

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

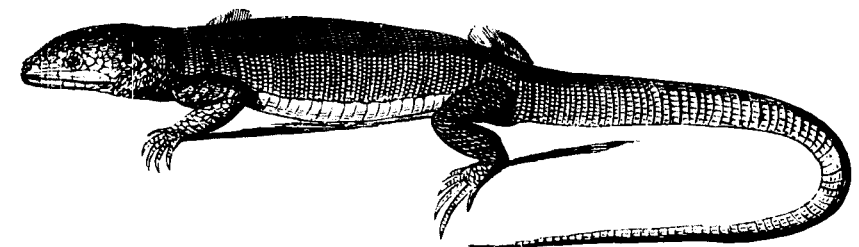
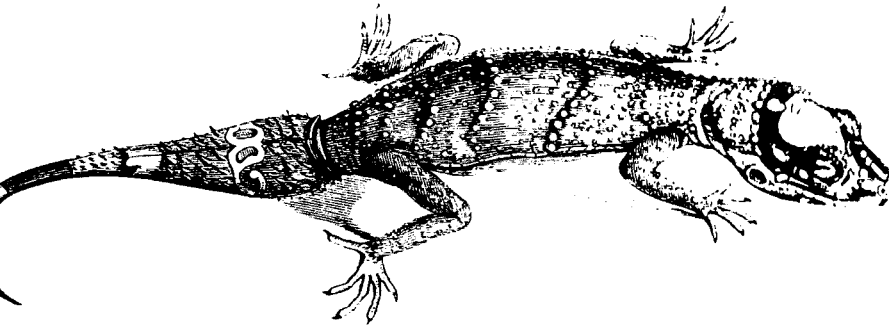
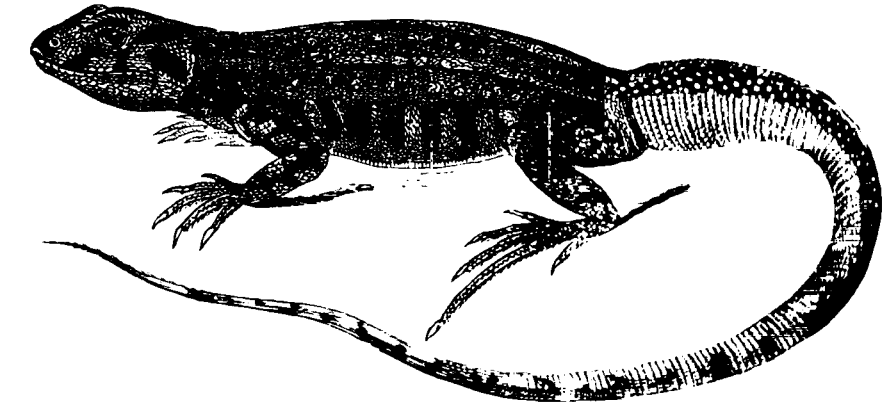
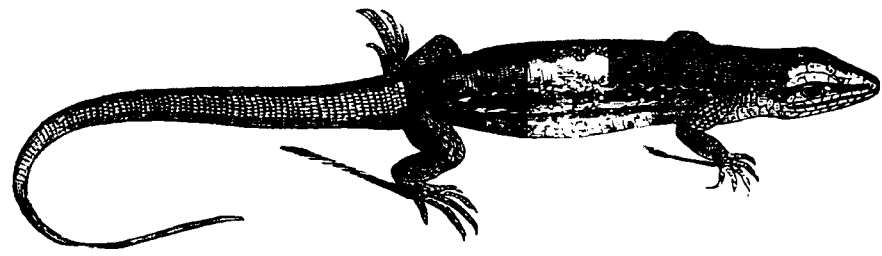
- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

JONATHAN B.
LOSOS

KADER, ŞANS
VE EVRİMİN
GELECEĞİ

ÇEVİRİ
BARIŞ GÖNÜLŞEN

Tellekt



KADER, ŞANS VE EVRİMİN GELECEĞİ

Tellekt_05

Kader, Şans ve Evrimin Geleceği, Jonathan B. Losos

Çeviri: Barış Gönülşen

Improbable Destinies: Fate, Chance, and the Future of Evolution

İlk basım (çeviriye kaynak alınan basım): Riverhead Books, Penguin Random House LLC

© 2017, Jonathan B. Losos

© 2019, Can Sanat Yayınları A.Ş.

Tüm hakları saklıdır. Tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

1. baskı: Ekim 2019, İstanbul

Bu kitabın 1. baskısı 3000 adet yapılmıştır.

Editör: Sıla Tanilli

Düzeltili: Melis Oflas

Mizanpaj: Bahar Kuru Yerek

Kapak Tasarımı ve Uygulama: Bora Başkan

İç Kapak Görseli: *Encyclopédie d'histoire naturelle*, Paris: E. Girard ve A. Boitte, 1860

Çizimler: Marlin Peterson / marlinpeterson.com

İç baskı ve cilt: Türkmenler Matbaacılık Reklam ve San. ve Tic. Ltd. Şti.

Maltepe Mah. Gümüşsuyu Cad. No: 16-18

Topkapı, İstanbul

Sertifika No: 43087

ISBN 978-605-80433-0-5

Tellekt

tellekt.com • bilgi@tellekt.com

Hayriye Caddesi No: 2, 34430 Galatasaray, İstanbul

Telefon: (0212) 252 56 75 / 252 59 88 / 252 59 89 Faks: (0212) 252 72 33

Sertifika No: 43514

Tellekt, Can Sanat Yayınları Yapım ve Dağıtım Ticaret ve Sanayi A.Ş.'nin markasıdır.

twitter.com/tellekt • facebook.com/tellekt • instagram.com/tellekt

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://irantey.org>

KADER, ŞANS VE
EVİRİMİN GELECEĞİ
JONATHAN B. LOSOS

ÇEVİRİ:
BARIŞ GÖNÜLŞEN

Tellekt

JONATHAN B. LOSOS, Washington Üniversitesi'nde biyoloji profesörü ve üniversite ile Saint Louis Hayvanat Bahçesi ve Missouri Botanik Bahçesi ortaklığındaki Living Earth Collaborative'in direktörüdür. Öncesinde Harvard Üniversitesi'nde biyoloji profesörü ve Harvard Karşılaştırmalı Zooloji Müzesi'nin Herpetoloji küratörüydü. Ulusal Bilimler Akademisi üyesi olan Losos, ayrıca *The Princeton Guide to Evolution*'ın ve *How Evolution Shapes Our Lives*'ın başeditörü, *Lizards in an Evolutionary Tree* adlı kitabın da yazarıdır.

BARIŞ GÖNÜLŞEN, 1974 yılında İzmir'de doğdu. İzmir Bornova Anadolu Lisesi Almanca Edebiyat ve Ortadoğu Teknik Üniversitesi İktisat Bölümü mezunudur. Yaşamını çevirmenlik yaparak sürdürmektedir. Bilim ve felsefe çevirilerinde uzmanlaşmış olan Gönülşen, yaptığı redaksiyon çalışmalarının yanı sıra, Stephen Hawking'in *Zamanın Kısa Tarihi*, Amir D. Aczel'in *Uranyum Savaşları & Nükleer Çağı Başlatan Bilimsel Rekabet*, John Gribbin'in *Bilim Tarihi*, Paul Davies'in *Tanrı ve Yeni Fizik*, Peter Atkins'in *Galileo'nun Parmağı: Bilimin On Büyük Fikri*, Joseph Mazur'un *Matematik Sembollerinin Kısa Tarihi* kitaplarını Türkçeye çevirmiştir.

Eşim Melissa Losos'a, babam ve annem Joseph ve
Carolyn Losos'a sevgi ve destekleri için...

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ	11
ÖNSÖZ	17
GİRİŞ: İYİ BİR DİNOZOR	25
BİRİNCİ KISIM: DOĞADAKİ İKİZLER	
1. EVRİMSEL DÉJÀ VU	51
2. KOPYALANMIŞ SÜRÜNGENLER	79
3 . EVRİMSEL AYRIKSILIK	101
İKİNCİ KISIM: DOĞADA DENEYLER	
4. EVRİMSEL DEĞİŞİMİN PEK O KADAR YAVAŞ OLMAYAN TEMPOSU	129
5. RENKLİ TRİNİDAD	141
6. KERTENKELE KAZAZEDELERİ	171
7. GÜBREDEN MODERN BİLİME	195
8. YÜZME HAVUZLARINDA VE KUM HAVUZLARINDA EVRİM	209

ÜÇÜNCÜ KISIM: EVRİM MERCEK ALTINDA

9. KASEDİ YENİDEN OYNATMAK	233
10. ŞİŞEDEKİ BULUŞ	261
11. ZERRELER, NOKTACIKLAR VE SARHOŞ MEYVE SİNEKLERİ	277
12. İNSAN ORTAMI	297
SONUÇ: KADER, ŞANS VE İNSANLARIN KAÇINILMAZLIĞI	321
TEŞEKKÜR	345
NOTLAR	347
DİZİN	365

SUNUŞ

Evrimsel biyolojide olay örgüleri her zaman aynı şekilde mi işler? Doğal seçim, yapay seçim, cinsel seçim, mutasyonlar, genetik sürüklenme, transpozonlar gibi evrimin mekanizmaları çevredeki değişkenler ile birlikte bilindiğinde evrimin yönü öngörülebilir mi? İnsan türü gibi bilişsel fonksiyonları bu kadar yüksek olan bir başka canlı evrimleşseydi, görünüş olarak antropomorfik (insansı) mi olmak zorundaydı? Jonathan B. Losos, *Kader, Şans ve Evrimin Geleceği*'nde evrimsel biyolojinin en önemli sorularından birini ele alıyor.

Losos'un üzerinde durduğu temel mekanizma yakınsak (*convergent*) evrimdir. Yakınsak evrim, aralarında ata-torun ilişkisi bulunmayan canlıların geçirdikleri evrimsel değişimler sonucu birbirlerine benzer özellikler kazanmalarınıdır. Bunlar, genellikle benzer çevrelerde, benzer koşullar altında yaşama sonucunda, doğal seçilimin etkisiyle kazanılan özelliklerdir. Yunuslar, memeli olmalarına rağmen, milyonlarca yıldır denizel ortamda yaşamalarından ötürü balıklara benzer bir vücut yapısı ile evrimleşmişlerdir. Balıklar ile denizel memelilerin vücut yapılarının birbirine benzemesi, bir yakınsak evrim örneğidir. Hayatlarının büyük bölümünü yer altındaki deliklerde geçiren (fossorial) canlıların yıllar içerisinde uzuvlarını kaybetmesi gibi, uzusuz kertenkeleler, yılanlar ve solucanlar da yakınsak evrime örnek teşkil eder. Peki bu yakınsak evrim sürecindeki parametreleri değiştirdiğimizde yine aynı morfolojiye (dış görünüşe) erişmek müm-

kün müdür? Yoksa o kadar çok parametre vardır ki, her birinin değişmesi, canlının da farklı anatomik özellikler kazanmasına mı yol açar? Evrim geriye sarıldığında her seferinde farklı sonuçlara mı ulaşır?

Evrimsel değişimleri gözlemlemenin en iyi yolu ada popülasyonlarıdır. Çünkü tamamen izole olan bu sistemlerin canlı değişimi üzerinde radikal etkileri vardır. Ayrıca bir canlı ne kadar hızlı ürerse, o kadar hızlı evrimleşir. Çünkü evrim jenerasyonlarda gözlenir, bireylerde değil. Yani “gelişim” bireylerde görülürken; “evrim” popülasyonlarda görülür. Ada popülasyonlarında uçamayan kuşların türleşmesi, diyet düzeyine göre sindirim sistemlerinin şekillenmesi, ekolojik nişleri (ekosistemle etkileşimi) kapsamında değişimleri harika bir şekilde izlenebilir. Bunun en iyi örneklerinden biri daha iri bir yırtıcı olmadığı için Madagaskar’da apeks (baskın) avcı olan *Cryptoprocta ferox* isimli memeli türüdür. Kendisi ufak firavun fareleri ile akraba olmasına rağmen ada ekosistemi içerisinde adeta küçük bir puma boyutunda evrimleşmiş, seçilim göstermiştir. Harika bir coğrafik izolasyon ve yakınsak evrim örneği!

66 milyon yıl önce Meksika Körfezi’ne çarparak Kretase/Tersiyer (K/T) yok oluşuna sebebiyet veren meteor, mevcut türlerin dörtte üçünü yok etti. Fakat dinazorların nesli bütünüyle tükenmedi. Ağırlığı yaklaşık 25 kilogramın üzerinde olan canlılar yok oldu. Evet, non-avian dinazorlar yok oldu; ama avian dinazorlar (kuşlar) ile her gün karşılaşyoruz! Peki devasa boyunları ile *Brachiosaurus*, keskin dişleri ve kuvvetli çenesi ile *Tyrannosaurus rex*, gülle benzeri kuyruk tokmağı ile zırhlı *Ankylosaurus* gibi non-avian dinazorlar yok olmasaydı, ufak memeliler çeşitlenerek primatlara evrimleşebilir miydi? Yoksa non-avian dinozorlardan bazıları insansı özellikler mi kazanırdı? Buradaki temel soru: Teknoloji geliştirecek kadar bilişsel fonksiyona sahip bir canlının, iki ayak üzerinde (*bipedal*) durması ve iki eli ile birlikte her elinde beş parmak bulundurması bir zorunluluk mudur? Son dönemin meşhur bilimkurgu filmi *Arrival*’da olduğu gibi heptapod (yedi ayaklı) canlılar olamazlar mı? Neticede bipedalizm ile bilişsel fonksiyonlar arasında bağlantı kurmak, insan türünün ürettiği empatiden köken alıyor olsa gerek. Şunu biliyoruz ki; her canlı, üzerinde evrimleştiği gökcisminin kütle çekimi ile şekillenir.

Peki, zekâ düzeyi ile sıcakkanlı veya soğukkanlı olmanın bağlantısı var mıdır? Son dönemde yapılan bazı araştırmalara göre dinozorların sabitsıcaklı benzeri olmaları daha muhtemel iken; herhangi başka bir değişkensıcaklı sürüngen teknoloji üreterek, Ay'a gidecek mekikler tasarlayabilir mi? Görünüşe göre başka gezegenlerde böylesi bir canlının önünde herhangi bir engel yok. Fakat bütün bunları neden insansı özellikler ile yapması gereksin? Sonuçta her canlı bulunduğu gezegene göre şekillenir ve evrimleşir. Başka bir gezegende başka yöntemlerle başka sonuçlara ulaşılabilir. Unutmamak gerekir ki, evrimin en büyük kısıtlayıcılarından biri de gezegenin kütle çekimidir.

Halk arasında sıcakkanlı ve soğukkanlı olarak bilinen terimler, bilimsel literatürde homeoterm (sıcakkanlı) ve poikiloterm (soğukkanlı) olarak kullanılır. Çünkü "sıcak" veya "soğuk" olan bir durum yoktur. Homeoterm olanlar adı üzerinde vücut sıcaklığını sabit tutacak metabolik aktivite (homeostaz) ile evrimleşmiştir. Genelde böyle canlıların vücut sıcaklıkları, bulundukları ortam sıcaklığından daha yüksek olur. Poikiloterm olanlarda ise vücut sıcaklığı ortam sıcaklığı ile birlikte değişkenlik gösterir. Yani sıcakkanlı yerine *sabitsıcaklı*; soğukkanlı yerine *değişkensıcaklı* terimlerini kullanmak daha uygun olacaktır. Çünkü poikiloterm hayvanlar güneşlenirken vücut sıcaklıkları belirgin şekilde artar, daha sonra metabolik aktivite ile birlikte düşer. Soğukkanlı denilen hayvanlarla aramızdaki tek fark, onların vücut ısılarını ortamdaki sıcaklıktan daha yüksek tutamamaları değil; aynı zamanda ortamdaki sıcaklıktan daha yüksek tutamamalarıdır. Bu durumda literatürdeki gibi değişkensıcaklı anlamına gelen *poikiloterm* terimini kullanmak daha uygun olacaktır. Yunanca *homeo-* terimi "sabit" veya "benzer" anlamında kullanılır. Diğer yandan *poikilo-* ise "değişken" veya "farklılık gösteren" anlamına gelir.

Canlılık, varyasyonlar (çeşitlilikler) ile şekillenmiş bir biyokimyasal zorunluluk gibidir adeta. Biliminsanları bu çeşitliliği içerisindeki benzerliklerden ve farklılıklardan yararlanarak sınıflamaya çalışır. Bu bilim dalına taksonomi denir. Fakat biyolojide ve daha doğrusu canlılıkta istisnalar her zaman olacaktır. Biz bütün memelilerin doğurarak çoğaldığını sanıyorduk; ancak ornitorenk (*Ornithorhynch-*

bus anatinus) yumurtlayarak çoğalan bir memelidir. Bütün memeliler sabıtsıcaklıdır sanıyorduk; ancak çıplak kör fare (*Heterocephalus glaber*) değişkensıcaklıdır. Bütün süzülen canlılar kolları ile süzülür sanıyorduk; ancak bacakları arasındaki deri uzantısı ile süzülen nesli tükenmiş sürüngen *Sbarovipteryx mirabilis* sayesinde artık öyle olmadığını biliyoruz. Dolayısıyla evrimsel biyolojide “normal” diye bir kavram yoktur. Bu tanımı, belli bir zaman dilimi içerisindeki gözlemler kapsamında yaygınlık derecesine göre biz veriyoruz. Bugün “normal” olan, yıllar sonra olmayabilir.

Keza “ilkel” kavramı da epey tartışılmıştır. İlkel diye tanımladığımız canlılar, döneminin “modern” canlılarıydı. Evrimsel süreçte her canlı bulunduğu dönemin şartlarına göre şekillenir ve çeşitlenir. Dolayısıyla bulunduğumuz konumdan bakarsak, bir canlı bir diğerinden “gelişmiş” değildir. Bu yüzdendir ki günümüze göre tarih öncesinde yaşayan canlıları “ilkin” olarak tarif etmek daha münasip olacaktır.

Bugün bilindiği kadarıyla yaşamın başladığı bölge okyanuslar altındaki volkanik bacaların içerisindeki mikro odacıklardır. Bu odacıklarda aminoasit, şeker, yağ ve hidrojenlerin “ilkin çorba” adı verilen ve adeta çorba gibi karışan yaşamın temel bileşenleri bulunur. Ayrıca volkanik bacalarda çok yoğun bir kimyasal ve gaz akışı bulunur ve geniş bir yelpazede sıcaklık değeri vardır. Bu kesimlerde su derişimi oldukça düşüktür ve adeta yaşam üretim fabrikası gibi işler. Yaklaşık 1 milyar yıl süren deneme ve yanılma sonucu bu ortamlarda ilk canlı türleri diyebileceğimiz kimyasal yapılar oluşmuştur. Fakat bunlardan bazıları canlılık sürecini devam ettirip, değişebilmiştir. Birçoğu okyanus tabanında cansız bir biçimde çökmüştür. Abiyogenez elbette bu kadar basit ve yüzeysel değil. Bu alanda çok önemli çalışmalar yapan İngiliz bilim insanı John Burdon Haldane ve Rus kimyager Alexander Oparin dışında sayısız biliminsanın emeklerini de anmadan geçemeyiz. Oró’nun monomer oluşumu deneyleri, Manfred Eigen ve Peter Schuster’in moleküler kaos ve kendini kopyalayan hiperdöngü hipotezleri, Zachary Adam’ın radyoaktif sahil hipotezi gibi çalışmaları sayabiliriz. Bu çalışmaların ortak yönü, biyokimyanın doğuşunu ve kimyasal yollardan, biyolojik moleküllerin oluşumunu açıklamaya çalışmalarıdır.

Canlılığın bir biyokimyasal zorunluluk olduğu bu evrende aslında “canlılık” ile “cansızlık” da birbirinden farklı değildir. Çünkü evrende canlı ve cansız ayrımı yoktur. Bu ayrımı kolay sınıflandırabilmek için biz koyuyoruz. Fakat bu tanımlı koyarken, çizgiyi nereye çekmemiz gerektiği her birkaç senede bir öne alınıyor. Leeuwenhoek’un mikroskobu keşfetmesi ile birlikte tek hücreli olan canlılığın gözle görülemeyecek düzeyde olduğu gösterildi. Ardından boyut olarak daha küçük olan bakterilerin keşfi geldi. Virüsler de keşfedildiğinde, artık tanımın geliştirilmesi gerekti. Riketsiyalar (bakteri ve virüsler arasında bir geçiş formu) da keşfedildiğinde, canlılık tanımı daha iyi anlaşıldı. *Pox* gibi büyük virüsler, aslında bakterilerden gen delesyonları sonucu oluşan ortak ataları mıydı? Bugün ise prion davranışları tanımı yeniden sorgulattı. Çünkü hepsi “canlılık” özellikleri gösteriyor. Prionlar, aslında sinir sisteminde protein sentezleyen proteinlerdir. Dolayısıyla, akıllara “DNA, canlılık için zorunlu olmayabilir mi?” sorusu geliyor.

Bir canlılık tanımı yapmak gerekirse, onu kendi fizyolojik olaylarını sağlayabilecek veya sağlatabilecek bir biyokimyasal yeteneği olan, organik bazlar ile genetik materyalini işleyebilen veya işletebilen, madde içi gradiyenti kısmen bir süreliğine sabit olan biyokimyasal moleküller olarak tanımlayabiliriz. Aslında hepimiz sabit sıcaklıkta çalışan kimyasal makineler değil miyiz? Madde ve evren de böyledir. Formdan forma girip nitelikler üretir, sonra da kendisini seyreder. Biz de evrene ait bir niteliğiz ve evreni seyrederiz.

Pedram Türkoğlu, Eylül 2019

ÖNSÖZ

Birçok çocuk gibi ben de dinozor evresinden geçtim. Her gün yuvanın kapısından içeriye plastik dinozorlarla dolu sepetimle girerdim: *Allosaurus*, *Stegosaurus*, *Ankylosaurus*, *Tyrannosaurus rex*. Türlerin hepsine, hiç değilse o zamanlar ulaşılabilen 20 kadar türün hepsine sahiptim. (Bugünkü çocuklarda çok daha fazlası var.)

Pek çok çocuktan farklı olarak, büyüdüğümde de bu evreyi aşmadım. Hâlâ oyuncak dinolarım var, sayıları da arttı; hâlâ isimlerini biliyorum, hatta hâlâ *Parasaurolophus*'in (pa-ra-sor-o-lo-fus) okunuşunu telaffuz edebiliyorum. Öte yandan canlı sürüngenlere daha fazla ilgi duyar oldum: yılanlar, kaplumbağalar, kertenkeleler, timsahlar...

Bendeki bu ilgi değişiminin yaşanmasında *Leave It to Beaver* adlı eski bir televizyon dizisinin, özellikle de Wally ile Beave'in posta yoluyla bir aligator yavrusu satın alıp banyoya sakladıkları bölümün büyük rolü oldu. Evde çalışan Minerva'nın onu bulmasıyla şamata kopuyordu elbette. Bunun çok harika bir fikir olduğunu düşünerek ve o günlerde (1970'lerin başı) evcil hayvan dükkânlarında aligatorların Orta ve Güney Amerika'daki versiyonu olan yavru kaymanların satıldığının bilgisiyle talebimi anneme ilettim. Hayır demeyi seven tipte bir kadın olmayan annem, düşünceme bir son vereceği beklentisiyle Saint Louis Hayvanat Bahçesi'nin müdür yardımcısı, aile dostumuz Charlie Hoessle ile iletişime geçmemizi önerdi. Her gün ba-

bam işten döndüğünde ilk sorum “Bugün Bay Hoessle’la konuştun mu?” oluyordu. Yapım gereği fazla sabırlı olmadığım için (özellikle de 10 yaşında) gün geçtikçe kızmaya, sıkıntı yaratmaya ve giderek hiddetlenmeye başladım. Hayır, mesele neydi? Babam Hoessle’ı telefonla aramak varken ille de yüz yüze görüşmeyi bekliyordu. Bu buluşma hiç gerçekleşmeyecek miydi? Ev sakinleri arasına bir timsahın katılması umudumu tümenden yitirmek üzereyken, bir akşam babam eve geldiğinde Bay Hoessle’la konuştuğunu söyledi. “Karar ne?” diye sordum huzursuzca, büyük bir umut ve tedirginlikle. Ardından büyük mutluluk: Hoessle “harika fikir” demişti, zaten kendisi de herpetolojiye* aynı şekilde başlamıştı! Annem şaşkınlıktan donup kaldı, kısa süre içinde de bodrum katımız çeşitli sürüngenlerle doldu. Böylece mesleki yolculuğuma başlamış oldum.

Bir yandan pullu hayvanlara karşı sorumluluklarımı yerine getirirken, bir yandan da New York’taki Amerikan Doğa Tarihi Müzesi’nin çıkardığı aylık *Natural History* dergisinin sıkı okurlarından biriydim. Her sayı en dikkat çekici yazılardan biri, Harvard’lı etkin bilgili, müthiş paleontolog Stephen Jay Gould’un kaleminden çıkan *This View of Life* köşesinde yayımlanırdı. Adını Darwin’in *Türlerin Kökeni* eserinin son cümlesinden alan köşede düzenli olarak Gould’un evrim sürecine dair aykırı fikirleri işlenerek evrimin belirsiz ve öngörülemez doğasına vurgu yapılırdı. Gould, zarif anlatımı ve tarih, mimarlık, beyzboldan örneklerle süslediği tarzıyla sahip olduğu dünya görüşünü ikna edici bir biçimde savunurdu.

1980 yılında Harvard’a kabul edildiğimde bu büyük insanı branş dışı öğrencilere açık, mütevazı isimli dersi Yaşam ve Dünya Tarihi’nde doğrudan dinlemeyi sabırsızlıkla bekliyordum. İnsan olarak da tıpkı yazılarındaki gibi büyüleyici ve çekiciydi. Gelgelelim üzerimde en büyük etki yaratan öğretim üyesi, Harvard Karşılaştırmalı Zooloji Müzesi’nin (şu an benim üstlendiğim görev olan) Herpetoloji Küratörü Ernest Williams oldu. Yaşça büyük ve buyurmaya alışkın bir kıdemli olmasına rağmen sürüngenlere ilgi duyan genç

* Sürüngenleri ve amfibileri inceleyen zooloji alt dalı.

bir zıpcıktıyı samimiyetle karşıladı. Kısa süre sonra kendimi onun en önemli çalışmasının odağına aldığı kertenkele türü üzerine çalışır vaziyette buldum.

Küçük, genellikle yeşil ya da kahverengi, ayak parmaklarında yapışkan tabanlar ve boğazının altında renkli deriden genişleyebilen bir et parçası bulunan anole kertenkeleleri hal ve tavırlarıyla büyüleyici ve gayet fotojeniktir. Onlara bilim çevrelerinde asıl ünlerini kazandıransa evrimsel bereketleridir. Bilinen 400 türleri vardır, her yıl da yenileri keşfedilmektedir ve bu sayede *Anolis* omurgalı hayvanların en büyük cinslerinden biri haline gelmektedir. Bu muazzam çeşitliliği müthiş bir yerel zenginlikle beraber (bir düzineden fazla birlikte gerçekleşen tür), birçok türün tek bir adıyla ya da Amerika kıtasının küçük bir tropik kısmıyla sınırlı kaldığı bölgesel endemiklik tamamlar.

Williams'ın öğrencilerinden Stan Rand mezun olduktan sonra, 1960'larda bazı anole türlerinin ağaç tepelerinde, bazılarının da çimlerin içinde ya da dalların üstünde yaşayarak habitatın farklı kısımlarına uyum sağlayıp bir arada yaşadığını belgeledi. Williams'ın büyük başarısı Büyük Antiller'deki adaların hepsinde (Küba, Hispanyola, Jamaika, Porto Riko) aynı habitat uzmanlık kümelerinin evrimleşmiş olduğunu fark etmesiydi. Demek ki, kertenkeleler dört adada da bağımsız biçimde çeşitlenmiş, buna rağmen mevcut habitatlarını neredeyse tamamen aynı biçimde paylaşıp şekle evrim geçirmişti.

Henüz öğrenci olduğumdan bu hikâyenin çok küçük bir parçasında çalışarak Dominik Cumhuriyeti'ndeki iki tür arasındaki etkileşimleri konu edinen bir onur araştırma projesi yürüttüm. Mezun oldum ve zaten önemli ne varsa hepsi Williams ve laboratuvarı tarafından keşfedilmiş olduğundan bir daha asla bu kertenkeleler üzerine çalışmamaya yemin edip Kaliforniya'da bir doktora programına başladım.

Ah, gençliğin toyluğu işte. Bilimle uğraşan herkesin bildiği gibi, başarılı projeler genellikle tek bir konuyla ilgilenir ama üç yeni konuya yol açar. Yüksek lisansta iki yılıma ve bir düzine başarısız tez projesi fikrime mal olmuş olsa da, sonunda evrimsel çeşitlenme konu-

sunda çalışmak için ada anolelerinin mükemmel bir grup oluşturduğunu fark ettim.

Bu yüzden de dört yılımı Karayipler’de avarelikle, ağaçlara tırmanıp kertenkeleler yakalayarak, fırsat buldukça piña colada yudumlayarak geçirdim. Sonunda da en yeni çözümleme tekniklerini kullanarak Williams’ın kesinlikle haklı olduğunu kanıtlamayı başardım. Anatomik ve ekolojik açıdan birbirine çok benzer türler, farklı adalarda bağımsız şekilde evrimleşmişti. Üstelik yaptığım biyomekanik çalışmalar (kertenkelelerin nasıl koştuğu, sıçradığı, tutunduğu üzerine), uzun bacaklar veya büyük ayak parmak tabanları gibi özelliklerin türlerde nasıl habitatın belirli kısımlarını kullanarak evrimleştiğini açıklayan, anatomik çeşitliliğin uyumsal temelini ortaya serdi.

Tezimin mürekkebi henüz kurumamışken, yer yer Stephen Jay Gould’un en büyük eseri olarak tanımlanan *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History* [Şahane Hayat: Burgess Şeyli ve Tarihin Doğası] piyasaya çıktı. Büyük bir iştahla okudum ve ortaya konan görüşü ikna edici buldum. Evrim tuhaf ve öngörülemez bir yol izler, diyordu; yaşamın kasedini başa sarsanız çok farklı bir sonuç elde edersiniz.

Durun bir dakika. Gould’un saati geriye alarak yaşamın evrimsel kasedini geriye sarma fikri olanaksız (en azından doğada), fakat evrimin tekrarlanabilirliğini sınamanın bir başka yolu da aynı kasedi farklı yerlerde çalmaktır. Her biri çok eskiden kalma anole kertenkeleleriyle dolu Karayip adaları aslında yaşam kasedini yeniden çalmakla aynı şey değil mi? Adaların üç aşağı beş yukarı aynı çevreye sahip olduklarını varsayarsak, bu bize evrimsel tekrarlanabilirliği sınama olanağı sağlamıyor mu?

Gerçekten de sağlıyordu ve böylece kendimi entelektüel bir açmazın ortasında buldum. Gould, ikna edici şekilde evrimin kendisini tekrarlamaması gerektiğini ileri sürüyordu, öte yandan benim araştırmam kendini tekrarladığını göstermişti. Gould mu hatalıydı, yoksa benim çalışmam bir şekilde kuralı ispat etmiş bir istisna mıydı? Kendi çalışmam karşı bir örnek sunmasına rağmen Gould’cu dünya görüşünü kabullenerek ikinci açıklamada karar kıldım.

Son çeyrek yüzyıl bu bakış açısı için sıkıntılı geçti. Gould'un tahmin edilemezlik ve tekrarlanamazlık vurgusuna entelektüel bir itiraz doğdu. Bu alternatif görüş, uyumsal yakınsak evrimin her yerde görüldüğünü vurgular: Benzer ortamlarda yaşayan türler, paylaşıtlıkları ortak doğal seçilime uyarlanma baskıları nedeniyle benzer özellikler geliştirecektir. Benim *Anolis* kertenkelelerim bu tip bir yakınsamaya örnektir. Bu görüşün taraftarları, yakınsamanın evrimin tuhaf ve belirlenemez olmadığını, aslında gayet öngörülebilir olduğunun kanıtı olduğunu savunmaktadır: Doğada hayatını kazanmanın yolları sınırlıdır, dolayısıyla doğal seçim aynı özelliklerin arada bir yeniden evrimleşmesine yol açmaktadır.

Wonderful Life'ın basımından ve benim doktoramdan bu yana evrim biyolojisi epey ilerleme kaydetti. Yeni fikirler, yeni yaklaşımlar, yeni veri toplama yöntemleri ortaya çıktı. Evrim çalışan bilimsanlarının sayısı inanılmaz arttı. Genomu çözdük, yaşam ağacının haritasını çıkardık, evrimleşen mikrobiyom konusunda bilgiler edindik. Müthiş fosil keşifleriyle evrim tarihinin büyük bölümünü açığa çıkardık.

Evrimin öngörülebilirliği konusunda bu verilerden çok şey öğrenmek mümkün. Bu gezegende yaşamın tarihi hakkında öğrendiklerimiz arttıkça, yakınsamanın yaşanmış olduğunu ve çok benzer sonuçların tekrar tekrar evrimleştiğini görüyoruz. Benim anolelerim giderek daha az istisnai görünüyor ve kural oldukları düşüncesi güç kazanıyor.

Öte yandan evrim çalışmalarında çağlar içerisinde yaşananları belgelemenin dışında bir yol daha olduğunu biliyoruz. Evrim çalışmalarını evrim gözümüzün önünde yaşanırken de yapabileceğimizi keşfetmiş durumdayız. Ve bu, bizlerin evrimsel öngörülebilirlik sorusunu yanıtlamak için laboratuvar biliminin alametifarikası olan deneysel yöntemin gücünden faydalanma yoluyla *kasedi geriye sarıp yeniden oynatabileceğimiz* anlamına geliyor.

Deneyler evrim çalışması yapmanın etkili bir yoldur. Üstelik çok da eğlencelidir. Lise kimya derslerindeki deneyleri hatırlarsınız. Kimyasal ayıraçları laboratuvar kaplarında karıştırmak, ardından

test tüplerine boşaltmak pek de zevkli değildi, en azından benim için. Ama test tüpleriniz Bahama adaları, ayıraçlarınız da kertenkeleler olduğunda durum tamamen değişir. Gerçi ortam bazen fazla güneşlidir; keza yakından geçen bir yunus dikkatinizi dağıttığı için önemli bir kertenkeleyi yakalayamamaktan daha moral bozucu bir şey yoktur. Fakat deneysel evrim, evrim biyolojisinin en ileri aşamasıdır ve bizlere evrim hakkındaki düşüncelerimizi gerçek anlamda, doğada, şimdiki zamanda test etme olanağı tanır. Bundan daha heyecan verici ne olabilir? Günümüzde evrim deneyleri Trinidad'ın dağlık yağmur ormanlarından Nebraska'nın kum tepelerine [Sand Hills], Britanya Kolumbiyası'nın göllerine dek dünyanın her tarafında yapılıyor ve evrimin öngörülebilir olup olmadığını doğrudan araştırmamızı mümkün kılıyor.

Keşke bugün yüksek lisans öğrencisi olabilseydim. Bugün evrim biyoloğu olmak için mükemmel bir zaman, mesleğin altın çağı. Genom dizilemeden alan deneylerine, elimizdeki mevcut araçlarla geçen yüzyıl boyunca alanımızı çileden çıkartmış soruları nihayet yanıtlatabiliyoruz.

Kitabımı yapılan çalışmalarla ilgili şu soruyu yanıtlamak amacıyla yazmaya başladım: Evrim ne kadar öngörülebilirdir? Gelgelelim, yazarken bu kitabın bilimin bizlere söylediklerinden ibaret olmaması gerektiğini fark ettim. Bilimsel bilgi hiç yoktan, durduk yere ortaya çıkmaz; biliminsanlarının doğayı tanımak için yaratıcılıklarını ve sezgilerini kullanarak bu uğurda çalışıp çabalamalarının sonucudur. Ayrıca evrimsel öngörülebilirlik konusunda çalışan insan sayısı da azımsanmayacak kadar çoktur.

Bu kitap, sadece evrim hakkında bildiklerimiz üzerine değil, bildiklerimizi nasıl bildiğimiz üzerinedir. Sadece bilim kuramları ve teknoloji değil, fikirlerin nereden geldiği; araştırmacıların onları nasıl ürettiği, alandaki tecrübeyle nasıl bulunmaya hazır hale geldikleri, bilimin ne kadarının beklenmedik gözlemler sayesinde bir araya gelen bambaşka fikirlerin tesadüfen keşfedilmiş yakınlığından doğduğu hakkındadır. Ayrıca, üzerine çalışılan görünüşte ezoterik akademik sorunların, hem evrende tuttuğumuz yeri hem de etrafımızdaki yaşamın değişen dünyayla nasıl baş ettiğini kavra-

mamız açısından hakikaten önemli olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, bu kitap insanlar ve yerler, bitkiler ve hayvanlar, büyük sorunlar ve ivedi sorunlar hakkında bir hikâyedir. Ve o da, benim doğaya karşı duyduğum sevginin de başlangıcı olan dinozorlarla başlıyor.

GİRİŞ

İYİ BİR DINOZOR

Pixar filmi *İyi Bir Dinozor*'un tanıtım filmi pek çok büyük kayadan oluşan bir asteroit kuşağının görüntüsüyle başlar. Kaya yığını içerisinde bir asteroit fırlar, bir diğerine çarpar, o da bir üçüncüsüne çarpıp sektirerek onu hızla uzayın derinliklerine, uzak bir cisme doğru gönderir. Cisim büyüdükçe kimliği de anlaşılır hale gelir: Yeşil bölgelerinde yer yer beyaz benekler görülen mavi bir gezegen. Anlatıcı, etkileyici sesiyle, “Milyonlarca yıl önce on kilometre çapında bir asteroit Dünya üzerindeki tüm dinozorları yok etti,” der. Asteroidin turuncu renk alıp cızırdayarak atmosferine girdiğini görürüz.

Daha sonra olanları biliyorsunuz: Meksika Körfezi'ne çarpma, dünyanın her tarafında depremler, Kuzey yarıküredeki ormanların alevler içinde kalması, is yüzünden gökyüzünün aylarca kararması. Dinozorlar ve birçok başka canlı yeryüzünden silinir. İç karartıcı bir gün olduğu ortada. Bu Pixar prodüksiyonu, görünen o ki Pixar'ın çoğu filminden daha karanlık, büyük sürüngenlerin ölümüyle biten bir trajedi.

Belki de değil.

“Ya şöyle olsaydı?” denir tanıtımda ve ardından asteroidin Kretase dönemdeki gökyüzünde geçip gittiği gösterilir. Otlayan dev hayvanlar (sauropodlar, hadrozorlar) bir an bakar, sonra devasa karınlarını yapraklı yiyeceklerle doldurmaya devam ederler. Asteroit uçar gider, ölümcül bir çarpma gerçekleşmez, ıska geçmiştir. Hayat devam eder. Dinozorların salata diyeti kesintiye uğramaz.

“Ya öyle olsaydı?” sorusunun cevabını biliyorum. Dinozorlar bundan 66 milyon yıl önce hükümranlıklarının zirvesindeydi. Dünya üzerindeki egemenlikleri 100 milyonu aşkın yıldır sürmekteydi. Asteroit olmasaydı dinolar küresel hükümdarlıklarını devam ettirirlerdi: *T. rex*, *Triceratops*, *Velociraptor*, *Ankylosaurus*... hepsi hayatta olurdu. Yeni dinozorlar evrimleşir, eskilerin yerini alırdı. Katılımcıları durmaksızın değişen dinozorların geçit töreni devam ediyor olurdu. Dinozorlar büyük ihtimalle bugün de yeryüzünü adımlıyor olurdu.

Peki, o zaman bugün kim var olmazdı? Biz var olmazdık, olacak olan o. Biz memeliler bundan 225 milyon yıl önce, dinozorlarla tam da aynı zamanda evrimleşmiş olmamıza rağmen, varlığımızın ilk 160 milyon yılında sayıca pek öyle çok değildik. Dinozorlar icabımıza bakıyordu. Bol kıllı atalarımız, en küçük dinozorlardan bile daha küçük, sürünge efendilerinden sakınmak için geceleri faal, saklanmak için çalılıklara kaçışan, bulabildikleri artıkları yiyen, küresel biyosferde fazla yer tutmayan, önemsiz canlılardı. Bir keseli sıçanı düşünürseniz, Kretase dönemdeki akrabamızın görünümünü ve yaşam tarzını –karşılaştırmada çoğu bundan bile küçük olsalar da– kafanızda canlandırabilirsiniz.

Memeliler takımının evrimsel fırsat edinmesi ancak asteroidin dinozorları yeryüzünden silmesiyle mümkün oldu; bu durumdan gerçekten iyi faydalandık, hızla çoğalıp boşalan ekosferi doldurduk ve son 66 milyon yılı Memeliler Çağı haline getirdik. Fakat her şeyimizi o asteoride borçluyuz.

Bizler (biliminsanları ve meslek dışından ilgili kişiler) bir dönem memelilerin yükselişinin kaçınılmaz olduğu fikrine kapıldık,

büyük beyinlerimiz ve vücut ısıımızı doğuran içten yanmalı motorlarımız sayesinde biz memelilerin bu sürünge canavarların karşısında doğamız gereği üstün olduğumuzu düşündük. Bu fikre göre, biraz zaman almış olsa da belki yumurtalarını soylarını tüketecek kadar yediğimiz, belki de onlara boylarının ölçüsünü gösterdiğimiz için dinozorların yerini aldık.

Bugün bunun saçmalık olduğunu biliyoruz. Mezozoik Zaman'daki evrim oyununda memelilerin rolü figüranlık düzeyindeydi. MÖ 66 milyon yılının o güzel gününde dinoların işleri gayet yolunda gidiyor; ayaklarının altındaki haşarat, egemenliklerini hiçbir biçimde tehdit etmiyordu. Asteroit olmasaydı, hayat milyonlarca yıldır olageldiği gibi yeni türlerin evrimleşmesi, diğerlerinin ortadan kalkmasıyla sürünge nelerin düzen ve entrikaları içinde mutlu mesut devam edecekti. Biz memelilerin gölgede saklanmaktan çıkıp ekosistemde başrolü kapacağımızı düşünmek için pek fazla neden yok. Dinozorlar zaten oradaydılar, ekolojik yaşam alanlarını dolduruyor, kaynakları kullanıyorlardı; evrimde sıranın bize gelmesi ancak onların gitmesiyle oldu.

Asteroit olmasaydı, kitlesel yok oluş olmazdı, memelilerin evrimsel çiçeklenmesi olmaz, siz de ben de olmazdık. Tanıtım filminin ilk sahnesi beni bu yüzden heyecanlandırmıştı. Pixar tamamen dinozorlara ve asteroit çarpmadan geçip gitmiş olsaydı dünyanın ne kadar farklı olacağına dair bir film yapmıştı. Tanıtım filminin ilk 45 saniyesini izledikten sonra filmin çok iyi olacağını anlamıştım.

Trailer bir *T. rex*'in otçul bir sürünün peşine düşmesi, çılgınca kaçışmalarına neden olması, dev otoburların, uzun boyunlu brontozorlar* ve üç boynuzlu *Triceratops*'ların aceleyle oradan oraya koşuşturmasıyla, anlayacağınız Mezozoik Zaman'da tipik bir gün şeklinde devam ediyordu. Ardından bir daha izledim; bu hayvanların bazıları ceratopsialardan ziyade, kıllı, büyük boynuzlu bizonlara benziyordu.

* Pürist dinozorcular *Brontosaurus* isminin epey bir süredir ıskartaya çıktığına ve garip bilimsel nedenlerle yerini *Apatosaurus*'a bıraktığına dikkat çekebilir. Keyif kaçırmaya meyyal bu çokbilmişlere yanıt veriyorum: "Ha-ha! Yeni bilimsel keşifler sayesinde *Brontosaurus* ismi 2015'te yeniden hayat kazandı."

Sonraki sahnede bu kez bir brontozor kafasında bir şeyle zıplaya zıplaya gidiyordu – Bir çocuk insanla!

Asteroit çarpmadan geçmişse, memelilerin orada ne işi vardı? Nihayetinde bu bir Pixar filmi olduğundan belli bir serbestlik (dinozorların İngilizce konuşması gibi) beklenebilir elbette, fakat *Brontosaurus*, bizon ve bebeğin yan yana bulunmasını destekleyecek bilimsel kanıtlar var mı? Dinozorların soyu tükenmemiş olsaydı, memeliler yine çeşitlilik gösterir ve bizon, (daha önemlisi) biz var olabilir miydik? Dinozorlar, milyonlarca yıl boyunca memelilerin varlıklarını korumalarına (bu varlık çalı altlarında ve epey küçük olsa da) izin vermişti. Memelilerin o kadar zamanın ardından, büyük sürüngenlerin egemenliği sürerken, bir şekilde evrimsel olarak aşka gelip gelişmiş olmaları mümkün müydü?

Bir olasılık var, hiç değilse Britanyalı paleontolog Simon Conway Morris'e göre. Dinozorlar sürüngen olduklarından sıcağı severler. Düşük metabolizma hızları pek fazla iç ısı üretmez. Dışarısı sıcaksa, bu durum sorun yaratmaz; ısıyı çevrelerindeki ortamdan alabilir, gerektiğinde güneşte durarak takviye yapabilirler. Yaşanan uzun küresel ısınma dönemi dinozor hükümdarlığını mümkün kılıyordu, dünyanın çoğu bölgesi tropikti ve sürüngen olmak için iyi bir zamandı.

Fakat Conway Morris, iklimin yaklaşık 34 milyon yıl önce değişmeye başladığına dikkat çekiyor. Dünya soğudu. Sonunda da Buzul Çağı başladı, buzullar genişledi, dünyanın birçok bölgesinde hava soğudu. Bugün dünyanın uzak kuzey ve güney bölgelerinde sürüngen bulamıyor olmamızın bir nedeni var; oralarda hava onlar için çok soğuk. Conway Morris, dinozorlar hâlâ var olsaydı, bu küresel soğumanın memelilerin evrimsel yayılımını harekete geçirerek sıçrama yapmasına neden olacağını ileri sürüyor. Dinozorlar, tropik ekvatorial bölgelere doğru geri çekilmek zorunda kalacak, yüksek ve orta enlemleri boşaltarak er ya da geç memelilere evrimleşme şansı tanıyacaklardı.

Gelin Conway Morris'e ayak uyduralım ve senaryosunun doğru olduğunu kabul edelim. Memeliler çeşitlenmeye, uzun zamandır di-

nozorlarca doldurulan ekolojik nişleri işgal etmeye, giderek daha büyük ve daha çeşitli olmaya başlasın. Belki de Buzul Çağı'nın sağladığı bu evrimsel çeşitlenme, asteroidin oluşturduğuna denk bir görkem ve çeşitliliğe sahip bir memeliler çağına yol açacaktı.

Gelgelelim bu aynı memeliler çağı olur muydu? Filler, gergedanlar, kaplanlar, yedomuzları [karıncayıyenler] olur muydu? Yoksa bu alternatif dünya çok farklı bir hayvan topluluğu mu üretti; bizim hiç tanımadığımız türler dünyanın kaynaklarını bölüşüp ekolojik nişlerini işgal eder ve tüm bunları bugün çevremizde gördüğümüz canlılardan çok farklı biçimlerde yapıyor olurlar mıydı? Veya meseleyi kişiselleştirirsek, biz evrimleşir miydik? Pixar'ın *Brontosaurus*'unun üzerine çıkacak bebekleri doğuracak insanlar var olur muydu?

Conway Morris bu soruya net bir "evet" yanıtı veriyor. Ona ve onunla aynı görüşü taşıyan biliminsanlarına göre evrim belirlenimcidir, öngörülebilirdir, art arda aynı seyri izler. Bunun nedeni, onlara göre, dünyada hayatta kalmanın sınırlı sayıda yolu olmasıdır. Çevrenin doğurduğu her sorun için en uygun bir tek çözüm vardır, bu da doğal seçilimin tekrar tekrar aynı evrimsel sonuçları üretmesine yol açar.

Kanıt olarak da, türlerin evrimde bağımsız olarak benzer özellikler geliştirmeleri olgusu olan yakınsak evrimi gösterirler. Belirli bir çevresel koşula uyarlanmanın sınırlı yolu varsa, bu durumda benzer çevrelerde bulunan türlerin birbirine yakınsayan biçimde aynı uyarlanmaları geliştirmelerini bekleyebiliriz ve yaşanan tam da budur. Yunuslarla köpekbalıklarının bu kadar benzer görünömlere sahip olmaları boşuna değildir; suda av peşinde hızla hareket edebilmek için evrimlerinde aynı vücut şeklini geliştirmişlerdir. Ahtapotların ve insanların gözleri neredeyse aynıdır, çünkü her ikisinin de ataları ışığı algılamak ve ona odaklanmak için birbirine çok benzer organlar geliştirmiştir. Birazdan göreceğimiz üzere evrimsel yakınsamalar listesi uzar gider. Conway Morris ve arkadaşları bunu yaygın ve kaçınılmaz görür; bunun evrimin nasıl seyredeceğini ve sonradan şekillenecek memeli yayınının nasıl olacağını öngörmemize olanak sağladığını düşünürler. Conway Morris şu sonuca varmaktadır:

“Faal, çevik, ağaçta yaşayan, kuyruksuz maymuna benzer memelilerin ve nihayet insangillere benzer bir biçimin doğuşu ortadan kalkmaz, sadece gecikirdi... Kretase dönem sonu asteroit çarpması olmasaydı... insangillerin ortaya çıkışı yaklaşık 30 milyon yıl gecikirdi.” Diğer bir deyişle, Pixar’ın bebekler ile brontoları kaynaştırmasının sağlam bir temeli vardı.

Şimdi bu savı bir adım daha ileri taşıyalım. Memeliler sonsuza dek gölgede kalmış olsaydı bile, başka bir ata soyundan bizim gibi bir tür evrimleşebilir miydi? Yakınsama bu denli kaçınılmazsa, belirli çözümlere doğru ittirilme bu kadar amansızsa, memelilerin yükselişinin zaruri bir önkoşul olduğunu düşünmeyi gerektirecek bir neden de yok. İleri bakan gözler ve ön ayaklarla nesneleri beceriyle kullanabilen, büyük beyinli, iki ayaklı, yüksek derecede sosyal bir tür başka bir atadan da evrimleşebilirdi. Fakat memelilerin soyundan olmayacaksa, acaba neyin soyundan gelecekti?

Bu soruyu yanıtlamak için *İyi bir Dinozor*’dan kötü bir dinozora geçiş yapmak yeterli: *Jurassic Park*’ın kötü kahramanı (ve beklenmedik bir borç ödeme örneği olarak yirmi yıl sonra bu kez *Jurassic World*’un iyi kahramanı) *Velociraptor*. Zekâsını da hiç hafife almayın! Bu açıkgoz sürüngenler ekip halinde çalıştılar, kaşarlanmış safari avcısını kurnazlıkla alt ettiler, hatta üç parmaklı elleriyle kapıları nasıl açacaklarını çözdüler. Dahası görsel yönelime sahiptiler ve iki ayak üzerinde yürüyorlardı. Kulağınıza aşına geldi mi?

Jurassic Park’ın *Velociraptor* tasviri birkaç istisna hariç tutulursa gerçeğe makul ölçüde uygundu.* Ne kadar zeki olduklarını bilmiyoruz elbette, ama büyük beyinlere sahiptiler ve kimi paleontologlar sosyal olabileceklerini, grup halinde yaşadıklarını ve av saldırılarını aslanlar ya da kurtlar gibi eşgüdümlediklerini ileri sürmektedir. İn-

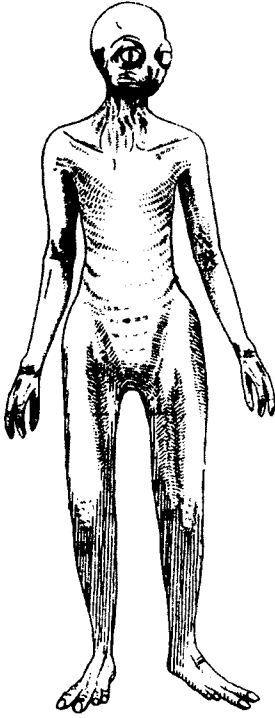
* Bununla beraber aslında yaratık, yakın dinozor akrabalarından *Deinonychus* temel alınarak oluşturulmuştu. Film ile gerçek arasındaki en önemli farklardan biri *Velociraptor*’un ayaktayken boyunun muhtemelen bir metreyi aşmamasıydı. Gelgelelim, hayatın kurguyu taklit etmesinin bir örneği olarak *JP* vizyona girdikten kısa bir süre sonra paleontologlar *Velociraptor*’un daha uzaktan bir kuzeninin varlığını tespit ettiler, *Utahraptor* adını verdikleri bu kuzen filmdeki *raptor* [yırtıcı kuş] ile hemen hemen aynı boydaydı.

sangillere benzer bir hayvanın evrimi için bir başlangıç noktası arıyorsanız, *Velociraptor* başlamak için iyi bir yer gibi görünüyor.

Kanadalı paleontolog Dale Russell da 1980’li yılların başında tam bu noktadan başladı. *Velociraptor*’un yakın bir akrabası, yine Kretase dönemin sonunda yaşamış *Troodon* adlı küçük bir theropod dinazor üzerine çalıştı. *Troodon*, tüm dinozorlar içerisinde beden ağırlığına oranla en büyük beyne sahipti; büyüklüğü bir armadillo-daki veya beçtavuğundaki beyin kadardı. Diğer bir deyişle bu sürüngenlere dâhi diyemeyiz elbette, ama çok budala da sayılmazlar. Russell, hayvanların yüz milyonlarca yıl içerisinde istikrarlı bir biçimde daha büyük beyinler geliştirdiklerini kaydetti. En büyük dinazor beyninin dinozorların bu dünyadan emekliliklerinin hemen öncesinde yaşamış bir türde olduğu gerçeği, dinozorların da beyin büyüklüğünün zamanla artması yönündeki evrim modasına uyduğunu akla getirmekteydi. Russell, eğer asteroit onları Dünya yüzeyinden silmeseydi ne olurdu sorusunu sordu. Doğal seçim daha da büyük beyinler geliştirmeye itecek olsaydı, *Troodon*’un soyundan gelenler nasıl evrimleşirdi?

Bir mantık silsilesi kuran Russell, *Troodon*’un soyundan gelme bir varlığın günümüzde nasıl görüneceği üzerine düşündü: Daha büyük beyinler daha büyük kafataslarını şart koşar, daha büyük kafatasları genellikle yüz bölgesinin kısılmasıyla ilişkilidir, daha ağır kafalar bedeninin en üstüne konduğunda daha kolay dengelenir, bu durum da dik duruşu destekler, bu da eskiden vücudun ön yarısının ileriye doğru eğikliğine karşı ağırlık oluşturan kuyruğa artık ihtiyaç duyulmaması anlamına gelir. Dik yürüme için en iyi bacak ve ayak bileği yapısı konusunda birkaç varsayım daha yapıldı mı, işte karşınızda kaba etlerinden tırnaklarına dek insana rahatsız edici bir benzerliğe sahip, yeşil renkli, pullu bir yaratık; pek ince düşünmeye gerek duyulmadan yapılmış isimlendirmeye bir “dinozoroid” veya “insansı dinazor”.

Russell’in, “Bir dinazor evrimleşerek nasıl bir humanoid haline gelir?” gibi bir soruyu ortaya atmaya kalkışmadığını hatırlatalım. Onun amacı, beyin büyüklüğünde artış yönlü bir seçilimin yol açacağı diğer anatomik değişimleri düşünmektir. Projesinin nihai sonu-



Dinozoroid

cu bizlere çarpıcı biçimde benzeyen bir yaratığın, bir sürüngen humanoidin tahayyül edilmesini sağladı.

Russell'in evrimsel tasavvuru her ne kadar yıllar önce hayal edilmiş olsa da, Conway Morris'in insangillere benzer yaşam formlarının evriminin kaçınılmazlığı yönündeki fikirleriyle tutarlıdır. O kadar tutarlıdır ki, Conway Morris'in bir BBC belgeselinde yanında bir dinozoroid gazete okurken kahvesini yudumladığı görüntüleri bulunmaktadır.

Dolayısıyla Pixar, olay örgüsünde çeşitli seçeneklere başvurma şansına sahipti. Kretase asteroit gerçekten de Dünya'yı ıskalamış olsaydı, Conway Morris ve onunla aynı düşüncüyü paylaşanlara göre insanlar ya da bize benzer bir şeyler öyle ya da böyle evrimleşecekti. Belirsiz kalan tek soru, gecikmiş memeli evrimsel çeşitlenmesinin sonucunda kılıklı mı, yoksa dinozorlarda beyin büyüklüğünün artışı üzerindeki doğal seçim sonucunda pullu mu olacaklarıydı.

Olmayan bir şeyi varmış gibi düşünmek, tarih farklı akmış olsaydı ne yaşanacağını merak etmek eğlencelidir. Gelgelelim humanoid evriminin kaçınılmazlığı hakkındaki sorular dünya tarihi üzerine yapılan spekülasyonların da ötesindedir.

Artık evrende bildiğimiz anlamda yaşama sahip olma potansiyeli taşıyan çok sayıda gezegen olduğunu biliyoruz. Bu "yaşama elverişli ötegezegenler" ne aşırı sıcak ne de aşırı soğuktur ve yüzeylerinde su bulunmaktadır. Son dönemde yapılan bir araştırma sadece Samanyolu galaksisinde bu tür milyarlarca gezegenin var olabileceğini göstermektedir. En yakındaki sadece dört ışık yılı uzağımızda olabilir.

Bu gezegenlerin bazılarında yaşamın evrimleştiğini varsayalım. Nasıl görünürdü? Oradaki yaşam formları buradakine benzer miydi? Peki, zeki yaşam formları bizim kadar akıllı mı, yoksa daha mı akıllıdır? Var olduklarını kabul edelim, insanlara ne kadar benzerler?

Filmlerde gördüklerimize inanırsak çok benzerler, meşhur kimi biliminsanları da aynı fikirdeler. “Olur da uzaydaki canlı varlıklarla iletişime geçmeyi başarırırsak,” diye yazmaktadır merhum biyolog Robert Bieri, “karşımızdakiler küre, piramit, küp veya krep olmayacak. Büyük olasılıkla bize çok benzeyen bir görünümleri olacak.” Gelişmekte olan bir disiplinlerarası alan olan astrobiyolojinin* duyeni David Grinspoon daha da ileri gidiyor: “Onlar [uzaylılar] niha-yet Beyaz Saray’ın çimlerine indiklerinde, geminin merdivenlerinden yürüyerek veya kayarak inen şey bize çok tanıdık gelebilir.” Conway Morris, beklendiği üzere yine hemfikir: “Evrimin kısıtlamaları ve yakınsamanın her yerde görülmesi bizlere benzeyen bir şeyin ortaya çıkmasını neredeyse kaçınılmaz kılıyor.” Bu biliminsanlarının dünya dışına yönelik tahminlerinin bilimsel temelini sorgulamadan önce, gelin yeniden gezegenimiz Dünya’ya dönelim.

Kesin bir yer belirtmek gerekirse de, Afrika’nın güneydoğusuna. Zambiya ormanlarına karanlık çabuk çöker. Ben bir herpetologum (kertenkele adamı), dolayısıyla gece aslanlarının izini sürmek benim işim değil, Zambiya’ya da Güney Afrika’daki saha çalışması öncesinde kısa bir dinlenme izni olsun diye geldim. Aslanlar taşıtların varlığına hayret verici biçimde alışabiliyor ve av peşinde dolanırken takip etmenize izin veriyorlar, biz de tam bunu yapıyoruz.

Sağ tarafımızda bir hareket var, fazla büyük olmayan bir şey bir aslan sürüsüyle karşılaşmak üzere olduğundan habersiz şekilde yaklaşıyor. Sürünerek daha yakına geldiğinde ne olduğu anlaşılıyor: Bir tepeli oklu kirpi, baştan kuyruğa dek sivri dikenlerle kaplı, otuz kilo kadar, boyu yarım metreye yakın kemirgen. Dikenleri tam da bu tür durumlar için savunma amaçlı, ama her zaman etkili de değil.

* Evet, Dünya’da yaşamın kökenlerinin ve evrende başka yerlerde yaşamın araştırılmasına yönelik gerçek bir bilimsel disiplin bu.

Zira aslanların bir karşı stratejisi var: Hafif bir pençe darbesiyle oklu kirpiyi ters çevirip bedeninin alt kısmını görünür kılarak savunmasız karnını açığa çıkarmak. Gerisini kafanızda canlandırabilirsiniz.

Seinfeld'in bir bölümünde Jerry antiloplar hakkında bir doğa belgeseli izler, aslanlar saldırınca Jerry bağırır: “Koş antilop, koş! Hızını kullan. Kaç!” Ertesi gece bu sefer aslanlara odaklanan bir doğa filmi izler, aslanlar antilobun peşindedir ve Jerry bağırır: “Yakala antilobu, ye şunu, kafasını ısır! Tuzak kur, tuzak; hızını kullanmasına izin verme!” O gece biz aslanları takip ediyor olmamıza karşın, ben oklu kirpiyi tutuyorum. Rahat bırakın onu, gidin kendi cüssenizde birilerine çatın!

Öyle yapmıyorlar, elbette. Dişi aslanlardan biri oklu kirpinin üzerine yürüyor. Oklu kirpi bir kedinin sırtını çıkarıp tüylerini kabartmasına benzer şekilde aslana sırtını dönüyor, dikenlerini kaldırıyor, ardından kuyruk dikenlerini kılak-ta-kılak sesi çıkararak birbirine çarpmaya başlıyor.

Çok ilginç, işe yarıyor. Dişi aslan vazgeçiyor ve yeniden sürüye katılıyor, oklu kirpi de geceye karışıyor.

O akşamın sonunda oklu kirpilerle geçmiş karşılaşmalarımı düşünerek yaşanan olayları kafamda yeniden canlandırdım. Bu dikenli domuzcuklara Afrika ve Asya'nın yanı sıra Yeni Dünya'nın birçok bölgesinde rastlanıyor. Kuzey Amerika oklu kirpisini ben doğada sadece bir kez gördüm; o da o kadar yer varken bir ağacın üzerinde, ben kayak teleferiğiyle onun on metre üzerinden geçip giderken oldu. Birkaç kere de Kosta Rika'daki yağmur ormanlarında, yine daha çok ağaçların üzerinde sarılır kuyruklu oklu kirpi gördüm.

Bu türler arasında farklılıklar var elbette. Bunlardan en barizi de büyüklükleri: Tepeli oklu kirpi Kuzey Amerika'daki benzerinden iki kat, Panama'daki ufacık Rothschild oklu kirpisinden 30 kat daha ağırdır. Oklarının uzunlukları da farklı; tepelide 35 santim, Kuzey Amerika'da 10 santim, Rothschild'daysa daha da kısadır.* Bazı

* Bu rakamlar en çok zarar veren katılaştırmış, sert oklar için. Daha ince, daha esnek oklarsa genellikle çok daha uzun.



İki oklu kirkpi: Kuzey Amerika oklu kirkisi (solda) ve Afrika tepeli oklu kirkisi (sağda)

türlerin burnu kırmızıdır, bazılarının kahverengi; sarılır kuyruklu oklu kirkpilerin kuyruğunda ok yoktur. Yine de benzerlikler farkların yanında çok ağır basar: Benzerlik yalnızca oklara sahip olmakla sınırlı değildir; kısa bacaklar, küçük gözler ve dik saç modeliyle hepsi benzer bodur bir vücut yapısına sahiptir. Benzerlikler ortada olduğundan, oklu kirkpilerin hepsinin aynı eski dikenli bir oklu kirkpi atadan gelen büyük mutlu bir evrim ailesi olduğu yönündeki varsayımı hiç sorgulamadım.

Sonradan düşüncemin tamamen yanlış olduğunu öğrenince yaşadığım şaşkınlığı düşünün. Her ikisi de dikenli olmasına karşın Yeni Dünya ve Eski Dünya oklu kirkpileri aynı evrimsel kökenden gelmemektedir. Sivri uçlu yakışıklılıklarını ortak, kılılı bir atadan gelmeye borçlu olmayan bu iki soy, oklarını oksuz kemirgen türlerden bağımsız biçimde evrimleşerek, birbirinden farklı şekilde almıştır. Yakınsak evrimin ürünüdürler.

Tarihte yakınsamanın aldattığı ilk kişi ben değilim. Benden be-teri de var. Charles Darwin, Galápagos adalarına yaptığı ünlü gezide bizzat keklenmişti. Gezisi sırasında şu an onun adını taşıyan küçük kuşları, Darwin ispinozlarını keşfetti. Gelgelelim Darwin bu kuş türlerinin hepsinin birbiriyle yakın akraba olduğunu, geçmişte bu adalara yerleşmiş tek bir ispinoz atadan geldiklerini anlamadı. Aksi-

ne, türün ülkesinden aşına olduğu dört grupta toplandığını düşün-
dü: ispinozlar, kocabaşlar, çitkuşları ve karatavuklar.

Darwin, yaptığı hatayı ancak Londra'ya dönüp numunelerini
ünlü ornitolog John Gould'a teslim ettiğinde fark etti. Söz konusu
türler benzer tipteki farklı kümelerin örnekleri değil, Galápagos'a
özgü tek bir kuş grubunun üyeleri idi; yakınsak evrim Darwin'i al-
datmıştı. Açığa çıkan bu durum Darwin'in yolculuğundaki diğer
bulgularla uyuyor, hepsi tek bir sonuca, türlerin "transmutasyon
geçirebilmesi"ne işaret ediyordu. Çoksatar kitabı *Voyage of the Beagle*'ı
[Beagle Seyahatı] gözden geçirip düzelttiği 1845 yılına geldiğimizde,
ispinoz hikâyesi kendisinin on yıl sonra ulaşacağı sonuçları sezdiri-
yordu: "Küçük, yakından akraba bir kuş grubundaki yapı çeşitliliği
ve geçişliliği görüldüğünde, bu takımadalarda yaşanan başlangıçtaki
kuş kıtlığı yüzünden bir türün alınıp değişik amaçlara uyarlanmış
olduğunu tasavvur etmek hakikaten mümkündür."

Hikâyede saklı olan daha büyük anlam da (ispinozların Galápa-
gos adalarında başka yerlerdeki farklı habitatları kullanan türlere çok
benzer şekilde çeşitlenmiş oldukları) Darwin'in gözünden kaçma-
mıştı. *Voyage*'da yakınsak evrimi ima etmese de, bu fikri on dört yıl
sonra *Türlerin Kökeni*'nde açıkça ifade etti: "Nasıl iki insan kimi za-
man tesadüfen tamamen aynı keşfi yaparsa, benzer şekilde doğal se-
çilim de... bazen yapılarında aynı atadan miras alınmış ortak pek az
şey bulunan iki organik varlıktaki iki parçayı hemen hemen aynı
tarzda değişikliğe uğratmıştır."

İlk doğabilimciler içerisinde faka basan tek kişi Darwin değildi.
Kaptan Cook 1770 yılında ilk Güney Pasifik gezisinde Botany Kör-
fezi'ne demir attığında, araştırma gezisindeki doğabilimci Joseph
Banks, Avustralya kuşlarından aldığı örnekleri ve çizimleri İngilte-
re'ye yolladı. Ve bu, sonraki 50 yılda sömürgeciler ve kâşifler tarafın-
dan anavatana yollanan ve çok sayıda yeni türün varlığını ortaya çı-
karan bir numune akınının başlangıcı oldu.

Karşılaşılan bu yeni tür bolluğundan anlam çıkarılmasında en
büyük rolü John Gould oynadı. Gould, Avustralya kuşlarının kap-
samlı incelemesini yapmaya Darwin'e ispinozlar konusunda danış-

manlık yaptığı dönemde karar verdi. İşin hakkıyla yapılması için Avustralya'ya gitmesi gerektiğini fark edince hemen taşı tarağı toplayıp "Aşağı Taraf"* taşındı, orada üç yıl kaldı ve sonunda resim ve tasvirlerle dolu yedi ciltlik dev bir eser yarattı.

Ne var ki Gould'un Darwin'in ispinozları hakkında söyledikleri ne kadar doğruysa, Avustralya'daki kuş türlerinin evrimsel akrabalıkları konusunda söyledikleri o kadar yanlış çıktı. Avustralyalı kuşların birçoğu, örneğin çitkuşları, ötleğenler, çığırtkanlar, sinekçiller, narbüllülleri, sıvacı kuşları ve benzerleri görünüm ve tabiat açısından Avrupa'daki türlere çok benzer. Bu nedenle Gould, yeni keşfettiği Avustralya kuşlarını aşına olduğu Kuzey yarıküre familyalarına dahil etti.

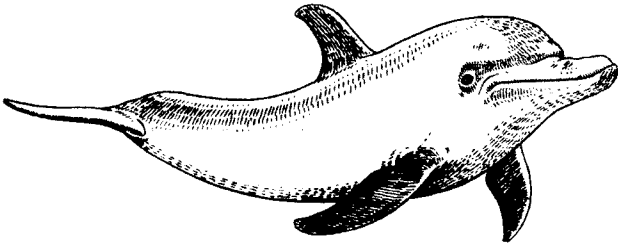
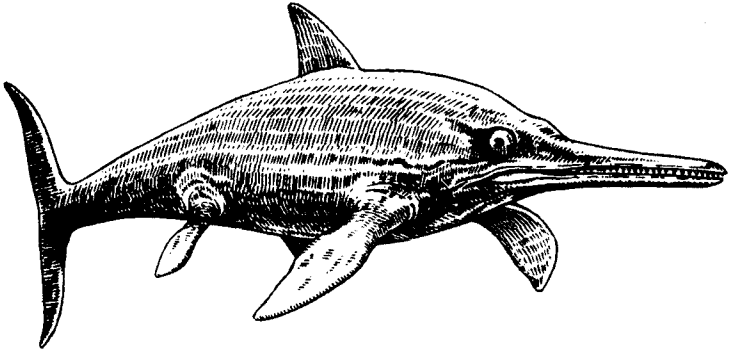
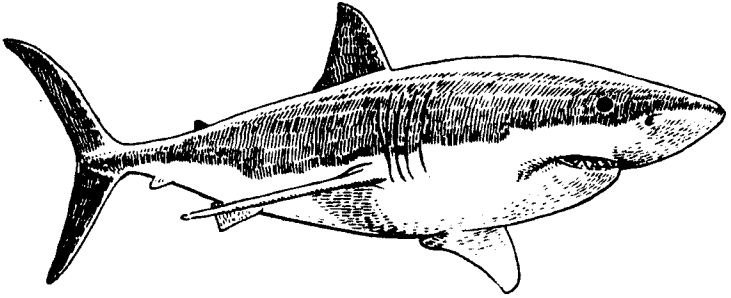
Gould'un hatası mazur görülebilir. Sonraki bir buçuk asır boyunca çok bilgili birçok başka ornitolog da aynı şekilde aldanarak bu kuşlara sömürge ileri karakolu muamelesi yaptı ve varlıklarının birçok kuş türünün Avustralya'yı dalgalar halinde istila etmesinin sonucu olduğunu düşündü.

