen, böylece deriyi hasardan koruyan eumelaninden (kahverengi ve siyah melanin) çok daha büyük miktarlarda üreten genleri vardır. Öte yandan, D vitamininin derinin daha derin katmanlarında sentezlenmesi için biraz ultraviyole ışınımına gereksinim vardır. Dolayısıyla, tropik bölgelerde uyarlanmaya uygun olan eumelanin, ultraviyole ışınının çok daha az olduğu yüksek enlemlerde o kadar yararlı değildir. Yüksek enlemlerde, doğal seçilim deri renginin açık olması sonucunu doğuran genleri desteklemiştir, böylece ultraviyole ışınları, derinin D vitamininin sentezlendiği derinliklerine ulaşabilir. Buna benzer örnekler, "ırklar" arasında büyük genetik farklılıklar bulunduğu mitini yerle yeksan etmiştir. Sadece şu söz konusudur: Bilimsel destekten yoksun bir mit.

ZEKA KALITIMLA MI MİRAS ALINIR?

Bireysel zeka sadece kısmen genlere dayanır

Bilim insanı olmayan birine en "insani" özelliğin, yani insanları kuyruksuz maymunlardan en fazla ayıran özelliğin ne olduğu sorulursa muhtemelen zihinle ilgili bir özelliği seçecektir. Beynin büyüklüğü olabilir örneğin, insan beyni, şempanze ya da goril beyninden dört kat daha büyüktür ya da dil, karmaşık toplumsal örgütlenme, teknoloji gibi işlevsel bir özellik ileri sürülecektir. Bu soruyu sorduğunuz kişi büyük ihtimalle, beynimizin büyüklüğüne dayanan, başka işlevsel özelliklerle ilişkili olan "yükselmiş zeka"ya işaret edecektir.

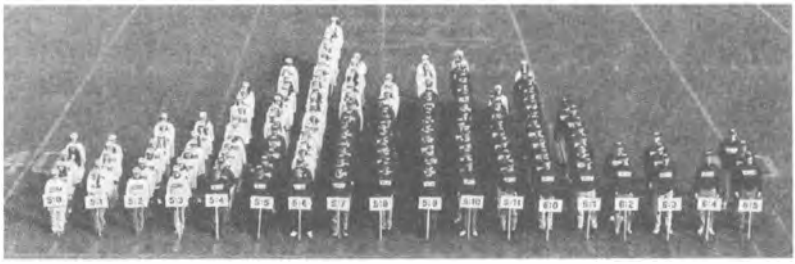
Göz rengi, deri rengi, kan grubu, beden büyüklüğü ve başka birçok insani özelliği az ya da çok ebeveynlerimizden miras aldığımızı biliyoruz. Peki davranışsal özelliklerimiz, özellikle de zekamız? Zekayı da ebeveynlerimizden mi alırız yoksa çoğunlukla okula gitme, öğrenme ve başka insani deneyimlerle mi geliştiririz? Zeka ölçülebilir mi? Ölçülebilirse nasıl ölçülür?

Kalıtsallık ve çevre

Biyolojik kalıtımı anlayabilmek için, genotip ile fenotip arasında önemli bir ayrıma gitmek gerekir. Bir organizmanın fenotipi görünümüdür, yani gözleyebildiğimiz özellikleridir: Morfolojisi, fizyolojisi ve davranış biçimi. Genotip ise bireyin kalıtımla miras aldığı genetik yapıdır. Bireyin ömrü boyunca, fenotip değişebilir; ama genotip değişmeden kalır. Genotip genlerden, yani ebeveynlerimizden miras aldığımız DNA'dan oluşur.

Fenotip ile genotip arasındaki ayrım akılda tutulmalıdır, zira ikisi arasındaki ilişki sabit değildir. Bunun sebebi, fenotipin farklı genler arasındaki ve genler ile çevre arasındaki karmaşık etkileşim ağları sonucu doğmuş olması ve sonucun farklı çevrelere bağlı olarak farklılık gösterecek olmasıdır. Bir ya da birkaç özellik dikkate alındığında fenotipler arasında benzerlik görülse de, insan bireylerin fenotipleri birbirine tıpatıp benzemez. Örneğin, iki kişinin de gözleri kahverengi ya da kan grupları A (hemoglobin) olabilir. Belli bir özellik bakımından benzer fenotiplerin görüldüğü organizmaların, ille de bu özellikle ilgili olarak aynı genotiplere sahip olması gerekmez. Örneğin, kahverengi gözlü insanlarda kahverengi göz rengi için iki gen olabileceği gibi, bir ebeveynden kahverengi göz rengi geni, diğerinden mavi göz rengi geni almış olabilirler. Kahverengi göz rengini şifrelen gen, mavi göz rengini şifreleyen gene baskın çıkar, bu yüzden de bireyde sadece kahverengi göz rengi ifadesini bulur. Keza, kan grubu A olan birinin A için iki geni olabileceği gibi, A için bir geni ve 0 grubu için bir geni olabilir. A grubunu şifreleyen gen, 0 grubunu şifreleyen gene baskın çıkar. Mavi göz rengini ve 0 kan grubunu şifreleyen genler iki farklı gene sahip bireylerde ifade bulmasalar da, bireylerin çocukları tarafından miras alınabilirler. İki genin her birinin, yani kahve göz rengi ve mavi göz rengi için olan genlerin her birinin ya da A grubu ve 0 grubu için olan genlerin her birinin çocuklara aktarılması olasılığı eşittir.

İnsanın kalıtımla aldığı bazı özellikler, örneğin göz rengi ya da kan grubu, ayrıksıdır. Kahveden maviye envai çeşit ara göz renklerine sahip bir insan yoktur. Bir kişinin kan grubu A, B ya da 0 olabilir, ama herhangi ikisi arasında ara bir kan grubu olamaz. Buna karşın, bütün özellikler, açıkça ayırt edilebilir alternatif biçimlerde ortaya çıkmaz. İnsanlar sadece iki farklı boyda, kısa ve uzun olmazlar; çok geniş bir boy yelpazesinde yer alırlar. Ağırlık, boy, doğurganlık ve uzun ömürlülük, az çok sürekli bir farklılaşma gösteren birçok özelliğe verilebilecek örneklerdir, öyle ki genellikle bireylerin çoğunluğu, bu özellikler itibarıyla



NORMAL DAĞILIM. BİR GRUP ERKEK [SİYAH KAZAKLILAR] VE KADIN [BEYAZ KAZAKLILAR] ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİSİNİN UZUNLUK DAĞILIMI. ÇOĞU ÖĞRENCİ ORTA BOYDADIR, UÇLARDA YER ALAN ÖĞRENCİLERİN SAYISI ÇOK ÇOK AZDIR.

ara değerlere sahiptir ve aşırı değerlere sahip olan, örneğin çok uzun ya da çok kısa bireylerin sayısı çok azdır. Bu yaygın farklılaşma örüntüsü, "normal dağılım" olarak bilinir. Zekanın, çok zeki insanlarla çok düşük zekalı insanlar arasında sürekli bir farklılaşma gösteren bir özellik olduğu açıktır.

Sürekli farklılaşmanın ortaya çıkması, genler ile çevre arasındaki etkileşimlerden ya da farklı genler arasındaki etkileşimlerden kaynaklanıyor olabilir. Çok fazla yiyen ve az hareket eden biri büyük olasılıkla, az yiyen ve çok hareket eden birinden daha kilolu olacaktır. Üniversite bitirmiş insanlar, okula gitmemiş ya da ebeveynlerinden çok fazla eğitim almamış insanlardan daha yüksek bir zeka gösterir. Ama ağırlığı etkileyen çeşitli genler olduğunu ve zekayı da etkileyen çok çeşitli genler olabileceğini hesaba katmalıyız. Eğitimin zekayı belirlemekteki rolü dikkate alındığında, kalıtımın bir rol oynayıp oynamadığını nasıl kesinleştireceğiz, ve eğitim ve deneyime kıyasla, genlerin zekayı belirlemekteki göreli önemini nasıl değerlendireceğiz? Bir bireyin zekasının ne ölçüde genler tarafından, ne ölçüde çevre tarafından belirlendiğini kesin olarak anlamak mümkün müdür? Bu soruyu cevaplamadan önce zekayı ölçüp ölçemeyeceğimizi ve nasıl ölçebileceğimizi cevaplamamız gerekiyor. Zeka nedir sahi?

Zeka katsayısı

Zekanın, uzmanlar tarafından genel olarak kabul edilebilecek bir tanımı yoktur; herhangi birinin, zekayla neyi kast ettiğimize dair açık ve tutarlı bir fikri olması da muhtemel değildir. Zeka, bilişsel beceriye atıfta bulunur ve genellikle de bütünlüklü bir yeti olarak görülür, ama genellikle her biri aynı ölçüde gelişmemiş bir beceriler çoğulluğunu kapsar. Dil becerileri çok gelişmiş birinin matematiksel becerisi sınırlı olabilir, analitik yetisi sofistike birinin sezgisi ya da yaratıcılığı zayıf olabilir. Kuramcı J. P. Guilford, bu çok boyutlu yaklaşımı uç bir noktaya taşıyarak, hep birlikte zekayı tanımlayan 120 tane son derece özgül beceri belirlemiştir. Bu beceriler arasında, hatırlama, farklı düşünme, harfler, kelimeler ve rakamlarla ilgili bilgiyi işleme, ayrıca bilgi işlemenin sonucu olan ürünlerle, örneğin ilişkiler, sınıflar ve sistemlerle ilgili bilgileri işleme yetisi vardır.

Zeka testleri geçen yüzyılda, nesnel bir zeka ölçütüne ulaşma çabasıyla geliştirilmiştir. En sık kullanılan testler, bir insanın zeka katsayısı olan IQ'yu tespit etmeye çalışır. IQ, bir kişinin zeka yaşının kronolojik yaşına bölünmesiyle bulunan yüzde oranıdır. Zeka yaşı, bir dizi bilişsel beceriyi test edip, sonra da bireyin elde ettiği puanı, aynı yaştaki çok sayıda kişinin ortalama puanıyla karşılaştırarak bulunur. Ortalama skor, 100 olarak tespit edilmiştir. Bundan daha yüksek ya da daha düşük bir puan, ortalama zekadan daha yüksek ya da düşük zekayı belirtir. 130 ya da daha üstü puan alan biri çok zeki, 70 ya da daha altında puan alan biri ise zeka bakımından kusurlu addedilir. Başka testler de geliştirilmiştir, ama hangisinin tatmin edici bir zeka ölçütü oluşturacağı konusunda bir fikir birliği yoktur.

Kalıtsallık

Hem kalıtımın hem çevrenin, bir kişinin fenotipinin belirlenmesine katkıda bulunduğunu daha önce belirtmiştik. Ama gen-

lerin ve çevrenin göreli önemleri, bir özellikten diğerine hatırı sayılır bir farklılık gösterebilir. Büyük ölçüde tek tek genlerin belirlediği özellikler, bireyin ana rahmine düşmesiyle başlayıp, hamilelikten doğuma, sonra da ölünceye kadar bütün hayatına yayılan hayat deneyiminden genellikle pek az etkilenir. Bir insanın gözlerinin kahverengi mi yoksa mavi mi olduğu, ağırlıklı olarak ebeveynlerinden aldığı genlere dayanır. Keza, bir insanın hayat deneyiminin kan grubunu belirlemekte etkisi pek azdır; bu açıdan önemli olan şey, genotipi, yani kalıtımla miras aldığı genlerdir.

Ne var ki diğer özelliklerin ifadesi, az çok çevreye dayanır. Bunlar genellikle, ifadeleri, niceliksel genler ya da poligenler (çok sayıda gen anlamına gelir) denilen birkaç ya da birçok genden etkilenen özelliklerdir. Bu özellikler niceliksel özelliklerdir, çünkü ifadeleri bireyden bireye aşamalı bir farklılık gösterir. Kişinin ağırlığı ve boyunu zaten belirtmiştik, ama zeka da bu özelliklerden biridir. İyi eğitim görmüş birinin, yoksunluklarla dolu bir çevrede yetişmiş birine göre daha yüksek bir IQ'su olacaktır. Ama önemli olan, IQ'nun da kişinin kalıtımla miras aldığı genlere dayanıp dayanmadığıdır.

Zekanın (ya da herhangi bir niceliksel özelliğin) ne ölçüde genotiple ne ölçüde çevre tarafından belirlendiğini kesin olarak bilmek mümkün müdür? Bu soru üzerine düşündüğümüzde, pek iyi formüle edilmediğini fark ederiz. Herhangi bir özelliğin gelişimi, tam anlamıyla hem kalıtıma *hem* çevreye bağlıdır. Bir bireyin gelişmesi için, bir genotipi (ana rahmine düştüğünde ebeveynlerinden kalıtımla miras aldığı genetik yapı) olmalıdır, ama gelişme ancak çevreyle etkileşim içinde gerçekleşebilir. Herhangi bir çevreye maruz kalmamış bir insan genotipinin IQ'sunu ölçmemizin bir yolu yoktur, böyle insanlar var olamaz.

Kalıtım ve çevrenin göreli etkileri meselesi, kimi zaman "doğa mı yetiştirme mi" sorusu olarak ortaya konur. Bu soru, uygun bir biçimde şu şekilde dile getirilebilir: Bir özellikle ilgili olarak bireyler arasında görülen farklılık, ne ölçüde genetik farklılıklar-

dan (yani bireyler arasındaki genetik farklılıklardan) ne ölçüde çevresel farklılıklardan kaynaklanır? Genetikçilerin, kalıtım ve çevrenin göreli etkilerini araştırırken, bir bireyin zekasıyla ilgili olarak daha önce formüle edilen soru yerine, bireyler arasındaki farklılaşmayla ilgili bu soruyu cevaplamaya çalıştıklarını fark etmenin neden önemli olduğu, çok geçmeden açıklık kazanacaktır.

Bir özellikle ilgili genetik farklılıklardan ileri gelen fenotipik farklılık, özelliğin kalıtsallığıyla ölçülebilir, bu ilk kez, bitki ve hayvanların çiftleşmesi üzerine çalışan, bir tavuğun yumurtladığı yumurta sayısının ya da bir ineğin ürettiği süt miktarının ne ölçüde cinsine, yani genetik yapısına, ne ölçüde bu hayvanların nasıl beslendiğine, nerede barındığına ve çiftlikte nasıl muamele gördüklerine bağlı olduğunu soran genetikçiler tarafından ileri sürülmüştür.

Kalıtsallık meselesini ele almamıza katkıda bulunacak bazı semboller sunalım.

K = Kalıtsallık

F_T = Bir özellikte gözlenen toplam fenotipik farklılaşma

F_G = Bireyler arasındaki genetik farklılıklardan kaynaklanan fenotipik farklılaşma oranı

$F_Ç$ = Bireylerin maruz kaldığı çevre koşullarındaki farklılıklardan kaynaklanan fenotipik farklılaşma oranı

Dolayısıyla elimizde, $F_T = F_G + F_Ç$ denklemi bulunuyor. Bir özelliğin toplam farklılaşması, genlerden kaynaklanan farklılaşma artı çevreden kaynaklanan farklılaşmadır.

Tanım itibarıyla:

$$\text{Kalıtsallık} = \frac{\text{Genetik farklılaşma}}{\text{Fenotipik farklılaşma}} = \frac{F_G}{F_T} = \frac{F_G}{F_G + F_T}$$

Bulmak istediğimiz tam da budur: toplam farklılaşmanın ne kadarının bireyler arasındaki genetik farklılıklardan kaynaklandığı.

İstatistikçiler "farklılaşma" terimini kullanırlar, çünkü özellikle organizmalarda, birçok durumdaki niceliksel farklılaşma, özetlemek ve anlamak açısından yararlıdır. Hesaplaması hayli kolaydır. Öncelikle, "ortalama"yı bulmak gerekir, bu rakam, değerlendirdiğimiz özelliğin ortalama değeridir. 60 kişinin IQ'sunu ölçtüysek, bütün IQ değerlerini ekler, o grubun IQ'sunu bulmak için 60'a böleriz, diyelim ki ortalama IQ'nun 103 olduğunu bulduk. Bireyler arasındaki farklılıklar, farklılaşmayla ölçülür. Ama bu noktada, istatistikçilerin burada gerekçelendirmemiz gerekmeyen haklı sebepler yüzünden icat ettiği küçük bir numara karşımıza çıkar. Önce, her birey ile ortalama arasındaki farklılık bulunur, sonra da bu değerin karesi alınır. Karesi alınan bütün farklılıklar toplanır ve bireylerin toplam sayısına, bizim örneğimizde 60'a bölünür. Karesi alınan farklılıkların ortalaması, bu özelliğin gruptaki 60 birey arasında gösterdiği farklılaşmadır.

Bir birey grubunun ("nüfusun") ortalamasını ve farklılaşmasını bulmak, biraz önce betimlediğimiz üzere, basit ve doğrudandır. Ama farklılaşmanın ne kadarının çevreden, ne kadarının bireyler arasındaki genetik farklılıklardan kaynaklandığını belirlemek basit bir iş değildir. Genetikçilerin bu amaçla kullandığı yöntemlerden birine "ikizler yöntemi" denir.

İkizler yöntemi

Kalıtsallığı tahmin etmenin yollarından biri, ikizler ya da birinci dereceden kuzenler gibi, akrabalık derecesi bilinen akraba grupları arasındaki fenotipik farklılaşmayı ölçmektir. İki tür ikiz vardır. Tek yumurta ikizleri, döllenmiş tek bir yumurtadan doğar, yumurta iki embriyoya ayrılır ve embriyolar birbirlerinden bağımsız gelişerek genetik olarak birbirinin aynı iki birey haline gelir. Çift yumurta ikizleri iki bağımsız zigottan, yani iki farklı spermle döllenmiş iki yumurtadan doğar.

Çift yumurta ikizleri arasındaki genetik ilişki, aynı ebeveynden doğan kardeşler arasındaki genetik ilişkinin aynısıdır, çün-

kü her iki durumda da zigotlar aynı anneden gelen farklı yumurtalardan ve aynı babadan gelen farklı spermlerden oluşur. Çift yumurta ikizlerinde, aynı ebeveynden doğan kardeşlerde olduğu gibi, genlerin ortalama olarak yarısı aynıdır. (Bir kardeşin anneden aldığı bir genin, diğer kardeş tarafından da alınma olasılığı yüzde 50'dir; aynı şey babadan gelen genler için de geçerlidir.)

Tek yumurta ikizleri her zaman aynı cinsiyettendir; çift yumurta ikizlerinin her ikisi de dişi, bir erkek bir dişi ya da her ikisi de erkek olabilir; oranlar 1:2:1'dir, ikiz olmayan erkek ve kız kardeşler için de aynı oranlar geçerlidir. Kalıtsallığı tahmin etmek için, aynı cinsiyetten olan tek yumurta ikizleri kümesi, onlarla aynı cinsiyetten olan çift yumurta ikizleri kümesiyle karşılaştırılır. $F_{\text{Tek Yumurta}}$ = Tek yumurta ikizleri arasındaki fenotipik farklılaşma, $F_{\text{Çift Yumurta}}$ = Çift yumurta ikizleri arasındaki fenotipik farklılaşma olsun. Tek yumurta ikizleri genetik olarak birbirinin aynı olduğu için, farklılaşmalarının tamamı çevreseldir: $F_{\text{Tek Yumurta}} = F_{Ç}$.

Çift yumurta ikizleri arasındaki farklılaşma, kısmen genetik kısmen çevreseldir. Fakat genlerinin yarısı ortak olduğu için, genetik farklılaşmaları akraba olmayan bireylerin genetik farklılaşmasının yarısı kadar olacaktır:

$$F_{\text{Çift Yumurta}} = F_G / 2 + F_E$$

Öyleyse, iki fenotipik farklılaşma arasındaki fark, genetik farklılaşmanın yarısına dair tahmini verir:

$$F_{\text{Çift Yumurta}} - F_{\text{Tek Yumurta}} = F_G / 2 + F_E - F_E = F_G / 2$$

Bu farkın iki katının toplam fenotipik farklılaşmaya bölünmesi de kalıtsallık tahminini verir:

$$K = 2 (F_{\text{Çift Yumurta}} - F_{\text{Tek Yumurta}}) / F_T = 2 (F_G / 2) / F_T = F_G / F_T$$

Bu prosedür dümdüzmüş gibi görünmektedir, ama yine de sorunlar vardır. Çevresel farklılaşmanın, aynı cinsiyetten olan tek yumurta ve çift yumurta ikizleri için aynı olduğu varsayılmıştır, çünkü her iki durumda da ikizler aynı zamanda doğmuşlardır, aynı cinsiyettendirler, birlikte yaşamışlar, aynı okullara gitmişlerdir vs. Ama tek yumurta ikizlerinin, genetik olarak daha benzer oldukları, dolayısıyla daha benzer tepkiler verme eğilimi gösterdikleri için, çift yumurta ikizlerine nazaran daha benzer bir muamele görmeleri de mümkündür.