Ne var ki 1980'lerden itibaren yapılan genetik araştırmalar aslında türlerin çoğunun kendi doğal ortamında evrimleşmiş büyük bir Avustralya kuş yayılımının parçası olduğunu gösterdi. Diğer deyişle bu Avustralya kuşları birbirleriyle yakın akrabaydı; değişik Kuzey yarıküre familyalarına ait değil, fakat onlara yakınsaktılar.**

Beklenmedik yakınsak evrim örneklerinin keşfedilmesine bugün de rastlıyoruz. Şu an çok farklı türlere ilişkin elde edilebilen genetik veri akışı sayesinde evrimsel ilişkiler hakkındaki bilgilerimiz şaşırtıcı bir hızla artıyor ve evrimsel yaşam ağacı hakkında çok daha sağlam bir kavrayışa ulaşıyoruz. Bunun sonucunda anatomik benzerliklere aldandığımızı gösteren yepyeni örneklerle karşılaşılıyor ve

* "Down Under": İngilizcede halk ağzında Avustralya ve Yeni Zelanda için kullanılan ve "aşağı taraf" anlamına gelen bu ifade söz konusu iki ülkenin Avrupa merkezli haritalara göre Güney yarıkürede alt tarafta kalmasından yola çıkarak üretilmiştir. (Ç.N.)

** Avustralya'ya yönelik herhangi bir kuş göçü dalgası yaşanmadığı gibi, eldeki veriler bazı familyaların, özellikle de ötücü kuşların Avustralya'da ortaya çıktığını ve buradan dünyaya yayıldığını gösteriyor.



Köpekbalığı (üstte), ihtiyozor (ortada), yunus (altta)

bunların benzer bir ortak atadan gelişten değil, bağımsız türeyişten kaynaklandığını anlıyoruz.

Her tarafta karşımıza çıkan bu yakınsak evrimi nasıl açıklayabiliriz? Darwin'in ileri sürdüğü sağduyulu bir açıklama var. Türler benzer koşullarda yaşar ve hayatta kalmalarına ve çoğalmalarına yönelik benzer tehditlerle karşılaşılırsa, bu durumda doğal seçim benzer kalıtsal özelliklerin evrimine yol açar: Büyük tohumların veya çekirdeklerin varlığı kuşlar için bir kaynaktır, kırılıp açılmaları büyük gagaları gerektirir ve büyük gagalı kuşlar çok sayıda tohumun olduğu yerlerde evrimleşir; büyük kedilerin tehdidi altındaki büyük kemirgenler defalarca dikenleriyle savunma geliştirir ve bu savunma Afrika'daki aslanlar karşısında ne kadar etkiliyse, Amerika kıtasındaki pumalara karşı da o kadar etkilidir.

Son yirmi yılda kimi biyologlar bu görüşü evrene uyarladılar. Burada Dünya'da, yerkürenin her tarafında türler aynı zorluklarla karşılaşılıyor ve zamanla evrimleşerek aynı sonuçlara ulaşıyor. Bu biliminsanları, burada gerçekleşen fiziki zorlukların aynılarının benzer gezegenlerdeki yaşam formlarının da karşısına çıkacağını ve aynı biyolojik çözümlere yol açacağını ileri sürüyorlar. Rutgers Üniversitesi'nden paleontolog George McGhee hızlı yüzen bir su organizmasının oluşmasının tek yolu olduğunu ve yunusların, köpekbalıklarının, orkinosların ve ihtiyozorların (dinozorlar çağında var olmuş, soyu tükenmiş bir deniz sürüngeni) hepsinin görünüşlerinin bu yüzden benzer olduğunu söylemektedir.

Bir adım daha atarak şöyle demektedir: "Eğer Jüpiter'in uydusu Europa'nın okyanuslarında, dünyalarını kaplayan kalıcı buzun altında hızla yüzen büyük organizmalar varsa, büyük bir özgüvenle bunların bir liman yunusuna, bir ihtiyozora, bir kılıçbalığına veya bir köpekbalığına çok benzer biçimde, akıma uygun, iç biçimli bedenlere sahip olacakları öngörüsünde bulunabilirim." Conway Morris de aynı fikirdedir ve şöyle demektedir: "Dünya'ya benzer her gezegende bırakın humanoidleri, yaşam bile olmayabilir elbette. Fakat karmaşık bir bitki olsun istiyorsanız, bunun çiçeğe son derece benzer bir görünümü olacaktır. Sinek olsun diyorsanız, bunun oluşmasının yalnızca birkaç yolu var. Bir köpekbalığı gibi yüzün istiyorsanız, bu-

nun olmasının sadece birkaç yolu var. Kuşlar ve memeliler gibi sıcakkanlı olsun istiyorsanız, bunu başarmanın da sadece birkaç yolu var.”

Nitekim herkes bu görüşü paylaşmıyor. Neden böyle olduğunu anlamak için yeniden filmlere dönelim.

1946 yapımı klasik film *It's a Wonderful Life*'ın [*Şabane Hayat*] en can alıcı sahnesinde (Jimmy Stewart'ın canlandığı) George Bailey hayatının bir fiyasko olduğunu düşünür ve umutsuzlukla hiç doğmamış olmayı diler. Ardından George'un koruyucu meleği Clarence Odbody George'a kendisi hiç var olmamış olsaydı, Bedford Falls'taki hayatın ne kadar köklü şekilde farklı (ve genel itibarıyla kötü) olacağını gösterir: erkek kardeşi ölmüş, arkadaşları ve ailesi mutsuz, evsiz ve bakımevine konulmuş, askerlerle dolu bir gemi batmış, kasabası adaletsizliğin pençesindedir. George hayatının değer taşıdığının bilincine varır ve intihar planından vazgeçer, ardından da yaptığı iyi işleri takdir eden kasabalıların onu kurtarmaya gelmesiyle günahlarından arınır.

Amerikan Film Enstitüsü 2006 yılında *It's a Wonderful Life*'ı tüm zamanların en ilham verici filmi ilan etti. Ünlü paleontolog ve evrim biyoloğu Stephen Jay Gould da filminden ilham alanlardan biriydi, ama pek çok kişiden farklı bir şekilde. Ona göre film yaşamın evrimsel tarihi hakkında eğitici nitelikte bir kıssaydı, öyle ki 1989 tarihli kitabı *Wonderful Life*'ın adını filme saygısını sunmak için seçmişti. Gould, kitabında evrimde tarihsel olumsuzluğun [zorunsuzluğun] tayin edici önemini vurguluyordu. Olumsuzlukla birbirini izleyen belirli olayların tarihin akışını kritik şekilde belirlediğini kastediyordu: A B'ye, B C'ye, C D'ye yol açar vs. Tarihsel olarak olumsal bir dünyada A'yı değiştirirseniz, D'yi elde edemezsiniz. George Bailey hiç doğmamış olursa, New Bedford'daki olaylar farklı şekilde gelişecektir.

Gould, yaşamın George Bailey olaylarıyla dolu olduğunu ileri sürer; bazıları büyük, bazıları küçük olsa da, her biri yaşamı farklı bir yöne doğru ilerletebilir. Yıldırım çarpmaları, yıkılan ağaçlar, asteroit çarpmaları, hatta bir annenin kızına hangi genetik değişikliği aktaracağının yazı-tura yöntemiyle belirlenmesi, bunların her biri son-

suza dek dallanıp budaklanabilecek bir farklılık yaratabilir. George Bailey'siz New Bedford gibi, diye yazar Gould, “görünüş itibarıyla önemsiz bir zerre ya da noktacığın değişimiyle [yaşamın tarihinin] başa sarılarak yeniden oynatılması, tamamen farklı... bir sonuca yol açacaktır.”

Bu yaklaşım çevremizde gördüğümüz yaşam çeşitliliğinin anlaşılması açısından önemli çıkarımlara olanak sağlar. Evrimde tayin edici olan olumsuzluksa, o halde öngörülebilirliğe, Conway Morris tarzı belirlenimciliğe yer yoktur. Nihai sonuç olumsuzluktan o derece etkilenir ki, en sonunda ne olacağını başlangıçta öngörebilmek mümkün değildir. Yeniden başlarsan da tamamen farklı bir sonuç ortaya çıkabilir. Gould can alıcı vuruşu şu sonuca ulaşarak yapar: “[Yaşamın] kasedi[ni] başa alıp art arda milyon kere ilerletin... *Homo sapiens*'e benzeyen bir şeyin tekrar evrimleşeceğini pek sanmıyorum.”

Gould'un ikna edici ve zarif biçimde oluşturduğu savı hepimizi etkiliyor. Hangimiz dizimizi döverek pişmanlıkla, “X'i yapmasaydım, Y de yaşanmazdı,” dememiştir? Buradaki X küçük bir şey (bir ismi yanlış telaffuz etmek) veya büyük bir şey (fazla içmek) iken, Y hiç gerçekleşmemiş olmasını dilediğiniz şeydir.

Her ne kadar akla yatan bir sav olsa da, kanıtı nedir? Yaşamın sadece bir geçmişi vardır. Evrimin tekrarlanabilirliğini nasıl sınayabiliriz? Gould bu tür sorular karşısında bir düşünce deneyi önerdi. Yaşam kasedini başa sarın, aynı başlangıç koşullarına gidin ve aynı sonuç ortaya çıkacak mı bakın, önerisinde bulundu. Almanların ifadesiyle bu tür “*Gedankenexperiment*”ler, bilim ve felsefede köklü bir geçmişe sahiptir; çok sayıda kişi de bu tür deneyleri yaparak verimli sonuçlara ulaşmıştır.

Conway Morris ve arkadaşları Gould'un temel önermesine elbette karşı çıkıyorlar: Daha önceki bir olaydaki değişikliğin, olayların akışının ardından ulaşılabilecek sonucu esasen değiştirmesi gerekmiyor. Yakınsak evrimin her yerde görülmesinin olumsuzluğun etkisizliğini gösterdiğini, çoğu durumda olayların spesifik tarihsel diziliminden bağımsız olarak aşağı yukarı aynı sonucun doğacağını ileri sürüyorlar.

Gould, *Wonderful Life*'ı yazdığında yakınsama ve evrimsel belirlenimcilik konusu henüz tartışılmıyordu. Fakat Conway Morris'le yaptığı, ondan dokuz yıl sonra yayımlanan bir tartışmada Gould'un verdiği yanıt basitti; Gould, yakınsamanın önemi için "fazla büyütülmüş" dedi ve bir numaralı delil olarak Avustralya'yı gösterdi.

Kaptan Cook'un Okyanusya'ya yaptığı keşif gezisine yeniden dönelim. Karşılaştıkları ilk hayvanlardan biri kanguruydu. Kangurular bugün Avustralya'daki başlıca yerli otçullardır. İşlev açısından dünyanın geri kalanında geyik, bizon ve çok sayıda başka otobur hayvanın oynadığı rolü oynarlar. Buna karşın Gould'un (Stephen Jay'in, John'un değil) dikkat çektiği üzere kangurular bu diğer otobur türlere yakınsamamışlardır; kanguru ile geyiğin farklı türde hayvanlar olduğunu size çocuklar bile söyleyebilir.

Bir de koala var; şu ağaçlara sarılmayı seven, ayıya benzeyen, hayatta pek acelesi olmayan, besin kaynağı olan (ve kürkünün mentollü kokusunu sağlayan) okalıptüs yapraklarının zehrini atmak için günde yirmi saat uyuyan sevimli şey. Şu an dünyada başka hiçbir yerde ve fosil kayıtlarına göre geçmişte de* bir benzeri yok.

Fakat konu evrimsel mahsusiyetse, kral bir tane. Topuklarda zehirli mahmuzlar, şatafatlı kürk, burnundaki elektroreseptörlerle avının kaslarındaki elektrik boşalımını saptama yeteneği. Kuvvetli yassı kuyruk, perdeli ayaklar, yumurta bırakma. Ördeğe benzer gaga. Dünyanın en müthiş hayvanı ornitorenk, hayvanlar âleminde toplanmış parçalardan oluşan bir modifiye araçtan farksızdır. O kadar karmaşık bir hayvandır ki, 18. yüzyılın sonunda ilk numuneleri Sidney'den alınıp Hint Okyanusu üzerinden İngiltere'ye ulaştığında, biliminsanları dalavereci Çinli tacirlerin hile yaptığını düşünüp nafile yere saatlerce orasına burasına bakarak dikişleri bulmaya uğraşmıştır.

* Fakat ilginçtir, koalaların parmak uçlarında bizdekilere o kadar çok benzeyen kabartı ve kıvrımlar var ki uzmanlar koalalar ile insanların parmak izlerini birbirinden ayırt etmekte zorlanıyor.



Ornitorenk

Örnekler hep Aşağı Tараftaki ülkelerden geldi fakat evrimsel mahsusiyetler pek çok yerde gerçekleşmektedir. Zürafalar, filler, penguenler, bukalemunlar; bunların hepsi şimdi veya geçmişte evrimsel tıpkıbasım yaşamaksızın özgün ekolojik nişlerine zarifçe uyum sağlamış türlerdir. (Bir “evrimsel mahsusiyet”in muhakkak tek bir tür olması gerekmediğini belirtelim. Örneğin yaşayan üç fil türü vardır, geçmişte bundan daha fazlası da olmuştur, mastodonlar ve mamutlar gibi. Fakat fil türlerinin hepsinin soyu tek bir ata file dayanmaktadır. Bu nedenle fillerin evrimsel açıdan biricik olduğu söylenebilir; hortumlu yaşam tarzı sadece bir kez evrimleşmiştir.)

Yakınsak evrim bilimsel bir olgudur, o yüzden onun her yerde görülüp görülmediği sorusunu bilimin yanıtlayabilmesi gerektiğini düşünmek doğaldır. Ne var ki geçmişte olanları anlayabilmek de kolay değildir. İlkokulda bilimsel yöntem bize şöyle öğretilir: Gözlem-

ler bir hipotezin oluşumunu sağlar, ardından bu hipotez laboratuvar-da kesin sonuca ulaştıran bir deneyle test edilir. Bu formülasyon, çok basite indirgenmiş bir biçimde mekanik bilimlerin, yani hücre veya atom gibi şeylerin nasıl çalıştığının anlaşılmasıyla ilgilenen bilimlerin işleyişini yansıtır. Belirli bir genin belirli bir kalıtsal özelliğin ortaya çıkışı açısından önemli olduğunu mu düşündünüz? Moleküler biyoloji sihribazlığı sayesinde geni etkisiz kılıp kalıtsal özelliğin gelişip gelişmediğini görebilirsiniz.

Fakat evrim biyolojisi bir tarihsel bilimdir. Biz evrim biyologları da gökbilimciler ve yerbilimciler gibi geçmişte ne olduğunu anlamaya çalışırız. Bizler de tarihçiler gibi zaman okunun asimetrisinin eziyetini çekeriz; ne yaşandığını görmek için zamanda geriye gide-meyiz. Dahası, evrim bilindiği üzere lanet bir yavaşlıkta gerçekleşir, yaşanırken izlemeyi neredeyse olanaksız kılar.

Stephen Jay Gould (bundan böyle Gould deyince o) tam da bizim yapmak isteyeceğimiz deneyi tasarladı: Evrimi tekrar tekrar geriye sararak ilerletin ve sonucun deney koşullarındaki çeşitli değişimlere ne kadar duyarlı olduğuna bakın. Bu deneylere düşünce deneyi dememizin bir nedeni var elbette, zira gerçek dünyada yapılamıyorlar. Ya da biz öyle düşünüyorduk.

Sonuçta Darwin ve onu takip eden yüzlerce biyoloğun çok önemli bir yönden hatalı olduğu açığa çıktı: Evrim her zaman salyangoz misali yavaş ilerlemiyor. Doğal seçim güçlü olduğunda (şartlar değiştiğinde olduğu gibi), neredeyse ışık hızında yaşanabiliyor. (Evrimin kaplumbağadan çok kır tavşanına benzediğini nasıl fark ettiğimizi 4. Bölüm'de aktaracağım.)

Hızlı evrim gerçeği, bizim türlerin nasıl tepki gösterdiğini veya gösterip göstermediğini gözlemlemekle sınırlı kalmanın ötesine geçmemize izin vermektedir. Yaşanan Darwin'i şaşkına çevirecek düzeydeki gelişim sayesinde araştırmacılar bugün koşulları istatistiksel olarak tasarlanmış, kontrollü bir biçimde değiştirerek kendi evrim deneylerini oluşturmaktadır. Evrimsel mekanizmaları, tıpkı laboratuvar biyologları gibi, artık doğada, gerçek popülasyonlarda test edebiliyoruz. Araştırmacılar açık renkli ve koyu renkli fareleri Nebraska

çöllerinde iki dönüm büyüklüğündeki kafeslere koyuyor, Trinidad'da gupileri [lepistesler] avcılarla dolu akar havuzlardan dolu olmayan havuzlara taşıyor, çomak böceklerini (peygamberdevesinin tahmin edebileceğiniz üzere çomağa benzer görünümlü, uzun, yeşil veya kahverengi akrabaları) bir habitattan diğerine naklediyorlar.

Bu deneylerden bazılarını Bahamalar'daki küçük kertenkelelerin niçin uzun veya kısa bacaklar geliştirdikleri hakkındaki hipotezi sınamak amacıyla ben de yaptım. Ne düşündüğünüzü biliyorum, ama meslektaşlarım ve ben bilim için fedakârlıktan kaçınacak değiliz. Pis bir iş; okyanusla çevrili, güzel, püfür püfür adalarda takılmayı gerektiriyor ama birinin de bu işi yapması gerek ve bu kişiler biziz. 6. Bölüm'de ayrıntıları aktaracağım; şimdilik eğer her yıl Bahamalar'a gider ve taşınabilir bir röntgen cihazıyla binlerce kertenkele bacağı ölçerseniz, kertenkele popülasyonlarının hızla evrim geçirdiğini sizin de görebileceğinizi söylemekle yetineyim. Dahası, kertenkelelerin yaşadığı şartları deney amaçlı değiştirir, habitatlarını değiştirmelerine neden olursanız, bu adalardaki popülasyonlar hızla beklenmedik yönlerde evrimleşecektir.

Doğadaki evrim deneyleri henüz gelişiminin ilk aşamalarında olsa da, laboratuvar bilimcileri bu tür çalışmaları on yıllardır yapıyor. Bu çalışmalarda doğanın gerçekliğinin yerini, evrimleşen popülasyonların deneyimlediği koşullar üzerinde büyük bir kontrol sağlayan laboratuvarın hiper kesinliği alıyor. Üstelik laboratuvar organizmalarının, özellikle de mikropların ömrünün daha kısa olması, bu çalışmaların daha uzun süreli olması, daha çok nesli kapsaması ve evrimin gerçekleşmesi için daha fazla olanak yaratılması anlamına geliyor.

Evrim biyolojisini hep polisielere benzetmişimdir. Bir suç işlenmiştir (ya da bu örnekte bir şey evrimleşmiştir) ve biz ne yaşandığını bilmek isteriz. Zaman makinemiz olsaydı geriye gidip bizzat izleyebilirdik. Kasedi geri almak mümkün değilse, o zaman her şeyi eskiden olduğu haline getirir ve yeniden başlatırdık.

Ne var ki bunların hiçbirisi mümkün değil (9. Bölüm'de ele alacağımız önemli bir istisna hariç). Bunların yerine elimizde birkaç ipu-

cuyla kalakalmışız, nedenleri elimizden geldiği kadarıyla Sherlock Holmes misali kestirmek zorundayız. Evrim tarihindeki kalıpları, bugün yaşayan türleri ve geçmişte var olmuş olanların fosillerini görebiliyoruz; bunlar evrimin tekrar tekrar aynı sonucu üretme derecesini değerlendirmemize olanak sağlıyor. Ayrıca günümüzde işleyen evrim süreçleri üzerine de çalışabiliyoruz. Deneyler gerçekleştirerek evrimin ne kadar öngörülebilir ve tekrarlanabilir olduğunu görebiliyoruz: Aynı noktadan başlarsan, her zaman aynı sonuca mı varırsın? Peki, farklı noktalardan başlar ama koşulları aynı şekilde seçersen, aynı sonuca yakınsar mısın? Dolayısıyla kasedi başa sarıp oynatamasak da, evrimsel kalıp ve süreçler üzerine çalışabiliriz. Bilim insanları bu ikisini bir araya getirerek evrimin tekrarlanabilirliğini anlama yolunda ilerliyorlar.

Bu kitap, türlerin benzer çevre şartları karşısında benzer uyarlanmalar geliştirmesi sonucunda yaşamın kendini tekrarlama ölçüsünü araştırıyor. Daha havalı ifade edersek, bu kitap belirlenimcilik [determinizm] hakkında; doğal seçilimin kaçınılmaz biçimde aynı evrimsel sonuçları üretip üretmediğini veya bir soyun yaşadığı belirli olayların (tarihin olumsuzlukları) nihai sonucu etkileyip etkilemediğini araştırıyor.

Bu kitap aynı zamanda bilim insanlarının bu konuları nasıl ele aldığı, etrafımızdaki yaşamın evrimsel kökenlerinin anlaşılması için DNA dizilemeden dünyanın bir ucundaki saha çalışmasına dek, kullanılan araçların nasıl sentezlendiği hakkında. Ayrıca bilimin kendisinin nasıl evrimleştiğini, yeni fikirlerin nasıl doğduğunu ve bu fikirlerin test edilmesine dönük araştırma programlarının nasıl geliştiğini konu ediniyor. Özel olarak da, evrim araştırmalarında Darwin döneminden bir asır sonra dahi kulağa inanılmaz gelen deneysel yöntemlerin kullanımına odaklanacağım.

Bu kitap, bilim insanlarıyla onların el değmemiş laboratuvarlarında ve tozlu topraklı doğada yaptığı araştırmalarla dolu olacak ama konu sadece akademik uğraş sınırları içerisinde ele alınmayacak. Evrim bugün her yerde yaşanmaktadır ve kapalı devre tartışmalardan haberdar olmakla yetinilemeyecek sonuçlara sahiptir. Bunlardan en dikkate değer, insanlar ile beraber yaşadığımız diğer canlılar arasın-

daki doğrudan evrimsel çarpışmalardır. Bir taraftan doğa da kendisini kontrol etme çabalarımıza karşı mücadele etmektedir. Bizler, kendimize ayırmak istediğimiz kaynakları kullanma cüreti gösteren bazı türleri zararlı olarak değerlendiriyoruz. Tarlalarımızı basan otlar, tahıllarımızı yiyen sıçanlar, ekinleri mahveden böcekler. Onları denetim altına almak için kimyasal (hatta artan ölçüde, genetik) bir silah cephaneliğini devreye soksak da, onlar hızla bunları alt edecek evrimsel yollar geliştiriyorlar.

Yedi milyarız ve artıyoruz, bazen de istismar edilen kaynak biz oluyoruz. Sıtma, HIV, hanta virüsü, grip – mikroorganizmalar açısından bedenlerimiz herhangi bir ekinden farksız ve bizden faydalanmak için onlar da evrimleşiyor. Buna karşılık, biz de onlarla ekin zararlısı haşareler karşısında yaptığımız gibi yine kimyasallarla mücadele ediyoruz, onlar da hızla direnç geliştiriyorlar.

İşte, burası olumsuzluk ile belirlenimcilik arasındaki tartışmanın kişiselleştiği yer. Hızlı evrimin sadece ne zaman gerçekleştiğini değil, ayrıca hangi formu alacağını da tahmin edebilirsek, genel ilkelere ulaşabilmiş olacak, dolayısıyla etkili şekilde karşılık vermeye daha uygun konumlanmış olacağız. Gelgelelim hızlı evrimin her bir örneği belirli koşullara olumsalsa, bu durumda her yeni ot, zararlı veya hastalıkla karşılaştığımızda sıfırdan başlamamız, evrimsel hasmımızın nasıl uyum sağladığını ve bu konuda ne yapabileceğimizi düşünüp bulmamız gerekecek.

Olumsuzluk ile belirlenimcilik arasındaki tartışma bizi bir başka biçimde, bu kez daha az dünyevi bir tarzda etkiliyor. İnsanlar da en az diğer türler kadar yakınsak evrimden etkileniyor. Örneğin yetişkinlikte süt içebilme becerisi hayvanlar arasında bir tek bizde görülüyor; böyle bir şey son birkaç bin yıl öncesine dek elbette yoktu, fakat hayvanları evcilleştirdikten sonra dünya üzerindeki çeşitli kırsal toplumlar da yakınsak biçimde evrimleşti. İnsanlık tarihinde önem taşıyan deri rengi de, yüksek irtifada hayatta kalma ve birçok başka kalıtsal özellik gibi, yakınsak evrimin sonucu.

İnsan türünün kendisi elbette yakınsak değil. Bizler, evrimsel kopyası olmayan tekizlerdeniz. Evrimsel belirlenimcilik konusunda-

ki bilgilerimiz, nasıl veya neden evrimleştiğimiz hakkında bize bir şey söylüyor mu? Biz ortaya çıkmasaydık, başka bir soy bizim yerimizi alır mıydı ve bu tür sonunda bizim gibi olur muydu, hatta belki de bu kitabı başka biri (veya şey) pullu, üç parmaklı ellerine rağmen yazıyor olabilir miydi? Burada olmuyorsa bile, Jüpiter'in uydularında veya xh3-9'da olabilir mi?

Yine vakitsiz ötüyorum. Gelin yeniden Dünya'ya dönelim ve yakınsak evrimin kendi gezegenimizde ne kadar yaygın olduğuna bakalım.

BİRİNCİ KISIM:
DOĞADAKİ İKİZLER

EVİRİMSEL DÉJÀ VU

Okyanusta yüzen bir balınayı gözünüzün önüne getirin: akıma uygun gövde, yüzgeçler, sırtta küçük bir yüzgeç daha, yukarı aşağı doğru hareket eden kuyruk. Balığa benzer bu görünüşe aldanıp balınaların bir balık türü olduğunu düşünen Antik Yunanları hangimiz suçlayabiliriz? Bu görüşün bin yıllık egemenliğine bundan 250 yıl önce, bu dev deniz yaratıklarının canlı doğum yapmaları, meme bezleri ve diğer özellikleri nedeniyle memeli olduklarını tespit edip açıklayan Carl Linnaeus son verdi.* Yunanlar, yakınsak evrimin tongasına düşmüştü.

Linnaeus öncesi bilimcilerden bu yana epey bir yol kat ettik. Evrim konusunda kesinlikle onlardan çok daha fazla şey biliyoruz ve türlerin evrimsel ilişkileri ve anatomi alanında artan kavrayışımızla

* Bugün memelilerin hepsinin canlı yavru doğumu yapmadığını biliyoruz. Ornitorenkler ve dikenli karıncayiyengiller (ikisi beraber memeliler sınıfı içerisinde tek delikliler takımını oluştururlar) yumurtlamaktadırlar. Süt üretimi ve saç sahibi olmak (bazı memeliler, örneğin balınalar sadece bıyık niyetine birkaç kıl sahibi olsa da) bütün memelilerde görülen en bariz özelliklerdir.

sayısız yakınsak evrim örneği tespit etmiş durumdayız. Bununla beraber elimizde tamamlanmış bir liste olduğunu asla söyleyemeyiz. Moleküler biyolojiden yeni veriler elde ettikçe, tıpkı Yunanlar gibi yanılmış olduğumuzu ve ortak atadan kalıtım nedeniyle benzer olduğunu düşündüğümüz türlerin, aksine bağımsız biçimde aynı özelliklere yakınsamış olduğunu tekrar tekrar keşfediyoruz.

Güncel iki örnek verelim. Deniz yılanları en ölümcül yılanlar arasındadır, bazı türlerinin zehri damla karşılaştırması yapıldığında yılanların en zehirli türleri kadar öldürücüdür. Şansımıza deniz yılanlarının çoğu ellendiğinde bile nadiren ısırır. Gelgelelim, kendisini amansızca koruyan ve dünyada deniz yılanı kaynaklı insan ölümlerinin %90'ından sorumlu olan gagalı deniz yılanlarında durum farklıdır. Adını altçenesinin üzerine doğru sarkan burnunun ucundan alan bu tür, dünyadaki yılan türleri içinde en yaygın görülen türlerden biridir ve Basra Körfezi'nden Sri Lanka'ya, Güney Asya'dan aşağıda Avustralya ve Yeni Gine'ye çok geniş bir coğrafi dağılıma sahiptir ve yerel olarak çok sık görülmektedir.

Ya da böyle olduğu düşünülüyordu, diyelim. 2013 yılında Sri Lankalı, Endonezyalı ve Avustralyalı biliminsanlarından oluşan bir ekip bu türün popülasyonları üzerinde alışıldık genetik karşılaştırmalar yaptıklarını ve hiç alışılmadık bir sonuca kati bir kesinlikle ulaştıklarını duyurdu. Popülasyonlar, türün çeşitliliği içerisinde birbirlerinden çok küçük anatomik farklılıklar gösteriyor olmalarına karşın, genetik olarak yüksek derecede yakınsak çıktılar. Özellikle de gagalı deniz yılanlarının Avustralya'daki popülasyonları genetik olarak Asya'daki kendi türlerinin popülasyonlarından ziyade, diğer Avustralyalı deniz yılanı türlerine daha fazla benziyordu; benzer biçimde Asya'daki gagalı deniz yılanları da diğer Asyalı türlere daha yakındı. Başka bir deyişle, tek değil, iki gagalı deniz yılanı türü vardı. Türü tanımlayan özellikler de sadece gaga, renk, genel görünüm yönünden değil, saldırgan mizaç itibarıyla da o kadar yakınsak biçimde evrilmişti ki, Hint Okyanusu'nun farklı taraflarında bulunan uzak akrabaların aynı türün üyeleri olduğu düşünülmüştü.

Daha önce hiç deniz yılanı görmemiş olanlara daha tanıdık gelecek bir örnek verelim. Uyarıcıların ve uçarılıkların verdiği keyifle-

rin peşine düşmekte geç kalmış, zihin ve beden yönünden masum bir delikanlı olduğum dönemdeyim. Yetişkinliğe yeni adım atmışım ve bir kız arkadaşımda kalıyorum. Çay ikram etti. Çay içen biri değilim ama dünyevi ve uzlaşmacı biri gibi görünmek istiyordum, kabul ettim. Bir süre sonra kendimi bir acayip hissetmeye başladım. Bedenim karıncalanıyor, ellerim titriyor, kalbim hızla atıyor. Kalp krizi geçiriyorum herhalde diye düşündüm. Hemen durumu değerlendirip bunun için çok genç olduğum, üstelik koroner damarların bu kadar harekete geçmemesi gerektiği sonucuna varıyorum. Ev sahibeme artık nasıl kayıtsız bir havayla sorduğumu pek anımsayamıyorum, güleryüzle ve kendimden emin bir şekilde kendimi biraz garip hissettiğimi itiraf ettiğime kuşku yok. Her neyse, çabucak verdiği yanıtla o zamanlar Red Bull'a en yakın şey olan, canlandırıcı etkiye sahip bir çay markası içtiğimi öğrendim. Şimdi bir yetişkin olarak güne bir fincan Java'yla* başlıyorum ve öğleden sonra saat dördü geçtiğinde bu tür şeyleri ağzıma sürmüyorum. O saatten sonra içmişsem de bütün gece uyuyamıyorum.

Belki sizde farklıdır, ama benim için hayatta bazı derslerin sürekli tekrar tekrar alınması gerekiyor sanırım. Nitekim geçenlerde Brezilya Pantanal'ında bir gece, ağır bir çalışma gününün ve akşam yemeğinin ardından uykuya dalamamış halde yatakta bir oraya bir buraya dönüyorum. "Neden uyuyamıyorum?" diye düşünüyorum, zihnim bir düşünceden diğerine sıçrar dururken. O an jeton düşüyor. Yemekte ilk defa içtiğim şu meyveli alkolsüz içecek. Susamış olduğumdan iki teneke kutu devirmiştım. Gazlıydı ve tadı hafiften elma suyunu andırıyordu. Ondan mı oldu?

Klavyede hızlı bir hafiyelikle meşrubatın adının Guaraná Antartica olduğunu ve Amazon yağmur ormanlarında yetişen akçaagaç familyasından guaraná adlı büyük yapraklı tırmanıcı bir bitkidен yapıldığını öğrendim. Guaraná tohumlarının neyle dolu olduğunu tahmin edin bakalım. Kahve ve çayda, Pepsi ve Mountain Dew'da, Hostess Ding Dongs'un çikolatasında olan bileşik. Bir pürin

* Adını yetiştirildiği Endonezya'nın Java adasından alan kahve türü. (Ç.N.)

alkaloit, 1,3,7-trimethylpürin-2,6-dion adlı kimyasal. Kimyasal formülü de $C_8H_{10}N_4O_2$.

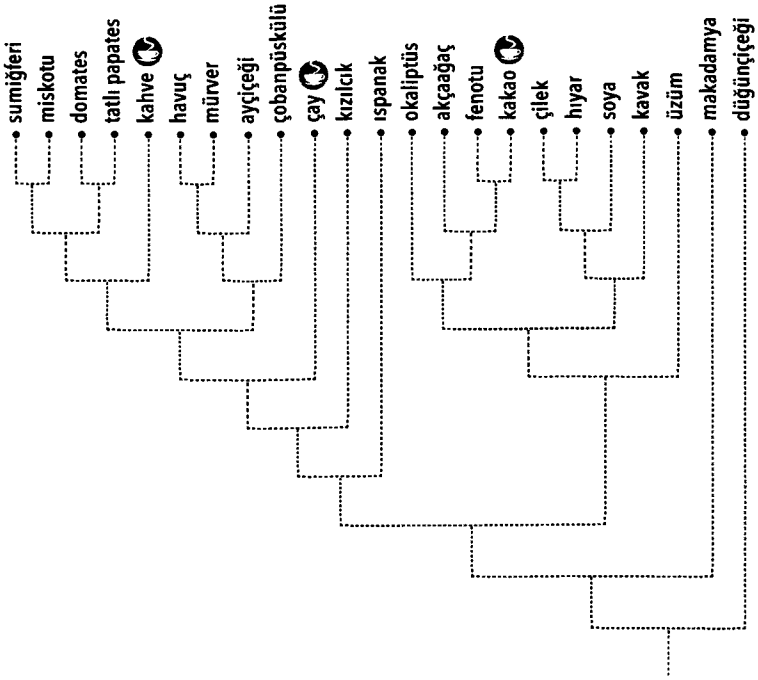
Kafein.

Kafein içeren birçok şeyi bilmeme karşın (Pepsi, çay, enerji içecekleri), bizzat kafeinin nereden geldiği konusunda uzun boylu hiç düşünmemiştim. Kahve ve çay aynı adlı bitkilerden geliyor; kola gazozları hiç değilse köken olarak kola bitkisinin cevizinden, çikolata kakaodan geliyor, işte Guaraná Antartica da guaraná bitkisinin (kahve çekirdeklerinin iki katı kafein yüklü) tohumlarından yapılıyor. Bu bitkilerin hepsi kafein üretiyor. Farklı çeşitlerini falan da değil, her şeyiyle aynı molekülü üretiyorlar. Kafein kafeindir, nereden geldiği fark etmez. Bir molekül, birçok kaynak.

Evrim biyoloğu olduğumdan kafein üreten farklı birçok bitkinin olması ilgimi çekmiş olmalı ki, acaba bu bitkiler yakın akraba mı, yoksa kafein üretimi birçok kez yakınsak biçimde mi evrildi, merak ettim. Bunu düşünürken uyuyakalmışım, sonra da bu düşünce bir daha aklıma gelmedi.

Şansımıza tam da bu soruyu araştırmaya karar vermiş, benden daha meraklı botanikçiler var. Uluslararası bir araştırma ekibi 2014 yılında yayımlanan bir makalede genetik verileri iki taraflı bir yaklaşımla değerlendirerek kafein üretiminin bu bitkilerde bağımsız şekilde evrimleştiğini kanıtladı. Birinci taraf, birçok bitki türünün DNA'larını birbiriyle karşılaştırarak kafeinli türler (sadece üçüne odaklanarak: kahve, çay ve kakao) arasındaki akrabalıkların evrim ağacını oluşturdu. Bu tür evrim ağaçları –bu iş için kullanılan teknik terim “filogeni”– aile kütüğündeki soy araştırmalarına benzer. Yakın akraba türler birbirinin yanında görünür ve soylarının izi yakın geçmişteki bir ortak ataya dek sürülebilir; aynısı erkek ve kız kardeşlerin soylarının yakın bir yerde ebeveynlerine ulaşmasında da görülür. Uzak akrabalar, örneğin dördüncü derece kuzenler, filogeninin epey uzak dallarında karşımıza çıkarlar ve onlarla en yakın zamanda yaşamış ortak atanızı bulmak için ağaçta çok daha aşağılara inmeniz (evrimsel zamanda çok daha geriye gitmeniz) gerekir.

Ekibin çıkardığı filogeni kahve, çay ve kakao bitkilerinin evrim



Seçilmiş bazı iki çeneklilerin (tüm bitki türlerinin yarısından fazlasını kapsayan, özel bir polen çeşidine sahip bitkiler) evrimsel ilişkilerini gösteren filogeni. Ortak ataya sahip türler, o atadan gelmeyen türlerle karşılaştırıldığında, birbirine daha yakın akrabadır. Buhar çıkan fincanlar kafein üreten türleri göstermektedir. Bu üç tür yakın akraba olmadığı için yapılabilecek en muhtemel yorum, kafeinin grupların her birinde bağımsız olarak evrimleşmiş olmasıdır. (Alternatif bir olasılık, kafein üretiminin atalarda geçerli bir durum olması ve bağımsız olarak ardı ardına birçok kez yitirilmiş olmasıdır, fakat bu senaryo çok daha fazla evrimsel değişim gerektirir ve bu yüzden daha az muhtemeldir.)

ağacının farklı dallarında gerçekleştiğini, birbirlerine yakın akraba olmadıklarını gösterdi. Hatta kakao, çay ve kahveden ziyade akçağaç ve okaliptüs ağaçlarıyla daha yakın akrabaydı. Benzer biçimde kahve, yine çay veya kakaoya değil de, patates ve domateslere yol açmış bir atadan geliyordu. Çay ise araştırmadaki diğer türlerin hepsinden uzakta, kendi evrim dalı üzerindeydi. Diğer bir deyişle, çay, kahve ve kakaoya yol açan ortak atayı bulmak için filogenide daha derine inmek, evrimsel zamanda çok daha geriye gitmek zorundaydık.

Kafein üreten türlerin yakın akraba olmaması olgusu, kafein yapma becerisinin bu üç bitki tipinde büyük ihtimalle bağımsız olarak evrimleşmiş olduğuna işaret etmektedir. Fakat araştırmacılar kafein yakınsama hipotezlerini test etmek amacıyla kafein üretme becerisinin nasıl evrimleştiğini mercek altına alarak daha derine indiler. Türler eğer kafein sentezleme becerisini bağımsız olarak evrimleştirmişse, bunu biyokimyasal açıdan başarma biçimleri aynı olmayabilir ve aynı amaca farklı yollardan ulaştıkları DNA incelemesiyle ortaya çıkabilirdi. Tersinden, eğer türler kafein üretme becerilerini ortak atalarından almışlarsa, bu durumda da aynı biçimde kafein yapmalarını bekleyebilirdik.

Kafein, ksantozin adı verilen bir öncü molekülün kafeine dönüştürülmesiyle üretilmektedir. Bunu ksantozin molekülünden art arda parçalar koparıp ona yeni parçalar ekleyen N-metiltransferazlar (kısaca NMT'ler) adı verilen enzimler başarmaktadır. Bitkilerde NMT'lerin birçok türü görülür ve çok çeşitli işlevlere sahiptir, yani özel olarak kafein üretmek amacıyla evrimleşmemişlerdir. Anlayacağınız, kafein üretim kabiliyetinin evrimi, daha önceden var olan bu enzimlerin ksantozini kafeine dönüştürecek bir evrimsel değişim yaşamasının sonucudur.

Araştırmacılar farklı türlerin genomlarının incelenmesiyle farklı NMT'lerin DNA'larını birbirinden ayırt etmeyi başarmış ve kahvede dönüşüme uğrayan NMT'lerin çay ve kakaoda dönüşüme uğrayanlardan farklı olduğunu keşfetmiştir. Dolayısıyla evrimsel açıdan kafein üretimine ulaştıran rotalar farklıdır; farklı evrimsel yollardan geçilerek yakınsama yaşanmıştır.

Evrin biyolojisi, yaşamın tarihi konusundaki temel bulgularının ilk ilkelerden çıkarsanamaması açısından diğer bilimlerin çoğundan farklılaşır. Tümdengelimsel bir bilim değildir. Tahtaya gıdıp bir ornitorenğin formülünü türetemezsiniz. Genel ilkelerin birçok vaka incelemesinin birikiminden doğduğu, tümevarımsal bir bilimdir. Üst üste biriken tüm bu araştırma yığınağı devamlı olanlarla nadiren olanlar arasında ayırım yapmamıza olanak verir. Diğer deyişle evrim birçok farklı biçimde gerçekleşir; o kadar ki, aklınıza gelen her şey bir zamanlar bir türde evrimleşmiştir. Yeterli zaman olursa, muhtemel

olmayan şey bile gerçekleşecektir. *Jurassic Park*'ta matematikçi Ian Malcolm'un dediği gibi, "Hayat bir yolunu bulur." Bu nedenle yaşamın evriminde izlenen temel yolları anlamak için "Ne yaşanabilir?" sorusunu değil, "Genellikle ne yaşanır?" sorusunu sorarız.

Evrimsel yakınsamada da aynısı geçerlidir. Mantıklı genel kabul, yakınsak evrimin yaşandığıdır, ama beklenti bu değildir. Yakınsak evrimle karşılaşıldığını bildiren bilimsel makalelerde her zaman "müthiş", "hayret verici", "beklenmedik" gibi kelimeler kullanılır. Bu duyguyu her yeni örneğin yayımlanmasını şaşırtıcı ve beklenmeyen bir gelişmeymiş gibi ele alan haberlerde de görürüz.

Ne var ki tüm bunlar değişmektedir. Son yıllarda bir grup bilim-insanı tam aksi görüşü savunarak, yakınsamanın *beklenti* olduğunu, her yerde görüldüğünü ve birbiriyle uzaktan akraba olan birçok türün benzer çevre şartlarına uyum sağlamak amacıyla aynı özelliği geliştirmiş olduğunu keşfettiğimizde buna şaşırmamamız gerektiğini ileri sürmektedir. Bu biliminsanları yakınsamaya bu kadar çok yerde rastlanmasından yola çıkarak daha da büyük bir sonuca varıyor: Evrim belirlenimcidir, doğal seçim sonucunda çevrenin doğurduğu sorunlara aynı uyumsal çözümleri tekrar tekrar geliştirmektedir. Bu yaklaşıma göre tarihin olumsuzlukları küçük bir rol oynamakta, doğal seçilimin öngörülebilir baskıları onun etkilerini silmektedir.

Bu hareketin başını Simon Conway Morris çekmektedir. Cambridge Üniversitesi'nden gelen bu haddinden fazla mütevazı, mülayim paleontolog ortalığı karıştıracak türde biri gibi görünmez. Bu gösterişsiz dış görünümünün altında ise evrim yarışında yinelenmenin rolünün köktenci tarzda yeniden ele alınmasına öncülük etmiş, kafası zehir gibi çalışan bir mücadeleci yatar.

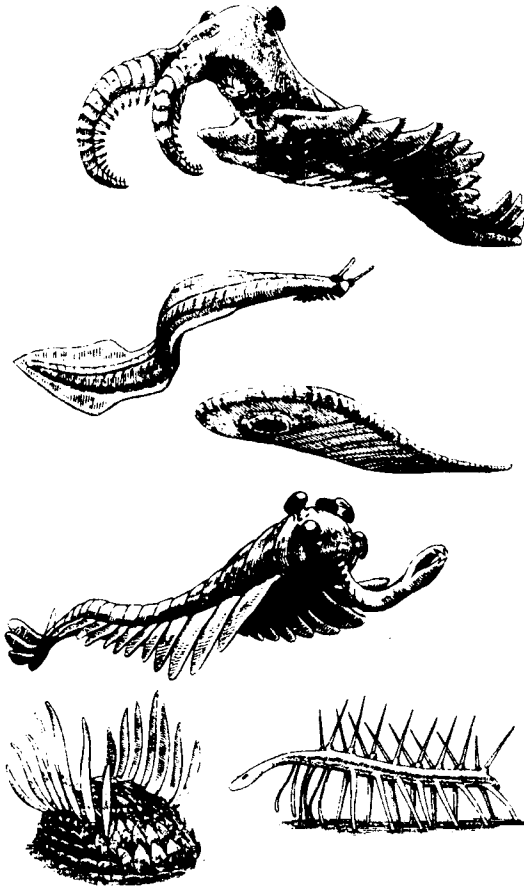
Conway Morris'in yakınsak evrimin misyoneri olup da Stephen Jay Gould'un şiddetli muhalifi olması ilk başta şaşırtıcı gelebilir. Henüz Cambridge'li kibirli bir gençken Kanada'nın Rocky Dağları'ndaki efsanevi Burgess Şeyli'nde rastlanan acayip hayvanlar üzerine yaptığı doktora araştırmasıyla nam saldı. Ne var ki bu araştırma, yakınsak evrimin antitezi gibi görünen bir olguya odaklandı.

Burgess Şeyli bundan 511 milyon yıl kadar önce, bildiğimiz an-

lamda hayvan yaşamının yeni ortaya çıkmaya başladığı Kambriyen dönemde şekillendi. Ondan önce yaşam formları bize tanıdık gelmeyen, daha basit, genellikle yassı denebilecek şekildeydi. Yaşamın bu yaratıkların dünyasından bugünün atalarına nasıl geçiş yaptığı konusunda tartışma sürüyor ama çabuk bir çoğalmayla, hızla gerçekleşerek Kambriyen Patlaması'na yol açtı ve hayatta aşına olduğumuz hayvan türlerinin çoğu (yumuşakçalar, derisi dikenliler, kabuklular, omurgalılar) jeolojik olarak kısa bir süre içinde fosil kayıtlarında karşımıza çıkmaya başladı.

Ne var ki, o dönemde sadece bugünkü faunamızın ataları ortaya çıkmakla kalmadı. Burgess Şeyli fosilleri 20. yüzyıl başlarında o esnada Smithsonian Enstitüsü'nün yöneticisi olan paleontolog Charles Walcott tarafından keşfedildiğinde, bu fosillerin hepsi yumuşakçalar, kabuklular, solucanlar vs. şeklinde bilinen taksonomik gruplara ait olacak biçimde tanımlanmıştı. Gelgelelim Conway Morris yarım yüzyıl sonra numuneleri yeniden incelemeye giriştiğinde, bu Kambriyen türlerden birçoğunun bilinen taksonlarla net bir akrabalığı olmayan paleontolojik ucubeler olduğunu buldu. (Takson [Yun. *taxon*, çoğulu *taxa*] balık veya yumuşakçalar gibi evrimsel gruplara denir; takson kavramı türden veya cinsten âleme dek tüm evrimsel düzeylerle uyumludur.) Walcott'un dikkati, belki üstlendiği yönetsel sorumluluklardan dolayı dağılmış durumdaydı, belki de ne olduklarını göremeyecek kadar dar görüşlüydü; velhasıl Burgess Şeyli fosillerinin çoğunu taşıdıkları tüm acayıplıklara karşın sınıflandırırken eldeki taksonomik kategorilere sığıştırmıştı.

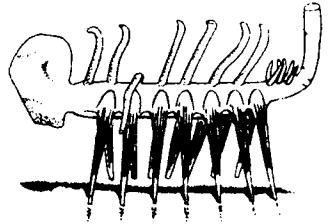
“Ucube” kavramı standart bilim diline sığmamakla beraber, ne kadar olağandışı oldukları konusunda fikir vericidir. Conway Morris, Walcott'un topladığı ve Smithsonian'ın ve diğer müzelerin küflü çekmecelerinde yatmakta olan on binlerce numuneyi büyük bir titizlikle incelerken durumun farkına varır. Örneğin *Wiwaxia*'yı ele alalım: Üst üste binmiş oval plakalarla bezenmiş, yan yatmış bir çam kozalağına benzemektedir. Altındaki salyangozlarınkine benzer, deniz yüzeyinde kaymak için kullanılan düz bir taban ile sırtında uzanan iki sıra uzun sivri dikenli de düşündüğünüzde, karşınıza *Futura*-ma dizisinden fırlamışa benzer bir hayvan çıkmaktadır.



Burgess Şeyli ekosisteminin 511 milyon yıl önceki sakinlerinden birkaç örnek:
(Yukarıdan aşağıya) *Anomalocaris*, *Pikaia*, *Odontogriphus*, *Opabinia*,
(solda) *Wiwaxia*, (sağda) *Hallucigenia*.

Buna bir de Conway Morris'in "rüyalarda karşımıza çıkan türde garip bir hayvan" diyerek isim babası olduğu *Hallucigenia*'yı ekleyelim. Görünümünü betimlemek için içimden "karikatür gibi" demek geliyor. Conway Morris'in canlandırması, bir ucunda damlaya benzer eğreti bir kafa, diğer ucunda kısa, kalkık, İskoç teriyeri tarzı bir

kuyruk bulunan uzun, kaleme benzer bir tüp şeklinde olduğunu gösteriyor. Tüp şeklinde beden, bacak niyetine yedi çift sivri eklemsiz ayaklıkla bezenmiş, bunlar da yukarıda sırttan yukarı doğru uzanan yedi yumuşak kıvrımlı tüple eşleşmişti. Sırtın sonundaysa kuyruk üzerinde üç kısa tüplük iki sıra yan yana duruyordu (bu kısmın kuyruk olduğunu kabul edersek elbette –Conway Morris, hayvanın yönünü ters ele almış olma, kafası olduğunu düşündüğü şeyin kuyruk, kuyruğun da kafa olma olasılığının varlığını kabul etmişti–, zira fosil ezilmişti ve iyi durumda değildi).^{*} Conway Morris'in türün varlığını duyan makalede açıkça ifade ettiği üzere *Hallucigenia*, “canlı veya fosil hiçbir hayvanla karşılaştırılamayacak” nitelikteydi.



Simon Conway Morris'in yaptığı özgün *Hallucigenia* canlandırması.

Sadece bu tuhaf tiplerle sınırlı olsa iyi; Burgess Şeyli'nde resmen bir acayip yaratıklar geçit töreni yaşanıyordu: *Opabinia*, beş gözü ve kafasının önündeki ucu pençeli uzun hortumla ilk ortaya çıktığında onu gören biliminsanlarını kahkahayı koyvermeye zorluyordu; *Anomalocaris*, biliminsanları hepsinin aynı hayvana ait olduğunu fark etmeden önce parçaları üç ayrı tür olarak tanımlandı; *Odontogriphus*, ön ucunun alt tarafında dairesel ağızla yüzer bir yara bandını andıran uzun, yassı, yumuşak bir hayvandı. Liste bu şekilde devam ediyordu.

Stephen Jay Gould, *Wonderful Life* ile Burgess Şeyli'ndeki bu acayip şeyleri meşhur eden kişi oldu. *The Burgess Shale and the Nature of History* [Burgess Şeyli ve Tarihin Doğası] altbaşlığına sahip kitap, Burgess fosillerinin ayrıntılı incelemesini ve bize evrim konusunda

* Bugün elimizde olan daha iyi korunmuş yeni numuneler sayesinde Conway Morris'in canlandırmasının, bilinçli bir hata sayılamayacak şekilde, *Hallucigenia*'yı tepetaklak ve ters şekilde gösterdiğini biliyoruz. Ayaklığa benzer bacaklar aslında sırttaki dikenlerdi, üstteki kıvrımlı yedi tüp de aslında bacaklardı ve yedi bacaklı ikinci sıranın varlığı onun incelediği fosillerde saptanamamıştı. Daha iyi korunmuş numuneler ayrıca sondaki kuyruğun kafa, kafanın da kuyruk olduğunu gösterdi.

öğrettiklerini içeriyordu. Gould'un ün kazandırdıkları *Wrwaxia* ve arkadaşlarıyla sınırlı değildi: Kitabın bilimsel başkahramanı, Burgess Şeyli faunasının daha önce bilinen yaşam formlarına hiç benzemeyen çok sayıda benzersiz canlıyla dolu olduğunun belgelenmesinde büyük rolü olan Simon Conway Morris'ti. (Gould, Conway Morris'in doktora danışmanı Harry Whittington'ı ve beraber çalıştığı yüksek lisans öğrencisi, şu an Yale'de profesör olan Derek Briggs'i de övgüyle anıyordu.)

Gould, *Wonderful Life*'ta Burgess Şeyli sakinlerinin tuhaf anatomileri üzerinde durdu ve ortaya çıkıp hemen ardından ortadan kaybolan ve bir daha benzerleri görülmeyen çok sayıda anatomik formun varlığına dikkat çekerek Kambriyen dönem faunasının dünya tarihindeki en yüksek çeşitliliğe sahip fauna olduğunu ileri sürdü. Gould, bu kadim yaratıkların bazılarının hayatta kalıp gelişerek bugünkü çeşitliliğe yol açarken, diğerlerinin ortadan kaybolmasının nedenleri üzerine fikir yürüttü. Hayatta kalanlar gelişmeye yazgılı üstün varlıklarken, kaybedenler daha aşağı düzeyde bir tasarım biçiminde mi evrimleşmişti? Yoksa kimisinin başarılı, kimisinin başarısız olması tamamen şans eseri miydi? Gould, hayatta kalanların ortadan kaybolanlara oranla uyumsal açıdan üstün olduğunu düşünmek için bir neden olmadığı sonucuna vardı. Birileri hayatta kalırken birilerinin ortadan kaybolmasına tesadüf ve rastlantı yol açmıştı. Ona göre, yaşamın akışı az daha farklı olsa, kaset hafif daha farklı oynatılmış olsa, dünya bugün çok daha farklı bir canlı listesine sahip olabilirdi.

Gould, *Wonderful Life*'ı bir fosilin üzerinde durarak tamamladı. *Pikaia* görünüşü dikeyine sarmal düzleşmiş, ayırt edilemeyen bir kafaya sahip, ezilmiş bir solucana benzeyen küçük bir hayvandı. Bu itici yaratık, omurgalı (yani kurbağalar, köpekbalıkları, goriller ve bizler gibi omurgaya sahip) hayvanları kapsayan evrimsel grup olan kordalıların bilinen en eski temsilcisiydi.

Saygıda kusur etmeyelim ama *Pikaia* Burgess'teki büyük oyunculardan biri değildi. Keşfedilen fosillerin sayısına dayanarak değerlendirildiğinde çok bol olmadığı gibi, boyut ve şekli de pek etkileyici değildi. Kambriyen dönemdeki bir gözlemci o dönem var olan muaz-

zam tür çeşitliliği içerisinde muhtemelen bu türü yaşanacak müthiş şeylerin habercisi olarak görmezdi. Diğer birçok tür yok olurken *Pikaia* şans eseri hayatta kalmış olabilir mi? Kasedi başa sarıp çalarsak *Pikaia* var olmayacaktı belki de. *Pikaia*'nın soyu tükendi diyelim, o halde bugün dünyaya kim hâkim olacaktı? Kordalılar olmazdı, çünkü biz burada olmazdık.*

Yakınsama savını oluşturan kişi Gould'du, ama o da kanıtlarının ana hatlarını, hatta en önemli destekleyici gerekçelerinden bazılarını kendisinin de tekrar tekrar, yücelterek vurguladığı üzere doğrudan Conway Morris'in yazdığı makalelerden almıştı.** Hatta Gould, Conway Morris ve iki çalışma arkadaşının paleontoloji dalında gösterdikleri üstün başarı için Nobel ödülünü hak ettiklerini söylemişti – böyle bir ödül olsaydı elbette.

Fakat Stockholm yolunda ilerlerken komik bir şey oldu. Bu fosillerden birçoğunun sahip olduğu özgünlükleri vurgulamış olan Conway Morris, dünyayı farklı bir gözle değerlendirmeye başladı. 1998 yılında yayımlanan Burgess Şeyli hakkındaki kitabı, *The Crucible of Creation*'ı [Yaratılışın Potası] bitirirken, şahit olduğu faunadaki birçok örneğin evrimsel benzersizliği üzerinde durmak yerine, evrimsel yakınsamanın her yerde görüldüğünü ve bunun önemini vurguladı.

Görünüşe bakıldığında elde edilen bulguların bu şekilde değerlendirilmesi mantığa aykırı görünüyor. Nevi şahsına münhasır, bir daha asla görülmeyen anatomilerin oluşturduğu çeşitliliği göklere

* Gould'un savı etkileyicilik yönünden hâlâ hiç fena olmasa da, bugün Burgess Şeyli'nde ve ona yakın yaştaki diğer yataklarda birkaç başka kordalının keşfedilmiş olmasıyla eski gücünü yitirmiş durumdadır. Anlaşılan o ki *Pikaia* ortadan kaybolmuş olsa bile, onunla beraber kordalıların tüm soyu tükenecek değildi.

** Örneğin Conway Morris şunları yazmıştır: “Saat, çok güzelilerin çeşitlenmesinin Kambriyen öncesi-Kambriyen sınırından tekrar geçmesine izin verilecek şekilde geri alınsaydı, bu ilk evrim patlamasında ortaya çıkan başarılı beden planlarına yumuşakçaların yerine *wiwaxiid*’lerin dahil olması mümkün görünüyor.” Ayrıca “Kambriyen dönemdeki varsayımsal bir gözlemcinin erken çok güzelilerden hangilerinin kaderinde yerleşik beden planları yönünden filogenetik başarı olduğunu, hangilerinin yok olmaya mahkûm olduğunu tahmin etmesi muhtemelen mümkün olmayacaktı.”

çıkarmaktan bunları evrimsel yinelenmenin her yerde gerçekleşmesinin kanıtları olarak görmeye nasıl geçilebilir? Bundan birkaç yıl önce Cambridge’de St. John’s College’ta öğle yemeği yerken bana söylediğine göre Conway Morris de şahsen yaptığından pek emin değil.

Söylediğine göre *Wonderful Life*’ın üzerinden geçen yaklaşık 30 yılda yapılan yeni keşiflerde bunun bir dereceye kadar açıklamasını bulmak mümkün. Burgess Şeyli, türlerinin çoğu daha önce herhangi bir taksonomik grupta bağlantılandırılmazken, yeni çıkarılan fosiller ve yapılan ayrıntılı incelemeler artık bunların birçoğunun bilinen taksonlara dahil edilebildiğini gösterdi. Örneğin *Hallucigenia* bugün kütük ayaklılar dediğimiz, görünüşü çıkan ile tırtıl kırmasına benzer, çoğunlukla tropikal bölgelerde gözlerden uzak yaşayan küçük bir hayvan grubuyla bağlantılandırılabilir; *Wiwaxia*’yı da yumuşakçalarla akraba gören birçok kişi var.

Burgess Şeyli’ndeki eksantrik bulguların birçoğu taksonomik açıdan o kadar da çığır açıcı değildi. Üstelik yapılan bazı analizlerle Burgess Şeyli fosillerinin anatomik çeşitliliği modern örneklerle karşılaştırıldı ve –bu konuda halen büyük tartışma olsa da– Burgess Şeyli faunasının bugünkü canlı türlerden daha fazla çeşitlilik göstermediği sonucuna varıldı.

Bu bulgular Burgess Şeyli’nin yeniden değerlendirilmesini gerektiriyor. Conway Morris ve arkadaşlarının izinden ilerleyen Gould, Kambriyen’i çoğunun soyu kısa bir süre sonra tükenen, birbirinden farklı inanılmaz sayıda organizma tipine ev sahipliği yapan, eşsiz bir anatomik çeşitlilik dönemi olarak tarif etmişti. Gould’a göre o zamandan beri anatomik tasarım yönünden çok daha sınırlı bir çeşitlilik içerisinde yaşıyorduk ve bunların hepsinin kökü Kambriyen sonrasında hayatta kalabilmiş pek az sayıda çeşide dayanıyordu.

Araştırmacıların çoğuna göre artık bu yaklaşım revaçta değil. Kambriyen’de anatomik aykırılıklar o kadar da ender rastlanır düzeyde değildi ve o zaman hayatta olan çok sayıda form, aslında bugün soyu tükenmiş başarısız evrimsel deneyleri değil, bugün hayatta kalan grupların eski akrabalarını temsil etmektedir. Hatta Conway

Morris'in birçok yönden *Wonderful Life*'a sert üslupla yazılmış cevap niteliği taşıyan kitabının tezi de tastamam budur.

Yine de Conway Morris'in Kambriyen tuhaflıklarını ayrıntılandırmaktan yakınsama örneklerini listelemeye geçme sebebi açık değildir. Burgess türlerinin taksonomik sahipsizlikten kurtarılması, sahip oldukları anatomik özgünlüğü azaltmamaktadır. Örneğin *Hallucigenia* kütük ayaklılar soyundan olsa bile, anatomik açıdan daha önce evrimleşmiş hiçbir şeye benzememektedir; ortaya çıkarılan bu filogenetik akrabalıklar yakınsak evrime yeterli kanıt oluşturmamaktadır.

Conway Morris'in 180 derecelik dönüşünün muhtemel açıklamalarından biri, alanın ilerlemeye başladığı istikametten etkilenmiş olmasıdır. Evrim biyologları 1980'li yılların ortalarında farklı taksonları karşılaştırma ve tekrarlanan kalıplara bakma yoluyla doğal seçilimin işleyişine kanıt bulunabileceği fikrine dayanan karşılaştırmalı yöntemi giderek daha fazla kullanıyordu. Bu çalışma, Conway Morris'in araştırma alanından uzak olmasına rağmen, yakınsamanın önemine yapılan bu vurgu (söyledikleri ve yazdıklarında bu olasılığı gösteren herhangi bir belirti olmasa da) düşüncesini şekillendirmiş olabilir.

Şansımızı bir de psikanalizde deneyebiliriz. Birçok kişi, özellikle de Gould'un *Wonderful Life*'ta Conway Morris'e ne kadar değer verdiği düşünülünce, Morris'in Gould'a bu kadar eleştirel yaklaşmasına şaşırmıştır. Bir meslektaşımız Gould'un evrimin rastlantısal doğası yönündeki görüşlerinin Conway Morris'in ruhani görüşleriyle çeliştiğini ileri sürmektedir. Bir başkası da Conway Morris'in sonradan yanlışlığı ortaya çıkacak olan daha önceki taksonomik görüşlerini Gould'un herkesin içinde (bir çoksatan kitapta!) ilan etmiş olmasının Conway Morris'i utandırdığını öne sürmüştür. Artık antipatisinin kaynağı her neyse, Conway Morris Gould'a karşı çıkmanın bir yolunu arıyordu belki de. Konuşmamızda Conway Morris bana Gould'un makalelerinin derlendiği kitaplardan biri olan *Bully for Brontosaurus*'u [Aferin Brontosaurus'a] okuduğunu ve Gould'un yorumlamayı başaramadığı bir dizi yakınsama vakasının o zaman dikkatini çektiğini söylemişti. Bu belki de Conway Morris'in yakınsa-

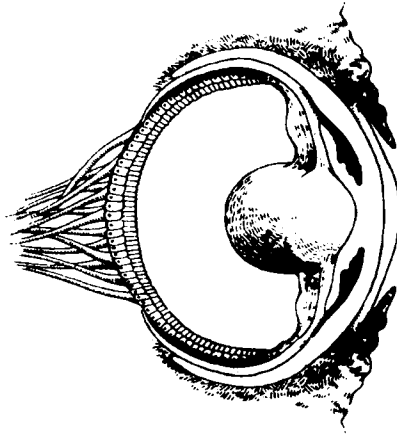
manın evrimdeki önemi üzerine düşünmeye başlaması için yeterli olmuştur.

Her halükârda, dönenlerin yaşadığı o coşkunlukla Conway Morris yaşamın çeşitliliğinin arkasındaki esas hikâyenin yakınsak evrim olduğu görüşünün öncü taraftarı haline geldi. “Evrimsel yakınsama her yerde görülmektedir,” diyordu. “Nereye baksanız onu görürsünüz.” Bu yüzden şu sonuca varıyordu: “Yaşamın kasedini istediğiniz kadar başa sarıp oynatın, nihai sonuç büyük oranda aynı olacaktır.”

Her yerde görülmesi biraz da bakana bağlı elbette, fakat yakın-samanın yaygın olmadığını savunmak da zor. Bazı durumlarda iki tür kuyruklarının uzunluğu, kulaklarının rengi, böbreklerinin yapısı, hatta çiftleşme dansları gibi bir yönden benzer olacak şekilde bağımsız olarak evrimleşmiş. Daha dramatik örneklerde türler fenotiplerinin birden fazla farklı yönü itibarıyla yakınsamış olabiliyor, öyle ki iki tür, gagalı deniz yılanlarının iki türünde görüldüğü gibi birbirinden ayırt edilemez hale gelebiliyorlar. (“Fenotip” kavramı, bir organizmanın dış anatomisinden hareket fizyolojisine dek tüm ayırt edici özelliklerine karşılık geliyor.)

Gelin, yakınsak şekilde evrimleşmiş farklı fenotipik özelliklerin birkaç değişik örneğine bakalım. Biliminsanları son yıllarda yapılan çalışmalarda aklınıza gelebilecek hemen hemen her özelliğe yakınsama yaşanmış olduğunu tespit ettiler. Örneğin birçok kertenkele çeşidi, hızla çıkarılarak eşlerine veya rakiplerine semafor gibi sinyal vermeye yarayan boyunlarının altındaki deriden kanatları bağımsız olarak evrimleştirmiştir; benzer şekilde birçok kuş da kanatlarının veya göğüslerinin üzerinde sosyal etkileşimlerinde görünür hale getirdikleri renkli benekler evrimleştirmiştir. Doğa dünyası bu tür örneklerle doludur: Benzer bağlamlarda kullanılan benzer özellikler benzer bitki ve hayvan türlerinde birden çok kez evrimleşmiştir.

Birbiriyle hiç yakın akraba olmayan, yaşam ağacının farklı kısımlarından gelme türler arasında rastlanan, gayet ince ayrıntıları kapsayacak düzeyde yakınsamış özellikler bilhassa etkileyicidir. Klasik örneği hatırlatalım; sayfada çizilen göz yuvarına bakalım.



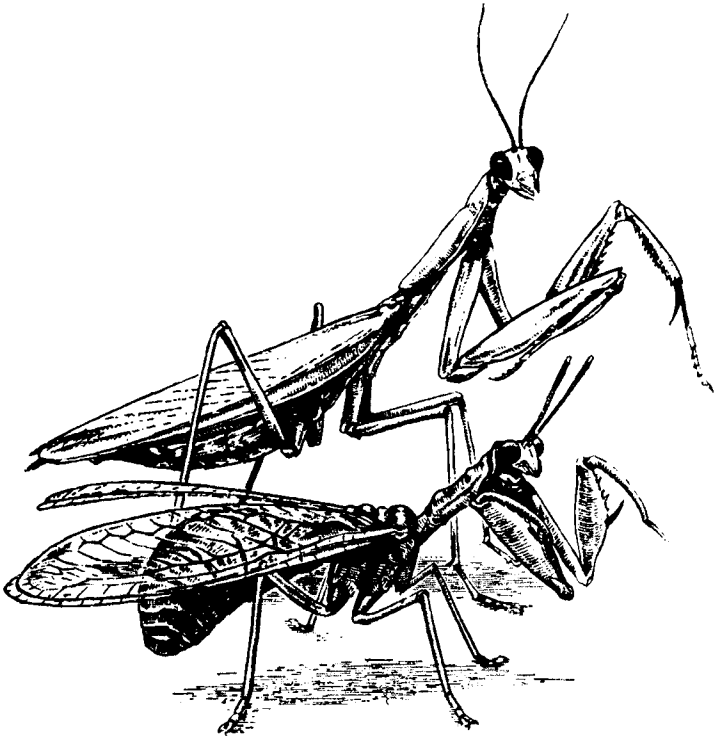
Ahtapot gözyuvarı

Okulda öğrendiğiniz anatomi bilgilerini hatırlarsanız, bu gayet tipik bir gözdür: Karganın, insanın, kedinin, hatta bir kertenkelenin bile olabilir; omurgalı hayvanların çoğunun gözyuvarları temel yapı yönünden çok benzerdir. Ne var ki bu omurgalı bir hayvanın gözküresi değildir, düpedüz bir ahtapota aittir! Evet, doğru; bundan 550 milyon yıl önce dünyada yüzerek dolaşan en yakın ortak atamızın bahse değer gözleri dahi olmamasına rağmen, ahtapotlar sizinle, benimle neredeyse tıpatıp aynı gözyuvarlarına sahiptir.*

Ya şuna ne dersiniz? Peygamberdevelerini herkes bilir: büyük böcek gözleri, uzun boyun, kollar dua edercesine kıvrılmış. Ne var ki

* Aslında ahtapotun gözyuvarları bazı yönlerden sizinkinden, benimkinden daha iyidir. Omurgalıların gözlerinde sinirler, retinanın gözün içerisindeki fotoreseptörlerinin her birinin ön ucuna bağlanmaktadır. Bu durum ışığın reseptörlere ulaşmak için sinirlerden geçmek zorunda kalması anlamına gelmekle kalmaz, ayrıca sinirlerin gözyuvarından çıkmak üzere demet halini aldığı anda, retinada fotoreseptör olmayan bir alan, yani bizim ünlü kör noktamızı yarattıkları anlamına gelir. Ahtapotun gözyuvarı tasarımıysa çok daha duyarlıdır; sinirler fotoreseptörlerin arka ucuna bağlıdır ve gözyuvarının arka tarafından çıkarken gelen ışığı engellemedikleri gibi, görsel bir blokaj da yaratmazlar. Aslında evrim gerçekleşmemiş ve yaşam akıllı bir tasarımcı tarafından yaratılmışsa, görünen o ki bu tasarımcı ahtapotun daha iyi tasarlanmış gözünü yaratmadan önce bizim üzerimizde alıştırmayı yapmış.

aslında hiç de göründükleri kadar dindar değiller; öne eğik duruşları esasında kapanmaya hazır bir fare kapanı gibi ve sert dikenlerle kaplı önkol uzuvları arasına aldığı avına şimşek hızında darbesini indirmeye yarıyor. (Biz kim, öğle yemeğimiz için ellerimizi hızla aşağı doğru döndürerek, önkollarımızla ve ellerimizle bir şeyleri tutmak kim... Avuçlarımız dikenlerle kaplı ve uzunluğu önkolumuzun yarısı kadar olursa, durum başka elbette.) Fakat kasabadaki tek hızlı silahşör peygamberdevesi değil. Mantid sineği denen bir böcek türü daha var ki, o da avını aynı süper hızlı hareketle yakalamaya yarayan, neredeyse tıpatıp önkollara sahip. Benzerlik bununla da sınırlı kalmıyor: İki böcek arasında yüz milyonlarca yıllık böcek evrimi olmasına



Peygamberdevesi (üstte) ve mantid sineği (altta)

karşın, mantid sineği uzun boynu ve pörtlek gözleriyle peygamberdevesine o kadar benzemektedir ki, ön yarısı peygamberdevesinin tıpkısının aynısıdır (arka yarısı ise yakın akrabası olan zarkanada daha çok benzemektedir).

Yakınsak evrim anatomiyle sınırlı değildir elbette. Türler, genlerden hareketlere dek, birbirlerinin biyolojilerinin herhangi bir niteliğine yakınsayabilmektedir. Bu tür birçok örnek vardır, benim en sevdiklerimden biri de emektâr karıncalar ile termitler [beyaz karıncalar] arasındakidir.

Çoğu insan karıncalarla termitlerin yakın akraba olduğunu düşünür çünkü hangisiyle problem yaşarsanız yaşayın aynı ilaçlama ekibini çağırırsınız, ayrıca ikisi de benzer görünüme sahiptir. Ne var ki bir büyütle daha yakından bakarsanız, sahip oldukları standart böcek uzuvları olan baş, göğüs kafesi, alt karın kısmı ve altı ayak haricinde hiç de benzer görünümde olmadıklarını keşfedersiniz. Ayrıca hiç de yakın akraba falan değildirler. Karıncaların yakın akrabaları eşekarıları ve arılardır; termitlerse Blattodea isimli hamamböceklerinin dahil olduğu takıma üyedir.

Karıncalarla termitlerin filogenetik uzaklıklarına rağmen sosyal yapıları şaşırtıcı ölçüde benzerdir. Karınca topluluklarında gelişkin bir işbölümü görülür: Onbinlerce yumurta bırakan bir (bazen birden çok) kraliçe karınca veya ana karınca, hayattaki tek amaçları bakire kraliçelerle çiftleşmek olan küçük erkek karıncalar ve yavru- larla ilgilenmek, davetsiz misafirlerle savaşmak, yemek toplamak gibi şeyler yapan, bedenleri yaptıkları işle uyumlu, hepsi dişi, çeşitli tipte işçi karıncalar.

Termitlerin sosyal yapısı da çok benzerdir. Onlar da düzinelerden başlayıp milyonlara dek ulaşabilen sayıda canlının oluşturduğu kolonilerde yaşar. Yine karıncalardaki gibi tüm yumurta bırakma işini bir veya birkaç dişi yapar, koloninin hayatta kalması için de gereken temel görevleri yerine getiren çeşitli türde işçiler vardır. Karıncalar da, termitler de gelişen bir dişinin dönüştüğü işçi tipini düzenli çalıştırmak amacıyla bir canlıdan diğerine aktarılan sıvı yiyeceği kullanırlar. Her ikisi de feromon adı verilen kimyasal sinyalleri kulla-

narak iletişim kurar, örneğin yiyecek toplayanları yiyeceğe yönlertmek ve savaşacak askerleri toplamak için yere feromon izleri bırakılır.

Termitler ile karıncalar (bu örnek bazı kınkanatlılar için de geçerlidir) arasındaki en çarpıcı yakınsama, toprak altında mantar bahçeleri inşa etmeleridir. Bu böcekler tarımı bizden on milyonlarca yıl önce icat etmiştir! Bu böcek türlerinin çiftçilik pratikleri arasında bazı farklılıklar olsa da, genel plan hemen hemen aynıdır. Yer altındaki termit yuvasında veya karınca yuvasında böcekler büyütme amacıyla mantar getirip diker, ardından bu mantar hasat edilir ve yenir. Karınca ve termit işçiler bahçeye dikkatle bakar, çerçöpü temizler, zararlı böcekleri engeller ve diğer rakip mantar türlerini ortadan kaldırırlar (belirli türde bir mantarın mahsulünde uzmanlaşmışlardır, diğerlerine yabancı ot muamelesi yaparlar). Hatta istilacı bakteriyel zararlılarla mücadele için vücutları üzerindeki özel bölgelerde veya bağırsaklarında yerleşmiş bakterilerden yetişen antibiyotikleri kullanırlar (karıncalar tam da bizim geçmişte streptomisin antibiyotiğini üretmek için kullandığımız bakterileri kullanır).

Bu örneklerin de gösterdiği üzere doğa dünyasında yakınsak kalıtsal özellikler bolca görülmektedir. Buna karşın Conway Morris'ten yakınsamanın sadece ilginç bir durum olmayıp biyolojik dünyada hâkim model olduğu önerisi ancak 2003 yılında gelmiştir. Başyapıtı *Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe* [Yaşamın Çözümü: İssız Evrende Kaçınılmaz İnsanlar] okurlara, yaşamın her alanından toplanmış muazzam çeşitlilikte yakınsama vakalarıyla dopdolu 332 sayfa (artı dipnotların doldurduğu 115 sayfa) sunuyordu. Sekiz yıl sonra George McGhee benzer bir kitap yazdı; *Convergent Evolution: Limited Forms Most Beautiful* [Yakınsak Evrim: En Güzeli Sınırlı Formlar] sahip olduğu 277 sayfa ile Conway Morris'inkinden inceydi ama hıncahınc örneklerle doluydu. Ben 2015'te bu bölümü kaleme alırken üçüncü büyük kitap olarak Conway Morris'in ikinci kitabı *The Runes of Evolution: How the Universe Became Self-Aware* [Evrim Öngörülleri: Evren Kendisinin Farkına Nasıl Vardı?] yayımlandı ve bu kitabın 303 sayfası (keza dipnotlar için kullanılan 158 sayfası) çoğunlukla yeni örneklerle doluydu.

Bu kitaplar yakınsak evrimin müthiş yaygınlığı, genişliği ve de-

rinliğiyle okurun başını döndürdü. Her yerdeydi! Hangi özelliği ele alsanız, bu özellik birden fazla kez, kimi zaman birbirine uzak akraba organizmalarda evrimleşmişti. Conway Morris bunu şöyle ifade ediyor: “Bana sadece bir kez evrimleşmiş bir şey gösterin... hemen ayağa fırlayıp size, ‘Hayır, ben sana başka bir örneğini verebilirim,’ derim.”

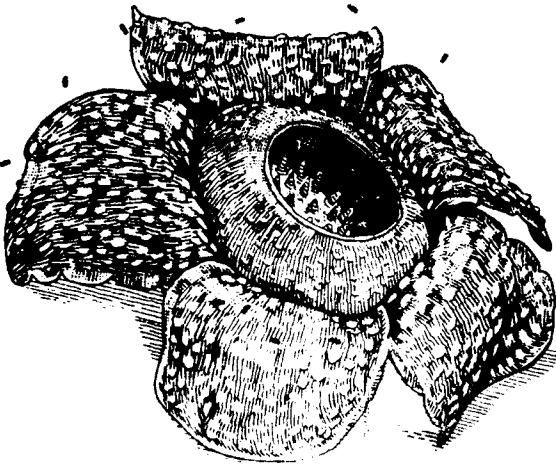
Örneğin McGhee hayvanların yırtıcılardan korunmak için vücutlarında çeşitli zırhlar geliştirdiklerine dikkat çekmektedir. Kaplumbağa üzerine zor durumda içine çekilebileceği dayanıklı bir kale geçirmiştir ve işlevsel açıdan benzer kemikten kaleler, bir dinozor türünde (*Ankylosaurus*) ve soyu tükenmiş Volkswagen boyutlarında bir armadillo olan gliptodonlarda da evrimleşmiştir. Bazı hayvanlar da savunma için kemikle kaplanmak yerine kendilerini sivri dikenlerle sarar. Daha önce birbirinden bağımsız biçimde türeyen iki oklu kirpi türünden bahsetmiştim; onların yaklaşımı dikenli karıncayıyengillerde de aynen görülür (ornitorenk haricinde yumurtlayan tek memelidir); onlarla kalmaz, Madagaskar’daki kirpi tenrekler ile kirpilerin görünüşleri de o kadar benzerdir ki Richard Dawkins *Olası-lıksızlık Dağına Tırmanmak* kitabında ikisi için ayrı ayrı çizim siparişi verme külfetine girdiğine yazar.

Son olarak yırtıcıları caydırmak için fiziksel savunma olarak hemen aklımıza zırhlar gelse de, derideki zehirli toksinler de aynı amaca hizmet eder. Bu tür kimyasal savunmalar çıplaksolungaçlılarda (sümüklüböceklerle akraba bir tür deniz yumuşakçası), kınkanatlıların birçok türünde, kelebekler ve başka böceklerde, balon balığında, kurbağalarda, semenderlerde, kukuletalı pitohui adlı kuş türünde ve birçok başka canlıda görülmektedir.

Benzer biçimde biz memeliler (ornitorenk ve dikenli karıncayıyengiller hariç) canlı yavru dünyaya getirme konusunda kendimizle gurur duyarız, ama McGhee canlı doğumun sadece kertenkele ve yılanlarda yüz kereden fazla evrimleştiğini; balıklar, iki yaşamlılar, denizyıldızları, böcekler ve birçok başka grupta tekrar tekrar yaşandığını belirtiyor. Yakınsama plasentaya (anneden embriyoya oksijen ve besinleri ileten yapıya) kadar uzanıyor; balıklarda ve kertenkelelerde birçok kez evrimleşmiş, hatta bir kertenkele türünün plasentası bazı memelilerinkine çarpıcı biçimde benziyor.

Yakınsama sadece hayvanlar âlemiyle de sınırlı değil. McGhee'nin kitabından sadece bir botanik örneği aktarırsak, birçok bitki polenlerini (polen, spermin bitkilerdeki karşılığı) vericiden alıcıya taşımak için hayvanlara bel bağlamış durumda. Bitkilerin bunu yapabilmek için polen taşıyıcılarını kendilerine çekmesi gerekiyor. Sinekkuşu örneğinde parlak kırmızı renk, karşı konulmaz bir çekicilik taşıyor. Bunun sonucunda sinekkuşları tarafından polenlenen en az 18 farklı bitki, evrim yoluyla parlak kırmızı çiçekler geliştirmiş.

Başka bitkiler de (çoğu Eski Dünya'da) polenleşme veya tozlaşma adını verdiğimiz bu hizmetin tedarikinde farklı bir yaklaşım geliştirmiş. Sineklerin ve kınkanatlıların bazı türleri yumurtalarını çürüyen leşlere yerleştirirken, bazı bitkiler (ceset zambağı da denen *Rafflesia arnoldii*, leş çiçeği adı verilmiş *Amorphophallus titanum*, Zulu devî denen *Stapelia gigantea* vb.) kokuşmuş, çürümüş et gibi ağır bir koku yayar. Böcekler buna kanar, çiçekleri dürtmeye başlayarak her zamanki alışkanlıklarıyla yumurtalarını bırakacak, polenleri toplayıp bırakacak bir yer ararlar. Böyle berbat kokulu şekilde evrimleşmiş yedi farklı bitki türü vardır.



Sumatra ve Borneo'da görülen ceset çiçeği dünyadaki en büyük çiçektir. (Evet, taçyaprakları onlar!) Çürüyen ete benzer bir koku yayarak böcekleri kendine çeker.

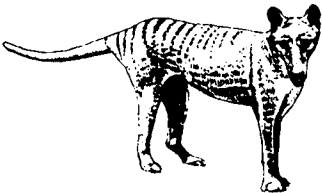
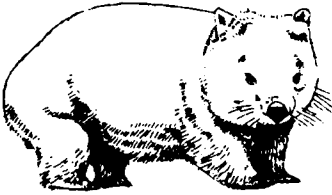
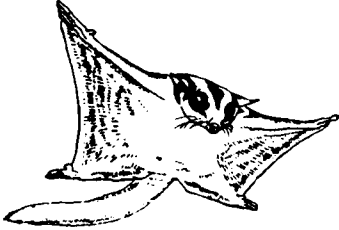
Belirli kalıtsal özelliklerde görülen yakınsama hayranlık vericidir ama yakınsak evrim ders kitaplarında genellikle tüm bir organizmanın yakınsak gibi görüldüğü örneklerle anlatılır. Tipik karşılaştırma da hepsi ön ayak niyetine yüzgeçlere, birer sırt yüzgecine, sivri birer burna ve sudaki kurbanlarını yüksek hızla kovalamaya yarayan güçlü birer itici kuyruğa sahip, suda harekete uygun gövdeli deniz yırtıcıları olan yunuslar, köpekbalıkları ve ihtiyozorlar arasında yapılır.

Bir diğer ders kitabı örneği her şeyin biraz farklı olduğu aşağı taraftaki ters ülke Avustralya'dan verilir. Listenin en başında da memeliler yer alır. Avustralya'nın evrimsel mahsusiyetlere temayülünden bahsetmiştim; bunların başında da, hatırlarsınız, ornitorenk, koala, kanguru geliyordu. Avustralya'nın memeli faunasının geri kalanının ise dünyanın başka yerlerindeki memelilerle yakınsak olduğunu söyleyebiliriz.

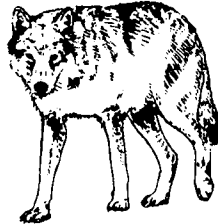
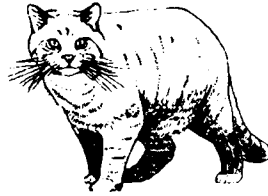
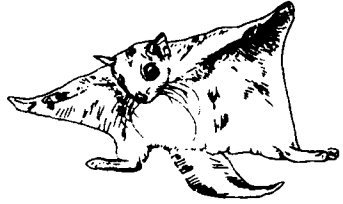
Dinozorlar yok olduktan sonra biz memeliler başa geçtik. Dünyanın büyük bölümünde de iktidarın nimetlerini plasenta taşıyan memeliler (plasentalılar) kaptı. Gelgelelim Avustralya'da böyle olmadı. Burada saltanatın başında yavrularını dış keselerde büyüten memeliler (keseliler) vardı. Farklı evrimsel soylardan gelmelerine rağmen bu iki memeli yayılımı aynı ekolojik nişleri aynı biçimde dolduran birçok tür ürettiler.

Ders kitabı yazarları Avustralya'daki keselileri başka yerlerdeki plasentalı ikizleriyle aynı sraya sokmayı pek severler. Köstebekler, uçan sincaplar, dağsıçanları – kurulan paralelliklerden bazıları o kadar kesindir ki, keseli formu Kuzey Amerika'daki evinizin arka bahçesinde karşınıza çıksa hiç şaşırmazsınız. Açıkçası keseli sansarı ben de beğeniyorum, hem kedi gibi görünüyor ve davranıyor hem de iyi ev hayvanı olur diyorlar. Ama belki de en iyi (ve kesinlikle en üzücü) örnek Tazmanya kaplanıdır. Kurda çok benzeyen bir üst etçil, öyle ki dar burnuna ve dik kuyruğuna rağmen bu yaratıklardan biri alınıp kolayca Westminster'daki En Güzel Köpek yarışmasına götürülebilir. Bu türün köpeğe ne kadar benzediğine siz karar verin: Youtube'a girip "Tazmanya kaplanı" diye aratın, bulacağınız siyah beyaz videolarda bu hayvanların kuyruk sallayışını, kemik kemirini, oraya

KESELİ



PLASENTALI



Avustralya keselileri ve onların yakınsak plasentalı benzerleri (yukarıdan aşağıya):
keseli köstebek-köstebek, şeker planör-uçan sincap, vombat-dağısıcanı,
keseli sansar-yaban kedisi, Tazmanya kaplanı-kurt

buraya sığıracıyışını, ailenizin köpeği Buster gibi etrafa bakışını izleyin. Ne yazık ki Tazmanyalı kaplanlarının nesli tükendi, bundan yüz yıl önce Tazmanyalı çiftlik sahipleri soylarını tüketti ve videolar da türün son bireylerinden kalma görüntüler.

Evrım taklitçiliği doğa dünyasında yer yer karşımıza çıkmaktadır. Yeni Dünya ve Eski Dünya akbabalaları sahip oldukları cenaze levazımatçısı çehresi açısından yakınsak biçimde çirkindirler. Avustalya'nın ölüm engerekleri kobra familyasının bir üyesidir, ama görünüş (ve zehir terkibi) açısından uzak akrabası olan, Afrika'daki engerekgiller familyasının üyesi şişen engerek yılanıyla neredeyse aynıdır. Yılanbalığına benzer bedenler yalnızca çeşitli balık türlerinde değil, sucul iki yaşamlılar ve sürüngeenlerde de çok kez evrimleşmiştir. Afrika'nın kuru bölgeleri keskin dikenli, yapraksız, sert kabuklu bitkilerle kaplıdır; ama bunlar Yeni Dünya'nın kaktüslerinden değil, sütlegendir (sütlegengiller familyasının üyesidir).

Bu evrimsel öykünme, biyolojik âlemleri dahi tanımayıp aşmaktadır. Örneğin bağırsak solucanları, (doğru bir isimlendirmeyeyle) yassisolucanlar şubesinin, omurgalıların (belki siz ve ben dahil) bağırsaklarında yaşayıp boyu 10 metreye, belki daha fazlasına kadar uzayabilen bir üyesidir. Ön ucunda bağırsak duvarına tutunmasını sağlayan çengel ve vantuzları bulunur. Boyun bölgesinde embriyoları içeren kısımlar üretir ve besin emilimine yaradığı düşünülen küçük çıkmalara sahiptir. Bedeninin bu bölgesinin önüne doğru yeni kısımların üretilmesiyle eski kısımlar sürekli arka tarafa doğru itilir. Sonunda ilgili kısım hayvanın arkasında sona ulaştığında embriyolar bırakılır veya bütün bir kısım kopup bağırsak boşluğuna düşer, ardından da siz onu kaka yapıp çıkarırsınız. Bağırsak solucanı şanslıysa hacetinizi açık havada yapıyorsunuzdur ve embriyolar çocukluk aşaması için taşıyıcısına, yani oralarda otlamakta olan bir inek gibi içinde gelişip büyüyecekleri bir otobura ulaşabilirler. Sonra bu ineği de bir yırtıcı (sizin gibi) yeterince pişirmeden yerse, içli dışlı olunabilecek yeni bir arkadaş bulunmuş demektir ve döngü yeniden başlar.

Bu yaşam tarzında muhtemelen iştahınızı kaçırmak haricinde pek de olağanüstü bir yön yoktur aslında; birçok başka parazit de hayatlarını benzer biçimde sürdürür. Bu vakada alışılmadık olan şey,

Haplozoon cinsine dahil, dinoflagellatlar da denilen ateşrengi alglerin hikâyesidir. Ateşrengi alglerin çoğu gayesizce okyanusta sürüklenerek yaşar ve çoğu da fotosentez yapar (yani büyümek için Güneş'in enerjisinden faydalanır). Ama *Haplozoon* böyle değildir. Parazit biçiminde deniz solucanlarıyla yaşayan bu organizmalar, sadece tek bir hücreden oluşmalarına rağmen bağırsak solucanlarının beden yapısına ve yaşam döngüsüne paralel bir nitelik taşımaktadır. Bağırsak duvarına tutunmak için ön taraflarında bir vantuz ve çengeller vardır, küçük çıkmalarla beraber bedeninin ortasından başlayan ve sonradan yeni kısımlar geliştikçe hareket eden, sonunda da bedeninin sonundan kopup ayrılan üreme için yumurta üreten kısımlara sahiptirler, bu sayede tıpkı bağırsak solucanlarındaki gibi solucanın vücudundan dışkılanarak atılırlar ve yeni taşıyıcılarını bulmak üzere boşta sürüklenmeye başlarlar. Ateşrengi alglerin bağırsak solucanlarıyla ve diğer hayvanlarla ortak ataya sahip olmalarının üzerinden belki de bir milyar yıl geçmiş olması bu yakınsama vakasını olağanüstü kılmaktadır.

Yakınsak evrim örneklerinin listesi biyolojik dünyanın en ücra köşelerine uzanacak kadar uzun ve ilginçtir. Yakınsamayı görmek için o kadar dolaşmamıza da gerek yok aslında; kendi türümüz de birçok örnek sunmaktadır.

Homo sapiens sadece 100 bin yıl önce Afrika'da ortaya çıktı ama bu kısa süre içerisinde dünyayı fethettik ve dört bir yanına yolculuk edip uyum sağladık. Bunu yaparken de farklı bölgelerdeki topluluklar Himalayalar'ın en yüksek yerlerinden And Dağları'na, kıtaların kuzey uçlarından yakıp kavuran çöllere dek benzer habitatlara yerleşti. Sahne yakınsama için uygundu ve doğal seçim bizi hayal kırıklığına uğratmadı.

İnsan topluluklarında deri rengindeki çeşitlenmenin uyumsal önemi uzun süredir tartışılmaktadır, fakat deri renginin iki etmen arasında bir dengeyi yansıttığı yönünde ortak bir görüşe doğru da ilerlendiği görülmektedir. Bir taraftan, derinin içindeki yüksek melanin içeriği tarafından üretilen daha koyu renk, özellikle ekvatorial bölgelerde yoğun olan morötesi ışımaya karşı korunma sağlamaktadır. Diğer taraftan da, morötesi ışınlar D vitamini üretimi açısından

önem taşımaktadır. Güneş ışığının daha az yoğun olduğu yüksek enlemlerde vitamin artırıcı morötesi ışınların vücuda alınmasını çoğaltmak için açık deri rengi tercih edilmektedir.

Bizim türümüz Ekvator'u çevreleyen Afrika'da ortaya çıkmıştı. Bu nedenle ilk insanların koyu tenli olması muhtemeldir. Bu vargı evrimsel soy ilişkisi temelinde bakıldığında mantıklı gelmektedir; evrim ağacının alt kısımlarından çıkan dallar Afrika'nın koyu tenli insanlarıdır. Ağacın üst taraflarında Afrikalı topluluklardan ortaya çıkan Avrupa ve Asya'nın daha açık tenli toplulukları vardır. Bu filogenetik ilişkiler koyu rengin insanlarda atalardan gelme bir gelenek olduğu, daha açık renklerin de ondan evrimleştiği konusunda tereddüde pek az yer bırakmaktadır.

Genetikçiler deri renginden sorumlu değişiklikleri keşfettiler ve Asya kökenli insanların açık renkliliğinin Avrupalıların açık rengine neden olanlardan daha farklı mutasyonlardan kaynaklandığı ortaya çıktı. Bu genetik farklılıklar farklı topluluklarda açık deri renginin kuzeydeki bölgelere doğru yerleşim yerleri kurdukça bağımsız biçimde (yakınsak şekilde) evrimleştiğinin güçlü bir göstergesi.* Buna karşılık Aşağı Taraf'a yaklaşık 50 bin yıl önce ulaşmış olan Avustralya yerlileri Aborijinlerin ataları da büyük olasılıkla açık deri rengine sahip Asyalıların soyundan geliyordu. Dolayısıyla onların koyu deri renkliliği de Afrikalı toplulukların tonuyla yakınsaktı.

İnsan topluluklarında görülen bir başka yakınsama vakası da yetişkinlerin süt içme kabiliyetiyle ilgilidir. Memelileri tanımlayan özelliklerden biri de yavrularının büyümesini desteklemek için anne sütü üretimidir. Genç memeliler bu sütü hazmedebilmek için, sütün aslen şeker olan önemli bir bileşenini, laktozu parçalamaya yarayan laktaz adlı enzimi üretirler. Büyüyen memeli süttten kesildiğinde enzime artık ihtiyaç kalmadığı için laktazı üreten gen faaliyetini bitirir. Bu durum insan topluluklarının çoğunda ve diğer tüm memeli tür-

* Yakınsama kalıbı yine kuzeydeki bölgelerde yaşamış ve *Homo sapiens* topluluklarının hiçbirinde bulunmayan bir mutasyon sonucu açık renk evrimleşmiş olan bizim en yakın akrabalarımıza, Neandertallere dek uzanıyor.

lerinde yaşanır. Örneğin kediler bilinenin aksine süt içmeye uyumlu değildir. Yetişkin bir kediye sütle beslerseniz, genellikle ishale sonuçlanan bir sindirim bozukluğu yaşar. Aynı durum birçok insan topluluğundaki yetişkinler için de geçerlidir; yetişkin insan nüfusunun %65'i laktoza tahammülsüzdür ve onlar açısından süt içmek nahoş bir deneyimdir.

İnsan nüfusunun kalan üçte birlik kısmı daha kısmetlidir. Bu bireyler memeliler dünyasındaki herkesten farklı biçimde süttten kesilmenin ardından süt içmeye devam etmeyi nasıl başarmaktadır? Yanıt ineklerdedir.

Dünyanın bambaşka bölgelerindeki (Doğu Afrika, Ortadoğu, Kuzey Avrupa) insanlar son birkaç bin yıl içerisinde sığır gütmeye başladılar. Hayvancılığın neden başka yerlerde değil de, buralarda gerçekleştiği antropologlar arasında da tartışma konusu; fakat bu insanların inek beslemeye birbirlerinden bağımsız şekilde başladığını biliyoruz.

İneklerle beraber hazır bir süt kaynağı da geldi. Doğal seçim bu cömertlikten faydalanmak için hızla bir çözüm bularak laktaz genini küçük yaşlarda kapamak yerine yaşam boyunca devrede tutan genetik değişiklikleri destekledi. Soğuk bir bardak süütün (keza milkshake, dondurma ve peynirin) keyfini sürenler, sizlere bunu yapabilmenizi sağlayan genetik malzemeyi bahsettikleri için sığır güden atalarınıza teşekkür edebilirsiniz. Birden fazla insan topluluğu yakınsak biçimde aynı uyumsal çözümü evrimleştirmiş olsa da, genetik analizler bunu tümüyle aynı biçimde yapmadıklarını gösteriyor. Evrim sayesinde farklı popülasyonlarda farklı mutasyonların (her biri aynı laktaz genini açık tutma etkisini yaratmak üzere) geliştiğini görüyoruz.

Biz insanlar birden fazla popülasyonun aynı biçimde uyum sağladığı tek tür değiliz. Aslında böylesi tür içi yakınsamalar epey yaygın: Alabama kıyı faresi popülasyonları göz kamaştırıcı beyaz kumsallara yerleştikten sonra tekrar tekrar açık renkli kürk evrimleştirmiştir; Meksika tetrasının (akvaryumcuların aşına olduğu balık türünün bir akrabası) birçok popülasyonu sualtı mağaralarına taşınınca

pigmentlerini ve gözlerini kaybetmiştir; pürüklü derili su kelerinin birçok popülasyonu kendilerini avcısına, Kuzey Amerika'nın yerli yılanlarından *Thamnophis sirtalis*'e karşı savunmak için yüksek düzeyde tetrodotoksin geliştirmiştir (aynı toksin, balon balığı olarak bilinen kurbağa balığında ve fuguda da bulunur); buna karşılık birçok yerde *Thamnophis sirtalis* popülasyonları da bu toksine fizyolojik direnç geliştirmiştir. Böyle uzun uzun devam edebilirim. Yakın akraba popülasyonlar aynı seçim çevresine maruz kaldıklarında aynı yolla uyum sağlamaya meyillidir.

Şu ana dek benzer ortamlarda yaşayan iki tür arasındaki yakınsama üzerine konuştuk. Derin tarihsel köklere sahip bir fikirdir bu. Darwin bundan *Türlerin Kökeni*'nin birkaç yerinde bahsetmiştir, o zamandan beri de evrim biyologları bu konu üzerinde tartışmaktadır. Ayrıntılarını aktardığım üzere fikir aslında eski olsa da, son yıllarda yakınsamanın düşündüğümüzden çok daha yaygın olduğunun farkına varmamızla beraber yeniden canlandı.

Öte yandan konuyla bağlantılı sadece birkaç on yıla dayanan bir geçmişe sahip, yeni filizlenmiş, daha yakın tarihli fikirler de var. Darwin'in fikri tek bir seçim etmenine ve birden fazla türün nasıl aynı biçimde evrimleştiğine odaklanır, fakat yakınsama aynı çevresel zorluğa uyum sağlayan bir tür kümesiyle niçin sınırlı olsun? Ele alacağımız belirli bir yerde, her biri kendi ekolojik nişine uyum sağlamış geniş bir tür çeşitliliği olacağını biliyoruz. İki yer çok benzerse, bir yerdeki her bir uyumsal formun diğer yerdeki yakınsak karşılığına benzemesiyle, doğal seçim devasa bir yakınsak örnekler topluluğu üretmez mi? Bu evrim biyolojisinde yeni ortaya çıkmış bir fikir ve henüz daha yeni yeni araştırılıyor. Ve bu araştırmaların çoğu da adalarda yapılıyor.

KOPYALANMIŞ SÜRÜNGENLER

13 yaşındayken ailemle beraber büyük halamı ziyaret etmek üzere Miami'ye gitmişiz. Bu tür yolculuklarda hep yaptığım gibi, Güney Florida'nın gür yeşilliklerine dalıp etrafı didik didik ederek en sevdiğim pullu hayvanları arıyorum. Arayışım başarılı oluyor. *Anolis carolinensis*, Florida anole kertenkelesi adıyla bilinen küçük bir kertenkele yakalıyorum.

Hayvan ticaretinde yeşil anolelere sık rastlanırdı (halen de öyledir), o yüzden okulda kertenkeleler üzerine bilim projesi gerçekleştirmek istediğimde, ilk akla gelen denek adayları onlardı. 8. sınıfta yeşil anolelerin arkalarındaki zemine uyum sağlamak için renk değiştirip değiştirmediğini araştırdım (genel düşünüşün aksine değiştirmezler); 12. sınıfta baharda üremeyi neyin tetiklediğini bulmaya çalıştım (proje başarısız oldu, ama cevabı gün ışığının uzunluğunun artmasıdır).

Böyle böyle hazırlanarak üniversiteye herpetoloji okumaya kararlı şekilde başladım. İkinci sınıftayken bir yüksek lisans öğrencisi *Anolis* kertenkelelerini –başka ne olabilirdi?– konu edinen bir saha

çalışmasında kendisine yardım etmem için beni Jamaika'ya davet ettiğinde pek fazla düşünmem gerekmedi. (Tennis raketimi getirmeme gerek olmadığı söylenince hayal kırıklığına uğramıştım elbette; anlaşılan saha çalışması tam olarak beklediğim gibi geçmeyecekti.)

Yeşil anole Kuzey Amerika'nın tek yerli *Anolis* türüdür* ama bu cins başka yerlerde çok daha verimlidir. Sadece Küba'da 60'tan fazla tür vardır, Orta ve Güney Amerika topraklarında bu sayı 250'ye ulaşır. Küba'nın onda biri büyüklüğündeki Jamaika yedi türe sahiptir.

İlk durak, adanın kuzey kıyısındaki bir deniz laboratuvarıydı. Deniz biyologlarının Karayip mercan resiflerini incelemesi için mükemmel uygunluktaki bu yerde laboratuvar, kertenkelelerle kayna-yan yemyeşil orman sayesinde ikinci bir müşteri topluluğu edinmeyi başarmıştı. Paletlerden, deniz gözlüklerinden, şnorkellerden vazgeçen kara biyologları laboratuvarı Jamaika'nın kara faunasını inceleme üssü olarak kullanmaktaydı.

Geldikten sonra kertenkele çeşitliliğini fark etmemiz fazla uzun sürmedi; her yerdeydiler ve dikkatleri üzerlerine çekme konusunda hiç mahcubiyet göstermiyorlardı. Erkek anoleler (bazı türlerinde dişiler de) boğazlarının altında gerdan dediğimiz bir deri kanada sahiptir. Hareketsizken gerdan katlanır, sadece çenenin alt tarafından göğse doğru uzanan bir deri çıkıntısı olarak görülür. Fakat kertenkelenin yapması gereken bir duyuru varsa ("Kaybol birader, burası benim alanım," ya da "Hey hanımlar, bana bir bakın. Benden iyi bir baba olur.") gerdan dışarı çıkar, çeneden aşağı doğru kabarır ve açılabilmek için genellikle kertenkelenin bacaklarını germesine ve vücudunun havaya kalkmasına sebep olacak büyüklükte bir yarı çember oluşturur.

Kertenkeleler bitki örtüsünün her yerinde karşımıza çıkıyordu. En yaygın tür, en karasal olanıydı: Jamaika çalı anolesi. Bu küçük arkadaşlar ya bir çalıdan diğerine sıçrayıp duruyor ya da bir ağacın alçak kısımlarında alanlarını gözleyerek vakit öldürüyordu. Yere ya-

* Son yıllarda Karayipler'de 10 farklı tür daha tespit edildi.



Jamaika habitat uzmanları (sol üstten başlayarak saat yönünde): Garman anolesi (*Anolis garmani*); Graham anolesi (*Anolis grahami*); Jamaika çalı anolesi; Valenciennes anolesi (*Anolis valencienni*, Jamaika dal anolesi)

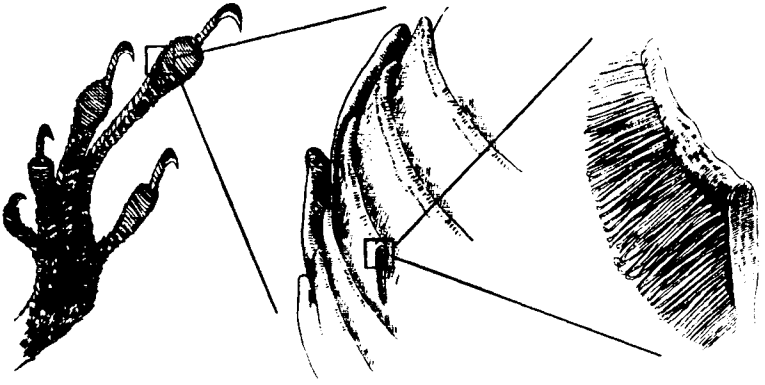
kın konumlandıkları için donuk açık kahverengilikleri arkalarındaki zeminle örtüşüyordu.

Ağaçların üstlerindeyse başka bir durum vardı. En çok, Jamaika çalı anolesiyle aynı boyutta başka bir türe rastlanıyordu. Ağaçların her tarafında (yüksekte, alçakta, gövde üzerinde, dallarda koşuşturan) Graham anolesi, çalı anolesi ne kadar süssüzse o kadar göz alıcıydı: Muazzam bir zümrüt yeşili başını, gövdesini, ön ayaklarını kaplıyor, belinde koyulaşarak maviye, kuyruğunda çini mavisine dönüyordu; beyaz noktalar ve kıvrımlı çizgiler vücudunu kuşatarak organik bir QR koduna dönüştürüyordu. Yetmezmiş gibi, erkekler vücutlarındaki çeşitli mavi tonlarıyla kontrast oluşturan parlak turuncu gerdanlarını gösterdiklerinde görünüşleri daha da muhteşem bir hal alıyordu.

Graham anolesi baş döndürücü olsa da, Jamaika kertenkeleleri güzellik yarışmasını kazanamaz. Bu ödülü onun daha büyük ağaçları mesken tutan kuzeni, Jamaikalıların yeşil guana adını verdiği Garman anolesi hak etmektedir. Yerelde verilen isim yeşil görüntüye kanmaktadır, oysa arkasında uzanan ve tarih öncesinden gelme bir ejderhadan ödünç alınmışa benzeyen sivri uçlu sırtı uçuk yeşil bir ceketle örtülüken gözünün etrafında sarı bir halka görülmektedir. Graham anolesinden iki kat uzun ve sekiz kat ağır olan yeşil guana Jamaika kertenkelelerinin kralıdır ve hüküm süren bir tiran olarak akşam yemeklerinde böceklerin ve meyvelerin yanı sıra kendisinden küçük akrabalarını yemekten de geri durmaz.

Anole klanının ağaçlarda yaşayan bir üyesi daha vardır, fakat onun terzisi farklıdır. En gösterişli giysileri takıp takıştıran akrabalarının aksine Jamaika dal anolesi *Anolis valencienni* fazla öne çıkmamayı tercih eder. Griye çalan beyazlıkta, kahverengi lekeli giysisi hiç göze çarpmadığı için arkasındaki ağaç zeminle hemen kaynaşır, ince hatları sayesinde de üzerinde durduğu dallarla bütünleşir.

Bu pullu gökkuşağı paleti, Jamaika *Anolis* kertenkelelerinin çeşitliliği açısından iyi bir giriş oldu belki ama evrimsel hikâyelerinden pek az bahsedebildik. Aslında türler, renklerinin dışında birçok başka özellikleri itibarıyla da farklılaşmaktadır. En etkileyici özelliklerinden biriyle başlayalım. Bu kertenkelelerin ayak parmaklarının her



Bir anolenin ayak parmağının altı. Ayak tabanındaki pullar çok küçük milyonlarca sert kılla kaplanmıştır.

birinin ucunda yassı, oval biçimli şişkinlikler bulunur. Kertenkeleleri sırt üstü çevirirseniz bu parmak uçlarının alt taraflarının hafifçe üst üste binmiş, dikdörtgen pullardan oluştuğunu ve bunların parmak ucunun başında küçük pullarla başlayıp ortada genişlediğini, en uçta yine küçüldüklerini görürsünüz.

Parmağınızı nazikçe bu tabana sürerseniz, hafif bir direnç hissedersiniz; taban, hareket etmesine bile gerek kalmadan bir kısıtlayıcı kuvvet uygulamaktadır. Kertenkeleyi ayak parmak tabanları yüzeye değecek şekilde yatay bir cam plaka üzerine koyun. Ardından yavaş yavaş camı bir ucundan kaldırmaya başlayın. Cam dikeyleşmeye yaklaştıkça, kertenkelenin vücudu aşağı doğru sarmaya başlar, fakat ayak parmak uçları kütle çekime karşı direnerek cama sımsıkı takılmış halde yerinde durur. Camı 90 dereceyi aşacak şekilde eğmeye devam ettiğinizde, kertenkele camla tek temas noktası dört ayağı (daha kesin bir ifadeyle yirmi ayak parmağı) olmak üzere Örümcek Adam misali iyice baş aşağı sarmaya başlar. Kimi zaman kertenkele cam tamamen ters çevrildiğinde bile tutunmasını sürdürür.

Biliminsanları kertenkelelerin bu yapışkanlığının sırrını çözmek için yıllarca kafa yordular. Acaba pençeleri camın içinde tutunacak çok minik delikler mi buluyordu? Hayır. Vakum gücü müydü?

Ayak parmak tabanlarındaki çok küçük çengeller cırt cırt misali tutunuyor olabilir miydi? Yoksa yapışkan sıvı bir salgı mı? Yukarıdakilerin hiçbiri.

Anolelerin ayak parmak tabanlarının, seta adı verilen ve her biri insan saçından çok daha ince mikroskobik filamentlerin milyonlarca ile kaplı olduğu uzun süredir bilinmekteydi. Bir başka kertenkele çeşidi olan (çoğunlukla sıcak bölgelerde, genellikle de geceleri duvarlarda ve diğer dikey yüzeyler üzerinde koşuşturduklarını gördüğümüz) gekolar da, setalarla kaplı ayak parmak tabanlarına sahiptir ve yapışmada anolelerden bile iyidirler. Setalar yapışmada büyük ihtimalle bir rol oynuyordu, ama bunu nasıl yaptıkları açığa kavuşmamıştı.

Sonunda 2000 yılında bir araştırma ekibi sonuca ulaştı ve ulaştıkları sonuç bilimkurgulara taş çıkarır nitelikteydi. Bahsi geçen milyonlarca setadan her birinin yüzeyinde serbest elektronlar vardı ve bu elektronlar doğru şartlar oluştuğunda camın veya başka bir nesnenin yüzeyindeki elektronlara bağlanabiliyordu. Bu bağlanmalar (teknik ismiyle Van der Waals kuvvetleri) bir kertenkelenin tek bir ayak parmağıyla asılabilmesine, hatta düşerken ayağını bir yaprağa değdirerek tutunabilmesine yetecek kadar güçlü olabiliyordu. Sıkıysa bunu da yap, Örümcek Adam!

Tesadüfen ulaşılan bu bulgu yer yer “geko bilimi” denen yepyeni bir mühendislik dalının önünü açtı. Şu an kullandığımız en iyi yapıştırıcıları düşünün; japon yapıştırıcısı, selobantlar vs. Yapıştırdığınızı tekrar yerinden çıkaramazsınız, çıkarsanız geride yapışkan kalıntısı olur. Kertenkelelerin ayak parmaklarıysa güçlü yapışmalarını rahatlıkla geri alabildikleri gibi, yüzeyden ayrıldıklarında geride hiçbir kalıntı bırakmıyor. Bu nedenle giderek artan sayıda araştırmacı, kertenkelelerin ayak parmaklarının sihrinin kullandığımız ürünlere nasıl taşınacağını çözmeye uğraşmaya devam ediyor. İlk sonuçlardan biri 2008 yılında yara kapatmada kullanılmaya başlandı.

Jamaika’daki anolelere dönelim. Bütün anoleler gibi onlar da güçlü yapışkan ayak parmaklarına sahipler. Ama bazıları daha da yapışkan. Benim eski doktora öğrencilerimden (şu an profesörlüğe hak kazanmış önemli bir biliminsanı oldu) Duncan Irschick’in öncülüğünü yaptığı bir metoda göre bir kertenkeleyi kuvvet levhası denen

bir aygıtın üzerine koyar, ardından nazikçe geriye doğru çekerseniz, çekilmeye karşı direnme çabasıyla kertenkelenin ayak parmaklarının kuvvet levhasına ne kadar kuvvet uyguladığını ölçebilirsiniz.

Irschick'in çalışmalarından çıkan sonuç nettir: Bir anolenin uygulayabildiği tutunma kuvveti miktarı, ayak parmaklarının taban büyüklüğüyle orantılıdır. Peki, en büyük ayak parmak tabanı kimdedir? Birincilik çok büyük farkla Jamaika anolelerinin en büyüğü olan yeşil guanaya aittir. Diğer üç tür yaklaşık olarak aynı boyuttadır, ama ayak parmak tabanları çok farklıdır: İçlerinde en ağaçsılı olan Graham anolesinin ayak parmak tabanları, karasal çalı anolesine oranla neredeyse üç kat büyüktür.

Ağaçsıl kertenkelelerin daha iyi yapışma becerisine ihtiyaç duymalarının iki nedeni daha var. Birincisi, ağaçlarda yaşayan kertenkeleler bazı tropik ağaçların pürüzsüz gövdeleri veya yapraklar gibi yapışmanın daha zor olduğu kaygan yüzeyleri daha sıklıkla kullanıyor. Bu tür yüzeylerde asılmak için daha güçlü bir kavrayış gerekiyor. İkincisi, bir ağacın tepesinden düşmek, yerden yarım metre yüksekteki bir tümsekten düşmeye göre çok daha büyük bir sorun. Anolelerin çoğu böyle bir düşüşten zarar görmeyecek kadar küçük; ama ağacın yüksek yerlerine yeniden tırmanmak, hem harcanan enerji hem de yırtıcılara karşı savunmasız kalma açısından çok ciddi bedelleri göze almak anlamına geliyor.

Jamaika anolelerini karşılaştırdığımızda taşıdıkları bariz anatomik farklılıklardan bir ikincisi de, bacaklarının uzunluğudur. Bu açıdan üstünlük bu kez karasal türlerden, arka ayakları diğer türlerden (yeşil guana örneğindeki beden farkını giderircesine) ciddi ölçüde uzun olan çalı anolesine aittir. Diğer uçta yer alan kertenkelelerin dachshund'u,* dal anolesininse çok kısa bacakları ve uzun bir gövdesi vardır.

Jamaikalı türler, daha genel olarak da Karayipler'deki anoleler açısından bacak uzunluğundaki değişiklikler, kertenkelenin yaşadığı

* Uzun, basık gövdesi ve kısa bacaklarıyla tanınan dachshund, Türkçede takılan ismiyle sosis köpek, 17. yüzyılda Almanya'da porsuk (dachs) avı için özel olarak üretilmiş bir köpek ırkıdır. (Ç.N.)

habitatla bağlantılıdır. Genellikle geniş ağaç gövdelerini ve yeri kullanan Jamaika çalı anolesi gibi türlerin çok uzun bacakları varken, ince dalları kullananlar çok daha kısa uzantılara sahiptir.

Bunun nedenini bulmak amacıyla kertenkeleleri laboratuvara getirerek Kertenkele Olimpiyatları'nı düzenledik. Atletizm yarışlarında ilk müsabaka 2 metre koşusuydu: Kertenkelelerin dar bir hatta depar atmaları teşvik ediliyor ve düzenli aralıklarla yerleştirilmiş kızılaltı ışıklardan geçmeleri yoluyla hızları hesaplanıyordu. Onu uzun atlama izliyor; bu kez de kertenkeleler kış üstüne nazik birer dokuşla sıçramaya özendiriliyordu.

Bu testlerden çıkan sonuçlar çok netti: Kertenkelenin bacakları ne kadar uzunsa, o kadar hızlı koşabiliyor ve uzağa sıçrayabiliyordu. Bu bulgular biyomekanik açıdan mantıklı olsa da bizi tatmin etmedi; kısa bacakların avantajı neydi?

Yanıtı pentatlonla ulaştık. Kertenkelelerin ne kadar hızlı koşabildiklerini yeniden ölçtük, ama bu kez onları çapları çok genişten çok dara kadar değişen beş farklı yüzeyde koşturduk. Kestirimimize göre, geniş yüzeyde en enerjik olanı uzun bacaklı tür olacak, kısa bacaklı dal türü de doğada kullandıkları ince dallara benzeyen dar çubuk üzerinde daha hızlı olacaktı.

Yanlış! Türlerin hepsi dar yüzeyde daha yavaş koştu ve dal türü bu yarışta diğerlerinden daha hızlı değildi. Kısa bacaklar, dar yüzeylerde hızlı hareket etmek için bir uyarlanma değildi.

Kertenkeleleri yarıştırtırken kimi zaman tökezlediklerini, hatta yüzeyden tamamen aşağı düştüklerini fark ettik. O sırada bu hataları kaydedip geçmiştik, oysa bunun bulmacanın kayıp parçası olduğunu daha sonra anlayabildik. Türlerin hiçbirisi geniş yüzeylerde fazla sorun yaşamamış, denemelerimizin sadece yaklaşık yüzde yirmisinde talihsizlik yaşanmıştı. Dar yüzeyde dal türü etkilenmeden yoluna devam etmiş, uzun bacaklı tür ise müthiş zorlanma yaşayarak yapılan denemelerin dörtte üçünden fazlasında kaymış veya tümünden düşmüştü. Yanıtımız buradaydı: Kısa bacaklar dar yüzeylerde hız için avantajlı değildi, sadece bu tür zeminleri sorun yaşamadan atlatabilme yönünden avantajlıydı.

Geriye dönüp baktığımda bizim beklentimiz de bu olmalıydı, diyorum. Kertenkeleleri doğal habitatlarında saatlerce gözlemledik. Uzun bacaklı türler avlarını yakalamak veya kendilerine saldıranları atlatmak için çoğu zaman en yüksek hıza çıkıyordu. Dal türleriye diğerlerinin aksine hıza değil, esasen gizliliğe ve dikkat çekmemeye dayanıyorlardı. Avlarına geldiklerini hiç hissettirmeden, iyi kamuflle olmuş şekilde, ağır ağır yaklaşıyorlar; tehdit oluşturan bir yırtıcı gördüklerinde ise dalın diğer tarafına doğru yanaşiyor ve adım adım uzaklaşıp kayboluyorlardı. Bu tür bir yaşam biçiminde asli unsur sü-ratten ziyade kıvraklıktır ve kısa bacakların sağladığı avantaj da budur.

Jamaika adası aslında öncesinde ada da değildi. Orta Amerika'nın bir parçası olarak Meksika'daki Yucatan civarına bağlıydı. Bundan yaklaşık 50 milyon yıl önce Jamaika ile kıta birbirinden ayrıldı ve ortaya çıkan ada Karayip Denizi'nin doğusuna doğru kaydı. Ada, bunlar olurken üzerinde yaşayanlarla birlikte sular altında kaldı; milyonlarca yıl sonra tekrar ortaya çıktığında da, geleceği için bembeyaz bir sayfa açtı. Geriye yeni evrim tiyatrosunda ayakta kalmanın çaresini bulan ilk aktörler kaldı.

Bu sırada Karayip Denizi'nde başka bir adadan, muhtemelen Küba'dan çıkıp sürüklenerek gelen ata Jamaika anolesi kıyıya ulaştı. Zaman içerisinde başlangıçtaki türün soyundan birçok başka tür üredi* ve bu türler habitatın değişik parçalarına uyum sağlayarak evrim yoluyla renk, ayak parmak tabanı, uzuv ve benzeri farklılıklar geliştirdiler.

* Türleşme süreci (bir ata türün çok sayıda torun tür şeklinde çeşitlenmesi) evrim biyolojisindeki en önemli meselelerden biridir ve başlı başına bir kitap konusu olabilir (hatta böyle kitaplar da vardır). İki popülasyon, kendi arasında çiftleşmeyip doğurgan yavrular üretmediğinde veya üretmediğinde, ayrı türler olarak kabul edilmektedir. Anoleler örneğinde gerdan hikâyesinin önemli bir parçası gibi görünüyor; anoleler kendi türlerindeki kertenkeleleri başka türlerin üyelerinden renk ve gerdan biçimleniş yoluyla ayırt ederek bu sayede melezleşmeyi engelleyebiliyorlar. Dolayısıyla anolelerde türleşme genellikle farklı gerdan süslemelerinin evrimleşmesinin sonucudur. Anolelerde veya genelde bunun nasıl olduğu tartışma konusudur. Coğrafi ayrılık, iki türün gen havuzlarının birbirine sürekli karışmasını engelleyerek farklılaşmasına izin verdiği için önem taşıyor olabilir. Popülasyonları farklı yönere iten doğal seçim de yakınsamayı hızlandırabilir. Evrim biyologları şu anda bu iki etmenin önemini tartışmaktadır.

Bu yakınsak evrimin sonucunda, hepsi jeolojik açıdan ortak bir atadan gelen ve her biri kendi ekolojik nişine uyum sağlamış bir dizi tür ortaya çıktı. Biyologların bu olguya verdiği bir isim var (buna uyumsal yayılım diyoruz) ve birçok biyolog bunun evrimsel çeşitlenmenin en önemli yönlerinden biri olduğunu düşünüyor.

Uyumsal yayımlar yaygındır ve bilim insanlarınca uzun bir süredir araştırılmaktadır. Darwin'in düşüncesinde de çok önemli yer tutan ünlü ispinozları klasik örneklerdendir. Fakat anolelerin uyumsal yayılımı özeldir. Neden böyle olduğunu anlamak için Karayip-ler'de başka bir yere gitmemiz gerekiyor.

İlk seyahatimden beş yıl sonra, bu kez yüksek lisans öğrencisiyken tezime veri toplamak için yeniden Jamaika'ya gitmiştim. Yine deniz laboratuvarına gittim ve karada kalıp kertenkeleleri inceleyerek bir deniz biyologları topluluğunun daha kafasını karıştırdım.

Fakat bu sefer Jamaika yalnızca ilk durağımdı. İhtiyaç duyduğum verileri topladıktan sonra adadan adaya gezmeye koyuldum. Porto Riko'nun yemyeşil Luquillo Dağı yağmur ormanında yine her bir türün habitatın kendi kısmında yaşadığı, beraber yaşayan bir *Anolis* kertenkeleleri çeşitliliğine rastladım. Ama öyle sıradan bir çeşitlilik değildi bu, Jamaika'da ortaya çıkan aynı habitat uzmanlarıydı. Tepe kapallılığında büyüklük ve görünüş açısından yeşil guanaya benzeyen iri bir tür ile bitki örtüsünün üzerinde dolaşan, çok büyük ayak parmak tabanlarına sahip, daha küçük, yeşil bir başka tür daha vardı. Zemine yakın yerlerdeyse uzun bacaklı, küçük tabanlı, hızlı koşmada ve uzağa sıçramada hünerli, kahverengi bir tür. Dallarda iyi kamufle olabilen, kısa bacaklı, çabuk hareket edemeyen ama dar yüzeylerde sürünerek ilerlemeye uygun bir başka tür.

İşin aslını bilmeseniz, bu birbirine bakan adalardaki örneklerin yakın akraba olduğunu, iki adadaki dal anolelerinin evrim kardeşleri, yeşil guanaların kuzen, uzun bacaklı zemin koşucularının yakın zamanda yaşanmış bir evrimsel yakınsamanın sonucu olduğunu düşünürdünüz. Ama değil. Ekolojik ve anatomik açıdan farklılaşmış Jamaika türlerinin hepsi ortak bir Jamaikalı atadan gelmektedir ve Porto Riko'daki ekolojik eşlerinden çok birbirleriyle yakın akrabadır.

Jamaika bir uyumsal yayılım, Porto Riko bir başka uyumsal yayı-
nımdır; buna rağmen bu iki bağımsız evrimsel yayılma çok benzer
bir habitat uzmanları kümesi üretmiştir. (Aslında eşleşmenin de o
kadar mükemmel olmadığını söylemem gerekir; Porto Riko, Jamaika'da evrimleşmemiş bir örneğe sahiptir, ot sapsarı arasında yaşama-
ya uyum sağlamış bir türdür bu.)

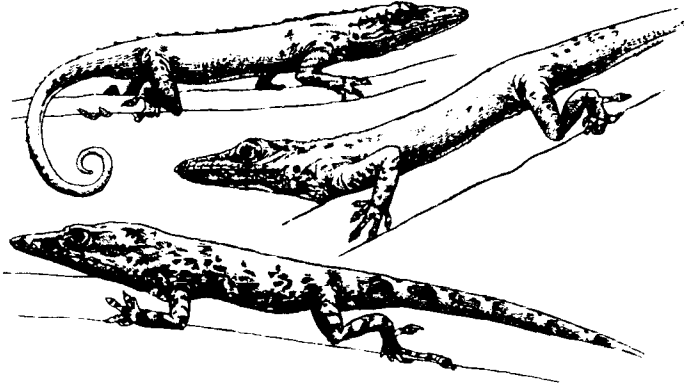
Ertesi yıl Hispanyola adasının yarısında kurulmuş olan Dominik Cumhuriyeti'ne gittim (adanın diğer yarısı hüznü, ama aynı zamanda kertenkele zengini olan Haiti'ydi)*. Orada da bir anole türü çeşitliliğiyle ve yine aynı kopya türlerle, Porto Riko'da bulunan beş habitat uzmanının beşiyle de karşılaştım. Ve yanıt yine soy yakınlığı değildi; benzerliklerine karşın DNA'ları bize bu üç adadaki dal anolelerinin, kahverengi zemin türlerinin ve habitat uzmanlarının birbiriyle yakın akraba olmadığını söylüyordu.

Birkaç yıl sonra nihayet Küba'ya vize alabildim. ABD ticaret ambargosu ve Kübalıların kırsal bölgelerde çalışmayı öneren bir *gringo*'nun aslında adaya çıkarma planı peşindeki bir CIA ajanı olmasından şüphelenmeleri hesaba katılırsa, bu büyük bir başarıydı. Lafı fazla uzatmayalım: Karşıma Küba topraklarında bağımsız biçimde evrimleşmiş yine aynı habitat uzmanları kümesi çıktı.

Büyük Antiller'deki dört adanın *Anolis* kertenkelesi topluluğu da çarpıcı bir benzerlikteydi. Dört adanın her birinde dört tip habitat uzmanı da vardı ve çoğu durumda belirli tipte bir tür, adaların hepsinde o kadar benzerdi ki, hepsini aynı tür sanmak işten bile değildi. Adaların üçünde ek bir habitat uzmanı daha bulundu, ayrıca bahsetmediğim iki tip de sadece Küba ve Hispanyola'da vardı. Bir adada görülüp de bir başkasında evrimleşmemiş çok az tür görülüyordu.

Büyük Antiller anoleleri, kopyalanmış uyumsal yayılım dediği-

* Haiti'ye hiç gitmedim, çünkü yıllar önce Dominik Cumhuriyeti'nden sınırın öte yakasına geçmeyi düşündüğümde çevremdekiler bana, "Muhtemelen öldürülmezsin ama hapse düşersin," dediler. Benden daha cesur meslektaşlarım arasından gidip orada harika şeyler görenler oldu. Ne yazık ki ormanlarında yaşanan büyük çaplı yıkım yüzünden Haiti'deki olağanüstü türlerin pek çoğu, kertenkeleler ve diğer türler büyük bir risk altındadır.



Hispanyola (üstte), Porto Riko (ortada) ve Küba'daki (altta) dal anoleleri.

miz durumun birkaç yıl boyunca iyi belgelenmiş tek örneği konumundaydı. Son zamanlarda başka örnekler de ortaya çıkarıldı ve şu anda tüm bir yayınının yakınsaması, eskiden düşünüldüğü kadar nadir değil gibi görünüyor.

Yakın dönemde ortaya çıkarılan örneklerden biri, adı sanı pek bilinmeyen Japon adalarında görülen salyangozlarla ilgili. Salyangozlar *Mandarina* cinsinden ve ortak bir isme sahip değiller; evleri toplu olarak verilen isimle Ogasavara adaları, Tokyo'nun yaklaşık 1.000 kilometre güneyinde bulunan otuz adadan oluşmaktadır. Uzakta, küçük (toplamda 85 kilometre kadar) ve neredeyse kimse'nin oturmadığı (nüfus 2.400) bu adaların pek bilinmemesi normal görünebilir. Gelgelelim Ogasavara adaları, büyüklük ve insan açısından zayıflığını sahip olduğu doğal güzellikle fazlasıyla telafi etmiş. 2011 yılında Unesco Dünya Mirası listesine kabul edilmiş olan adalar biyoçeşitlilik açısından o kadar zengin ki, yer yer "Doğu'nun Galápagos'u" olarak adlandırılıyor.

Sahip olduğu ünün kaynaklarından birini de adalara yayılmış on dokuz türüyle *Mandarina* oluşturuyor. Anoleler gibi birlikte görülen türler habitat kullanımında her zaman farklılık gösterirler: bazıları sadece ağaçlarda, genellikle de yaprakların üzerinde görülür;

bazıları yarı ağaçsıldır, hem ağaç gövdelerinde hem zeminde karşı-mıza çıkar; kati biçimde karasal türlerse açıkta bulunanlar ve korunak edinenler olarak ikiye ayrılır.

Bu habitat farklılıklarına anatomi farklılıkları eşlik eder. Ağaçsıl türler karasal türlerden daha küçüktür, muhtemelen bunun nedeni ayaklara sahip olunmadığında kabuğu ağacın üst taraflarına taşımamanın zor olmasıdır. Ağaçsıl türler daha büyük kabuk ağzına sahiptir, bu da salyangozun bedeninin daha büyük bir kısmının ağaçsıl yüzeylerle temas edebilmesine olanak sağlar. Yarı ağaçsıl türlerin kabukları düzdür, bu da bitki örtüsündeki dar ve kuytu yerlere sığışma eğilimleriyle uyumludur. İki zemin tipi de birbirinden farklıdır; daha açıkta olan daha soluk renkli ve düzdür.

Diğer bir deyişle, uyumsal yayılım salyangoz tarzındadır. Aynı Karayipler anolelerinde olduğu gibi, salyangoz yayılımı da Ogasavara adalarında kopyalanmıştır. Salyangozlar, adaların birkaçında tek bir ata türden çeşitlenmiş ve farklı habitat uzmanlarından oluşan bir grup üretmiştir. Tıpkı anolelerde olduğu gibi, burada da adalar arasında bir karşılaştırma yaptığımızda, her bir adada aynı habitat uzmanları kümesinin evrimleştiğini görürüz; farklı adalardaki habitat benzerleri bazı örneklerde kabuk anatomisi yönünden ayırt edilemeyecek kadar da yakınsaktır.

Bir başka kopyalanmış uyumsal yayılım örneği de hava âleminde görülür. Bugün dünyadaki beş binden fazla memeli türünün beşte birini yarasa türleri oluşturmaktadır; son sayıma göre kürklü uçan tür sayısı 1.240'ı bulmaktadır. Bunlar içerisinde özellikle başarılı olmuş grup *Myotis* cinsini oluşturan fare kulaklı yarasalardır. Yüzden fazla fare kulaklı türü vardır; hatta Kuzey Amerika'da bir yarasa görmüşseniz, bu büyük ihtimalle küçük kahverengi yarasadır; *Myotis lucifugus* günde vücut ağırlığının yarısı kadar böceği yalayıp yutabilen çok yaygın ve faydalı bir türdür.

Fare kulakları dışarıda tutarsak, *Myotis*'in hepsi benzer görünümde değildir. Geleneksel sınıflandırma, hem anatomik açıdan hem de alışkanlıklar açısından farklılaşan üç ana grup tespit etmiştir. *Selysius* altcinsi dediğimiz bir grup küçük kahverengi tür, havadaki bö-

cekleri avlama peşinde vızıldayıp durur. Ayakları küçüktür ve arka ayakları arasında gerilmiş, böcekleri havada kapmak için beyzbol eldiveni gibi kullandıkları geniş bir zarları vardır. *Leuconoe* altcinsinde yer alanlar dar kanatlı ve genellikle su üstünde avlanan, hatta bazen uzun, tüylü arka ayaklarıyla yüzeyden balık kaldıran yarasalardır. Son olarak *Myotis* altcinsindeki türler avını yapraklardan, dallardan veya yerden toplayan, iri bedenli, büyük kulaklı, geniş kanatlı yarasalardır.

Bu üç altcinsin her biri ayrı zamanlarda evrimleşmiş, ardından da dünyaya dağılarak birçok benzer türü ortaya çıkarmış farklı evrimsel grupları temsil ettiği genel kabul görürdü. Sonra DNA karşılaştırmaları fare kulaklı yarsa dünyasını altüst etti. Araştırmacılar dünyadaki *Myotis* türlerinin dörtte üçünden alınan genlerin dizilenmesi sonucunda anatomiye dayalı geleneksel sınıflandırmanın tamamen yanlış olduğunu buldu. Aynı *Anolis* kertenkeleleri ve *Mandarina* salyangozlarında olduğu gibi, aynı bölgede yaşayan anatomik ve ekolojik açıdan farklı yarasalar birbirleriyle başka bölgelerdeki benzer türlerden daha yakın akrabaydı. Her bir çeşidin tek bir evrimle oluşup dünyaya yayıldığı biçimindeki anlatının yanlışlığı kanıtlanmıştı. Fare kulaklı yarasalar görünen o ki tekrar tekrar uyumsal yayılım geçirerek dünyanın birçok bölgesinde aynı üç çeşide ulaşmıştı.

Anoleler, *Mandarina* salyangozları ve fare kulaklı yarasalar gibi örnekler giderek artıyor. Görünüşe bakılırsa çevresel koşullar farklı yerlerde o kadar benzer ki, doğal seçim bu yerlerin her birinde aynı uzman kümesinin evrimine yol açıyor. Bu yakınsak baskılar o kadar güçlü ki, ortaya çıkan türler bağımsız evrimsel yayınımların ürünü olarak kabul edilmeyip yakın akraba oldukları düşünülebilecek kadar benzer görünümde oluyor.

Vereceğim son iki örnek, Madagaskar'daki canlılar üzerinde yapılan DNA çalışmalarının sonuçlarıyla ilgili olacak. Bundan birkaç yıl önce Madagaskar'daki kurbağaların daha önce düşündüğümüzün aksine Hindistan'daki ekolojik benzerleriyle yakın akraba olmadığını öğrendik. Bu kurbağalar Kırmızı Ada'daki doğal ortamlarında çeşitlenmiş ve Hindistan'dakilere çok benzer mağara sakinleri, ırmağ sakinleri ve ağaç kurbağaları üretmişti.

Madagaskar'ın kuşları da aynı şarkıyı söylemektedir. Son dönemde yapılan DNA analizleri Madagaskar'daki ötücü kuşların gösterdiği büyük çeşitliliğin, Afrika avifaunasına büyük benzerliğine rağmen, esasen ada içi çeşitlenmenin sonucu olduğunu açığa çıkardı. 1. Bölüm'de gördüğümüz gibi aynı durum, Kuzey avifaunasındaki farklı türlerle yakınsak olup apayrı bir ekolojik uzmanlar grubu üretmiş olan Avustralya kuşlarının evrimsel yayılımı için de geçerlidir.

Gould'un düşünce deneyi zamanda geri gitmek, evrimi aynı başlangıç koşullardan başlatmak ve evrimin aynı şekilde ilerleyip ilerlemeyeceğini görmek biçimindeydi. Fakat bu düşünce deneyini tasarlamamanın başka bir yolu daha var. Kasedi zamanda geriye sarıp oynatmaktansa, aynı anda ama farklı yerlerde geriye sarıp oynatsak ne olur? Diğer bir ifadeyle: Birden fazla yerde tümüyle aynı şartları yaratalım ve evrimi aynı başlangıç koşullarından başlatalım; ardından da aynı evrim güzergâhlarını izleyip izlemediklerine bakalım.

Elbette bu *Gedankenexperiment* adını verdiğimiz düşünce deneyi, her şeyin mümkün olduğu ideal bir dünya. Gerçek dünyada böyle bir deney imkânsız çünkü laboratuvar dışında gerçekten tamamen aynı, özdeş iki yer olamayacağı gibi, bu yerler zaman içerisinde aynı olayları ve deneyimleri yaşamazlar.

Yine de adalara boşuna evrimin deney tüpleri dememişler. İzole olmaları onlara bağımsızlık sağlar; bir adada olanlar diğerlerinde olanları etkilemez (hiç değilse yayılma becerileri zayıf türler için). Hiçbir zaman özdeş olmamalarına karşın birçok ada, özellikle de aynı bölge şartlarında olanlar epey benzerlik taşır.

Düşünce deneyini yapan kişi ideal dünyada özdeş kertenkele topluluklarını dört özdeş adaya koyar ve bunların milyonlarca yıl içerisinde nasıl evrim geçirdiğini gözlemler. Bu ütöpik araştırma programı Büyük Antiller'deki *Anolis* kertenkelelerinde gördüklerimizden o kadar da farklı mıdır? Gerçek dünyada doğa Gould'un kasedini geriye sarıp oynatmaya herhalde en fazla bu kadar yaklaşabilir.

Sonuçlar elbette Gould'un teziyle çelişmektedir. Kasetler Büyük Antiller'in dört adasında aynı anda çalınmıştır ve kertenkele ev-

rim sonuçları hepsinde hemen hemen aynı çıkmıştır. Jamaika'nın Küba'yla, Küba'nın da Porto Riko'yla aynı olmaması tezin reddini desteklemektedir; kertenkele evriminin izlediği yol her bir adadaki özel koşullara bağlı değildir.

Aynısı kara salyangozları, fare kulaklı yarasalar ve birçok başka organizma için de geçerlidir. Kopyalanmış uyumsal yayınımalar birçok yerde olmuştur ve sürekli yenileri ortaya çıkarılmaktadır. Görünen o ki evrim kendisini tekrarlıyor; evrim zarı bağımsız biçimde atıldığında ulaşılan sonuçlar tesadüflere karşın temelde aynı olabiliyor.

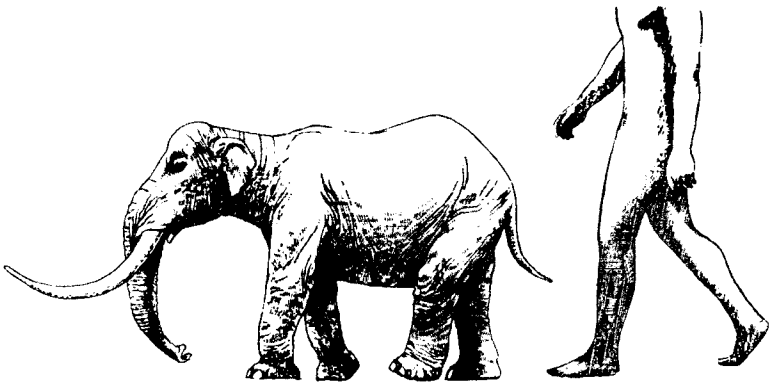
Tahiti, Bermuda, Madeira, Bali. Adaları herkes sever ama hiç kimse bir evrim biyoloğundan daha fazla *nesiophilia* (adalara yönelik ölçsüz arzu ve düşkünlük) sahibi değildir. Darwin parlak fikirlerinin ilhamını meşhur *Beagle* seferindeki ada molalarından almıştı; Güneydoğu Asya'daki inceleme gezilerinde Alfred Russel Wallace da aynısını yaşamıştı. Darwin ve Wallace beraberce doğal seçim yoluyla evrim kuramını oluşturduğundan bu yana biyologlar ne zaman esin kaynaklarını yenilemek isteseler adalara dönerler. Bu çalışmalar sayesinde son 150 yılda evrim konusunda öğrendiğimiz şeylerin çoğunun kökeni ada araştırmalarına dayanmaktadır.

Evrime biyologlarının tekrar tekrar adalara dönmesine sebep olan şey nedir? İki biçimde cevaplayabilirim. Birincisi bir bilim insanının ölçülü ifadeleriyle: Adalar evrimin tekrarlanmış doğal deneyleridir. Okyanustaki her bir ada ya da takımadada başlı başına bir dünyadır, orada yaşanan evrimsel gelişmeler başka yerde yaşananlardan bağımsızdır. Bu, adaları birbiriyle karşılaştırma yoluyla evrimsel potansiyel ve öngörülebilirlik konusunda bir fikir edinebileceğimiz anlamına gelir. Evrim tekrar tekrar benzer nihai sonuçlar üretir mi? Anolelerde ve Ogasavara salyangozlarında üretiyor ama bu sonuç ne kadar genel? Evrimsel çeşitlenmenin muhtemel sonuçları ne kadar değişken? Ada araştırmacıları bunları ada fauna ve floralarındaki benzerlik ve farklılıkları karşılaştırma yoluyla bulmayı hedeflemektedir.

Daha eğlenceli cevap da şu: Adalar süperdir! Kastettiğim orta-

mın güzelliğinden çok, adaların sahip olduğu her biri diğerinden farklı, alışık olmadığımız, hayret verici bitki ve hayvanlarla muazzam çeşitlilik. Örneğin Güney Pasifik'teki dağ kırılganlığından oluşma, bakır çıkarılan yamaçları yağmur ormanlarıyla kaplı bir ada olan Yeni Kaledonya'yı ele alalım. Ormanlarında harika canlılar bulunur: dirseğim kadar gece gekoları, palmiye yapraklarından kendilerine alet yapan mucit kargalar, çiçeklerin ata türlerinden kalma donkişotvari bitki *Amborella*, kafasında boynuzlarıyla sivri kuyruklu dev kara kaplumbağası ve karada yaşayan bir timsah (son ikisi ne yazık ki ilk insan Yeni Kaledonyalılarca yok edildi).

Adalar acayipliklerle doludur. Fakat adalarda evrimleşen onca çılgın tür içerisinde benim en sevdiğim adasal ayrışıklık örneği Taş Yatağı'ndan çıkmıştır. Taş Yatağı, Kaldırım Taşı Sokak, yani Fred Çakmaktaş ve Barni Moloztaş'ın oturduğu yer. Okurlar ya da izleyenler bu hayali dönemde görülen öncü teknolojileri hatırlayacaktır: Ayakla çalışan arabalar, pterodaktillerin havalandırdığı uçaklar, kuş gagasından pikap iğnesi, inşaat vinci *Brontosaurus* — içlerinden biyolojik açıdan en zekice düşünülmüşü ise hiç kuşku yok ki tekerlekler üzerindeki ufak tefek, kılı bir mamutun hortumuyla çalışan elektrik süpürgesiydi.



Malta ve Korsika'da birkaç bin yıl öncesine kadar hayatta kalmayı başarmış olan cüce mamut.

Taş Devri'nin yaratıcısı efsanevi ikili William Hanna ve Joseph Barbera'nın yakın jeolojik geçmişte Yunan adası Girit'te yaşamış gerçek (tezat içeren isimlendirmesiyle) cüce mamutlardan esinlendiklerine kuşku yok. Omuzlarından aşağısı 1 metre 20 santim uzunluğundaki bu mini mamutlar yaklaşık 225 kilogram ağırlıklarıyla hakikaten devasa olan mamut atalarının ancak %3'ü kadardır.