Bir başka güçlük de, ikizlerin akraba olmayan bireylere nazaran daha benzer muamele görmeleridir, çünkü ikizler aynı ailede, aynı kültürel çevrede vs. yetişirler. Bu sorun, farklı ailelerin evlat edindiği ikizleri inceleyerek kısmen aşılabilir. Bu gibi örneklerin sayısı sınırlıysa da, genetikçiler birkaçını incelemiştir.

Farklı çalışmalarda elde edilen, IQ kalıtsallığına dair veriler farklılık gösterir, ama genellikle 0,70 civarında, nispeten küçük bir yelpaze içinde hareket eder. IQ'nun değerli bir zeka ölçütü olduğunu kabul etmeye yanaştığımız ölçüde, zekanın kalıtımla miras alındığı, yani daha kesin bir dille, bireyler arasında gözlediğimiz IQ farklılıklarının büyük ölçüde miras alınan genlerden kaynaklandığı sonucuna varabiliriz. Öyle görünüyor ki, belli bir insan nüfusunda, zekadaki farklılaşmanın yüzde 70'i genetik, yüzde 30'u çevresel etkilerden kaynaklanmaktadır. Bu gibi tahminlerin, benzer yaştaki, oldukça benzer bir eğitim görmüş, benzer sosyoekonomik statüdeki bireylere atıfta bulunduğunu, bu yüzden bu bireyler arasında çevreden kaynaklanan farklılaşmanın benzer olduğunu unutmayalım.

IQ'nun kalıtsallığına dair tahminleri, bunları başka insani özelliklere dair kalıtsallık tahminleriyle karşılaştırarak bir bağlama oturtabiliriz. Boy uzunluğunda kalıtsallığın 0,85 olduğu tahmin edilmektedir, niceliksel insan özellikleri arasında en yüksek kalıtsallık tahminidir bu. Beden ağırlığında kalıtsallık, tahminî yaklaşık 0,62, sistolik kan basıncında 0,57, diastolik kan basıncında 0,63'tür.

Çeşitli organizmalarda çeşitli özellikler için kalıtsallık tahminleriyle, daha geniş kapsamlı bir bağlam oluşturulabilir: Aynı çiftlikte yetişmiş hayvanların kesim ağırlığı 0,85; mısırda bitki boyu 0,70; kümes hayvanlarında yumurta ağırlığı 0,60; koyunlarda post ağırlığı 0,40; sığırda süt üretimi 0,30; mısırda ürün 0,25; mısırda kulak uzunluğu 0,17. Kalıtsallık tahminleri, bitki ve hayvan yetiştiriciliğinde hayli yararlıdır, çünkü çiftçilerin istenen özelliklerin seçilmesiyle yapılan çiftleştirmeden (en fazla sütü üreten ineklerin çiftleştirilmesinden ya da en fazla miktarda ürün veren bitkilerden alınan mısır tohumlarının dikilmesinden) bekleyebileceği cevap miktarını gösterir;.

Sonuç itibarıyla, kalıtsallığın nüfuslara özgü bir ölçüt olduğunu tekrarlamaya değer. IQ kalıtsallığının yüksek olması, belli bir nüfusta IQ değerlerinde gözlenen farklılaşmanın büyük bölümünün bireyler arasındaki genetik farklılıklardan kaynaklandığını söyler; dolayısıyla zekanın belli bir oranda kalıtsal olduğu çıkarımında bulunabiliriz. Ama bu değer bize zekanın yüzde 70'inin kalıtsal, yüzde 30'unun çevresel olduğunu *söylemez*. Sosyoekonomik statü, eğitim düzeyi, sağlık vb. koşulların farklı olduğu iki nüfusa odaklanmışsak, bu nokta belirgindir. Çoğu bireyin yeterince beslenmediği, neredeyse hiç sağlık hizmeti almadığı, pek okula gitmediği, ciddi salgın hastalıklardan mustarip olduğu, bebek ölüm oranlarının çok yüksek olduğu yoksul ülkelerdeki nüfusları düşünelim. O ülkelerdeki bireyler ile gelişmiş bir ülkedeki bireyler arasında IQ ya da zekanın başka ifadeleri arasında gözlenen farklılıkların yüzde 70'inin genetik farklılıklardan kaynaklandığını ileri sürmek hayli hatalı olacaktır. Yoksul bir ülkede bireyler arasındaki zeka farklılıklarının büyük ölçüde kalıtsal farklılıklardan kaynaklandığını, gelişmiş bir ülkede de durumun böyle olduğunu ileri sürmek çok daha doğru olacaktır.

İNSANLAR EVRİLMEYE DEVAM EDECEK Mİ?

Biyolojik ve kültürel evrim

İnsanlar hayvandır, ama çok ayrı ve eşsiz bir hayvan türüdür. Anatomik farklılıklarımız, iki ayak üzerinde yürümeyi ve muazzam beyinlere sahip olmayı içerir. Çok daha önemlisi, bireysel ve toplumsal davranışlarımız bakımından da hatırı sayılır bir farklılık sergiliyoruz. Biyolojik evrim, modern insanlarda varlığını sürdürür; ama insanlığın ilerlemesi, biyolojik evrimden çok daha hızlı ve etkili bir uyarlanma yöntemi olan kültürel evrimi başlatmıştır. Kültürel evrim ürünleri arasında bilim ve teknoloji; sosyal ve siyasal kurumlar; din ve etik; dil, edebiyat ve sanat; elektronik iletişim yer alır.

İnsanlar, insan olmayan türlerden evrilmiş *Homo sapiens* türüne mensuptur. Hominid soyunun 6-7 milyon yıl önceki atalarımızdan bugüne evrilmesi, her bakımdan hatırı sayılır bir gelişme olmuştur. Çok sayıda önemli anatomik değişikliği beraberinde getirmiştir, bu da davranışsal açıdan radikal değişikliklere sebep olmuştur.

Modern insanlarda doğal seçilim

İnsanın biyolojik evriminin durduğu ya da en azından teknolojik olarak gelişmiş ülkelerde durmak üzere olduğu yönünde kimi zaman ileri sürülen iddianın hiçbir bilimsel temeli yoktur. Tıp, hijyen ve beslenmedeki ilerlemenin, orta yaş öncesinde ölümleri ortadan kaldırdığı; yani çoğu insanın üreme çağından sonra da yaşamayı sürdürdüğü, üreme çağı sonrasında ölmenin doğal seçilim açısından bir sonuç doğurmadığı ileri sürülür.

İnsanın biyolojik olarak evrilmeye devam ettiği kanıtlanabilir, çünkü biyolojik evrim için gerekli ve yeterli koşullar varlığını sürdürmektedir. Bu koşullar, genetik farklılaşma ve farklı oranda üremedir. İnsan türünde, bir genetik farklılaşma çeşitliliği mevcuttur. Döllenmiş tek bir yumurtadan doğan tek yumurta ikizleri dışında, bugün yaşayan, geçmişte yaşamış ya da gelecekte yaşayacak hiç kimsenin genetik olarak aynı olması söz konusu değildir. Bu farklılaşmanın büyük bölümü, doğal seçilimle ilgilidir.

Doğal seçilim, modern insanlarda da ortaya çıkmaya devam ediyor mu? Doğal seçilim, alternatif genetik varyantların farklı oranda üremesinden ibarettir. Dolayısıyla, bazı genotiplerin taşıyıcılarının, başka genotiplerin taşıyıcılarına kıyasla daha fazla yavru üretmesi muhtemel olduğu sürece, doğal seçilim devam edecektir. Doğal seçilimin iki ana bileşeni vardır: ölüm oranında farklılık ile doğurganlık düzeyinde farklılık. İkisi de modern insanda varlığını sürdürür, gerçi doğum sonrası ölümlerden kaynaklanan seçilim yoğunluğu biraz seyrelmiştir.

Ölüm, ana rahmine düşme ile doğum arasında ya da doğumdan sonra meydana gelebilir. Embriyonik gelişmenin ilk haftalarındaki ölümler hiçbir şekilde tespit edilmeyebilir. Ama ana rahmine düştüğü kesinleşmiş toplam embriyoların yaklaşık yüzde 20'sinin, hamileliğin ilk iki ayında kendiliğinden kürtajla sonuçlandığı bilinmektedir. Bu gibi ölümler genellikle, sağlığa zararlı genetik yapıdan kaynaklanır ve bu yüzden de insan nüfusu üzerinde seçici bir etkileri vardır. Bu seçilim biçiminin yoğunluğu, modern insanda ciddi biçimde değişmemiştir, az sayıda gene ilişkin olarak biraz azalmıştır; ama Rh kan grubu uyumsuzluğuyla ilgili olanlar gibi.

Teknolojik olarak gelişmiş ülkelerde, doğum sonrası ölüm oranları son yıllarda kayda değer ölçüde azalmıştır. Örneğin, ABD'de, 1840'ta doğanların yüzde 50'sinden azı 45 yaşını görebiliyordu, 1960'ta doğan insanların ortalama ömür uzunluğuysa 78 yıldı. Dünyanın başka bölgelerinde de doğum sonrası ölüm oranları bir hayli yüksektir, gerçi son yıllarda bir hayli gerile-

miştir. Üreme çağının son bulması öncesinde ölüm, özellikle de hatırı sayılır ölçüde azaldığı bölgelerde, büyük ölçüde genetik kusurlarla ilişkilidir, bu yüzden de insan nüfuslarında seçici bir etkisi vardır. İnsanlarda hastalıklara ve şekil bozukluklarına yol açtığı bilinen 4.000'i aşkın genetik varyant mevcuttur; doğal seçilim sayesinde bu gibi varyantların sıklığı düşüktür.

Sanayileşmiş ülkelerde, seçilimin doğurganlık düzeyindeki farklılıklara bağlı olarak önemli ölçüde azaldığı, her ailede çocuk sayısında meydana gelen azalmanın sonucu olarak düşünülebilir. Oysa mesele böyle değildir. Doğurganlık seçiliminin yoğunluğu, aile başına düşen ortalama çocuk sayısına değil, aile başına düşen çocuk sayısındaki *farklılaşmaya* dayanır. Neden böyle olması gerektiği açıktır. Üreme çağındaki herkesin evlendiğini ve herkesin aynı sayıda çocuk sahibi olduğunu varsayalım. Bu durumda, bütün çiftlerin çok az ya da çok fazla çocuk sahibi olmasından bağımsız olarak doğurganlık seçilimi olmayacaktır. Öte yandan, aile başına düşen ortalama çocuk sayısının düşük olduğunu, ama bazı ailelerde birçok çocuk bulunurken bazılarının hiç çocuğu olmadığını varsayalım. Bu durumda, seçilim yönünde hatırı sayılır bir fırsat doğacaktır; çok sayıda çocuk üreten ebeveynlerin genotiplerinin sıklığı, pek az çocuğu olan ya da hiç çocuğu olmayan ebeveynlerin genotipleri aleyhine artacaktır. İnsan nüfusları üzerine yapılan araştırmalar, ortalama çocuk sayısı azalırken, doğal seçilim fırsatlarının genellikle arttığını göstermiştir. 1961'de yayınlanan kapsamlı bir araştırmaya göre, doğurganlığa dayalı seçilim fırsatı endeksi, yirminci yüzyılda doğmuş kadınlarda üç çocuktan az bir ortalamayla, Afrika'nın Altın Sahilleri'nde ya da Quebec'in kırsal kesimlerinde ortalama yedi çocuk sahibi kadınlara kıyasla dört kat daha fazladır. Modern insan nüfuslarında doğurganlığa dayalı doğal seçilimin azaldığı yönünde hiçbir kanıt yoktur.

Doğal seçilim yoğunluğu gelecekte azalabilir, ama doğal seçilim tümüyle ortadan kaybolmayacaktır. Genetik farklılaşma olduğu sürece ve bazı genotip taşıyıcılarının üreme olasılığı di-

gerlerinden daha fazla olduğu sürece, doğal seçilim devam edecektir. Tarımın gelişmesi, kırsal kesimden kentlere göç, çevre kirliliği ve daha başka kültürel değişiklikler, yeni seçilim baskıları yaratır. Bazı insan toplumlarında zihinsel bozukluklara rastlama oranının sık olmasının ardında, kısmen kent hayatının stresi vardır. Akılda tutmamız gereken nokta, insan ortamlarının tamamen kültürel değişimin ivmelenmesinden ötürü hiç olmadığı kadar hızlı değiştiği; doğal çevrede meydana gelen değişikliklerin yeni seçilim baskıları yarattığı, böylece biyolojik evrimi beslediğidir.

Kalıtsal farklılaşma

Bildiğimiz üzere, doğal seçilim, alternatif genetik farklılaşmaların farklı düzeyde üreme sürecidir. Tek tek genler itibarıyla farklılaşma, iki ya da daha fazla alelin bir nüfusta, belli bir gen bölgesinde bulunmasıyla ortaya çıkar. (Aleller, belli bir genin farklı biçimleridir.) Bugünkü insan nüfusunda ne ölçüde genetik farklılaşma mevcuttur? Bu soruya verilecek cevap, birazdan göstereceğimiz üzere, "bir hayli"dir, ama doğal seçilim ancak belli bir genin alelleri uygunluk üzerinde farklı etkiler gösteriyorsa gerçekleşecektir; yani alternatif genler, hayatta kalma ve üreme olasılığını farklı düzeylerde etkiliyorsa.

Ebeveynlerimizin her birinden aldığımız iki genomun binde 1 ya da 2 nükleotid fark gösterdiği tahmin edilir. İnsan genomu yaklaşık olarak 3 milyarı aşkın nükleotidden oluşmaktadır. Dolayısıyla her bireyin iki genomunda yaklaşık olarak 3-6 milyon nükleotid farklıdır, bu da çok fazla genetik polimorfizm doğurur. Ayrıca, mutasyon süreci her kuşakta her nüfusta yeni farklılaşmalar yaratır. İnsan genomundaki mutasyon hızının tahminen 10^{-8}, yani her 100 milyon nükleotidde 1 nükleotid mutasyonu ya da her kuşakta genom başına yaklaşık 30 yeni mutasyon düzeyinde olduğu sanılmaktadır. Dolayısıyla, her insanda, ebeveynlerinde bulunmayan yaklaşık 60 yeni mutasyon (her genomda

30) bulunur. İnsan nüfusunun tamamını dikkate aldığımızda, bu, kişi başına 60 mutasyon çarpı 7 milyar kişi, yani kuşak başına 420 milyar yeni mutasyon demektir; bu sayıya her bireyde önceden mevcut 3-6 milyon polimorfik nükleotidi, yani bugün dünyada yaşayan insan nüfusundaki yaklaşık 21-42 milyon milyar polimorfik nükleotidi de eklersek, toplama ulaşırız.

Çok fazla mutasyon demektir bu, ama doğal seçilimi açıklayan polimorfizmlerin, taşıyıcılarının hayatta kalma ve üreme olasılıklarını etkileyen polimorfizmler olduğunu unutmamalıyız. Aksi takdirde, varyant nükleotidlerin sıklıkları şans eseri artabilir ya da azalabilir, bu evrimcilerin "genetik sürüklenme" dedikleri süreçtir, ama doğal seçilimden etkilenmeyecektir.

Genetik bozukluklar

İnsan nüfusunda, genetik nedenlere dayanan 4000'den fazla hastalık ve anormallik belirlenmiştir. Genetik bozukluklar dominant, resesif, çok etkenli ya da kromozomsal olabilir. Dominant bozukluklara, kusurlu alelin tek bir kopyasının var olması neden olur, bu yüzden bozukluk heterozigot bireylerde, yani bir normal bir kusurlu alele sahip bireylerde kendisini gösterir. Resesif bozukluklarda, kusurun her iki alelde de mevcut olması gerekir, yani ebeveynlerin her birinden kalıtımla miras alınır. Çok etkenli bozukluklara, birkaç gen yeri arasındaki etkileşim neden olur. Kromozomsal bozukluklar, tam bir kromozomun ya da bir kromozom parçasının var ya da yok olmasından kaynaklanır.

Dominant bozukluklara verilebilecek örnekler arasında bazı retinoblastoma ve başka körlük türleri, akondroplastik cücelik ve Marfan sendromu (Başkan Lincoln'ü etkilediği sanılmaktadır) bulunur. Resesif bozukluk örnekleri sistik fibroz, Tay-Sachs hastalığı ve orak hücre anemisidir (heterozigot koşullarda sıtmaya karşı koruyucu olan bir alel neden olur bu hastalığa). Çok etkenli hastalık örnekleri spina bifida ve yarık damaktır. En yaygın kromozomsal bozukluklar arasında, fazladan 21. kromozomun

varlığının neden olduğu Down sendromu ve kadınlar için XX, erkekler için XY olan normal koşulların ötesinde, bir cinsiyet kromozomunun yokluğundan ya da fazladan bir cinsiyet kromozomunun varlığından kaynaklanan çeşitli bozukluklar yer alır. Turner sendromu (XO) ve Klinefelter sendromu (XXY) örnek verilebilir.

Yaşayan insan nüfusunda genetik bozukluklara rastlama olasılığının yüzde 2,56'dan az olmadığı, genetik bozuklukların yaklaşık 180 milyon kişiyi etkilediği sanılmaktadır. Doğal seçilim, genlerin hastalıklara neden olma olasılığını azaltır, bu azalma bütün ilgili gen taşıyıcılarının hastalığa yakalanacağı dominant bozukluklarda, rahatsızlıkların sadece homozigot bireylerde görüleceği resesif bozukluklara kıyasla daha fazladır. Örneğin tedavi edilmezse ölümcül bir hastalık olan fenilketonüriyi ele alalım, fenilketonüri 10.000 yeni doğandan birinde görülür, yani görülme olasılığı yüzde 0,01'dir. Alelin sıklığı yaklaşık yüzde 1'dir, öyle ki heterozigot koşullarda 100 milyonu aşkın insanda mevcuttur, ama homozigot insanların sadece yüzde 0,01'inde hastalık görülür ve bu insanlar doğal seçilime tabi olur. Doğal seçilimden kaynaklanan genetik bozuklukların azalması, yeni mutasyon olasılıklarından kaynaklanan artışla dengelenir.

Hastalığın ötesi

Doğal seçilim, hastalığa neden olmayan çok sayıda gen üzerinde de etkili olur. Genler deri pigmentlerini, saç rengini ve yapısını, boyu, kas gücünü, beden şeklini, belirgin olan birçok başka anatomik polimorfizmleri, ayrıca kan grubu, bağışıklık sistemi, kalp, karaciğer, böbrek, pankreas ve başka organlardaki farklılaşmalar gibi, dışarıdan bakıldığında belirgin olmayan birçok polimorfizmi etkiler. Doğal seçilimin bu özellikleri nasıl etkilediği her zaman bilinmez, ama dünyanın farklı yerlerinde ya da farklı tarihlerde yeni aşılar, ilaçlar ve tıbbi tedaviler geliştirilmesi sonucu; ayrıca sigara içenlerin sayısının azalması ya da belli bir

ülkede obezite oranındaki artış gibi hayat tarzındaki değişiklikler sonucu, farklı biçimlerde bu özellikleri etkilediğini biliyoruz.

Enzimleri ve başka proteinleri şifreleyen 20.000-30.000 insan geni vardır. Her protein ortalama yaklaşık 300 amino asitten oluşabilir, bu da gen başına 900 nükleotid demektir. (Her amino asit peş peşe gelen üç nükleotid, yani bir "üçlü" tarafından şifrelenir.) Bazı nükleotid mutasyonları, şifrelenmiş amino asitleri değiştirmez. (Çünkü "genetik şifre" tekrarlardan oluşur, dolayısıyla iki ya da daha fazla farklı üçlü, aynı amino asidi şifreleyebilir.) Ama bütün nükleotid mutasyonlarının yaklaşık üçte ikisi, şifrelenmiş amino asidi değiştirecektir; büyük bir çoğunluğu da ya önemsiz biçimlerde ya da genetik hastalıklarda olduğu gibi ciddi biçimlerde doğal seçilime tabi olacaktır. Mutasyon hızının nükleotid başına 10^{-8} olduğunu düşünelim (100 milyon nükleotidde 1). Her enzimi ya da proteini şifreleyen nükleotidlerin tahminî sayısı 900'dür, yani proteinleri şifreleyen toplam 20.000-30.000 gen için 18-27 milyon nükleotid vardır, bunların sadece üçte ikisi, yani yaklaşık 12-18 milyon nükleotid, şifrelenmiş amino asitleri değiştirir. Nükleotid başına mutasyon hızı 10^{-8}'se, bir insanın yeni bir amino asit değiştiren mutasyona sahip olma olasılığı yaklaşık yüzde 24-36'dır (Çünkü her genin iki kopyasına sahibiz). Bugün yaşayan yaklaşık 7 milyar insanın hep birlikte yaklaşık 2 milyar yeni amino asit değiştiren mutasyonu olacaktır. Bu mutasyonlar mevcut polimorfizmlere eklendiğinde, doğal seçilime sınırsız fırsat tanırlar. Biyolojik evrimin insanda ortaya çıkmayı sürdüreceğine pek kuşku yoktur.