Belki de Hanna ve Barbera'nın kafasında başka bir ada vardı, çünkü çelimsiz kalınderililerin bulunduğu tek yer Girit değil. Dünyada uzun dişli minik filler birçok farklı zamanda, hatta bazıları modern insanlarla aynı dönemde beraber var olacak kadar yakın zamanda ve birçok farklı yerde evrimleşti: Malta'da, Korsika'da, Alaska açıklarındaki St. Paul adasında; Komodo ejderleriyle beraber yaşadıkları Flores'te; hatta Güney Kaliforniya açıklarındaki Manş adalarında.

Bu küçük hortumlunun bu kadar bol miktarda olmasından üç ders çıkarılabilir. Birincisi küçük jumbo soyunun geliştirilmesinden iyi para kaldırabilmek mümkün. Shetland köpeği boyunda bir kalınderiliyi evde beslemeyi kim istemez? Ben iki tane alırım! İkincisi bu da bir yakınsak evrim örneğidir. Bir fili bir odaya koyun, biraz bekleyin, işte karşınızda inanılmaz küçülmüş Hulk.

Fakat daha da önemlisi bu, özel bir hayvan veya bitki çeşidinin aynı koşullara yanıt olarak aynı biçimde evrildiği sıradan bir yakınsama örneği değildir. Ada fillerinde evrimle küçük boy gelişimi, hortumlu grubun ötesine geçip birçok büyük memeli için geçerli olan genel bir evrim ilkesine örnek oluşturmaktadır: Akdeniz'deki birkaç adada ve başka bazı adalarda evrimleşmiş cüce suaygırları, Jersey'de birkaç bin yıllık ada yaşamının ardından %83 küçülen geyikler, bir Endonezya adasında 17.000 yıl gibi kısa bir zaman önce yaşamış bir metreden biraz uzun boylu insangil ("Hobbit" ya da daha teknik ifadeyle *Homo floresiensis*). Dilediğiniz büyük memeliyi bir adaya koyun, büyük ihtimalle küçülecek, bazen iyice ufalıp mini minnacık olacaktır.

Adalardaki bir diğer evrimsel eğilim hava hayvanlarının uçuşa kabiliyetlerini yitirmesidir; kanatlar küçülmekte, bazı kısımları kay-

bolmakta, arada bir de bütün kanat yok olmaktadır. Dünyanın her yerindeki adalarda uçamamazlık sayısız kez evrimleşmiştir: Mauriti-us'ta dodolar, yüzlerce adada sutavukları (tavuk ile balıkçıl kırmısı gibi görünen küçük kuşlar); Hawaii ve Reunion'daki aynaklar; birden fazla adada papağanlar; Galápagos karabatağı; ördekler, kazlar, papağanlar, baykuşlar ve bir doğan dahil olmak üzere birçok başka kuş türü bu durumdadır. Uçma kaybı tüylü dostlarımızla da sınırlı değil. Birçok ada böceği (özellikle kınkanatlılar ama kulağakaçanlar, güveler, cırcırböcekleri, eşekarıları gibi başkaları da) evrimsel olarak karaya oturmuşlar.

Büyük memeliler küçülüyor, kuşlar ve böcekler kanatlarını kaybediyor; adaların evrimsel fireler için biçilmiş kaftan olduğunu düşünmek mümkün. Fakat ağaca takılıp ormanı gözden kaçırmayalım. Adalarda bazı organizma tiplerinin de büyüklüğü artar; bitkiler en temel örnektir. Ağaçlar fazla büyük oldukları için genellikle uzun okyanus yolculuklarına dayanabilecek tohumlar üretmezler. Bunun sonucunda anakara ağaçlarının pek azı adalara ulaşabilir.* Bu, yeni oluşan adaların genellikle yoğun bir bitkilenmeye sahip olmaması anlamına gelir. Ağaçların bu kadar uzun olmasının bir sebebi vardır; göğe uzanan ağaçlara başka bitkiler gölge etmez ve bu sayede güneş ışığını alarak fotosentez olanaklarını en üst düzeye çıkarabilirler. Dolayısıyla ağaç olmayan bir adada türdeşlerinden biraz daha uzun çiçek ve otlar avantaj sahibi olur ve yeterince zaman geçtikten sonra kısa boylu bitkilerin evrimleşerek ağaca benzer biçimler alması beklenabilir. Yaşanan da aynen budur. Anakarada çalı, ot, küçük çiçek olan türler adalarda evrim geçirerek anakaradaki ağaçlardan ayırt edilemez hale gelen, kabuklu, sağlam gövdeli, uzun boylu ağaçlara dönüşmektedir.

Öte yandan evrim kurallarına uymak sadece adalara mahsus değil. Evrimsel öngörülebilirliğin en ünlü iki örneği, memelilerin ve kuşların boyut ve şekillerinin ekvatora olan uzaklığın artmasıyla değişmesine dairdir. Ayıları ele alalım. En büyük iki ayı, Alaska boz

* Palmiyeler hariç. Hindistancevizi okyanusta yüzebilen ve sahile vurduktan sonra çoğalan bir tohumdur.

ayıları ile kutup ayılarıdır ve her ikisi de olabildiğince kuzeyde yaşamaktadır. Benzer biçimde en büyük kedi Sibiryaya kaplanı, diğer kaplan alt türlerinin ve diğer kedigillerin hepsinden epey büyüktür. Adını kuralı formüle eden 19. yüzyıl Alman biyoloğundan alan Bergmann Kuralı'na göre bir tür veya yakın akraba türler içerisindeki bireylerde büyüklük enlemle beraber artış eğilimi göstermektedir.

Şimdi bir kutup ayısını gözümüzün önüne getirelim ve kulaklarına bakalım. Oldukça küçüktür. Kuzeyde beraber yaşadığı komşusu kutup tilkisinin bacakları da yine dikkat çekici ölçüde kısadır. Daha az soğuk iklimlerden tanıdığımız kıvıltı tilkininse tersine büyük kulakları ve uzun bacakları vardır; hatta Afrika çöllerinde yaşayan çöl tilkilerinde bunlar daha da uzundur. Yine bir eğilimle karşı karşıyayız ve bu kez adını 19. yüzyıldaki bir Amerikalı biyoloğa borçluyuz: Allen Kuralı'na göre memelilerin ve kuşların vücut uzantıları yüksek enlemlerde beden büyüklüklerine oranla daha kısadır.

Bu iki kural hakkında büyük tartışmalar vardır ve aslında bunların birçok istisnaya sahip genellemeler olduğu ortadadır. Yine de esas nedenin sıcaklık olduğu konusunda uzlaşma vardır. Kuzeyde endotermik hayvanlar (yüksek vücut sıcaklıklarını korumak için kendi ısılarını üreten hayvanlar*) ısı kaybını en aza indirmek zorundadır. Isı hayvan vücudunun her bir hücresinde üretilir ve hayvanın dış kısmından kaybedilir. Hayvanlar büyüdükçe yüzey/hacim oranları düşer ve bu daha az ısı kaybına yol açar. Vücut uzantılarının kısalığı da ısı kaybını kısıtlar. Sıcak iklimlerde ise sorun tam tersidir; hayvanlar aşırı ısınmadan kaçınmaya ihtiyaç duyar, dolayısıyla vücudun küçüklüğü ve vücut uzantılarının büyüklüğü sayesinde yüzey/hacim oranının daha büyük olması daha çok işe yarar.

İlk kez bundan 150 yıl önce Darwin'in fark ettiği son bir eğilimi daha vurgulayalım: Evcil hayvanlar evrimle birbirine benzer kalıtsal özellikler geliştirme eğilimindedir. Örneğin evcilleştirilmiş türler-

* Genellikle "sıcakkanlı" dense de, bu kavram birkaç nedenle uygun değildir; bunlardan en önemlisi, fazla iç ısı üretmeyen hayvanların bile güneş altında uzanarak yüksek vücut sıcaklıklarını koruyabilmeleridir.

den pek çoğunun tüylerinde koyu renkli bölgelerin arasına serpiştirilmiş beyaz benekler görülür. Bu tür benekli örüntüleri fare, sıçan, ginepig, tavşan, köpek, kedi, tilki, vizon, feret, domuz, rengeyiği, koyun, keçi, sığır, at, deve, alpaka ve guanakolarda görüyoruz. Sarkık kulaklara tavşan, köpek, tilki, domuz, koyun, keçi, sığır ve eşek cinslerinde rastlanıyor; kıvrık kuyruklar da köpek, tilki ve domuzlarda karşımıza çıkmış durumda. Evcil türlerin çoğu (üzgünüm ama, buna kedi ve köpekler de dahil) yabani atalarına göre daha küçük beyinler evrimleştirmiş. Ve elbette evcilleştirilmiş tüm türler daha uysal hale gelmiş.

Bu özelliklerin tekrar tekrar neden evrimleştiği bilinmiyor. Bu özelliklerin hiçbiri –uysallık hariç– yapay seçim programlarında hedeflenmiş değil. Genelde hayvan yetiştiricileri beyaz benekli cinsler geliştirmeyi özel olarak denemiş veya sarkık kulaklı keçilerle aşağı doğru kıvrılan kuyruklu domuzları bilinçli olarak desteklemiş falan değil. Anladığımız kadarıyla bu özellikler başka bir kalıtsal özelliğin seçilimiyle ilişkili bir sonuç olarak evrimleşmiş gibi görünüyor.

Bu özelliklerin evrimi Sibiry'a'da yapılan uzun süreli bir deneyle örneklenmişti. Rus genetikçiler Dmitry Belyayev ve Lyudmila Trut, 1950'lerin sonuna doğru Estonya'daki bir kürk çiftliğinden 130 gümüş tilki satın aldılar. Tilkileri insanlara karşı saldırganlıkları yönünden değerlendirerek içlerinden en uysal olanları beslemeyi seçtiler. Belyayev ve Trut, hayvanların yavrularında ve yavrularının yavrularında da aynı ölçütü uyguladılar. Bu seçilimin başlamasından 40 yıl sonra ortaya çıkan kuyruk sallayan, göbeğinin okşanmasını seven, ilgi peşinde koşan kurnaz hayvanlar artık tilkiden çok köpeğe benzemektedir; hatta bunları şu an (Sibiry'a'dan taşıma masrafı felaket olsa da) evlat edinmek de mümkün.

Fakat tilkiler bu davranışsal değişimlerin yanında “evcilleşme sendromu”na özgü anatomik farklılıklar da geliştirdiler. Pek çoğunun alnında beyaz bir leke var, heyecanlandıklarında kuyruklarını dikeltiyorlar ve birçoğunun kulakları Jack Russell teriyerleri kadar sarkık ve yumuşak.

Bu özelliklerin tilkilerde ve genel olarak evcilleştirilen hayvan-

larda niçin evrimleştiği anlaşılmış değil. Yumuşak başlı hayvanların seçiliminin daha fazla uysal davranış üreten hormon değişikliklerine yol açtığı şu an önde giden hipotez durumunda. Ne var ki bu hormonlar davranışın ötesinde bir etkide de bulunuyor; özellikle gebelikte embriyo gelişimini düzenleyici, dolayısıyla anatomi üzerinde etkileri olan bir rol oynuyor. Bu nedenle davranış seçiliminden kaynaklanan hormon değişimleri başka büyük sonuçlara da sebep oluyor ve evcilleştirme sürecinde düzenli olarak evrimleşen bir özellikler silsilesine yol açıyor.

Yaygın yakınsama, kopyalanan uyumsal yayınım, genel evrim kuralları: Evrimsel belirlenimciliğe dair kanıtlar çok kuvvetli görünüyor. Belki de Conway Morris ve arkadaşları haklıdır, evrim kendisini öngörülebilir biçimlerde tekrar ediyordur.

Ama bir sorun var. Kanıtların (özellikle kopyalanmış uyumsal yayınım ve yakınsama vakalarından oluşan o uzun listenin) çoğu, olaydan sonra toplanmış özellikte. Bunlar, evrimin ne kadar öngörülebilir olduğunu sınavabildiğimiz deneyler olmadığı gibi, yansız bir örneklem bile değil. Bunlar evrimin kendisini tekrarladığı vakalar. Peki evrimin kendisini tekrarlayamadığı kaç vaka var?

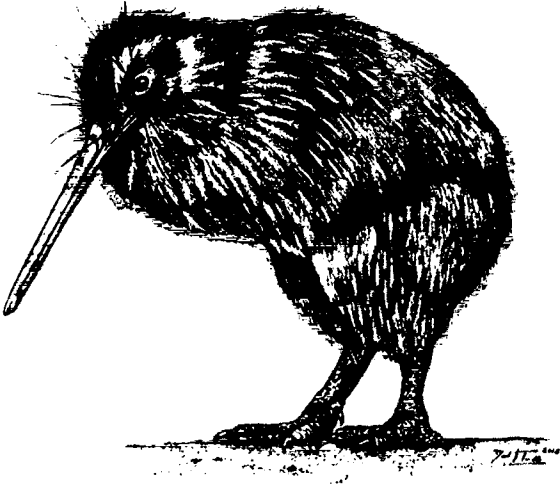
EVRİMSEL AYRIKSILIK

Çalılıkları koklaya koklaya ilerleyen kabarık küçük yaratık, geceleyin ormanda yumuşak gövdeli akşam yemeğinin kokusunun peşinde burnunu oraya buraya soka soka dolaşıyor. Orman karanlık, minik canlının görme yetisi de zayıf, ama uzun bıyıkları ve keskin koku alma duyusu sayesinde yolunu bulabiliyor. Tehdit hissedince vitesi son hıza takıp bitkilerin arasında koşuşturmaya başlayarak deliklerin içerisine dalıp çıkıyor ve uzaklaşarak gözden kayboluyor.

Gayet olağan bir yaşam tarzı. Benzer biçimde gecesini ormanda avlayacak küçük bir şeyler arayarak yerde dolaşa dolaşa geçiren birçok hayvan var: Hemen akla kirpiller, sivri fareler, gelincikler geliyor; keseli sıçanlar ve domuzlar gibi büyükleri de var. Böyle birçok hayvan var.

Fakat bu farklı. Diğerlerinin hepsi kıllı. Bunun kürkü de yumuşak ve milyonlarca ince telden oluşmuş. Ama bunlar kıl değil. Diğer hepsi dört ayak üstünde dolaşıyor ve yavruluyor. Bu yapmıyor.

Hayvancık eşiyle temas halinde mıntıkalarında dolaşırlarken beraber oraya buraya bağırıp düet yaparak, eşelenerek,deşerek,



Kivi (David Tuss'un çizimi)

koklayarak dolaşır. Eşi çağırınca da kim olduğunu duyurur: “Kii-vii, kii-vii.”

Yeni Zelanda'dayız ve bu gece böcekçili bir kuş; kanat yerine gelişmemiş yumruları, kediye benzer bıyıkları, yumuşak tüyleri ve hiçbir kuşta olmayan tarzda gagasının ucunda burun delikleri var. Kendisini “onursal memeli” olarak niteleyen epey insan var.

Yeni Zelanda'daki tek acayip ördek kivi değil.* İçlerinden en ünlüsü de kimisinin boyu 3 metreye, ağırlığı 130 kiloya ulaşan, moa adı verilen uçamayan dev kuşlardır. Diğerleri kim derseniz; uçamayan bir papağan, koyunlara musallat olan etobur bir başka papağan, kesergaga adını verdiğimiz, devasa bir yırtıcı gagası olan, sutavuklarının uçamayan bodur bir akrabası ve moaları avlayabilecek kadar büyük, mevcut yırtıcı kuşların en büyüğü bir kartal. Tek acayiplik kuşlarda da değil. Okyanusya'daki diğer aykırılıkların içerisinde dalları

* Aslına bakarsanız hepsi Yeni Zelanda'da bulunan, yakın akraba ve birbirine çok benzer beş ayrı kivi türü var.

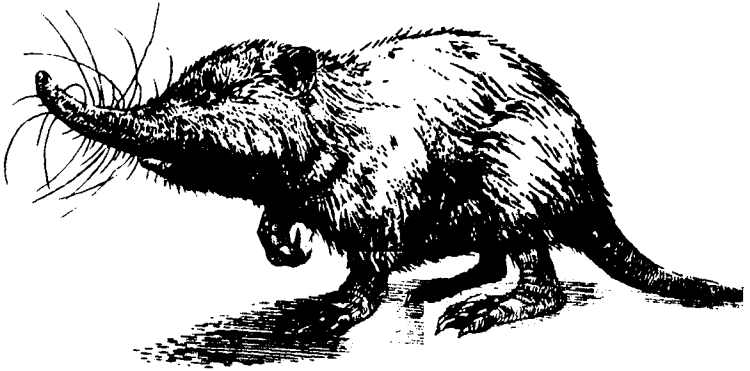
dışarıda, yaprakları içeride saklanmış dolaşık çalılar; hamburger büyüklüğünde salyangozlar ve belki de dünyanın en büyük böceği sıfatına sahip, sıçan kadar büyük bir cırcırböceği de var. Yeni Zelanda'nın her tarafı alışılmadık türlerle dolu.*

Bunun kadar alışılmadık bir başka şey de burada memelilerin olmamasıdır. Adalarda bir kürk parçası bile zor bulunuyor. Yeni Zelanda'nın güzel plajlarında rastlayabileceğiniz fokları saymazsak, yerli memeli olarak yalnızca üç yarasa türü var ki bunlar da bir acayip. Elleri kanatlara dönüşmüş yarasalar genellikle yerde epey beceriksizdir. Ama Yeni Zelanda'da böyle değil. Yarasa takımının dünyadaki en karasal örneği kısa kuyruklu yarasalar böcek, meyve, nektar ararken orman tabanında öyle büyük bir kıvraklıkla koşuşturup dururlar ki, ünlü biyolog Jared Diamond'ın aklına “yarasa ailesinin fare üretme girişimi” benzetmesi gelir.

Memeliler son 55 milyon yıldır dünyanın karasal ekosistemlerine hükmediyor. Yeni Zelanda bize memelilerin olmadığı alternatif bir dünyayı gösteriyor. Onların boşluğunu kuşlar doldurarak normalde memelilerin oynadığı ekolojik rolleri üstlenmiş ve bunu alışılmadık biçimlerde gerçekleştirmişler. Gözlerinizi şaşı yapıp bakarsanız, kivi'yi sivri fareyle veya porsukla eş tutabilirsiniz. Ne var ki hâkim otoburlar (şu an soyu tükenmiş moalar ve uçamayan dev kazlar) antilop ve geyik sürülerinden çok farklı oldukları gibi, etobur papağan ile kendisi ve gagası kocaman sutavuşu da aşına olduğumuz yırtıcı kedi, kurt, ayı ve gelinciklerin yerini alan alışılmadık karşılıklardır. Aslına bakarsanız böceklerin, salyangozların ve diğer eklem bacaklıların aşırı büyümesi ve yarasaların kemirgenleşmesinin altında da yırtıcı baskısından kurtulmak yatmaktadır. Evrim, kuşların hâkimiyetinde başa sarılıp oynatıldığında memelilerin yönetiminde olduğundan çok farklı biçimlerde gerçekleşmektedir.

Kendi yolundan ilerleyen tek yer Yeni Zelanda değildir. Adalar, Karayipler anoleleri ve *Mandarina* salyangozları dışında da evrimsel

* Ya da doluydu, diyelim. Ne yazık ki son binyılda esasen insanların avcılığının ve ekosisteme verdikleri zararın sonucunda kuşların çoğunun (moalar, kesergagalar ve dev kartal dahil) soyu tükendi.

*Solenodon*

tuhafliklar yönünden zengindir. Dünyanın diğer tarafındaki Küba da epey bir acayıpliğe ev sahipliği yapar. İlkokul birinci sınıf öğrencisi boyundaki ve yerdeki dev tembel hayvan yavrularını yemiş olabilecek baykuş ne yazık ki artık yok (goril kadar büyük bir tür olan tembel hayvanlar da kalmadı), ama ada, hâlâ yabanasısı kadar küçük bir sinekkuşuna, Dr. Seuss'un sayfalarından fırlamışa benzeyen arkaik bir memeli olan, zehirli salyaya ve uzun, esnek, bıyıklı bir burna sahip tanrekgillerden *solenodon*'a ve ağaçlara tırmanan, bol bol muz şeklinde yeşil kaka yapan, tazı büyüklüğünde, ginepige benzer hayvanlara ev sahipliği yapıyor.

Ufacık adalar bile alışılmadık garipliklere sahip. Tasman Denizi'nde bulunan 12 kilometrekarelik bir hilal şeklindeki Lord Howe Adası, 15 santim uzunluğunda siyah "ağaç ıstakozlarına" ev sahipliği yapmaktadır ve bu canlılar aldıkları takma ada karşın, genellikle ufak çubuk şekilli olan böcek familyasının iri cüsseli üyeleridir. Güney Pasifik'teki Solomon adalarında maymun taklidi yapan bir kertenkele vardır; tutucu kuyruğa sahip bu canlı, ormanda meyve bulma umuduyla bitki örtüsünü keşfederken kendisini güvence altına almak için kullandığı kavrayıcı bir kuyruğa sahip, parlak, ince, 75 santimetre uzunluğunda bir kertenkeledir. Atlas Okyanusu'nun güneyindeki Saint Helena, ününü Napoléon'un sürgün edildiği ada ol-

masına borçludur. Tanınmasında çok daha az etkili bir diğer etmen de, birkaç on yıl öncesine dek adanın 9 santimlik dev bir kulağakaçana, biraz *Star Trek [Uzay Yolu]* filminden bir canlıyı hatırlatan, arka ucunu süsleyen iki-üç santimetre uzunluğunda bir çift kısıpaca sahip, parlak, kara bir böceğe ev sahipliği yapmış olmasıdır. Hint Okyanusu adalarından Mauritius'taki dodoyu, şu erkek hindi boyutlarında, 90 santimetre boyunda, 18 kilogram ağırlığındaki uçamayan, korkusuz, meyveye düşkün güvercini de herhalde herkes duymuştur.

Küçük adalar içerisinde evrim acayiplikleri açısından büyük ödülün sahibi ise Hawaii adalarıdır: Normalde sucul olan larvaları karada yaşayan küçük kızböcekleri, doymak bilmez etobur tırtıllar, normal meyvemsi yiyeceklerini terk edip bozuk bitki özlerinden beslenen meyve sinekleri ve çekiç şeklinde kafaları olan, mıntıkalarını Amerikan yaban koyunu olarak doğmuş gibi kafa atarak savunan başka meyve sinekleri.

Hawaii'deki bitki dünyası da aynı ölçüde ayarsızdır, en başa da “bir lobutun üzerinde yükselmiş marula benzeyen” (alternatif bir isimle “çubuk üzeri lahana”) *Ālula*'yı yazmak gerekir. Boyu bir metreye yaklaşan (ünlü bir botanikçiye göre “dünyadaki hiçbir bitkiye benzemeyen”) bu uçurum bitkisi Kauai'nin ve Molokai'nin kuzeye bakan taraflarındaki kaya yarıklarında biter, soğan kökü güçlü okyanus rüzgârları karşısında bükülerek salınmasını sağlar, sert ve dolgun yaprakları göğüs gerdiği susuz ve tuzlu şartlara uyum gereğinden doğar.

Bir de sahip olduğu bitki ve hayvan türlerinin özgünlüğünden dolayı yer yer sekizinci kıta denen Madagaskar var. Daha önce adanın kurbağa ve kuşlarından bahsetmiştik ama çok daha fazlası var: Cüce bir suaygırısı, lemurların uyumsal bir yayılımı ki içlerinde tembel hayvan gibi baş aşağı sarkan 35 kiloluğu da, süper büyük koalaya benzeyeni de var;* üç metre boyunda yarım ton ağırlığında fil kuşlar (dünya üzerinde yaşamış en ağır kuşlar); hiçbir şeyden şüphelenme-

* Son iki binyılda Madagaskar'daki ilk insan yerleşimciler her ikisinin de kökünü, diğer büyük lemurlarla beraber yeryüzünden sildi.

yen böcek avlarını kapmak için bedenlerinden iki kat uzunluktaki yapışkan dillerini ileri itebilen bukalemunların, dünyadaki bukalemun türlerinin yarısı; en büyük boy pizza büyüklüğünde fosil kurbağalar; zamanında vejetaryen olmuş timsahlar; zürafa gibi boynu olan bir böcek. Madagaskar'ın bitkileri de az garip değil; dikenlerle kaplı, uzun, ince saplardan oluşan çöl ormanları ve yere kökleri yukarı gelecek şekilde ters saplanmış gibi görünen kuvvetli baobab ağacı bunlara örnek. Hayvan dünyası ile bitki dünyasını birleştirecek, çiçeğinin altında 30 santim uzunluğunda borusu olan bir orkide ve buna karşılık en dipteki nektara ulaşmak için borunun içine yerleştirmeye cuk oturan ve bedeninin iki-üç katı uzunluğundaki bir hortuma sahip bir de güve var.*

Sıralamada sonuncu geldi, fakat önemleri elbette tartışılmaz; Avustralya'nın dünyada eşi benzeri olmayan harikaları ornitorenk, kanguru ve koala var.

Tüm bu ada tuhaflıkları ne anlama geliyor? Adalar, yaşam bizim için farklı bir yol izleseydi ortaya çıkabilecek dünyaların, alternatif dünyaların önündeki perdeyi kaldırıyor. Memeliler Kretase dönemin sonunda dinozorlarla beraber yeryüzünden silinseydi ne olurdu? Yeni Zelanda ne olabileceği konusunda bir fikir veriyor. Maymunlar ve kuyuksuz maymunlar evrimleşmemiş olsaydı primat** evrimi nasıl sonuçlanırdı? Madagaskar'dan başka bir yerde bulunmayan lemurların çeşitliliği bir fikir vermiyor mu?

Adalar, evrim açısından müthiş bir yemek tarifleri kitabı sanki. Ortaya çıkan karışımlar bize fırından ne çıkacağını tahmin etmenin mümkün olmadığını bildiriyor. Karışımındaki malzemeleri veya eklenme sıralarını değiştirir, ısıyı artırır, bir şeyleri dışarıda bırakır, iki tutam tuz yerine bir tutam tuz koyarsanız elde edeceğiniz tat bam-

* Bu güve, Darwin orkidenin anatomisini inceledikten sonra varlığını öngörmüş olduğu için, evrim biyolojisiyle uğraşan çevrede çok meşhurdur.

** Primat: Kuyuksuz maymunlar (*ape*), maymunlar, yarımaymunlar ve insanların ait olduğu zoolojik takımdır. Kuyuksuz maymunlar ve insanlar, insangiller (*hominid*) ailesine mensuptur. Hominidler ise, kuyruklu maymunlarla (*Cercopithecoidea*) birlikte, *Antropoidea*'lar içinde, yüksek primatların bir alt grubu olan *Catarrhini* ailesine dahildir. (Ç.N.)

başka olabilir. Bazen aynı tarifi bile kullansanız, kullanılan unun markasını değiştirmek veya kendi mutfağınız yerine komşunuzunki-ni kullanmak gibi zararsız görünen olaylar çok büyük fark yaratabilir. Ada yemek kitabı, beklenmedik tesadüf ve ihtimallerle doludur; sonuçların çeşitliliği belirli bir adada neyin evrileceğinin öngörülebilmesini çok zor kılmaktadır. Bizzat oraya gidip bakmanız ve karşılaştacağınız hiçbir şeye şaşırmanınız gerekir.

Evrimsel mahsusiyetler salt adalara özgü değildir elbette. Doğa, evrimsel benzerleri olmayan muazzam bitki ve hayvanlarla doludur. Fili düşünün: Cisimleri tutmak, toz banyosu almak ve bir aile üyesini sevgiyle okşamak için burnunu kullanan başka hangi hayvan vardır? Ya da görsel sistemi ve ağız anatomisi kusursuz hedeflenmiş bir su fışkırtması yapmasına olanak veren ve bu sayede avladığı böcekleri dallardan suya düşürebilen okçu balığını ele alalım. Uzun mesafe saldırılarda hiç altta kalmayan bolas örümcekleri, ucunda yapışkan bir damla olan uzun bir ipek iplik üretirler ve bu damlacığa dokunan talihsiz güvelerin yapışmasıyla beraber örümcek avına acımasızca saldırır. Avcılıktan üreme taktiklerine geçerek, dışından çok daha küçük olan erkek fenerbalığı, dişiye ısırarak kendisinin dudaklarını, dişinin de derisini parçalayan ve bedenlerinin kaynaşmasını sağlayan bir enzim salgılar; sonunda erkek anatomisinin kalan kısmı da ortadan kaybolur ve geride sadece görevini yerine getirmek üzere testisler kalır. Son olarak elbette, büyük beyinli, alet kullanan iki ayaklıları da unutmayalım. Biyosfer onların yaşam tarzına benzersiz biçimde uyum sağlamış türlerle doludur.

Conway Morris ve çalışma arkadaşları yakınsama örneklerini sıralayan uzun listeler oluşturdular ama emsalleri olmayan türlerin karşılaştırmalı kataloglarını oluşturmak da aynı kapıya çıkardı. Yakınsamayı, benzer koşullara aynı biçimde uyum gösteren türleri kolayca anlayabiliyoruz. Fakat evrimsel mahsusiyetlerin ayrıcalığı ne? Neden başka türler yakınsak biçimde benzer uyarlanmalar evrimleştirmemiş?

Bir olasılık, bu türlerin benzersiz şartlarda oluşmasıdır. Belki de emsallerinin olmamasının nedeni, benzer bir çevrede yaşamış başka hiçbir türün olmamasıdır. Bu muhtemelen koalayı da açıklar. Koala-

nın tüm hayatı, okaliptüs ağaçlarında yaşamakla ve onun zehirli bileşiklerle dolu yapraklarını yemekle geçer. Bunun sonucunda koalanın sindirim sistemi son derece uzundur ve bu ona yaprakları ağır ağır zehrinden arındırmaya ve besinini elde etmeye bol bol yetecek kadar zaman sağlar. Bu yavaş sindirim yolculuğu yaprakların düşük besin değeriyle birleşince, koala düşük bir bütçeye sahip olur ve enerji harcamalarını en aza düşürmek zorunda kalır, dolayısıyla günün büyük bölümünü uyuyarak geçirir. Okaliptüs ağaçları doğal biçimde sadece Avustralya'da yetişir, dolayısıyla belki de koalanın tekilliği çevresinin benzersizliğinin bir yansımasıdır.

Fakat bu açıklamanın örneklerin çoğu için geçerli olduğundan kuşkuluyum. Ornitorenkler* Avustralya'nın doğusundaki nehir ve göllerde yaşar, buralardaki kerevitleri ve diğer sucul omurgasızları yerler. Suyun dibini altüst edip avlarının yerini gagalarında bulunan elektroreseptörler aracılığıyla tespit ederler. Suda dolanmayı bıraktıklarında da su kıyısında uzun oyuklar açarak oluşturdukları dinlenme odalarına çekilirler.

Ornitorenklerin yaşam biçimi Avustralya dışında birçok başka yerde de mümkün gibi görünüyor. Yerleştikleri akarsular çocukken Saint Louis'deki arkadaşımın evinin arkasında uzanan dereye çok benziyor. Kuzey Amerika kerevitle dolu akarsularla dolu, bunların çoğu da ornitorenklerin yaşadığına benzer iklime sahip bölgelerde ve buralarda da Avustralya'nın su yollarındaki yırtıcılardan daha beteri yok gibi görünüyor. O zaman bizim ornitorenk benzerimiz nerede? Neden başka hiçbir yerde ornitorenk benzeri bir şey evrimleşmemiş? Ya da neden yaşadıkları habitatın aynısı başka yerlerde de olan kangurular veya saydığım diğer örnekler buralarda da karşımıza çıkmıyor?

Evrimsel mahsusiyetlerin bir başka açıklaması da, doğal seçilimin düşünüldüğü kadar öngörülebilir ya da güçlü olmadığıdır. Di-

* Ornitorenğin Latince karşılığı *platypus*'un çoğulu konusunda İngilizcede birbirine rakip iki öneri var, "platypus" ve "platypuses". Rekabete hiç giremeyen iki olasılık daha var. *Platypus* kökenini Yunanca "düz-ayaklı"dan alıyor, bu yüzden Latince çoğulu "platypi" doğru değil. Yunanca çoğulu "platypodes" teoride doğru olurdu, ama bu kullanım da hiç benimsenmedi.

ğer bir deyişle türler bire bir aynı koşullarda yaşasa bile aynı biçimde evrim göstermeyebilirler.

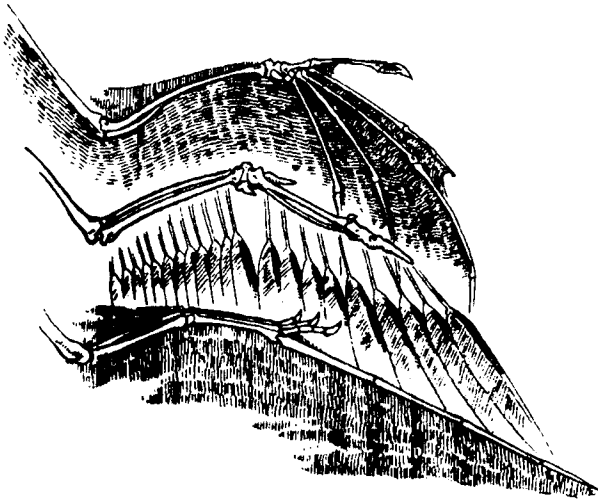
Yakınsama olmayışının temel nedenlerinden biri, çevrenin doğurduğu bir soruna uyarlanmanın birden fazla yolu olabilmesidir. Omurgalı hayvanların yüzme biçimini düşünelim. Birçoğu itilim kazanmak için kuyruğunu kullanır, ama kuyrukların hepsi de aynı değildir. Balık kuyrukları dikey şekilde düzleşmiştir ve bir ileri bir geri hareket ettirilir. Timsahlar da aynı biçimde yüzer. Fakat balina kuyrukları yatay şekilde düzleşmiştir ve yukarı aşağı hareket ettirilir. Diğer hayvanlar, örneğin yılanbalığı ve deniz yılanı bütün vücutlarını kıvrıp bükür. Karabatak ve dalgıç kuşu gibi birkaç kuş, perde ayaklı arka bacaklarını kürek gibi kullanarak suyun altında hızla hareket edebilir. Öte yandan bazı türler değişime uğramış ön ayaklarını, örneğin ayıbalıkları yüzgeçlerini, penguinler kanatlarını kullanarak yüzebilmektedir. En sürpriz yüzücüyse herhalde tembel hayvanlardır; yukarıdan aşağıya sarmaya uyarlanma olarak evrimleşmiş uzun ön ayakları Avustralya tarzı yüzüstü kulaçla yüzmede rahatlıkla sınıfı geçer. Hatta omurgasızlarda ahtapotların ve mürekkepbalıklarının tepkili itmesi gibi suda hızlı hareket kabiliyetinin farklı örnekleri de görülür.

Suda hızlı hareket etmenin farklı yollarının olması akla şu soruyu getiriyor: Yakınsak olduklarını düşünmek için iki türün özelliklerinin ne kadar benzer olması gerekiyor? Mürekkepbalıkları ile yunuslar suda hızlı hareket için çok farklı anatomik yapılarla sahipler; yakınsak olmadıklarına hiç kuşku yok. Bazı sucul kuşların ayak itmeli devinimi de, sualtında hızlı itiş hareketinin yakınsak olmayan bir başka yolu.

Fakat bu kadar açık olmayan başka örnekler de var. Deniz memelilerinin ve köpekbalıklarının, tasarım ve işleyiş açısından benzer, ama biri enine uzanan ve yukarı aşağı hareket eden, diğeri dikine olup sağa sola hareket eden kuyruk uzantılarına ne demeli? Bu özellikler yakınsak bir konuda hafif farklılıklara mı, yoksa aynı işlevsel sonucu üreten yakınsak olmayan çözümlere mi işaret ediyor? Çoğu kişinin yatay ve dikey kuyrukları temelde aynı çözümler olarak kabul edeceğine ilişkin kuşkuvarım var.

Şimdi bir adım geri atarak, aynı işlevsel sonucu üreten ama türler arasında daha büyük anatomik farklılaşmanın olduğu bir özelliğe gidelim. Tahrikli uçuş omurgalılarda üç kez evrimleşmiş: yarasalarda, kuşlarda ve teruzorlarda (dinozorlar çağında göğsü hükmeden büyük sürüngenler). Üçü de önkollarını kanatlarla değiştirmiş ve üçü de temelde aynı biçimde, hafif bir yapıyı, yani kanatlarını kalkış için aşağı doğru, itilim için ileri doğru çırpma yoluyla uçmuş (teruzorlar için uçmuştu diyelim.)

Dikkatli incelediğimizde bu uçan omurgalıların yapılarının çok farklı olduğu ortaya çıkıyor. En bariz farklılık aerodinamik yüzeyin kendisinde görülüyor. Kuşlar tüy kullanıyor ve bu tüyler kol kemiklerinden tek tek çıkıyor. Yarasaların ve teruzorların kanatlarıysa parmak kemikleri ile vücut arasında gerilmiş, hatta bazı durumlarda arka ayaklara bağlanan, ince ama çok güçlü bir deriden oluşuyor. Bu üç uçucu grubun kanatlarının iskelet anatomisi de birbirinden çok farklı.



Yarasalar (yukarıda), kuşlar (ortada) ve teruzorlar (aşağıda) kanatlarını ön ayaklarında farklı öğeler uzatma yoluyla geliştirmiş. Ayrıca yarasalar ve teruzorların kanat yüzeyi deriden oluşurken, kuşlar tüy kullanıyor.

Bu durumda kuşların, yarasaların ve teruzorların önkoldan modifiye kanatları, tahrikli uçuş için farklı biçimlerde oluşmuş yakınsak uyarlanmalar mı oluyor? Yoksa tahrikli uçuş evrimleşmesinin yakınsak olmayan, alternatif yöntemlerini mi temsil ediyorlar?

Bir örnek daha verelim. Denizdeki en büyük balık, boyu yirmi metreyi bulabilen ve dişsiz balinalara çok benzediği için bu ismi alan balina köpekbalığıdır. Büyük balinalar gibi, devasa ağzına inanılmaz miktarda suyu alıp içindeki azıcık yiyeceği süzerek beslenir. Tüm benzerlik de bununla sınırlıdır. Dişsiz balinalar (mavi, kambur, gri ve diğer balinalar) suyu dışarı itip üst çenelerinden aşağı sarkan bir perde oluşturan, tarağa benzer sert çubuk plakalardan geçirerek yiyeceklerini süzerler. Çubuklu tarağın arasındaki minik boşluklardan daha büyük olan yiyecek parçacıkları çubuklu perdenin iç yüzeyinde tutulur ve yutulur. Köpekbalıklarıysa yiyeceklerini çok farklı biçimde süzer. Su, kafasının arkasında iki tarafta yer alan solungaç yarıklarından dışarı itilir. Solungaç yarıklarının içinde yer alan kıkırdaktan yapılma süzgeç tabanlar, su bu tabanların arasından geçip solungaçlardan atılarak okyanusa akarken yiyecek parçacıklarının solungaç yarıklarından gerisingeriye giderek boğazda bir kütle oluşturup yutulabilmesini sağlayacak şekilde konumlanmıştır. Dolayısıyla dişsiz balinalar, diğer adıyla çubuklu balinalar ile köpekbalıkları, her ikisi de devasa büyüklükte ağızlarını suyu içeri alıp küçük yiyecekleri süzmek için kullanan su canlılarıdır. Fakat süzme işini yapan yapıları farklı şekilde oluşmuş, farklı yerlerde konumlanmış ve farklı biçimde işlemektedir. Bunlar süzerek beslenmenin yakınsak uyarlanmaları mıdır, yakınsak olmayan uyarlanmaları mı?

Birbirine fena halde benzeyen ve aynı işlevsel avantajı üreten yapılarda yakınsak olma ile olmama arasındaki çizgi keyfi biçimde çekilmektedir. Ben kuşların, yarasaların ve teruzorların kanatlarını yakınsak olarak kabul etme, dişsiz balinalar ile köpekbalıklarını da her ikisi de büyük ağızlı, süzerek beslenen planktonoburlar oldukları için genel olarak yakınsak kabul etme eğilimindeyim; ama süzerek beslenme yapılarını ise, süzerek beslenme için alternatif uyarlanmalar olarak değerlendirip yakınsak görmemek gerektiği düşüncesindeyim. Aslına bakılırsa bu tür örneklerde doğrusu ne, o da belli değil.

Türlerin aynı işlevsel becerileri üreten ama bariz biçimde farklı, yakınsak olmayan fenotipler evrimleştirerek uyarlanabildiği durumlar da vardır. Bu olguya dair en sevdiğim örnek kemiricilerin toprak altındaki yaşamıyla ilgili. Sıçan aşiretinde yer alan 250'den fazla tür, hayatlarının önemli bir kısmını yer altında kendi yaptıkları tünellerin içinde koşuşturarak geçirmektedir. Aynı tünel kazma davranışı kemiricilerde tekrar tekrar evrimleşti, ama farklı biçimlerde gerçekleşti. Çok sayıda kemirici standart tarzda kazar; ön ayaklarını toprağı gevşetmek ve arkasına atmak için kullanır. Bu türlerin ön ayakları iri ve son derece kaslı, pençeleri uzun ve güçlüdür. Başka bazı türler de toprağı çıkarmak için pençeleri yerine dişlerini kullanır. Bu türlerin dişleri, tahmin edebileceğiniz üzere, kemiricilerin standartlarıyla bakıldığında bile uzun ve çıkıktır, çene kasları ve kafatasları da çok büyüktür. Dişleriyle kazanların çoğu topraktan ön ayaklarıyla arkaya doğru iterek kurtulur, ama bazı kemirici türlerde başka bir varyasyon da gerçekleşmiştir; bunlar gevşetilen toprağı uzamış, kürek gibi burunlarıyla yukarı doğru ittirerek tünel duvarına yapıştırır. Bu kazıcıların çeşitlilik gösteren anatomileri, aynı işlevsel sonucu doğuran yakınsak olmayan uyarlanma örneklerinin net bir ifadesidir.

Yakınsak olmama sonucuna bir başka nedenle daha ulaşılabilir. Çevresel bir koşula uyarlanmanın çoğu kez farklı işlevsel biçimleri olmaktadır. Örnek olarak av potansiyeli taşıyan türlerin aslan gibi bir yırtıcının varlığına karşı nasıl uyum sağlayabildiklerini düşünelim. Onları koşuda geçmek için müthiş bir sürat koşusu kabiliyeti geliştirmek olasılıklardan biridir; ama kamuflaj, pasif savunma, aktif savunma gibi başka olasılıklar da vardır. Afrika mandasının boynuzları, karıncayıyenin ve kaplumbağanın vücut zırhı, antilobun uzun bacakları, oklu kirpinin dikenleri, tüküren kobranın zehri ve hassasiyeti, Afrika antilobunun benekli kürkü düşünülürse, ortaya çıkan uyarlanmalar kesinlikle yakınsak değildir.

Aynı seçim problemine birden çok çözüm olması, sadece savunmayla da sınırlı değil. Çitalar ve Afrika yaban köpekleri aynı avları avlar; ama kedi bunu kısa hız patlamalarıyla yaparken, yaban köpekleri daha yavaş ve daha uzun süre koşarak ve sonunda avını yorup indirerek yapar. Buna bağlı olarak da ikisinin uyarlanması

farklıdır: Çitanın son derece uzun bacakları ve esnek omurgası saatte 110 kilometrelik hızlara çıkmasını sağlarken, yaban köpeklerinin müthiş dayanıklılığı avını yormaya yetecek şekilde saatte 50 kilometrelik hızda sabit bir tempo tutturmasını sağlar (çitalar tam hızda koşularını genellikle kısa bir mesafe boyunca sürdürebilir).

Hayvanların nektar elde etmek için geliştirdiği uyarlanmaları düşünelim. Bitkiler çoğalma süreçlerinde yardımlarını almak amacıyla böceklere, kuşlara ve diğer hayvanlara rüşvet olarak genellikle tatlı kokan, şekerli sıvısını verir. Bir hayvan, nektarı içmek için kafasını veya tüm vücudunu çiçeğin içine soktuğunda üzeri polenlerle kaplanır. Hayvan bir sonraki çiçeğe gittiğinde bu polenlerin bir kısmı dökülür ve bitkinin tohum taslaklarını döller.

Birçok çiçekte alttaki nektara çok uzun kanalların içinden geçerek ulaşılır; bu şekilde bitki kendisinden polen alanları o bitkiyi kullanmaya iyi uyum sağlamış, uzun hortumlu güveller veya benzer şekilde uzun gaga ve dile sahip sinekkuşu gibi bir veya birkaç türle sınırlı tutabilir. Bu türler, uyarlanmaları yüzünden muhtemelen başka tipte çok fazla çiçeği ziyaret etmeyerek, polenlerin farklı türde bir bitkiye düşüp heba olmasını sınırlandırır.

Gelgelelim nektarcıların hepsi kurallara bağlı kalmaz. Bazı böcek, kuş ve memeli türleri çiçeğin altında ağızlarıyla bir delik açarak taç yaprakları ve polenlerini es geçer ve birlikte evrimleşme anlaşmasında üzerlerine düşeni yerine getirmezler. Bu nektar hırsızları bunu yapmak için çok farklı uyarlanmalar geliştirmiştir. Bu türler uzun kanalların dibine ulaşmak için gereken uzun dillerin ve ağız uzantılarının yerine, çiçeğin oluşturduğu duvarı yırtma becerilerini artıran özellikler geliştirir. Bazı sinekkuşları gagalarında bu amaca dönük dişli kenarlara sahiptir; ismini hak etmiş çiçekdelen adlı kuşun üst gagasının ucunda çiçekleri kesmek için kullandığı keskin bir çengeli vardır.

Tüm bu örneklerde, çevrenin doğurduğu bir zorluğa yanıt olarak sık sık birden çok evrimsel olasılık olduğunu görüyoruz. Ne var ki salt birden çok olasılık olması, bunların hepsinin, hatta birden fazlasının bile evrimleşeceği anlamına gelmiyor. Conway Morris ve

ekibi genellikle bir olasılığın diğerlerinden üstün olduğunu ve aynı kalıtsal özelliğin yakınsak şekilde tekrar tekrar evrimleşmesinin nedeninin de bu olduğunu ileri sürüyor. Gelgelelim, yakınsama her zaman gerçekleşmiyor. Neden doğal seçim her seferinde aynı özelliği destekliyor olmasın?

İki (veya daha fazla) kalıtsal özellik eşdeğer de olabilir. Kamufle olmak ve son hızla kaçmak, yırtıcılardan paçayı kurtarmanın eşit ölçüde başarılı iki yolu olabilir. Ya da belki bir tutum diğerinden belirli bir hedef yönünden daha başarılıdır ama doğurduğu başka bedeller bu avantajı götürüp ikisini eşitlemektedir. Yaklaşan bir yırtıcıdan hızla kaçmak daha iyi bir kurtulma yöntemi olabilir ama kamufle olmak yılan gibi bir hayvanın avını pusuya düşürme becerisini artırabilir. Hayatta kalma ile çoğalma beraber hesaba katıldığında, hızı dayanan bireyler üreme ve genlerini sonraki nesillere aktarmada kamufle olanlarla aynı ölçüde başarılı olabilir. Sonuç olarak doğal seçilimin ikisinden birini desteklemesi gerekmez. Hangi özelliğin evrimleşeceği şansa, yani yırtıcılıkla karşı karşıya geldiğinde popülasyonda hangi mutasyonun önce gerçekleştiğine bağlı olabilir.

Belki de hangi kalıtsal özelliğin evrimleştiği türün başlangıçtaki fenotip ve genotipine bağlıdır. Genelde aktif olmuş bir tür yeni bir yırtıcıyla karşılaştığında daha yüksek hız üretecek özellikleri geliştirmeye yatkınken, daha sakın bir tür de kamuflej geliştirmeye yatkın olabilir. Seçeneklerden biri diğerine üstün değildir; hangisinin evrimleştiği başlangıç şartlarına güçlü biçimde bağlı olabilir.

Belki de seçeneklerden biri gerçekten de üstündür, ama bazı durumlarda en uygun çözüm olmasa da ona yakın bir çözümü evrimleştirmek daha kolaydır. DNA'nın işleyişi alanında yaptığı araştırma ile Nodel Ödülü'ne layık görülen Fransız bilim insanı François Jacob, niçin doğal seçilimin her zaman mükemmel tasarlanmış bir organizmaya yol açmadığını açıklamak amacıyla bir analogi oluşturmuştur. Jacob'a göre doğal seçim, karşısındaki soruna optimal çözümü inşa eden bir mühendise benzemez. Onu makul bir çözümü şekillendirmek için elinde olan malzemelerden faydalanan bir tamirci gibi düşünmek gerekir; mümkün olan en iyi çözüm değildir ama eldeki şartlar altında ulaşılabilecek en iyi çözümdür.

Tembel tembel yüzen balıklarla dolu bir gölün olduğu bölgede bulunan bir kuş türünü düşünelim. Kendine balık ziyafeti çekmek için suya dalmaya girişebilir ve zamanla daha sucul bir varoluşa uyum sağlamaya başlayarak bir karabatak gibi çok büyük ve güçlü arka ayaklar evrimleştirebilir ya da penguen gibi yüzgeç şeklini almış kanatlara sahip olabilir. En becerikli ve hızlı yüzme şekli, diyelim ki, güçlü ve kaslı bir kuyruğu suda ileri geri veya aşağı yukarı hareket ettirmek olsun; zira en hızlı yüzücüler böyle yüzüyor. Fakat kuşların uzun kuyruğu yok; onları evrim tarihinin ilk dönemlerinde, bundan 100 milyondan fazla yıl önce kaybettiler ve geriye ancak çok az bir kaynaşmış kemik kalıntısı kaldı (kuşların “kuyrukları” kemikten değil, sadece tüyden oluşur). Uzun bir kuyruğun yeniden evrimleşmesinin olanaksız olduğunu söylemiyorum, ama muhtemelen doğal seçim, tamircimiz bu yolu izlemeyecektir. Kuşun biraz itirme kuvveti sağlayabilen kanatları ve ayakları var zaten. Şekil değiştirmiş, kemikli kuyruğa sahip (kuş ile timsah arası bir görünüme sahip olacak) yeni model bir kuş her ne kadar daha iyi bir yüzücü olacak olsa da, doğal seçilimin sıfırdan yepyeni bir form evrimleştirmek yerine, eldeki önceden var olan yapıların yüzme performansını artırma yönünde işlemesi çok daha olası görünüyor.

Buna rağmen eğer kuş/timsah daha iyi uyum sağlamış, daha hızlı, üstün bir yüzücü ise, yüzen kuşumuz bu yönde evrimleşmeye neden devam etmesin? Çünkü bazen buradan oraya gidemezsiniz: Aradaki şartlar olumsuz olduğu için uyum sağlamış bir formdan diğerine evrimleşmek zor olabilir. Uzun, güçlü bir kuyruk hızlı itiş gücü için harikadır ama yüzme performansını düşüren kısa vuruşlu bir kuyruk araya girip engel yaratabilir. Doğal seçilimin öngörüsü yoktur; nihayetinde üstün bir duruma götürecek yolda ilk adım diye, sırf bu yüzden zarar verici bir özelliği desteklemez. Bir özelliğin doğal seçim yoluyla evrimleşmesi için, yol üzerindeki her adımın bir önceki adıma göre ilerlemesi gerekir. Doğal seçim daha kötü bir durumu, yalnızca geçici bir evrimsel aşama olsa dahi, asla desteklemez.

Türler bu yüzden en uygunun altında kalan uyarlanmalara mahkûm olabilir. Ataları uyarlanmaya giden en iyi yoldan çeşitli nedenlerle ilerlememiştir. Doğal seçim türü ilerletmiş, tür uyarlan-

mış, ama bu en iyi biçimde olmamıştır. Bu akıl yürütme, yakınsamanın evrimin yönünü belirlemede oynayabildiği role vurgu yapar ve aynı çevresel koşullarla yüzleştğinde türün yakınsamada neden başarısız olduğunu açıklar. Türlerin atadan kalma genotip ve fenotip farklılıkları ya da önce hangi mutasyonun gerçekleştiği türlerin farklı şekillerde uyum sağlamasına, bunlar çok tercih edilmeyen uyarlanmalarla sonuçlansa bile, yol açabilir.

Aynı mantıkla iki ata tür benzerse, bu iki türün birbirine benzer seçim koşullarıyla yüzleştiklerinde aynı şekilde evrim göstermesini bekleyebiliriz. Tam da bu yaşanmaktadır. En iyi tekrarlanan yakınsama örneklerinin yakın akraba türlerde görülmesi tesadüf değildir. *Anolis* kertenkeleleri dört kez aynı habitat uzmanı takımını evrimleştirmiş, diğer ada kertenkele türlerinin hiçbir çeşidi anolelere yakınsamamıştır. Neredeyse tümüyle aynı iki gagalı deniz yılanı türü, aynı cins içerisinde yer almaktadır. Yapışkan parmak tabanları gekolarda on bir kez evrimleşirken, diğer dört binin üzerinde kertenkele türü içerisinde sadece iki kez evrimleşmiştir. Yakınsama vakalarının hepsinde yakın evrimsel akrabalık söz konusu değildir, fakat yakın zamanda yapılan bir istatistiksel analiz yakın akraba türlerde yakınsamaya daha sık rastlandığını doğrulamıştır.

Benzer çevre koşullarına maruz kaldıklarında sık sık aynı kalıtsal özelliği tekrar tekrar geliştiren aynı türdeki popülasyonlar karşılaştırıldığında, bu yakın akrabalığın etkisi daha fazla açığa çıkmaktadır. 2. Bölüm'de birçok örnek verdim (kum tepelerindeki fareler, mağara balıkları, zehirli su kelerleri ve onları avlayan yılanlar, insanlar), bu örneklerle bir ekleme daha yapalım.

Üç dikenli balık, diğer adıyla dikence balığı Kuzey yarıkürenin özellikle kuzey kısımlarında kıyı sularında görülen, genelde yaklaşık beş santimetre boyunda, küçük bir balıktır. Boyu uzamış bu balığın en önemli özelliği, sırtında, sırt yüzgecinin önünde adına layık şekilde dizilmiş üç uzun dikene, ayrıca altında, karın yüzgecinin olması gereken yerde bir başka dikene daha sahip olmasıdır. Bu okyanus sakinleri büyük bir avlanma tehdidi altında olsa gerektir; zira bu dikenler balığın karşısındakine dik pozisyonda girebildiği gibi, yan tarafları da bazı balıklarda sayısı kırka kadar çıkabilen kılçıklı bir zırhla kaplıdır.

Buzul çağında Kuzey yarıkürenin büyük bölümü buzullar altında kalmıştı. Buzlar yaklaşık on bin yıl önce çözüldüğünde okyanusa yeni nehirler döküldü. Somon gibi dikenli balıklar tatlı suda çoğaldı ve yerel popülasyonlar hızla bu yeni üreme alanından faydalandılar.

Fakat ardından doğa yeniden değişti. Bir kilometre yüksekliğinde bir buz yığını yerin üstüne yığıldığında toprak bu ağırlığın altında çöker. Buz kalktığında bu kez toprak ağır ağır toparlanır, yüksekliği yeniden artar. Bu olay bugün Kanada'nın olduğu yerde yaşandığında bazı akarsular okyanusla bağlantılarını kaybederek göllere dönüştü. Bu sırada eskiden denizde yaşayan dikenli balıklar da bu göllerde mahsur kaldılar.

Bu durum, özellikle Kuzey Amerika'nın batı kıyısı boyunca sayısı binlerle ifade edilemeyecek kadar çok nehir, dere ve çayda yaşandı. Bu akarsular jeolojik açıdan yeniydi ve yüksek nüfusu değildi; akıntıya karşı dikenli balıklara eşlik eden başka ancak birkaç okyanus balık türü daha vardı. Sonuç bu yeni göl popülasyonlarının kendilerini eşi benzeri görülmemiş, yırtıcı balıkların olmadığı bir çevrede bulmaları oldu.

Bunun sonucunda her biri kendi leğeninde yalıtılmış halde, bağımsız şekilde evrimleşen göl dikenli balık popülasyonları da paralel biçimde değişim gösterdi. Artık var olmayan balık yırtıcılara karşı savunma oluşturarak ne diye enerji ve kaynak israf edilsin? Popülasyonlar yakınsak şekilde vücut zırhlarının çoğunu kaybettiler ve dikenleri küçüldü. Yapılan genetik çalışmalar bu evrimsel paralelliğin genoma yansıdığını gösterdi; göl popülasyonlarında zırh ve dikenlerin evrimsel değişiminden aynı genetik değişiklikler sorumluydu.

Yakın akraba popülasyonlar ve türler içerisinde yakınsamanın yaygınlığını anlamak kolaydır. Yakın akrabalar genetik açıdan benzerlik taşıma eğilimindedir, dolayısıyla seçilimin aynı genetik sistemler üzerinde işlemesi muhtemeldir. Dahası akrabalar birçok fenotipik nitelik açısından benzer olma eğilimindedir.

Yakın akraba türler ve popülasyonlar bu benzerlikler nedeniyle aynı evrimsel yatkınlıkları paylaşırlar, sınırlı bazı biçimlerde evrimleşmeleri daha muhtemeldir. Kimi evrim biyologları bu yatkınlıkları

kısıtlama ya da evrimsel eğilim şeklinde ifade etmektedir. Bu eğilimler çeşitli biçimlerde işleyebilir. İçlerinden en barizi, yakın akrabaların doğal seçilime aynı hedefi sunan genetik benzerliğidir; ama daha güç algılanan eğilimler de vardır. Bir atada evrimleşmiş kalıtsal özellik bazı evrimsel seçenekleri engelleyerek türün ileriki nesillerinde evrimi sınırlı sayıda biçimde gerçekleşmeye zorlayabilir. Veya bir ata, geliştirdiği bir evrimsel özellik ile bir başka özelliğin evrimleşmesinin yolunu döşeyebilir. Bugün moleküler biyologların verdiği isimle bu tür bir potansiyalizasyon, yakın akraba türlerin aynı kalıtsal özelliği, soyu o ataya dayanmayan türlerde ortaya çıkması muhtemel olmayan bir özellik olarak evrimleştirmesi biçiminde bir etki doğuracaktır.

Tüm bu nedenlerle akraba türler benzer seçim baskılarıyla karşılaştıklarında aynı kalıtsal özellikleri yakınsak biçimde evrimleştirmeye daha eğilimlidir. Bu, uzak akrabaların yakınsama yapmadığı anlamına gelmez; elbette yaparlar, ama daha az rastlanır.

Biraz konudan ayrılarak, yakınsamanın aynı koşullara uyarlanmak anlamına gelmesi gerekmediğini, hatta uyarlanmanın bir sonucu olması bile gerekmediğini vurgulayabileceğimiz bir yere geldik. Bunun nedeni, doğal seçilimin kalıtsal özelliklerin evrimleşmesine sebep olan tek süreç olmamasıdır. Kalıtsal özellikler zaman zaman, özellikle küçük popülasyonlarda rastlantısal şekilde evrimleşir. Keza bir özellik, seçilimin desteklediği bir başka özelliğe genetik olarak bağlı olduğu için veya bir başka popülasyondan sürekli göç yaşanması nedeniyle de evrimleşebilir. Dolayısıyla yakınsak evrim, iki popülasyonun uyumsal olmayan nedenlerle aynı kalıtsal özelliği evrimleştirdiği durumda tesadüfen gerçekleşebilir. Bu tarz bir uyumsal olmayan yakınsama, ortak evrimsel yatkınlıkları nedeniyle en yaygın biçimde akraba popülasyonlar veya türler arasında görülmektedir.

Semenderlerin ayak parmakları buna örnektir. Çok sayıda semender, ataları beş tam parmağa sahipken dört parmaklı şekilde evrim göstermiştir. Yetişkin bir semenderin ayak parmak sayısını, embriyolojik gelişimin erken safhasında gelişen bacaklarda kaç hücre oluştuğu belirler. Gelişmeye başlayan bacadaki hücre sayısını azaltan şeyler (hücre büyüklüğünde bir artış ya da vücut büyüklüğünde genel bir düşüş gibi) ayak parmak sayısında azalmaya neden olabilir.

Bu yakınsak evrimsel azalmaya doğal seçilimin sebep olduğu yönünde bir kanıta sahip değiliz: Dört parmaklı türler belirli habitatlarda gerçekleşmemektedir, daha az ayak parmağına sahip olmanın da (bildiğimiz kadarıyla) herhangi bir getirisi yoktur. Daha olası açıklama, parmak azalmasının uyumsal olmayan nedenlerle yakınsak biçimde gerçekleşmiş olmasıdır; bazı türler rastlantısal biçimde daha büyük hücre boyutları evrimleştirmiş, başka bazı türler de küçük beden ölçüleri nedeniyle seçilmiş olsa gerektir.

“Doğal seçim yakınsamaya yönlendirdi” hipotezini doğrudan test edebilmek harika olurdu. İhtiyaç duyulan veriler seçilimin doğrudan ölçümlerinden, bir kalıtsal özelliğin -varsa- sağlayacağı faydaların ayrıntılı analizinden ve türün evrimsel tarihinin bilgisinden elde edilebilirdi. Bir özelliğin aynı çevresel şartlarda tekrar tekrar evrimleştiğine dair tek bir gözlem bile uyumsal açıklamayı gündeme getirirdi; kalıtsal özellik evrimi ile çevre arasındaki bir bağıntının varlığı doğal seçilimin devreye girdiğini gösterirdi. Ne yazık ki bazen ihtiyaç duyduğumuz bilgiye sahip olamıyoruz.

T. rex'i düşünelim. Ne kadar dehşet verici ve korkunç olsa da despot kralımızın bir eksikliği vardı: Kolları yoktu. İki parmaklı, ufacık ön ayakları ağzına bile yetişemiyordu. Bilim insanları bu duruma akla gelebilecek en çılgın açıklamaları getirdiler. Belki de süper yırtıcımız o kadar büyük bir coşkuyla besleniyordu ki kazara kendisini ısırp yemesin diye kollar kısa olacak şekilde evrimleşmişti. Bu kısa ön ayaklar belki de uykudan uyandığında yerden rahat kalkabilmesi için bu şekildeydi. Erkek *T. rex*, dışısında çekim uyandırmak için kısa kollara ihtiyaç duyuyordu; neden olmasın? Elbette bu fikirlerin hiçbirisi yeterince ikna edici olmadı.

Bir süre önce paleontologlar yeni bir theropod dinazor türü keşfettiler; *Gualicho shinyae* de benzer biçimde çelimsiz, iki parmaklı uzantılara sahipti. Bu özelliğin neden geliştiğini her iki türde de anlamamış olsak da, makalenin yazarlarından biri şöyle diyordu: “Theropodların farklı soylarında birden fazla kez gördüğümüz için belli bir uyumsal avantaj olduğu ortada.”

Belki de o kadar ortada değildir. Yakınsak evrim, ortak bir özel-

liğin doğal seçilimin sonucu olduğunu her zaman kanıtlamaz. Belki de *T. rex* ve *G. shinyae*, her ikisi de şans eseri minik ön ayaklar geliştirmiştir. İki parmaklı küçük uzuvların niçin evrimleştiğini, hangi avantajı sağladığını ya da doğal seçilimin onları neden desteklediğini bilseydik, yakınsamanın uyumsal olduğunu düşünmek için bir sebebimiz olurdu. Gelgelelim elimizde veriler yokken, doğal seçilimin buna sebep olduğunu kabul edemeyiz.

Evrimsel yakınsak olmama sonucuna varan farklı rotaları gösterecek son bir kurtçuklu olay incelemesiyle bitirelim. Örneğimiz ormanda yaşayan böcek larvalarını yiyen tür hakkında olacak. Bir ağaçkakanın kafasını yüksek bir hızla, saniyede yirmi kez indirerek rat-atat-tat diye ağaçta delik açtığını herkes bilir.* Ama Woody'nin deştiği ağaçtan kurtçukları nasıl dışarı çıkardığını çoğumuz bilmeyiz. Bunu, uzun sert dilini (o kadar uzundur ki kullanılmadığında kafatasının arkasında sarılı biçimde durur) deliğin içine sokup dilinin üzerindeki dikenciklerle yiyeceğini yakalayıp dışarı çekerek yapar.

Gayet havalı bir hareket olduğu kesin, ama ağaçkakangiller bu larva çıkarma işinde tekel konumunda değil. Ağaçkakanlar dünyanın neredeyse her yerine yayılmış olsalar da, okyanusun diğer tarafına yayılma konusunda pek becerikli değiller, bu yüzden Avustralya'da ve birçok adada yoklar. Onların yokluğunda başka türler bu kurtçuk çıkarma pastasından pay almak üzere evrimleşmiş ama bunların hiçbirini işini ağaçkakan kafasıyla yapmamış. Ağacın içinden böcek avlama sorununa getirilen farklı çözümler kümesinde bir yakınsama görüyoruz.

Hawaii adalarında eşeleme işini muazzam bir gagaya sahip, dişileri zeytin yeşili, erkekleri sarı kafalı tatlı bir kuş üstlenmiştir. Aslında gagalar desem daha doğru olur, çünkü üst ve alt kısım birbirinden oldukça farklı. Alttaki gaga kısa, sağlam, düz ve delik açmak için ağaçkakan tarzı kullanılıyor. Ama çıkarma işi için dil yerine *'Akiapola'au* (a-ki-a-PO-LA-UV şeklinde telaffuz ediliyor) alttaki gaganın iki katı uzunluğunda, deliğin içlerine uzanıp larva avını bulup çıkarabilen, aşağı doğru oldukça eğimli ve ince bir üst gagaya sahip.

* Kendisi bu nedenle beyin sarsıntısı araştırmacılarınca da incelenmektedir.



Ağaçlardaki kurtçukları yemeye uyum sağlamanın farklı biçimleri (yukarıdan aşağıya):
buia, 'Akiapola'au, ağaçkakan, ağaçkakan ispinozu.

Bir kuşun Yeni Zelanda'da bu tür bir beceri sergilemesi çok zor olsa gerek ki *huia* (HU-ya) farklı bir rol izleyip görevleri cinsiyetler arasında bölüştürmüş. Erkek, çiftin daha ağaçkakanvari takılanı olarak, çürüyen ağaçları yiyecek bulmak için deşmek üzere kullandığı bir sağlam gaga kuşanmış; onun tam aksine bu kez dişinin gagasının her iki yarısı da '*Akiapola'au*'nun gagasının üst tarafını kopyalamış ve bu ince, derin kavisli gagalar çatlakların en dibindeki avları çıkarmak için kullanılıyor. Vaktiyle çiftin takım halinde davrandığı, erkeğin deldiği, dişinin yakaladığı düşünülmüş, ama bu fikir orijinal bilimsel raporun yanlış yorumlanması gibi duruyor; şu anda iki cinsiyetin ayrı ayrı yiyecek aradığı düşünülüyor. Geçtiğimiz yüzyıl içerisinde ne yazık ki türün soyu tükendiği için, daha ayrıntılı çalışmalar artık mümkün değil.

Bu yaşam biçimine en dikkat çekici adaptasyonu, belki de dikkatleri üzerine en az çeken bir kuş göstermiş durumdadır. Darwin'in Galápagos'lardaki ispinoz grubunun üyelerinden ağaçkakan ispinozu ne özellikle büyük ne de ince, ne uzun ne de kısa, gayet standart, kavissiz bir gagaya sahiptir. Ne dövmeye yetecek kadar sert ne de araştırmaya yetecek kadar hassas. Hiç önemi yok ama, çünkü ağaçkakan ispinozu avını alıp çıkarmak için gagasını kullanmaz. En azından doğrudan. Onun yerine ispinoz, termitleri yuvalandıkları yerden avlayan şempanzeler gibi, gagasıyla tam da gereken büyüklükte bir çubuk tutup onu deliğin veya çatlağın içine sokarak kıvrıta kanırta dürtüp yoklar durur ve sonunda larva dışarı çıkmak zorunda kalıp mideye indirilir. Bu ispinozlar yine şempanzeler gibi (ve Yeni Kaledonya kargaları ve elbette bizler gibi) etrafta buldukları herhangi bir çubuğu kullanmazlar. Aletlerini çok dikkatli seçer, yer yer de tam bu işe uygun olacak şekilde kırıp küçültürler.

Bu örneklerle bakıp bir yaşam biçimi olarak ağaçlardan yiyecek çıkarmanın sadece kuşlara özgü olduğunu düşünebilirsiniz. Ama yanılıyorsunuz. Madagaskar'da, bu evrim mucizeleri adasında larva çıkaran türlerin en sıra dışı olanına rastlıyoruz. Burada ağaçkakanların ekolojik konumuna bir kuş değil, bir primat sahiptir. Hem de ne primat! Ev kedisi büyüklüğünde, gecceci ay-ay bir korku filminden fırlamışa benzer bir görünüşe sahiptir. Işıldayan



Ay-ay

sarı gözler; açık renkli bir yüze tezat kayış karası, büyük, sarkık kulaklar; kocaman bir alınla ensiz kısa bir burun; kafanın üzerinden ve yanlarından hiddetle çıkan ince gri saçlarla hayvan, Albert Einstein ile Yoda'nın tekinsiz kırması gibidir. Gelgelelim ay-aylar fizikçide ve Jedi'ların büyük üstadında olmayan bir çift kocaman, giderek de büyüyen kesici dişe ve (kadim Malgaş inanışında yaratığın sihirli güçlere sahip olmasına yorulan, kâbuslara girecek nitelikte bir kalıtsal özellik) her yöne çevrilebilen uzun bir kemikli orta parmağa sahiptir.

Ay-ayın yiyeceğini elde etme biçimi akıllara ziyandır. Uzun parmağını ağaç gövdesine hafifçe vurarak başlar, büyük kulaklar odunun içindeki bir boşluğu ortaya çıkaran vuruşları arayarak gelen sesi yorumlamak için radar anteni gibi çalışır. Muhtemel larva tüneli tespit edildiğinde ay-ay bu kez de öne doğru açılı kesici dişlerini işe koşarak odunun içinden boşluğa doğru kanal açmaya girişir. Oyuk açıldığında içine uzun parmak girer, önce bir tarafa, sonra diğer tarafa döner ve bu hareket kurtçuk çengel olarak kullanılan pençeye takılıp dışarı çıkarılana dek sürer. İşi uzun bir parmak ve dişlerle halledebiliyorsanız, süslü gagaya ne gerek var?

Neden doğal seçim aynı kurtçuk sorununa farklı çözümler üretmiş? Böcek larvalarının her yerde farklı farklı olması, kıtasal kurtçukların yakalanmasının en iyi yolunun ağaçkakan tarzı olması, Galápagos kurtçuklarının en iyi çerçöple yakalanabilmesi, Malgaş larvalarının da büyük kulaklı primatlarca tespit edilmeye karşı savunmasız olmaları, tüm bunlar akla uygun gelmektedir. Her türün yerel kurtçukları yakalamanın en uygun benzersiz biçimini evrimleştirdiği biçimindeki Panglosscu olasılığı* hükümsüz ilan edemeyiz, ama alternatif iki açıklama daha büyük olasılığa sahiptir.

Bir senaryoya göre farklılıklar rastlantısal tesadüflerle evrimleşmiştir. Belki de ağaçkakanların ataları sivri uçlu uzun bir dile yol açan bir mutasyon yaşamış, ağaçkakan ispinozunun atalarıysa çerçöpü kaldırıp deliklere sokuşturmayı destekleyen bir mutasyon elde etmiştir. Diğer deyişle iki yol da üstün değildi ve hangi mutasyonun yaşanacağı tamamen şansa bağlıydı.

İkinci olasılığa göre de tarih önem taşımaktadır; bir türün doğal seçilime vereceği tepki geçmişte nasıl evrimleşmiş olduğuna bağlıdır. Lemur familyasının üyesi ay-ayı ele alalım. Primatlar, tüm memeliler gibi kemik, deri, kas ve genellikle dişten oluşan** ağızlara sahiptir. Kuşlardaki gibi güçlü ve sivri bir gaganın evrimleştirilmesi bir memeli için zor bir evrimsel başarıdır; ağacı delmek için mevcut sivri dişleri modifiye etmektense bunu genetik olarak başarmak çok daha zordur. Diğer taraftan kuşlar ön ayaklarını uçuş yapılarına dönüştürmüştür; zira onlar da ay-ayın sıska çengeli gibi bir yapıya dönüştürebilecekleri parmak kemiklerine sahip değildi.

Tüm bunlardan hangi sonuca varıyoruz? Yakınsama her yerde mi var, acaba yakınsama doğal seçilimin öngörülebilir kuvvetlerince çevrenin kaderini önceden çizdiği sonuçlara doğru yönlendirilen biyolojik dünyanın içkin yapısının bir göstergesi mi? Yoksa yakınsak evrim örnekleri, türlerin çoğunun evrimsel paralellerinin olmadığı

* Voltaire'in 1759 yılında yazdığı *Candide ya da İyimserlik* adlı eserinde Candide'in hocası Pangloss'a göre, her şeyin bir amacı vardır o halde her şeyin en iyi amaç için olduğu kaçınılmaz bir gerçektir. (Ç.N.)

** Birkaç memeli, çoğunlukla karınca ve kermit yiyen memeliler dışıdır.

rastlantısal bir dünyada biyolojik öngörülebilirliğin istisnai, kuraldışı örnekleri mi?

İsterseniz bu soruları bitap düşene kadar tartışabiliriz. Ben ornitorengi ortaya atarım, siz yakınsak kirpilerle karşılık verirsiniz; ben size benzersiz, yosunla kaplı, yukarıdan aşağı sarkan tembel hayvanı kabul ettirmeye çalışırım, siz bana üç kıtada bağımsız evrimleşmiş iki ayakla seken farelerle yanıtı yapıştırırsınız. Bu tartışma özünde zaten tarihsel olarak listeler derleyip hikâyeler anlatılarak yürütülmektedir.

Conway Morris ve arkadaşları yakınsak evrimi ön plana taşıdıkları için saygıyı hak ediyorlar. Hepimiz yakınsamayı doğa tarihinin acayip bir gelişmesi, doğal seçilimin gücünün çarpıcı bir örneği olarak biliyorduk. Ne var ki Conway Morris ve arkadaşları, evrimsel kopyalamanın bildiğimizden çok çok daha yaygın olduğunu açıklığa kavuşturdu. Artık etrafımızda bolca örneği olan, doğa dünyasında sık karşılaşılan bir olgu olduğunu kabul ediyoruz. Yine de her yerde hazır ve nazır olmaktan çok uzak. Benzer ortamlarda yaşayan türler en az bir o kadar sık, belki daha da sık biçimde yakınsak uyarlanma göstermiyorlar.

Bu noktada tarihsel numuneleri tespit etmenin, lehte ve aleyhte örnekleri daha fazla sıralamanın ötesine geçmemiz gerekiyor. Bunun yerine yakınsamanın bazı vakalarda gerçekleşip diğerlerinde gerçekleşmemesinin nedenlerini kavramaya odaklanmamız gerekiyor; yakınsamanın hangi boyutta yaşanıp yaşanmadığının, kanguru sadece bir kez evrimleşirken, iki ayaklı kemirgenlerin dünyanın dört bir tarafındaki çöllerde birbirinden bağımsız şekilde evrimleşmesinin açıklaması nedir? Bunu başarabilmek için de listelerimize örnekler eklemekten fazlasını yapmalıyız. Evrimsel belirlenimcilik hipotezini doğrudan sınamalıyız.

Geçtiğimiz yüzyılda deneysel yaklaşım birçok bilimsel disiplinde haklı olarak standart haline geldi. Bir değişkeni dikkatle değiştirip diğerlerini sabit tutarak neden ve sonucu doğrudan test edebiliyoruz. Deneysel olmayan araştırmalar denetlemenin olmamasından mustarip ve çok sayıda değişkenden herhangi birinin inceleme konu-

ları arasında gözlemlenen farklardan sorumlu olma olasılığının sıkıntısını çekiyor.

Fakat evrim biyolojisi deney oyunlarına geç katılım sağladı; evrimin inanılmaz yavaş temposu deney fikrini başlangıç noktası olmaktan uzak tuttu. Bugün bu görüşün yanlış olduğunu biliyoruz, evrim çok hızlı ilerleyebilir. Bunun farkına varışımız da evrim çalışmalarına yeni bir kapı açıyor.

Şu ana kadar geçmişte ortaya çıkmış şeyleri anlamlandırmak için zamanda geriye doğru bakarak doğa tarihinin çekmecelerini alt-üst edip yanıtlarımızı arıyorduk. Ama şimdi ileri doğru bakmanın, yakınsamanın ve belirlenimciliğin evrimdeki rollerini araştırmak için deneysel yaklaşımın gücünden faydalanmanın zamanı geldi.

İKİNCİ KISIM:
DOĞADA DENEYLER

EVİRİMSEL DEĞİŞİMİN PEK O KADAR YAVAŞ OLMAYAN TEMPOSU

Charles Darwin'in müthiş bir deneyci olduğu pek az bilinir. Bilimsel açıdan yöntemin emekleme çağında olduğu bir dönemde Darwin, tohumların tuzlu suda tutulduğunda hayatta kalıp kalmadığını (bazıları kalır), bitkilerin ışığa doğru nasıl yöneldiğini (bitkinin ucu kilit noktadır), solucanların müziğe tepki gösterip göstermediğini (genellikle göstermezler) görmek için deneyler hazırlıyordu. Fakat Darwin, en büyük fikri olan doğal seçim yoluyla evrim kuramını test etmek için hiçbir zaman bir deney tasarlamadı.

Bu tutarsızlığın açıklaması basittir: Bu tür bir çalışma ona anlamsız görünmüştü. Darwin, evrimin inanılmaz yavaş, gelişiminin ancak aradan çağlar geçtikten sonra saptanabileceği kadar yavaş bir hızda gerçekleştiğini düşündü. *Türlerin Kökeni*'nde, "Bu yavaş değişimlerin bir ilerlemeye yol açmasını çağların aşıldığı uzun bir zamanı ardımızda bırakmadan görmüyoruz," diyordu. Bir evrim deneyinin sonuç vermesi için aradan binlerce yıl geçmesi gerekiyordu ve bu pratik olamayacak kadar uzun bir süreydi.

Darwin'in bilimsel başarıları müthişti. Mercan resiflerinin na-

sıl oluştuğunu, solucanların toprağın havalandırılmasında oynadığı rolü ve elbette sadece evrimin yaşandığını değil, aynı zamanda onun asli devindiricisinin doğal seçim olduğunu doğru biçimde çözdü. O yüzden eğer Darwin evrimin aheste aheste ilerlediğini söylemişse, alanın yüz yılı aşkın bir süre bunun doğru olduğunu düşünmesi şaşırtıcı değildi.

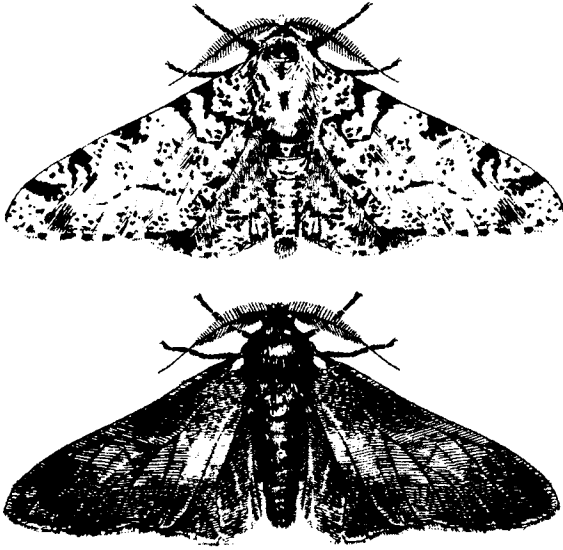
Darwin'ın döneminde evrimin temposuna ilişkin veriler elde edilmiş değildi, elbette. Popülasyonlar üzerinde çalışma yürütüp zaman içerisinde değişip değişmediklerini, ne ölçüde değiştiklerini görmek için çalışan yoktu. Darwin görüşlerini esasen jeolojik dönüşümlerin temposuna dair sağduyulu bir yaklaşıma ve modern yaşamda yenilenmelerin düşük denebilecek hızına ilişkin Victoria dönemi duyarlılığına dayandırmıştı.

Son yarım yüzyılda Darwin'in bu konuda haksız olduğunu öğrendik. Evrim bırakın sezilemeyecek kadar yavaş olmayı, bazen (belki de çoğu defa) ışık hızında ilerler. Darwin'in düşündüğünün aksine doğal seçim çok güçlü olabilir ve böyle olduğunda da popülasyonlar kısa süre içerisinde büyük değişimler gösterebilir.

Evrimsel değişimin temposu konusundaki bu köklü anlayış değişikliğine hepsi geçen yüzyılın ortasında elde edilebilen bir dizi farklı veri sebep oldu. Bunların arasında herhalde en etkilisi de biberli güvelerin 19. yüzyıl Büyük Britanya'sındaki ünlü hikâyesi oldu.

Biston betularia iddiasız bir görünüşe sahiptir. Yaz geceleri ve randa lambasının etrafında kanat çırpınların boyunda, küçük, grimsi beyaz bu güve, ismini kanatlarındaki minik kara yuvarlak beneklerden alır. Bu kadar gösterişsiz bir kelebeğin bir evrim ikonuna dönüşeceği kimin aklına gelir?

Ama dönüştü. Biberli kelebekler iki yüzyıl önce adlarına uygun şekilde siyah serpiştirilmiş bir grilikle yaşayıp gidiyorlardı. Elbette ara sıra farklı bir renk ya da desen doğuran bir mutasyon oluyordu ama bunlar kalıcı olmuyordu. Nedeni basitti: Biberli güveler günlerini ağaçlarda, kanatları açık ve düz halde dinlenerek geçiriyordu. İngiltere ormanlarındaki ağaçlar da karabiberli bir görünüme sahipti. Normal güveler gayet uyumluydu, mutantlarsa



Biberli güve

dikkat çekiyor, öğle yemeği arayan keskin gözlü kuşlara kolay lokma oluyorlardı.

Sonra, 19. yüzyılda Sanayi Devrimi dünyayı insanlar için nasıl değiştirdiyse, güveler için de değiştirdi. İnsanlara etkisi çok büyük ve çeşitliydi; sonuçta ilerleme kadar sosyal çalkantılara da sebep oldu. Güveler içinse sonuç daha basitti: Sanayi merkezlerinde ve rüzgârın estiği yöndeki bölgelerde bulunan ağaçlar fabrika fırınlarından göğe yükselen is karasıyla kaplandı. Açık renkli bir güve için bu ciddi bir sorundu. Eskiden fevkalade iyi kamufle olmuşken, şimdi kararmış ağaç gövdelerinde kolaylıkla göze çarpıyorlardı.

Genelde, özellikle de 19. yüzyılda, bir kelebek veya güve koleksiyoncusunun sunduğu kadar komik bir görüntü zor bulunur. Altında şalvarı, üstünde onun yünden takımı ve boyunbağı, muhtemelen gözlüğü ve yine yün kepini kuşanmış doğa tutkunu bir beyefendiyi gözünüzün önüne getirin. Şimdi de aynı kişiyi havada dalgalar çizen bir kelebeğin peşinde, elindeki kelebek kepçesini delice savururken,

genellikle son anda aşağı inen veya yukarı çıkan böcekçiği ıskalayıp kaçırırken hayal edin.

O dönemde kelebek ve güve koleksiyonu yapmak çok modaydı; toplantıları, toplulukları, gazeteleri vardı. Yeni bir şey keşfedildiğinde büyük haber oluyordu. Elde edilen ilginç koleksiyon bulguları büyük bir görev duygusuyla *The Entomologist's Monthly Magazine* [Aylık Böcekbilim Dergisi] ve *Entomologist's Record and Journal of Variation* [Böcekbilimcinin Çeşitlilik Kayıt ve Bülteni] gibi yayınlara bildirilirdi. Bu sayede siyah renk formunun ne zaman, nerede ortaya çıktığı ve ne kadar uzağa, ne kadar hızlı yayıldığı konusunda iyi bir dokümantasyona sahibiz.

İlk koyu renkli güveler Orta Britanya'da önce 1848'de Manchester'da, ardından 1860'ta Yorkshire'da yakalandı. Bir süre sonra daha kuzey ve güneyde, yüzyıl sonunda da Londra'da tespit edildiler. 1950'li yıllarda koyu renkli güveler İngiltere'nin hemen hemen her yerinde bulunuyordu. Sanayi bölgelerinde ve rüzgârın estiği yöndeki alanlardaki popülasyonlar neredeyse tamamen koyu renkli bireylerden oluşuyordu.

Biliminsanları biberli güvenin siyah formunun yaygınlaşması konusunda 20. yüzyılın başından itibaren çalışmalar yürüttülerse de, bu hızlı evrimsel dönüşümün önemi uzun bir süre boyunca tam anlamıyla anlaşılmadı. Bu durum Britanyalı hekimlikten terk böcekbilimci Bernard Kettlewell'in şu an klasikleşmiş bir dizi deneyi gerçekleştirmesiyle değişti. Kettlewell, her iki güve türünü de kırsal ve endüstriyel alanlardaki ormanlarda serbest bıraktı ve bir süre sonra geri gelip bunlardan yakalayabildiği kadarını yeniden yakaladı. Çalışması, sanayi bölgelerinin yakınındaki, ağaçların isten kararmış olduğu ormanlarda koyu renkli güvelerin daha yüksek oranda hayatta kaldığını gösterdi. Öte yandan daha bakir ve kırsal bölgelerde tipik gri güveler daha başarılıydı. Yapılan ek çalışmalar da seçim etkisini kanıtladı; arka zemini farklı farklı ortamlara yerleştirilen güvelerin kuşlarla karşı karşıya getirilmesi sonucunda Kettlewell, kuşların arka zeminleriyle uyuşmayan güveleri seçip yakalamada hünerli olduklarını doğruladı.

Bu çalışmalar çabucak, doğada doğal seçilimin işleyişine verilen klasik örnek düzeyine yükseldi. Güçlü seçilimin deneysel tanıtılması, renklenmede birkaç on yıl içerisinde görülen hızlı değişimin tarihsel kaydıyla beraber, doğal seçim yoluyla evrimin hızla ilerleyebileceğini açıkça gösteriyordu.*

Kettlewell'in çalışmasıyla hemen hemen aynı dönemde bilim insanları ve kamuoyu da çevrelerindeki dünyada yaşanan hızlı evrimin farkına varmaktaydı. İlk kez II. Dünya Savaşı'nda yaygın kullanıma sokulan "mucize ilaç" penisilinin bulaşıcı hastalıklardan kurtulmuş bir geleceğe yol açması bekleniyordu. Hemen ardından *Staphylococcus* (stafilokok enfeksiyonunun nedeni) direnç geliştirdi ve 1950'li yılların ortalarında penisilinden elde edilen sağlık kazanımlarının çoğu kaybedildi.

Sonrasında her yeni antibiyotiğin geliştirilmesiyle bakteriler evrimle buna karşı hızla direnç geliştirdi: Tetrasiklin 1950'de kullanılmaya başlandı, ona dirençli bakteriler dokuz yıl sonra ortaya çıktı; eritromisin 1953'te görücüye çıktı, 1968'de direnç tespit edildi. Metisilin 1960'ta sahne aldıktan sonra dirençsiz sadece iki yıl geçirebildi. Hızlı evrim kamuoyunun gözü önünde yaşanıyor ve can alıyordu.

* Biberli güve hikâyesine bir değil, üç dipnot eklememiz gerek. Birincisi koyu renkli güvelerin yükseliş hikâyesinin memnun edici bir ikinci yarısı var. İngiltere, 1952 yılında karşılaşılan Öldüren Sis'e yanıt olarak 1956'da *Clean Air Act*'i [Temiz Hava Yasası] çıkardı ve kirlilik düzeyleri hızla düştüğü gibi koyu renkli güvelerin ortaya çıkışı da azaldı. Bugün koyu renkli form Büyük Britanya'da seyrek görülür hale geldi ve bazı bölgelerde tümden kayboldu.

İkincisi bu hikâye harika bir yakınsak evrim örneği. Biberli güve sadece Büyük Britanya'da değil, Kuzey yarıkürenin her yerinde görülüyor; koyu formun görülme sıklığı başka yerlerde de yükseldi ve sonra azaldı. Durum özellikle Kuzey Amerika'da iyi belgelendi ve Atlantik'in bu yakasında da olayların aynı kronolojiyle yaşandığı ortaya çıktı. Kıtalararası yakınsama bir adım daha ileriye gidiyor: Hem İngiltere'deki hem de ABD'deki güvelerde koyu renklenmeden aynı gendeki bir mutasyon sorumluydu.

Son olarak son yıllarda yaratılışçıların gürültülü tezahüratlarıyla yürütülen bir kampanyayla biberli güve hikâyesinin itibarını sarsmaya yönelik bazı girişimler yaşandı. Kettlewell'in yöntemlerinin çağdaş ölçütlerle bakıldığında ham yöntemler olduğu doğrudur, fakat doğal seçim çalışmaları son 60 yılda müthiş bir ilerleme gösterdi. Son dönemde başka biliminsanlarının yürüttüğü çalışmalar Kettlewell'in bulgularını yeniden doğruladı.

Mikroplar antibiyotikleri etkisizleştirirken, aynı esnada çeşitli bitki zararlıları da aynısını yeni geliştirdiğimiz haşere ve bitki öldürücülere karşı yapıyordu. Tarla sarmaşığı 1950’de bitki öldürücülere direnç geliştiren ilk bitki oldu, bir süre sonra kimyasallarımızdan, hatta bazıları yeni herbisitler geliştirilmesine kalmadan, etkilenmez hale gelen birçok başka bitki ona katıldı.

Aynısı hayvan zararlılar için de geçerliydi. DDT İkinci Dünya Savaşı’nda yaygın biçimde kullanılmıştı; ilk direnç örneği 1940’ların başında saptandı ve 1960’larda artık direnç her yere yayılmış durumdaydı. Kemeler (sıçanlar) kemirgen öldürücü varfarine karşı 1958’de, piyasaya sürüldükten on yıl sonra direnç geliştirdi. Herhangi bir böcek ilacına karşı direnç geliştirmiş olduğu bilinen böcek türü sayısı 1938’de yediyken, 1984’te 44 olmuştu.* Hızlı evrim milyarlarca dolarlık zararın yanı sıra bazı yerlerde kıtlık ve sefaletle de neden oluyor.

Biberli güveler, mikroplar, zararlı böcekler... 20. yüzyılın ortasına geldiğimizde rüzgâr artık Darwin’in yavaş evrim görüşünün aleyhine esiyordu. Ne var ki gözden kaçırılmaması gereken çok önemli bir nokta vardı. Darwin doğa dünyasındaki evrimden bahsediyordu. Az önce konuştuğumuz örneklerin hepsinin ortak keseni, insanların sebep olduğu radikal çevre değişikliklerine yanıt olarak uyarlanma geçiren türlerle ilgili olmalarıydı. İster hava kirliliğinden ister başlangıçta müthiş etkili ilaçlara maruziyetten olsun, bu vakaların hepsindeki türler daha önce hiç karşılaşmadıkları ölçüde güçlü ve yeni seçim baskılarıyla karşı karşıya kaldılar. Üstelik bu güçlü seçim baskıları kısa süreli de değildi; seçim her geçen yıl daha da güçlü ve istikrarlıydı ki doğada seçilimin bu şekilde işlediği düşünülmez (şu ana dek alan çalışmalarından pek az veri elde edilmiş olduğunu hatırlayalım).

Genetikçiler 1920’lerden itibaren laboratuvarlarda güçlü ve devamlı seçim baskılarına maruz kaldığında meyve sineklerinin ve başka hayvanların hızla adaptasyon geliştirdiğini göstermişti. Benzer seçim tipleri yeni hayvan ırklarının ve tarım mahsullerinin ge-

* Son sayıma göre (2008) sayı şu anda 553.

lişimine yol açar. Biberli güve ile dirençli haşere ve mikroplar laboratuvar ve tarım çalışmalarının doğa dünyası benzeşimleri olarak görülebilir. Bu yapay seçim çalışmalarından (bu isimle anılıyor) insanlar sürekli seçim uyguladığında, popülasyonların hızla uyarlanma geliştirdiğini zaten biliyorduk. Bu yeni örnekler bize benzer seçim baskılarına cevaben hızlı evrimin, nasıl laboratuvar veya çiftliklerde yaşıyorsa, doğada da aynı şekilde yaşandığını gösterdi.

Fark edilen bu eşdeğerlik, gözlemlenen hızlı uyarlanmanın ilerleyişi çağlar alan evrimin bir örneği olmadığını düşündürdü. Müdahale edilmemiş doğada evrim nadiren bu kadar güçlü ve istikrarlı olur, dendi. Evrim, insanlarca bozulmamış doğal dünyada muhtemelen Darwin'in düşündüğü gibi çok daha sakin bir tempoda gerçekleşir ve ancak insanlar işleri berbat ettiğinde aşırı hız moduna geçer.

Adını Darwin'den alan kuşlar (Galápagos ispinozları) üzerinde yürütülen bir araştırmanın evrimin her zaman yavaş olduğu fikrinin kalbine son hançeri saplaması oldukça ironiktir. Darwin'in ispinozları da tıpkı biberli güveler gibi, evrimin tipik örneklerinden biri haline geldi ve bunun nedeni isimleri veya hikâyeleri değildi. Ünlerini esasen Princeton'lı biyologlar Rosemary ve Peter Grant'in yürüttüğü 40 yıl süren eşi benzeri görülmemiş araştırma programına borçlular.

Programa 1973 yılında başlayan Grant'ler Galápagoslar'daki krater şekilli, küçük Daphne Major adasında her yıl birkaç ay geçirdiler. Amaçları (daha küçük ve daha büyük yer ispinozu türleri olduğu için bu ismi almış) orta yer ispinozu popülasyonu üzerinde çalışarak popülasyonun nesiller geçtikçe değişip değişmediğini, değiştiyse ne yönde değiştiğini görmek ve mümkünse böylesi bir değişime neden olan doğal seçilimi ölçmekti.* Bunu yapabilmek için Grant'lerin her yıl adadaki ispinozların hepsini yakalaması ve ölçmesi gerekiyordu. Ancak bu şekilde popülasyonların tipik özelliklerinin (vücut kütlesi, gaga büyüklüğü, kanat uzunluğu vs.) nesilden nesile değişip değişmediğini görebilirlerdi.

* Aslında adaya ilk çıktıklarında hedefledikleri bu değildi ama proje hızla doğal seçim ve evrimsel değişim üzerine uzun vadeli bir çalışmaya dönüştü.

Bir kuşun yakalanması, bir güvenin veya bir kertenkelenin yakalanmasına oranla daha pasif bir süreçtir. Avını aktif şekilde aramak ve onu bir çeşit ağ veya ilmik gibi bir mekanizmayla kapana kısıtırıp tuzağa düşürmek yerine ornitologlar kuşların kendi kendilerine yakalanmasını sağlarlar. Bunun için badminton ağı görünümünde büyükçe bir düzene kurtmak yeterli, fakat örgüsü çok ince olmalı. O kadar ince olmalı ki, bu sayede kuşun gözünden kaçsın, gördüğünde de çok geç olsun ve kuş doğrudan içine uçup ağa çaresizce dolansın. Ardından Grant'lerden biri gelip protestosunu sürdüren kuşu dikkatle ağdan kurtaracak, bir bez çuvala atıp üzerinde işlem yapmak için kampa getirecektir.

Kamp dediğiniz de atla deve değil: bir taş barınak, gölgelik brandalar, açılır kapanır sandalyeler. Grant'ler ellerindeki kumpaslarla gaganın boyutlarını dikkatle ölçer: uzunluğu ne, yüksekliği neymiş, genişliği ne. Sonra uzunluğunu ölçmek için kanatları ustaca iki yana açar, ayak kemiklerini de ölçerler. Sonunda da her kuşun ayağına renkli bantlar tutturup kuşa kimlik belgesini verirler.

Grant'ler her yıl aynı şekilde gelip giderek evrim sürecinin ilerleyişini izlemeyi başardılar. Doğal seçim, bir bireyin hayatta kalma ve üreme başarısı fenotipiyle ilişkilendiğinde gerçekleşir. Grant'lerin elindeki veriler doğal seçilimin işleyip işlemediğini sormalarına olanak tanıdı. Her yıl geçen yıldan kimin hayatta kaldığını, kimin kalmadığını tasniflediler. Kuşlar için fenotipik ölçümlerin hepsine zaten sahiptiler, böylece iki veri kümesini birbiriyle bağıntılandırıdılar: Bir kuşun ayaklarının uzunluğu veya gagasının genişliği ile hayatta kalıp kalmaması arasında bir ilişki var mıydı?

Grant'lerin sonuca ulaşmak için çok beklemeleri gerekmedi. Çalışmalarının dördüncü yılı muazzam kurak geçti. Normal bir yılda yağışlı mevsimde 12 santimetre yağmur yağarken 1977'de bu miktar 2,5 santimden azdı. Daphne Major çorak bir yere dönüşmüştü. Bitkiler kurudu. Su olağan dönemden daha da kıt bulunur oldu. Tohumlar (bu ispinozların başlıca gıda maddesi) çok ender rastlanır hale geldi.

Kuşlar sürüler halinde öldü. Açlık ve susuzluk üst üste binmişti,

bunun üstüne bir de aç kuşlar yeni tüy uzatamadıkları için eski tüyler tükendikçe güneşe maruz kalan deri yoluyla su kaybı arttı. 1977 yılının Ocak ayında Daphne Major'daki orta yer ispinozlarının sayısı 1200'ken, 12 aylık kuraklığın ardından bu sayı 180'e indi.

Fakat can kaybı gelişigüzel değildi. En büyük kuşlar ile en büyük gagalara sahip olanlar daha çok hayatta kaldı. Bunun nedeni küçük tohumların önce yenip tükenmesiydi, bunlar ortadan kalkınca küçük gagalı kuşlar şansını kaybetti; geriye kalan büyük tohumları kırıp açmaya yetecek çene gücüne sahip değildiler. Doğada saptanan en güçlü doğal seçim hadiselerinden biri yaşıandı.

Doğal seçilimin her zaman evrimsel değişime yol açması gerekmez. Büyük gagalı kuşlar daha iyi hayatta kalıp çoğalıyorsa, bu durumda ortalama gaga büyüklüğünün zaman içerisinde artması gerekir. Fakat bu beklenti ancak büyük gagalı kuşlar büyük gagalı yavru lar verirse doğru çıkar. Diğer deyişle bir özellikteki değişiklik, özellik değerlerinin ana babadan yeni nesillere kalıtımla aktarımını sağlayacak bir genetik temele sahip olmak zorundadır. Genelde durum budur, ama her zaman değil. Örneğin insanlarda vücut geliştirmecilerin çocuklarının büyük kasları olması gerekmez.

Veya mutfak pencerenizdeki güneşi seven ev bitkisini düşünün. Güneş almayan bir yere koyarsanız çok daha yavaş büyür. Verdiğiniz su ve gübre miktarı da etki eder. Daha iyisi, aşılama veya parça alıp büyütme yoluyla yaratılmış, genetik açıdan özdeş bir düzine bitkiyi alalım ve bunlara farklı miktarlarda ışık, su ve gübre verelim. Birkaç ay sonra çok farklı görünümlü saksı bitkileriyle karşılaşacağımız kesindir.

Genetik açıdan özdeş organizmaların kendilerini çevreleyen koşullara bağlı olarak farklı fenotipler üretmesi olgusuna “fenotipik esneklik” denir. Bu doğa mı/yetişme mi tartışmasının yetişme kısmıdır.

Ne var ki fenotipik değişim Darwin'in ispinozları örneğinde genetik temelliydi, ana babadan çocuklara kalıtım yoluyla geçmişti. Grant'ler ana babalarla yavruları karşılaştırma yoluyla (kim kimin ana babasıdır biliyorlardı, çünkü kuşları daha yuvadayken, yumurta-

dan çıktıktan hemen sonra bantlıyorlardı ve ana babalarla yavruları arasında güçlü bir korelasyon bulmuşlardı) genel vücut büyüklüğünün, keza gaga, kanat ve bacak boyutlarının yüksek derecede kalıtsal olduğunu ispatlamıştı.

Sonuç olarak kuraklıktan sağ çıkanların daha büyük gaga ve vücut büyüklüğü bir sonraki nesle aktarıldı ve takip eden yıllarda ispinozlar daha büyük bedenli ve daha büyük gagalı oldu. Güçlü seçilim hızlı evrimsel değişime yol açmıştı.

Grant'ler Daphne Major'daki ispinozları incelemeyi sonraki 35 yılda da sürdürdü. Ulaştıkları sonuç, bu güçlü seçilimin nadir görülmediğiydi. Örneğin aradan birkaç yıl geçmeden gelmiş geçmiş en güçlü El Niño olaylarından biri 111 santimetrelik bir yağış getirdi; evet doğru, normalin on katı bir yağış. Şiddetli yağış müthiş bir küçük tohum fazlası üretti, bu da küçük tohumları verimli şekilde toplamak için gereken hassas dokunuşa sahip küçük gagalı kuşlar lehine bir güçlü seçilime yol açtı. Bunun üzerine popülasyon bir kez daha hızla evrim gösterdi.

Grant'lerin çalışması sadece belgeledikleri şeyler açısından değil, esasen neyin mümkün olduğunu göstermeleri yönünden müthiş etkili oldu. Genel kanının aksine, doğada halen sürmekte olan evrim konusunda çalışma yapmanın mümkün olduğunu gösterdiler. Çalışmaları alandaki biyologlar üzerinde bir değil, birkaç nesil boyunca sürececek bir esinlenme doğurdu ve sonuçta benzer araştırmalar yürüten insan sayısı patlama göstererek doğada evrimin hızı konusunda daha önce ulaşılamayan müthiş bir bilgi birikimi sağladı.

Tüm bu çalışmaların mesajı açıktır: Çevre değiştiğinde türler buna çok hızlı uyum gösterebilir. Gözlerimizle görebileceğimiz kadar hızla. Beş yıllık bir araştırma bursu sırasında belgelemeye yetecek kadar hızla.

Bundan birkaç yıl öncesine kadar, kısa bir süre içerisinde gerçekleşen hızlı evrimsel değişimi belgelemek büyük haberdirdi. Şimdi beklenti bu oldu. Hızlı uyarlanmayı belgelemedeki başarısızlık artık ilgi çekici bulgu oldu, açıklama gerektiren beklenmedik sonuç haline geldi.

Darwin fikirlerini test etmek için ulaşabileceği basit bulguları kullanmakta yetenekli ve akıllı bir deneyciydi. Örneğin solucanların duyma yeteneğiyle ilgili çalışmasında yüksek sesli bir ıslığın, fagotun, piyanonun ve kendi bağırımlarının çıkardığı seslere tepkilerini gözlemledi. Solucanlar tüm bu işitsel saldırıları kulak ardı etti, ama piyanonun çalındığı esnada (yandaki masa yerine) piyanonun üstüne konulduklarında epey bir heyecanlanıp hareketlendiler. Sesin başka, titreşimin başka şey olduğu ortaya çıktı.

Darwin'in deneye olan yatkınlığı düşünülduğünde, evrimin ne kadar hızlı gerçekleşebildiğini bilseydi neler yapardı, tahmin etmek mümkün değil. Fakat bunu bilmiyordu, dolayısıyla doğal seçim yoluyla evrim kuramını test etmek üzere bir deney tasarlamadı. Darwin'in izinden ilerleyen biliminsanlarının bunu denemesi de yüz yıldan fazla zaman aldı.

Stephen Jay Gould, evrimin kimi zaman son derece hızlı ilerlemiş olduğu yönündeki görüşün ilk savunucularından biriydi. Çok tartışılan kuramı sıçramalı evrim veya kesintili denge, evrimin devrevi olduğunu, kısa süren büyük değişim patlamalarıyla kesintiye uğrayan, az değişim yaşanan uzun dönemler biçiminde ilerlediğini iddia ediyordu. Gelgelelim Gould hızlı evrim ile kendi başa alıp oynatma düşünce deneyinin imkânsız bir düşünceden çıkma olasılığı arasındaki bağlantıyı kurmadı.* Bu iş yeni bir biliminsanları kuşağına kalmıştı.

* Çünkü muhtemelen insani değil, jeolojik zaman ölçeğiyle düşünüyordu: On binlerce yıllık hız ile onlarca yıllık hızın her zaman aynı kefeye konması gerekmez.

Saati milyonlarca yıl geriye alıp evrimi aynı şartlarda ilerleterek Gould'un önerdiği tipte deneyleri yapamayız. Bu yirmi beş yıl önceki Gould için de bugün olduğu kadar aşikârdı; aradaki dönemde zaman makinesini icat eden de olmadı. Gelgelelim bu Gould'un fikirlerinin (ya da evrimsel belirlenimcilik genel kavramının) deneysel yöntemden bağışık olduğu anlamına gelmez.

Conway Morris'in mantığı (yakınsak evrimin, zamanda yinelenen değil de, mekânda tekrarlanan evrimi başa alıp oynatmanın özünü cisimleştirdiği fikri) evrim deneylerine uygulanabilir. Araştırmacılar lehte ve aleyhte örnekleri listelemek yerine, doğrudan yakınsamayı test edebilir ve bu yolla başa alıp oynatma hipotezini sınayabilirler.

Örneğin sulu alanlarda yaşayan böcekler yeşilken, tozlu ve çorak alanlarda karşımıza çıkanların kahverengi olduğunu varsayalım. Deneysel olarak yeşil bir ortamın içinde kahverengi bireylerden oluşan bir popülasyon oluşturma yoluyla, deneysel popülasyonun aynı şartlara maruz kalan doğal popülasyonların fenotipine yakınsayacağı hipotezini sınayabiliriz. Veya araştırmacılar birden çok popülas-

yonu benzer koşullara maruz bırakarak yakınsak şekilde aynı tepkileri evrimleştirip evrimleştirmeyeceklerini test edebilir. İki yaklaşımlı birleştirmek daha da güçlü olur; birden fazla popülasyonun, seçim şartını doğal şekilde deneyimleyen popülasyonların gösterdiği tepkinin aynısını evrimleştirip evrimleştirmeyeceği sınanabilir.

Bilimsel disiplinler yer yer deneysel ve gözlemsel bilimler diye iki ayrı kategoriye ayrılır. Bu bölünmede bir miktar şovenizm de saklıdır; zira deneyciler, hiç değilse bazıları, kendilerini üstün görüp deneysel olmayan bilimi hakir görmekte, hatta aralarından radikal olanlar onu bilim olarak bile görmemektedir.*

Bu görüş elbette cahilcedir. Doğal olguların dikkatle gözlemlenmesi ve karşılaştırılmasından çok şey öğrenilebilir; bu, deneyler manipülatif tarzda yapılmadığında bile mümkündür. Üstelik deneyler de sınırlılıklara sahiptir; büyüklük ve kapsam açısından sınırlılık taşırlar. Yanardağ patlamalarının ya da Ay'ın kütleçekiminin nedeni üzerine bir deney yapmayı deneyin bakalım.

Daha da önemlisi, gözlem ve deney birbirine alternatif değildir; bu ikisi doğabilimlerinin yin ve yangı'dır. Doğa dünyasında yapılan gözlemler, hipotezlerin deneysel olarak sınanma kaynağıdır. Bunun en iyi örneği de, evrim biyolojisinde alan deneyleri çağının başlangıcını yapan araştırma programıdır.

Dünyada gitmediğim yağmur ormanı kalmadı; bu orman birçok açıdan oldukça sıradan: sık bitki örtüsü, aşırı nem, böcek ve kuş ötüşlerinin fondaki şamatası. Çok fazla yılan, her biri ayrı büyüleyici, çoğu zehirsiz. Yine de, olur ya ayağımı yanlış yere basarım diye, su geçirmeyen baldır üstü çizmelerimden pek memnunum. Bitki örtüsünün bu kadar sık olması olağandışı sadece, neredeyse içinden geçilemeyecek ölçüde. Hatta o kadar sık ki derenin içinde yürüyoruz aslında, lastik galoşlarımın asıl nedeni de bu. Ayağımdakiler birinci sınıf Bass Pro marka doğa ayakkabıları olsalar da, çok dikkatli yürüyorum, çünkü kayalar son derece kaygan.**

* "İzci çocuk bilimi" biçiminde bir hor görme daha vardır.

** O kadar kaygan ki ilk gün birkaç kez kıçüstü düşmenin kıyısından döndükten sonra, altında metal pençeler olan profesyonel çizmelere geçtim.

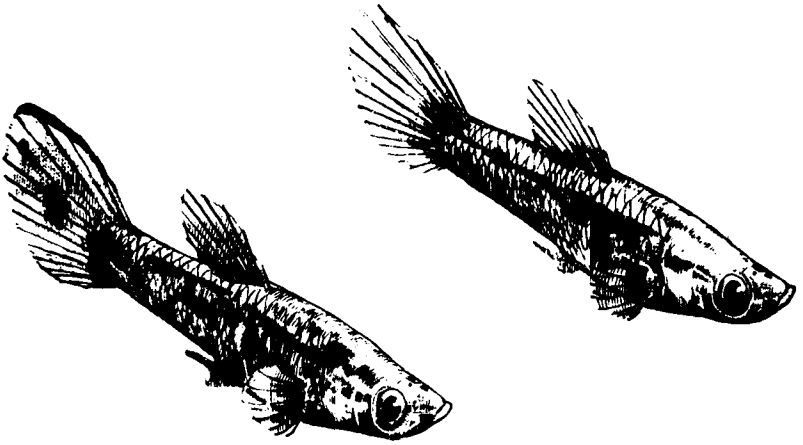
Nehirde akıntıya karşı yürümemizin bir nedeni daha var. Normalde bir yağmur ormanına gittiğimde kertenkeleler için giderim. Fakat bu kez minik bir balığın peşindeyim. Lepistesler evlerdeki ve sınıflardaki akvaryumlarda bol bulunur. Bu gösterişli balık türü parlak rengi, kocaman benekleri, büyük kuyruk yüzgeçleriyle sattığı cakayla ün kazanmıştır. İnsanlar köpeklere ve güvercinlere yaptıkları gibi, onlardan da bir tuhaf çeşitler sirki oluşturmayı becermiş, lepestesleri yine köpekler ve güvercinler gibi gösterilere, yarışmalara, ticari girişimlere meze etmiştir.

Fakat nasıl tüm köpek cinslerinin soyu bir ata kurda dayanıyorsa, lepestes cinsleri çeşitliliği de kökenini, Güney Amerika'nın kuzeyinde Venezuela kıyılarının biraz açığındaki Trinidad Adası'nı da kapsayacak şekilde yaşayan yabani bir türden almaktadır (aslında Trinidad bundan birkaç bin yıl önce deniz seviyesi daha alçakken Güney Amerika'yla birleşiyordu). Köpek torunlarının inanılmaz çeşitliliğinden nasibini pek fazla almamış kurttan farklı olarak, yabani lepestesler renkleri ve süsleri birbirinden çok farklı popülasyonlardan oluşan epey büyük bir çeşitliliğe sahipti.

Nihayet küçük bir su birikintisine ulaşıyoruz. Ayakta sessizce bekliyoruz. Birkaç saniye sonra küçük balık yeniden hareket etmeye başlıyor. Akvaryum sepetiyle balığın üzerine çullanıp yakalıyoruz. Bakıyoruz, evet lepestes, ama sıkıcı bir lepestes. Akvaryumcуда gör-düklerinizden değil, fazla rengi ve süsü olmayan, yavan, gümüş grisi bir lepestes.

Birkaç dakikanın ve birkaç lepestesin ardından olabildiğince az çalkantı yaratmaya çalışarak akıntıya karşı yürümeye koyuluyoruz. Lepistesler genellikle dingin sularda yaşar, o yüzden hızlı akan sularda fazla oyalanmıyoruz. Benzer görünümlü balıkların olduğu birkaç sakin su birikintisini daha ardımızda bıraktıktan sonra, nihayet göz kamaştırıcı turuncu ve mavi renkleri, kara benek ve çizgileri, araya siyah atılmış, renkli, pırıltılı, gösterişli kuyrukları olan lepesteslerin olduğu bir su birikintisine ulaşıyoruz.

Kuzey Trinidad'daki tüm dere yataklarında aynı tezat tekrarlanıyor: nehrin aşağısında donuk mat balıklar; yukarısında süslü püs-



Lepistesler akarsuların yukarısındaki su birikintilerinde (solda) daha aşağıda bulunan havuzlara göre (sağda) daha süslü püslüdür.

lü, göz kamaştırıcı balıklar. Bu tam da bir evrimsel biyoloğu heyecanlandıracak cinsten bir gözlem: Tekrarlanan, yakınsak farklılıklar lepistes renk şablonlarında bir şeyin ayrışmaya neden olduğuna işaret ediyor, ama ne bu? Yarım yüzyılı aşan bir zaman aralığında yapılan bir dizi kayda değer çalışma sayesinde artık yanıtı biliyoruz. Bu araştırmalar Trinidad nehirlerinde ne yaşandığını açıklamakla kalmadı, küçük lepistes evrim alanında dünya çapında şöhrete kavuşturdu.

Hikâyemiz geçen yüzyılın ortasında, bu uzmanlaşma çağında giderek daha zor bulunan türde Rönesans kadın veya erkekleriyle başlıyor. Caryl Parker Haskins, tarımda kimyanın rolünü konu alan ilk makalesini 18 yaşındayken yazdı, ardından Yale'de üniversite öğrencisiyken onu karıncalar üzerine başka makaleler izledi. Ardından Harvard'a giderek meyve sineği genetiği konulu araştırmasıyla 1935 yılında doktorasını tamamladı. Sonraki kariyeri de çok yönlüydü.

General Electric'in laboratuvarlarında radyasyonun küf sporları üzerindeki etkisi konusunda çalışarak bir süre geçirdi. Karınca ve insan toplumlarını karşılaştıran *Of Ants and Men* [Karıncalar ve İn-

sanlar] adında beğeniyle karşılanan bir kitap yazdı.* İlk kurulan renkli fotoğrafçılık şirketlerinden birinin ortağıydı ve İkinci. Dünya Savaşı'nda kör olan askerlere yardımcı protez cihazlar geliştirilmesine yardım etti. Mikrobiyoloji, beslenme ve genetik çalışmaları yaptı.

Hepsi iyi hoş da, lepistesler nerede? Danimarkalı biliminsanı Øjvind Winge lepisteslerin genetik araştırmalara, özellikle de cinsiyete bağlı (tek bir cinsiyette görülen) özelliklerin kalıtımı üzerine araştırmalara uygun yapıda olduklarını 20. yüzyılın başlarında tespit etmişti.** Haskins, onun çalışmasını devam ettirerek daha çok erkeklerde gerçekleşen renk özelliklerinin kalıtımını kavramak amacıyla 1932 yılından itibaren kendi lepistes ıslah projelerini yürüttü.

Haskins ve diğerlerinin yürüttüğü lepistes genetiği çalışması hızlı ilerleme göstererek lepisteslerin genetik sisteminin nasıl evrimleşmiş olduğuna dair çok sayıda çıkarıma yol açtı. Fakat Haskins doğal lepistes popülasyonlarından yeni bilgiler elde edilmeden bu fikirlerin test edilemeyeceğini fark etti. Böylece 1946'da o ve bilimsel partneri ve eşi Edna Haskins, lepistes renk örüntülerinin dağılımı ve altında yatan genetik temeli incelemek amacıyla doğa yolculuğuna çıkmaya karar verdiler.

Haskins bazı balık türlerini diğer türlere oranla daha fazla etkileyen bir topografik özelliğin varlığını çabucak fark etti. Çalışmasını yürüttüğü Kuzey Trinidad dağlarında bazı nehirler şelalelerle sonlanıyordu; bu şelalelerin çoğu birkaç metre boyundayken, bazılarının yüksekliği on metreye kadar ulaşıyordu. Bu çağlayanlar lepisteslerin

* Kitap yayımlandıktan sonra *New York World Telegram*'da çıkan bir yazıda şöyle deniyordu: "Büyüleyici canlılar. Savaş yaptıklarında birbirlerini deşiyor, zehir püskürtüyor ve birbirlerinin kafasını kesiyorlar. Zayıf ırkları boyunduruk altına alıp köleleştiriyorlar. Yeri geldiğinde nazik de olabiliyorlar, Oynayabilecekleri evcil bir böcek varsa etraflarında, bundan müthiş keyif alıyorlar," ve "Onlar da, aynı insanlar gibi, gruplarındaki en uyumcu organizmalar ve benzer biçimde en tehlikeli düşmanları yine kendi türlerindeki ötekiler. Onlar da insanlar gibi her yere gidiyorlar."

** Winge'nin çalışması balıklarla sınırlı değildi. Çok çeşitli organizmalar üzerinde çalışmalar yürüttü ama esasen maya genetiğinin kurucusu olarak ve bu sayede 10, 11 ve 12. bölümlerde değineceğimiz bazı laboratuvar deneylerinin entelektüel öncüsü olarak tanınmaktadır.

en önemli avcıları da dahil birçok balığın geçişine engel oluşturunuyordu, fakat genellikle iki balık türü bu engelleri aşabiliyordu: lepiştesler ve Trinidad yıllık balıkları.

Somonlar nehrin yukarısına doğru yolculuklarına devam etmek için bu çağlayanların üzerinden atletik bir tarzda atlarlar. Ama lepiştesler ve yıllık balıkları çok küçük, atlanacak yer çok yüksektir. Bu yüzden bu balıklar üzerlerine gelen bir akıntı engeliyle karşılaşınca kanocuların yaptığıının aynısını yapar, etrafından dolanırlar. Yıllık balıkları az sayıda balığın başarabildiği bir yeteneğe sahiptir, nemli orman zeminleri üzerinde kıvrıla kıvrıla ilerleyebilirler; şelalenin altındaki havuzdan dışarı düpedüz sürünerek çıkıp yamaçtan yukarıdaki havuza tırmanır. Lepiştesler yaya olarak o kadar başarılı değildir ama onlar da çok sık ve iğreti su birikintilerinde yüzme becerisine sahiptir. Lepiştesler, hiç doğrudan gözlem yapılmamış olsa da, büyük ihtimalle nehirde yukarı doğru yolculuklarını orman zemininde şiddetli yağmur dönemlerinde oluşan geçici kanallardan ilerleyerek devam ettirirler.

Haskins, Trinidad'daki akarsuların farklı kesimlerindeki balıkları karşılaştırdığında bu (bazı balık türlerini geçirip diğerlerini geçirmeyen) şelale engelinin evrimsel önemi anlaşılır hale geldi. Şelalelerin üzerindeki az sayıda avcıya sahip popülasyonlarda dişiler değil de erkekler çok renkliyen, daha aşağıdaki çok sayıda avcıya sahip popülasyonlarda her iki cinsiyet de oldukça donuk renkteydi. Haskins, lepiştesleri avlayan yırtıcı balıkların varlık veya yokluğunun erkek renginin evrimi üzerinde etki eden kilit etmen olduğu sonucuna vardı.

Haskins, fikrini teste tabi tutmak için laboratuvarında yırtıcılar üzerinde çalışmalar yürüttü. Lepiştesleri akvaryuma ve dışarıdaki su birikintilerine çeşitli Trinidadlı avcı balıkların yanına koydu. Su haznelerindeki parlak balıkların mat balıklara oranla çok daha hızlı kaybolduğu görülüyordu. Renkli olmanın avcılarla dolu sulara büyük bir dezavantaj olduğu doğrulanmıştı.

Fakat avcılar olmadığında niçin erkekler renkli oluyordu? Kadınlar bu noktada devreye giriyor. Henüz tam anlayamadığımız ne-

denlerle dişi lepidistesler göz alıcı erkekleri tercih ediyorlar ve bu tercih avcılarının olmadığı bölgelerde daha güçlü. Bu bilgiyi Haskins'in bir başka akvaryum çalışmasıyla başlattığı bir araştırma çizgisinden ilerlenerek son yirmi yılda hayata geçirilen incelikli araştırmalardan elde etmiş durumdayız.

Haskins'in lepidistes araştırması son derece yaratıcı ve derinlikliydi, birçok başka proje ve sorumluluğunun varlığında yürütülmüş olmasıyla daha da etkileyiciydi. Hatta bu çalışması o kadar ikinci dereceden görülüyordu ki ölümünden sonra yayımlanan mini biyografilerde ve ölümünün ardından yazılan yazılarda bahsi bile geçmedi. Buna karşın yaptığı çalışma 20. yüzyılın sonu ve 21. yüzyılın başlarında evrim biyolojisi alanındaki en heyecan verici araştırma programlarından birine zemin hazırladı.

Kaliforniya Üniversitesi, Berkeley'de 1960'lı yılların baş döndüren günlerinde en azından bir öğrenci dikkatini derslerine veriyordu. Çocukluk günlerini Güney Kaliforniya'nın çalılık ve bodur ağaçlarla kaplı bölgelerinde kertenkele peşinde koşmak ve böcek yakalamakla geçirmiş genç John Endler, zooloji alanında lisans eğitimi almak üzere Berkeley'e gitti. Berkeley'e ayak basar basmaz üniversitenin tıka basa numunelerle ve onları (yeri gelmişken "sessiz sakince" diye ekleyelim; Endler, "Protesto eylemlerinin hepsi kampüsün diğer ucunda yapılıyordu, o yüzden hiç rahatsız edilmiyordum," diye aktarıyor) inceleyen biliminsanlarıyla dolu ünlü Omurgalı Zooloji Müzesi'nin cazibesine kapıldı. Doğa tarihi müzesi dendiğinde çoğu kişinin aklına hemen halka açık büyük sergiler, Smithsonian ve diğer müzelerdeki içi doldurulmuş enfes üç boyutlu hayvanlar gibi şeyler gelir. Ne var ki birçok müzede perdelerin arkasında, korunmuş, dikkatle kataloglanıp düzenlenmiş, hem müzede çalışan biliminsanlarının hem de dışarıdan ziyaretçilerin akademik çalışma yapmasına açık, büyük bitki ve hayvan koleksiyonları olduğu pek bilinmez.

Endler'in herpetoloji müzesi müdürünün asistanı olarak görevlerine koleksiyondaki salamurası yapılmış sürüngenler ve iki yaşamlılarla çalışmak da dahildi. Bunu yaparken farklı bölgelerden numuneleri incelemek hoşuna gitmeye başladı ve genellikle numunelerin bölgeden bölgeye büyük çeşitlilik gösterdiğini öğrendi. Bu tarzda bir

coğrafi çeşitlilik doğa dünyasında iyi bilinen bir olgudur. İnsan derisinin rengi ve yüz şekli, popülasyonların türün kendi aralığı içerisinde birbirinden farklılaşmasının klasik örnekleridir.

Endler Berkeley'deyken coğrafi çeşitlenmeyi öğrenmenin yanında bir beceri daha edindi: Geliştirdiği fikirleri test etmek için deneyler düzenlemeyi öğrendi. Deneylerinden birinde konserve kabının içinde dolaşan su kellerleri döndürülerek bu dönüşlerin yıldızlara bakarak yön bulma becerilerinin bozulmasına yol açıp açmayacağını görmek hedefleniyordu (bozulmasına yol açıyordu ve bu bilimsel bir dergideki ilk yayınına vesile oldu). Bir başkası, kertenkelelerin günlük ritimlerinin nasıl düzenlendiğine ilişkin hipotezleri sınamaya çabasıyla kafalarına çarpan ışık miktarını kontrol altına almak için kertenkelelere alüminyum şapkalar takmayı içeriyordu (heyhat, teçhizat sorunlarına takıldı).

Coğrafi çeşitlilik olgusundan büyülenen Endler, salyangoz çeşitlenmesi alanında bir uzmanla doktora çalışması yürütmek üzere Edinburgh'a gitti. Orada coğrafi farklılaşmanın, yaygın bir türü zamanla nasıl birbiriyle çiftleşmeyen birden fazla türe ayrılabilirdiği konusunda kuramsal fikirler geliştirdi.

Fakat Endler, taşıdığı deney zihniyeti dolayısıyla, yeni türlerin nasıl ortaya çıktığı konusunda provokatif bir kuram ortaya atmakla yetinemezdi. Hemen fikri test etmenin deneysel bir yolunu buldu. Buradan meyve sinekleri üzerine yapılmış, popülasyonların ayrı ayrı kafeslere konduğu, ayrıntılı bir laboratuvar incelemesi doğdu. Farklı özellikleri destekleyen yerlerde yaşadıkları durumların taklit edilmesiyle bu popülasyonlar farklı seçim baskılarına maruz bırakıldılar. Her yeni nesilde bazı sineklerin popülasyonlar arasında değiştirilmesiyle komşu popülasyonlar arasında doğal olarak gerçekleşen dağılımla benzetim kuruldu. Geleneksel kuram, bireylerin bu karşılıklı değişiminin komşu popülasyonların gen havuzlarını homojenize edici bir etki doğuracağını öngörüyordu. Ne var ki deneyin sonucu, kuramla çelişti. Bu tür bir genetik paylaşım karşısında bile, popülasyonlar üzerinde etkiyen farklı seçim kuvvetleri popülasyonların genetik açıdan farklılaşmasına neden oldu ve Endler'in kuramının öngördüğü tam da buydu.

Bu çalışma büyük bir başarıydı ve birkaç önemli makalenin yayımına ve çok okunan bir monografiye yol açarak Endler'i evrim biyolojisi alanında geleceği parlak bir yıldız haline getirdi. Bununla beraber Endler'in kalbinde doğabilim yatıyordu, biyosfere hayrandı ve ona büyük bir arzu duyuyordu. Bu yüzden kuramsal çıkarımlarını ve laboratuvar işlerini yürütürken bile bir sonraki adımı düşünmeden edemiyor, sahaya çıkmasını sağlayacak bir proje arıyordu.

Doktora çalışması için coğrafi farklılaşma konusunda okuma yapan Endler lepidotes renk farklılaşması hakkında makalelere denk gelmişti. Konu ilgisini çektiği için o sırada (1970'lerin başı) Washington'daki Carnegie Enstitüsü'nde* başkan koltuğuna oturmuş olan Haskins'e mektup yazdı. On yıldan fazladır yönetici olarak çalışan Haskins hâlâ lepidotes araştırmalarıyla çok ilgiliydi ve aralarında hareketli bir mektuplaşma başladı. Hatta Endler, Haskins'i enstitünün Washington'daki devasa genel merkezinde ziyarete gitti ve ziyaret Haskins'in evinde bakımını yaptığı büyük lepidotes koleksiyonunu göstermesiyle sonuçlandı. Endler lepidoteslerin önemini kavramıştı; bundan sonra yapacağı araştırma projesinde bu balığa odaklanacaktı.

ABD'ye döndüğünde Princeton'da öğretim üyesi kadrosuna giren Endler, Haskins'in erkek lepidoteslerin rengini belirleyen kilit etmenin avcılık olduğu yönündeki fikrini titizlikle incelemeye başladı. Endler her yıl bütün yazı Trinidad'da akarsularda gezinip lepidotes dağılım haritaları çıkararak geçiriyordu.

Trinidad'ın kuzey ucunda bir dağ silsilesi uzanır, bu dağların hem kuzey hem de güney yamacından aşağı sayısız akarsu dökülür. Sayısız dememize bakmayın, sayılabilir ve Endler'in hepsini gösteren bir haritası vardı. El değmemiş ormanlarla kaplı bu bölgedeki bütün akarsuları tek tek ziyaret edip buralarda hangi balık türlerinin var olduğuna ve lepidoteslerin nasıl görüldüğüne bakmaya koyuldu. Beş yıllık süre zarfında toplamda 53 akarsuda bulunan 113 yere bizzat gitti.

* Şu anki adıyla Carnegie Bilim Enstitüsü, Andrew Carnegie'nin 1902 yılında kurduğu prestijli bir özel bilimsel araştırma organizasyonudur.

Bu akarsularda veri toplamak büyük başarıydı. Endler, haritalarına dayanarak nereye gitmesi gerektiği konusunda bir fikre sahip oluyordu olmasına, ama asıl sorun buralara ulaşabilmektir. Bazen kenarda bir yol oluyor, ormanda kısa bir yürüyüş ulaşmaya yetiyordu. Ama genellikle daha uzun ve zorlu (kimi zaman çalılar ve dalların arasından kendi patikanı açarak) bir yolculuk gerektiriyordu.

Akarsuya ulaştığında Endler'in bu kez de lepistesleri bulması gerekiyordu. Sakin bir havuz bulmak için nehir aşağı veya nehir yukarı yürümesi gerekiyordu. Havuzu buldu diyelim, havuzda iyi bir lepistes popülasyonu olması gerekiyordu; zira bazı havuzlarda daha fazla lepistes oluyordu, bazılarında daha az. Akarsuyun kıyısı çok dikse, benim yıllar sonra yaptığım gibi onun da nehrin içinde yürümesi gerekiyordu, bu da suyu bulandırıyor, balıkları huylandırıyor. Yer yer izlenebilen tek yol, yıkılmış bir ağacın güvenilmez dengelessnessi üzerinde dans etmeyi gerektiriyordu. Şelaleler ayrı bir tehlikeydi. Şelalenin etrafa döküldüğü alanda bulunan iri kayalar çok kaygan oluyor, sağlam adım atmak mümkün olmuyordu. Genellikle balıkla dolu, huzurlu bir havuzun sizi beklediği şelalelerin üstlerine çıkmak, dik kaya duvarların üzerine tam da çıkışa yardım edecek şekilde düşmüş ölü ağaçlar olmadı mı, başlı başına bir sorundu.

Nihayet uygun bir havuz bulunduğunda Endler su birikintisinin kıyısında bir saat boyunca akan berrak Trinidad suyuna bakarak oturur, avcı balık türlerinin hepsini not edip lepisteslerin popülasyon yoğunluğunu tahmin ederdi. Ardından sıra lepistes toplamaya gelirdi. Endler iki elinde birer kelebek ağıyla sabırla lepistesleri güder, ardından ani bir çullanmayla hepsini birden ağına düşürürdü. Her mevkide hemen hemen ellisinin erkek olduğundan emin olmak için yaklaşık iki yüz balık tutardı. Her erkek incelenir, yeri ve her bir beneğinin rengi kaydedilirdi.

Bu sabırlı veri derleme işi dört yıl sürdü ve elde edilen sonuçlar harcanan emeğe değdi. Örüntü çok netti. Haskins tümüyle haklıydı: Erkek lepisteslerin renklenmesiyle avcılarının varlığı arasında güçlü bir korelasyon vardı. Şelalelerin üzerindeki birikintiler gibi az avcının olduğu veya hiç olmadığı yerlerde erkek lepistesler daha renkliydi ve daha çok sayıda ve daha büyük beneklere sahipti. Gelgelelim

tüm benekler aynı değildi; çoğunlukla kırmızı ve siyah benekler daha büyük oluyor, mavi ve pırıltılı beneklerse sayıca daha çoğalıyordu.

Yerler arasındaki bu karşılaştırmalar kuvvetle fikir vericiydi ama kesin kanıt niteliği taşııyordu. Her zamanki gibi korelasyon, nedensellik değildi. Belki de avcı varlığıyla ilişkili başka bir etmen durumdan sorumlu olabilirdi. Örneğin şelalelerin üzerinde bulunan yırtıcı balıkların olmadığı yerler daha yüksek rakımdaydı ve buralarda nehir yataklarındaki çakıltaşlarının boyutları düşük rakımlı yerlerdekilere göre daha büyüktü. Dolayısıyla lepestes benek büyüklüğü, sadece avcılarının varlık ve yokluğuyla değil, nehir yataklarındaki çakıltaşlarının boyutlarıyla da korelasyon içerisindeydi. Benekler lepesteslerin arkalarındaki zeminle uyum sağlamasına yardımcı olduğuna göre, benek büyüklüğünün yerel çakıltaşı büyüklüğüyle korelasyon içerisinde olması beklenebilir ve bu da şelalelerin üzerindeki büyük benekli balıklar için alternatif bir açıklama sağlar (bu, lepesteslerin balık dışında başka bir önemli avcısı daha olduğuna işaret eder; belki de kuşlardır).

Endler, bu tür problemlerin nasıl çözüleceğini biliyordu; şu an klasik mertebesine yükselmiş 1980 tarihli makalesinde açıklıyor: “Sahada elde edilen sonuçlar çarpıcıydı, fakat çevredeki başka bir etmenin renk örüntülerini etkiliyor olması da mümkündü. Renk örüntüsünün tümüyle doğal seçilime bağlı olduğu hipotezine daha doğrudan bir test sağlamak için biri bir serada, diğeri alanda olmak üzere iki deney düzenlendi.”

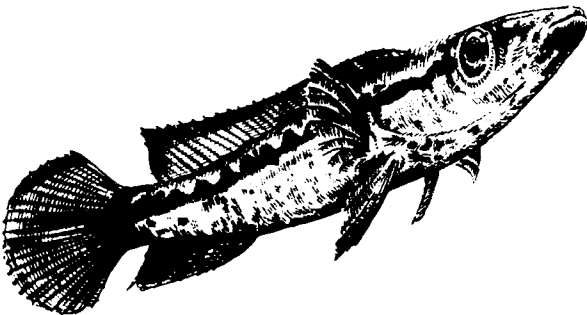
İlki laboratuvarda yapılan bir evrim deneyiydi. Laboratuvar deneylerini düşündüğümüzde meyve sinekleri için şişecikler veya mikroparla dolu Petri kapları aklımıza gelir. İleride göreceğimiz gibi şu anda evrim konulu tam da bu türde birçok laboratuvar deneyi yapılmaktadır. Gelgelelim Endler’in laboratuvar deneyi tamamen farklı bir ölçekteydi. Burada dizi dizi Petri kapları veya meyve sineklerinin uçtuğu şişecikler yok; bir lepestes popülasyonu, özellikle de doğadakine yakın bir ortamda olsun isteniyorsa, standart bir bilim laboratuvarının sahip olduğundan çok daha fazla alan gerektirir. Endler’in şansına bu tür bir deney için kusursuz mekân, terk edilmiş bir

sera şeklinde hemen yakınında bulunuyordu. Endler, yeri devralıp ihtiyolojik (balıkbilimsel) araştırmaları için değerlendirdi.

Sera 20 metre uzunluğunda, 8 metre genişliğinde büyük bir yerd, uzun masalarla ve botanik araç gereçleriyle doluydu. Endler, her şeyi kaldırıp çalışmaya koyuldu. İşe zeminin çevresini betonlayarak başladı (işin çoğunu da kendisi yaptı) ve 30 metrekarelik havuzlarıyla, akarsularıyla, hatta şelalesiyle tümüyle doğal görünen bir lepistes habitatı oluşturmaya girişti. Aralarındaki iki yürüme yoluyla üç sıra halinde, toplam 10 kapalı yer inşa etti. Havuz zeminleri çarpıcı ölçüde renkli akvaryum çakıllarıyla kaplanmıştı. Bir New Jersey serasından beklenmeyecek cırtlaklığıyla bu renkler aslında Trinidad nehir yataklarına iyi bir yaklaşıklık sağlıyordu. Yerel bir nehirden getirilip eklenen bitkiler ve omurgasızlar işleyen bir ekosistem yarattı. Bol ısı ve ışıktan memnun suyosunları serpilerek işleyen bir yiyecek ağının temelini oluşturdu.

Endler, havuza koymak için 11 farklı akarsudan lepistes toplayıp bunları birbirine karıştırarak birkaç nesil kendi aralarında çoğaltmalarını bekledi. Ardından kapalı alanların her birine 200 balık yerleştirdi. Balıklar gelişigüzel gruplandığından başlangıçta popülasyonların süslülük düzeyi açısından birbirinden farkı pek azdı.

Deneyin hedefi, lepisteslerdeki renk evriminin öngörülebilirliğini avcı balıkların varlığı ve yokluğuyla bağlantısı yönünden test



pike çitlik (*Crenicichla lepidola*)

etmekti. Lepistesleri havuzlara yerleştirdikten dört hafta sonra Endler yırtıcı balıkları bazı havuzlara ekledi. Dört havuza lepestes yiyecek beslenen, aerodinamik bir torpidoya benzer, dişli, yüksek derecede yırtıcı bir pike çiklit koyuldu. Dört tanesine genç lepestesleri arada sırada yiyen, daha az tehditkâr yıllık balıkları koyuldu. İki havuz da avcısız bırakıldı. Endler'in öngörüsüne göre, Trinidad akarsularında gözlemlenen farklılıklar avcılarının tamamlayıcı varlığının sonucu ise, bu durumda popülasyonları zaman içerisinde renk farklılıkları gösterecek, pike çiklitlerle aynı ortamı paylaşanlar daha donuk renkli hale gelirken, az avcıyla karşı karşıya olanlar veya hiç avcısı olmayanlar cinsel seçilimin cilvesiyle parıl parıl parlayacaktı.

Cup! Avcılar suya girdi, Endler'in deneye son müdahalesi de bu oldu. Günlük yem vermelerin ve suyun kimyasının izlenmesi hariçinde lepestesler ve avcıları artık baş başaydı. Daha iki aylık olmadan çoğalmayı becerebilen lepestesler sahip oldukları hızlı yaşam döngüsüyle ün kazanmıştır. Evrimsel değişikliğin yaşanması için kaç nesil geçmesi gerekecekti? Endler Trinidad'daki alan çalışmasına dönüş yapıp doğanın (sera tarzında) kendi işini görmesini bekledi.

Endler avcılarının bırakılmasından beş ay sonra ne olduğuna bakmaya karar verdi. Havuzlardaki her balık tek tek ağla alındı, fotoğrafı çekildi, benekleri sayıldı ve ölçüldü, rengi not edildi. Ardından balıklar fazla yıpranmadan yeniden suya atılıp evrimleşmeye bırakıldı. Beş ay en fazla birkaç lepestes nesli eder, evrimsel değişim için çok kısa bir süre olduğu ortadaydı.

Ama öyle değildi! Popülasyonlar şimdiden birbirinden farklılaşmaya başlamıştı. Son derece yırtıcı pike çiklitlerle beraber yaşayan lepestesler benek sayısında yüzde onluk bir azalma gösterirken, yırtıcı balıksız veya zararsız yıllık balıklarıyla olan lepesteslerin benek sayısı hemen hemen aynı miktarda artmıştı.

Dokuz ay sonra Endler yeniden balık sayımı yaptığında popülasyonlar zıt yönlerde evrimleşmeye devam etmiş, farklılıklar daha da artmıştı: Yıllık balıklı veya avcısız havuzlarda olan lepestesler çiklitlerle beraber yaşayan balıklardan en az %40 daha fazla beneğe sahipti.

Benek sayısındaki farklılık, farklı yırtıcılarla yaşayan Trinidad'daki lepistes popülasyonlarında olduğu gibi, esasen mavi ve pırlıtlı beneklerdeki eşitsizlikten doğuyordu. Benzer biçimde beneklerin boyutları, yıllık balıklarının olduğu havuzlarda çiklitlerin olduğu havuzlara oranla hemen hemen %50 daha büyüktü ve bu da doğal durumu yansıtıyordu. Sera havuzları ile doğal havuzlar arasındaki benzerlik gerçekten de son derece büyüktü; deney popülasyonları sadece iki yılda doğadaki yırtıcılık şartlarında yaşayan lepisteslerle hemen hemen aynışmıştı.

Sonuçlar ne kadar etkileyici olsa da, yine de içerdiği tüm yapaylıklarla bir laboratuvar (olmadı, sera) deneyinin sonuçlarıydı. Balıklar her gün besleniyordu; lepistesler ve avcıları haricinde Trinidad ekosisteminin diğer tüm üyeleri (kuşlar, diğer balıklar, kerevitler) mevcut değildi; hiç yağmur yağmıyordu. Tüm proje bu deneyden ibaret olsa, sonuçlar yine de bir sinekten veya mikroptan büyük bir hayvandaki hızlı evrimin kayda değer bir ispatı olarak düşünülebilirdi. Fakat sonuçlar, en azından kimilerince doğa dünyasında uygulamaz, laboratuvarı yaratılmış yapay bir olgu olarak hakir görülecekti.

Endler, bu itirazın da icabına baktı. Daha çimento döküp şelaleleri inşa ederken, bir yandan da gözü Trinidad'daki Aripo Nehri'nin üst kısımlarındaki el değmemiş bir havuzun üzerindeydi. Bir şelalenin hemen üzerindeki havuzda yıllık balıkları vardı, ama lepistesler yok gibi görünüyordu. Oraya iki yıl boyunca üst üste giderek ısrarla lepistes varlığına dönük işaretler aradı, hiç lepistes yoktu. Sonunda havuzda lepistes olmadığına kesin kanaat getirdi ve 1976 yılının Temmuz ayında projesinin ikinci kısmını başlattı.

Endler, civarda Aripo'nun diğer kollarında çok benzer iki akarsu daha buldu; her ikisi de lepistesliydi, fakat yırtıcı listesi farklı farklıydı. Birinde sadece yıllık balıkları vardı, diğeryse pike çiklitleri dahil ağzına kadar lepistes yiyen yırtıcılarla doluydu. Adadaki her yerde olduğu gibi bu iki akarsudaki lepistesler de beklendiği üzere farklılık gösteriyordu; sadece yıllık balıklarının bulunduğu akarsudakiler daha parlaktı ve daha çok sayıda ve daha büyük beneklere sahipti.

Endler'in deneyi basitti. Avcılarla dolu akarsudan iki yüz lepestes aldı ve donuk renkli, küçük benekli bu balıkları şelalenin üzerindeki el değmemiş, lepestesiz, sadece yıllık balıklarının olduğu havuza bıraktı. Doğal popülasyonların gözlemlenmesinden çıkarsadığı öngörüsü, bu balıkların sadece yıllık balıklarının olduğu civardaki akarsudaki renkli lepestesler gibi görünecek şekilde evrimleşmesi idi.

Endler'in bu deneyi düzenlemesi bile, o dönemde alanın durumu gözetildiğinde onun sahip olduğu ileri görüşlülüğün göstergesidir. Trinidad'daki lepesteslerin farklı ortamlarda farklı renklere sahip olması, bu farklılıkların çabucak evrimleştiği anlamına gelmez. Yaklaşan devrimin ayak sesleri duyulsa da, o dönemde evrimin genel olarak oldukça yavaş ilerlediği fikri halen yaygın inanış durumundaydı. Fakat Endler dogmayı benimsemedi. Evrim kuramına olan aşinalığı, onun aklına eğer doğal seçim yeterince güçlüyse evrimin oldukça hızlı olabileceği düşüncesini getirmişti ve biberli güveler, dirençli bitki zararlıları ve mikroplar gibi örnekler onun için ikna edici olmuştu. Daha önce hiç kimse sahada deneysel bir evrim çalışması yürütmemişti, ama Endler bir evrim deneyinin düzenlenebileceğini düşünebilecek yüreklilikteydi.