İnsanın evrimi nereye doğru gidiyor? Biyolojik evrimi doğal seçilim yönlendirir, doğal seçilim evrimi kesin başarıya götüren iyicil bir güç değildir. Sonuç, türlerin tükenmesi olabilir. Dünya üzerinde hayatın ortaya çıkmasından bu yana var olmuş bütün türlerin yüzde 99,9'u tükenip gitmiştir. Doğal seçilimin bir amacı yoktur; sadece insanların amacı vardır ve sadece insanlar bu amacı evrimlerine dahil edebilirler. İnsandan önce hiçbir tür, evrimsel kaderini seçememiştir; insan bunu yapabilecek tekniklere

sahiptir ve yönlendirilmiş genetik değişikliği sağlayacak daha güçlü teknikler elverişli hale gelmektedir. Biz kendi kendimizin farkında olduğumuzdan, insanlar gelecekte ne olacağını sormaktan kaçınamazlar; ayrıca bizler etik varlıklar olduğumuzdan, bazıları iyiymiş bazıları kötüymüş gibi görünen alternatif eylemler arasında bir seçim yapmamız gerekir. Genetik bilgi, moleküler biyoloji, tıp ve ilgili tekniklerde kaydedilen ilerlemeler gelecekte hiç kuşkusuz, bugün olduğundan çok daha kapsamlı ve kuvvetli bir biçimde kullanılacaktır. Bu gibi ilerlemelerin, biyolojik yapımızı "iyileştirmek" ve bizden çok daha üstün insanlar yaratmak için kullanılabileceği ileri sürülmüştür. Fakat insanın genetik yapısında kasti bir iyileştirmeye gitmenin akıllıca olmayacağına dair iyi sebepler vardır. Kültürel uyarlanma sayesinde, insanın evrimini çok daha hızlı ve etkili bir biçimde ilerletebiliriz.

Biyolojinin ötesi: Kültür

İnsanlar diğer hayvanlardan sadece anatomileri bakımından değil, bundan hiç de aşağı kalmayacak biçimde, hem bireysel hem toplumsal olarak davranışları bakımından da dikkat çekici biçimde farklıdırlar. İnsanın ayrıksı davranış özellikleri arasında, yüksek zekamız da vardır: Dil; özbilinç ve ölüm bilinci; alet yapımı ve teknoloji; bilim, edebiyat ve sanat; etik ve din; toplumsal örgütlenme ve işbirliği; hukuksal kanunlar ve siyasi kurumlar (Bkz. *Ben Gerçekten Maymun Muyum?*).

İnsanın ayrıksı bir toplumsal özelliği kültürdür, kültür geniş anlamda, biyolojik olmayan insan etkinlikleri ve yaratıları olarak anlaşılır. Kültür eğitim ve öğrenmeyle, örnek ve taklitle ve başka iletişim biçimleriyle aktarılır. Her insan kültürü ebeveynleri, akrabaları ve komşularından, ve insanlığın tamamından edinir.

Ben Gerçekten Maymun Muyum? başlığı altında sunduğumuz üzere, kültürel kalıtım, deneyimlerin kuşaklar boyunca birikimsel olarak aktarımını mümkün kılar. Hayvanlar deneyimlerini kuşaktan kuşağa aktaramaz. İnsanlar kültürler geliştirmiştir,

çünkü deneyimlerini birikimsel olarak kuşaktan kuşağa aktarabilirler.

Organizmalar çevrelerine doğal seçilim yoluyla, genetik yapılarını çevrenin taleplerine uyacak şekilde kuşaklar boyu değiştirerek uyum sağlar. Ama insanlar, sadece insanlar çevreyi genlerinin ihtiyaçlarına uyacak şekilde değiştirerek uyum sağlayabilir. Kültürel uyarlanma, biyolojik uyarlanmadan çok daha etkilidir, çünkü çok daha hızlıdır, yönetilebilir, kuşaklardan kuşaklara birikerek aktarılır. Bir ihtiyaç doğduğunda, insanlar zorlukları aşmak için uygun kültürel değişiklikleri doğrudan yapabilir. Kişisel bilgisayarlar, cep telefonları ve internet, insanlar arası iletişim ve bilgi işlemede algılanan ihtiyaçları karşılamak için icat edilip geliştirilmiştir. İnsanların herhangi bir kuşakta başardığı kültürel yenilikler, geçmişin kültürel uyarlanmalarına eklenmiştir ve geleceğin kültürel uyarlanmalarına eklenecektir. Kişisel bilgisayarlar, büyük bilgisayarların icat edilip geliştirilmesi sonrasında ortaya çıkmıştır. İnternet ve Google, Yahoo! gibi arama motorlarının geniş kapsamlı yararları, kişisel bilgisayarların varlığına dayanır. Cep telefonlarının yararı, ancak ve ancak geleneksel telefonların on yıllarca yoğun bir biçimde kullanılması sonrasında ortaya çıkmıştır.

Biyolojiden kültüre

Kültürel uyarlanma, insan tarafından akıllıca kullanılırsa, hiç kuşkusuz sağlığı iyileştirecek ve ömrü uzatacaktır, ama son derece ödüllendirici olabilecek bireysel ve sosyopolitik yeni hayat tarzlarını da beraberinde getirecektir. İnsan beyninin gelişiminin ilerlemesiyle, biyolojik evrim kendi kendisini aşmış, yeni bir evrim biçimi doğurmuştur: çevrenin teknolojik manipülasyonuyla uyarlanma. Sadece insanlar, hasmane doğal ortamlara çevreyi genlerinin ihtiyaçlarına göre değiştirerek uyarlanma yetisi geliştirmiştir. En anlamlı ölçütler çerçevesinde bizi en başarılı canlı türü yapan şey insan beynidir (daha doğrusu insan zihni). İn-

sanlık için daha iyi bir dünya vaadini beraberinde getiren şey, genetik mühendislikten ziyade kültürel uyarlanmadır.

KENDİ KENDİMİ KLONLAYABİLİR MİYİM?

Genler kopyalanabilir; insanlar değil

Bir insanın genetik yapısı kopyalanabilir; bireyin kendisi değil. Bir birey, o bireyin genotipi ile çevresi arasındaki etkileşimlerin sonucudur. Bir insanın genetik yapısı, ana rahmine düştüğünde sabittir; biri babadan biri anneden alınan iki gen kümesinden oluşmuştur. Çevre, o genotipin ana rahmine düşmesinden çocukluğuna, okul yıllarına, aile ve toplum hayatına varıncaya dek ölümüne kadar maruz kaldığı bütün deneyimleri kapsar.

Önde gelen genetikçi ve Nobel Ödülü sahibi George W. Beadle altmış-yetmiş yıl önce şöyle yazmıştı:

Pek azımız Hitler'in genlerinin çoğaltılması tercihini savunurduk. Ama farklı bir kültürel bağlamda Hitler'in gerçekten insanların büyük liderlerinden biri olmayacağını ya da Einstein'ın siyasi bir cani olup çıkmayacağını kim söyleyebilir ki?

Einsteinler, Lincolnler ve Gandhiler kopyalamaya çalışırken, Stalinler, Hitlerler ve Rasputinler yaratabiliriz. Ana rahmine düştüğümde babamdan ve annemden aldığım genlerin kopyalanması görünüm bakımından bana benzer bir insan yaratabilir, ama hiç kuşku yok ki bu insan, en önemli şey, yani kimi zaman "kişilik" ya da "karakter" vb. kelimelerle açıklanan şey bakımından hayli farklı olacaktır.

Klonlama: Genler, hücreler, bireyler

Biyologlar "klonlama" terimini değişen anlamlarla kullanırlar,

gerçi terimin bütün kullanımları, bir biyolojik oluşumun az çok eksiksiz kopyalarını elde etme anlamına gelir. Üç yaygın kullanım genlerin klonlanması, hücrelerin klonlanması ve bireylerin klonlanmasıdır. Bir bireyin klonlanması, özellikle de bir bitki ya da bir hayvan gibi çok hücreli bir organizmanın klonlanması kesinlikle mümkün değildir. Bir bireyin genleri, yani "genomu" kopyalanabilir, ama birey kopyalanamaz. "Kendi kendimi kopyalayabilir miyim?" sorusuna cevaben başvurulacak kilit ifade budur.

Genlerin klonlanması ya da daha genel bir ifadeyle DNA parçalarının klonlanması, dünyanın dört bir yanında birçok genetik laboratuvarında rutin olarak gerçekleştirilir. Benimsenen ve yaygın olarak kullanılan teknolojilerden biri, 1990'larda Kary Mullis tarafından keşfedilen PCR'dir (polymerase chain reaction / polimeraz zincirleme tepkime), Mullis bu keşfi sayesinde Nobel Ödülü'ne layık görülmüştür. PCR tekniği sayesinde, bir genin ya da DNA parçasının, neredeyse birbirinin aynı milyarlarca kopyasını sadece birkaç saat içinde elde etmek mümkündür. Bir DNA parçasının böyle muazzam bir biçimde çoğaltılması genetikçilere, DNA'nın nükleotid dizilimi ve başka özelliklerinin araştırılması için yeterince malzeme sağlamıştır.

Hücrelerin laboratuvarlarda klonlanmasına yönelik teknolojiler çok daha eskidir, bazıları neredeyse yetmiş yıllıktır; bu teknolojiler belli bir hücre tipinin, örneğin bir deri ya da karaciğer hücresinin özelliklerinin araştırılması için yeniden üretilmesinde kullanılmıştır. Hücre klonlama iki belirgin biçimde doğal bir süreçtir. Birincisi, bakteri ve başka organizmaların klonlama ile üremesidir; yani tek bir hücrenin az çok birbirlerinin ve ana hücrenin aynı iki hücreye ayrılması örneğidir. Hücre klonlama, yani hücrenin kopyalanması, bitkiler ya da hayvanlar gibi çok hücreli organizmalarda da meydana gelir, hücreler belli bir dokuyu, deri ya da kas ya da kırmızı kan hücrelerini oluştururken çoğalırlar. Çok hücreli organizmalar tek bir hücre olarak başlar, tekrar tekrar kopyalanırlar, gerçi bu süreç farklı dokuları oluş-

turan hücre tiplerinin farklılaşmasını da içerir. Gelişme aşamasında, bazı hücreler tam olarak ya da hemen hemen eksiksiz biçimde kopyalanır, deri hücreleri ya da kırmızı kan hücreleri örneğinde olduğu gibi, başka bazı hücreler de kopyalanmaları sırasında farklılaşır. Dolayısıyla, insan embriyosundaki kök hücreler epitelyal hücrelere, kas hücrelerine, insanlarda var olan 200'den fazla tipteki hücrelere dönüşür.

Bireylerin klonlanması, tek yumurta ikizleri örneğinde doğal olarak meydana gelir, iki birey döllenmiş tek bir yumurtadan gelişir. Bu ikizlere "tek yumurta ikizleri" denir, çünkü genetik olarak birbirlerinin tıpatıp aynısıdırlar. Tek yumurta ikizlerinin doğması, insanlarda nispeten nadir bir olaydır, ama armadillolarda (armadillolar bir batında genellikle dördüz doğururlar) ve bazı böcekler gibi kimi hayvanlarda buna sık rastlanır.

Koyun Dolly 1997'de, basın ve kamuoyu tarafından, çok hücreli bir hayvanın ilk başarılı yapay klonu olarak karşılandı. Aslında Dolly, genotipin kaynağı olarak yetişkin bir hücrenin kullanılmasıyla yapay olarak klonlanmış ilk *memeli* hayvandı. Kurbağalar ve başka amfibi hayvanlar yaklaşık 50 yıl kadar önce yapay klonlamayla elde edilmeye başlanmıştı.

Bir hayvanın klonlanması şu şekilde gerçekleşir. Öncelikle dişinin yumurtalarındaki bilgi alınır ya da etkisiz hale getirilir. Klonlanmak için seçilen bireyden somatik (yani beden) hücreler alınır ve genetik bilginin bulunduğu hücre çekirdeği, etkisiz hale getirilmiş yumurta hücrelerine yerleştirilir. Sonra, bu şekilde "döllenmiş" yumurta hücrelerinin embriyonik gelişimi başlatılır. Böylelikle, klonlanmak için seçilen bireye tıpatıp benzer çok sayıda birey, yani genetik bakış açısıyla, hücrenin alındığı bireyin ve birbirlerinin tıpatıp aynı bireyler yaratmak mümkün olur.

Bir birey yaklaşık bir trilyon hücreden oluşur, bir deri parçasında milyonlarca hücre bulunabilir. Kuramsal olarak, küçük bir deri parçasından yüzlerce ya da binlerce hücrenin genetik malzemesi alınıp, genetik olarak etkisizleştirilmiş yüzlerce ya da binlerce yumurta hücresine yerleştirilebilir; böylece, genetik

olarak birbirlerine ve klonlanan hücrenin sahibine tek yumurta ikizleri kadar benzeyen çok sayıda birey elde edilebilir. Aklı başında hiçbir insan, betimlediğimiz yöntemi bir insanda uygulamayı önermeyecektir, ama bu yöntem bol miktarda süt üretmekte başarılı bir ineğe uygulanıp, böylece ekonomik bakımdan değerli bir sürü elde edilebilir.

İnsanların klonlanması, büyük başarılara imza atmış ya da faziletleriyle tanınmış (örneğin spor, müzik, sanatlar, bilim, edebiyat ya da siyasette isim yapmış) bireylerin kopyalanmasıyla insanlığın genetik donanımını iyileştirmenin bir yolu olarak zaman zaman önerilmiştir. Öyle görünüyor ki bu gibi öneriler hiçbir zaman ciddiye alınmamıştır. Ama bazı bireyler, ne kadar gerçek dışı olsa da, klonlanmayı istediklerini dile getirmişlerdir, bazı doktorlar da zaman zaman klonlama işlemini gerçekleştirmeye hazır olduklarını reklamlarla duyurmuştur. Bu işlemin önündeki engeller ve gerçekleştirilmesine ilişkin çekinceler, en azından bugünkü bilgimiz ve ilgili teknoloji itibarıyla çok fazladır, aşılmaları da mümkün değildir.

Bir insan klonlanabilir mi?

Doğru cevap "hayır"dır. Klonlanan, her halükarda genlerdir, birey değil; genotiptir, fenotip değil. Ama bir insanın genotipinin klonlanmasının önündeki teknik engeller de muazzamdır.

Dolly'nin klonlanması projesini yöneten İngiliz bilim insanı Ian Wilmut ancak 270 deneme sonrasında başarılı olmuştu. Memeli klonlamada başarı oranı, hiçbir zaman yüzde 100'e ulaşmasa da, yıllar içinde hatırı sayılır ölçüde artmıştır. Wilmut, birkaç yıl süren çabanın ardından, "Hayatta kalma oranlarımız hâlâ çok düşük [yüzde 4'ten daha az] ve çoğu hamilelik doğumdan hemen önce başarısızlığa uğruyor, insanlarda bu yıkıcı ve zalimce olurdu." Şimdiye kadar klonlanan hayvanlar arasında fareler, sıçanlar, keçiler, koyunlar, inekler, domuzlar, atlar ve başka memeliler bulunuyor. Öyle görünüyor ki bütün örneklerde doğum-

ların büyük çoğunluğu kendiliğinden kürtajla son bulur. Ayrıca, Wilmut'ın işaret ettiği üzere, birçok örnekte fetusun ölümü doğumdan hemen önce meydana gelir, insanlarda bunun sağlık açısından ve duygusal bakımdan yıkıcı sonuçları olacaktır.

Memelilerde genel olarak, sınırlı sayıda başarılı doğumdan sonra, klon yavrular büyüyüp sağlıklı bireyler haline gelemez. Öyle görünüyor ki bugüne kadar büyük çoğunlukla, belki de örneklerin hepsinde, klonlamayla üretilen hayvanlar, başka sorunların yanı sıra, obezlik, erken ölüm, uzuvların çarpılması, bağışıklık sistemi ve karaciğer ve böbrek dahil organların çökmesi gibi ciddi sağlık sorunlarına maruz kalmıştır. Dolly'nin bile birkaç yıl yaşadıktan sonra öldürülmesi gerekmiştir, çünkü sağlığı hızla bozulmuştur. Wilmut'un 2001'de yazdığı üzere: "Hayatta kalanlarda genellikle solunum ve dolaşım bozuklukları görülür. Belirgin biçimde sağlıklı olup hayatta kalmayı başaranlar bile, bağışıklık sistemi bozukluğuna ya da böbrek ve beyin kusurlarına maruz kalabilir."

Bu gibi kusurların nedenleri pek iyi bilinmiyor. 2002'de, klonlamayla üretilen farelerin plasentaları ve karaciğerlerinde analiz edilen 10.000 genden 400'ünün kötü işlediği gösterilmiştir. Klonlamada başarı oranının düşük olması ilerde düzeltilebilir. İnsanların klonlanması yine de kaygılı insan çoğunluğunun itirazlarıyla, ayrıca çeşitli dinlerin muhalefetiyle karşılaşacaktır. Ayrıca, bu başlık altında tekrar tekrar dile getirdiğimiz tema söz konusudur: Bir insanın genlerini klonlamak söz konusu olabilir, ama bir birey klonlanamaz. Anatomik ve fizyolojik özellikler dışında bir bireyi oluşturan karakter, kişilik ve özellikler genotiple belirlenmez.

Kişilik: Genotipe karşı fenotip

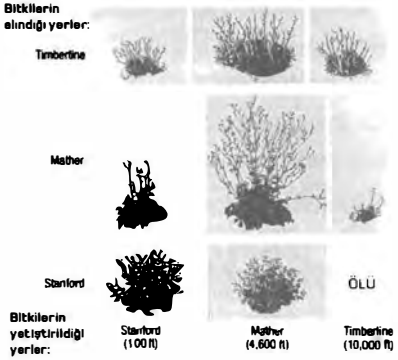
Bir bireyin genetik yapısına "genotip" denir. "Fenotip" bireyin ne olduğunu söyler, buna dış görünüm ve anatominin yanı sıra fizyoloji de dahildir, ayrıca insanlarda her şeyden önemli olan

davranışsal özellikler ve tavırlar da: Entelektüel beceriler, ahlaki ve dinî değerler, estetik tercihler, bireyin hayatı boyunca genel olarak taklit, öğrenme ya da başka biçimlerde edinilen bütün davranışsal nitelikler ve özellikler. Genotip fenotipe katkıda bulunur, ama insanlarda bütün organizmalardan daha fazla olmak üzere, fenotipi katı bir biçimde belirlemez. Fenotip farklı genler arasındaki ve genler ile çevre arasındaki karmaşık etkileşimin sonucudur.

Bir insanın bütün hayat deneyimi, bilinçli olsun olmasın, kişinin ne olacağını etkiler. Önemli bir nokta, bir insanın ana rahmindeyken çevresel etkiler almaya başlaması, doğumdan sonra, çocukluğu, ergenliği ve bütün hayatı boyunca bu etkileri almaya devam etmesidir. Etkileyici davranışsal deneyimler aile, arkadaşlar, okul hayatı, toplumsal ve siyasal hayat, okuma, estetik ve dinî deneyimler, bireyin hayatındaki başka bütün olaylarla ilgilidir.

Bir insanın genotipinin sınırsız sayıda, neredeyse sonsuz imkanı vardır, imkanlar ne kadar muazzam bir çeşitlilik gösterirse göstersin, bunların sadece bir kısmı bireyin hayatı boyunca deneyimlenecektir. Hiç kuşku yok ki hayat deneyimleri bir insandan diğerine, tek yumurta ikizlerinde bile farklılık gösterecektir. Çok sayıda araştırma, tek yumurta ikizlerinin birçok davranışsal, hatta fizyolojik özellik bakımından farklı olduğunu ve farklılıkların yaşla birlikte arttığını, çünkü yaşla birlikte deneyim çeşitliliğinin fazlalaştığını göstermiştir. Hiç de şaşırtıcı olmayan bir nokta, evlat edinilip farklı ailelerde büyüyen ikizler arasındaki davranışsal farklılıkların daha fazla olmasıdır. Farklı kuşaklarda yetişmiş "tek yumurta ikizleri" örneğinde, deneyim çeşitliliği çok büyük ve tahmin edilemez olabilir. Bir insanın genomu, eğer klonlansaydı, genetik olarak bir tek yumurta ikizi olarak düşünülebilir, ama bir kuşak sonra deneyimlenen farklı hayat koşulları hiç kuşkusuz çok farklı bir birey yaratacaktır, anatomik olarak bu birey, genomu veren kişinin aynı yaştaki haline benzese bile.

Çevrenin fenotip üzerindeki etkileri ve genotip ile çevre arasındaki etkileşimler karşı sayfadaki şekilde gösterilmiştir.



GENOTİP VE ÇEVRENİN FENOTİP [GÖRÜNÜM] ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ. CALIFORNIA'DA FARKLI YÜKSEKLİKLERDEN ALINAN *POTENTILLA GLANDULOSA* BİTKİSİNİN PARÇALARI FARKLI YÜKSEKLİKLERDE ÜÇ DENEY BAHÇESİNDE YETİŞTİRİLMİŞTİR.

California'da, kurt pençesi *Potentilla glandulosa* adlı bitkiden üç adet toplanmıştır; bitkilerden biri deniz seviyesinden 30 metre, ikincisi 1.380 metre, üçüncüsü Sierra Nevada'da yaklaşık 3.000 metre yüksekteki dağlık bölgeden alınmıştır. Her bitkiden kesilen üç parça, farklı yüksekliklerdeki üç bahçeye dikilmiş, üç bitki için de aynı bahçe kullanılmıştır. Bitkilerin her birinin bölünmesi, farklı yüksekliklere dikilen üç parçanın aynı genotipe sahip olması anlamına gelir; başka bir deyişle bu parçalar birbirlerinin genetik klonudur. (Başka birçok bitki gibi *P. glandulosa* da çeliklerle üretilebilir.)

Bir sıradaki bitkilerin karşılaştırılması, belli bir genotipin farklı çevrelerde nasıl farklı fenotipler doğurduğunu gösterir. Genetik olarak birbirinin aynı bitkiler (örneğin, alt sıradakiler) çevre koşullarına bağlı olarak serpilebilir ya da ölebilir. Görünümdeki belirgin farklılaşmanın yanı sıra, doğurganlık, büyüme hızı vs.'de de farklılaşmalar söz konusudur.

Farklı yüksekliklerdeki bitkilerin genetik bakımdan farklı olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, her sütundaki bitkilerin karşılaştırılması, belli bir çevrede farklı genotiplerin farklı fenotipler doğurduğunu göstermektedir. Bu deneyde varılan önemli bir gözlem, bütün çevrelerde "en iyi sonucu" veren tek bir genotip olmadığıdır. Örneğin, deniz seviyesine yakın yükseklikten alınan ve orada büyüyebilen bitki, 3000 metrede büyüyememiştir. Benzer şekilde, 3000 metre yüksekten alınan bitki, o yükseklikte serpilmiş, ama deniz seviyesinde sönüp gitmiştir.

Genotip ile çevre arasındaki ilişki, hayvanlar örneğinde de

aynı şekilde önemlidir. Birkaç yıl önce gerçekleştirilen bir deneyde, iki ayrı özellik gösteren fareler seçilmiştir: Biri bir labirentte yolunu bulmakta gösterdiği zeka, diğeri aynı işteki sönüklüğü yüzünden tercih edilmiştir. Seçilim, akıllı grupta her kuşağın en akıllı faresinin gelecek kuşağın döllenmesinde kullanılması ve sönük grupta her kuşağın en sönük faresinin gelecek kuşağın döllenmesinde kullanılması suretiyle gerçekleştirilmiştir. Birkaç kuşak boyunca süren seçilim sonrasında, akıllı farelerin soyundan gelenler labirenti aşmakta sadece 110 hata yaparken, sönükler ortalama 165 hata yapmıştır. Bu, yüzde 50'lik bir farklılığa tekabül eder. İnsan IQ'su üzerinden düşünüyor olsaydık, iki fare soyu arasındaki performans farkı, IQ puanları 80 ile 120'den fazla olan iki insan arasındaki farka benzerdi. Ne var ki her iki soydan gelen fareler ağır bir yoksunluğun söz konusu olduğu elverişsiz bir ortamda yetiştirilmiş olsalardı, her iki grup da ortalama 170 hata yapar, böylece farklılıklar ortadan kaybolurdu. Yoksunlukların söz konusu olduğu bir ortamda yetişen bireylerin IQ puanlarındaki benzer bir farklılık, IQ puanının 120'den 80'e inmesidir. Fareler bol gıda ve başka olağandışı elverişli koşullar altında yetiştirildiklerinde, farklılıklar neredeyse ortadan kayboluyordu. Kurt pençesi bitkilerinde söz konusu olduğu gibi, hem belli bir genotipin farklı ortamlarda farklı fenotipler doğurduğunu hem de iki genotip arasında fenotipler arasındaki farklılığın bir doğal ortamdan diğerine değiştiğini görürüz.

İnsanların klonlanması mı?

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında, genetik bilgi alanında ve genellikle "genetik mühendislik" olarak adlandırılan teknolojide çarpıcı ilerlemeler gerçekleşirken, en azından incelenmesi ve teknolojiler yeterince ilerlediğinde olasılık olarak değerlendirilmesi gereken fikirler babında bazı ütopyacı teklifler ileri sürülmüştür. Bu teklifler büyük entelektüel ve sanatsal başarılara imza atmış ya da büyük fazilet sahibi insanların klonlanması gerektiğini ileri

sürüyordu. Böyle bir şeyin çok sayıda klonlamayla gerçekleştirilmesi halinde, insanlığın genetik yapısının hatırı sayılır derecede iyileşeceği savunuluyordu. Bu gibi ütopyacı teklifler büyük bir yanılgının ürünüdür. İnsanlığa büyük yararı dokunmuş, muazzam zekaya, muhteşem bir karaktere sahip insanların sayısını artırmaya çalışırken, Stalin, Hitler ya da Bin Ladin benzeri insanlar üretebiliriz. Mükemmel genomlara sahip insanların genornlarını klonlamanın, benzer şekilde erdemlerle ya da zekayla donanmış bireyler ortaya çıkarmasını beklememizi gerektirecek bir gerekçe yoktur. Benzer genomlar, farklı ortamlarda hayli farklı olabilecek bireyler ortaya çıkarabilir. Doğal çevreler yeniden üretilemez, hele ki aradan altmış-yetmiş yıl geçtiyse.

Bir insan istiyor diye onu klonlamayı haklı çıkaracak koşullar mevcut mudur? Çocuk sahibi olamayan bir çifti, evlenmeyi istemeyen bir kadın ya da erkeği ya da başka tür özel vakaları düşünebiliriz. Öncelikle, teknolojinin klonlamayla sağlıklı bir birey ortaya çıkarmayı sağlayabilecek ölçüde geliştirilmemiş olduğuna işaret etmemiz gerekir. İkincisi ve daha da önemlisi, klonlamayla yaratılan birey, yukarıda vurguladığımız üzere, genotipi klonlanan bireyden çok daha farklı biri olacaktır.

Bir insanın klonlanmasına izin verilsin mi verilmesin mi tartışmasında karara varmaya çalışırken etik, toplumsal ve dinî değerler devreye girecektir. Çoğu kişi büyük ihtimalle böyle bir şeye karşı çıkacaktır. Aslına bakılırsa, insanların klonlanması birçok ülkede yasaklanmıştır. 2004'te, yasama organlarının embriyonik kök hücre araştırmalarına destek ya da izin verilmesi konusunu değerlendirdiği birkaç ülkede, klonlama meselesi gündeme gelmiştir. Kanada parlamentosu, 12 Mart 2004'te belli koşullar altında embriyolardan alınan kök hücrelerle yapılan araştırmalara izin veren yasalar kabul etmiş, fakat insan klonlanması, sperm satışları, yumurta bağışlayanlara ve taşıyıcı annelere ödeme yapılması yasaklanmıştır. 9 Temmuz 2004'te, Fransız parlamentosu, embriyonik kök hücre araştırmalarına izin veren, ama insanların klonlanmasını "insan türüne karşı bir suç" olarak

değerlendiren bir yasa kabul etmiştir. Üremeye dayalı klonlama deneylerinin 20 yıl hapisle cezalandırılması karara bağlanmıştır. 23 Temmuz 2004'te, Japon Bilim ve Teknoloji Kabine Konseyi, insan embriyolarının bilimsel araştırma amacıyla sınırlı olarak klonlanmasına izin veren politika tavsiyelerini benimsemeyi onaylamıştır, ama bireylerin klonlanmasına izin verilmemiştir.

Başka yerlerde olduğu gibi Japonya'da da embriyonik hücrelerle klonlama araştırmalarının beklenen sonuçlarından biri organların klonlanmasıdır. Böbrek nakline ihtiyacı olan biri için en iyi "donör", hastanın genomundan klonlanmış bir böbrek olacaktır. Bir insanın hücreleri, donörün hasta organının yerini alacak bir böbrek, bir karaciğer ya da başka bir organ haline gelmesi için klonlanıyorsa, hükümetlerin karşı çıkmaması ve ahlakçıların da bu gelişmeyi onaylaması mümkün görünmektedir.

AHLAK NEREDEN GELİYOR?

Biyolojiye karşı kültür

"Gayet iyi belirlenmiş toplumsal içgüdüleri olan herhangi bir hayvan, entelektüel güçleri insandaki kadar ya da hemen hemen o kadar iyi geliştiğinde kaçınılmaz olarak bir ahlak duygusu ya da vicdan edinecektir... Söylemek istediğim, toplumsal olduğu su götürmez bir hayvanın entelektüel becerileri insandaki kadar etkin ve son derece gelişmiş olduğunda bizimle aynı ahlak duygusuna sahip olacağı değil... Doğrunun yanlışın ne olduğuna dair bir hissi olabilir, ama bu hisle epeyce farklı davranışlar gösterebilir."

Darwin bu satırlarda, ahlak duygusunun, yani vicdanın, modern insanlarda var olduğu üzere yüksek entelektüel güçlerin bir sonucu olduğunu doğruluyordu. Dolayısıyla, insan zekası doğal seçilimin bir ürünü olduğundan, ahlak duygusu da doğal seçilimin bir ürünü olacaktır. Darwin biraz daha ileri giderek, ahlak duygusunun, doğrudan doğal seçilimle teşvik edilmediğini, doğal seçilimin doğrudan teşvik ettiği özellikler *olan* yüksek entelektüel güçlerin ancak dolaylı olarak bir sonucu olduğunu ima ediyordu. Ayrıca, Darwin'e göre bir ahlak duygusunun var olması ahlak normlarının ne olacağını, hangi eylemlerin onaylanacağını ve hangilerinin kınanacağını belirlemeye kendi başına yeterli değildir.

Ahlaki davranışa karşı ahlak kuralları

Darwin'in bir yanda ahlak duygusu ya da vicdan ile bir yanda ahlak duygusu ya da vicdana kılavuzluk eden kurallar arasında yaptığı ayrım temel önemdedir. Bu ayrım üzerinde ayrıntılı

olarak duracağım. Darwin'den sonra, özellikle bilim insanları ve filozoflar arasında yaşanan, ahlak duygusunun biyolojik olarak belirlenip belirlenmediği konusundaki tarihsel tartışmaların büyük bir bölümü, bu ayrımın yapılmamasından kaynaklanan bir hatayla doğmuştur. Bilim insanları genellikle, ahlakın insanın biyolojik bir özelliği olduğunu doğrular, çünkü akıllarında "ahlak duygusu", ahlaki yargılara varma, yani bazı eylemlerin iyi ve bazılarının kötü olduğu yargısına ulaşma yetisi vardır. Bazı filozoflar, ahlakın biyolojik olarak belirlenmediğini, daha ziyade kültürel geleneklerden ya da dinî inançlardan geldiğini savunur, çünkü akıllarında ahlaki kurallar, yani hangi eylemlerin iyi ve hangilerinin kötü olarak değerlendirileceğini belirleyen kurallar dizisi vardır. Ahlak kurallarının kültürden kültüre değiştiğini, dolayısıyla biyolojik olarak önceden belirlenmediğini savunurlar.

Aristoteles ve klasik Yunan ve Roma'daki başka filozofların yanı sıra, yüzyıllar boyunca gelip geçmiş daha başka birçok filozof, insanların doğaları gereği ahlaki değerlere sahip olduğunu savunmuştur. Bir insan sadece *Homo sapiens* değil, aynı zamanda *Homo moralis*'tir. Ama biyolojik evrim iki önemli meseleyi gündeme getirir: zamanlama ve nedensellik. Hayvanlara etik davranışlar yakıştırmayız (bütün hayvanlara değil, her halükarda onlardan insanlardan beklediğimiz ölçüde etik davranışlar beklemeyiz). Etik davranışlar, insanın evriminde ne zaman ortaya çıkmıştır? Modern insanlarda başından beri etik duygusu olmuş mudur? Neandertaller etik duygusuna sahip miydiler? Peki ya atamız olan *Homo erectus* ve *Homo habilis* türleri? Peki ahlak duygusu nasıl evrilmiştir? Doğrudan doğal seçilimle mi teşvik edilmiştir? Yoksa seçilimin doğrudan hedeflediği bir başka özelliğin (örneğin zekanın) yan ürünü olarak mı ortaya çıkmıştır? Yoksa ahlak duygusu, biyolojik evrimden ziyade, kültürel evrimin mi bir sonucudur?

Etik davranışın biyolojik olarak belirlenip belirlenmediği meselesi, aslında, şu iki meseleden biriyle ilgili olabilir. İlki, etik kapasitesidir; ahlak duygusu, yani insan eylemlerini doğru ya

da yanlış olarak değerlendirme yatkınlığı insanların biyolojik doğası tarafından mı belirlenmiştir? İkincisi, etik kural sistemleri ya da yasaları biyolojik olarak mı belirlenmiştir? Dille ilgili olarak da benzer bir ayrım yapılabilir. Sembolik yaratıcı dil yetisinin biyolojik doğamızla belirlenip belirlenmediği meselesi, konuştuğumuz dilin (İngilizce, İspanyolca vs.) biyolojik olarak belirlenip belirlenmediği meselesinden farklıdır, dil söz konusu olduğunda besbelli ki böyle bir belirlenme söz konusu değildir.

İlk soru, insanların biyolojik doğasının mutlaka ahlaki yargılarda bulunmaya ve etik değerleri kabul etmeye, yani belli eylemleri doğru ya da yanlış olarak tanımlamaya eğilimli olup olmadığını sorar. Ahlaki davranışın biyolojik evrimin bir sonucu olup olmadığı sorusunu yöneltir. Bu ilk soruya verilecek olumlayıcı cevaplar, ikinci soruya verilecek cevabın nasıl olması gerektiğini mutlaka belirlemez. İnsanların biyolojik olarak belirlenmiş bir ahlak duyguları olup olmadığından bağımsız olarak, belli ahlaki kuralların aslında insanların biyolojik doğası tarafından mı, toplum tarafından mı yoksa bireylerin kendisi tarafından mı belirlendiği sorusunun cevaplanması gerekir. Ahlaki değerlere duyulan ihtiyaç, ahlaki değerlerin neler olması gerektiğini söylemez, tıpkı dil becerisinin hangi dili konuşacağımızı belirlemediği gibi.

İnsanların biyolojik doğaları gereği etik varlıklar olduğunu, insanların özbilinç ve soyut düşünceyi de içeren yüksek entelektüel becerileri sonucu davranışlarını doğru ya da yanlış olarak, ahlaklı ya da ahlaksız diye değerlendirdiklerini ileri süreceğim. Bu entelektüel yetiler, evrim sürecinin ürünleridir, ama ayrıksı olarak insanidirler. Belli eylemleri ahlaken iyi ya da kötü olarak değerlendirmekte başvurduğumuz ahlak kurallarının (ayrıca ahlak kurallarını haklı çıkarmakta başvurulan gerekçelerin) biyolojik evrimin değil, kültürel erimin ürünü olduğunu ileri süreceğim.

Ahlak duygusunun evrimi

Ahlak duygusu neden biyolojimizle belirlenen, dolayısıyla da doğal seçilimle ortaya çıkan bir özelliktir? Ahlak duygusu bazı eylemlerin erdemli ya da ahlaken iyi, bazılarının kötücül ya da ahlaken kötü olarak değerlendirilmesini ifade eder. Bu anlamda ahlak, insan eylemlerinin başka insanlar açısından doğurduğu sonuçlar bakımından doğru ya da yanlış olarak değerlendirilmesi yetisi ya da ihtiyacıdır.

Bu anlamda, insanlar doğaları gereği ahlaki varlıklardır, çünkü biyolojik yapıları etik davranış için gerekli üç koşulun onlarda bulunmasını belirler. Bu koşullar, insanın kendi eylemlerinin sonuçlarını öngörebilme becerisi, değer yargısında bulunabilme becerisi, alternatif eylemler arasında bir tercihte bulunabilme becerisidir. Bu beceriler, insanların ileri bir entelektüel yetiye sahip olmaları sonucunda var olur.

İnsanın kendi eylemlerinin sonuçlarını öngörebilme becerisi, etik davranış için gerekli üç koşulun en temelidir. Ancak ve ancak tetiği çekmemin kurşunu ateşleyeceği, kurşunun da gidip düşmanıma vurup onu öldüreceğini öngörebiliyorsam, tetiği çekme eylemi alçakça bir eylem olarak değerlendirilebilir. Bir tetiği çekmek kendi başına ahlaki bir eylem değildir; kendisine bağlı sonuçlar sayesinde ahlaki bir eylem haline gelir.

Ancak ve ancak bu sonuçları öngörebiliyorsam, eylemimin etik bir boyutu vardır. İnsanın kendi eylemlerinin sonuçlarını öngörebilme becerisi, amaçlarla sonuçlar arasında bağlantı kurma, yani bir aracı kesinlikle bir araç, belli bir amaca hizmet eden bir şey olarak görme becerisiyle yakından ilintilidir. Araçlar ile amaçları arasındaki bağlantıyı kurabilme becerisi, geleceği öngörebilme ve var olmayan ya da henüz vuku bulmamış gerçekliklerin zihinsel imgelerini oluşturabilme becerisini gerektirir.

Araçlar ile amaçlar arasında bağlantı kurabilme becerisi, insan kültürü ve teknolojisinin gelişmesini mümkün kılmış temel entelektüel beceridir. Bu becerinin uzak evrimsel kökenleri, iki

ayak üzerinde yürümenin evriminde bulunabilir; iki ayak üzerinde yürümek, atalarımızın ön uzuvlarını hareketi sağlayan organlar olmaktan çıkarıp, yönlendirmeye yarayan uzuvlara çevirmiştir. Böylece eller yavaş yavaş, inşa etmekte ve avlanmaya yarayan nesnelerin kullanımında ve hayatta kalmayı ve üremeyi iyileştiren başka faaliyetlerde usta; yani, taşıyıcılarının üremeye uygunluğunu artıran organlar haline gelmiştir. Alet yapımı sadece el işlerinde usta olmaya değil, aletleri kesin olarak aletler, belli eylemleri gerçekleştirmeye yarayan nesneler olarak algılamaya dayanır; yani, belli amaçlara hizmet eden araçlar olarak: Bıçak, kesmek için; ok, avlanmak için; bir hayvan postu, bedeni soğuktan korumak içindir. Doğal seçilim, iki ayak üzerinde yürüyen atalarımızın entelektüel yetilerinin artmasını teşvik etmiştir, çünkü artan zeka, aletlerin alet olarak algılanmasını, dolayısıyla yapılıp kullanılmalarını kolaylaştırıyor, bu da biyolojik olarak hayatta kalma ve üremenin iyileştirilmesini sağlıyordu.

Atalarımızın entelektüel becerilerinin gelişmesi binlerce yıl içinde gerçekleşti, araçlarla amaçlar arasında bağlantı kurma, dolayısıyla çok daha ileri amaçlara hizmet eden çok daha karmaşık aletler yapma becerisi yavaş yavaş arttı. Etik davranış için temel önemde olan geleceği öngörebilme becerisi, işte bu yüzden alet yapma becerisiyle yakından ilgilidir. Alet yapma becerisi modern toplumlardaki ileri teknolojileri üretmiştir ve biyolojik bir tür olarak insanların başarısının ardında da büyük ölçüde bu beceri vardır.

Etik davranışın var olması için ikinci koşul, değer yargısında bulunabilme, yani belli nesneleri ya da davranışları diğerlerinden daha fazla arzu edilir görme becerisidir. Düşmanının ölümünü, hayatta kalmasına (ya da tam tersini) tercih edilebilir görürsem, onun ortadan kalkmasına yönelik eylem, ahlaki bir eylem olarak görülebilir. Alternatif eylemlerin sonuçları değer bakımından etkisizse, bir eylem etik olarak nitelenemez. Değerler çok çeşitlidir: Sadece etik değil, estetik, ekonomik, gastronomik, politik vs.'dir. Ama her halükarda, değer yargısında bulunabilme

becerisi soyutlama yetisine, yani eylemleri ya da nesneleri genel sınıfların mensupları olarak görebilme becerisine dayanır. Bu da nesneleri ya da eylemleri karşılaştırmayı ve bazılarını diğerlerinden daha arzulanır olarak algılamayı mümkün kılar. Soyutlama becerisi insanlarda, görünüşe bakılırsa sadece onlarda olan türden ileri bir zekayı gerektirir.

Etik davranış için gerekli üçüncü koşul, alternatif eylemler arasında seçim yapabilmektir. Tetiği çekmek ancak ve ancak kişinin tetiği çekmemek gibi bir tercihi olabilecekse ahlaki bir eylem olabilir. Bilinçli denetimin ötesine geçen zorunlu eylem, ahlaki bir eylem değildir: Kanın damarlarınızda dolaşması ya da yediklerinizin sindirilmesi ahlaki eylemler değildir. Özgür iradenin olup olmadığı meselesi, filozofların çok tartıştığı ve uzun uzadıya kapsamlı argümanların ileri sürüldüğü bir meseledir. Özgür iradenin varlığı yönünde sağduyuya dayalı iki değerlendirme ileri süreceğim. Biri kişisel deneyimlerden ileri geliyor, kişisel deneyim, sadece görünürde olmanın ötesine geçip sahici olan alternatifler arasında tercih yapma olasılığını belirtir. İkinci değerlendirmeyse, kendi adımıza eyleme geçmemizi gerektiren bir durumla karşı karşıya kaldığımızda, farklı eylem hatlarını zihinsel olarak araştırabilir olmamız ve böylece serbest irademizi kullanabileceğimiz sahayı genişletebilmemizdir. Her halükarda, özgür irade olmasaydı, etik davranış olmazdı; ahlak sadece bir yanılsama olurdu. Mesele, özgür iradenin iyi gelişmiş bir zekanın varlığına bağlı olmasıdır, bu da farklı eylem hatlarını araştırmayı ve öngörülen sonuçlar dikkate alınarak şu veya bu yolun tercih edilmesini mümkün kılar.