Endler, iki yıl sonra geri dönüp akarsudaki lepestesleri yakalayıp standart ölçümelerini yaptı. Ve doğal seçim tıpkı seradaki gibi evrim yeteneğini konuşturmuştu: Kısa ömürlü birkaç neslin ardından lepestes popülasyonu daha çok sayıda ve daha büyük benekler evrimleştirmiş, tipik bir bol avcılı lepestes popülasyonundan yalnızca yıllık balığı görülen yerlere özgü bir lepestes popülasyonuna dönüşmüştü.

Endler, lepestes evriminin öngörülebilir olduğunu kanıtlamıştı. Neden bazı lepesteslerin renkli, bazılarının renksiz olduğunu anlamakla kalmıyorduk, eğer seçim koşullarını yeniden yaratırsak (laboratuvarda veya sahada) tam da beklendiği gibi evrim göstereceklerini öğrenmiştik.

Evrime biyologlarına verilen mesaj lepestesleri de aşıyordu: Doğal seçim güçlü olduğunda evrim hızla gerçekleşebilmektedir. Ve

doğal sonuç: Deneysel yöntem (modern bilimin dinamosu) sadece laboratuvarın kontrollü ve yapay hudutları içerisinde değil, aynı zamanda dağınık, kontrolsüz, delişmen doğal dünyada da evrim çalışmaları yapmak için kullanılabilir.

Endler'in çalışması ilk araştırmalarımı yaparken üzerimde önemli bir etki yarattı. Üniversitede ikinci sınıf öğrencisiyken küçük bir grup olarak yaptığımız bir derste onun yeni türlerin nasıl doğduğunu anlatan bir monografisini okuduk. Kitap kuram ile verilerin etkileşimini, doğada yapılan gözlemlerin nasıl kuramsal fikirlerin gelişimine yol açıp daha sonra bunların yeni veriler toplanarak desteklendiğini kavramamı sağladı.

Kendisinin bölümdeki haftalık seminerler dizisinde yaptığı bir konuşmayı dinlemem, üzerimde daha da büyük bir etki yarattı. O dönemler bir biyoloji hastası olarak yüksek lisans ofislerinde takılıp insanları çok bunaltmamaya gayret ederek dedikodu ve bilgelik edinmeye çalışıyordum. Üniversite öğrencilerinin her yerde ara sıra olduğu gibi biraz bezgin, her zaman bir makale veya sunumdaki test edilmemiş varsayımları ve açık hataları çabucak fark eden bir gruptaydım. Ama bu sefer öyle olmadı. Endler, deneysel çalışması hakkında bir konuşma yaptı ve aradan 35 yıl geçmesine rağmen sınıftan çıkarken yüksek lisans öğrencilerinin yaptığı coşkulu yorumları duyduğumu çok net hatırlıyorum. İçlerinden birinin söyledikleri dün gibi aklımda: "Evrimsel ekolojinin deneysel bir bilim olabileceği kimin aklına gelirdi?" O dönem bilmeme imkân yoktu ama yaşadıkları ve dile getirdikleri aydınlanma beş-altı yıl sonra meslek hayatımda önemli bir rol oynayacaktı.

Endler'in konuşmalarının yarattığı şaşkınlık sadece benimle ve master öğrencileriyle sınırlı kalmadı. Birkaç yıl sonra, henüz daha çalışması yayımlanmamışken Endler bu kez Philadelphia'daki Doğa Bilimleri Akademisi'nde lepidistes deneyleri üzerine bir sunum yaptı.

İzleyiciler arasında o sırada Pennsylvania Üniversitesi'nde dört yıllık master öğrencisi olan David Reznick vardı. Reznick de Endler gibi, çocukluktan kalbine doğabilim sevgisi yerleşmiş, sürüngenlere

düşkün biriydi.* Üniversitedeyken Güneybatı Amerika'daki bir yaz stajında lav akıntılarında yaşayıp yandaki çölün kumlarında yaşayan akrabalarının açık renklerinden çok farklı siyahı renkleriyle ortama uyum sağlayan kertenkelelerle karşılaştı. Lav bundan yalnızca birkaç bin yıl önce gerçekleşmiş püskürmeden kaynaklandığı için popülasyonlar koyu renkliliklerini yakın geçmişte evrimleştirmiş olsa gerek. Bu gözlem Reznick'i popülasyonlar yeni koşullara uyum sağladığında evrimin çok hızlı gerçekleşebileceğine ikna etti.

Kertenkelelerle çalışmaktan çok daha pratik olduğu için balıklara geçiş yapan Reznick lisanüstü çalışmasını yaşamöyküsünün evrimi konusunda yapmaya karar verdi. "Yaşamöyküsü" kavramı, bir bireyin üreme başarısını etkileyen tüm etmenlere, ne kadar yaşadığı, ne kadar çabuk olgunlaştığı, üreme olayı başına ürettiği yavru sayısı vs. karşılık gelmektedir ("demografi" benzer anlama sahip, biraz daha eski bir kavramdır.).

Yaşamın farklı koşullara bağlı olarak nasıl çeşitlenmesi gerektiği konusunda ciddi bir kuramsal çalışma birikimi vardı. Örneğin yırtıcılık düzeyi yüksekse bireyler hızlı yaşayıp genç ölmeliydi; iyice yaşlanana kadar yaşamama olasılığı yüksek olduğu için, daha büyük boyutlara ulaşmaya yatırım yapmaktansa enerjilerini erken ve sık üremeye vererek hızla olgunlaşmaları gerekir. Dahası, yırtıcı tehdidi yüzünden bireylerin az sayıda büyük yavru yerine çok sayıda küçük yavru üreterek şanslarını artırması gerekmektedir.

Öte yandan yırtıcılık düzeyleri düşük ve ortalama ömür uzun olduğunda, bireyler boyutları daha büyük olduğu için çok daha fazla

* Reznick ve ben bu yönden ve başka bir dizi yönden bir elmanın iki yarısı gibiyiz. Ben de çocukken kertenkele kovalardım ve bu kitabı yazarken ikimizin de üzerinde, ergen çocukları Güneybatı Amerika'da kamp yapmaya götüren Prairie Trek adlı aynı yaz kampına gitmiş olmanın etkisinin olduğunu öğrendim. Ardından ikimiz de Washington Üniversitesi'nde bulunduk; o üniversite öğrencisi, ben yıllar sonra profesör olarak. Belki de en çarpıcısı, ikimizin çalışmasıyla da *National Enquirer*'da dalga geçildi; Reznick'le "Sam Amca İhtiyar Lepisteslerin Öldüklerinde Nasıl Olduğunu Öğrenmek İçin 97.000\$'ı Çöpe Atıyor" başlıklı bir makalede, benimle de "Sıçrayan Kertenkeleler! Vergilerinizden Kesilen 60.000\$ Bunların Neden Bazı Adaları Sevdiği Konusunda Çalışsın Diye Çöpe Atılıyor" başlıklı bir yazıda.

yavru üretebildikleri yaşamlarının sonuna doğru üremeyi erteleyerek enerjilerini öncelikle büyümeye harcama lüksüne sahiptir. Dahası, yavruların hayatta kalma şansı daha yüksek olduğu için ebeveynlerin her birine çok yatırım yapması ve onları başkalarıyla rekabet edecekleri bir yaşama hazırlaması gerekir.

Yaşamöyküsünün evrimi hakkındaki kuramlar laboratuvarlarda meyve sinekleri ve başka organizmalarla test edilmiş ama doğada hiç sınanmamıştı. Endler gibi Reznick'in kuram anlayışı da doğal seçim güçlü olduğunda evrimin hızla yaşanması gerektiği yönündeydi; jeolojik açıdan yeni ortamlardaki farklı popülasyonlarda yaptığı gözlemlerle bu yönde bulgular edinmişti.

Reznick yaşamöyküsünün hızlı ve uyumsal biçimde evrilmesi fikrini test etmek için New Jersey'deki Cape May bataklıklarındaki sivrisinek balığı (lepisteslerin mülayim görünümlü bir akrabası) popülasyonları üzerinde çalışmaya başladı. Ama çalışma olması gerektiği gibi gitmedi. Balıklar mevsimlerden çok etkileniyordu ve bu durum avcısız ve avcılarla yaşayan popülasyonların karşılaştırılmasını zorlaştırıyordu. Üstelik Philadelphia'dan uzun yolculuklarla gelip gitmek, özellikle de New Jersey'in meşhur kötü manzarası ve kokuları Reznick'in kafasındaki alan çalışması hayaliyle örtüşmüyordu. Aslında tropiklerde çalışmak istiyordu.

Ardından Endler'in konuşmasını dinledi ve her şey aydınlandı. Sivrisinek balıklarına iki yılını vermişse vermişti, ne yani? Lepistesler bir araştırma projesinden beklediği her şeye sahipti, zaten çocukken akvaryumda lepistes de beslemişti, onlarla çalışabileceğine emindi.

O akşam seminer sonrası yemeğinde Reznick, Endler'e fikirlerinden bahsetti. Bir hafta sonra ikisi Princeton yolu üzerinde karşılaştığında Endler Reznick'e ertesi yıl Trinidad'da kendisine katılma daveti yaptı. Reznick'in yaşamöyküsü kuramına duyduğu ilgi, Endler'in ve Haskins'in ele aldığı renk konusunu mükemmel biçimde tamamlıyordu.

Mart ayında Reznick Endler'le Trinidad dağlarındaki bir saha araştırma istasyonunda buluştu. Endler oluşturduğu kuzeydeki dağların topografik haritasını masaya serdi ve (tüm bunlar taşınabilir

bilgisayarların çıkmadığı dönemde oluyordu) üzerine şeffaf kopya kâğıdı koyup bir kopyasını çıkardı. Bu elle çizilmiş harita (artık değerli bir mülk olarak) halen Reznick'in ofisinde durmaktadır. Üzerine Endler'in koyduğu işaretler yırtıcıların olduğu ve olmadığı lepistes popülasyonlarının karşılaştırılması için hangi akarsuların araştırılmaya değer olduğunu göstermekteydi. Reznick kiralık bir arabaya atlayarak dağlardaki yolculuğuna başladı. Yaklaşık 40 yıl sürececek bir araştırma programına başlayarak alçak yüksek demeden dağların her tarafından örnekler topladı, yaşamöykülerinin çizelgesini çıkarmak için sayısız lepistes yakaladı.

Reznick o ilk yaz 16 popülasyonu inceledi. Tıpkı renkte olduğu gibi, demografik farklılıklar not edildi: Pike çiklitleri ve diğer yırtıcıların olduğu lepistes popülasyonları, yırtıcılığın düşük olduğu akarsulardaki lepisteslerden çok farklıydı. Yüksek yırtıcılıkla karşı karşıya lepistesler daha küçük boyutlarda olgunlaşıyor, üremeye daha fazla kaynak adıyor, daha çok sayıda ve daha küçük yavrular üretiyordu. Kuramın öngördüğünün tamamen aynısı! Altta yatan varsayım, yüksek yırtıcılığa sahip yerlerdeki lepisteslerin daha kısa hayatlar sürmesiydi elbette. Reznick lepistesleri yakalayıp, işaretleyip, sonra geri dönerek işaretlenen balıkların ne kadar süredir hayatta olduğuna bakarak bunu da doğrulamayı başardı. Sadece iki haftalık bir zaman diliminde yüksek yırtıcılıktaki yerlerde düşük yırtıcılıktaki yerlerden %15 daha fazla lepistes öldü; daha uzun süreli bir işaretleme-yeniden yakalama çalışmasının sonuçlarına göreyse, yedi aylık bir zaman dilimi içerisinde yüksek yırtıcılıktaki yerlerde hayatta kalma %1 civarındayken, yalnızca yıllık balıklarının olduğu yerlerde hayatta kalma oranı 25 kat daha fazlaydı.

Yaşamöyküsü farklılıkları örüntüsü ikna ediciydi. Gelgelelim Reznick de Endler gibi bu sonuçları nihai kesin sonuçlar olarak değil, yırtıcılığın popülasyonlar arasındaki farklılıklardan sorumlu olduğu yönündeki hipotezin kaynağı olarak gördü. Reznick'i lepisteslere çeken asıl şey, fikirlerin deneylerle test edilebilmesiydi, o yüzden Endler'in çalışmasının devamını getirmeye çok istekliydi. Endler'in Trinidad'daki aktarma sahasını yeniden ziyaret etti ve oradaki (ataları yüksek yırtıcılıktaki bir havuzun sakinleriyken tehlikesiz bir ortama

yerleştirilen) lepisteslerin düşük yırtıcılıkta bir yaşam öyküsü evrimleştirmiş olduğunu tespit etti. Sera deneyine tekrar dönüldü: Endler çalışmasına başladıktan iki buçuk yıl sonra bu kez Reznick düşük ve yüksek yırtıcılık taşıyan yapay havuzlardaki lepisteslerin yaşamöykülerini karşılaştırdı ve doğada görülenlerle paralel yönde farklılıklar buldu.

Reznick kendi deneylerini yapmaya devam etti ve iki ayrı yerde daha lepistesleri düşük yırtıcılıkla yüzleştirdi. Buralarda da sonuçlar neredeyse tümüyle aynıydı. Son olarak yeni tipte bir deney tasarladı, daha önce yapılanların tam tersini yaptı. Lepistesleri taşımak yerine onların avcılarını taşıdı, daha önce yalnızca lepisteslerle yıllık balıklarının olduğu bir şelale üzeri havuza pike çiklitlerini boşalttı. Çitlikler bu işten çok memnun olurken, bedelini havuzun eski naif sakinleri ödedi. Lepistesler yüksek yırtıcılıkla karşı karşıya olan popülasyonların özelliklerini hızla evrimleştirmeye başladı. Deney başladıktan beş yıl sonra (Reznick'in son kontrol ettiği zaman) daha önce düşük yırtıcılık koşullarını taşıyan lepistesler, düşüğe yakın yırtıcılık ile yüksek yırtıcılık popülasyonlarının arasında, hemen hemen tam orta düzeyde yaşam öyküsü özellikleri gösteriyorlardı.

Genel olarak bakıldığında Endler'in ve Reznick'in çalışmaları çarpıcı ölçüde benzerlik taşıyordu. Endler'in renk çalışmasında olduğu gibi, Reznick'in deneysel popülasyonları da aynen doğal popülasyonlar arasındaki çeşitlenme bilgisinden öngörülebilecek şekilde evrimleşmişti. Görünen o ki lepistes yaşamöyküsü, doğal seçilimin hızla ve öngörülebilir şekilde evrimsel tepki oluşturduğu, son derece kolay şekil alabilen evrimsel bir özellikti.

Hızlı uyumsal evrim savunusunu sapasağlam kılmak için Reznick'in ek bir konuyla daha ilgilenmesi gerekti: Belki de yüksek ve düşük yırtıcılık ortamlarındaki lepistesler arasında gözlemlendiği farklılıklar evrimin sonucu değildi. Popülasyonlar arasındaki yaşamöyküsü farklılıkları, genetik değişimlerden kaynaklanmak yerine teorik olarak, 5. Bölüm'de ele aldığımız fenotipik esneklik olgusu, genetik açıdan benzer lepisteslerin yetişmesine ve farklı biçimlerde üremesine sebep olan çevresel etkilerin sonucu olabilirdi.

Reznick, farklı popülasyonlardan balıkları laboratuvara getirip hepsini yırtıcıların olmadığı özdeş akvaryumlarda besleyerek bu soruya doğrudan yanıt verdi. “Besi hayvanlarının” (onun verdiği isimle) ayrı ayrı barınaklara yerleştirilerek çoğalmaları sağlandı ve bebeklerin her biri özdeş şartlarda yetiştirildi. Bu düzenlemeye botanik bilimindeki kökenine dayanılarak “ortak bahçe” deneyi adı verildi.

Reznick’in amacı doğada yakalanan dişiler arasındaki farklılıkların, her biri özdeş koşullar altında yetiştirilen yavrularına aktarılıp aktarılmadığını ortaya çıkarmaktı. Anneler arasındaki farklılıklar genetik temelliyse, bu durumda yavrularının da farklı olması gerekcekti. Tersinden, eğer annelerin farklılıklarına içerisinde yetiştikleri çevre neden oluyorsa, bu durumda da ortak bahçede yetiştirilen yavrularının benzer olması gerekirdi.

Sonuçlar Trinidad suları kadar temiz çıktı. Laboratuvarda yetiştirilen lepistesler ve torun lepistesler doğada yakalanan anne ve büyükannelerine özgü farklılıkları hâlâ gösteriyorlardı. Kökenini yüksek yırtıcılık taşıyan akarsulardan alanlar aynı ataları gibi hızlı büyüdü ve genç yaşta bol miktarda ürediler; soyları düşük yırtıcılık-taki sakin memleketlere dayananlarsa rahat, tasasız, yavaş olgunlaşan yaşamöyküsü gösterdiler. Bu nedenle Reznick farklılıkların evrimsel iraksamanın sonucu olduğu, genetik temelli olmak zorunda olduğu sonucuna vardı.

Reznick’in çalışması Haskins’in onlarca yıl önce yürüttüğü genetik çalışmaların bir bakıma devamıydı. Haskins renk farklılıklarının genetik temelli olup olmadığıyla ilgilenmişti. O, Reznick’ten daha farklı bir yaklaşımla, tıpkı Mendel’in bezelyelerle yaptığı gibi, özelliklerin ebeveynlerden yavrulara kalıtımla nasıl geçtiğini incelemek için farklı fenotiplere sahip bireyleri çiftleştirmişti. Reznick’in yaşamöyküsü farklılıkları üzerine çalışmasındaki gibi, Haskins’in çalışması ve takip eden araştırmalar da lepisteslerde renk çeşitliliğinin ağırlıklı olarak genetik farklılıklarca belirlendiğini sağlam biçimde kanıtlamıştı.

Biliminsanları, bugün çok sayıda bireyin bütün bir genom dizilişini ortaya çıkarma yoluyla fenotipik farklılıklar üzerine yürütülen

genetik çalışmaları yeni düzeylere taşıyabilir hale geldi. Reznick'in grubu şu anda tam da bu yaklaşımla yaşamöyküsünde, renkte ve le-pisteslerin diğer kalıtsal özelliklerinde çeşitlilikten sorumlu asıl DNA farklılıklarını tespit etmeye uğraşiyor.

Şu ana kadar aktardıklarım Reznick'in çalışmasının bilimsel değerini göstermiştir sanırım, fakat tropik bir ormanın ortasında yepyeni deneysel araştırmaların yürütülmesinin nasıl bir şey olduğunu yeterince betimleyebildiğimi sanmıyorum. Reznick 1978 yılındaki ilk yolculuğundan itibaren hemen hemen her yıl, kimi yıllar yılda dört kez Trinidad'a geldi. Yaptığı işler arasında deneysel uygulamaları takip etmek, hatta birkaç yeni deney popülasyonunu bir yerden diğerine aktarmak da vardı; en son ikisi 2008'de, ikisi 2009'da olmak üzere dört aktarım yaptı. Fakat çalışmasının asıl ağırlığını karşılaştırmalar, yani doğal popülasyonların yüksek ve düşük yırtıcılık taşıyan çevrelerde yaşamaya uyum sağlama biçimlerini mukayese çalışmaları oluşturdu.

Bu karşılaştırmaların çoğunda, hiç konukseverlik göstermeyen coşkun ırmak ve şelaleleri aşmayı gerektiren popülasyonlara ulaşmak gerekiyordu. Bu popülasyonlardan veri toplamak bütün günü ormanda geçirmek, bir yerden diğerine uzun yürüyüşlerin ardından ölçümler yapmak, tropik güneşin altında balık yakalamak demekti.

Su üstünde dolaşan nefis mavi kelebekler, yapraklarda kaçışan kertenkeleler, ağaçlarda güzel kuşlar. Uyumla vıraklayan kurbağaların sesini yer yer bastıran şaşırtıcı hoşlukta böcek vızıltıları. David Reznick dünyanın en iyi işine sahip olsa gerek.

Çok pastoral gözüксе de Trinidad'da çalışmanın tehlikeleri de var ve orada 40 yıl kalan Reznick'in payına da epey şey düşmüş. Ormanda ilerlemenin en kolay yolu, onun da öğrendiği üzere, hayvan izlerini takip etmektir. Ne yazık ki, ormanın müdavimlerinden yasadışı biçimde beslenen kimi yerliler de bu izlerden faydalanmaktadır. Kaçak avcılar etlerine ulaşmak için av fişeği yüklü bir borudan oluşan ve bir tuzak teliyle ateşlenen, bubi tuzaklı ev yapımı silahlar kurarlar. Bu tuzak silahlar (bu isim veriliyor), aguti denen tavşan boyutunda açık kahverengi kemirgenleri veya küçük bir geyik gibi başka

dört ayaklı yiyecekleri öldürmek için zemine yakın yerlerde kurulmaktadır. Ne var ki oradan geçen herhangi bir şey kurulumu ateşleyebilir, buna aceleyle dereden dereye koşan iki ayaklı bir biyolog da dahildir. Reznick hakikaten şanslıydı ve saçmaların çoğu bacakları arasından geçti, fakat sol ayak bileğinde on yedi saçma kaldı ve patlama nedeniyle sağ kulağının duyma yetisi hasar gördü.

Bir başka gün, bir şelalenin üzerindeki akarsuda yapılan yürüyüş macera filmlerini aratmadı. Heyecan olsun diye bir kastı olmasa da (kesinlikle heyecan vericiydi), kendisini Indiana Jones gibi bir çaliya yapışmış halde uçurumdan aşağı sallanır buldu. Kendini bu duruma sokmasının sebebi, kaygan bir taşa basıp kayması ve delice akan suyun onu altı metreden aşağı düşmenin kıyısına getirmesiydi ki bundan son anda bir ağaççığa tutunup kurtulabildi. Daha da kötüsü ona eşlik etmekte olan yegane kişi, kolu az önce fena kesildiği için (Reznick'in ayağı kaydığında hastaneye gidiyorlardı) ona yardım edemez haldeydi. Neyse ki, ondan önce aynı duruma düşen birçok macera filmi kahramanı gibi Reznick de gücünü toplayarak kendisini yukarı çekebildi ve hayatını sürdürerek deneylerine devam edebildi.

Reznick bolca yılan kazası da yaşadı. Balık bilimci olmasına karşın Reznick börtü böceğe olan tutkusunu hiç yitirmedi; sahada geçirdiği yorucu günlerin ardından geceleri de kurbağa, yılan, artık ne olursa peşine düşmeyi alışkanlık haline getirmişti.

Başka bir grubun hazırladığı bilimsel bir makalenin teşekkür bölümünde yazarlar Reznick'e "sahadaki (yeri geldiğinde mızrağın ucunda dururken sakince gösterdiği) ferasetli rehberliği" için teşekkür ettiler. Bahsi geçen mızrak ucu, son derece zehirli bir engerektir. Reznick hikâyenin abartıldığını iddia ediyor, ama insanlar yılanlarla arasına mesafe koyarken onun bilakis hep daha yakından bakmaya yöneldiği, bazen de yılanları yol üzerinden alıp daha kuytu bir köşeye koymak üzere yakaladığı doğrudur.

Bir de ordu karıncaları meselesi var. Bir bölgeden doymak bilmez sürüler halinde geçen, sivri dişli çenelerinden kaçabilecek kadar hızlı olmayan her tür böceği ya da yumuşak bedenli hayvanı bir çır-

pıda silip süpüren yüz binlerce karınca. İnsanlar yenme tehlikesi altında değildir ama üzerinizde bir ordu karınca dolanması da hiç eğlenceli değildir. Kışkırtılan bir koloni kamikaze savunma moduna girer; uzun çeneleri deriye saplı kaldığı için ısırıkları çok acı vericidir, bir de arka taraflarındaki iğneleri berbattır.

İlerleyen bir sütun şeklinde düzenli aralıklarla saha laboratuvar binasının içerisinden geçmeye karar verirler. Aslında çok da sorun değildir; sandalyeleri yollarından çekersiniz, geçtikleri tarafta size gerekli olacak şeyleri bırakmamaya gayret eder, geçip gitmelerini beklersiniz. Hatta zemini çerçöpten ve başka böceklerden temizleme hizmeti sundukları için müteşekkirdir olabilirsiniz.

Fakat o gün Reznick görkemli, iki metre boyunda, turuncu karınlı, pirinç mavisi renkli *Chironius multiventris* türü bir yılanın orman zemininde dolaştığını fark etti. Hemen atlayıp yılanı kuyruğundan tuttu, yılan da derhal dönüp onu ısırmağa çalıştı; bu tür zehirli olmayabilir ama keskin dişlere sahiptir. Hem yılan hem de Reznick ancak o sırada bir ordu karınca sütununun ortasında olduklarını ve bedenlerinin sarılmak üzere olduğunu fark edebildi. Ateşkes ilan eden Reznick kuyruğu bıraktı, yılan da saldırısını yarıda kesti ve zıt yönlere doğru kaçtılar, Reznick üzerindeki düşman karıncalardan kurtulmak için hemen yakındaki bir dereye atladı. Az sayılmayacak sayıda sokma ve ısırmağa karşın karıncalar Reznick'i daha kötü bir sonuçtan korumuş olabilir, zira başka bir olayda sırtından tuttuğu aynı türde bir yılan dönerek karşılık vermiş ve burnundan ısırılmıştı.

Son olarak ani selleri de unutmayalım. Saha çalışması ekseriyetle yağışlı mevsimde yapılır ve her an gök gürültülü bir sağanak başlayabilir. İçinde çalıştıkları akarsular sıklıkla dar ve derin koyaklarda bulunur ve ırmağın yukarısında bir fırtına patladığında, hiç beklenmedik ani bir sel büyük bir hızla gelebilir. Reznick ve ekibi birkaç kez kıl payı kurtulmuş, neyse ki kimse zarar görmemiştir.

Reznick ve başkaları şu ana dek çok sayıda yeri inceledi ve lepistes avcılarının olup olmamasının bilgisi sayesinde bu popülasyonlardaki lepisteslerin yaşamöyküsü kesin olarak öngörülebilmektedir. Doğal yerlerde bu tutarlılık görülüyorsa, deney amaçlı yer değiştir-

melerin sonuçlarının öngörülebilir olmasını bekleyebiliriz, nitekim öyledir de.

Haskins'in ve Endler'in araştırmaları renk konusunda benzer bir öngörülebilirlik gösterdi: Avcı basıncının zayıf olduğu yerlerde erkek lepistesler daha renklidir. Endler'in deneyleri (on sera havuzu ve tek bir doğal yer) birbirleriyle ve doğal çeşitlenme örüntüleriyle uyumlu sonuçlar üretti. Yine de, Endler'in çalışmasının ulaştığı şöhrete karşın, sonraki çeyrek yüzyılda lepistes yer değiştirmelerindeki renk evrimini inceleyen başka hiç kimse olmadı. Nihayet 2005 yılında Reznick ve Endler uzmanlarla beraber Reznick'in aktarma yerlerinden birindeki balıklara bakmak için bir takım oluşturdu.

Reznick'in lepistesleri de, Endler'in aktarmalarındaki balıklar gibi yüksek yırtıcılıktaki bir havuzdan sadece yıllık balıklarının olduğu bir havuza taşınıncaya daha renkli hale geldi. Fakat bunu yapma biçimleri iki popülasyonda farklı farklıydı. Endler'inkiler kırmızı, siyah ve pırıltılı beneklerin sayısının artması yoluyla renklenmişti. Reznick'in ekibiye karşılaştırıldığında çok daha pırıltılı olmuş ama kırmızı ve siyah noktaların büyüklüğü artmamıştı; hatta aslına bakılırsa pırıltılı noktalara yer açmak için olsa gerek, kırmızı noktalar daha da küçülmüştü.

Cafcaflı olma biçimleri neden farklıydı? Lepistes rengini yırtıcıların varlığı haricinde etkileyen birçok başka etmen vardır. En iyi renk (ister kamuflaj ister gösteriş için olsun) ağaçların oluşturduğu kapalılıktan aşağıya ne kadar ışık sızdığına ve suyun ne kadar bulanık olduğuna bağlıdır. Akarsu yatağındaki taş ve kayaların boyutları bile rol oynayabilir. Endler yaptığı sera deneyinde çakıl taşlarının büyüklüğünü çeşitlendirmiş (büyük veya küçük) ve yırtıcıların varlığında (yokluğunda değil ama) benek büyüklüğünün arka zemine ummak üzere evrimleştiğini bulmuştur.

Bir başka alternatif, farklı renklerin çevredeki farklılıklarla hiçbir ilgisinin olmaması ve sadece iki popülasyonun farklı evrim öykülerinin olması olgusunun, yani tarihsel olumsuzluğun (zorunsuzluğun) sonucu olmasıdır. Reznick'in ata popülasyonu Endler'in ata popülasyonundan çok daha pırıltılıdır. Neden böyle olduğunu bilmi-

yoruz, ama dişilerin çiftleştikleri erkekleri renge dayalı olarak seçtiklerini biliyoruz ve farklı popülasyonlardaki dişiler farklı tercihlere sahiptirler. Reznick'in ata popülasyonundaki dişilerin pırıltılı eşlere aşırı bir düşkünlüğü olması gayet mümkündür; yırtıcıların yokluğunda dişilerin bu tercihi erkek pırıltısının artması yönünde bir evrime yol açmış olabilir.

Bu sadece bir tahmin elbette, üzerinde daha fazla çalışılması gereken bir varsayım. Bu noktada tüm söyleyebileceğimiz, balıkları düşük yırtıcılıktaki ortamlara taşımak süslülüğün artmasına yol açmaktadır, fakat bu süslülüğün hangi biçimi alacağını öngörmek mümkün değildir.

Araştırmacılar başka bir kalıtsal özelliğin evriminin öngörülebilirliğini sınamak için de lepestes deneylerini kullandı. Oxford'dan lepestes davranışları uzmanı Anne Magurran lepestes deneylerinin sunduğu fırsatların farkına vardı. Lepistes biyolojisinin birçok başka yönü gibi davranışlar da yüksek ve düşük yırtıcılıktaki popülasyonlarda farklılaşmaktadır. Avcıların olduğu koşullarda, yüksek yırtıcılık bölgelerindeki lepestesler grup halinde kalma ve yırtıcı tehdidiyle aralarına mesafe koyma eğilimindedir. Düşük yırtıcılık ortamlarındaki lepesteslerse uyanıklıklarını yitirmiştir: Sürünün korumasını kazanmaya çok daha az çaba gösterir ve yırtıcıya daha fazla yaklaşırlar. Acaba deneysel popülasyonlardaki (sadece birkaç yıl önce yüksek yırtıcılıktaki bir yerden düşük yırtıcılıktaki bir yere taşınmış) lepestesler atalarının sularındaki temkinli lepestesler gibi davranır mı? Yoksa avlanmayanların tasasız yaşam biçimine mi evrilmişlerdir?

Magurran yanıtı bulmak için laboratuvara balıkları getirdi, besledi ve bu yeni nesilleri yırtıcı balıkların olmadığı koşullarda yetiştirdi. Ardından ne tepki vereceklerini görmek amacıyla lepestesleri akvaryumlarda bir balık sürüsünün ve gerçekçi bir yırtıcı maketinin yanına yerleştirdiği davranış deneyleri düzenledi.

Laboratuvar davranış deneylerinin sonucu çok netti: Balıklar tasasızların vurdumduymaz tutumuna sahipti. Biri sürü balığının içine koyduğunuzda sürünün güvenliğinden vazgeçip tek tabanca takıldılar; su haznesine bir pike çiklit maketi koyduğunuzda da, hemen bir

bakayım kafasıyla ona doğru yüzdüler. Tıpkı yaşam öyküsü ve renk gibi lepistes davranışı da deneysel aktarmalar yapıldığında hızlı ve öngörülebilir biçimde evrimleşmektedir.

Olimpiyat altın madalyalı bir spor geçmişinden evrim biyoloğ-luğuna geçiş yapmış Shyril O'Steen,* lepisteslerin davranışına değil de, yırtıcılarla etkileşimlerinin sonucuna bakarak bu çalışmayı bir adım ileriye taşıdı. Yırtıcıların olmadığı tatlı bir hayat sürenlerle, karşılaştırıldığında yırtıcılarla beraber yaşayan lepistesler daha yük-sek kaçış becerileri geliştirmiş midir? Bunu öğrenmek için üç deney popülasyonundan lepistes topladı. Bunların ikisi Endler ve Reznick tarafından düşük yırtıcılıktaki havuzlara aktarılmış popülasyonlar, üçüncüsü de Reznick'in pike çiklitlerini aktardığı yerdeki popülas-yondu. O'Steen karşılaştırma yapmak amacıyla bu deneysel popülas-yonların her biri için ayrı birer popülasyon daha oluşturdu. İki lepis-tes aktarımı için onların ata popülasyonlarını kullandı, pike çiklit aktarımı için de civarda bulunan çiklitsiz kalmış bir popülasyonu kullandı.

O'Steen hipotezini test etmek amacıyla laboratuvarında yırtıcılık denemeleri hazırlayarak iki popülasyondan aldığı lepistesleri bir pike çiklitinin bulunduğu havuza koydu. O'Steen'in tahmin ettiği üzere çiklitsiz havuzlardaki lepisteslerin hayatta kalma becerileri, yırtıcı deneyimine sahip lepisteslere oranla çok daha zayıftı: Üç karşılaştı-rmanın üçünde de naif lepistesler deneyimli lepisteslere oranla mide-ye iki kat daha hızlı indirildi. Sonraki çalışmalar yırtıcılarla geçmiş-i olan lepisteslerin daha temkinli olmakla kalmayıp ayrıca saldırıya uğradıklarında daha iyi kaçtıklarını gösterdi. Ortak bahçe çalışma-ları, farklılıkların altında öngörülebilir evrimsel değişimin yattığını doğruladı.

Deneysel aktarımların etiği konusunda konuşmak için uygun bir yere geldik. İstilacı türler dünyada büyük bir ekonomik ve çevre-sel sorun. Türlerin doğal olarak yetişmediği yerlere amaçlı aktarımı-

* O'Steen altın madalyasını 1984 Olimpiyatları'nda ABD kadınlar sekizli kürek takımıyla kazandı.

nın bilimsel nedenlerle bile olsa, istisnasız yasaklanması birçok kimseye mantıklı gelebilir. Magurran ve çalışma arkadaşları da gelecekte yapılacak lepistes aktarımlarına tam da bu tip bir yasak getirilmesi çağrısında bulundu.

Balıkları oradan oraya taşımak zarar verici olabilir. Birincisi, bu tip aktarımlar doğanın düzenini bozmaktadır. Lepistessiz havuzlar doğal süreçlerin sonucudur ve buralarda yaşayan sakinler lepistessiz yaşamaya uyum sağlamıştır. Reznick ve diğerlerinin son dönemde yaptığı çalışmaların gösterdiği üzere bir havuza lepisteslerin eklenmesi ekosistemde önemli değişimlere sebep olmaktadır. Bu bağlamda bu tarzda aktarılan lepistesleri, Guam'daki kuşları yiyip soyunu tüketen kahverengi ağaç yılanlarından veya tüm suyu emerek Güneybatı Amerika'yı kavuran ılgın ağaçlarından farksız, doğal düzeni bozan istilacı bir tür olarak görmek mümkündür.

Üstelik lepistes aktarımlarının etkisi bırakıldıkları havuzla da sınırlı kalmaz. Bazen şelaleler lepisteslerin ırmağın yukarı kısmına doğru gidişini durdurabilir ama şelalelerin üzerine çıktıklarında tekrar aşağı dökülüp bu kez akıntı yönünde hareket etmeleri de mümkündür. Aktarılan lepistesler bu şekilde hem daha önce lepistessiz olan havuzları işgal edip hem de ortama yeni genetik malzeme katarak doğal şekilde oluşmuş lepistes popülasyonlarını etkileyebilir.

Aktarımların bilimsel bir maliyeti de vardır. Bir havuza lepistesleri koyduğunuzda başka bir biliminsanı bu havuzu lepistesler olmadığına ne olduğunu araştırmak için kullanamaz. Genleri akıntı yönünde sürüklendikçe, değiştirilmiş genetik ortam akarsu boyunca yapılacak potansiyel araştırmaları etkiler.

Bu eleştiriler hakkında ne düşündüğünü Reznick'e sordum. Lepistes aktarımlarının yerli olmayan bir türü dünyanın bir tarafından öbür tarafına taşımakla aynı şey olmadığı yanıtını verdi. Gerçekten de lepistesler bir ırmağın aşağı kısımlarından aynı nehrin akışı üzerindeki üst taraftaki yerlere taşındığında doğada ne olduğunu gözlemlemişti. Lepistesler hakikaten bazen yağışlı mevsimlerde tepeden aşağı akan geçici akıntılarda yukarı doğru eğilip bükülerek şelalelerin üzerine çıkmayı başarabiliyordu. Ani sellerin lepistesleri akarsu-

lardan süpürdüğünü de görmüştü. Dolayısıyla belirli bir yerellikte lepisteslerin varlığı veya yokluğu sabit değildi; gelip gidiyorlardı. Hatta Reznick'in laboratuvarında yapılan genetik araştırmalar bugün nehirlerin üst taraflarında bulunan lepisteslerin yakın zamanda yapılan yerleşimlerin sonucunda, hayli kısa bir süredir orada olduklarını göstermişti. Diğer bir deyişle bugün gördüğümüz, kolonileşme ile soyu tükenme arasındaki doğal dengeyi yansıtıyordu. Akıntıya karşı havuzun bugün lepistes içermemesi, orada geçmişte hiç lepistes olmadığı ya da gelecekte hiç olmayacağı anlamına gelmiyordu. Lepistes popülasyonları akıntıya karşı havuzlara her zaman yerleşiyorlardı; Reznick'in aktarmaları süregelen doğal bir sürecin imitasyonundan ibaretti.

Özünde bu, değişen dünyada doğanın kutsallığı ile bilimsel ilerleme arasındaki felsefi ayrımdır. Nesnel doğru veya nesnel yanlış değil, sadece bir görüş farklılığı söz konusudur. Trinidad'da bu tür aktarmalar yasaklanmış değil ve resmi izinle çalışılmaya devam ediyor.

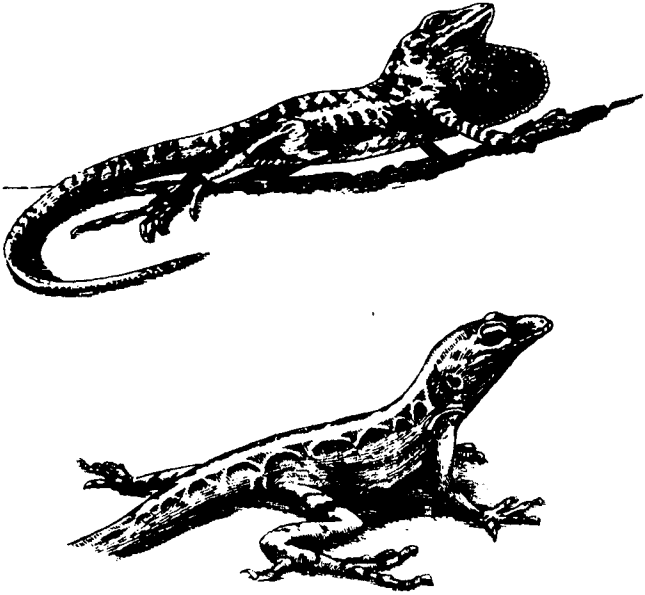
Lepisteslerle yapılan deneysel evrim çalışmaları devam ediyor, hatta genişliyor; araştırmacılar lepistes evriminin yeni yönlerini araştırmakla kalmıyor, diğer türlerin lepisteslere yanıt olarak nasıl evrimleştiğine de bakıyor. Reznick ve başkaları yeni yeni deneysel aktarmalar başlatıyor. Tüm yapılanların ışığında bu çalışmaların temel mesajı şimdiden çok net: Lepistesler yeni seçim koşulları karşısında öngörülebilir biçimlerde evrim gösteriyor.

Endler'in 1980 yılında yayımlanan deneysel aktarma çalışması hızla klasik mertebesine yükseldi, birkaç yıl sonrasında da onu Reznick'in yapılan ikinci aktarmanın sonucunda lepisteslerde yaşam öyküsü evrimi konulu raporu izledi. Bilim dünyası evrim biyolojisinin deneysel bir bilim olabileceğini, hatta bunun doğal ortamlarda bile mümkün olabileceğini not etti. Buna karşın ilginçtir, bir sonraki deneysel evrim çalışmasının yayımlanması için epey bir zaman geçmesi gerekti ve o araştırma da tamamen başka bir şey üzerine çalışmak amacıyla planlanmıştı.

KERTENKELE KAZAZEDELERİ

Olur da Bahamalar'ı ziyaret ederseniz, nereye giderseniz gidin kesinlikle göreceğiniz bir şey vardır. Kumsallar değil, kumarhaneler değil, palmiyeler değil. Tamam, belki palmiyeler; Bahamalar'a gidip de onları görmemek zor olur. Ne var ki onlardan da yaygın bir şey var; ağaçlarda, kaldırımlarda, binalarda, çalılıklarda, toprak zeminde, hemen hemen her yerde: *Anolis* cinsinin üyesi, benim üzerinde çalıştığım küçük kahverengi kertenkeleler.

Bu türe verilen sönük isim, kahverengi anole, bu kertenkelenin ihtişamının hakkını vermiyor. İtiraf etmek gerekirse bu 15 santimetre boyundaki kertenkeleler, bazen sırtlarında aşağı doğru uzanan siyah beyaz zarif baklava veya V şeklinde işaretler olsa da, ilk bakışta pek heyecan verici olmayan bir kahverengi tonuna sahip gibi görünüyor. Fakat aniden bir erkek kafasını yukarı doğru kaldırıyor, genellikle aynı anda daha uzun durmak için ön ayaklarını dikeltiyor ve nefis boynunun altından kırmızı turuncu gerdanı ortaya çıkıyor. Fiyakalı boyunbağı havalı tavrına yakışıyor; kahverengi anole ülkesinde koşarken, dururken, dövüşürken, yerken, aşna fişne ederken hal ve hareketlerinde donuk tek bir âna nadir rastlıyorsunuz.



Kahverengi anole çifti

Bahamalar'da bu kertenkelelerin olmadığı bir yer bulmak zordur, fakat Tom Schoener bunu başardı. Şu an dünyanın önde gelen çevrebilimcilerinden olan Schoener ilk deneyimini Karayipler anoleleri üzerine çalışıp bu kadar çok sayıda türün tek bir yerde nasıl bir arada var olabildiğini öğrenmeye çalışarak edindi. Schoener ve biyolog eşi Amy Schoener 1970'li yılların ortalarında iki yazı Bahamalar'da yelken açıp irili ufaklı adaları inceleyerek geçirdi. Bahamalar genellikle 700 adalıklı bir takımada olarak tanımlanır, fakat gerçek rakam bundan çok daha büyüktür; bunun nedeni tanımlamada üzerlerinde çarpık çurpuk çalılıarın, bazen de ağaçların olduğu sarp, kireçtaşından, mini minnacık adaların resmi tanım uyarınca el çabukluğuyla "kayalar" olarak adlandırılmasıdır. Bahamalar'ın her tarafında bu tür binlerce kaya bulunur ve Schoener'ler bu kayaların pek çoğunu ziyaret etti. Kayaların boyutları küçüldükçe buralarda gitgide daha az bitki büyüdüğünü tespit ettiler; en fazla birkaç metre kare

tutan en küçüğündeyse, bitki örtüsü yok denecek kadar azdı. Hatta Bahamalar'da her yerde karşımıza çıkan kertenkeleler, bu minik adalarda yoktu.

Schoener'ler bir deney yapmaya karar verdi. Anolelerin küçük adalarda hayatta kalamadığı ortadaydı. Ama neden böyleydi? Popülasyonların neslinin tükenişi bugün bile tam olarak anlaşılmış değil. Schoener'ler bu adalara az sayıda kertenkele yerleştirip popülasyonların giderek azalıp yok olmasını izleme yoluyla bu adaları soyun tükenmesi sürecini incelemek için bir fırsat olarak gördü.

Fakat beklenen olmadı. Schoener'ler adaları beş yıl boyunca izledi. En küçük, bir sıcak su havuzundan az büyük adalardaki popülasyonlar çabucak ortadan kayboldu. Biraz daha büyük adalardaki popülasyonlar bir süre daha dayandı, hatta bazılarının canını teslim etmesi dört yıl aldı. Ne var ki beyzbolda atıcının durduğu tümsekten büyük adaların hepsinde kertenkele popülasyonları hayatta kaldı, hatta serpildi. Bu sonuç beklenmiyordu. Adalar kertenkeleler için elverişliyse, neden daha önce buralarda yoktular? Schoener'ler bunun muhtemel sorumlusunun geçirilen devrevi felaketler olduğunu düşündü. Karayipler'de felaket dendiğinde de listenin en başında kasırgalar yer alır.

Schoener'lerin makalesi 1983'te yayımlanmıştı, fakat ben ancak birkaç yıl sonra, *Anolis*'in kopyalanmış uyumsal yayınımlı konulu doktora araştırmamı bitirirken okuyabildim. Kasırgaların meşum belirtilerinden bihaber bendeniz bu makalede hayatta kalma ve tükenme hakkında bir hikâye değil, bilinçsiz bir evrimsel uyarlanma deneyi gördüm.

Doktora çalışmam anole türlerinin farklı habitatları kullanmaya nasıl adapte olduğunu belgelemişti. Bu adaptasyonun bir yönü de bacak uzunluğuydu; geniş yüzeyler kullanan türler daha uzun, dar yüzeyleri kullananlar daha kısa bacaklar evrimleştirmişti. Schoener'lerin kertenkeleleri taşıdığı adaların bitki örtülerinin farklı olduğu düşünüldüğünde, yaptıkları çalışma milyonlarca yıllık evrimsel uyarlanmanın ürettiği örüntülerin gerçek zamanlı bir deneysel testi anlamına geliyordu: Kısa dönemli ve uzun dönemli evrim

aynı biçimde gerçekleşiyorsa, o halde tek tük, kısıtlı bitki örtüsüne sahip adalardaki anole popülasyonlarının daha kısa bacaklar geliştirmesi gerekirken, alınmış oldukları büyük adadaki habitata benzer biçimde daha geniş bir bitki örtüsüne sahip adalara yerleştirilenlerin uzun bacaklarını koruması gerekiyordu.

Yıllar önce John Endler'in lepidotes araştırmasını dinlediğimden beri hep evrim deneyleri düzenlemek istemiştım. Fırsat önüme gelmişti. Tek yapmam gereken Tom Schoener'i bunun iyi bir fikir olduğuna ikna etmekti.

Birkaç ay sonra ulusal bir konferansta bu şans buldum. Schoener'le öncesinde temasa geçtim ve kahve molasında buluşmak üzere anlaştık. Kertenkeleleri farklı bitki örtüsü özelliklerine sahip adalara koymakla aslında çevresel koşulların kertenkele adaptasyonu üzerindeki etkisini sınavan bir evrim deneyi oluşturmuş olduğuna işaret ederek gergin bir halde ikna konuşmamı yaptım. Bu konuşmaya rüyamda görebileceğim tarzda bir yanıt vererek beni popülasyonların tahmin ettiğim gibi evrim gösterip göstermediğini araştırmak üzere Kaliforniya Üniversitesi, Davis'teki laboratuvarında beraber çalışmaya davet etti. İki yıl sonra, 1991 yılı ilkbaharında kendimi Bahamalar'ın ortasında küçük bir ada olan Staniel Cay'de buldum.

İnsanlara saha çalışmamı Bahamalar'da yaptığımı söylediğimde, ne kadar bastırmaya çalışırlarsa çalışsınlar, dudaklarının kenarında beliren muzip sırıtışı fark ederim. Kafalarında ne canlandığını bilirim: kumsallar, palmyeler, hamaklar, kenarından içine küçük şemsiyeler itelenmiş bardaklarda içilen mai tai'ler vs.

Staniel Cay'in bunlarla hiç ilgisi yoktu. Bir kere içki tercihim bahama mama şemsiyesiz servis ediliyordu. Daha önemlisi pek bir kumsalda yoktu ve bitki örtüsü çoğunlukla cılız kuru ağaçlardan oluşuyor, arada ancak birkaç palmye bulunuyordu. Nefis tatil kampı ve gözlerden uzak lüks villalar yerine, havası sadece adında kalan Staniel Cay Yat Kulübü vardı. Kulübün en iyi olduğu alan akşam yemeklerindeki özel peynirli makarnasıydı; uçan kocaman hamamböceklerini de unutmamak gerekir. Odalar dökülüyordu, müşterileri

de türlü çeşitli bankerler, denize açılmış aylaklar ve ufak çapta uyuşturucu kuryelerinden oluşuyordu.

Benim işim Schoener'lerin on yılı aşkın süre önce oluşturduğu 14 ada popülasyonundan mümkün olan en fazla sayıda kertenkeleyi yakalamaktı. Amaç (hepsi aynı kaynaktan oluşturulmuş) popülasyonların adalar arasındaki bitki örtüsü farklılıklarına uyum göstermek için bacak uzunluklarında farklılıklar yaşayıp yaşamadığını görmekti.

Kahverengi anolelerin yakalanması, saha çalışmasının en zevkli yanlarından biridir ve çok çeşitli biçimlerde başarılabilir. En kolayı geceleyin çıkıp onları uyurken yakalamaktır. Anoleler korunmasız şartlarda, yaprakların üzerinde veya ince dalların ucunda uyur. Yaklaşan bir gece yırtıcısının titreşimleri kendilerini uykudan uyandırıp kaçmalarına olanak sağladığı için bu tür yerlerde huzurla rüya görebilirler. Bu strateji, kertenkeleye ulaşmak için dalda yürümesi gereken yılan, sıçan, çıyan gibi hayvanlara karşı evrimleşmiştir, ama el feneriyle dolaşan iki ayaklı bir avcıya karşı ne yazık ki yetersizdir. Fener ışığında kertenkeleler arka plandaki yeşillikten kolaylıkla ayırt edilir. Bazı tüneler ağacın üst taraflarında olsa da, çoğu yetişilebilir yerdedir ve tek mesele ışık onları uyandırmadan önce tutabilmektir (benim tecrübem nazikçe iki elimin arasına almak).

Hareketli kertenkeleleri kementle yakalamak daha sportif nitelikteki ikinci kertenkele toplama tekniğidir. Bunun için ipe benzer bir malzemedan yapılma küçük bir kement oluşturuyorum; tercih ettiğim sicim de parafinli diş ipi, beyazından, naneli yeşilinden değil, çünkü ikincisi yeşilliğin içinde görünmüyor. Kemendi üç metrelik balık olmasına tutturdum mu, kertenkele avına çıkmaya hazırım. Bir kertenkele (en iyi durumda, aşağıyı gözetler gibi inceleme pozisyonunda bir ağaca tünemiş, kafası yatay yüzeyin biraz üzerindeyken) gördüm mü, ağır ağır 3-4 metre yakınına kadar yaklaşırım. Bazı kertenkeleler bu kadar yaklaşmanıza izin vermez, ama kahverengi anoleler verir. Ardından, çok daha yavaş şekilde oltanın ucundaki kemendi kertenkeleye doğru çevirir ve başına geçiririm. Kertenkele buna niye izin verir? Onlar için bu ince beyaz ip parçası alışılmadık bir şeydir ve endişe uyandırmaz; hatta bazen yakalayıp yemeye çalışırlar.

Her şey yolunda giderse kemendi boynuna geçiririm ve hızla geriye doğru çekerim. Oltada sallanan kertenkelenin vücut ağırlığı kemendin kapanmasına sebep olur. Kertenkelelerin boynu güçlü, ağırlıkları da fazla değildir, bu yüzden bu durum onları sadece şaşırtır ve onurlarını incitir. Ne var ki açılan ağızlarının da onayladığı üzere durumdan elbette mutlu olmazlar ve kementten çıkarırken beni ısırma fırsatı doğarsa hiç affetmezler. Kertenkelelerin dişleri vardır, bazen de çok sivri olur, ama kahverengi anolelerin büyüklüğünde genelde ısırıkları deri üzerinde kalır.

Keşke kertenkele avlamak bu kadar kolay olsaydı! Bu anlatım durumu basit bir şey gibi gösteriyorsa, yapacak bir şey yok. Bu adalarda çalışmak pek o kadar kolay değildir. Gözenekli kireçtaşından oluşan bu adalardaki kayalar son derece aşınmış, deliklere, sivri kenarlara ve basıldığında kırılacağını öngöremediğiniz parçalara yol açmıştır. Bitki örtüsü dağınık, bazı yerlerde sık, bazı yerlerde ağacın içinde büyüyeabilen zehirli sarmaşığın nahoş bir akrabası olan zehirli ağaçlarla doludur.

Kertenkeleler de zorluk çıkarabilir. Bazıları hiç kımıldamadan durup kemendi boynundan geçirmenize izin verse de, çoğu biraz daha temkinli davranıp kement yaklaşırken kafasını hafif uzaklaştırır, hatta bir dalın arkasına zulalanır. Ayrıca bitki örtüsü kemendin yerleştirilmesine engel oluşturur ve münasebetsiz bir rüzgârın esmesi hedefi şaşırtabilir. Bu nedenle ben kertenkele yakalamayı ilkel aletlere sahip bir kimse ile minik beyne sahip bir hayvan arasındaki ezeli muharebeye, sinek oltacılığına benzetirim. Bu fikrimi birçok sinek oltacılığı sevdalısına açtım ve genelde inanmayan kuşkulu bakışlarla karşılaştım. Anlaşılan sinek oltacılığı bu dünyada eşi benzeri olmayan ilahi bir deneyimmiş. Buna karşın tecrübelerime dayanarak söylüyorum, kertenkele yakalamak insan ile doğa arasında müthiş bir mücadele ve bu mücadelede bezelye beyinli kertenkele zekâsıyla sık sık beni alt ediyör.

Anolenizi yakalamanın bir yolu daha var. Doğrudan üzerine yürüyüp ellerinizle tutun. Bu numarayı ben hiç beceremiyorum; ben daha yaklaşmadan niyetimi sezip sıvışıyorlar. Ama meslektaşlarımdan biri, Porto Riko'da anolelerin içinde doğup büyümüş Manuel

Leal, yanına kadar sokulup çok hızlı bir el hücumuyla kertenkeleyi ağaçtan çekip alabiliyor. Kertenkelelere fısıldayan bu adamın becerisinin sırrını ben henüz çözemedim.

Yürüttüğüm bu çalışmada kertenkeleleri yakalama eylemi zorluklardan sadece biriydi. Her şeyden önce bu minik deney adalarına ulaşabilmenin kendisi başlı başına bir meseleydi. Adalar Staniel Cay'den çok uzak değildi, hepsi birkaç millik mesafedeydi. Fakat Saint Louis'te büyürken tekneyle dolaşma konusunda, özellikle de çalışmamakta direnen tekne motorlarını tamir etme alanında pek bir şey öğrenmemiştim. Kulüpten kiraladığım Boston Whaler'a ne zaman binsem, akıllarda oluşan soru, geri dönebilecek miyim yoksa çalışanlar yokluğumu fark edip beni bulmak için birini gönderecekler mi, oluyordu. Kurtarılmayı beklerken okumak için kitap taşımak hoşuma gidiyordu.

Yolculuğun en korkutucu anı, Whaler'ın motorunun üzerinde bir ev, depoya benzer bir bina ve bir uçak pisti bulunan büyük bir adanın (deney kayalarından çok daha büyük) çok yakınında arıza yaptığı gündü. Adanın sahibi kanunsuz işlerle uğraştığı ayyuka çıkmış biriydi (o dönemde Güney Amerika'dan ABD'ye nakil hattında bulunan Bahamalar'da uyuşturucu ticareti gemi azıya almıştı). Ne yapıp edip bu adadan ve adadaki kötü insanlardan uzak durmam konusunda ikaz edilmiştim. Ve işte, motorum durmuş halde, kıyıdan uzakta sürüklenir durumdaydım. Büyük bir ürperme içinde (hayatımda hiç o kadar korku duyduğumu hatırlamıyorum) tekneyi kıyıya çektim, kapıya kadar yürüdüm ve kapıyı çaldım. Arkadaş canlısı biri açtı, yaşadığım tatsız durumu açıkladım, adam kulübe telsizle haber verdi ve on beş dakika sonra işime döndüm. Uyuşturucu kaçakçılarının bu kadar kibar olduğu kimin aklına gelir? Acaba iyi bir deneyin taşıdığı önem ve değeri anlamış olabilirler mi?

Kertenkeleleri yakaladıktan sonra küçük torbalara yerleştirip fazla ısınmaktan korumak için hepsini bir soğutucuya koydum. Günün sonunda böcek istilası altındaki odama döndüm (yolculuğumda yaşadığım dip noktası: Kuru üzümlü, kepekli mısır gevreğini kahvaltı için bir kaseye boşalttığımda içinden çıkan yarım düzine hamamböceği). Odamda kertenkeleleri veteriner anesteziğiyle uyutup

ayılmalarına kalmadan çabucak bacak uzunluklarını ölçtüm. Ertesi gün adalarına geri götürülüp hiçbir zarar görmeksizin ve arkadaşlarına anlatacakları harika bir hikâyeyle yakalandıkları nokta neresiye oraya bırakıldılar.

Çalışma düşündüğümden çok daha yavaş ilerledi. Yağışsız, rüzgârlı bir ilkbahar mevsimiydi ve kertenkele yakalama açısından bu koşullar berbattı. Yağmurun olmaması böcek etkinliğini engelliyordu, bunun anlamı kertenkeleler için fazla yiyecek olmamasıydı ve güneş ile rüzgârın birleşimi su kaybına sebep oluyordu. Duyarlı varlıklar olan kertenkeleler koşulların iyileşmesi umuduyla gözden uzakta bekliyorlardı. En kötüsü öğlen saatleriydi; kertenkele hareketliliği tümünden duruyordu. Yapacağım okumaların hepsini tamamladım. Dört hafta sonra yolculuğum sona erdiğinde 161 kertenkeleyi yakalayıp ölçebilmişim.

Laptopların olmadığı zamanlardaydık. Her yaptığım ölçümü bir kâğıda yazıyordum. Verilerin ne gösterdiğini merak ettiğim için eski usulle onları elle çizilen bir grafik kâğıdına işledim. Grafiklerim herhangi bir net örüntüye işaret etmiyordu. Bu durum kertenkelelerle uğraşırken edindiğim izlenime uygundu; adalar arasında bariz bir farklılık göstermiyorlardı. Şaşırdığımı söyleyemem; popülasyonlar gençti. Bu kadar kısa bir zaman sürecinde evrimleşebilmelerini beklemek belki de doğru değildi.

Davis'teki ofisime döndüm ve devam eden başka projelerle meşgul oldum. Veriler unutulmamıştı ama yüksek önceliğe de sahip değildi. Oradan bir şey çıkmayacağını biliyordum zaten, o yüzden malumun ilamı için verileri bilgisayarıma işlemek için acele etmeye gerek yoktu. Sonunda yapılacak işler listemdeki her şeyi tamamladım ve verileri bilgisayarımın istatistik programına girmeye koyuldum. Nihayet resmi analizi yapma zamanı gelmişti.

İlk başta ekrandaki sonuçları yanlış okuyarak, adalarda dikkate değer bir şey yaşanmadığı yönündeki beklentimi onayladıkları şeklinde yorumladım. Sonra tekrar baktım ve kafama dank etti. Popülasyonlar evrim geçirmekle kalmamış, bunu tam da öngördüğümüz gibi yapmıştı: Kertenkelelerin ince dalları kullandığı adalarda genel-

likle çok kısa bacakları varken, daha geniş tünekleri kullandıkları adalarda bacakları genelde daha uzundu. Doğadaki hızlı uyumsal evrimi deney yoluyla ispatlamıştık. (Bunun benim ön verilere bakmak için ev yapımı grafik kâğıtlarını son kullanışım olduğunu söylememe gerek yok sanırım. Kendimi savunmak için şunu söyleyebilirim, popülasyonlar arasındaki bacak uzunluğu farklılıkları, istatistiksel olarak önemliyse de, küçüktü ve bu yüzden elle çizilen bir grafikte net görülüyordu.)

Tüm analizleri tamamlayıp makaleyi yazmamız biraz zaman aldı. İngiliz *Nature* dergisinde yayımlanmak üzereyken Schoener ve ben (meslektaşımız David Spiller'la beraber) başka bir saha araştırmasına çıkmış, bu kez Bahamalar'ın güneyindeki Abaco adasında yeni bir deneyde çalışmak üzere Bahamalar'a dönmüştük. Konaklama olanakları kesinlikle iyileşmişti; daha iyi odalar, daha iyi yiyecekler, daha az hamamböceği. Odalarımızda telefon ve internet yoktu yine elbette.

Başıma geleceklerden habersiz, ayrılmadan önce ofisteki telesekreterime bana kalacağım küçük moteldeki resepsiyona mesaj bırakarak ulaşılabileceğini söylemiştim. *Nature*'daki halkla ilişkiler görevlileri de bana haber vermeden yayımladıkları basın duyurusunda "bunun Darwin'in Beagle seferinde Galápagos adalarındaki ispinozların çeşitliliği hakkındaki çalışmasından bu yana evrim araştırmalarındaki en önemli çalışmalar arasında sayılabileceğini" söylemişti. İyi bir makaleydi tamam da, bu fazla abartılı olmuştu.

Gezimizin başlamasından birkaç gün sonra, adalarda geçen yorucu bir günün ardından geri döndüğümde aynı zamanda otelin müdürlüğünü de yapmakta olan otel sahibinin bana mesaj bıraktığını gördüm. Ofisine gittiğimde *New York Times*'tan bir muhabirin aradığını bildirdi. Ertesi gün de *Boston Globe* ve *USA Today*. Ondan sonraki gün *ABC News* Bahamalar'dan yayın yapacak bir ekip göndermek istediğini ilettiler.

Otel sahibinin kafası çok karışmıştı. Onca yıllık otelcilik hayatında görmediği şey kalmadığını düşünüyordu. O kadar yolu tepip kertenkele peşinde koşmak için Bahamalar'a gelmek zaten yeterince

garipti. Zararsız bir görünüşüm vardı ama bir tahtam kesin eksikti. Sonra aniden bütün dünya medyası benimle bağlantı kurmak için adamın kapısına dayanıp oteldeki tek telefon hattını da kilitliyordu. Tesadüf de olabilir, olaydan kısa süre sonra adam oteli satışa çıkardı.

Haber patlayınca hemen Bahamalar'dan geri döndük (*Nature* basın duyurularını çıkış tarihinden bir hafta önce yapıyor, ama makalenin resmen yayımlanacağı güne kadar sonuçların açıklanmasını engelleyen bir ambargo uyguluyor). On beş dakikalık şöhretimi elde etmiştim. *New York Times*'ın üst manşetinde ve *Boston Globe*'un baş sayfasında, keza *USA Today* ve birçok başka gazete ve dergide adımlı görmenin çok heyecan verici olduğunu itiraf etmeliyim. Olay yerine gelip bildirmese de *ABC News* olayı haberleştirdi. Uzak ve yakın arkadaşlarım ve meslektaşlarımdan gelen tebrikleri kabul ettim. Olay evrimin dikkat çekici ölçüde hızlı gerçekleştiğini ispatladığımız ve bunu doğada bir deney düzenleyerek başardığımız şeklinde haberleştirildi. Endler'in ve Reznick'in yaptığı çalışmalara karşın bizimki si büyük haber olmuştu.

Bizim çalışmamız da, lepistes çalışması gibi, evrimin öngörülebilirliğini doğal çeşitlilik gözlemlerinin test edilmesiyle araştırmıştı. Milyonlarca yıllık adaptasyon süreci sonunda anole türlerinin bacak uzunlukları kullandıkları yüzeylerin çapına bağlı olarak çeşitlenme göstermektedir. Eğer bitki örtüsü yönünden farklı adalara başlangıçta benzer popülasyonları yerleştirirsek, birkaç yıllık bir süre içerisinde aynı evrimsel sonuç elde edilir miydi? Cevabı evetti. On yıllık bir evrimin ardından 14 popülasyonumuz bacak boyutları yönünden, bacaklarının uzunluğunun kullandıkları dalların genişliğine oranı yönünden farklılaşmıştı. Lepistes çalışmalarında olduğu gibi kertenkelelerin ne yönde evrim göstereceğini öngörebiliyorduk; doğal popülasyonların deneyimlediği şartları yeniden yaratırsak deney popülasyonları tekrar tekrar aynı şekilde uyum sağlıyordu.

Ne var ki aynı lepisteslerde olduğu gibi, bir başka olasılığı daha düşünmeliydik; popülasyonlar arası bacak uzunluğu farklılıkları, evrimleşmiş genetik değişimlerin sonucu olmayabilirdi. Ne zaman çalışma hakkında bilimsel konuşmalar yapsam, dinleyiciler arasından biri (genellikle de kıl bir bitkibilimci) söz alıp fenotipik esneklik me-

selesini soruyordu. Popölasyonlar arasındaki farklılıklar gerçekten de genetik değişimin sonucu muydu? Daha ensiz bitki örtüsüne sahip adalarda doğan kertenkeleler acaba daha kısa bacaklar geliştirmiş olamaz mıydı?

Bir kertenkelenin bacak uzunluğunun kullandığı yüzeyin çapından etkilenebilmesi bana mantıksız geliyordu. Bebekken dar bir tünek kullanmak bacaklarının daha az büyümesini nasıl sağlıyordu? Fakat soru karşıma gelip duruyordu, o yüzden buna bir bakmam gerektiğini biliyordum.

Tünek çapının kertenkelelerde bacak uzunluğu üzerindeki etkisi hakkında neler bilindiğini öğrenmek için kütüphaneye başvurdum. Fazla uzun sürmedi, çünkü konuyu araştıran olmamıştı. Öte yandan egzersiz yapmanın omurgalı hayvanlarda bacak uzunluğu üzerindeki etkisiyle ilgili daha geniş bir literatür vardı. Bu çalışmaların hedefinde, çeşitli egzersizlerin büyürken bir hayvanın bacaklarının gelişimini etkileyip etkilemediğinin, nasıl etkilediğinin tespit edilmesi bulunuyordu. Doğrusunu söylemek gerekirse bu araştırmalar şimdiye dek okuduğum en tuhaf deneyleri de içeriyordu.

Örneğin bir çalışmada araştırmacılar genç bir laboratuvar faresini günde 10 saat bir egzersiz tekerleğinde zorla koşturuyor, kontrol grubuysa aynı esnada kafeslerinde tembellik ediyordu. Bir başkasında genç sıçanlar günde dört saat bir banyo küvetine atılıp yüzdürülüyordu; ayrıca yine bezgince takılanlardan oluşan bir kontrol grubu vardı. Bir üçüncüsünde bu kez büyüyen tavuklar bir koşu bandına koyulup uzun süre koşturuluyordu.

Bu deneyler istikrarlı sonuçlar vermişti. Uzun süreler boyunca egzersiz yapmaya sevk edilen hayvanlar daha kalın bacak kemikleri geliştirmişti. Bunun insanlarda da paralel bir örneği var: Halterciler diğer insanlara oranla daha kalın kol kemiklerine sahip. Nedeni kemiğin aslında sürekli kalsiyum alıp kaybeden, çok dinamik bir yapıya sahip olması. Bir kemiğin üzerine egzersiz yaparken olduğu gibi gerilim yüklendiğinde kemik kendisini sağlamlaştırmak için kalsiyum takviyesi yapıyor. Sonuç olarak kemik genişliği hayvanın davranışından etkilenen esnek bir özellik.

Ne var ki bizim sonuçlarımız kemiğin *genişliğiyle* ilgili değildi. Biz onun uzunluğunu çalışıyorduk. Ve bu çalışmalarda da genellikle egzersizden kaynaklanan uzuv uzunluğu farklılaşması tespit edilmemişti. Fakat önemli bir istisna vardı, profesyonel erkek tenisçiler üzerinde 1950'lerde yapılmış eski bir araştırma. Aslında düşündüğünüzde, profesyonel tenisçiler küçüklüklerinden itibaren toplara vurmaya başlıyor, büyüme yılları boyunca servis atan kollarına süreklileşmiş büyük bir gerilme uyguluyorlar. Bu çalışmanın bir çekiciliği de, her bireyin servis attığı ve atmadığı kollarını karşılaştırma suretiyle kontrol işlevini yerine getirebilmesiydi.

Gerçekten de servis atılan kollar daha uzundu; bir tenis topuna yıllarca üst üste vurmak kolunuzu uzatmaktaydı.* Röntgen filmle-riyle ölçümler yapıldı, farklılıklar kesinlikle kemik uzunluğundaydı, bağ dokuyla veya kaslarla ilgisi yoktu.

Görünüşe göre uzuvların büyüme esnasında çeşitli biçimlerde kullanılması uzvun ne uzunlukta olacağını etkileyebiliyordu; fenotipik esneklik hipotezi tamamen uydurma değildi. Ne var ki profesyonel tenisçilerin topa elin iç tarafıyla yaptığı vuruşlar ile dallardan sarkan kertenkeleler arasındaki mesafe de epey uzaktı. Bir esneklik çalışması yapmamız gerektiği ortadaydı.

En dolambaçsız yaklaşım araştırma yaptığımız adalardan bebek kertenkeleler (ya da annelerini yumurtalarıyla) yakalamak ve farklılıkların devamlılık gösterip göstermediğini görmek amacıyla hepsini ortak bir laboratuvar ortamında büyütmekti. Fakat çalışmalarımız halen devam ediyordu ve popülasyonlarımız küçüktü. Adalardan çok fazla kertenkele alırsak, bunun deneyin geleceğini etkilemesinden korkuyorduk. Bu yüzden ortak bahçe deneyi olmazdı.

Ortak bahçe çalışmasının zıddı olan B planına geçtik. Farklı popülasyonlardan kertenkeleler alıp hepsini tek bir yerde büyütme-ye yerine, kertenkeleleri bir popülasyondan alıp farklı koşullar altında büyüttük. Bir grup kertenkele, üzerine oturabilecekleri 2x4'lük düz

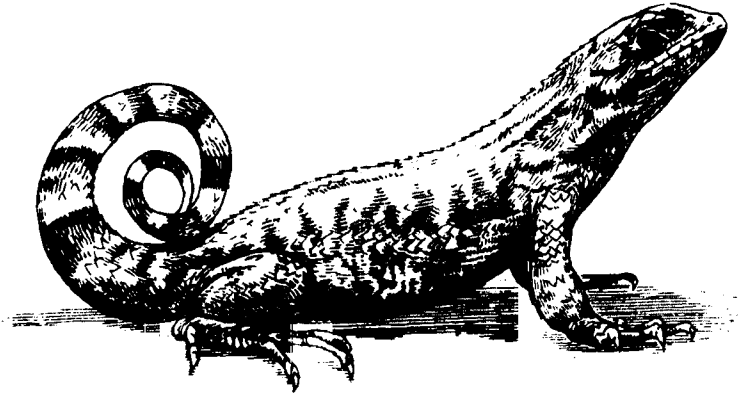
* Elbette, teoride nedensellik ters yönde işlemiş olabilir. Belki de sadece asimmetrik kollara sahip kişiler profesyonel tenisçi oluyordu.

ve geniş bir tahta parçasının bulunduğu teraryumlarda büyütüldü. Diğer gruptaysa tünek olarak kullanılabilecek tek yer 60 santimetre genişliğinde çok dar bir çıtaydı. Deney bu tür yüzeyleri kullanarak büyümenin bir kertenkelenin bacaklarının ne kadar uzayacağını etkileyip etkilemediğini test ediyordu. Başka bir ifadeyle, fenotipik esneklik sahada popülasyonlarımızda gözlemlediklerimizle kıyaslanabilir düzeyde farklılıklar doğuruyor muydu?