Ahlak uyarlanmacı mıdır?

Biraz önce geliştirdiğimiz ahlaklı davranış açıklamasıyla ilgili iki meseleyi şöyle ortaya koyabiliriz: 1) Ahlak yüksek bir zekanın bir yan ürünü olmak yerine, doğal seçilimin doğrudan desteklediği bir uyarlanma mıdır?; 2) Başka hayvanlarda da, gerek

doğrudan doğal seçilimle teşvik edilmiş olarak gerekse hayvan zekasının bir sonucu olarak, ilkel bile olsa ahlak bulunur mu?

İlk sorunun cevabı olumsuzdur. Ahlak, belli eylemleri doğru ya da yanlış olarak değerlendirmekten oluşur; bazı eylemler yerine başka bazı eylemleri seçmek ve gerçekleştirmekten ya da bu eylemleri pratik sonuçlarına göre değerlendirmekten değil. Bir eylemi iyi ya da kötü olarak değerlendirenlerin üreme uygunluğunun ahlaki yargılarla teşvik edilmesi mümkün görünmüyor. Doğal seçilimin sonradan teşvik edeceği "başlangıç aşaması"nda bir tür etik davranış olması da mümkün görünmüyor. Etik davranışın var olması için gerekli üç koşul, ileri düzeydeki entelektüel becerilerin ifadesidir.

Öyle görünüyor ki doğal seçilimin hedefi, bu ileri entelektüel yetilerin geliştirilmesiydi. Doğal seçilim bunu teşvik ediyordu, çünkü aletlerin yapılması ve kullanılması, iki ayak üzerinde yürüyen atalarımızın stratejik konumunu iyileştirmişti. İki ayak üzerinde yürüme evrildiğinde ve sonrasında alet kullanma ve alet yapma pratik bir hal aldığında, bu işlevlerde daha etkili olan bireylerin biyolojik bakımdan başarılı olma olasılığı da arttı. Aletlerin tasarımı ve kullanımının sağladığı biyolojik yarar, entelektüel becerileri artıracak, nihayetinde zekanın ileri derecede gelişmesini *Homo sapiens*'in tipik özelliği haline getirecek kadar uzun bir süre boyunca devam etti.

Ahlak kuralları ne zamandan beridir var?

Ahlaklı davranış (bazı eylemlerin iyi, bazılarının kötü olarak değerlendirilmesi) ile ahlak kuralları (eylemleri değerlendirirken başvurulan kurallar ya da kabuller) arasında bir ayrım yaptım. Ahlaki davranışın *Homo sapiens*'in biyolojik bir özelliği olduğunu, çünkü biyolojik yapımızın, daha açık bir deyişle yüksek zekamızın zorunlu bir sonucu olduğunu ileri sürdüm. Fakat ahlak kuralları, biyolojik evrimin değil, kültürel evrimin ürünleridir.

Öncelikle, ahlak kurallarının, başka kültürel sistemler gibi,

biyolojimize doğrudan ters düşmeleri halinde, uzun süre ayakta kalamayacaklarını belirtmemiz gerekir. Ahlak kurallarının biyolojik doğayla tutarlı olması gerekir, çünkü etik sadece insan bireylerde ve insan toplumlarında mevcuttur. Bu yüzden de, örneğin çocuk bakımı gibi, kabul edilmiş ahlak kurallarının, bu kurallara uygun olarak davrananların biyolojik uygunluğunu artırması beklenebilir, aslında böyle de olur. Ama bu ne gereklidir ne de her zaman böyle olur: İnsan toplumlarında yaygın olarak kabul gören bazı ahlaki kuralların biyolojik uygunlukla pek az ilgisi vardır ya da hiç yoktur, bazıları biyolojik uygunluğa ters düşer.

Daha ileri gitmeden önce, ahlak kurallarının gerekçelendirilmesinin dinî kanılardan, sadece dinî kanılardan doğduğu önermesini de değerlendirmek gerekiyor. Dinî inanç ve ahlaki ilkeler arasında hiçbir gerekli ya da mantıklı bağlantı yoktur, ama genellikle saiklerle ilgili ya da psikolojik bir bağlantı vardır. Dinî inançlar, insanların belli etik kuralları neden kabul ettiğini açıklar, çünkü insanlar dinî kanıları gereği böyle davranmaya motive olurlar. Ama insan kendi dininin ahlaki emirlerini izlerken, kabul ettiği ahlaki kuralları akılcı olarak gerekçelendirmez. Elbette ki böyle akılcı gerekçelendirmelerin geliştirilmesi mümkündür, örneğin bir dizi dinî inanç, insan doğası ve dünya hakkında, mantıksal olarak çok çeşitli etik kuralların türetilebileceği önermeler içerir. Aslına bakılırsa, Hristiyan teologlar da dahil olmak üzere dinî yazarlar genellikle, etiklerini insan doğasıyla ilgili akılcı temellere dayanarak gerekçelendirmeyi önermişlerdir. Ama bu durumda, etik kuralların mantıksal gerekçelendirmesi, olduğu haliyle dinî inançtan değil, dünyanın özel bir biçimde algılanmasından gelir; bu durum, belli öncüllere dayanan felsefi analizin sonucudur.

Dinî inançlar ile etik kurallar arasındaki saiksel bağlantı, dinî inancı olan kişi açısından belirleyici bağlantı olabilir pekala. Ama bu genel olarak geçerlidir zaten: Çoğu insan, dindar olsun olmasın, belli bir ahlaki kuralı toplumsal gerekçelerle kabul eder; ahlaki kuralların mantıksal olarak çıkarsanabileceği bir

kurama dayanarak o ahlaki kuralı akılcı olarak haklı çıkarmaya çalışmaz. Toplumlarında baskın olan ahlaki kuralları kabul ederler, çünkü bu kuralları ebeveynlerinden, okuldan, dinden ya da başka otoritelerden öğrenmişlerdir.

Bu yüzden de geride şöyle bir soru kalıyor: Ahlak kuralları nasıl ortaya çıkar?

Bu soruya verilebilecek kestirme cevap, daha önce de belirttiğimiz üzere, ahlak kurallarının, kültürel evrimin, yani biyolojik evrimi aşan ayrıksı bir insani evrim tarzının ürünü olduğudur; kültürel evrim biyolojik evrimi aşar, çünkü ondan daha hızlıdır, çünkü yönlendirilebilir. Kültürel evrim kültürel kalıtıma dayanır; kültürel kalıtım Mendelci değil, Lamarckçıdır, yani edinilen özellikler aktarılabilir. Daha da önemlisi, kültürel kalıtım, ebeveynlerden çocuklara uzanan biyolojik kalıtsallığa dayanmaz, biyolojik bağlar olmaksızın ve yatay olarak da aktarılabilir. Kültürel bir mutasyon, yani bir icat (örneğin dizüstü bilgisayar, cep telefonu ya da rock müzik) bir kuşaktan daha kısa bir sürede milyonlarca bireye taşınabilir.

Ezelden beri, insan toplumları ahlaki sistemlerle deneyler yapmıştır. Bu deneylerin bazıları başarılı olmuş, her ne kadar farklı toplumlarda başka ahlaki sistemler varlığını sürdürse de insanlığa yayılmıştır, On Emir gibi örneğin. Geçmişteki birçok ahlaki sistem, yerlerini yeni sistemlere bıraktıkları ya da bunları sahiplenen toplumlar yok olduğu için tükenip gitmiştir. Ahlaki sistemler, belli toplumlarda tahayyül etmesi zor sebeplerle yayılmıştır, ama hiç kuşkusuz bu sebepler arasında, bu sistemlerin en azından toplumsal istikrar ve başarıyı teşvik ettikleri ölçüde yararlı olduğuna dair bireylerin algısı da vardır. Empati ya da başka bireylerin hislerini zihinsel olarak özümseme becerisi, özgeciliği ya da başka yaygın ahlaki davranış kalıplarını teşvik eden davranışsal bir özelliktir. Birçok toplumda sivil makamlar (zina yapanların ya da cinayet işleyenlerin cezalandırılması) ve dinî inançlar (Tanrı sizi izliyor, doğru davranmazsanız cehenneme gidersiniz) bazı kuralların kabul edilmesini zorlamıştır.

İnanç sistemlerinin yanı sıra, hukuki ve siyasi sistemler de kültürel evrimin sonuçlarıdır.

Darwin'in ahlaki iyimserliği

Darwin, *İnsanın Türeyişi*'nin "İlkel ve Medeni Devirlerde Entelektüel ve Ahlaki Melekelerin Gelişimi Üzerine" başlıklı beşinci bölümünde şunları yazmıştır:

> *Birçok mensubu vatanperverlik, sadakat, itaat, cesaret ve sempati ruhuna yüksek ölçüde sahip olduğundan, her zaman birbirine yardım etmeye ve ortak yarar için kendilerini feda etmeye hazır bir kabilenin diğer çoğu kabileye galebe çalacağına hiç kuşku yoktur; bu doğal seçilim olacaktır. Bütün devirlerde, dünyanın her yerinde kabileler başka kabilelerin yerini almıştır; bu başarılarının bir unsuru da ahlak olduğundan, ahlak standardı ve iyi donanımlı insanların sayısı her yerde artma ve yükselme eğilimi göstermiştir.*

Darwin iki önemli iddiada bulunuyordu. Öncelikle, ahlak bazı kabilelerin diğerleri karşısında başarılı olmasına katkıda bulunabilir, bu da grup seçilimi biçiminde doğal seçilimdir (yani aynı grup ya da nüfus içinde ille de bazı bireyleri diğerleri karşısında kayırmaksızın, bir grup ya da nüfusu diğerleri karşısında kayıran seçilim). İkincisi, insanlık tarihi boyunca, grup seçilimi gerekçesiyle ahlak standartları iyileşme eğilimi gösterecektir, çünkü bir kabilenin ahlak standartları ne kadar yüksek olursa, başarı ihtimali de o kadar fazla olur. Bu ahlaki iyimserlik iddiası, hangi standartların diğerlerinden "yüksek" olarak görüldüğüne dayanır. Daha yüksek standartlar kabilenin başarısına katkılarıyla tanımlanıyorlarsa, iddia daireseldir. Ama Darwin'in bakış açısına göre, kabilenin başarısına katkıda bulunacak belli standartlar vardır: vatanperverlik, sadakat, itaat, cesaret ve sempati.

Ebeveynlerin çocuklarına bakması, doğal seçilimin genellikle

desteklediği, ilkel toplumlardan çok ileri toplumlara kadar hemen hemen bütün ahlak yasalarında bulunabilecek bir davranış biçimidir. Ahlak kurallarının onayladığı, doğal seçilimin desteklediği biyolojik karşılıkları olan başka insan davranışları da mevcuttur. Bunlara verilebilecek örneklerden biri, bazı hayvan türlerinde rastlanan, ama birçoğunda rastlanmayan monogamidir. Hiç kuşkusuz hepsinde değil, ama birçok insan kültüründe de monogami onaylanmıştır. Poligami bugün bazı insan kültürlerinde kabul görür, ama geçmişte daha fazla kabul görüyordu. Anne-yavru birimi dışında yiyecek paylaşımı, primatlarda nadiren görülür, şempanzeler bir istisnadır (açıktır ki kapuçin maymunları da). Gerçi şempanzelerde bile bu davranış biçimi hayli seçicidir ve genellikle karşılıklıdır. Primatlar arasında karşılıklı yardımın daha yaygın bir biçimi koalisyon oluşturmaktır; aynı türün başka mensuplarıyla mücadele için ittifaklar kurulur, gerçi bu ittifaklar değişkendir, ortaklar taraf değiştirmeye her zaman hazırdır.

Ahlak kurallarının, belli bir insan toplumu ya da kültüründe var oldukları biçimiyle, o kültür içinde genel olduğu düşünülür. Ama kültürün başka unsurları gibi, ahlak kuralları da sürekli bir evrim içindedir, genellikle tek bir kuşak içinde evrilirler. Örneğin, Batı toplumları son dönemde farklı davranış biçimlerinin ahlakileştirilmesi ve ahlaktan uzak hale getirilmesine sahne olmuştur; sigara içmek ahlakileştirilmiştir, şimdi ahlak dışı bir davranış muamelesi görmektedir. Boşanma, gayri meşru ilişki ve homoseksüellik ahlaktan uzak hale gelmiş, ahlaki kusurlar olmaktan çıkıp, hayat tarzı tercihleri haline dönüşmüştür. İnsan toplumlarını yöneten hukuki ve siyasi sistemlerin yanı sıra, dinin ileri sürdüğü inanç sistemleri, insanlık tarihi boyunca, özellikle son birkaç bin yılda yaşandığı üzere, kültürel evrimin sonucudur.

DİL SADECE İNSANA ÖZGÜ BİR ÖZELLİK MİDİR?

İnsanlar konuşur; karıncalar ve arılar iletişim kurar

"Ne var ki kelimelerden oluşan dil insana özgüdür; ama insan kastettiği şeyi ifade etmek için, daha aşağı düzeydeki hayvanlar gibi, kelimelerden oluşmayan çığlıklar kullanır, jestlerden, yüzündeki kasların hareketinden yardım alır. Bu özellikle, yüksek zekamıza pek bağlı olmayan daha basit ve canlı hisler için geçerlidir... İnsanı diğer hayvanlardan ayıran şey sadece konuşma gücü değildir... belli sesleri belli fikirlerle ilişkilendirme konusundaki büyük becerisidir; bu da besbelli ki zihinsel melekelerin gelişimine dayalıdır."[6]

Dil, türümüzün en ayrıksı davranışsal özelliklerinden biridir. Başka hiçbir hayvan bizim gibi, sembolik yaratıcı diller sayesinde konuşamaz. Dilin evrimini ele aldığımızda, bu evrimin ne zaman ve nasıl gerçekleştiği sorusuyla karşı karşıya kalırız. Dil melekesi, sadece insanlarda mevcut olan bir ön temel gerektirir: Bu da *Homo sapiens*'te, yaşayan türler arasında sadece *Homo sapiens*'te bulunan gelişmiş zekadır.

İletişime karşı dil

Dilin sözlükteki tanımı şöyledir: "Bir topluluğun kullandığı ve anladığı kelimeler, telaffuzları ve bunları birleştirme biçimleri." Bu şekilde tanımlanan dil sadece insanlarda bulunur. Ama dilin asıl amacı, bireyler arasında iletişimi sağlamaktır. Aynı sözlükte, iletişim şöyle tanımlanır: "Bireyler arasında ortak bir sembol,

6 Charles. Darwin, *The Descent of Man* (1871)

işaret ya da davranış sistemiyle bilgi alışverişinde bulunma süreci." İletişim hayvanlar arasında da gerçekleşir, ama dil yoluyla değil. Aynı sözlükte verilen bir örnek şöyledir: "Böceklerin iletişiminde feromonların işlevi".

Hayvanlar sesler, jestler, kimyasal maddeler ve beden hareketleri aracılığıyla iletişim kurar. Ama dil sadece insanların sahip olduğu bir şeydir. Başka hiçbir tür, çıkardığı sesleri, dilin oluşturduğu gibi sistematik bir sembolizm oluşturacak şekilde uylaşımsal hale getirmemiştir. İnsan dili iki bakımdan yaratıcıdır, ölçeği itibarıyla neredeyse sınırsızdır: Bunlardan biri yaratılan kelimelerin sayısı, diğeri de kelimelerin deyişler, cümleler, paragraflar vs. halinde birleştirilme biçimlerinin sayısıdır.

Hayvanlar arasında sofistike bir iletişim sistemi "arıların dili"dir. Yiyecek arayan bir işçi arı, bir yiyecek kaynağı ya da arzu edilir bir yuva yeri bulduğunda kovana geri döner ve bu yeri diğer işçi arılara bir sallanma dansıyla, yani çevresindeki kardeş işçi arı kalabalığı arasında tekrar tekrar sekiz çizdiği bir uçuşla anlatır. Bu uçuş sırasında, karnının ucunu hızla sallar ve kanatlarını titreştirerek bir vızıltı sesi çıkarır. Güneşin bulunduğu konuma göre, yiyecek kaynağı ya da yuva yerinin yönüyle ve mesafesiyle ilgili bilgi aktarır: Hedef ne kadar uzaksa, dans o kadar uzun sürer. Sallanma dansı, insan dışı başka iletişim biçimleri gibi, insanlar arasındaki sözlü dile kıyasla ciddi biçimde sınırlıdır. Dansın kuralları genetik olarak sınırlıdır ve yön ve mesafe bildirir.

Böcekler ve aşağı düzeydeki başka hayvanlardaki bilinen iletişim biçimleri her zaman basmakalıptır. Sınırlı sayıdaki sinyallerin her biri, sabit bir cevapla ilişkilidir. Kimyasal sinyaller, böcekler arasında en yaygın iletişim biçimidir. Dişi ipek böceği, karnının ucundan karmaşık bir alkolü ince ince damlatarak erkekleri çeker. Erkek ipek böceği, iki anteninin her birindeki binlerce kılla bu molekülleri yakalar; bu antenler, dişi ipek böceği güvelerinin saldığı alkolden başka molekülle cevap vermez.

Karıncalar, termitler ve başka sosyal böcekler çoğunlukla

feromonlarla, türlere özel kimyasal moleküllerle iletişim kurar. Kimyasal sinyallerin yanı sıra, dokunsal işaretler de kullanılır. Sosyal olmayan böcekler de kimyasal ve dokunsal iletişim sistemlerini kullanır, bu sistemler hayli karmaşık olabilir, örneğin cırcırböceklerinde olduğu gibi.

Balıklar, kuşlar ve memelilerdeki en kapsamlı iletişim araçları gösteriler, belli bilgileri aktarmak için evrimleşmiş karmaşık davranış örüntüleridir. Gösteri davranışları çoğunlukla, dişiler ve erkekler arasında çekici görünmek için, çiftleşmeyle ilgili olarak kullanılır. Gösteri örüntüleri ve bunlarla ilişkili cevaplar balıklarda (örneğin lepistesler, dikenli balık ve güneş balıklarında), kuşlarda (ördekler, balıkçıllar, martılar, serçeler ve büyük baştankaralarda) ve memelilerde (geyik, elk, ceylan, lemur, ipek maymun, alyanaklı maymun ve büyük kuyruksuz maymunlar da dahil olmak üzere, başka primatlarda) incelenmiştir.

Hayvanlar seslerle, az çok ayrıntılı şarkılarla, alarm çağrıları, tehdit edici hırıltılar ve homurtularla da iletişim kurar. Çok sayıda kuş türünde, ama aynı zamanda balinalarda ve başka deniz memelilerinde de ayrıntılı şarkılara rastlanmıştır. Cırcır böcekleri, türe özel, yüksek sesli, ısrarcı "şarkılar"la iletişim kurar. İnsan dışı hayvanlardaki çoğu iletişim sinyali, genetik olarak sabittir. Ama büyük kuyruksuz maymunlar ve başka primatlar, zaman zaman başka jestler ve homurtular da öğrenir. Bazı kuş türleri, türe özel şarkıları ebeveynlerinden ya da türün başka mensuplarından duymadan önce bile şakıyabilme becerisine sahiptir. Başka türlerde yavrular, türe özel şarkıları ancak ebeveynlerinden ya da türün başka mensuplarından duyduktan sonra söyleyebilir. Deneyler, bazı kuş türlerinde, yavruların, duydukları ilk şarkıyı, türün başka mensuplarından duymuş olsalar da olmasalar da öğrendiklerini göstermektedir, gerçi doğada duyacakları ilk şarkı muhtemelen ebeveynlerinin şarkısı olacaktır.

Dilin kökeni

İnsan dilinde bulunduğu üzere, sinyal bileşimlerinin anlamının görünüm sıralarına dayandığı, sinyallerin birleştiği ve düzenlerinin sınırsız olarak değiştiği gerçek söz dizimi, hayvanlar arası iletişimde asla söz konusu değildir. İnsan dışı hayvanlar, insan dillerinin yaratıcı özelliklerine damgasını vuran neredeyse sonsuz iki konuşma tarzından (kelimeler ve kelime bileşimleri) tümüyle yoksundur.

İnsanın konuşmasıyla ilgili herhangi bir açıklama, yaygın deyişle "Platon problemi" ya da "harekete geçirici yoksunluğu"yla karşı karşıya kalır. Çocuklar çok kısa bir süre zarfında, dağınık ve karmaşık bilgilere dayanarak, doğru sentaktik yapıları anlayabilir ve üretebilirler. Amerikalı dilbilimci Noam Chomsky, konuşma yetisini türümüzün doğuştan gelen bir özelliği haline getiren genetik yükün varlığını koyutlamıştır. Bu meleke, ayrıksı bir insan özelliği olarak evrimin bir ürünü olsa gerektir.

Chomsky'ye göre, dil donanımı doğuştandır, tıpkı jestler üretip yorumlama ve yüzleri tanıma becerisinin doğuştan olduğu gibi. Bu durum, herhangi bir işaretli iletişim sisteminin, evrim sürecinde, dil becerisiyle aynı mekanizmalar sayesinde ve aynı zamanda ortaya çıkmış olacağı anlamına gelmez. Bilakis, dile uzanan yol, evrimleri iki milyon yılı aşkın bir süreye yayılmış çok farklı bir dizi iletişim yeteneğinin bileşimidir. Ama öyle görünüyor ki atalarımızın evrimi sırasında bir noktada, iletişim becerisi üç yeniliğin ortaya çıkmasına bağlı olarak tamamen yeni bir yön almıştır: İlki, sesli ve sessiz harfleri oluşturabilecek sesleri çıkaran bir organdır; ikincisi, sesli ve sessiz harf bileşimlerini anlamlarla ilişkilendiren semantik özdeşleştirmedir; üçüncüsüyse, sentaktik kurallara tabi olan sınırsız sayıda mesaj üretebilen fonetik/semantik birimlerin bileşimidir. Böyle bir yetiler bileşimi sadece insana özgüdür. Önceki iletişim becerilerini yeni ve benzersiz bir dile çeviren çok özel mutasyonlarla ortaya çıkmış olabilir.

Genler ve dil

Dilsel yetkinliğe, hızla ve sistematik öğrenme ödevleri olmaksızın ulaşılmıştır. Bu yüzden de, doğuştan bazı genetik donanımların varlığını koyutlamak gerekmiştir. İnsanın bu konuşma yetisini hangi genler kontrol eder?

FOXP2, dille ilgili bir işlevi olduğu tanımlanan ilk gen olmuştur. Kalıtımla miras alınan ciddi bir dil ve konuşma bozukluğu olan bir ailenin incelenmesi sırasında, bu gen yalıtılmıştır. Bu rahatsızlıktan etkilenen aile mensupları, ince yüz hareketlerini seçip sıralamakta zorluk çekiyorlardı, gramatik kusurların yanı sıra, sözel olmayan hafif bilişsel bozukluklar gösteriyorlardı. Kısa süre içinde, bu rahatsızlığın kromozom 7'de bulunan bir gendeki noktasal bir mutasyondan ileri geldiği anlaşıldı.

FOXP2 sadece insanlarda bulunmaz. Evrimsel olarak insanlar ve fareler kadar uzak hayvanların genomunun da bir parçasıdır, ama sadece insanlarda, konuşulan dille ilgilidir. *FOXP2* proteini, memeliler arasında son derece iyi korunmuştur: Primatlar ve farelerin son ortak atalarıyla insanlar ve şempanzelerin son ortak ataları arasında geçen 70 milyonluk süre zarfında sadece bir tane amino asit değişikliği geçirmiştir. İnsan ve şempanze soylarının 6-7 milyon yıl önce farklılaşması sonrasında, insandaki protein, iki amino asit değişikliği daha geçirmiştir, şempanzedeki proteinse değişmemiştir. Eğer bu gen konuşma ve dille ilgili sinirsel devrelerin oluşumuna katkıda bulunuyorsa, insan soyunda meydana gelmiş son iki mutasyonun dilin gelişimi açısından önemli olması mümkün görünmektedir.

Bazı yazarlar, bu olayların son 200.000 yıl içinde gerçekleştiği tahmininde bulunmaktadır. Bu genin bir şempanzede ya da daha önceki bir hominidde bulunan versiyonuyla dil mümkün olabilir miydi bilmiyoruz. Olasılıklardan biri, modern *H. Sapiens*'in gelişimiyle birlikte, dilin hominid soyunda hayli hızlı bir biçimde ortaya çıkmış olmasıdır. Ne var ki bu proteinin yüksek düzeyde korunması ve bu genin beyindeki ifadesinin örüntüsü,

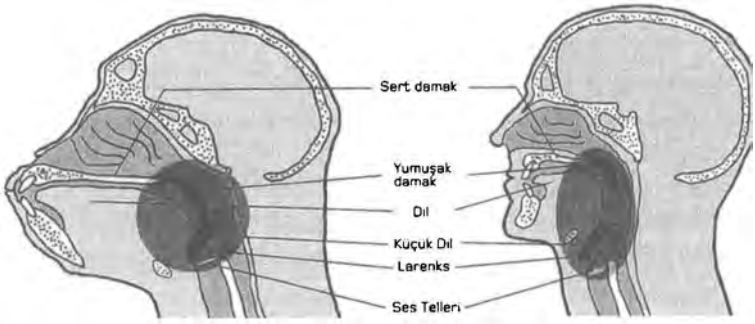
dil ve konuşmanın, en azından kısmen, başka türlerde mevcut olan, önceden mevcut sinirsel yolların kullanılması ya da ince ayarı sayesinde, dil yetisinin yavaş yavaş ortaya çıktığını gösteren sinirsel yapılarla desteklendiğini düşündürür.

Ses yolları

Farklı insan dillerinde farklı sesli ifadeler kullanılır, gerçi bütün diller sesli ve sessiz harflerin düzenli bir biçimde sıralanmasından oluşur. Önemli meselelerden biri, homininlerin sesli ve sessiz harfleri modern insanlara benzer bir biçimde telaffuz etme becerisini ne zaman kazandığını belirlemektir. Şempanzeler bunu yapma becerisine sahip değildir, dolayısıyla da bu yetinin hominid evrimi sırasında kazanıldığını varsaymak akla yatkındır. Ama ne zaman? Dil fosilleşmez, yazılı dil birkaç bin yıl öncesine, yani türümüzün tarihindeki son yarım saniyeye kadar mevcut değildi.

Dil, beyinle ve gırtlak üstü ses yollarıyla (gırtlağın larenksten ağız boşluğuna uzanan bölümü) ilgili bazı anatomik özelliklerin var olmasını gerektirir. İnsanda gırtlak üstü ses yollarının anatomik düzeni, havanın çok özel bir biçimde değişerek dışarı çıkmasını sağlar. Dil, damak, dişler ve dudakların kullanımı sayesinde, çok sayıda sesli ve sessiz harfi telaffuz edebiliriz. Seslendirme, nispeten aşağı konumda bir larenks gerektirir, ama buna ek olarak, kesin kurallara göre kelimeleri oluşturan fonemleri sıralamaya uygun beyin mekanizmalarına da ihtiyacımız vardır. Dolayısıyla, gerekli anatomik unsurların (gırtlak üstü ses yolları ve beyin) evrimini inceleyerek, dilin evrimiyle ilgili olarak yararlı bir şey söylenmesi mümkün olabilir.

İnsan konuşmasında sesler, ağzın oluşturduğu tüpün, dilin altından inen başka bir tüpe eşit olmasını gerektirir. Dolayısıyla, ancak aşağıda yer alan bir larenks, insanın seslendirmesini mümkün kılabilir. Fosilleşmiş hominin kafataslarının alt kısımlarının yeniden kurulması, *australopithecus*'ta larenksin şempan



ŞEMPANZELER [SOLDA] VE MODERN İNSANDA [SAĞDA] SES YOLLARININ [KOYU RENKLİ BÖLGELER] YAPISI. İNSANDAKİ SES YOLU, ÇEŞİTLİ SESLİ VE SESSİZ HARFLERİN TELAFFUZ EDİLEBİLECEĞİ ŞEKİLDE EVRİLMİŞTİR. BU DURUM ŞEMPANZELERDE MÜMKÜN DEĞİLDİR.

zedekine benzer bir biçimde yüksek bir konumda olduğunu göstermiştir. Larenksin aşağı doğru inmesi, *Homo erectus*'la başlamış olabilir. Kasların kafatasının alt kısmında bıraktığı izlerin incelenmesi ve şempanze ve insan anatomilerinin bilgisayar üzerinde analiz edilmesi, konuşmanın çok geç ortaya çıkan, anatomik bakımdan modern insanlara özgü ayrıksı bir özellik olduğunu göstermektedir. Bazı kanıtlar, larenksin aşağı inmesinin ancak 40.000 yıl önce, türümüzün evriminin ikinci bir aşaması olarak gerçekleştiğine işaret etmektedir. 200.000 yıl önce başlayan birinci aşama, kafatasını ve kısmen de larenksi modernleştirmiş, mevcut uzunluğunun yarısı kadar bir oyuğa yol açmış, böylece kusursuz bir sessel davranışı mümkün kılmış olsa gerektir. Ancak ikinci aşama bizimki gibi bir konuşmaya yol açabilirdi.

Yakındoğu'da Kebara'da bir Neandertal yerleşiminde bulunan Neandertal fosilleri, bazı yazarlara göre, Neandertallerin ses aygıtının bizimkine benzer olabileceğini göstermektedir. Ne var ki Neandertallerin olası diline ilişkin spekülasyonların çoğu, başka tür kanıtlara dayanmaktadır: sembolik davranış. Gırtlağımızla değil, beynimizle konuşuruz.

Beynin evrimi

Primatların beyin örgütlenmesi bir hayli homojendir. Bir Eski Dünya maymunu olan makak maymunu, bu anlamda insana benzer. Ama insan beyni, sözel iletişim ve semantik süreçlerle ilgili temporal ve pre-frontal bölgelerde göze çarpan bir gelişim sergiler. Bu evrimin nasıl gerçekleştiğini belirlemek, dilin kökeniyle ilgili spekülasyonlar için sağlam bir temel oluşturacaktır.

Homo habilis kafataslarının iç yüzeylerinin incelenmesi ve bu inceleme sonuçlarının *Australopithecus africanus* üzerindeki inceleme sonuçlarıyla karşılaştırılması, beynin sol yarıküresindeki Broca ve Wernicke bölgelerinin *A. africanus*'ta gelişmeye başlamış olduğunu göstermektedir. Bu bölgelerin, dille ilgili süreçlerin asıl sorumlusu olduğu düşünülmektedir. Frontal loblarda, daha sonraki homininlerde ortaya çıkan hacim artışını öngörüyormuş gibi görünen bir genişleme de mevcuttur. Paleoantropolog Phillip V. Tobias, *A. africanus*'la başlayan böyle yapısal bir beyin değişikliğinin *H. habilis*'le pekiştiğini ileri sürmüştür.

H. habilis'in dili neye benziyordu? Kafatası yüzeylerindeki göstergelerin ötesinde bir şey söylemek pek mümkün değildir. *H. habilis*, en iyi ihtimalle, pek modern olmayan bir dile sahipti. Tobias, dil evriminin biri "tümüyle insana özgü", diğeri "tümüyle insana özgü olmayan" iki aşaması olduğunu düşünmememiz gerektiğini ileri sürmüştür. Bilakis, dilin evriminin aşamalı olduğu kanısındadır; bu sürecin, kavramsal ve sentaktik karmaşıklığın artış gösterdiği bir dizi aşamayla, fonetik erimin genişlemesiyle birlikte gerçekleştiğine inanır. Bütün bu aşamaların, "konuşulan insan dili" olarak nitelenebileceğini savunur.

Buna karşın, başka yazarlar, beynin karmaşıklığının evrilmesinde, deyim yerindeyse, iki cephe tanımlamışlardır. İlki, *H. habilis*'te "esasen insani" nörolojik örgütlenmenin belirmesidir. İkincisi, *Homo* cinsinde kafa içi bölümünün sürekli ve hızla artmasıdır.

Beynin genel frontal hacmi, insanın evrimi sırasında büyük

bir farklılık kaydetmemiştir. Fakat pre-frontal korteks gibi bazı bölgelerin bizim türümüzde genişlemiş olması mümkündür. Bu önerme, bugün insan, goril ve şempanzeden alınan kafatası içi ölçümlerinin aynı göreli frontal lob büyüklüğünü gösterdiği yönündeki gözleme uygun düşer. Oysa, belli alt bölgelerde insanları elverişli konumda kılan ve insanın frontal lobunun, büyük Afrika kuyruksuz maymunlarına kıyasla, bir yeniden örgütlenme sürecinden geçtiğini düşündüren önemli farklılıklar mevcuttur.

Beynin bedeli

Beyin dokusu çok büyük miktarda oksijen ve glükoz tüketir, bunu fiziksel ve zihinsel hallerden bağımsız olarak sürekli yapar. Bu, bütün memeliler için geçerlidir, ama insan beyninin metabolik ihtiyaçları muazzamdır. Bütün bedenin gereksinim duyduğu oksijenin yüzde 20'sini tüketir, ama ancak bedenin yaklaşık yüzde 2'si ağırlığındadır. Bunun yanı sıra, insan korteksinin metabolik endeksi, beynin geri kalanına nazaran yüzde 43 fazladır. Bu yüksek metabolik gereksinim, doğal seçilimin genişleyen bir korteksi nasıl desteklemiş olabileceğinin incelenmesinde önemli bir değerlendirmedir. Beynin metabolik ihtiyaçlarını karşılamanın tek yolu, *Homo* cinsinin daha zengin besinlere (özellikle et gibi) yöneldiği bir beslenme değişikliği olabilirdi. Modern insanların ince bağırsakları, diğer primatların bağırsaklarından daha küçüktür. Evrim boyunca, bir organ (beyin) giderek daha fazla besine ihtiyaç duyarken, bağırsakların kısalması tuhaf görünebilir. Bunun açıklaması, insanın sindirim sisteminin uzmanlaşmış olmasıdır, kuyruksuz maymunlarda kolonun hatırı sayılır uzunlukta olmasına karşılık, insanlarda ince bağırsak nispeten uzundur. Otobur (sebze yiyen) primatların ince bağırsakları daha büyüktür, beyinleri de meyve yiyen primatların beyinlerinden daha küçüktür. Otobur öğünler, sindirim için çok geniş bağırsaklar gerektirir, bu da beyin içi bölgenin genişlemesinin önünde bir engel oluşturacaktır.

Evrim sürecinde beyin büyüklüğünün artmasını mümkün kılan mekanizmaya başka bir açıklama getirilmesi de mümkündür. Etobur beslenme ve kafa içi yüzeyinin genişliği arasındaki korelasyon, böcek yiyen yarasalarda beynin küçük olması gözlemine ters düşer, bu yarasaların bağırsakları, meyveyle beslenen yarasaların bağırsaklarından daha küçüktür. Büyük beyin/kısa ince bağırsak ikilisine karşı küçük beyin/büyük bağırsak ikilisi genel bir kanun gibi görünmemektedir. Enerji kaynakları ve beyin gelişimi arasında bir ilişki kurmanın alternatif yolu da anne enerjisi varsayımı olarak bilinir. Bu varsayım, bir primat beyninin büyümesinin en başta hamilelik sırasında fetüste, daha sonra da gebelik sonrasında emzirme sırasında gerçekleştiğini savunmaktadır. Dolayısıyla, hamile olduğu ve emzirdiği sırada annenin elindeki enerji kaynakları, temel değişkendir. Bir anne, emzirme süresini ya da metabolik hızı artırarak büyük beyinli yavrular yaratabilir. Annenin enerjisi, kafatası içinin oluşumunda "edilgin" bir artışı açıklayabilir. Bu artış daha sonra, metabolik hızın daha yüksek seviyelere çıkmasını mümkün kılan beslenme değişiklikleriyle (örneğin et tüketiminin artmasıyla) mükemmelleştirilecektir. İnsanlarda görüldüğü biçimiyle emzirme süresinin artması ve beslenme değişiklikleri, insan beyninin büyük enerji talebini açıklar.

Modern diller

İleri sembolizm, bizimkine benzer konuşmanın varlığını gösterir; yazı, sembolik iletişimin son ve en belirgin örneği olmuştur. Bu sembolizm kapasitesi nasıl edinilmiştir? Sanat ya da başka temsil biçimleri gibi, yüksek bir sembolik içeriği olan nesneler üretmek için gerekli bilişsel becerilerin, konuşma için gereken becerilerden çok da farklı olmadığı görülmektedir.

İlk sembolik tezahürlerin Afrika'da ortaya çıktığına dair, tarihi 40.000 yıl öncesine uzanan arkeolojik ve paleontolojik kanıtlar mevcuttur. Ama Avrupa'daki (Aurignacian) 40.000-30.000

yıl önce ortaya çıkan (daha sonra Lascaux ve Altamira gibi mağaralarda olağanüstü sanatsal temsillerle zirvesine çıkan) sanatsal patlama, devasa bir niteliksel ve niceliksel gelişmeye tekabül ediyormuş gibi görünmektedir.

Avrupa Aurignacian kültürünü bir devrim olarak görmeyi tercih edersek, birkaç olasılık mevcuttur. Bir varsayım, anatomik olarak modern insanların beyinlerinde bilişsel beceriyi artıran nispeten hızlı bir değişim olduğunu düşündürür. Fakat böyle hızlı bir dönüşüme dair, yadsınamaz bir doğrudan kanıt bulunmamaktadır. Estetik deneyim gibi, yüksek olduğu söylenen bilişsel süreçlerin nöral korelasyonlarına dair hâlâ belirsizlik içindeyiz.

Davranışçı bir varsayım, anatomik olarak modern insanların, bugün hâlâ bizi hayrete düşüren bir sanatın üreticileri haline geldiklerinde, davranış biçimlerinin değiştiğini savunacaktır. Sanatsal başarılarla modern insanların davranışsal alışkanlıkları arasındaki korelasyon, mağara resimleri ve dekoratif nesnelerin görünümleriyle ilgili varsayımsal bir yorumu beraberinde getirir. Mağaraların zaman zaman kullanılmak yerine sürekli oturulan yerler haline gelmesi, tavanlardaki resimlerin neden belli bir dönemde görüldüğüne getirilebilecek bir açıklama olabilir. Mağaraların daimi oturma yerleri haline gelmesi, Avrupa'da meydana gelen, yaklaşık olarak 16.000 yıl önceki son ve en aşırı buzlanmanın zirveye çıkmasıyla ilişkili olabilir; bu tarih, büyük mağara resimlerinin tarihiyle de örtüşmektedir.

Başka bir davranışsal hipotez de, işlevsel olarak belli bir kullanım amacı olmayan ya da sadece bedenin süslenmesi için kullanılan nesnelerin üretilmesiyle ilgili olan ve Paleolitik sanatın Sistine Şapelleri (Lascaux, Altamira ve diğerleri) öncesinde var olduğunu bildiğimiz sanatsal zevki ele alır. Modern insanların, bedenlerini süsleme aşamasından sonra, aynı şeyi, mağaraların daimi yaşam alanları haline gelmesiyle birlikte, evlerine yapmış olmaları çok mümkündür.

İnsanın bilişsel becerilerinin yavaş yavaş nasıl geliştiğini

ayrıntılı olarak ortaya koyan sağlam bir kanıt mevcut değildir. Anatomik olarak modern insanların ortaya çıkışı, akıllılık ve öngörüde bir "kuantum sıçraması"nı temsil ediyor olabilir. Bu sıçrama, ikili bir örüntünün damgasını vurduğu bir dilin yararlarıyla ilişkili olabilir: sınırsız sayıda sözcük ve sınırsız çeşitlilikte sözcük bileşimi.

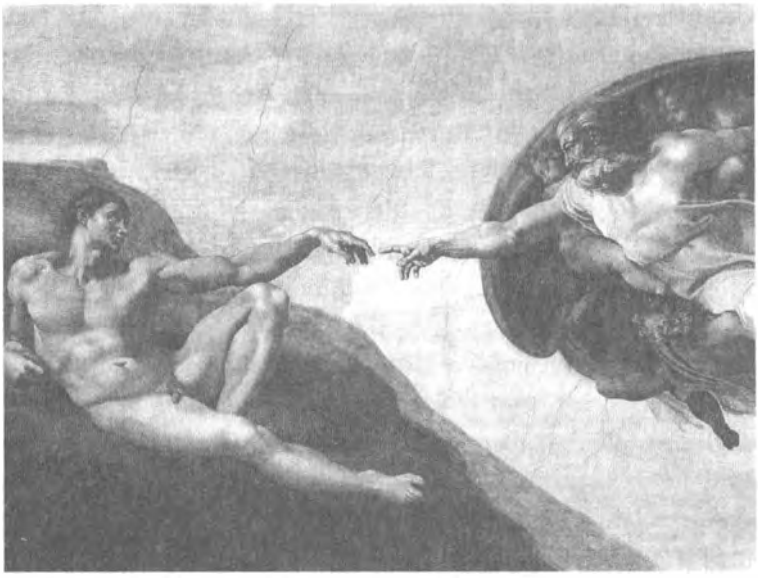
YARATILIŞÇILIK DOĞRU MUDUR?