Bu deneyi başıma musallat olan botanikçilerin çenesini kapatmak, bitkiler farklı şartlar altında farklı şekilde büyüyor diye, bunun tek başına kertenkelelerin bacaklarının da aynısını yaptığı anlamına gelmediğini ispatlamak için düzenledim. Sonradan verilere bakıp haksız olduğumu görünce acayip şaşırdım! Kahrolası botanikçiler! Büyümekte olan bir kertenkeleyi geniş bir yüzeye koyarsanız, sonunda bacakları, genel vücut büyüklüğündeki farklılıkları hesaba kattıktan sonra bile, dar dallarda büyümüş kertenkelelerden uzun oluyor.

Bununla beraber araştırmanın bir diğer tespiti de, bizim deney adalarımızda gözlemlenen farklılıkların esneklikle açıklanamayacak kadar büyük olduğuydu. Laboratuvarda büyüme deneyi (dar çıta ile geniş tahta parçası karşılaştırması), kertenkeleleri deney adaları arasındaki tünek çapı farklılıklarından çok daha büyük farklılıklara maruz bırakmıştı. Ada popülasyonları arasındaki bacak uzunluğu farkı, laboratuvarda üretilen farktan üç kat daha büyüktü. Diğer deyişle son derece farklı şartlar altında olursa bile, fenotipik esneklik adalarda görülen farklılaşmanın sadece bir kısmından sorumlu tutulabiliyordu. Bu nedenle evrimleşmiş genetik değişimlerin, deney yapılan ada popülasyonları içerisinde görülen uzuv uzunluğundaki farklılıkların büyük kısmından sorumlu olduğu sonucuna vardık.

Bu, uzuv uzunluğundaki farklılıkların genetik temelinin test edilmesinin dolaylı bir yoludur elbette. Bu çalışmanın yapıldığı dönemde doğrudan genomun incelenmesiyle bacak uzunluğunun belirlenmesinden sorumlu genlerin tespit edilmesi mümkün değildi. Yirmi yıl sonra bugün de bunu henüz tam olarak başarabiliyor değiliz, ama önümüzdeki birkaç yılda araştırmacılar muhtemelen ilgili genleri tespit etmiş olacak ve bizler hangi genetik farklılıkların po-



Kıvrık kuyruklu kertenkele

pülasyonlar arasındaki uzuv uzunluğu çeşitlenmesinden sorumlu olduğunu keşfedebileceğiz.

Bahamalar'da küçük yalıtık bir adada yaşayan bir anole olduğunuzu düşünün. Vaktinizin çoğunu yerde böcek yakalayarak ve arkadaşlarınızla takılarak geçiriyorsunuz. Sonra bir gün aniden adada bir çift büyük, hödük kertenkele beliriveriyor. Ellerinden bir iş gelmiyor, bir yerlere tırmanmayı bile beceremez haldeler ama kocaman ağızları var ve sizi yemekten hoşlanacakları gayet belli oluyor. Ne yaparsınız?

Bir gıdım akli olan herkesin vereceği cevap çok açık. Çalılara tırman, yerden uzak dur, canavarlara hiç bulaşma. Ne var ki bu durumda da başka bir sorunuz var; bacaklarınız dar dallarda rahatça dolaşmanıza izin vermeyecek kadar uzun. Hal böyleyken evrim geçirmek şart gibi görünüyor.

Uzun lafın kısıası, bir sonraki deneyimiz buydu. İlk çalışmanın kazandığı başarının ardından Schoener, Spiller ve ben bu kez bilinçli olarak evrimsel değişime bakmak amacıyla hazırladığımız bir başka deney yapmaya karar verdik. Yine doğadaki gözlemlere dayanan bir öngörüü test edecektik. Schoener'in Bahamalar'a 20 yıldan beri yaptığı seyahatler, toprak üzerinde daha çok yaşayan ve

daha büyük kertenkele türlerinin bulunduğu adalarda kahverengi anolelerin bitki örtüsünün daha yüksek yerlerine yerleştiğini ortaya çıkarmıştı. Bu kez öngörümüz iki yönlüydü: birincisi avcı hayvanın olduğu koşullarda kahverengi anolelerin yerden daha yukarılara, çalıların içerisine taşınacağını ve bunun sonucunda bu yeni habitat kullanımını rejimine uyum göstererek daha dar yüzeylerde hareket etmek için yeniden daha kısa bacaklar evrimleştireceklerini tahmin ediyorduk.

Genel çerçeve önceki çalışmaya benziyordu, kireçtaşından oluşan minik adalardaki kahverengi anole popülasyonlarına odaklanacaktık. Fakat bu sefer anolelerin önceden yerleşmiş olduğu biraz daha büyük adaları kullanıp bunlara yerde yaşayan, daha büyük kertenkele yiycilerini ekledik.

Deneyimizdeki kötü adamımız kıvrık kuyruklu kertenkele, kahverengi anolelerin iki kat uzunluğuna ve on kat ağırlığına ulaşan bodur bir kertenkele türüydü. Bu kertenkelenin adı da kendisini anlatıyor; rahatsız edildiğinde süslü kuyruğunu kıvrıp ortamdaki uzaklaşır. Neden böyle yaptığı bilinmiyor. Belki avcısına mesaj yolluyor ("Görüyorum seni. Peşimden koşarak vaktini harcama."), belki de gelecek saldırıyı gözden çıkarabileceği kuyruğuna doğru yöneltmek istiyor. Sebebi ne olursa olsun, tıpsız bir kertenkeleyi kuyruğu bedeninin üzerinde sarılı halde yuvarlana yuvarlana uzaklaşır görmek komik oluyor.

Öte yandan şaklaban kertenkelenin anoleleri pek eğlendirmedigine hiç kuşku yok. Kıvrık kuyruklular kocaman ağızlarına alabildikleri her şeyi yiyecek ve buna kertenkeleler de dahil.

Deneyimiz düşünce olarak kulağa iyi gelse de, çıkacak sonuçtan hiç emin değildik. Makalelerde kıvrık kuyruklu kertenkelelerin anoleleri yediği yazıyordu ama bu avcılığın ne kadar önemli bir ekolojik etmen olduğu konusunda hiçbir fikrimiz yoktu. Genel bir etki de bulunmayacak şekilde kırk yılın başında mı oluyordu, yoksa anoleler üzerinde büyük bir etkisi var mıydı? Bu soruyu yanıtlamamıza yardım edecek veriye sahip değildik. Deneyi yapıp görmemiz gerekiyordu.

Kıvrık kuyruklular Abaco adaları civarındaki daha büyük kayalarda görülür ve yer yer yakındaki daha küçük adalara da yerleşirler; dolayısıyla bizim yer değiştirmelerimiz devam eden doğal süreçlerin bir benzeriydi. Başlangıçta 12 ada belirledik ve bunları büyüklük ve bitki örtüsü açısından 6 ada çifti olarak sınıflandırdık. Ardından yazı tura atarak her bir çiftteki hangi adanın beş kıvrık kuyruklu kertenkele alıp hangilerinin kontrol görevi göreceğini kararlaştırdık.

Kıvrık kuyruklu toplama işini 1997 yılının Nisan ayında yaptık. Kıvrık kuyrukluları yakalamak anoleleri yakalamaktan bile zevkli zira bunu yapmak için daha uzun, altı metrelik bir sıruk kullanmamız gerekiyordu; bunun nedeni de kıvrık kuyrukluların anolelere oranla daha tetikte olması ve yanlarına yaklaşmamıza izin vermemeleri. Bu yüzden sıırığı manevralarla kertenkelenin başından geçirebilmek için daha iyi motor kontrol gerekiyor, özellikle de kıvrık yakalamayı daha da zorlaştıran havanın esintili olduğu günlerde. Neticede nihai sonuç aynı: Boynunda diş ipinden kementle bir sıruktan aşağı sarkan kertenkele. Tek fark, kıvrık kuyrukluları kementten çıkarırken çok daha özenli davranmak gerekiyor, çünkü ağızları anolelerden çok daha büyük ve ısırıklarında epey acıtıyor.

Üç ay sonra ilk takip izlemesi için döndüğümüzde açıkçası ne beklediğimizi biz de bilmiyorduk. Kıvrık kuyruklular yeni evlerinde hayatta kalacak mıydı? Varlıkları anoleler üzerinde bir fark yaratacak mıydı? Tahminlerimiz vardı elbette ama bunlara pek de güveniyor değildik.

Şimdiden çarpıcı sonuçlar doğmuş olduğunu görünce biz de şaşırдық. Anole popülasyonlarının kıvrık kuyrukluların adalarındaki sayısı, kontrol adalarındakinin yarısıydı; bu fark deneyin geri kalanında da korundu. Anoleler kontrol adalarında yerin üzerinde ya da yakınında bulunmaya devam ediyorken, kıvrık kuyrukluların aktarıldığı adalarda ayakları yerden kesilmiş, can düşmanlarından kaçarak yukarılara kaymışlardı. Deneyin başlamasından iki yıl sonra kıvrık kuyrukluların adalarındaki anoleler, kıvrık kuyrukluların olmadığı kontrol adalarıyla karşılaştırıldığında, ortalama yedi kat daha yükseğe yerleşmiş durumdaydı.

Bu sonuçlar beklediğimizden de çarpıcıydı. Anoleler çalılarının üstüne kaçmış, dar bitkileri kullanıyordu. Sadece kertenkelelerin bu dar yüzeylerde daha sarsakça hareket edişine bakarak bile iyi adapte olmadıklarını söyleyebilirdik. Öngörümüz, doğal seçilimin mucizesini yaratacağı ve birkaç yıl sonra kertenkelelerin daha kısa bacaklar evrimleştirip yeni ağaç habitatlarında hareket etmeye daha iyi uyarlanmış hale geleceği yönündeydi.

Ne yazık ki öğrenme şansımız hiç olmadı. 1999 yılının Eylül ayında 4. kategori bir canavar, Floyd Kasırgası, Aboco adalarını kırıp geçirdi. Deniz seviyesinin en fazla birkaç metre üzerinde olan deney adalarımız fırtına dalgasının etkisiyle birkaç saat suyun altında kaldı. Kertenkelelerin hepsi gitti. Deney bitti.

Aslına bakılırsa son üç yıl içerisinde ikinci kez bir kasırga, deneyimizi sona erdiriyordu. 1996 Ekim'inde Lili Kasırgası Bahamalar, Georgetown'da tam üstümüzden geçip başka bir ada setindeki kertenkelelerimizi silip süpürünce üssümüzü Abaco'ya taşımıştık. Bu olaylar bize kasırgaların etkisi hakkında çok şey öğretti, öğrendiklerimiz arasında küçük adaların neden kertenkelesiz olduğu konusunda Schoener'in sezgisinin doğrulanması da vardı. Kazara kasırga uzmanı olmuştuk olmasına da, bunun bedeli ağır olmuş, uzun sürmesini planladığımız deneylerin vaktinden önce sonlandırılması gerekmişti.

Her felakette bir hayır vardır, derler. Artık kıvrık kuyruklu kertenkelelerin anoleler üzerinde bu kadar büyük bir etkisi olduğunu bildiğimize göre, sonraki deneyimizi yeniden tasarlariken bu bilgiden faydalanabilirdik. Şansımız yine yaver gitmişti: Floyd, daha önceki kasırgalardan daha erken, kertenkele yavrulama mevsimi sona ermeden önce gerçekleşmişti. Fırtınanın doğurduğu kabarma adalardaki tüm kertenkeleleri silip süpürmüştü ama zemindeki yumurtaları kalmıştı. Bir ay sonra şaşkınlık içinde adanın bebek kertenkelelerle kaplı olduğunu gördük, Floyd'un yarattığı deniz kabarmasında altı saat su altında kalmaktan sağ kurtulan yumurtalardan çıkmışlardı.

Bitki örtüsünün ve kertenkele popülasyonlarının kendilerini toplaması için birkaç yıl beklememiz gerekti elbette, ama 2003 yılın-

da işe dönmüştük: Kıvrık Kuyruklu Aktarımı II, devam filmi. Plan genel olarak aynıydı: Kıvrık kuyruklu kertenkeleleri bazı adalara aktarmak, bazılarına aktarmamak. Fakat bu sefer bir şeyi farklı yaptık. Amacımız sadece popülasyonları belli bir süre boyunca izleyip evrim geçirip geçirmediğini görmek değil, aslında aynı zamanda doğal seçilimin kendisini ölçmekti.

Daha net söylersek, hipotezimiz kıvrık kuyruklu kertenkelelerin varlığının doğal seçim örüntülerini değiştireceğiydi. Öngörümüz iki parçalıydı. Uzun bacaklı (daha hızlı ve bu sayede yerdeki kıvrık kuyruklulardan paçasını kurtarmada daha mahir) anolelerin başlangıçta daha iyi hayatta kalacaklarını öngördük. Fakat zamanla anolelerin habitat kullanımlarının, deneyin önceki gerçekleştirilişinde olduğu gibi, yerden çalılarının üzerine kaymasını öngördük. Yerden ayağını kesip yerde yaşayan (en kalın ağaçlar dışında bir şey tırmanamayacak kadar büyük) kıvrık kuyruklulardan uzaklaştıktan sonra uzun bacaklar artık avantaj sağlamayacaktı. Bu nedenle Staniel Cay, deneyimizde olduğu gibi doğal seçilimin daha kısa ayaklı, dar yüzeylerde hareket etmede daha becerikli kertenkeleleri destekleyeceğini öngördük.

Doğal seçim, sonraki nesle aktarılabilecek en fazla sayıda yavruyu üreten bireyleri ödüllendirir. Bu üreme başarısını maksimize etmenin birden çok yolu vardır: uzun yıllar yaşamak, çiftleşme vakalarının sayısını en üst düzeye çıkarmak (buna “cinsel seçim” denmektedir), üreme olayı başına düşen yavru sayısını en üst düzeye çıkarmak. Bu incelemede kertenkelelerin çevrelerine ne kadar iyi uyum sağladığını ele alıyorduk, bu yüzden evrimsel uyumluluğun ölçütü olarak hayatta kalmayı seçtik.

Hayatta kalmanın bacak uzunluğuyla ilişkili olup olmadığını belirlemek için deneye başlamadan önce anoleleri yakalamamız, ölçmemiz, her birine özel bir kimlik vermemiz gerekiyordu ki ne kadar hayatta kaldıklarını saptayabilelim. Kısa bacaklı kertenkeleler daha uzun mu yaşayacaktı? Bunu saptayabilmek için, avcılarının aktarımını yapmadan önce adaların hepsini dolaştık ve toplayabildiğimiz ne kadar kertenkele varsa topladık.

Kuşbilimciler bir popölasyonda bulunan kuşların her birinin kimliğini tespit edebilmek için bacaklarına küçük plastik renkli şeritler koyar. Her kuşun iki bacağında benzersiz bir renk kombinasyonu olur ve bu sayede araştırmacılar onların kimliğini uzaktan dürbünle tespit edebilir (sağ bacak: en üstte turuncu, ardından iki siyah şerit; sol bacak: sarı, turuncu, sarı — tamam, bu Fred!). Gel gör ki anoleler bu tür şeritlere veya veterinerlerin kedi ve köpeklerle enjekte ettiği mikroçiplere uygun olmayacak ölçüde küçüktür. Deriye koyulacak işaretler de kertenkelelerin yazları sık sık yaşadığı deri değişimlerinde kaybolur. Bu yüzden herpetologlar, somonları işaretlemek için geliştirilen bir yöntemi kullanarak derinin hemen altına renkli, toksik olmayan, lastik iplikler enjekte ederler. Kertenkelenin derisi bacaklarının alt kısmında yarı saydam olduğu için kertenkele yeniden yakalandığında elastomerlerin fosforlu rengi (DayGlo yeşili, sarı, pembe, turuncu) hemen göze çarpar. Renklerin ve uzvun hangi kısmına enjeksiyon yapıldığının çeşitlendirilmesiyle her anole benzersiz bir renk şifresi edinir.

Önceki çalışmalarımızdan ders çıkartarak kertenkeleleri odaya kadar taşıyıp gece boyunca tutup ertesi gün evlerine geri getirmektense, üzerlerinde yapacağımız işlemleri yakalar yakalamaz adadayken gerçekleştirmenin daha verimli olacağını fark etmiştim. Bunu yapabilmek için mobil bir çalışma istasyonu hazırlanması gerekiyordu. Adalar çoğunlukla üzerinde oturmaya ve çalışmaya uygun olmayan, iğne gibi batan kireç kayalardan oluşuyordu. Ben de kiraladığım odadan plastik bir sandalye ödünç alıp adalara gittiğim deniz motoruna attım.

Aslında bazı açılardan laboratuvar için tatlı bir yerdi. Adalar çok küçük olduğu için her zaman okyanustan birkaç adım uzaktaydım. Vatoz ve su kaplumbağaları sık görülüyor, arada bir yanınızdan bir yunus sürüsü geçiyordu.

Öte yandan altına oturabileceğiniz bir ağaç yoktu; adalarda yakıcı Bahamalar güneşine karşı savunmasızdınız. Meltem esmediğinde öğle sıcaklığı boğucu oluyor, bedenimi tepeden tırnağa örten güneş koruyucu giysimi dayanılmaz kılıyordu. Kafamdaki ufak bir uçan daire boyutundaki kocaman güneş şapkası, beni geçip giden turist

dolu teknelerin maskarası haline soksa da, hiç değilse biraz gölge sağlıyordu. Rüzgârlı havalar da hem iyi hem kötüydü. Daha serin oluyordu elbette, ama malzemelerimi ve şapkamı uçurma riski de taşıyordu.

İşlem sırası bir kertenkele yakalamak, yürüyerek sandalyeme dönmek, oturmak, kertenkeleyi ölçmek, defterime verileri işlerken kıvrılıp duran hayvanı düşürmemeye gayret etmek şeklindeydi. Ardından sıvının zamanından önce katılaşmasını önlemek için buzun içinde duran, her birinde farklı renk yüklü dört şırınganın yer aldığı soğutucuya uzanırdım. Renkler şırıngalarla derinin hemen altına enjekte edilirdi. Sıvı çabucak lastiksi bir katılık kazanır ve hemen ardından kertenkeleler yakalandıkları noktaya geri bırakılırdı. Tüm süreç on dakikada tamamlanırdı.

Bir ayımızı aldı ama sonunda 12 adadaki kertenkelelerin hepsini yakaladık. Her kertenkele özel biçimde işaretlenmişti; geri gidebilir, aynı kertenkeleyi yeniden yakalayabilir, kimliğini tespit edebilirdik. En önemlisi, ilgili kertenkelenin her şeyini biliyorduk artık: büyüklüğünü, bacaklarının uzunluğunu, ayak tabanlarındaki pulların sayısını. Hayatta kalmanın fenotiple ilişkili olup olmadığını öğrenmeye hazırdık; acaba kısa bacaklı kertenkeleler hayatta kalma konusunda uzun bacaklılardan daha başarılı mıydı? Deneyimiz açısından kritik soruyu öğrenebilirdik: Kıvrık kuyruklu kertenkelelerin varlığı doğal seçilimin işleyişini değiştiriyor muydu?

Kertenkeleler ölçüldükten sonra Abaco'da yeni bir kıvrık kuyruklu toplama seferine çıktık ve piyangoyu kazananları yeni ada tatili meskenlerine taşıdık. Yine altı adaya yırtıcı hayvanları koyup altı tanesini de kontrol grubu yaptık. Ardından evlerimize döndük ve işin gerisini halletmeyi kertenkelelere bıraktık.

Altı ay sonra Şükran Günü tatilinin ardından ne olduğunu görmek üzere geri döndük. Hedefimiz adalardaki anolelerin hepsini tek tek yakalayıp kimin hayatta kalıp kalmadığını tespit etmektir. Bunu yapmak kolay değildi. Yüzde seksenini, doksanını yakalamak zor değildi ama geriye kalanlara ulaşmak problemliydi; birkaçı her zaman paçasını kurtarmayı başarıyor, kafayı kaldırıp tekrar bir yerlere sokuşulup gizleniyor, sessizce gözden uzak duruyordu.

Kertenkeleleri yakaladığımızda bacaklarının arkasına bakabilmek için sırtüstü çeviriyorduk. Renkler genellikle kolayca tespit edilebiliyordu, ama ne olur ne olmaz düşüncesiyle çizgiler morötesi ışık altında parladığından, yanımızda morötesi ışık yayan bir el feneri getirmiştik. Kontrol tamamlanınca (yaklaşık bir dakika sürüyordu) yakalamış olduğumuzu bilebilmek için kertenkelenin sırtına minik bir nokta koyuyor, ardından yakaladığımız yerde yeniden serbest bırakıyorduk.

Hipotezimiz doğal seçilimin uzun bacaklar üzerinde işleyeceğiydi. Bu fikri test etmek için seçim gradyanı adı verilen, bizim örneğimizde esasen hayatta kalan kertenkeleler ile can verenlerin bacak uzunluğu farkına karşılık gelen hesaplamayı yaptık. Sonucun büyük bir pozitif değer çıkması uzun bacaklı kertenkelelerin daha iyi hayatta kaldığına, büyük bir negatif değer de tersine işaret edecekti.

Kıvrık kuyrukluların olmadığı kontrol adalarında seçim gradyanları sıfır civarındaydı; uzuv uzunluğu hayatta kalmayı etkilemiyordu. Ne var ki kıvrık kuyrukluların olduğu adalarda durum farklıydı. Seçim gradyanlarının hepsi çok yüksek ve pozitif. Uzun bacaklı kertenkeleler, kıvrık kuyruklu kertenkelelerin varlığında daha iyi hayatta kalıyordu; avcılarının varlığı doğal seçilimi tam öngördüğümüz biçimde değiştiriyordu.

Kasımda kertenkeleleri yakalarken bulduğumuz yerleri de kayıt altına aldık. Tam da önceki deneyde gördüğümüz gibi anoleler kıvrık kuyruklulardan kaçmak için çalılara yöneliyordu; kontrol adalarında üç kertenkelenin biri yerdeyken, kıvrık kuyrukluların olduğu adalardaki gözlemlerimizde ancak onda birini yerde görüyorduk. Ek olarak, anoleler kıvrık kuyrukluların olduğu adalarda daha yüksekte bulunan, daha dar dallara tünemiş durumdaydı.

Habitat kullanımındaki bu değişimin sonucunda doğal seçilimin mutlaka yön değiştirmesini bekliyorduk. Kıvrık kuyruklu kertenkelelerin ulaşamadığı yerlerde uzun bacaklar artık avantajlı olmayacaktı. Anolelerin dar yüzeyleri kullanmaya nasıl uyarlandığını da biliyorduk; daha iyi manevra kabiliyeti için daha kısa bacaklar evrimleştiriyorlardı. Dolayısıyla doğal seçilimin avcılarının olduğu

adalarda daha kısa bacakları desteklemeye başlayacağını öngörüyorduk.

Mayıs ayında bir sonraki popülasyon sayımı için adalara döndük. Yine tüm hayatta kalanları tek tek yakaladık. Habitat farklılıklarının daha da büyümüş olduğunu fark ettik; kıvrık kuyrukluların olduğu adalardaki kertenkeleler yerde daha da az zaman geçiriyor ve daha dar tünekleri kullanıyorlardı. Yeniden seçim gradyanlarını hesapladık; bu kez sadece geçtiğimiz kasımda var olan kertenkeleleri göz önünde bulundurarak mayısa kadar hayatta kalabilmiş olanları aradan geçen altı ayda ortadan kaybolanlarla karşılaştırdık.

Kontrol adalarındaki seçim gradyanları yine sıfır civarındaydı; doğal seçim bu adalarda uzuv uzunluğuna aldırış etmemeyi sürdürüyordu. Fakat kıvrık kuyrukluların adalarında durum değişmişti. Doğal seçim yine etkindi ama bu etki ters yöneydi. Kısa bacaklı kertenkeleler artık daha iyi hayatta kalıyordu; doğal seçim tümüyle tersine dönmüştü. Bunun olmasını bekliyorduk, ama bu kadar çabuk olmasını öngörmemiştik.

Sonuçlar nesiller arası evrimsel değişimi değil, bir nesil içerisindeki doğal seçilimi belgiliyordu. Kıvrık kuyrukluların adalarındaki iki seçim dönemi birbirini götürmüş durumdaydı ve net seçim sıfır civarındaydı. Fakat doğal seçilimin gelecekte pozitiften negatife doğru dalgalanmayı sürdürmesini beklememiştik. Anoleler artık çalılara tırmanmış oldukları için aşağıya inmiyorlardı. Kıvrık kuyruklu kertenkeleler bundan büyük mutluluk duyardı. Bu durumda doğal seçilimin daha kısa bacakları sürekli destekleyeceği tahmininde bulunduk. Böylece gelecekte kahverengi anolelerin Büyük Antiller'deki dal uzmanlarına benzer hale gelecek şekilde evrimleştiğini görme beklentisine girdik.

Daha önceki deneylerimize dayanarak bir kasırganın patlayıp deneyimizi yok ettiğini söylememi bekliyor olabilirsiniz. Böyle düşünüyorsanız yanıldınız. Bu deneyi bir kasırğa değil, iki kasırğa bitirdi. İki kasırğa bitirdi. 2004 yılı Eylül'ünde üç hafta arayla patlayan Frances ve Jean kasırgaları herhangi bir evrim gerçekleşmeden bu deneyi sona erdirdi.

Daha önceki deneyde olduğu gibi yine kıvrık kuyruklu kertenkele popülasyonları ortadan kalktı, ama üye sayıları çok azalmış olmasına karşın anole popülasyonlarının çoğu kurtuldu. Adalardaki bitki örtüsü tarumar olmuştu. Dört yıl beklememiz gerekti, sonunda 2008'de deneyi yeniden başlattık. Bu sözcükleri yazarken deney pek kolay olmasa da devam ediyor (aman nazar değmesin). Yakında sonuçları almayı umuyoruz.

Bu 2004 kasırgaları da daha önceki gibi yine hayırlı bir işe vesile oldu. Daha büyük adaların toparlanmasını beklerken, kasırgaların kertenkelelerden temizlediği geniş bir salon büyüklüğündeki bazı daha küçük adalarda yeni bir deney başlatmaya karar verdik.* Bu deney biraz daha farklıydı. Kertenkeleleri yakınlardaki sık ormanlık, büyük bir adadan topladık ve özellikle bitki örtüsü zayıf yedi adaya aktardık. Diğer bir deyişle popülasyonlar geniş dallarda ve ağaç gövdelerinde yaşamaktan dar gövdelerde ve dallarda yaşamaya geçiş yaptılar. Öngörümüz de, kısa bacaklar evrimleştirmeleri yönündeydi.

Öyle de yaptılar. Dört yıllık sürede yedi adanın tamamında ortalama bacak uzunluğu istikrarlı şekilde azaldı. Kertenkeleler tam da öngörüldüğü şekilde evrim gösteriyordu ve değişim derecesi bizim laboratuvar esneklik deneyimizde çıkandan önemli ölçüde büyüktü. Çalışma gayet iyi gidiyor, güzel biçimde belgelenmiş bir hızlı evrimsel değişim örneğine dönüşüyordu. Hatta popülasyonlar 2011'deki Irene Kasırgası'nı atlatmayı da başardı. Heyhat, ertesi yıl yaşanan Sandy Kasırgası çok farklı geçti ve beş popülasyonu haritadan büsbütün sildi. Hayatta kalan iki popülasyonu izlemeye devam ediyoruz, ama yedi adanın hepsi uyumlu biçimde evrimleşmiş olduğunda sonuçlar çok daha inandırıcı olabilirdi.

Doğrusunu söylemek gerekirse bu kasırgalar beni hafiften yormaya başladı.

Lepistes ve kertenkele araştırmalarına gösterilen onca ilgiye rağmen izimizden ilerleyen az sayıda araştırmacı oldu. Engellerden biri, kuşkusuz ki bu tür bir çalışmayı sonuçlandırmak için ihtiyaç

* Schoener, Spiller ve bu projede Jason Kolbe ve Manuel Leal de bana katıldı.

duyulan zaman ve çabaydı; buna bir de yıllarca çalışmanın ardından acayip meteorolojik (veya başka) olayların araya girip projenin canına okuyabilme olasılığını ekleyin. Dahası, bizim çalışmalarımız yalnızca üç-beş yılın ardından saptanabilir sonuçlar elde edilebildiğini göstermiş olmasına rağmen, diğer organizmaların bu kadar çabuk evrim göstereceğinin garantisi de yoktu. Evrim görünür olana dek birkaç yıl değil de, birkaç on yıl gerekliyse ne olacak?

Öte yandan evrim üzerine deneysel olarak çalışmanın bir başka yolu daha var, hem de yıllar süren çalışmalar yürütülmesini gerektirmemesine karşın paradoksal biçimde araştırmacıların evrimin on yılları bulan sonuçları üzerinde çalışmasını sağlıyor. Uzun süreli evrim deneyleri 1970'li ve 1980'li yıllarda yeni bir fikirdi, evet, ama uzun süreli ekolojik çalışmalar* öyle değildi. Gerçekten de Staniel Cay'de yaptığımız ilk çalışmada ekolojik bir olgunun test edilmesinde kullanılan bir deney kurulumunu gasp etmiştik: Kertenkele popülasyonlarının hayatta kalması ada büyüklüğüyle ilişkili miydi? Schoener'lerin deneyi farkında olmadan sahneyi hazırlamış, benim sonradan gidip deney adalarında evrimin yaşanıp yaşanmadığına bakmamı sağlamıştı. Sonuç olarak deneyi hazırlamama ve on yıl beklememe gerek kalmadan gidip on yıllık evrimin sonucuna bakabilmişim.

Evrim çalışmaya uyarlanabilecek tek çalışmanın bizimkisi olmadığı ortaya çıkıyor. Özellikle bir ekolojik çalışma var ki, başlangıcından bu yana yüz yılı aşkın bir süre geçmiş olması, kendisinin evrim deneylerinin büyükbabası sıfatını hak ederek taşımasını sağlıyor.

* Biliminsanlarının dilinde "ekoloji" organizmaların çevreleriyle etkileşiminin araştırılmasıdır. Kavram 1970'lerde çevre hareketinin kullanımıyla genişletilerek "doğal çevre" ile hemen hemen eşanlamlı hale getirilmiştir.

GÜBREDEN MODERN BİLİME

Bilim tarihinin kesintisiz en uzun süredir devam eden deneyi 175 yıl kadar önce Londra'nın 50 kilometre kuzeybatısındaki tarlalarda başladı. John Bennet Lawes, genç yaşlardan itibaren bitkilerin büyümesine müthiş bir ilgi duyuyordu. Oxford'da geçirdiği yıllarda aile mülkü Rothamsted'te tıbbi bitkiler yetiştirmekle ilgilendiyse de bir süre sonra esas dikkatini tarımda üretkenliği artırmanın yollarını bulmaya yöneltti. Böylelikle “yapay gübre” deneylerine başladı; 30 yaşına geldiğinde kimyasal gübre endüstrisinin doğuşuna önderlik eden şirketini kurmuştu.

Lawes, 1843 yılında aile köşkünü bir tarım araştırma istasyonuna dönüştürme kararı aldı (uzun süre Rothamsted Deney İstasyonu adıyla tanınan bu yer, yakın zamanda *Rothamsted Research* adını aldı). Joseph Henry Gilbert adında bir kimyageri işe aldı ve birlikte Rothamsted tarlalarını gübrelerin ekinler üzerindeki etkilerini test edecekleri bir yer olarak kullanma planı oluşturdular. İzleyen 15 yılda çok sayıda deney başlattılar ve bunlardan yedisi o zamandan beri kesintisiz devam etmektedir. Bu deneyler çeşitli gübrelerin, ürün ro-

tasyonunun ve hasat zamanlamalarının buğday, arpa, şalgam, patates gibi bitkiler üzerindeki etkilerini araştırmaktadır.

Yapılan deneyler modern tarımın gelişimi açısından muazzam önemdeydi. Lawes'ın 1900 yılındaki ölümünün ardından Londra gazetesi *Times* buna dikkat çekiyordu:

Rothamsted'te başarıyla yürütülen araştırmaların kapsamını kısaca belirtmek bile, aslında son yarım yüzyılda tarımsal kimya alanındaki ilerlemenin tarihini özetlemek anlamına gelmektedir... Sir John Lawes tarımın dünyadaki en büyük destekçilerinden biriydi, belki de en büyüğüydü. Görülmemiş bir dehayla birleşen hedefe sıkı sıkıya bağlılığı ve deneysel araştırma alanındaki özgünlüğü, onun tarımın ilerlemesinde çok büyük bir etki yaratan büyük hakikatleri keşfetmesini sağladı.

Lawes ve Gilbert bugün Park Grass Deneyi adıyla anılan son deneylerini 1856 yılında 28 dönümlük bir çimenlik alan üzerinde başlattılar. PGD, diğer deneylerin aksine, belirli bir tarım ürününün üretimini olabildiğince artıran etmenleri araştırmıyordu. Saman hasadının verimine odaklanmıştı. O günlerde çiftçiler samanlarıyla esasen elbette hayvanlarını besliyordu ve yüksek saman verimi de piyasaya taşıdıkları mahsullerin üretimi kadar önem taşıyordu.

Eğer benim gibi bir şehir çocuğuysanız “saman” sözcüğü sizde de hafta sonu anne babanızın sizi çiftlik gezisine götürdüğünde traktörde üzerine oturduğunuz balyaları hatırlatabilir. Samanın çiftlik hayvanlarını beslemek için kullanılan ve tarlada yetiştirilen, kesilen, kurutulan bitki materyali neyse ondan ibaret olduğunu benim gibi siz de bilmeyebilirsiniz. Yaygın saman türleri arasında yonca ve üç yapraklı bitki gibi çok çeşitli türler bulunur.

PGD diğer Rothamsted deneylerinden farklı olarak her yıl veya birkaç yılda bir bitki ekimini içermiyordu. Deney en az 100 yıldır saman üretimi için kullanılmış uzun ve dar bir tarlada başladı. Tarlada çok farklı bitki türleri vardı. Lawes ve Gilbert tarlayı her biri yaklaşık 20 metre genişliğinde 13 şeride böldüler ve her parsel farklı suni gübre karışımları uygulayarak iki araziye de kontrol grubu

olarak gübresiz bıraktılar. Belirli aralıklarla (her yıl veya birkaç yılda bir) gübre uygulaması tekrarlandı.

Deneyin başlıca amacı suni gübreler ile çiftçilerin kullandığı geleneksel gübrelerin faydalarını karşılaştırarak değerlendirmektir. Bunun için parsellere farklı gübreleme işlemleri uygulandı. Çoğuna çeşitli türde inorganik kimyasalların (amonyum, magnezyum, potasyum, sodyum gibi) karışımları verildi. Diğer arazilere de çiftlik gübresi, topaklanmış tavuk gübresi, balık yemi gibi karışımlar uygulandı.

Başlangıçta parseller çok büyük bir bitki türü çeşitliliği içeriyordu ve parseller arasında fazla bir farklılık yoktu. Dikkat çekici nokta diğer Rothamsted deneylerinin aksine parsellerin yeniden tohumlandırılmayıp işin doğaya bırakılmış olmasıydı.

Park Grass Deneyi 150 yılı aşkın süredir kesintisiz biçimde sürdürülmektedir. Bu süre içerisinde deneyde bazı yönlerden hafif değişiklikler yaşandı. 1856'da oluşturulan parseller arazi alanının çoğunu oluşturmaya yine devam ediyordu, ama sonraki 16 yılda tarlanın güney ve batı sınırlarına 7 parsel daha eklenerek toplam sayı 20'ye çıkarıldı. Sonrasında birkaç değişiklik daha yapıldı, bunlardan en önemlisi 1903'te tüm parsellerin ikiye bölünmesiydi. Her iki parçaya da 1856'dan bu yana yapılan suni gübre uygulamasına devam edildi, ayrıca alt iki parselden birine kireç (kalsiyum bazlı mineral gübre) eklenerek bu alt parsellerdeki topraklardaki asit oranı düşürüldü.

Lawes'un ve Gilbert'in saman veriminde suni gübrelerin doğal gübre kadar iyi olduğu yönündeki düşüncesini Rothamsted deneyleri hızlı bir biçimde doğruladı. Fakat Park Grass Deneyi aynı hızla bu kez hiç beklemedikleri bir şeyi gösterdi. Farklı parsellerde başlangıçta çok benzer olan tür kompozisyonu, türlerin parsellerden yok olmasıyla beraber hızla farklılaşmaya başladı. Tür kompozisyonundaki bu değişim o kadar hızlı ve çarpıcıydı ki, Lawes ve Gilbert'in yazdığına göre aradan iki yıl geçmeden "deney alanı neredeyse farklı doğal gübrelerle farklı tohumların denendiği bölümlere ayrılmış gibi bir görünüm kazandı".

Geçen bir buçuk yüzyılın ardından bu farklılıklar uydu görüntülerinde bile fark edilecek kadar barizdir. Farklı parseller yan yana koyu yeşil, açık yeşil, bazıları neredeyse beyaz, diğerleri hafif kahverengi olmak üzere başka başka renklerde yama parçaları gibi görünmektedir.*

Yerde farklılıklar daha da bariz bir hal almaktadır. Yapılan deneysel uygulamaların çoğu parsellerdeki türlerin sayısının yıllar geçtikçe azalmasına neden oldu. Bol suni gübre verilmesi, hızlı büyüyen bitkilerin diğerlerine rekabet üstünlüğü sağlamasına ve birçok türün kendilerine ayrılan parselde yetişememesine sebep oldu. Ayrıca bazı suni gübreler topraktaki asit oranını çok yükselterek bu yeni şartlarda büyüymeyen türleri de ortadan kaldırdı.

Gelin PGD içerisinde bir yürüyüşe çıkalım. 3. parsel 150 yıldır kontrol için kendi haline bırakılmış, toprağı ek besin öğeleriyle lekelenmemiş. Burayı haziran ayında ziyaret ederseniz bir yapı ve renk cümbüşüyle karşılaşacaksınız. Kırmızısı, sarısı, yeşiliyle her şekilde, her boyutta bitki sapsarı, gövdeleri. İçlerinden en çarpıcısı da buğdaygillerden, kırmızı yumak da denen kırmızı çayırotu. Parsele hâkimiyetini kurmuş; ince, katı gövdesinden yukarıya uzun saplı kırmızımsı erguvan rengi çiçek salkımları uzanıyor. Ayrıca etrafı şifalı otlar dahil, bazıları büyük güzel çiçekler açan buğdaygillerden düzinelerce türle desteklenmiş.

Tipik saman mera örtüsü budur ve bir zamanlar bütün tarla bu görünüme sahipti. Öte yandan diğer parsellerin çoğu artık bu kadar zengin bir çeşitliliğe sahip değildir. Bazı parsellerdeki bitkiler daha kalın ve uzun olsa da, kompozisyonları çok daha homojendir. Örneğin hemen yandaki 1. parselde deney başladığından bu yana her yıl düzenli azot ve başka mineral takviyeleri yapılmıştır. Artık eskisi kadar çok sayıda tür yoktur. Hâkim durumda olan birkaç buğdaygil

* Google Earth'e "Rothamsted Estate" yazıp siz de bakabilirsiniz. İnternetin mucizeleri sayesinde çabucak havada, Hertfordshire kırlarının üzerinde gezinebiliyorsunuz. Görüntüyü büyüttüğünüzde arazinin hemen altında ve solunda küçük dijital notların belirdiğini göreceksiniz. İmlecinizi bunlardan birinin üzerine getirdiğinizde "Park Grass Experiment" yazısı çıkacaktır. Biraz daha zumlayınca deney tarlalarını göreceksiniz.

türü 3. parseldeki kırmızı çayırotundan daha uzun boylu ve kuvvetlidir. Arada tek tük çıkmış birkaç çiçek görülmektedir.

Şimdi de son 150 yıldır amonyum sülfat eklenen 9. parselde göz atalım. Ortaya çıkan toprak asiditesi sadece bitki türlerinin çoğunu ortadan kaldırmakla kalmamış, solucanları ve diğer toprak altı sakinlerini de uzaklaştırmıştır. Yalnızca üç bitki türü kalmıştır; 9. parselde baktığınızda esasen PGD parsellerinin hemen hemen hepsinde boy veren bir tür olan tatlı ilkbahar otunun tüylü, püsküllü başları gözünüze çarpacaktır.

Farklı suni gübre uygulamaları PGD parsellerini çok çeşitli biçimlerde değişime uğratarak, topraklarını değiştirmiş, bitkilerin direncini etkilemiş ve hangi türlerin bir arada yaşayacağını belirlemiştir. Lawes ve Gilbert'in döneminden beridir de, parseller arası bu farklılıklar herhangi bir türün bulunduğu parseldeki koşulları tolere edip edemediğine, orada yaşayan türlerle beraber hayatta kalıp kalamadığına bağlı bir ekolojik olgu şeklinde ele alınmıştır.

Yüzyılı aşkın süre boyunca bir kişi de çıkıp parseller arasındaki farkların ortaya çıkışında evrimin bir rol oynayıp oynamadığını, farklı parsellerdeki aynı tür popülasyonların yerel koşullara uyarlanıyor olup olamayacağını sormamıştır. Neden sorsun ki? Hem Darwinci kağıt hızında evrim zihniyeti halen hüküm sürüyor hem de bu parseller birbirinin çok yakınında, yer yer üç-beş santim uzakta bulunuyordu. Dönemin standart evrimci biyoloji kavrayışı, popülasyonlar arasındaki genetik değişimin ("gen akışı") evrimsel ıraksamayı engelleyeceği yönündeydi. Bitkilerin tohumlanması için rüzgâr tarafından taşınan tohumlarla veya bir parselden diğerine polen savrulması yoluyla genler bir ileri bir geri taşınacak ve popülasyonlar genetik açıdan homojen kalacaktı.

Ne var ki Roy Snaydon adlı genç bir botanikçi bundan o kadar da emin değildi. Galler'de 1950'li yılların sonuna doğru lisansüstü eğitimine başladığında botanikçiler bitkilerin hızla evrim geçirebildiğini, yalıtık olmadıkları koşullarda dahi hızla evrimleştiklerini fark etmeye yeni yeni başlıyordu. Doktora danışmanı Tony Bradshaw, terk edilmiş eski metal maden sahalarının üzerinde büyüyen

bitkilerde görülen ağır metal toleransı evrimi konusunda günümüzde klasikleşmiş çalışmasını yayımlama sürecindeydi. Bradshaw, geçmişte (bazılarının tarihi Roma dönemine hatta belki daha eskilere, Bronz Çağı'na dayanan) bakır, kurşun, çinko madenlerinin olduğu yerlerde toprağın çoğu bitki için zehirleyici nitelikte ağır metal derişimleriyle kirlenmiş olduğunu bulmuştu. Buna rağmen buralarda bazı türler büyümeyi başarmıştı. Bradshaw, maden sahasındaki bitkilerin madenler kurulduktan sonra bu zehirli koşullar altında yaşayacak şekilde evrimleşmiş olduğunu fark ederek doğada hızlı evrimin bariz ilk örneklerinden birini tespit etmişti.

Maden sahalarındaki bitkiler hızla evrimleşmenin yanı sıra, gen akışı karşısında uyarlanma göstermeyi de başarmıştı. Eski cüruf yığınlarının sadece birkaç adım uzağında metal yoğunluğu büyük bir hızla düşüyordu. Bradshaw ve öğrencileri etraftaki kirlenmemiş toprakta bulunan aynı tür bitkilerin kirlenilmiş toprakta yetişemediğini keşfetti. Maden sahasındaki bitkiler ağır metal dayanımı evrimleştirmişti ve bunu etrafları metale dayanımsız bitkilerle çevriliyken ve bunların polenleri, tohumları, sahip oldukları metale dayanımsız genler rüzgârla beraber sürekli sahaya taşınırken başarmışlardı. Görünüşe göre gen akışı sanıldığı kadar homojenize edici değildi.

Snaydon'ın doktora çalışması, ak üçgülün ve yaygın bir çim olan mavi koyun yumağının farklı kimyasal alaşıma sahip topraklara uyarlanmasını belgeleyerek Bradshaw'un izinden ilerledi. Tezini tamamlayan Snaydon, Reading Üniversitesi'nde öğretim üyesi oldu ve bu vesileyle 80 kilometre kadar kuzeydoğuda bulunan Rothamsted'e ziyaretlere başladı. Her yıl botanik derslerindeki onur öğrencileriyle buraya gelmeye başlamasıyla çarklar usul usul dönmeye başladı. Snaydon, toprak kimyasının bitkilerde evrimsel ıraksamayı hem de çok kısa mesafeler ve çok kısa süreler içinde tetikleyebileceği fikrinin deneysel olarak test edilmesi için Park Grass Deneyi üzerinden ilerlenebileceğini düşündü. Düşündüğü doğruysa, Park Grass Deneyi parsellerinde görülen çeşitlilik bir ölçüde, parseller itibarıyla farklılaşan şartlara karşı aynı türün üyelerinin uyumsal evrimsel ıraksamasından kaynaklanıyor olabilirdi.

Bir sorun vardı yalnız: Rothamsted personeli (o sırada 100 yaş-

na ulaşmış olan) deney parsellerine kutsal topraklar gözüyle bakıyordu. Personelden sadece birkaç seçilmiş kişinin, o da bakım işleri için parsellerde yürümesine izin veriliyordu. Kimsenin malzeme toplama veya araştırma yapma izni yoktu. Tarlalara nezaret eden bilim insanı Joan Thurston ve Arazi Komitesi, Snaydon'ın teklifine şüpheyle yaklaşıyordu ama talebi doğru zamanda iletilmişti. Komite öğrenecek bir şey kalmadığı zannıyla deneylere son vermeyi düşünüyordu, o yüzden profesörün birkaç parselde çalışmasına izin vermekten ne zarar doğabilirdi? Snaydon, komite huzuruna çağrılarak sıkı bir sorguya çekildi. Sonunda gönülsüzce onay verilerek Snaydon'ın sınırlı sayıda tohum toplamasına izin çıktı. Thurston, çalışmaya büyük bir dikkatle nezaret ederek izin verilen arazi parçasının aşılmadığından emin oldu.

Snaydon, bitkilerin parsellerde evrimsel ıraksama yaşadığı fikrini test amacıyla deney tarlalarındaki parsellerde bol bulunan tatlı ilkbahar otuna odaklandı. Deneyin başlatıldığı 1856 yılından beri farklı kimyasal karışımlarla gübrenilmiş olan üç parseli başlangıç olarak seçti. Her parselin güney yarısına yarım yüzyıl boyunca kireç uygulanmış olduğundan,

çalışma mineral içerik ve toprak asiditesi açısından kayda değer şekilde farklılaşan altı alt parseli kapsamış oluyordu. Snaydon'ın hipotezi, ot popülasyonlarının geride kalan yüzyıl içerisinde deneyimledikleri özel koşullara uyarlanmak amacıyla evrimsel açıdan ayrılmış olduğuydu.



Tatlı ilkbahar otu

Gerçekten de ayrılmışlardı. Snaydon, kendisine katılan çok başarılı yüksek lisans öğrencisi Stuart Davies'le beraber, tatlı ilkbahar otunun alt parsellerde muazzam bir çeşitlilik gösterdiğini hemen tespit etti. Ot bazı alt parsellerde ("mahsul" kavramıyla ifade edilen) toplam ağırlık yönünden diğerlerine oranla %50 daha fazlaydı; boy

yönünden de karşılaştırılabilir ölçüde farklılaşıyordu. Genetik farklılıkları test etmek için farklı parsellerden aldıkları tohumları yan yana ektiler (gerçek bir ortak bahçede yapılan gerçek bir ortak bahçe deneyi!). Farklı parsellerden alınıp bir üniversite araştırma bahçesinde özdeş koşullar altında yetiştirilen tatlı ilkbahar otlarının çiçeklerinin ağırlığı, yapraklarının boyutları, otun küllemeye yatkınlığı gibi bir dizi temel özellik açısından farklılık göstermesi, alt parseller arasındaki farkların genetik temelli olduğunu gösteriyordu.

Öte yandan parseller arasında evrimleşmiş genetik farklılıkların varlığı tek başına bu değişimlerin uyumsal olduğunu kanıtlamaz; bu değişimler küçük popülasyonlarda tesadüf eseri yaşanan rastlantısal genetik dalgalanmalara da işaret edebilir. Snaydon ve Davies, uyarlanma hipotezini doğrudan test etmek amacıyla bitkileri farklı toprak şartları altında yetiştirdi. Bekledikleri üzere bitkiler en iyi büyümeyi doğdukları parseldekiyle aynı kimyasal bileşime sahip topraklarda gerçekleştirdi. Bu yaklaşımı bir adım ileri taşıyarak bahçede yetiştirilen bitkileri alıp tekrar deney parsellerine diktiler (bu noktada çalışmanın bilimsel önemi, arazi komitesinin izin işlerinde daha liberal davranmasını sağlayacak ölçüde görünür durumdaydı). Beklendiği gibi bitkiler kendi parsellerinde, farklı toprak kimyasına ve bitki örtüsü özelliklerine sahip yerlere kıyasla çok daha iyi bir büyüme sergiledi. Varılan sonuç netti: Geçen yüzyıl içerisinde bitkiler kendi alt parsellerinde deneyimledikleri şartlara uyarlanma göstermişti.

Snaydon bu ilk araştırmasına ek yeni çalışmalar yaptı; bunlardan ikisi özellikle önem taşıyor. İlkinde o ve Davies biri 112 yıl boyunca, diğeri 60 yıl boyunca farklı gübreleme alan iki parsel ve aynı durumda olan başka iki parsel arasındaki sınırlara odaklandılar. İki sınırda da birbirinden sadece santimetrelerle uzakta ama farklı kimyaya sahip topraklarda büyüyen iki taraftaki bitkileri karşılaştırdılar. Daha sonra da Snaydon ve başka bir öğrenci, Tom Davies (Stuart'la akraba değil), altı yıl önce ikiye bölünerek, bir tarafına kireç uygulanıp diğerine uygulanmamış beş parselde daha baktılar. Tüm örneklerde elde edilen sonuçlar ilk bulgularıyla çok uyumlu çıktı. Popülasyonlar farklılıkları çok hızlı bir biçimde ve çok kısa mesafeler içerisinde evrimleştirmişti.

Snaydon ve Davies, esas olarak popülasyonların uyarlanma gösterip göstermediğiyle, gösterdiyse ne hızla gösterdiğiyle ilgileniyordu. Bu nedenle topladıkları ve raporladıkları verilerin çoğu evrimin öngörülebilirliği sorununa özel olarak yönelmiş değildi ve aradan geçen 30-40 yılın ardından bugün, yazdıkları makalelerden bu yönde bilgiler elde edebilmek mümkün değil.

Yine de Snaydon ve Davies, en azından bitki uyarlanmasının sadece hızlı yaşanmakla kalmayıp son derece tekrarlanabilir özellikte olduğunu ispat etmiş oldu. Toprak bileşimindeki farklılıklar nedeniyle bitkilerin hepsinin boyu her parselde çeşitlilik gösteriyordu. Buna karşılık tatlı ilkbahar otu bu çeşitlenmeye uyarlanmıştı: Diğer bitkilerin çok uzun olduğu parsellerde tatlı ilkbahar otu da (güneş ışınlarına daha iyi ulaşmak için) daha çok ve daha dik büyümüş, kısa bitkilere sahip parsellerde büyüyenlerden daha fazla gölge dayanımı evrimleştirmişti.

Yeni bir fikrin ilk ortaya atıldığı veya yeni bir yaklaşımın ilk önerildiği yer olarak belirli bir bilimsel makaleden bahsetmek her zaman tehlikelidir. Biri hemen çıkıp sizin övgüye mazhar bulduğunuz çalışmadan daha eski tarihli, pek bilinmeyen bir referansı gözden kaçırdığınıza dikkat çekecektir. Ben yine de bu riski alarak, Snaydon ve Davies'in sahada uzun dönemli evrim çalışmak için deneylerin kullanılabileceğini bize ilk gösteren kişiler olduğunu söyleyeceğim.

Snaydon ve Davies'in Park Grass Deneyi konulu makalelerinin yayımlandığı 1970 ile 1982 yılları arasındaki evre, tam da ekolojide deneysel yaklaşımlara duyulan ihtiyacın teslim edilmeye başlandığı ve evrim biyolojisinde evrimin hızının bilince çıkarıldığı dönemdir. Bu nedenle bu çalışmanın iki yaklaşımı birleştirmede önemli bir rol oynadığını, evrim saha deneylerine dönük bir eylem çağrısı rolü üstlendiğini düşünebilirsiniz.

Öyle olmadı. Makaleler unutulmadı elbette, ama yakın zamana kadar bitki evrimi çevrelerinin dışında yaygın biçimde bilinmiyordu; hatta bu kitap için araştırmalara başlayana dek ben de farkında değildim. Makaleler alıntılandığında, bu genellikle, ilk kez Snaydon'ın danışmanı Tony Bradshaw tarafından tespit edilen bir olgu olan

farklı doğal seçim baskılarına cevaben kısa mesafelerde evrimsel iraksama yaşayan bitkiler bağlamında oluyordu. Arada bir çalışmanın hızlı evrim yönüne vurgu yapılıyordu ama evrimin doğal ortamda deneysel olarak çalışılmasının örneği olarak gösterilmesine yakın zamana kadar nadir rastlanıyordu.

Son on yılda bu durum değişti. Evrim alanında çalışmakta olan ekoloji uzmanlarının 2007 yılında yayımlanan etkili bir incelemesi dikkatleri Park Grass Deneyi'ne yöneltti. Bugün popüler makaleler bunu Reznick'in lepestes çalışmasıyla beraber anıyor. An itibarıyla moleküler biyologlar PGD'nin tatlı ilkbahar otu popülasyonlarını inceliyor ve ot yeni toprak şartlarına uyarlandıkça aynı genetik değişimlerin tekrar tekrar gerçekleşip gerçekleşmediğini araştırıyor. Kırk yıl sürdü belki ama Rothamsted'te devam eden çalışma, saha evrim deneylerinin zenginleşmekte olan panteonunda gururlu yerini aldı.

Bilim insanlarının Snaydon'ın çalışmasının daha büyük bir önem taşıdığını anlaması uzun sürmüş olabilir, ama aynısı Endler ve Reznick'in çalışmaları için söylenemez. Onların çalışmaları evrimin doğada deneysel olarak çalışılabileceğini açıkça ispatlamıştır. Bilimsel araştırmalarda sık görüldüğü üzere yeni bir yöntem geliştirilmeye görsün, hemen bir sürü araştırmacı aceleyle o yaklaşımı alanda görülen çeşitli sorunlara yanıt bulmak için uyarlama yarışına girer. Lepistes deneyleri yaratıcıydı ve çok dikkat çekti ve hemen onu... pek az şey izledi. Bizim anolelerle yaptığımız çalışma (ki Snaydon'cu tarzda ekolojik bir deneyden yola çıkıp ilerlenerek başlamış, sonradan yepyeni deneylerin düzenlenmesine yol açmıştı) yüzyıl sona ermeden önce yapılan çok az sayıdaki evrim saha deneyinden biriydi. Nihayet evrim deneyleri izdihamının çıkması için Endler'in özgün çalışmasının üzerinden 20 yıl, Snaydon'inkinin üzerinden ise 30 yıl geçmesi gerekti.

Bu çalışmalardan bazıları Snaydon'ın izinden ilerleyerek uzun süredir devam eden başka ekolojik saha deneylerini evrim yönünden incelemeye aldı. İçlerinden en dikkat çekicisi, Rothamsted'in 65 kilometre kadar güneybatısına düşen Silwood Park adlı bir başka çiftlikte yürütüldü. Çevrebilimci Mick Crawley, 20 yılı aşkın bir süredir

tavşanları buradaki meraların dışında tutuyordu. Tavşanların eksikliği bitki örtüsü üzerinde müthiş bir etki yaratmıştı: Kontrol için bırakılan tavşanların otladığı kısım ile otlamadığı çitle çevrili toprak parçasına beraberce şöyle bir göz atmak bile yeterliydi. Dışarıda bitkiler çok kısaydı, düzgün kesimli bir tarla gibi görünüyordu. Çiçekler tek tüktü, ürettikleri tohumlar azdı. Üreme vejetatif yayılım biçimindeydi, bitkiler başka bitkilerin türemesi için yan filizler çıkarıyordu. Çitin içiyse darmadağın, delişmen, öbek öbek haliyle bambaşka bir dünyaydı. Bitki yaşamı vahşi ve karmakarışık. Çiçekler boldu, tohumlar yeşeriyordu. Yıllar geçtikçe tavşanlı araziler çim biçme makinesi geçmiş görünümünü korurken, çitle çevrili alanların karman çormanlığı artıyordu. Beş yıl sonra toprak şeklinde büyüyen ot kümeleri hâkim olmaya başladı; sonunda da çalılar tavşansız arazilerden bazılarını ele geçirdi. Yeterli zaman verildiğinde de bu arazilerin çoğu mini ormanlara dönüştü.

Ne var ki yine Snaydon öncesi Rothamsted'te olduğu gibi, evrim yaşanıp yaşanmadığını, çitle çevrili arazilerdeki bitkilerin kendi çok farklı çevresel koşullarına uyarlanma gösterip göstermediklerini sormak kimsenin aklına gelmemişti. Sonra Marc Johnson adında biri çıktı, şu an Toronto Üniversitesi'nde öğretim üyesi olan Kanadalı bir evrimsel çevrebilimci. Silwood Park araştırmacıları eski de-



Silwood Park'taki tavşan sokmama deneyi.

neyleri devam ettirirken birkaç yılda bir yeni deneylere başlıyorlardı. Bunun sonucunda tavşanların çeşitli süreler boyunca kabul edilmediği bir dizi parsel ortaya çıkmıştı. Johnson, bu parsellerin anlamını kavradı ve iki parçalı bir öngöründe bulundu: Bitkiler ot yenmemesine uyarlanıyordu, ayrıca tavşanların arazilere alınmadığı yıllar arttıkça bu uyarlanmanın derecesi de artıyordu.

Johnson'ın lisansüstü öğrencilerinden Nash Turley, projenin ilk kısmını yönetti. Turley, kuzukulağına baktı; kuzukulağı genellikle salatalara kattığı ekşi lezzetten ötürü yetiştirilen, havalı kırmızı çiçeklere sahip, ince, uzun bir ottur. Turley, bitkilerin serada ne hızla büyüdüğünü ölçtü ve çok güçlü bir eğilim tespit etti: Bir arazi tavşansız ne kadar uzun süre kalmışsa, bitkiler o kadar yavaş büyüyordu. Geçen çeyrek yüzyıl içerisinde tavşanların yokluğunda büyüme hızı %30 yavaşlamıştı.

Bu çalışmanın başarısı Johnson ve Turley'i, başarılı lisans öğrencilerinden Teresa Didiano'nun yardımıyla başka bitki türlerini incelemeye sevk etti. İnceledikleri dört türün üçü (hepsi ot) uyarlanma gösteriyordu. Örneğin tavşansız dönem ne kadar uzunsa, kırmızı yumak üzerindeki yaprak sayısı o kadar azalıyordu. Öte yandan bu üç tür, otlamanın olmayışına uyarlanma göstermiş olmasına rağmen, bunu farklı biçimlerde, farklı özellikler geliştirerek yapmıştı. Dahası çimen dışı tek ot, cücübarsağı çitle çevrilmenin yılıyla bağlantılı herhangi bir özellik geliştirme yönünde hiçbir tutarlı eğilim göstermiyordu.

Bu çalışmaların sonuçlarına bakışınız, bardağın yarısını boş görenlerden mi, dolu görenlerden mi olduğunuza göre değişir. Silwood Park çalışmalarında aynı türden popülasyonlar otlanmadan kurtulmalarına yanıt olarak çoğunlukla öngörülebilir biçimde evrim gösteriyor; öngörülebilirlikten kasıt, özgürlükleri ne kadar uzunsa, tavşansız bir hayat tarzına uyarlanma düzeyleri o kadar büyük oluyor. Ancak türler arasında karşılaştırma yapıldığında uyarlanma biçimi öngörülebilir değildi; farklı türler aynı çevresel koşullara yanıt olarak farklı biçimlerde evrim göstermişti.

Johnson ve diğerlerinin ekolojik deneyleri geliştirmekle uğraş-

tığı dönemde evrim biyologları nihayet kitlesel biçimde, evrim konusunda çalışmak amacıyla özel olarak tasarlanmış saha deneylerini düzenlemeye başlıyordu. Bu dönemde çok çeşitli ve hayranlık verici çalışmalar gerçekleştirildi. Örneğin Marc Johnson ve Cornell'deki çalışma arkadaşları otobur böceklerin böcek ilacıyla yok edildiği arazilerde akşam çiçeği de denen çuhaçiçeği yetiştirdi. Otoburlardan kurtulmuş çuhaçiçeklerinin sekiz popülasyonu üç yıllık bir dönem içerisinde aynı biçimde evrim göstererek böcekli parsellerdekilere oranla daha erken çiçek açıp tohumlarına daha az miktarda savunma amaçlı kimyasal koydular.

Solucanların daha sıcak topraklara yapay biçimde (iklim değişikliği simülasyonu amacıyla) yerleştirildiklerinde nasıl uyarlanma gösterdikleri, böceklerin farklı bitki türleriyle dolu küçük arazilere yerleştirildiğinde hızla kamuflej davranışları evrimleştirip evrimleştirmeyeceği gibi farklı çalışmalar da yapıldı. Bu tarz çalışmalar günümüzde de devam ediyor.

Fakat asıl bundan sonraki aşama (steroidler üzerine yapılan saha evrim deneyleri) heyecan verici bir nitelik taşıyor. Artık insansız minnacık adalara kertenkele taşımak, tarım arazilerini kullanmak falan yok. Bugünün deneysel evrimcileri büyük düşünüyor.

YÜZME HAVUZLARINDA VE KUM HAVUZLARINDA EVRİM

Vancouver'daki British Columbia Üniversitesi'nin üzerinden uçakla geçerseniz kampüsün güney ucunda yeşilimsi mavi renkte 20 dikdörtgen görürsünüz. Yan yana dört sıra halinde dizilmiş bu dikdörtgenlerin taşıdığı mavi renk, suyla dolu olduklarını ve her birinin bir ucunun daha derin, diğer ucunun daha sığ (mavinin soluklaşmasından anlaşılır) olduğunu gösterir. Bu yüzme tesisinin gök mavisi sularıyla kim, ne yapıyor olabilir? Bu soruya Google bile yanıt veremez. Ne şanslıyız ki biz bunun yanıtını Dolph Schluter'dan alabiliriz. Zayıf, uzun boylu, hep güler yüzlü, hafif mahcup bu Kanadalı, dışarıdan bakıldığında harika bir biliminsanından ziyade, nazik bir organik çiftçi gibi gözükebilir, oysa kendi neslinin en önemli evrimsel biyoloğudur. Bu havuzlar onundur, havuz sakinleri de ona emanettir.

Schluter'ın yetiştirme tarzı, dünyada eşi benzeri olmayan bir deneysel evrim kompleksi tasarlayarak su işlerinde gayrimenkul kralı olacağına yönelik herhangi bir ipucu barındırmıyordu. Doğaya hep ilgi duyan biri olarak üniversite giderlerini Kanada timsah kapan kaplumbağaları üzerine saha çalışmalarına yardım ederek karşıladı.

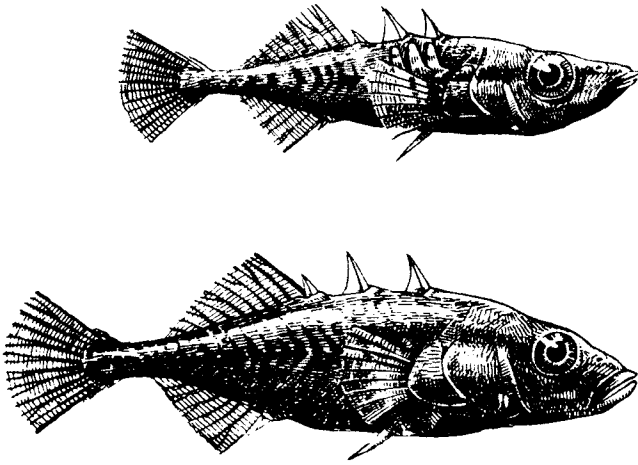
Daha okuldan mezun olmadan Alberta'da memeli araştırmaları yapabileceği bir iş olanağı onu hazır bekliyordu. Gitmeden hemen önce sinekkuşu ekolojisi üzerine yapılan parlak bir araştırma konuşması dinledi ve bilimsanı olmak istediğini fark etti. Hemen lisansüstü eğitimine başladı.

Öyle herhangi bir doktora programına da gitmedi. Michigan Üniversitesi'nde araştırmasına başlarken Schluter'ın doktora danışmanı ünlü ispinoz gurusu Peter Grant'ti. Schluter, kendini hızla Darwin ispinoz türlerinin farklı kaynakları kullanmaya nasıl uyum sağladığını araştırmak üzere Galápagoslar'da fikirlerini pratiğe geçirirken buldu. Yaptığı ayrıntılı çalışmalar ders kitaplarına girmiş, biyologların uyumsal yayılım çalışmalarında devrim yaratarak şu an klasik mertebesine ulaşmıştır.

Schluter, Vancouver'da doktorasını tamamladığı dönemde araştırarak yeni bir organizma arıyordu. Darwin ispinozları harikaydı ama Galápagos adaları Kanada'dan epey uzaktaydı. Daha da önemlisi, Schluter deney yapmak istiyordu: Sadece doğadaki örüntülerden hipotezler çıkarsamak için değil, sonrasında bu hipotezleri deneysel olarak test ederek devreyi tamamlamak için. Bu tarz deneylerin bir kuş türü üzerinde yapılması lojistik açıdan zor olmanın yanında, Galápagos Ulusal Parkı'ndaki sıkı yönetmelikler yüzünden Darwin ispinozları üzerinde yapılması mümkün de değildi.

Şansa, çözüm hemen el altındaydı. Yer yer dikence adı da verilen, minik üç dikenli balık kusursuz çözümdü: ilginç evrim örüntüleri sergiliyordu, hem sahada hem laboratuvarda üzerinde çalışılması ve kullanılması gayet kolaydı ve Britanya Kolumbiyası'nın göllerinde bol bulunuyordu. O sırada üç dikenliler evrim biyolojisi çevrelerinde pek bilinmiyordu lakin bu balık (bunu büyük oranda Schluter'ın çalışmasına borçluyuz) bugün evrim çalışmalarında örnek organizma haline geldi.

Üç dikenli balıklar, ya da benim sevdiğim isimle dikenceler, dünyanın kuzey bölgelerinde görülür, ama Britanya Kolumbiyası'nın birkaç gölünde başka yerlerde görülmeyen bir şey yaparlar. Çoğu yerde sadece bir dikence türü görürsünüz. Fakat Britanya Ko-



Açık su (yukarıda) ve dip sakini (aşağıda) üç dikenli balık

lumbiyası'nın beş gölünde iki dikence türü birden bulunur. Bunlardan ilki kıyından uzakta açık suda yaşayan, su akımına uyumlu, hızlı yüzen bir tür; ikincisiyse kıyının yakınında dipte takılan, daha tom-biş ve yavaş bir türdür. Bu iki tür fenotipik açıdan farklılık göstermektedir. Açık su türünün yan taraflarında korungaçlar ve açık su avını kapmak için hızla dışa doğru uzatılabilen uzun, ince bir çene vardır. Tersinden dipte oturanda da herhangi bir zırh yoktur ve dip tortusundan ve yere bağlı bitkilerden yiyeceğini çekip alması için güçlü bir çeneye sahiptir.

Schluter'ın UBC'deki* meslektaşları DNA karşılaştırması yoluyla bu iki türün (açık su ve dip sakinleri) beş gölün her birinde bağımsız şekilde Karayipler'deki *Anolis* kertenkelelerinin gösterdiği tekrarlanan uyumsal yayılım örüntüsünün aynısını evrimleştirdiğini tespit etti. Diğer tüm göllerde tek bir dikence türü iki habitatı da kullanmaktaydı ve gövde şekli açısından hemen hemen ikisinin orta-

* University of British Columbia, British Columbia Üniversitesi'nin kısaltması. (Ç.N.)

lamasıydı. Diğer yandan açık su ve dip sakini dikence türleri bir yerde hiç tek başına bulunmuyor; sadece iki türe sahip bu beş gölde bir arada bulunuyorlardı.

Laboratuvarında ve sahada yürütülen büyüme ve yiyecek arama çalışmaları, tek türe sahip göllerdeki balığın her yerde yaşayabilme özelliğine sahip olduğunu, fakat herhangi bir habitatta daha başarılı olmadığını gösterdi. Buna karşın iki türe sahip göllerde açık su ve dip sakini türlerin her biri, belirli bir habitatı kullanmakta uzmanlaşmış durumdaydı.

Schluter bu örüntülere yiyecek rekabetinin yol açtığı hipotezini ortaya attı. İki tür bir aradayken doğal seçim bu iki türü farklı habitatlar için uzmanlaşmaya ve aralarındaki rekabeti minimize etmeye götürerek, ayırmaya itiyordu. Fakat sadece bir tür varsa, tüm habitatları kullanabilen fenotipik açıdan ortalama balık destekleniyordu.

Tüm veriler bu hipotezle uyumluydu ama Schluter, uyumdan daha fazlasını istiyordu: Fikrini doğrudan, deneysel olarak test etmek istiyordu. Planı, habitat uzmanlarından birini boş bir gölete tek başına koymaktı. Hipotezine göre popülasyonun diğer habitat uzmanının olmadığı koşullarda evrimsel akışta geri giderek her iki ortamda yaşayabilen, ara düzeye gelecek şekilde evrimleşmesi gerekiyordu.

Peki, göletler nereden bulunacaktı? Çözüm zor değildi: Vancouver, içinde dikence olmayan yapma göletlerle doluydu. Neden bunlardan bazılarına balık bırakılmasın ki? Böylece projenin ilk denemeleri başladı. Schluter, golf sahalarında bulunan iki, belediye parkında bulunan bir gölete dikenceleri koyma iznini kopardı. Açık su uzmanı türler bu göletlere bırakıldı. İlk başta işler iyi gitti, ama bir yıl sonra golf sahası göletlerden birinin suyunu tahliye edip kuruttu. Diğer iki popülasyon bugün hâlâ varlığını sürdürüyor ama Schluter onlarla pek fazla çalışmadı.

Nedeni, deneyini başlattıktan kısa süre sonra UBC'nin ona öğretim üyeliği teklif etmesiydi. Schluter, golf sahası ihtimalini yeniden değerlendirdi. UBC kampüsünde hemen hemen her yönden özdeş bir dizi gölet inşa etse harika olmaz mıydı? İlgiilenmesi kolay,

müdahaleden uzak, hatalı vuruşların kafa göz yarması tehlikesinden azade, her şey daha kolay olmaz mıydı?

Üniversiteden onay çıktı, bir müteahhit tutuldu, her birinin bir kenarı 23 metre uzunluğunda, yavaş yavaş eğim kazanarak merkezinde 3 metre derinliğe ulaşan 13 gölet inşa edildi, balıklar koyuldu. İlk iş olarak göletlere yakında bulunan iki dikenceli bir gölden bitki ve böcekler taşındı, ardından göletler kendi haline bırakıldı. Ağaçlar (birkaç yıl sonra orman görünümü kazanarak) kıyılarda büyüdü, kuşlar gelmeye başladı, sonunda göletler gerçek göller kadar doğal bir görünüm kazandı. Yolun karşısında UBC kampüsünün olduğunu unutmak işten bile değildi.