Bilim ve dinin çelişmesi gerekmez

"Başlangıçta Tanrı gökyüzünü ve yeri yarattı... Ve Tanrı dedi ki: Işık olsun ve ışık oldu... Ve Tanrı ışığa Gün, karanlığa da Gece dedi. Akşam oldu, sabah oldu, birinci gün tamamlandı... Böylece Tanrı insanda kendi suretini yarattı, onu Tanrı suretinde yarattı; onları erkek ve kadın olarak yarattı... Ve Tanrı yaptığı her şeyin, tuttuğu her şeyin çok iyi olduğunu gördü. Akşam oldu, sabah oldu, altıncı gün tamamlandı."[7]

"Yaratılışçılık" kelimesinin birçok anlamı vardır. En geniş ve geleneksel anlamıyla yaratılışçılık, dinî bir inançtır, doğaüstü bir kuvvetin, Tanrı'nın evreni ve onun yanı sıra, insanlar da dahil evrende var olan her şeyi yarattığı fikridir. Daha dar bir anlamda yaratılışçılık, evrenin ve içindeki her şeyin Tanrı tarafından, esasen bugünkü biçiminde beş bin yıl önce yaratıldığı öğretisi anlamına gelir. Yaratılışçılık, Darwin'in evrim kuramına tepki olarak, Kitab-ı Mukaddes'in kelimesi kelimesine yorumlanmasına dayanarak formüle edilmiş bir öğretidir. Yaratılışçılık bu anlamda, evrenin evrimiyle ilgili olarak astronominin, insanların evrimiyle ilgili olarak da biyolojinin keşiflerini reddeder. 1990'larda, özellikle ABD'de, "zeki tasarım" fikri, insanlar ve başka organizmaların tasarımının doğal süreçlerle açıklanamayacağını, aksine açıkça ya da örtülü bir ifadeyle, evreni yaratan Tanrı olan bir "akıllı tasarımcı" tarafından tasarlandığını savunmak için ileri sürülmüştür.

7 *Genesis*, ch. 1, v. 1, 3, 5, 27, 31



ADEM'İN YARATILIŞI [1508-1512], MICHELANGELO BUONARROTI

Bilim ve din birbirine muhalif konumlarda mıdır?

Bilimsel bilgi ve dinî inancın çelişki içinde olması gerekmez. Doğru değerlendirildiklerinde, çelişki içinde *olamazlar*, çünkü bilginin birbiriyle örtüşmeyen alanlarıyla ilgilidirler. Ancak ve ancak meşru sınırların dışında iddialarda bulunulduğunda, bilim ve dinî inanç tezat içindeymiş gibi görünür.

Özel olarak üstünde duracak olursak, evrim kuramı dinî inancı dışlar mı? Bilimin temelde maddeci olduğu, bu yüzden de manevi değerleri dışladığı doğru değil midir? Her iki soruya da verilecek cevap "hayır"dır. Bilimin alanı doğal dünyadır, doğrudan ya da dolaylı olarak duyularımızla gözlenen gerçekliktir. Bilim, doğal dünyayla ilgili açıklamalar, gözlem ve deneyle desteklenmesi ya da reddedilmesi olası açıklamalar ileri sürer. Bu dünyanın dışında, hiçbir otoritesi, söyleyecek hiçbir sözü, şu ya da bu konumu benimsemek gibi bir işi yoktur. Bilimin estetik, ekonomik ya

da ahlaki değerler hakkında söyleyeceği kesin bir şey yoktur; hayatın anlamının ve amacının ne olduğuna dair söyleyeceği hiçbir şey yoktur, dinî inançlar hakkında söyleyeceği hiçbir şey yoktur (Dinin alanını aşan ve bilimsel bilgiyle çelişen iddialarda bulunan inançlar dışında; bu gibi açıklamalar doğru olamaz).

Evrimciler de dahil olmak üzere, bazı bilim insanları, bilimin değerler ya da dünyanın anlamı ve amacıyla ilgili geçerli bir bilgiyi reddettiğini ileri sürer. Tanınmış evrimci biyolog Richard Dawkins tasarım, amaç ve değerleri açıkça reddeder: "Gözlemlediğimiz evren, ancak bir tasarım, bir amaç, iyi ya da kötü yoksa, kör, acımasız bir kayıtsızlıktan başka bir şey yoksa bekleyebileceğimiz özellikleri gösteren bir evrendir." Bilim tarihçisi William Provine da şu iddiada bulunur: "Modern bilim doğrudan, insan toplumu için içkin etik ya da ahlaki kanunlar olmadığı, mutlak kılavuz ilkeler olmadığı anlamına gelir."

Bu iddialarda örtülü devasa bir çelişki vardır. Bilimin doğalcılığa bağlılığı, onun bilimsel bilgiden değerler, anlamlar ya da amaçlar çıkarmasına izin vermiyorsa, bunların varlığını reddetmesine de izin vermez tabii ki.

Ulusal Bilimler Akademisi, 1998'de yayınlanmış *Teaching Evolution and the Nature of Science* (*Bilimin Evrimini ve Doğasını Öğretmek*) adlı belgede şunları ileri sürüyordu:

> *Din ve bilim, dünya hakkında farklı sorulara cevap verir. Evrenin bir amacı olup olmadığı ya da insan varoluşunun bir amacı olup olmadığı bilimin soruları değildir... Buna bağlı olarak, birçok bilim insanı da dahil birçok kişi güçlü dinî inançlara sahiptir ve aynı zamanda da evrimin gerçekleştiğini kabul eder.*

Benzer bir hatta, ABD Federal Yargıcı John E. Jones III, 20 Aralık 2005 tarihli bir kararda (*Kitzmiller v. Dover Area School District*) şunları söylüyordu:

> *Akıllı tasarımın önde gelen birçok savunucusu, tamamen*

yanlış olan temel bir varsayımda bulunur. Evrim kuramının, üstün bir varlığın varoluşuna ve genel olarak dine ters düştüğünü varsayarlar... Bu davada tekrar tekrar... bilimsel uzmanlar evrim kuramının iyi bilimi temsil ettiğini, bilim camiasında ağırlıklı olarak kabul gördüğünü, ilahi bir yaratıcının varlığına hiçbir şekilde ters düşmediği gibi, böyle bir yaratıcının varlığını yadsımadığını da ifade etmişlerdir.

Evrim ve Kitab-ı Mukaddes

Bazı insanlara göre, evrim kuramı dinî inançlara, özellikle de Hristiyan inancına ters düşüyormuş gibi görünmektedir, çünkü Kitab-ı Mukaddes'in yaratılış anlatısıyla tutarlı değildir. Tekvin (Yaratılış) kitabının ilk bölümlerinde, Tanrı'nın dünyayı, bitkileri, hayvanları ve insanları yaratması betimlenir. Tekvin'in kelimesi kelimesine yorumlanması, insanlar ve başka organizmaların doğal süreçlerle aşamalı olarak evrilmesine ters düşüyormuş gibi görünmektedir.

Ne var ki birçok Kitab-ı Mukaddes alimi ve ilahiyatçı, savunulamaz olduğu gerekçesiyle, uzun bir süredir kelimesi kelimesine bir yorumu reddetmektedir, zira Kitab-ı Mukaddes'te birbirine ters düşen ifadeler bulunmaktadır. Tekvin kitabının en başında, iki farklı yaratılış anlatısı yer alır. Birinci bölümde, bildiğimiz üzere, yukarıda alıntıladığımız yaratılışın altı günü anlatılır, Tanrı'nın ışık, dünya, balıklar, kuşlar ve sığırlardan sonra hem erkek hem kadın insanları yarattığından bahsedilir. İkinci bölümde farklı bir anlatı karşımıza çıkar:

Ve Rab yerin toprağından erkeği yarattı... Ve Rab Cennet'in doğusunda bir bahçe kurdu, buraya yaptığı erkeği koydu... Ve Rab Tanrı topraktan yerin bütün hayvanlarını ve göğün bütün kuşlarını yarattı... Ve Rab Adem'i derin bir uykuya saldı ve o uyudu; Rab Adem'in kaburga kemiklerinden birini aldı... Rab erkekten aldığı kaburga kemiğinden bir

kadın yarattı ve onu erkeğin üstüne bıraktı.

Bu ikinci anlatıda, Cennet Bahçesi'nden, bitkiler ve hayvanlardan önce Adem yaratılmıştır. Tanrı bütün bunlardan sonra ilk kadını Adem'in kaburga kemiğinden yaratmıştır. İki anlatıdan hangisi doğrudur? Aynı mesajı aktarıyorlarmış gibi alırsak, ikisi de birbiriyle çelişmeyecektir: Dünya Tanrı tarafından yaratılmıştır, insanlar da Tanrı'nın yaratısıdır. Ama her iki anlatı da, Yaratılış Araştırmaları Cemiyeti'nin ortaya koyduğu şekliyle "tarihsel ve bilimsel olarak doğru" olamaz.

Kitab-ı Mukaddes'te çok sayıda tutarsızlık ve çelişki mevcuttur (örneğin, seçilmiş İsrail halkının Mısır'dan Vaat Edilmiş Topraklar'a dönüş anlatısı), Güneş'in Dünya'nın etrafında döndüğü benzeri, olgusal hatalardan bahsetmiyoruz bile. Kitab-ı Mukaddes alimleri, Kitab-ı Mukaddes'in dinî hakikatle ilgili olarak yanlışsız olduğunu belirtir, kurtuluşla ilgisi olmayan meselelerde değil. Büyük Hristiyan ilahiyatçılardan biri olan Augustine, *De Genesi ad litteram* (Tekvin Üzerine Lafzi Yorum) adlı risalesinde şöyle demiştir:

> *Kutsal Kitap'a göre, cennetin biçimi ve şekliyle ilgili inancımızın nasıl olması gerektiği sorusu sık sık sorulur... Bu gibi konular, güzelliği arayanların yararına değildir... Sema küre şeklinde mi, Dünya'yı çevreliyor mu, Dünya evrenin ortasında mı duruyor, yoksa sema disk şeklinde de Dünya onun üzerinde mi duruyor, bir yandan öbür yana dönüyor, beni neden ilgilendirsin.*

Şunları da ekler: "Göklerin şekliyle ilgili olarak, kutsal yazarlar, insanlara kurtuluşları açısından hiçbir önemi olmayacak olguları öğretemez." Augustine, Tekvin kitabının temel bir astronomi kitabı olmadığını söylemektedir. Tekvin'deki yaratılış anlatısına göre, Tanrı'nın ışığı birinci günde yarattığına ve Güneş'i ancak dördüncü günde yarattığına dikkat çeken Augustine,

Tekvin'deki "ışık" ve "günler"in hiçbir anlam ifade etmediğini belirtir.

Papa II. Jean Paul 1981'de, Kitab-ı Mukaddes'le ilgili olarak şunları söylemiştir:

> *Kitab-ı Mukaddes bize evrenin köklerini ve oluşumunu anlatır, bilimsel bir risale sunmak için değil, insanın Tanrı ve evrenle doğru ilişkiler içinde olduğunu ortaya koymak için. Kutsal Kitap sadece dünyanın Tanrı tarafından yaratıldığını ilan etmeyi arzular, bu hakikati öğretmek için de, kendisini yazarın zamanındaki kozmolojinin terimleriyle ifade eder.*

ABD'de dinî köktencilik

ABD'de devlet okullarında evrimin öğretilmesine muhalefetin kökeni, on dokuzuncu yüzyıldaki iki harekette, Yedinci Gün Adventizm'i ve Pentekostalizmde bulunabilir. Kitab-ı Mukaddes'teki Yaratılış'ın hatırasına, yedinci günün Şabat olduğunu vurgulayan Yedinci Gün Adventistleri, bu vurgu doğrultusunda hayatın kısa süre önce yaratıldığında ısrar eder. Tekvin'in bu Adventist yorumu, yirminci yüzyıl sonlarında "yaratılış bilimi"nin çekirdeği haline gelmiştir. Genellikle Kitab-ı Mukaddes'in lafzi bir yorumunu destekleyen birçok Pentekost da, yaratılışçılığın dayanaklarını benimser ve destekler, bunlara Dünya'nın geçmişinin yakın tarihe uzanması da dahildir. Pentekostlar, Yedinci Gün Adventistleri ve başka yaratılışçılardan, farklı görüşlere hoşgörüyle yaklaşmaları ve evrim-yaratılış tartışmasına sınırlı bir önem atfetmeleriyle ayrılırlar. 1920'lerde, Kitab-ı Mukaddes köktencileri, 20'yi aşkın eyalet meclisini evrim karşıtı yasaları tartışmaya ikna etmiş, dört eyalette (Arkansas, Mississippi, Oklahoma ve Tennessee'de) devlet okullarında evrimin öğretilmesi yasaklanmıştır.

ABD Yüce Divanı 1968'de, evrimin devlet okullarında öğretilmesini yasaklayan kanunların anayasaya aykırı olduğunu

ilan etmiştir (*Epperson v. Arkansas 393 US97, 1968*). Bu tarihten sonra, Hristiyan köktenciler birkaç eyaletin yasama organında "evrim bilimi" öğretisinin "yaratılış bilimi"ne eşit miktarda zaman ayrılarak dengelenmesini öngören yasalar sundular. Yaratılış biliminin, Tanrı'nın evreni yaratmasıyla birlikte bütün organizmaların birden ortaya çıktığını, dünyanın sadece birkaç bin yaşında olduğunu, ve Kitab-ı Mukaddes'te bahsi geçen Tufan'ın her hayvan türünden sadece bir çiftin hayatta kaldığı gerçek bir olay olduğunu ortaya koyduğu ileri sürülür. Arkansas meclisi 1981'de, Louisiana meclisi 1982'de, evrim bilimi ve yaratılış biliminin bu eyalet okullarında dengeli bir biçimde öğretilmesini öngören yasalar kabul ettiler, ama muhalifler bu yasalara, anayasanın öngördüğü devlet-kilise ayrılığını ihlal ettiği gerekçesiyle karşı koydular ve itirazlarında başarılı oldular. Arkansas'ta kabul edilen yasa, 1982'de Little Rock'ta görülen bir kamu davasının ardından, federal mahkeme tarafından anayasaya aykırı ilan edildi. Louisiana'da çıkarılan yasa, ABD Yüce Mahkemesi'nde temyize götürüldü ve 1987'de, insanlığı doğaüstü bir varlığın yarattığı yönündeki bir dinî inancı ileri sürerek izin verilemez bir şekilde dini desteklediği gerekçesiyle anayasaya aykırı ilan edildi.

Daha yakın bir tarihte, 28 Ekim 2004'te Dover Bölgesi Okul Müdürleri Kurulu şu karara vardı: "Öğrenciler, Darwin'in kuramı ve akıllı tasarım da dahil olmak üzere, ama onunla sınırlı kalmayacak şekilde, başka evrim kuramlarındaki açıklar ve sorunlar hakkında bilgilendirilecektir." Bu kararın anayasal geçerliliği hakkında Pennsylvania Orta Bölgesi Federal Mahkemesi'nde dava açıldı. Dava birkaç hafta sürdü ve Federal Yargıç John E. Jones III, 20 Aralık 2005'te, 139 sayfalık bir kararla, "Davalıların akıllı tasarım politikasının ABD Anayasası'nın birinci maddesinin kurucu paragrafını ihlal ettiğini" ve "Davalıların akıllı tasarım politikasını sürdürmekten daimi olarak men edildiğini" ilan etti.

Akıllı tasarım

1990'larda, ABD'de birkaç yazar, asırlar boyunca Hristiyan yazarların Tanrı'nın varlığının akılcı bir kanıtı olarak ileri sürdüğü "tasarım argümanı"na benzer bir akıllı tasarım kuramı ileri sürdü. Tasarım argümanı öncelikle, insanların ve aynı zamanda başka her tür organizmanın belli işlevler ve belli hayat tarzlarını gerçekleştirmek için tasarlandığını, ikinci olarak da ancak her şeye kadir bir yaratıcının canlı organizmaların mükemmelliğini ve işlevsel tasarımını açıklayabileceğini ileri sürer. 1802'de, İngiliz din adamı William Paley, argümanın en şık ve en ayrıntılı formülasyonunu yayınladı. Bundan yarım yüzyıl sonra da, Darwin'in doğal seçilim kuramı, organizmaların tasarımıyla ilgili bilimsel bir açıklama ortaya koydu.

Akıllı tasarım argümanı, organizmalardaki indirgenemez olduğu varsayılan karmaşıklığı açıklamak için akıllı bir tasarımcıya başvurur. Michael Behe, indirgenemez derecede karmaşık bir sistemi, " birkaç tane gayet uyumlu, temel işleve katkıda bulunan etkileşim halindeki parçadan oluşan, parçalardan birinin bile yerinden edilmesi sistemin işlemeyi kesmesine neden olan" bir oluşum olarak tanımlamıştır. Akıllı tasarım savunucuları, indirgenemez derecede karmaşık sistemlerin, evrimin sonucu olamayacağını savunmuştur. Behe'ye göre, "indirgenemez derecede karmaşık bir sistem doğrudan üretilemez." Dolayısıyla Behe, "Bir biyolojik sistem aşamalı olarak üretilemiyorsa, bu sistemin bütünleşik bir birim olarak bir hamlede doğması gerektiğini" doğrular.

Bu argüman, örneğin, gözün bütün parçaları eş zamanlı olarak varlık bulmadıkça, gözün işleyemeyeceğini ileri sürer; diğer parçalar eksikse, sadece bir retinaya ya da merceğe sahip olmanın öncü bir organizmaya faydası yoktur. Bu argümana göre, insan gözü her seferde bir küçük adımla, doğal seçilimin işlediği gibi parçalı bir biçimde evrilmiş olamaz.

Evrimciler, destekleyici kanıtlar ileri sürerek tekrar tekrar,

canlıların organları ve diğer bileşenlerinin "indirgenemez derecede karmaşık" olmadığına; birdenbire ya da tek bir hamlede ortaya çıkmadıklarına dikkat çekmiştir. Akıllı tasarım savunucularının indirgenemez derecede karmaşık olduğunu iddia ettiği organlar ve sistemlerin aslında indirgenemez olmadığını, daha ziyade, geçmişte var olmuş ve bugünkü organizmalarda bulunabilecek aynı sistemlerin o kadar karmaşık olmayan versiyonları olduğunu göstermişlerdir.

İnsan gözü, ahtapot gözü ya da böcek gözü bugünkü karmaşıklıklarıyla birdenbire ortaya çıkmamıştır. Gözler farklı hayvan soylarında tekrar tekrar evrilmiştir, çünkü gün ışığı Dünya'nın doğal ortamının nüfuz edici özelliklerinden biridir, fizyolojileri ve hayat tarzlarına bağlı olarak, farklı hayvanlar farklı biçimlerde gün ışığına uyum sağlamıştır; ama göz hepsinde de çok basit bir biçimde, hatta ışığa duyarlı enzimleri olan hücrelerle başlamıştır (bkz. *Doğal Seçilim Nedir?*). Bilim insanları, gözlerin evriminin, aynı işlevin (görmenin) aşamalı olarak ilerlemesiyle ortaya çıktığını göstermiştir. Bu süreç, doğal seçilimin zaman içinde, aynı türün başka mensupları üzerinde işlevsel avantajlar gösteren bireylerini kayırmasıyla harekete geçmiştir.

Akıllı tasarımın kanıtı olarak ileri sürülen diğer indirgenemez karmaşıklık örnekleri arasında bakterilerin kamçıları, yani bazı bakterilerin yüzmek için kullandıkları, üç parçadan meydana gelen bir organ; memelilerde kanın pıhtılaşması mekanizması ve bağışıklık sisteminin kökeni vardır. Bu organların ve işlevlerinin evrim sürecinde doğal seçilimle nasıl ortaya çıktığı, bilim insanları tarafından tatmin edici bir şekilde açıklanmıştır. (Örneğin, benim 2007 tarihli *Darwin's Gift to Science and Religion* [*Darwin'in Bilim ve Dine Hediyesi*] adlı kitabıma ve içindeki başvuru notlarına bkz.)

Darwin, dinin kılık değiştirmiş dostu

Organizmaların tasarımını bir yaratıcıya atfetmekle ilgili güç-

lüklerden biri, canlılar dünyasına nüfuz etmiş kusurlardır. İnsan gözünü ele alalım. Gözdeki görsel sinir lifleri birleşerek optik siniri oluşturur, bu da retinayı aşarak beyne ulaşır ve böylece kör bir nokta oluşturur, bu küçük bir kusurdur, ama yine de bir tasarım kusurudur; ahtapotlarda ve mürekkepbalıklarında bu kusur yoktur. Tasarımcı, mürekkepbalıklarını insanlardan daha mı çok seviyordu da onların gözlerini tasarlarken bizimkinden daha fazla özen gösterdi?

Akıllı tasarım kuramı, tasarımcının niteliği hakkında, Hristiyan teolojisinin Tanrı'ya atfettiği, her şeye kadir olma, her şeyi bilme ve iyilik gibi özelliklerden oldukça farklı sonuçları beraberinde getirir. Organizmalar ve parçaları mükemmel olmaktan uzaktır. Kusurlar ve işlevsizlikler yaygındır, "akıllı" tasarımdan ziyade, "yetersiz" tasarıma işaret etmektedirler. İnsan çenesini düşünelim. Çenemizin büyüklüğüne göre çok fazla dişimiz vardır, bu yüzden de yirmilik dişin çekilmesi gerekir, diş hekimleri diğer dişleri sıkılaştırarak hayatlarını gayet güzel kazanırlar. Bu kusur yüzünden Tanrı'yı suçlamak ister miyiz? İnsan bir mühendis daha iyisini yapabilirdi. Evrim bu kusura dair iyi bir sebep ortaya koyar. Beynin büyüklüğü atalarımızda zaman içinde artmıştır; kafatasının geniş bir beyne uyacak şekilde değişmesi, çenenin küçülmesine yol açmıştır, böylece yeni doğan bir bebeğin başı, annesinin doğum kanalından geçmesini engellemeyecek bir şekil almıştır.

Geçmişte, teologlar fonksiyon bozukluğu meselesiyle mücadele etmişlerdir, çünkü Tanrı'nın tasarımına böyle bir şeyin atfedilemeyeceğini düşünmüşlerdir. Bilim, teologları rahatlatır, kusurları, şekil bozukluklarını ve fonksiyon bozukluklarını ikna edici bir biçimde doğal sebeplere bağlayan bir açıklama sunar.

Akıllı tasarımın savunucuları açısından daha rahatsız edici olsa gerek diyebileceğimiz bir şey şudur: İnsanlarda fark edilen bütün hamileliklerin yaklaşık yüzde 20'si, hamileliğin ilk iki ayında kendiliğinden düşükle son bulur. Bu talihsizlik, bugün dünyanın her yerinde her yıl 20 milyonu aşkın kendiliğinden

kürtajla sonuçlanmaktadır. Hamilelik sürecindeki kusurlar yüzünden Tanrı'yı suçlamak ister miyiz? Tanrı en büyük kürtajcı mıdır yoksa? Çoğumuz bu devasa bozukluğu, akıllı bir tasarımcının beceriksizliğinden çok, evrim sürecinin sakarlığına bağlamayı tercih ederiz.

Her tür organizmada kusur ve işlev bozukluklarına verilebilecek örneklerin listesi sonsuzca uzatılabilir, akıllı tasarımdan çok kusurlu tasarıma yol açan doğal seçilimin fırsatçı karakteri böylece ortaya konulabilir. Organizmalar dünyası, "tuhaflık" denebilecek niteliklerin yanı sıra, "zalimlik" denebilecek niteliklerle de doludur, bir varlığın tasarladığı sonuçlar, insani ya da daha yüksek ahlaki standartlara göre zalim davranışlarsa, tam tersi bir nitelemeyle "zalim" de diyebiliriz. Oysa, biyolojik doğanın zalimlikleri doğal seçilimin sonuçlarına uygulandığında sadece metaforik zalimliklerdir.

"Zalimlik" örnekleri arasında avcıların avlarını parçalaması (örneğin bir şempanzenin canlı tuttuğu küçük bir maymunu, etinden büyük parçalar ısırarak parçalaması) ya da parazitlerin ev sahiplerinin işlevsel organlarına zarar vermesi, çok sık rastlandığı üzere aynı türün organizmaları, hatta eşler arasında rastlanan zalimlikler sayılabilir. Gayet iyi bilinen bir örnek, dişi peygamber devesinin cinsel birleşme tamamlandıktan sonra erkeği yutmasıdır. Daha az bilinen bir gerçekse, dişi peygamber devesinin fırsatını bulursa erkeğin başını çiftleşmeden *önce* yemesi, başsız kalan erkek peygamber devesinin «cinsel coşkunluk» yaşaması, bu durumun da dişinin genital organlarını erkeğinkiyle birleştirmesini mümkün kılmasıdır. Bazı sineklerde dişi, erkeği bir avmış gibi yakalar ve ona tükürüğünü enjekte eder, bu tükürük erkeğin iç organlarını hazmetmeye başlar; beden bütünlüğü nispeten korunan, sindirilmekten kısmen korunan erkek, dişinin içinde parçalanır ve onu döller. Dişilerin çiftleştikleri erkekleri yemeleri onlarca türde, özellikle örümcekler ve akreplerde bilinen bir olgudur. Doğal dünya, "zalim" davranış örnekleriyle doludur.

Geçmişte, dinî alimler, canlılar dünyasındaki kusurlar, işlev bozuklukları ve zalimliklerle, eğer Tanrı'nın tasarımıysalar açıklaması güç olan şeylerle mücadele etmişlerdi. Filozof David Hume bu sorunu özlü bir biçimde, ama acımasız bir doğrudanlıkla ifade etmiştir:

> *Tanrı kötülüğü engellemeyi istiyor da engelleyemiyor mu? O zaman güçsüz demektir. Engelleyebilir de istemiyor mu? O zaman kötüniyetlidir. Hem engelleyebilir, hem istemiyor mu? O zaman bu neden kötülüktür?*

Evrim imdada yetişmiştir. Günümüz Roma Katolik ilahiyatçılarından Jack Haught, "Darwin'in teolojiye hediyesi" diye yazmıştı. Protestan teolog Arthur Peacocke, 1891'de, "Darwinizm ortaya çıktı ve bir düşman kılığında, bir dostun yapacağı şeyi yaptı" diye yazan daha önceki ilahiyatçılardan Aubrey Moore'dan alıntı yaparak, Darwin'den "kılık değiştirmiş dost" olarak bahsetmişti. Haught ve Peacock başta dünyada Tanrı ihtiyacını ortadan kaldırıyormuş gibi görünen evrim kuramının, dünyanın kusurlarını Tanrı'nın tasarımının başarısız sonuçları olarak açıklama ihtiyacını ikna edici bir şekilde ortadan kaldırdığını teslim ediyorlardı.

Aslına bakılırsa, organizmaların tasarımını Yaratıcı'nın amilliğine atfetmeye gerek olmadığı ve tasarımın doğal süreçlerin sonucu olduğu yönünde kanıtlar ileri sürüldüğünde, inananların omzundan büyük bir yük kalkmıştır. Yaratılışçılar ve akıllı tasarım savunucuları Darwin'in devriminin önemini teslim ettiklerinde, doğal seçilimi organizmaların tasarımını, ayrıca hayata nüfuz eden işlev bozukluklarını, tuhaflıkları ve zalimlikleri açıklayan süreç olarak kabul ettiklerinde rahatlarlar.

Son: Evrim ve din bir arada yaşıyor

Gezegenler, dağlar, bitkiler ve hayvanların ilk yaratılışın ardın-

dan doğal süreçlerle ortaya çıktığını kabul ederken, dünyayı Tanrı'nın yarattığına inanmak da mümkündür. Ulusal Bilimler Akademisi'nin daha önce bahsettiğimiz "Evrimi ve Bilimin Doğasını Öğretmek" başlıklı belgede şöyle denir:

> *Judeo-Hristiyan dinlerinde birçok kişi, Tanrı'nın evrim süreciyle işlediğine inanır. Yani Tanrı hem durmadan değişen bir dünya hem de yaratıkların zaman içinde doğal çevredeki değişikliklere uyum sağlayabileceği bir mekanizma yaratmıştır.*

Teolojik dille ifade ettiğimizde, Tanrı ikincil nedenler üzerinden hareket edebilir. Keza, birey düzeyinde de, bir insan ana karnında tek bir hücreden geliştiğini reddetmeksizin Tanrı'nın yaratığı olduğuna inanabilir. İnanan kişiye göre, Tanrı'nın inayeti, kişisel hayatı ve dünya olaylarını doğal sebeplerle etkiler. Burada tekrar vurgulanması gereken nokta, bilimsel sonuçlar ve dinî inançların farklı meselelerle ilgilendiği ve farklı bilgi alanlarına ait olduğudur, tezat içinde olmaları gerekmez.

SÖZLÜK

Alel: Bir genin iki ya da daha fazla alternatif biçiminden biri.

Amino asitler: Proteinlerin yapıtaşları, yüzlercesi doğada mevcut olsa da proteinlerde sadece 20 tanesi mevcuttur.

Anajenez: Bir soyun zaman içinde evrimsel değişimi.

Analog: İşlev ya da görünüm olarak benzer, ama ortak bir atanın soyundan gelindiği için değil.

Çekirdek: Bir ökaryot hücrenin içindeki DNA'yı içeren organel.

Diploid: Genelde ebeveynlerin her birinden kalıtımla miras alınmış iki ayrı kromozom kümesine sahip olmak.

DNA: Deoksiribonükleik asit, çoğu organizmanın genetik malzemesi.

Doğal seçilim: Genlerin ya da genotiplerin farklılaşarak üremesi süreci ve bu sürecin sonuçları.

Enzim: Belli bir kimyasal reaksiyonu hızlandıran katalizör.

Filojeni: Bir evrimsel soy içinde ata-yavru biçimlerin sırası.

Filum: Büyük organizma grupları, örneğin kafadanbacaklılar, kordalılar (omurgalılar), artropodlar (böcekler).

Gamet: Cinsiyet hücresi; karşı cinsten benzer bir hücreyle birleşme yetisine sahip olgun bir üreme hücresi; yumurta ya da spermatozoid.

Gen: Genellikle bir proteini şifreleyen DNA parçası.

Gen havuzu: Bir nüfus ya da bir türün toplam genleri.

Genetik şifre: Kodonların her birini belli bir amino asitle ilişkilendiren şifre.

Genom: Bir organizmanın toplam genetik malzemesi; diploid organizmalarda, bir ebeveynden miras alınmış yarıyı ya da iki yarıyı birden ifade edebilir.

Genotip: Bir bireyin genetik yapısı.

Haberci RNA (mRNA): DNA bilgisini hücrenin çekirdeğinden sitoplazmaya aktaran RNA.

Haploid: Bir tek kromozom kümesi bulunan hücre ya da organizma.

Heterozigot: İki farklı alele sahip olmak.

Hibrid (melez): Genetik olarak birbirinden farklı iki birey ya da farklı türlere ait bireyler arasında çapraz döllenme sonucu ortaya çıkan organizma.

Homolog: Soyun ortak olmasından ileri gelen benzerlik.

Kladojenez: Evrimsel bir soyun (ya da türün) ikiye ayrılması.

Krono-tür: Farklı tarihlerde yaşamış, birbirlerinden hemen hemen bugünkü türler kadar farklı, aynı soydan gelen organizmalar.

Kodon: DNA ya da haberci RNA'da bulunan, bir proteindeki belli bir amino asidi şifreleyen peş peşe gelen üç nükleotidden oluşan grup.

Kromozom: Hücrelerin çekirdeğinde bulunan, çizgisel bir sıra halinde genleri içeren ip gibi ince bir yapı; DNA ve proteinden oluşur.

Moleküler evrim: Moleküller, genellikle DNA ya da proteinler bakımından evrim.

Moleküler saat: Evrimsel olayların DNA ya da protein değişikliklerine göre tarihlendirilmesi.

Mutasyon: Kalıtsal moleküllerde, genellikle genlerde ya da proteinlerde kalıtsal değişiklik.

Nükleotid: DNA ya da RNA'nın dört bileşeninden biri.

Ökaryot: Bir çekirdeğin içinde DNA'ya (kromozomlara) sahip hücre ya da organizma.

Poliploid: İkiden fazla kromozom kümesi içeren.

Prokaryot: Bir zarla sınırlı çekirdekten yoksun olan tek hücreli bir organizma.

Protein: Genellikle 20 farklı türde birkaç yüz amino asitten oluşan molekül.

RIM: Üreme bakımından yalıtıcı mekanizma.

RNA: Ribonükleik asit.

Seçilim katsayısı: Genellikle uygunlukta azalmayla ölçülen seçilim yoğunluğu.

Takson: Bir tür, cins, familya, takım, filum gibi bir grup olarak sınıflandırılabilen bireyler.

Tercüme: Hücre sitoplazmasında genetik bilginin haberci RNA'dan proteine aktarılması.

Transkripsiyon: Hücre çekirdeğinde genetik bilginin DNA'dan haberci RNA'ya aktarılması.

Tür: Birbirleriyle çiftleşebilen, ama başka kümelerin mensuplarıyla çiftleşemeyen organizma kümeleri.

Uygunluk: Bir birey ya da genotipin sonraki kuşaklara yaptığı, üremeye dayalı katkı; genellikle başka bireyler ya da genotiplerin katkılarıyla kıyaslanarak ölçülür.

Zigot: Dişi bir gametle (yumurta) erkek bir gametin (spermatozoid) birleşmesi (döllenme) sonucu oluşan hücre.

Hiç Yoktan Bir Evren
Lawrence M. Krauss

Neden Hiçbir Şey Olmayacağına Bir Şey Var?

Darwin'den bugüne yazılmış en önemli bilimsel kitap. *Türlerin Kökeni*'nin doğaüstücülüğe indirdiği ölümcül darbeyi, *Hiç Yoktan Bir Evren* kozmoloji alanında yapıyor.

Richard Dawkins

Son yıllarda bir dizi parlak kavrayış ve hayret verici keşif evreni sarstı, Lawrence Krauss da bütün bu gelişmelerin göbeğindeydi. Krauss her zamanki canlılığıyla, bu dikkat çekici hikayeyi dikkat çekici derecede anlaşılır kılmış. Zirveye tırmandığınız noktada varoluşun büyük sorusuna, "Neden hiçbir şey olmayacağına bir şey var?" sorusuna verilmiş cesur bir bilimsel cevapla karşılaşacaksınız.

Frank Wilczek

Fizikte gelinen son noktaya dair mükemmel bir kılavuz. Ayrıntılı ama açık bir dille kaleme alınmış, titiz ama sıkıcı değil. Krauss'un gayet güzel açıkladığı üzere uzay ve zaman gerçekten de hiçbir şeyden, hiçlikten doğmuş olabilir. Muhteşem bir kitap. New Scientist Krauss, kısmen muzipliği sayesinde, astrofizik alanındaki en zorlu fikirleri, alan dışından okurların anlayabileceği şekilde sunmak gibi ender bulunan bir yeteneğe sahip.

San Francisco Chronicle

Bilgilendirici olduğu kadar eğlenceli ve esprili. İlginç olduğu kadar ikna edici.

Publishers Weekly

aylak

Einstein'in Köpeği

(Köpeğinize Görelilik Kuramını Nasıl Öğretirsiniz?)

Chad Orzel

Yaşlı bir köpeğe yeni numaralar öğretemezsiniz derler!
Peki ya göreliliğe ne dersiniz?

Fizik profesörü Chad Orzel ve meraklı köpeği Emmy, Einstein fiziğine giriş niteliğindeki bu kitapta genel görelilik kavramlarını inceliyorlar. Orzel, kimi zaman oturma odasının kimi zaman arabanın koltuğuna yerleşmiş Emmy'yle köpeklerin ve kedilerin göreli hızları ya da sincap kovalamanın lojistiği hakkında yaptığı sohbetlerde Einstein'ın karmaşık fikirlerini, örneğin hareket halindeki bir gözlemciye göre zamanın yavaşlamasını, hareket eden nesnelerin küçülmesini, kütleçekimin ışık ve zaman üzerindeki etkilerini, kara delikleri, Büyük Patlama'yı ve tabii ki $E=mc^2$'yi bir köpeğin anlayabileceği kadar basit örneklere çeviriyor. Modern fiziğin büyük kuramlarından birinde canlı bir gezinti sunan Köpeğinize Görelilik Kuramını Nasıl Öğretirsiniz? Uzay, zaman ve lise fizik derslerinde uyuduğunuz için kaçırdığınız başka her şey hakkında bilmek istediğiniz her şeyi öğrenmenizi sağlayacak.

"Son derece güzel bir kitap, görelilik hakkında daha iyi bir giriş kitabı düşünmek zor."

Louisa Gilder

aylak

Köpeğinize Kuantum Fiziğini Nasıl Öğretirsiniz?

Chad Orzel

ULUSLARARASI BESTSELLER

Kuantum fiziği herhalde en ilginç, en gizemli bilimsel konudur; sevimli bir köpekle yapılan Sokratik bir tartışmanın onun örtüsünü kaldıracağını kim bilebilirdi?

Cory Doctorow

Orzel'in kuantum fiziğine mizah dolu yaklaşımı nefis; Emmy de bu son derece gizemli mevzunun incelikleri hakkında hepimizin sormak istediklerini soran mükemmel bir köpek.

Jennifer Oullette

Bu küçük çekici kitap modern bilimin en tuhaf ve en önemli konularından birini öğrenmenin en eğlenceli yolu.

William D. Phillips/1997 Fizik Nobel Ödülü Sahibi

Chad Orzel ve sevgili köpeği Emmy sayesinde nihayet Heisenberg kesinsizlik ilkesini anladım! Emmy'nin herhalde benden daha çabuk kavradığı kritik önemdeki diğer fikirlerin lafını bile etmiyorum. Köpeğinize Kuantum Fiziğini Nasıl Öğretirsiniz, modern fizik hakkında en ufak bir fikri olmayan insanlar için bile bir lütuf.

Spencer Quinn

aylak

Dünya Neden Var?

(Varoluş Üzerine Bir Dedektiflik Hikayesi)

Jim Holt

NEW YORK TIMES BESTSELLER

Zehir mi zehir bir kozmik hafiyeyle birlikte kadim dünyadan günümüze varoluş muammasının izini sürmeye ne dersiniz?

İnsanlığın karşı karşıya kaldığı gizemlerin en derini varoluş gizemidir. Evren neden var? Neden bizler bu evrenin bir parçasıyız? Neden Hiçbir Şey olmayacağına Bir Şey var?

Bu gizem Platon'dan, Sartre'a, Heidegger ve Wittgenstein'e büyük düşünürlerin zihnini meşgul etmiş, onları büyülemiştir. Bugünse sadece Tanrı hipotezinin gerçek bir çözüm sunabileceğini kabul eden dini inanç sahipleriyle Stephen Hawking ve Richard Dawkins gibi bu soruları ancak bilimin açıklayabileceğinde ısrar eden ateistler arasında hararetli bir tartışmanın konusudur.

Dünya Neden Var?'da zeki olduğu kadar nüktedan da olan Kozmik hafiyemiz, aralarında Nobel Ödülü sahibi fizikçilerden Platoncu felsefecilere ya da kuantum meselesine kafa yormuş edebiyatçılara kadar bu gizemin anahtarını elinde tutan bir dizi olağan şüpheliyi sorguya çekiyor.

Jim Holt, Stephen Hawking'in bir zamanlar sorduğu ama yanıtlayamadığı soruyla bizi başbaşa bırakıyor: "Evren neden bütün can sıkıcılığıyla var olmaya devam ediyor?"

Ron Rozenbaum, Slate

"Jim Holt'un kitabı adeta çağdaş filozofların resmi geçidi.."

Freeman Dyson, New York Review of Books

"Varoluş üzerine düşünmenin, bu kitabı okumaktan daha eğlenceli yolunu hayal edemiyorum."

Sarah Bakewell, New York Times Book Review

aylak

EVRİM

Mühim Meseleler... Kafa Kurcalayan Sorular... Yalın Cevaplar!
Dünyayı bilim ve felsefeyle yargılamanın dayanılmaz hafifliği!
Bu kitap dizisi Bilim ve Felsefe'nin hayli mühim meseleleri üzerine okumanın, kafa yormanın zorluğuna dair oluşmuş efsaneyi yerle bir ediyor.
Günümüzün en önemli filozoflarından sayılan Simon Blackburn editörlüğünde hazırlanmış Kullanım Kılavuzu dizisi okurun gündemine tarih boyunca insanların aklını kurcalamış temel felsefi ve bilimsel meseleleri taşıyor. Bu meselelere en büyük düşünürlerin verdiği kadim ve güncel cevapları sunuyor.

Ulusal Bilim Madalyası sahibi Biyoloji ve Felsefe Profesörü Francisco J. Ayala, *Evrim: Kullanım Kılavuzu* başlığı altında hayatın kökenlerini ve gelişimini inceliyor. Uyumun ve doğal seçilimin en temel prensiplerini bayağılığa düşmeden, büyük bir beceriyle anlaşılır bir biçimde ortaya koyuyor. Klonlama, genetik ve bilinçle ilgili en son araştırmaları canlı bir şekilde önümüze seriyor. Evrim hakkındaki yaygın yanlış fikirlere kapsamlı ve son derece açık yanıtlar veriyor.

Evrim nedir? • Darwin haklı mıydı? • Doğal seçilim nedir?
En uygun olanın hayatta kalması nedir? • Evrim rastgele bir süreç midir?
Tür nedir? • Kromozomlar, genler ve DNA nedir?
Genler nasıl olur da bedenler oluşturur? • Moleküler evrim nedir?
Hayat nasıl başladı? • Hayat ağacı nedir?
Ben gerçekten maymun muyum? • Fosil kayıtları bize ne söyler?
Kayıp halka nedir? • Zeka kalıtımla mı miras alınır?
İnsanlar evrilmeye devam edecek mi? • Kendi kendimi klonlayabilir miyim?
Ahlak nereden geliyor? • Dil sadece insana özgü bir özellik midir?
Yaratılışçılık doğru mudur?

aylak



ISBN 978-605-5691-97-4