Geçen 17 yıl boyunca Schluter ve laboratuvar ekibi, hangi özelliklerin daha iyi hayatta kalmaya uygun olduğunu, iki türün melezlerinin neden seçim dezavantajına sahip olduğunu araştırarak bu göletleri doğal seçilimin dikenceler üzerinde nasıl işlediğini ölçmek için kullandı. Çalışma müthiş başarılı oldu ve üç dikenli balıkları kaynak rekabetinin itilim kazandırdığı evrimsel ıraksama konusunda ders kitabı örneği mertebesine yükseltti. Buna karşın henüz çalışmanın çoğu çok nesilli evrimsel sonuçları ölçülmeksizin, tek bir nesildeki hayatta kalma ve üreme ölçümleriyle yapılmıştı. Bir evrim deneyinin denenmesinin zamanı nihayet gelmişti.*

Schluter'ın laboratuvarındaki parlak master öğrencilerinden Rowan Barrett (birazdan kendisinden daha fazla bahsedeceğiz), çalışmayı başlatmak için yakınlardaki bir lagünden deniz dikenceleri topladı. Bu göl dikenceleri son buzul çağıının sonunda, buzullar eridikten sonra kara parçası olarak Britanya Kolumbiyası'nın yükselişiyle birlikte iç kısımda kısıtlı kalan deniz dikencelerinden türemiştir. Yanlarında daha fazla korungaca sahip ve daha yumuşak sıcaklıklara uyarlanma göstermiş deniz dikenceleri bu nedenle göl popülasyonlarının atalarının durumuna benzerlik göstermektedir.

* Aslında bu ikinci denemeydi. Schluter göletlerin inşasından hemen sonra bir evrim deneyine kalkışmış ama başarısız olmuş, bu yüzden tek nesillik süre içerisindeki doğal seçim çalışmalarına odaklanmıştı.

Barrett, bu deniz dikencelerini, deniz balıklarının altsoylarının gerçek göllerdeki gibi tatlı suda yaşamaya uyarlanma gösterip göstermediklerini test etmek amacıyla üç deney göletine yerleştirdi. Zırh işlevi gören korungaçlara ilişkin karmaşık ve muğlak bir sonuç alındı. Ne var ki deney güncel sorunlarla daha ilişkili, ikinci bir özelliği daha araştırıyordu: Dikenceler iklim koşullarının değişimine ne kadar hızlı uyum gösterebiliyordu? Tatlı su göllerindeki su sıcaklığı okyanusa oranla daha değişkendir; yazın daha sıcak, kışın daha soğuk olur. Deniz dikenceleri bu uç değerlere uyarlanma gösterecek miydi?

Barrett, yanıtı ulaşmak için balıkların koordineli biçimde hareket etme becerisini kaybettiği yüksek ve düşük sıcaklıkları kaydettiği, termal biyolojideki standart bir ölçümü hayata geçirdi. Doğal deniz ve göl balıklarını inceleyen Barrett, tahammül edebildikleri en yüksek sıcaklık açısından farklılık göstermediklerini buldu; her nedense dikenceler habitatlarının ulaştığı sıcaklıklardan çok daha yüksekleriyle baş edebiliyorlardı. Ama düşük sıcaklık dayanımında durum farklıydı. Göl balıkları okyanus balıklarının dayanabildiği sıcaklığın 2,78°C daha azını kaldırabiliyordu ve aradaki bu fark, iki ortamda balığın yaşadığı soğukluk farkıyla neredeyse tam olarak örtüşüyordu. Bu nedenle Barrett, soğuğa adaptasyon üzerine odaklandı; acaba gölet balığı soğuğa daha dayanıklı olacak şekilde evrim gösterecek miydi?

Yanıtı çok çabuk ulaştı: Evet, gösteriyordu. Soğuk kışlar yıkıcı etkisini gösterdi, baş edemeyenler hayatını kaybetti; sonuç olarak sadece iki yılın ardından üç göletteki balıkların hepsi de denizdeki atalarından 2,5°C daha düşük sıcaklıklara dayanabilme yeteneğini geliştirmişti bile ve bu, Britanya Kolumbiyası'nın göl dikencelerinin soğuğa dayanıklılığıyla hemen hemen aynıydı.

Bu kadar çarpıcı hız ve paralellikte bir uyarlanma beklenmiyordu. Barrett, Schluter ve arkadaşları bundan sonra olacakları heyecanla bekler hale gelmişti. Ne yazık ki hiç beklemedikleri bir şey oldu. 2008-2009 kışı son 40 yılın en soğuk kışı oldu ve yarattığı koşullarla hiçbir balığın baş etmesi mümkün değildi. Hepsi ölünce, yürütülen çalışma planlandığından daha kısa süren bir uzun süreli

deneye dönüştü. Buna rağmen yapılan çalışma, deney göletleri tesisinde evrim deneyleri yapılabileceğini açıkça göstermişti.

Her güzel şey bitermiş, Schluter'ın deney göletlerinde de öyle oldu. Toprağın gözenekliliği yüzünden göletlerin altı plastik örtülerle kaplanmıştı, aksi halde su boşalır giderdi. Schluter'a en başta plastiğin ömrünün 20 yıl olduğu söylenmişti ve son kullanım tarihi hızla yaklaşıyordu. İşler iyi gidiyordu ama sonra ne yapılacağı belirsizdi.

Bazen iyi şeyler iyi insanları bulur. Schluter'a kampüs yönetiminden hiç beklemediği bir telefon geldi. Üniversite, Vancouver emlak piyasasında fahiş fiyatlara satabileceği yeni bir konut projesinin inşası amacıyla arazisini geri istiyordu. Acaba Schluter üniversitenin kendisine yeni göletlerin yapımında yardımcı olması durumunda başka bir yere taşınmayı kabul eder miydi?

Schluter, teklifi ikiletmeden kabul etti ve eski göletlerin olduğu (bugünse lüks daireler, butik bir birahane, bir müzik okulu ve restoranların bulunduğu) yerin az ilerisinde en modern teknolojiyle inşa edilmiş gölet tesislerine kavuştu. Göletler eskileriyle hemen hemen aynı büyüklükte ama farklı şekildedeydi: Kare yerine dikdörtgendi, eğimle ulaştığı derinlik de bu kez doğal göllere daha yakın şekilde 6 metreydi.

İnşaat birkaç yıl aldı ama (Schluter'ın yolun karşı tarafındaki atomaltı fiziği laboratuvarında bulunan, yüklü parçacıkları çok yüksek hızlara çıkaran siklotrona gönderme yaparak şakayla karışık verdiği isimle) Türleşme Hızlandırıcısı şu anda düzgün ve sorunsuz çalışmaktadır. Avcıların savunma özelliklerinin evriminde oynadığı rolün araştırıldığı ilk çok nesilli çalışma şimdiden tamamlandı. Beş gölet dikenceler ve onun katil avcısı alabalıklarla dolduruldu, beş farklı gölette de dikenceler kendi haline bırakıldı. Deneyin beş nesil boyunca sürmesi hedefleniyor.

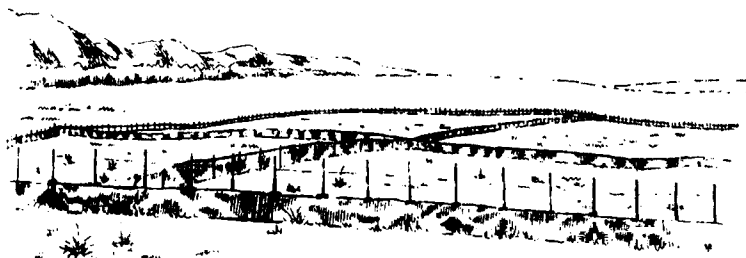
Yeni gölet tesislerinin inşaatı sırasında Schluter yeni bir araştırma alanına atıldı: Saha biyoloğu artık genetikçi olmuştu. Stanford ve başka üniversitelerdeki önde gelen genom uzmanlarıyla birlikte çalışan Schluter, üç dikenli balığımızın genom dizisini çıkarma işine

girişti. Bu çalışma sayesinde zırh ve diken sahibi olmak gibi kilit önem taşıyan özelliklerin altında yatan genlerin belirlenmesi mümkün olacak.

Bu yeni elde edilen genetik bilgiler sayesinde gölet deneyi, evrimi hem fenotipik hem genetik düzeyde araştırarak iki yönlü bir yaklaşım kazanmış oldu. Avcıların varlığının hem balığın yutulmasını zorlaştıracak olan daha uzun dikenlerin evrimine hem de diken uzunluğundan sorumlu genlerin evrimine yol açması öngörülüyor.

Peki, sonuçlar ne? Yüksek lisans öğrencisi Diana Rennison, henüz sadece ilk üç nesilden elde ettiği verileri analiz etti ama sonuçlar çok umut verici görünüyor. Bir tek nesilde hayatta kalmaya bakıldığında daha uzun sırt dikenlerine sahip balıklar avcılarının olduğu göletlerde daha iyi hayatta kalıyor. Bu seçim bir evrimsel tepkiye yol açmış durumda: Avcıların olduğu göletlerdeki popülasyonlar şu an daha uzun sırt dikenlerine sahip. Genetik düzeydeki sonuçlar da paralellik gösterdi; bu popülasyonlarda daha uzun sırt dikenlerine yol açan gen değişimlerinin sıklığı artıyor. İlginçtir, pelvik diken uzunluğunda seçim, daha uzun dikenlerin göletlerin sadece bazılarında desteklenmesi sonucunda daha fazla istikrarsızlık gösteriyor; bu evrimsel belirsizliğin nedeni bilinmiyor.

Üç dikenli balıkların deneysel evriminin henüz başındayız, ama elde edilen sonuçlar şimdiden lepişteslerde gördüklerimize çok benziyor. Popülasyonlar bazı özelliklerinde öngörülebilirlik daha düşük



İnce metal duvarlar

olsa da, yeni koşullara genellikle aynı biçimde uyum sağlıyor. Balıkların üzerinde çalışma yapılan yerlerin, biri Trinidad'ın dağlarındaki doğal akarsularda, diğeri Vancouver'daki neredeyse özdeş yapay göletlerde olmak üzere, ne kadar farklı olduğu gözetilirse, sonuçlardaki uyuşmanın oldukça güçlü olduğu söylenebilir.

Schluter'ın göletleri suyla dolarken, aynı anda Amerika kıtasının iç kısımlarında bir başka devasa deneysel evrim çalışması şekillenmeye başlıyordu. Çelikten bir Cristo Rei anıtı gibi, neredeyse bir kilometre uzunluğunda bir metal levha Nebraska manzarasını süslüyor, yaz sıcağında balkıyor, batan güneşin yansımasıyla parlaması turuncuya dönüyor. Batı eyaletlerinde her türden çite rastlarsınız, ama dört küçük kareye ayrılan büyük bir kare şeklindeki yekpare metalden oluşan bu duvarın bir eşini, benzerini bulamazsınız. Hatta bir tane de değil, 50 kilometre kadar uzakta bu kez farklı renkte toprakta bulunanla beraber iki adettir.

Nebraska'nın inişli çıkışlı tepe ve ovaları kahverengi, vitaminli, bitkilere cömert davranan, zengin ve bereketli topraklarıyla ünlüdür. Devlet üniversitesinin futbol takımının adının Cornhuskers [mısır kabuğu soyanlar] olması tesadüf değildir. Fakat eyaletin tüm toprakları bu kadar verimli değildir. Eyaletin yaklaşık dörtte biri Sandhills [kum tepeleri] bölgesindedir. Bu bölgede toprak kumlu ve açık renklidir, yaklaşık sekiz bin yıl önce Rocky Dağları'ndan doğuya sürüklenerek taşınan kuvars zerrelerinden oluşur. Burada tarlalarda mahsul azdır, bölgenin pek çok yerinde daha önce tarım yapılmamıştır.

Bu, Sandhills'de hiçbir şeyin yetişmediği anlamına gelmez. Aksine bölge biyolojik açıdan zengindir ve Dünya Doğayı Koruma Vakfı tarafından kendi eko-bölgesi tanınacak kadar da ayrıksıdır. Toprak, bölgenin biyotasını sadece düşük verimlilik üzerinden değil, aynı zamanda açık renkliliği nedeniyle de etkilemektedir. Dünyanın her tarafında küçük hayvanlar arka planlarına uygun şekilde evrimleşmiştir, bunda gösterdikleri başarı ölçüsünde avcılarının kendilerini fark etmesini engelleyebilirler. Eski lav akıntılarının üzerindeki kertenkeleler, fareler, çekirgeler ve diğer hayvanlar başka yerlere oranla çok daha koyu renkli olacak şekilde evrim göstermiştir. Açık renkli toprakta da hayvanlar kum katmanlarının arasında kaybol-

mak için soluk ten renkleri evrimleştirir. Nebraska Sandhills'te de durum budur; buradaki birçok türün popülasyonları aynı türlerin yakınlardaki daha koyu topraklarda olan üyelerine oranla daha açık renklidir.

Bu olgu, uzun zamandır, üniversite yıllarında John Endler'in türleşme hakkındaki kitabını okuduğumdan beri ilgimi çekiyor. Endler, arka plan renk uyumunu, doğal seçilimin popülasyonlar arasındaki genetik alışverişin homojenize edici etkisinin hakkından gelip üzerine çıkabildiğinin en eski ve güçlü örneklerinden biri olarak ele alır. Kara lav kayası ile pırıl pırıl beyaz kum arasındaki sınır çok belirgindir, buralarda ayaklarınızı iki yere birden basabilirsiniz. Fareler, kertenkeleler, çekirgeler yüzeyler arasında kolayca yer değiştirebilir.

Yine de bu yakınlığa rağmen, farklı yüzeylerdeki popülasyonların renkleri yaşadıkları yerlere uygun şekilde, çok farklı olabilmektedir. İki popülasyonun üyeleri sınırın yakınlarında buluşabilir, ama bu tür karşılaşmalardan doğan yavrulara doğal seçim ve genler tarafından gereken yapılıyor olsa gerek ki, uyumsuz renk hızla ayıklanıyor. Bu doğal çevrelerin bazılarının (Nebraska kum tepeleri, bazı lav akıntıları) yakın zamanda ortaya çıkmış olması renk uyarlanmasının hızla gerçekleştiğine işaret ediyor ve bu durum, gen akışı olduğunda bile doğal seçilimin sahip olduğu güce yeni kanıtlar sağlıyor. Bahsi geçen hayvanlar, eski maden sahalarında veya çeşitli Rothamsted parsellerinde yaşayan bitkilerin hayvanlar dünyasındaki örnekleri oluyor. Ak ayaklı fareler* üzerine yapılan araştırmalar özellikle etkili olmuştur. Geçen yüzyılın ortalarında doğabilimciler komşu popülasyonların farklı renkte yüzeylerde ve buna bağlı olarak farklı kürk renklenmesine sahip şekilde ortaya çıktığı birçok vaka tespit etmişti. Bunun kamuflajla açıklanabileceği düşünülmüştü; bu kemirgenler görsel yönelimli çok sayıda avcı tarafından yendiği için doğal seçim popülasyonların renklenme yönünden yaşadıkları arka plana benzer hale gelmesini teşvik ediyordu.

* Koşma ve sıçrama becerisinden dolayı İngilizcede *deer mouse* [geyik faresi] ismiyle anılmaktadır. Türkçede hangi özelliğiyle anıldığı ismiyle müsemmadır. (Ç.N.)

Hatta bu fikri Michigan Üniversitesi'nden bir biyolog, Lee Dice, labovatuvarında test etti. Dice, normal büyüklükte bir odayı aldı, toprakla kapladı ve içine farklı renkte fareler bıraktı. Bir de baykuş. Hedefi, kuşun toprakla uyuşmayan renkte fareleri ne sıklıkta yakaladığını görmektir. Denemelerin yarısı açık, diğer yarısı da koyu renk toprakta yapıldı. Sonuç çok netti: Baykuşların yakaladığı rengi uyuşmayan fare sayısı uyuşanların iki katıydı. Kuşlar tarafından avlanmak gerçekten de güçlü bir doğal seçilim etkeniydi ve kamuflaja itilim kazandırıyordu.

Yine de bu, son derece yapay koşullarda yürütülmüş bir laboratuvar çalışmasıydı. Endler'in kitabının yayımlanmasının üzerinden 30 yıl geçtikten sonra bile doğal seçilimin işleyişi fare renklenmesi üzerinde doğrudan ispatlanmış değildi. Aslında bu yöndeki en güçlü kanıt da saha çalışmalarından değil, farelerde renklenme farklılıklarından sorumlu genlerin keşfedildiği genetik araştırmalardan edinilmişti. Farklı renkte yüzeylerdeki yakın popülasyonlarda görülen DNA farklılıklarının karşılaştırılması yoluyla araştırmacılar genetik farklılıkların çok yakın bir zamanda, büyük ihtimalle ıraksak doğal seçilim baskılarının sonucunda evrimleşmiş olduğunu keşfettiler. Ne var ki bu da genetik farklılıklardan yapılan bir çıkarsamaydı; doğal seçilimin evrime neden oluşunun doğrudan gösterimi değildi.

İşte, incecik bisikletçi bedenine sahip, kayak müptelası, sakallı bir Kanadalıyı Nebraska kum tepelerine getiren buydu. Memleketinin en ücra köşelerinde kayak yapma, bisiklet sürme, kaya tırmanışına çıkma arzusuna karşın Rowan Barrett, zamanının çoğunu evrim konusunda çalışarak geçirmektedir. Genç Barrett, Toronto Üniversitesi'nden seçkin bir evrim biyoloğunun oğlu olarak ilerlediği yolda çığır açtı; henüz 30'larındayken deneysel evrim alanında başı çeken kişilerden biri oldu. Montreal'daki McGill Üniversitesi'nde yüksek lisans öğrencisiyken bakterilerin çok sayıda yeni kaynakla yüz yüze geldiklerinde nasıl uyarlanma gösterdiği konusunda laboratuvar çalışmaları yürüttü. Ardından, az önce bahsettiğim gibi doktora çalışmasını UBC'de Schluter'la birlikte yaptı. Bu çalışmalar müthiş başarıyla oldu, prestijli dergilerde bir dizi yayına dönüştü ve Barrett en

başarılı genç evrim biyologlarına verilen ödüllerin hepsine aday gösterildi (evrim biyolojisi All-Star takımına seçilerek, hem Avrupa hem de Kuzey Amerika Yılın Çaylağı ödülleri kazandı).

Ne var ki tüm bunlar ulaşacağı en büyük başarının yanında hiç sayılacaktı. Barrett, UBC'deki doktora çalışmasının sonuna doğru Harvard'daki çalışma arkadaşım Hopi Hoekstra'nın Sandhills ak ayaklı farelerinin açık renklenmeyle sonuçlanan yeni bir mutasyon evrimleştirmiş olduğunu ispatlayan, laboratuvarında yürüttüğü genetik çalışmalardan haberdar oldu. Bu farelerin DNA'sının civardaki koyu renkli farelerinkiyle karşılaştırılması mutasyonun yakın dönemde oluştuğu ve büyük ihtimalle arka plan uyumu yönündeki doğal seçilimin gücü altında popülasyona hızlıca yayıldığı izlenimini doğuruyordu.

Fakat Barrett, hikâyede bir şeylerin eksik olduğunu hissediyordu. Açık rengin evriminden doğal seçim sorumluyorsa, bunu doğru-
dan ispatlamak mümkün olmalıydı. İçindeki deneyci bunun nasıl yapılacağını fısıldıyordu: Dice'ın 70 yıl önce öncülüğünü yaptığı yaklaşımdan ilerle. Açık ve koyu renkli fareleri açık ve koyu renkli yüzeylere koy ve hangilerinin hayatta kaldığına bak. Bunu kapalı bir odada değil de, bu sefer doğada yap. Ve tıpkı üç dikenli balık deney-



Sandhills ak ayaklı faresi

lerindeki gibi hem fenotipi hem de bunu üretmekten sorumlu genleri incele.

Prensipte basit görünüyor, fakat böyle bir planı nasıl pratiğe geçirirsiniz? Göllerin, akarsuların, adaların avantajı, sınırları net olan müstakil birimler, kullanılmayı bekleyen deneysel tekrar yerleri olmalarıdır. Sandhills'te bu işe uygun yerler yoktur. Barrett, orada ak ayaklı fare deneyleri düzenlemek istese, deneklerini istediği yerde tutmak için kafesler inşa etmek durumunda kalacaktı. Devasa, ak ayaklı farelerin bütün popülasyonlarını içeride tutmaya yetecek kadar büyük kafesler.

Araştırmacılar geçmişte daha küçük ölçekte de olsa benzer deneylere giriştiler. Ve hep başarısız oldular. Ak ayaklı fareler yerde ve oyuklarda yaşamalarına karşın çok çeviktir. Önlerine duvar çekin, hemen tırmanıp aşarlar. Onlara ninja fare adı boşuna verilmemiş. Daha önceki çalışmaların başarısızlığının altında ak ayaklı farelerin hapisten kaçma becerisi yatıyordu. Barrett, her şeyden önce fareleri kafeste tutmanın bir yolunu bulmak zorundaydı.

Barrett, biraz hafiyelik yaptıktan sonra problemin çoktan çözüldüğünü keşfetti. Çevrebilimciler ve memelibilimciler ak ayaklı fareleri nasıl zapt edeceklerini bilememiş ama hastalık araştırmacıları bunu başarmıştı. Ak ayaklı farelerin hanta virüsü taşıyabiliyor olması biliminsanlarını New Mexico'da kaçışın mümkün olmadığı açık hava kafesleri tasarlamaya yöneltmiş, burada hanta virüsü taşımadığından emin olunacaya dek karantinada tutulan fareler daha sonra araştırmalar için laboratuvarlara gönderilebilmişti. İşin püf noktası, gözüpek ak ayaklı farelerin pençeleriyle tutunmasına ve yukarı tırmanıp çıkmasına izin vermeyecek ölçüde düz ve çapaksız olan, kadife gibi pürüzsüz 26 ayar galvanizli çelikti. Barrett daha önce laboratuvarında yaptığı denemelerde farelerin ince metalde şaşırdığını gözlemişti. Planı tamamdı.

Hâlâ iki büyük güçlük vardı: kafesleri uygun arazilere inşa etmek için gereken izinlerin alınması, ardından da bunların inşa edilmesi. Barrett'in inşa etmeyi planladığı kafeslerin boyutlarını düşündüğünüzde bu sorunların boyutu daha iyi anlaşılır. Ak ayaklı fare

popülasyonlarının her birinin en az 100 fareyi kapsamaması gerektiğini hesaplamıştı; doğal yoğunluk düzeylerine dayalı bir hesaplamayla bunun için ihtiyaç duyulan alan 2.000 metrekaareden fazla ediyordu. İyi bir deneysel tasarım oluşturmak amacıyla açık renk toprakta dört, koyu renk toprakta dört kafes kurmak istemişti; bu da toprak çeşitlerinin her biri için 10 dönümlük arazi ve 7 tona yakın ağırlıkta metal levha ihtiyacı demekti.

Durun bakalım, her şey sırayla. Barrett, doktorasını tamamlamış bir akademisyen olarak Hoekstra laboratuvarına katıldıktan sonra, yine aynı laboratuvarda genetik çalışmalar yürütmüş doktor unvanlı çalışma arkadaşı Catherine Linnen'la beraber araştırma çalışması için yer bakmak üzere Nebraska'ya doğru yola çıktı. Toprağı açık renkte uygun bir yer bulmak o kadar da zor olmadı ve hızlıca kafeslerin Merritt Reservoir yaban hayat sığınma bölgesi içerisinde inşası için gereken ayarlamalar yapıldı.

Koyu renk topraklı yer bulmak daha zordu. Sonuçta koyu renk toprak, verimli topraktır. Üzerine farelerin koyulacağı bir kafes yapılacak diye birini 10 dönümlük verimli tarım arazisini bırakmaya ikna etmek pek kolay olmayacaktı.

Barrett ev ev dolaşıp arazi sahipleriyle konuştu. Bahsedilen yerin ABD'nin orta kısmında, halkın geçimini topraktan elde ettiği, ülkenin geri kalanını besleyen tarım ürünlerinin üretildiği, siyasal ve dini açıdan muhafazakâr bir bölge olduğunu hatırlatalım. Bu insanların kapısını kim çalıyor, ona da bakalım. Liberal Kuzeybatı'dan buralara elit, rahat Ivy League üniversitelerinden gelmiş birkaç çocuk. Hatta içlerinden biri Amerikalı da değil, kafasına kovboy şapkası yerine kısa güneşlikli bisikletçi şapkası takmış, ortada öyle dolaşıyor.

Barrett, e harfiyle başlayan kelimeden (evrim) hiç bahsetmemeyi, onun yerine çevrelerine uyum sağlayan bitkilerden bahsetmesi gerektiğini çabucak öğrendi. Bölgenin çiftçi ve rençber olan yerlileri kalıttımdan çok iyi anlıyor ve avcılarla ilgili çok şey biliyordu; üstelik kamufraj fikri çocukluklarından beri avlanagelen bu insanlara çok aşinaydı. Barrett da rahat iletişim kuran, dışadönük biridir. İnsanlar

çok dostça, hatta ilgili davrandı.* Barrett, Linnen ve ekibin geri kalanının arazilerinde fare toplamalarından memnun da oldu. Ama iş topraklarından birkaç dönüm devretmeye geldiğinde, o kadarı da olmazdı.

Böyle böyle saha çalışmasının zamanı yaklaşırken, Barrett projenin beklemeye alınacağından kaygılanmaya başlıyordu. Bir gece Nebraska'daki 2.737 nüfuslu küçük Valentine kasabasında bira içmek için bir otelin barına gitti, işletmeci Barrett ile yerel bir ünlü olan Wild Bill'i tanıştırdı. Barrett, Vahşi Bill'in saçlarını bir Nebraska çiftçisinden çok sörfçü oğlanlara benzetmişti. İkna etmekten çok muhabbet etmeye çalışan Barrett, Bill'e projeden ve çalışma alanı aradıklarından bahsetti. Barrett'ın hiç beklemediği bir biçimde Bill kasabanın dışındaki arazisinde yonca yetiştirdiğini, belki de kafeslerin oraya kurulabileceğini söyledi. Ertesi gün bakmaya gittiler, yer harikaydı. Vahşi Bill yapılması gereken inşaata aldırımıyordu, kira olarak da Barrett'ın ekibinin kasabaya her gelişinde bir kasa Miller Lite eşliğinde bir mangal partisi vermeleri yeterdi.

Yerlerin bulunması ilk adımdı. Ardından muhafaza alanlarının inşa edilmesi gerekiyordu. Barrett, akademisyen bir aileden geliyordu ve inşaat deneyimi yoktu. Nebraska Sarı Sayfalarını açıp "fare muhafazası için yapı inşaatı" araması da yapamazsınız. Barrett, sorunu kendi başına çözmek zorundaydı.

* Bu bana bir uçakta türleşmeyle ilgili bir kitap okurken John Endler'in başından geçen, bana anlattığı olayı hatırlattı. Yanındaki koltukta oturan adam ne okuduğunu sormuş, muhabbete başlamışlar, Endler muhabbette doğal seçilimi, evrimi, türleşmeyi bu kavramları hiç kullanmadan aktarmayı başarmış. Adam çok ilgi göstermiş, dikkatle dinlemiş, çok iyi sorular sormuş. Sonunda Endler'a daha fazla öğrenmesi için kendisine hangi kitapları önerebileceğini sormuş, Endler da en doğrusunun Darwin'le başlamak olacağını söylemiş. Fakat isim ağzından çıkar çıkmaz adamın yüzü kızarmış, diğer tarafa dönüp uçuş boyunca tek bir söz bile etmemiş.

Benzer şekilde Ulusal Bilim Vakfı da kamuoyuna açıklamak üzere araştırmacılar-dan mali destek verdiği projelerin kısa özetlerini kaleme almalarını ister. Bir süre önce evrim biyologlarına çalışmalarını "evrim" kelimesini kullanmadan betimlemeleri önerildi. Öyle görünüyor ki, birçok evrim muhalifi eğer e ile başlayan kelime etiket olarak yapıştırılmamışsa, belli tashihler yapıldı mı, doğal seçilimin temel fikirleriyle hiçbir bir sorun yaşamıyor.

Araştırmacıların bir tasarıma karar verip inşa ettiği muhafaza örneklerini araştırdı. Farelerin atlayıp kaçmasını önlemek için duvarların en az 90 santim olması, kır kurtlarını içeri atlamaktan caydırmak için bunun üstüne bir de 90 santimlik kümes teli çekilmesi gerekiyordu. Farelerin kazıp kaçmaması için de duvarın toprağın altında aşağıya doğru 60 santim derinlikte olması gerekiyordu.

Araştırma için kullanacağı araç gereçleri açık kasalı kamyonlarla taşıtan evrim biyoloğu nadir görülür. 400 kilometre uzaktaki Kimball, Nebraska'dan yola çıkan bir kamyon, 1,7 milim kalınlığındaki çelik duvarları bir buçuğa üç metrelik plakalar halinde taşıdı. Kiralanan bir Ditch Witch, plakaların yerleştirileceği hendekleri açtı ve yerel bir kepçe operatörü plakaları yoldan tarlalara taşıdı. Yan yana gelen metal plakalar arasındaki birleşme yerlerinde duvarı destekleyecek 192 payanda toprağın içine çimentoyla sabitlendi. Makineleri kullanan bölgeden üç inşaat işçisinin, hendeklerin kazılmasına yardım eden bölgedeki golf sahasından dört saha bakıcısının ve geriye kalan işleri yapan yedi laboratuvar üyesinin katıldığı faaliyetin tamamı iki haftada tamamlandı. (Eski şakayı siz de bilirsiniz; bir fare muhafazası inşa etmek için kaç biliminsanı gerekir?)

Başarıyı belki Barrett'ın dikkatli yönetimine, belki de kendilerine göre olmayan bir işte fazla sıkıntı yaratmayan Harvard'lı laboratuvar üyelerinin sıkı çalışmasına borçluyuz. Belki de toy muhallebi çocuklarının varlığında işin tamamlanmasını sağlayan yerel ekipman operatörlerine iki kez borçluyuz. Övgüyü kim hak ediyorsa etsin (büyük ihtimalle bu üçünün belli ölçülerde birleşimi) iş çarpıcı ölçüde sorunsuz ve çabuk halledildi. Kepçenin çok fazla çelik plaka yüklenmesinden dolayı ters dönme tehlikesi yaşadığı ve sert rüzgârların bıçak keskinliğinde 20 kiloluk çelik dikdörtgenleri tarlalarda uçurduğu zamanlar oldu elbette, ama kimseye bir zarar gelmedi ve iki haftanın sonunda muhafazalar farelerin taşınmasına hazır duruma geldi.

Ne var ki fareler hazır değildi. Hâlâ yazgılarından habersiz halde deliklerinde yaşıyorlardı. Barrett'ın planı her muhafazaya eşit sayıda açık renkli ve koyu renkli fare koymaktı. Ama bunu yapabilmek için onun ve ekibinin fareleri yakalaması gerekiyordu.

Kemirgenleri canlı yakalamanın geleneksel yöntemi tarlalara öğleden sonra gitmek ve yere çok sayıda 30 santim uzunluğunda, bir ucu açık, metal kutu yerleştirmektir. Kutunun içinde yem (lezzetli tohumlar, fıstık ezmesi veya tadı güzel ne varsa) ve yatay bir platform bulunur. Fare (veya başka bir yaratık, akrepten yılan kadar her şey olur) platforma adımını attığında (veya süründüğünde) tuzak kapısı kapanır ve hayvan içeride kalır. Sonra ertesi sabah gelir, tuzakları toplar ve dikkatle içine göz atıp ne yakaladığınıza bakarsınız.

Barrett ve yanındakiler, o zamana dek Nebraska'da genetik çalışmalarını için bölgeden numune toplarken epey bir fare avlama deneyimi edinmişti. Barrett, elde ettikleri başarı oranlarına bakarak ihtiyaç duydukları fareleri çabucak yakalamakta herhangi bir sorun yaşamayacaklarını düşünüyordu.

Fakat fareler aynı düşüncede değildi ve tuzaklara daha önce görülmemiş biçimde hiç yanaşmamaya başladılar. Ekip bir gece yedi yüz tuzak yerleştirdi ve ertesi gün geldiklerinde sadece iki fare buldu (normal verim otuz beş oluyordu). Bir-iki hafta sürecek iş, iki aylarını aldı. Sonunda muhafazalar dolduruldu ve deney başladı.

Barrett'in alması gereken son bir karar daha vardı. Deney görsel yönelimli avcılarının fare renklenmesi üzerindeki etkisi üzerineydi, ama avcılarının hepsi avlarını gözleriyle bulmuyordu. Bazıları kokuyu, hatta ısıyı kullanıyordu. Bu avcılarının fareleri renkleri bakımından rastlantısal biçimde yakalaması gerekiyordu; bu türde avcılık sonuçlara öngörülemeyen bir belirsizlik katıyordu, tesadüf eseri görsel avcılarının etkisini belirsizleştirmeleri mümkündü. Bu tehlikeden kaçınmak için belki de deney dışında bırakılmaları gerekiyordu. Öte yandan bu deneyin doğal bir sistemde yapılması gerekiyordu ve bu avcılar da bu sistemin bir parçasıydı. Barrett, ne yapacağı konusunda kararsız kalmıştı.

Özellikle yılanlar konusunda endişeliydi. Sandhills'te çayır çingıraklı yılanları boldur. Bir metre yirmi beş santime ulaşan boylarıyla türün yetişkinleri, çayır köpekleri dahil birçok memeliyi yiyebilir; ak ayaklı fareler de gençlerin yemesi için çok uygun boyuttadır. Boğa yılanları çayır çingıraklı yılanlarının iki katına dek büyüyebilir ve

kemirgenlere özel bir düşkünlükleri vardır. Barrett, yılanları muhafazalardan (dikkatle) çıkarmaya karar verdi. Görülen her yılan, ucunda kısaç olan bir yılan yakalama sopasıyla nazikçe kaldırılıp muhafazanın dışına bırakıldı.

Fakat yılanlarla tekrar tekrar karşılaştılar. 10 dönümlük bir arazide kaç yılan yaşıyor olabilirdi? Hepsini yakalamayı ne zaman başracaklardı? Meseleyi o sırada anladılar: Duvarlar yılanların içeri girmesini engellemiyordu. Yılanlar bacakları olmadığı için şaşırtıcı derecede bir tırmanma becerisine sahipti ve 90 santimetrelilik metal duvar büyük bir çingiraklı yılan ya da boğa yılanı için önemli bir güçlük sayılmazdı. Barrett ne kadar hızla yakalayıp dışarı koyarsa koysun, aynı hızla daha fazlası (belki de aynıları) yeniden içeri giriyordu. Yılanları alma işi sona erdi. Tümüyle doğal bir deney olacaktı.

Fareler muhafazaların içine koyulduktan sonra Barrett'a oturup evrimin yaşanmasını beklemek kalıyordu. Üç ayda bir ekibiyle Nebraska'ya dönüp muhafazalarda popülasyon sayımı yapıyordu. Kim var kim yok görmek için muhafazaların içine canlı yakalama tuzakları koyuluyordu. Farelere muhafazalara koyulurken kedi ve köpeklerde kullanılan türde, her biri ayrı barkoda sahip küçük birer etiket enjekte edilmişti. Tarayıcı farenin üzerinde gezdirilince eğer ilk başlangıçtaki farelerden biriye, kimlik numarası ekranda görünüyordu. On gün içerisinde tüm muhafazalardaki farelerin hemen hemen hepsi yakalanabiliyor, taranabiliyor ve bırakılabiliyordu.

Bu ziyaretler aynı zamanda Barrett ve ekibinin, adı kadar misafirperver olduğu ortaya çıkan Valentine'de edindikleri çok sayıda arkadaşla arayı kapatmalarına olanak sağlıyordu. Ekibi her gece başka bir aile akşam yemeğine davet ediyordu. Yaşlı bir çift bazı ekip üyelerini evlerinde yok pahasına barındırıyor ve ekipmanların depolanması için garajlarını açıyordu. Barrett, her ziyarette hepsinin katıldığı büyük bir parti düzenliyordu.

Fareler de kendi üzerine düşeni yapıyordu. Deneyin başında ölüm oranı çok yüksekti, hayvanları yeni bir yere sürüklediğinizde bunun yaşanması şaşırtıcı değildi. Etrafa bakınırken, tanıma amaçlı ortada dolanırken avcılara kolay av olurlar. Ayrıca hepimizin bildiği

gibi yeni bir eve taşınma işi çok streslidir (özellikle de taşınma arzunuz dışında gerçekleşmişse), ölüm oranlarında bunun da katkısı olduğuna şüphe yok.

Asıl heyecan verici olan ölüm düzeyi değil, kimin yaşayıp kimin öldüğüydü. Kum tepelerindeki muhafazaların her birinde açık renkli fareler koyu tenli kuzenlerine oranla daha çok hayatta kaldı, ortalama oran ikiye birdi. Tersinden bu kez koyu renkte toprak muhafazalarda roller değişmiş, öne geçen koyu fareler olmuş, açık renkli meslektaşlarına oranla üç kat başarılı biçimde hayatta kalmıştı. Farelerin genotiplerinin incelenmesi de karşılaştırmaya elverişli sonuçlar sağladı. Açık renk kumda açık renklenme üreten mutasyonlara sahip bireyler daha iyi hayatta kalırken, koyu renk toprakta durum tersiydi. Doğal seçim tam tahmin edildiği gibi farklı muhafazalarda farklı yönlerde işliyor, bekleneni gerçekleştiriyordu.

Proje başladıktan 15 ay sonra başlangıçtaki farelerin hepsi bitti. Fakat popülasyonların durumu gayet iyiydi, artık kurucu bireylerin yavrularından oluşuyorlardı. Seçim deneyi artık uzun vadeli bir evrim deneyi haline gelmişti.

Bu satırları yazdığım sırada deney beş yıldır devam ediyor ve bu süre yaklaşık 10 ak ayaklı fare nesline karşılık geliyor. Barrett, sonuçları şu anda bir araya getiriyor ve son genetik analizleri gerçekleştiriyor. Sonuçların ne göstereceğini henüz o da bilmiyor ama başlangıçtaki güçlü seçilimi gösterge kabul edersek, büyük ihtimalle popülasyonların farklı yönlerde evrimleşmiş olduğu ortaya çıkacak. Yine de doğa sürprizlerle dolu, o yüzden Barrett önyargılı bakmıyor. Makale büyük olasılıkla bu kitapla aynı sırada tamamlanacak; deneyin büyüklüğünü düşününce sonuçlardan haberdar olmak için *New York Times*'ı takip etmenizde fayda var.

Sahada yapılan deneysel evrim çalışmaları giderek daha büyük, daha cesur, daha heyecanlı bir hal alıyor. Daha şimdiden bir araştırma, bir karbondioksit akıntısını bundan 50 yıl sonra dünya atmosferi için öngörülen düzeylere çıkarmak adına sürekli bir şekilde büyük bir arazinin üzerine pompalıyor. Bitkiler evrim gösterecek mi, gösterirlerse bu nasıl olacak?

Yirmi yıl sonra, belki daha erken evrim deneylerinden elde edilen verilerin içinde yüzeceğiz. Belki de yeni veriler geldikçe hikâye değişecek, ama şu anda bildiklerimizle ulaştığımız genel sonuçlar çok net. Birden fazla popülasyonun aynı çevresel muameleyle karşılaştığı bir deney kurgulandığında, popülasyonlar çok benzer biçimlerde evrim gösterme eğilimi sergiliyor. Bu sonuç yağmacı tavşanlardan korunan bitkiler için olduğu gibi, dar dalları kullanmaya zorlanan kertenkeleler için de geçerli. Simon Conway Morris memnun olsa gerek. Evrim tekrarlanabilir özellikte.

Bu sonuç o kadar da şaşırtıcı olmamalı. 1. Bölüm'deki yakınsak evrim tartışmasında yakın akraba popülasyonların ve türlerin genetik açıdan benzer oldukları için aynı biçimde evrimleşmeye meyilli olduklarına dikkat çekmiştim; seçim aynı genetik malzemenin üzerinde çalışıyor, bu nedenle de aynı çözümü biçimlendirmeye eğilimli oluyor. Öte yandan başlangıç itibarıyla farklı genetik yapı ve fenotiplere sahip uzak akrabaların da, aynı çevresel güçlük karşısında farklı uyumsal tepkiler evrimleştirmesi daha muhtemel oluyor. Saha evrim deneyleri her zaman çok benzer popülasyonlarla, genellikle de aynı kaynak popülasyondan çekilen bireylerle başlatılır. Bunun sonucunda deneyler paralel evrimsel tepkiler doğurmaya yatkın olur.

Bu evrimsel değişimin her deney popülasyonunda aynı olduğu anlamına gelmez. Aksine hep belli ölçüde değişiklikler vardır. Örneğin Nash Turley'nin tavşan sokmama çalışmasında aynı anda yaratılan muhafazalar arasında görülen bitki büyüme hızı, popülasyondan popülasyona çoğu kez değişiklik gösterir. Örneğin altı yıllık dört parsel karşılaştırıldığında, büyüme hızı en hızlı büyüyen popülasyonda en yavaş büyüyenden %50 daha fazladır. 9, 13 ve 25 yıllık popülasyonlar arasında da benzer bir farklılık görülür. Popülasyonlar tavşan otlamasından aynı süre zarfında azade olmalarına rağmen, evrimsel tepkilerinde niteliksel açıdan da farklılaşır. Benzer biçimde akşam çiçeklerinin böceklerden korunduğu Cornell deneyinde de bitkiler mevsiminden çok daha erken çiçek açmaya başladı ama evrimsel kaymanın derecesi parsellerde büyük çeşitlilik göstererek, bazıları erken çiçeklenme açısından diğerlerinden beş kat fazla çiçek verdi.

Bu tip farklılaşmalar evrimsel tepkide, aynı seçim çevresini deneyimleyen yakın akraba popülasyonlarda bile, belli ölçüde bir belirsizlik olduğuna işaret ediyor. Bilimsel araştırmaların çoğu gibi deneysel evrim çalışmaları da istatistiksel bir çerçevede analiz ettiği genel eğilimler üzerine odaklanır. İstisnaları göz ardı etmeye eğilimlidir; arada bir istisnai (farklı biçimde uyarlanma sağlayan) popülasyonlar ortaya çıkabilir ve göz ardı edilebilir. Makaleler genellikle ham verileri vermez, dolayısıyla bu tür aykırılıklar (farklı evrimsel yol izleyen birkaç örnek) okurlara hiç iletilmeyebilir. Bu nedenle farklı yol izleyen azınlıkta kalmış popülasyonların düzeyi genellikle belirsiz kalır.

Dahası çalışmalar çoğu kez farklı birçok özelliği ölçer ama sadece benzer biçimde evrim gösterenleri öne çıkarır. Farklı popülasyonlarda farklı biçimlerde evrimleşenler kimi zaman ıraksak uyarlanma örüntülerine kanıt oluştursa dahi, istatistiksel açıdan önemli bir eğilim sergilemez ve bu nedenle göz ardı edilir.

Aynı koşullara maruz kalan popülasyon tepkilerinde farklılıkların var olması, elbette otomatik olarak evrimsel belirlenimciliğin olmadığına kanıtı değildir. Çok sayıda kişinin biraz tutucu bulunduğu bir başka olasılık da, popülasyonların deneyimlediği çevrelerin tamamen aynı olmamasıdır. Bitki özelliklerindeki çeşitlilikler parseller arasında görülen toprak bileşimi, salyangoz sayısı, ağaçlardan gölge alma gibi hemen göze çarpmayan farklılıklara uyarlanmayı yansıtmıyor olamaz mı? Kertenkele uzuv uzunluğundaki farklılıklar, farklı deney adalarında bulunan çalı türlerindeki küçük farklılıkları yansıtmıyor olamaz mı?

Bilemeyiz. Saha deneylerinin sağladığı büyük avantaj doğada yürütülüyor olmaları, dolayısıyla gerçek dünyada etki eden benzersiz seçim etmenlerinin hepsine birden maruz kalmalarıdır. Bu deneyler doğanın soyutlanması veya basitleştirilmesi değildir; popülasyonların dışarıda karşılaştıklarının gerçek temsilidir.

Ne var ki saha deneylerinin büyük bir dezavantajı da vardır; her şeyi kontrol edemezsiniz. Doğa çeşitlilik gösterir, hatta çok kısa mesafeler içerisinde bile. Bu farklılıklar da sonuçların değerlendirilme-

sinde bozucu etki doğurabilir. Bu yüzden sahada deney yapma düşüncesi laboratuvar bilimcilerinin tüylerini diken diken eder, kontrolün olmaması onlarda büyük sıkıntı yaratır. Tekrarlanabilir evrimin nasıl olduğunu, aynı seçim çevresinin aynı evrimsel sonuca tahminen ne ölçüde yol açacağını gerçekten bilmek istiyorsanız, o zaman deneyinizi çevrenin kesin biçimde kontrol edilebildiği yerde, laboratuvarda düzenleyeceksiniz. Bu tür çalışmalarda deneysel kesinliği elde etmek için gerçek dünyayla uyumluluktan vazgeçersiniz, fakat Gould'un postulatını tüm yönleriyle test etmek bu tür bir takası yapmaya değer.

ÜÇÜNCÜ KISIM
EVRİM MERCEK ALTINDA

KASEDİ YENİDEN OYNATMAK

Evrimin İkonik Mekânları: Galápagos adaları. Olduvai Gorge. Avustralya. Madagaskar.

Peki ya East Lansing, Michigan?

İlginçtir, son on yıllarda gerçekleştirilen en önemli evrim araştırmalarından bazıları, Büyük Göller eyaletinin ortasında evrimsel değişim konusunda yapılan çalışmalardan geldi.

Michigan State Üniversitesi'nin Fizik ve Biyomedikal Bilimler binasındaki 6140 numaralı oda sıradan bir biyoloji laboratuvarı gibi görünür. Laboratuvarın orta kısmında bölmeyi üç koridora bölen yüksek ayaklı iki siyah masa vardır. Masaların her iki tarafında da etrafları laboratuvar biliminde gereken teçhizatla çevrili araştırmacıların oturduğu çalışma yerleri bulunur: kehribarla dolu şişeler, raflarda saf kimyasallar, üst üste dizilmiş Petri kapları, garip görünüm-lü masaüstü ekipmanları. Duvarlar harcıâlem kartpostallarla, bilim karikatürleriyle, bilimsel alandaki şöhretlerin fotoğraflarıyla ve hayvan fotoğraflarıyla süslenmiş. Nedendir bilinmez, bir tahta parçası bükülerek iki ataşla yatay şekilde asılarak bir raftan aşağı sarkıtılmış.

Köşelerden ve bilgisayar ekranlarının arkasından küçük çocuk oyuncakları ve başka dekoratif süsler gizlice etrafa bakıyor. Kimyasallarla dolu, cam kapılı, mezecilerde görülen türden bir buzdolabı ve başka büyük makineler duvarın önünde yan yana dizilmiş. Diğer duvar, tavana kadar uzanan ve kampüse yukarıdan bakan büyük pencerelerden oluşuyor.

Laboratuvarların birçoğunun kendine özgü bir eksantrikliği vardır, bunun da var. Birçok pencereye mavi kâğıt parçaları yapıştırılmış, bu parçalar her pencerede bir harf oluşturacak şekilde düzenlenerek “000,4d” yazılmış. Ya da laboratuvarın içinden bakıldığında bu rakam yazılmış gibi görünüyor diyelim; zira kaldırımdan, dışarıdan, 6 kat aşağıdan bu sayılar tersten okunduğunda ne yazdığı daha önemli. Buna birazdan geleceğiz.

Laboratuvar, çoğu tişört ve kot giymiş, günlük giysilerle çalışan, genellikle genç bilimsinlarıyla dolu. İçlerinden biri diğerlerinden ayrışıyor; rengârenk boyanmış bir laboratuvar önlüğü ile sihirbaz kaftanının çiftleşmesinden doğmuş gibi görünen ve mavinin çeşitli tonlarını taşıyan renkli bir giysi giymiş. Ona da birazdan geleceğiz.

Laboratuvarın odak noktası (hatta varlık nedeni) kapının yanındaki tek parça laboratuvar ekipmanı. Boyut ve görünüş açısından benzin istasyonlarındaki marketlerde içine Klondike marka dondurmalı sandviçler falan koyulan yatay donduruculara benziyor. Benzin istasyonlarında karşınıza çıkanlardan kesinlikle daha yeni ve daha yüksek teknolojiye sahip görünse bile, içinde zulalanmış bir hazır dondurma bulsanız şaşırmazsınız.

Sonunda beklediğim an geldi, beni ağırlayan kişi dondurma dolabı görünümlü şeyin kapağını açarak içinde ne olduğuna bakmamı sağladı. Öne eğildim, yüzüme sıcak hava geldi; bu metal kutuda kesinlikle dondurma yoktu. Dondurmaların yerinde her sırada yedi adet olacak şekilde iki sıra halinde dizilmiş küçük cam kaplar duruyordu, her biri metal bir disk üzerindeki kulbunun içine güvenli şekilde oturtulmuştu. Bu metal platform, her bir kabın içindeki az miktardaki sıvıyı hafifçe dalgalandırarak ağır ağır ileri geri, sağa sola doğru hareket ediyordu.

Biraz şaşırdığımı, belki biraz da hayal kırıklığına uğradığımı itiraf etmeliyim. Evrim biyolojisinde son çeyrek yüzyılın en önemli çalışmalarından birinin tam ortasıdaydım ve her şey çok... müteva-zıydı. Yavan. Hiç etkileyici değil. Tropik bir dondurma dolabının içinde ağır ağır sağa sola çalkanan küçük sıvı saklama kapları.

Bu kadar küçük saklama kaplarının o kadar büyük bir etkiyi nasıl yarattığını anlatacağımız hikâyemiz Michigan'daki bir laboratuvar da değil, bundan yaklaşık 40 yıl önce Kuzey Carolina'nın Apa-laş Dağları'nda başlıyor. Burada Rich Lenski adında genç bir yüksek lisans öğrencisi kınkanatlı popülasyonlarını saymak için geleneksel çukur tuzak yöntemini kullanmaktadır. Tuzak çukurlarının nasıl çalıştığı adından anlaşılabilir. Araştırmacı bir çukur kazar ve hayvanların içine düşmesini bekler. Hayvanlar o kadar salak değildir, diye düşünebilirsiniz. Fakat öyle oldukları ortaya çıkar. Avare avare dolaşırken küt diye içine düşer ve çıkamazlar. Çukurun boyutları yakalamak istediğiniz şeye bağlıdır: Kınkanatlılar için kâğıt bardak boyutu yeter ama kertenkeleler ve yılanlar için daha derin çukurlar gerekir.

Lenski doğa dünyasına oldum olası hayrandı. Kuzey Carolina'da doğdu, Ohio'da müzik eğitimiyle ün kazanmış ama bilim öğrenmek için harika bir yer olan Oberlin'de biyoloji okudu. Orada bilimsel sorunların ele alınışında deneysel yaklaşıma abayı yaktı. O dönemde deneyler laboratuvar araştırmalarında çok yaygın olmasına rağmen, doğa dünyasının çalışılmasında çok daha nadir görülüyordu.

Tam bu dönemde ekoloji alanı kargaşa içindeydi. Çalışmaların çoğu gözlem ve karşılaştırmaya dayalıydı: Birden fazla yerden ayrıntılı veri topla, ardından benzerlik ve farklılıkları açıklamak için değişkenler içinde bağlantılar ara. Belki de kelebeklerin sayısının çok olduğu yörelerde yusufoçukların sayısı da çoktur. Bu durumda kelebek bolluğunun belirli bir yerdeki yusufoçuk sayısını belirlediği düşünülebilir ki yusufoçuklar kelebekleri yiyorsa önerme akla uygun olur. Fakat nedensellik diğer yönde de işleyebilir: Belki de yusufoçuk bolluğu kelebeklerin sayısını belirliyordur. Olası açıklamalardan biri de yusufoçukların kelebeklerin avcılarını yiyor olmasıdır, böylece daha fazla yusufoçuk daha az kelebek avcısı, bu da daha çok kelebek anlamı-

na gelir. Belki de doğrudan bir bağlantı yoktur ve her ikisinin bolluğunu belirleyen üçüncü bir değişken vardır: Belki de daha nemli yerlerin hem kelebekler hem de yusufçuklar üzerinde olumlu bir etkisi vardır. Bu durumda kelebekler ile yusufçuklar birbirini etkilemiyor olsa bile, ikisi de nem oranlarına tepki gösterdiği için bollukları orantılı olur.

Karşımızdaki kadim korelasyon-nedensellik problemidir ve çözmenin en doğrudan yolu deney yapmaktır. Kelebek popülasyonunun büyüklüğü yusufçuk sayısını belirliyorsa, o halde birincisinin sayısındaki değişikliğin ikincisinin sayısında bir değişikliğe yol açması gerekir. Deney tasarımı kolaydır: Bir yerlere git, kelebeklerin sayısını azalt veya çoğalt, yusufçuk sayısının buna ne tepki vereceğini izle. Elbette göreceğiniz değişim tesadüfi de olabilir, havanın veya başka bir harici değişkenin tetiklemesiyle oluşmuştur. Buna imkân vermemek için bir kontrol yerine ihtiyacınız olacak, bu yerde kelebeklerin sayısını değiştirmek hariç her şeyi aynı yapacaksınız. Deney mekânında bir karşılık alıp kontrol mekânında almazsanız, kelebek sayısının yusufçuk bolluğunu etkilediğinin kanıtını edindiniz. Aslına bakarsanız iki yer de yeterli değildir; elde edilen fark hâlâ rastlantısal bir dalgalanma olabilir. Eğilimlerin tutarlı olduğundan emin olmak için kelebek popülasyonu değişiklikleri için birkaç yer, kontrol için de bir başka yer kullansanız daha iyi olur. Elbette sonuçları etkilememek için yansızlık sağlama adına yerlerden hangilerinin hangi uygulama için kullanılacağını rastgele belirlemeniz gerekecek.

İçlerinde Silwood Park'taki Mick Crawley'nin de olduğu bir grup çevrebilimci 1970'li yılların sonunda deneysel yaklaşımı eleştiriyor, gözlemsel ekoloji çalışmalarının on yıllardır yanlış yönde ilerlediğini, daha güçlü bir yaklaşıma gereksinim duyulduğunu ileri sürüyordu. Doğada deney düzenlemek zor olabilirdi ama yapılması gereken buydu. Kuzey Carolina Üniversitesi'nden Nelson Hairston Sr. bu hareketin önde gelenleri arasındaydı ve genç Lenski de 20 yaşında üniversiteden mezun olduktan sonra onun laboratuvarına girdi.

Hairston'ın ilgi alanları hem yöneldiği sorunlar hem de kullandığı organizmalar yönünden çok çeşitliydi, tek sabiti deneysel yaklaşımın hâkim olmasıydı. Lenski'nin ekosistemlerin işleyişine olan il-

gisi kesinlikle uygundu, Apalaş kınkanatlıları da iyi bir araştırma sistemiydi.

Lenski'nin doktora tezi Kuzey Carolina ormanlarında yaygın görülen iki kınkanatlı türünün bolluğuna odaklandı. Lenski'nin iki sorusu vardı: Türler kaynak rekabeti içinde miydi ve (çevreye ve insanların ona etkisi konusuna olan kuvvetli ilgisini yansıtır şekilde) kınkanatlı toplulukları ormanlardaki tıraşlama kesimlerinden nasıl etkileniyordu?

Lenski bu soruları iki aşamada ele aldı. İlk olarak klasik karşılaştırmalı yaklaşımı kullandı. Birkaç yeri ziyaret ederek kınkanatlıları topladı. Bu verilerle hangi etmenlerin her bir türün bolluğuyla korelasyon içinde olduğunu görebilecekti. Ardından bu veriler üzerinden kurduğu hipotezi sınamak için bu etmenlerin (kınkanatlı yoğunluğu, ormanlar ve tıraşlanmış yerler) değiştirilebildiği deneyler düzenlemek üzere etrafı çevrili geniş alanlar oluşturdu.

Yaklaşım kulağa basit geliyor ama feci bir çalışma gerektiriyordu. Tek bir çukur tuzak için altı buçuk santim derinliğinde bir çukur kazmak, ardından içine bir plastik kap koymak gerekiyordu. Bu o kadar da kötü görünmüyor. Lakin bir çalışma için 192, bir başka eşzamanlı çalışma için de 64 çukur kazıldı. Lenski iki ay boyunca her gün çalışma yerlerine ulaşmak için dağa çıkıyor, ardı ardına kapları dolaşiyor, içindeki her şeyi tek tek kontrol ediyor, çıkarıyor, inceliyor ve serbest bırakıyordu.

Deneyleri uygulamak ve sürdürmek de zahmetliydi. Kare şeklindeki muhafazalar (bir deneyde bir kenarı 1,5 metre, bir başkasında 6 metre) yere sokuşturulmuş hafif alüminyumdan yapılmaydı. İçeride kalan kınkanatlılar çukur tuzaklarla düzenli olarak izleniyor, içlerinden şanslı olanlar üreme ve büyümelerinin yiyeceğe erişim olanaklarıyla sınırlanıp sınırlanmadığının görülmesi için her yakalandıklarında elle besleniyordu. Bazı deneyler iki hafta, bazıları üç ay sürdü.

Projenin iki kısmı birbiriyle gayet iyi bağdaşmıştı, deneyler gözlemsel çalışmalardan yola çıkarak oluşturulan hipotezleri genellikle doğruluyordu. Sonuçlar ormandaki kınkanatlıların tıraşlanmış yerlerdekilere göre daha iyi olduğunu ve türler arasındaki yiyecek rekabeti

betinin popülasyonlarının düzenlenişinde önemli bir etmen olabileceğini gösterdi.

Doktora tezi tamamlandığında Lenski büyük başarı elde etti. Yayımlanan altı makalesi oldu, bunlardan üçü alandaki en iyi dergilerde yayımlandı ve her iki gelişme de çalışmasının yüksek kalitesini ve Lenski'nin geleceğinin parlak olduğunu tescil etti. Durum gelecek açısından çok umut vericiydi. Yine de her şey çok güzel değildi; Lenski, araştırma programından pek heyecan duymuyordu. Master programı esnasında geçen yıllarda ilgi alanı değişmişti. Evrim konusunda merak uyandıran bir dizi dersin yanında Pac-Man maçları ve cuma gecesi biraları eşliğinde aynı kafadaki yüksek lisans öğrencileriyle yapılan sayısız tartışma, ilgisini organizmaların çevrelerine nasıl uyarlanma sağladığı üzerine çalışma yapmaya yöneltmeye yetmişti. Böylece evrimsel değişim konusunda çalışmaya daha uygun, özellikle de özel değer verdiği deneysel yaklaşıma cevap verebilecek bir organizma aramaya koyuldu.

Lenski'nin yüksek lisansta okudukları arasında mikropların genetiğiyle ilgili klasik bir deney de vardı.* Sonradan, “Mademki (neredeyse her şeyiyle) yeni ve alışılmadık bir şeyi çalışacağım, mikropların değerini başka alanlarda kanıtlamış bir model sistem olma avantajına sahip olduğunu fark ettim,” diyecekti. Böylece kınkanatlı uzmanımız mikrobiyolog oldu.

Lenski'den önce de laboratuvar popülasyonlarıyla evrim çalışmış çok sayıda bilim insanı olmuştu. 20. yüzyılın ilk yıllarından beri bu tür binlerce (belki de on binlerce) deney yapılmıştı. Ve sonuçlar şaşırtıcı derecede tutarlı çıkmıştı. Laboratuvara getirilip yetiştirilebilen her tür organizmada hemen hemen tüm özelliklerde seçilim, öngörülen yönde hızlı bir evrimsel tepkiye yol açmıştı. Bu çalışmalar sadece ilk aklınıza gelebilecek özellikleri (vücut büyüklüğü, renk,

* “Mutations of Bacteria from Virus Sensitivity to Virus Resistance” [Bakterilerin Virüse Karşı Hassasiyetten Virüs Direncine Olan Mutasyonu] başlıklı 1943 tarihli makale, bakteri kalıtımının tıpkı bitki ve hayvanlardaki gibi gen temelli olduğunu ve mutasyonların tesadüfen gerçekleştiğini kanıtlamıştı. Salvador Luria ve Max Delbrück bu çalışmalarıyla Nobel ödülüne layık görüldü.

meyve sineklerinin poposunun üzerindeki tüylerin sayısı) kapsamakla kalmamış, sıçanların kovuk açmaya karşı direnci, meyve sineklerinin ışığa doğru uçuşa eğilimi, meyve sineklerinin alkol dumanına dayanımı gibi (11. Bölüm'de dahası var) kalıtsal özellikleri geniş bir yelpaze içerisinde gündeme almıştı. Bu örneklerin çoğunda, bir popülasyonda çeşitlilik gösteren herhangi bir özelliği seçip ona yapay seçim uyguladığınızda evrimsel bir tepki elde edersiniz.

Hepimizin tanıyıp bildiği, oysa vahşi atalarıyla aralarında pek az benzerlik bulunan çiftlik hayvanlarının ve tarım bitkilerinin üretimi için de özünde aynı yaklaşım kullanılmaktadır. Örneğin Meksika'nın dağlık arazilerine özgü mısırın atası teosinte, 10 santimetre uzunluğunda bir başağa, belki ancak bir düzine kadar taneye ve sert bir kabuğa sahiptir; bileşimi bizim her yaz afiyetle yediğimiz mısır koçanlarındaki yüzlerce lezzetli, korunmasız taneden çok çok uzaktır. Ticari tesislerde yetiştirilen tavuklar yılda 300'den fazla yumurta üretebilir, bu sayı Hint kuşu atalarının ürettiğinden çok fazladır. Aynı şekilde yapay seçim başlangıçtaki ata kurttan chihuahua ve danua'yı üretmiştir.

Yapay seçilimin bilime, tarıma, insan refahına büyük iyilikleri dokunmuştur. Ne var ki doğal evrimsel sürece örnek olarak kullanılma yönünden eksik kalmıştır. Doktora çalışmasını tamamlayan Lenski, laboratuvar çalışmalarının doğada yaşayanlara benzer hale getirilmesinin iki yolu olduğunu farkına vardı.

İlk olarak evrimi düşündüğümüzde binlerce, milyonlarca yılda olan şeyleri düşünürüz. Oysa laboratuvarda yapılan seçim çalışmaları genellikle 10, bilemedin 20-30 nesil boyunca sürer; güçlü bir evrimsel tepkinin gözlemlenmesi ve çok şey öğrenmek için yeterli, fakat doğanın zaman ölçeklerine oranla çok kısa sürelerdir bunlar. Nedeni de ortadadır: İnsanların bilimsel kariyerleri o kadar uzun değildir, biliminsanlarının bir sonraki ödeneği almak için, sonuçları alıp makalesini yazmak için gereksindiği burs ve hibelere başvuru dönemi bundan çok daha kısadır. Üstelik bu tür araştırmalarda kullanılan organizmaların (meyve sinekleri, fareler ve benzerleri) nesilleri haftalarca, yer yer aylarca hayatta kalabilir, bu da bir çalışma sonlanmadan geçen nesil sayısını sınırlı tutar. Lenski, ihtiyaç duy-

lan şeyin ister istemez nesilden nesile sıçrayacak, değişikliklerin uzun vadeli evrimsel sonuçları üzerinde çalışmaya yetecek kadar hızlı gerçekleşmesine olanak veren, hakikaten hızlı bir yaşam döngüsüne sahip bir organizma olduğunu fark etmiştir.

Laboratuvar ve tarım araştırmalarının ikinci doğal olmayan (yapay) yönü, seçilimin genelde araştırmacı veya besici tarafından doğrudan ve zorla benimsetilmesidir. Daha etli sığırları seçmek mi istiyorsunuz? Eti budu en fazla olan birkaç hayvanı seçer ve nesiller boyunca sadece onları yetiştirirsiniz. Bu, seçilimin evrimsel değişim yaratma gücü üzerine çalışmak için harika bir yol olabilir ama doğada işler böyle yürümez.

Yaban hayatta seçim nadiren fenotipik olarak sadece en uç birkaç bireyin hayatta kalıp üreyeceği kadar güçlü olur. Belirli bir kalıtsal özelliğin seçilimi genellikle çok daha yumuşaktır ve farklı özellikler üzerinde çok sayıda seçim baskısı aynı anda, bazen de ters yönde gerçekleşir. Daha hızlı fareler avantaja sahiptir, ama bu küçük bir avantajdır. En hızlı farelerin hayatta kalma şansı uyuşuklara oranla %10 fazla olabilir ama bu birçok hızlı farenin şans eseri ölmesi ve daha yavaş olanların şans eseri ölmemesi anlamına gelir. En iyi kamufle olanlar da benzer bir avantaja sahiptir belki ama hızlı farelerden iyi kamufle olmamış olanlar da vardır, dolayısıyla seçim baskıları uyumsuzluk içinde olabilir. Toplam sonuç, laboratuvardaki seçim çalışmalarının çok güçlü ve kesin biçimde yürütülüşünden farklı olarak, seçilimin çoğu kez zayıf ve olasılığa tabi olmasıdır.

Laboratuvar seçiliminin doğal olmamasının bir başka yönü de, doğada seçilimin genellikle zaman yönünden tutarlı olmamasıdır. Bir yıl kaslı geyikler avantaj sahibi olabilir, ertesi yıl belki de zayıf ve bıçkın olanlar hayatta kalır. Hatta popülasyonlar evrimleşirken kendileri de seçim koşullarını değiştirebilir; nadir görülürken üstünlük sağlayan bir özellik, yaygınlaştığında üstünlük sağlamayabilir. Veya popülasyonlar evrimleştikçe kendi çevrelerini değişikliğe uğratabilirler (uç bir örnek olarak kunduz barajlarını düşünün) ve bu değişiklikler seçim sürecine geri beslemede bulunarak daha önce üstünlük sağlamayan yeni özellikleri seçilimin konusu haline getirir. Tekrarlayalım, bahsedilenler laboratuvardaki seçim araştırmala-

rında nesiller boyunca sürekli uygulanan seçim baskılarından çok farklıdır.

Lenski, bu problemleri aşmanın bir yolu olduğunu, daha önce geliştirilmiş ama tam potansiyelinde kullanılmamış bir stratejinin varlığını fark etti. Bu yaklaşım da, evrim konusunda deneysel olarak, laboratuvarı, mikroskobik organizmalar kullanarak çalışmaktı. Mikroplar çok kısa nesillere sahiptir (yirmi dakika, bazıları daha da az), bu da insanlara zaman ölçeğinde evrime bakmak için çok iyi olanaklar sunar. Daha önceki laboratuvar çalışmalarının çoğunda olduğu gibi seçim sürecini yönetmek yerine de, araştırmacılar organizmaları ilk başta büyük olasılıkla iyi uyum sağlayamayacakları özel bir çevreye maruz bırakabilirdi. Kuşkusuz seçim bu koşullar altında da evrimi tetikleyecek ama kimlerin hayatta kalıp üreyeceğini belirleyen araştırmacı değil, aynı doğadaki gibi deney çevresi olacaktı.

Kimi mikrobiyologlar bunu 1940'lardan beri yapıyordu ama bunu evrimin işleyişi konusunda çalışmak amacıyla değil, mikrobik organizmaların iç işleyişini anlamak için yapıyordu. Temel fikir mikropları zorlu bir ortama maruz bırakmak ve hayatta kalmak için hangi biyokimyasal ve fizyolojik numaralara başvuracaklarına bakmaktı. Veya kötü niyetli ama etkili bir yaklaşımla araştırmacılar moleküler biyoloji tekniklerini kullanarak mikrop işleyişinin bir kısmını etkisiz hale getiriyor ve popülasyonun hangi telafi edici adımları atacak şekilde evrim göstereceğine bakıyordu. Bu yolla DNA'nın yapısı ve hücrelerin işleyişi konusunda çok şey öğrenildi. Ne var ki bu yaklaşımın uygulayıcıları çoğunlukla evrimin anlaşılmasıyla ilgilenmiyor, evrimi daha çok hücreler üzerine çalışmak amacıyla kullanıyorlardı. Bu durum 1980'lerin başında değişmeye başladı, tam o sırada Lenski de yüksek lisansını tamamlıyordu.

Altı yıl ileriye sararak 1988'e gelelim. Genç Lenski, artık evrim üzerine çalışmak amacıyla deneysel mikrop araştırmalarını kullanan o dönemdeki az sayıda kişiden biri* ve mikrobiyoloji alanında bir dev

* Levin'in dışında başkaları da vardı, Lenski bunlardan alanın öncüleri olarak Lin Chao, Dan Dykhuizen ve Barry Hall'un adını özel olarak anıyor.

olan Bruce Levin'in Massachusetts Üniversitesi'ndeki laboratuvarında doktora sonrası burs programını tamamlamış durumda. Irvine'deki Kaliforniya Üniversitesi'nde öğretim üyeliğine başlayan Lenski, kendi araştırma programını oluşturarak yaygın bulunan bir bakteri olan *Escherichia coli* (kısaca *E. coli* veya hepimizin aşına olduğu ismiyle kolibasili) üzerine laboratuvar çalışmaları yaparak uzun vadedi evrim deneylerine yeni bir yaklaşım getirme hayalini hayata geçirmeye koyuluyor.

Her kolibasili sadece bir küçük hücreden oluşur, tipik uzunluğu bir mikrometredir [milimetrenin binde biri, eski adıyla mikron] ve bu hücreler yiyecek bol olduğunda yirmi dakikada bir bölünebilir. Kolibasilinin mikroskobik boyutları, küçük bir deney tüpünün bile yüz milyonlarca bireyi barındırabilmesi anlamına gelir. Bir popülasyondaki birey sayısı ne kadar çoksa, gerçekleşecek mutasyonların sayısı da o kadar çok olur. Bir popülasyon ne kadar çok mutasyona sahip olursa, tesadüf eseri özellikle faydalı bir mutasyonun ortaya çıkma, doğal seçilimin destekleyeceği ve popülasyonun çevresine daha iyi uyum sağlar hale gelmesine olanak tanıyacak bir mutasyonun doğma olasılığı da o kadar büyük olur. Dolayısıyla kolibasilinin daha uzun ömre ve daha küçük popülasyonlara sahip başka laboratuvar organizmalarına göre daha kolay evrim göstermesi beklenmektedir.

Laboratuvar bilimcileri on yıllardır kolibasilleri üzerine çalıştıkları için araştırmacılar onların ne tür çevrelerde yaşayabileceğini biliyordu. Lenski de bu bilgiye dayanarak tahammül edebilecekleri ama zorlayıcı da olacak, evrimsel gelişim için bol yerin olduğu bir çevre tasarlamayı başardı.

Bu arada, kolibasilleriyle çalışmanın tehlikeli olmadığını da belirtmem gerek. Doğru, adını sık sık gıda zehirlenmesi haberlerinde duyuyoruz ve bazen çok şiddetli, hatta öldürücü hastalıklara sebep olabiliyor. Ama çoğu türü (Lenski'nin çalıştığı yapı da bunlara dahil) zararsızdır. Aslına bakarsanız, insanların çoğu sindirim sistemlerinde faydalı *E. coli* çeşitlerini büyük popülasyonlar halinde taşır, buralarda K2 vitamini üretmek ve zararlı bakterilerle savaşmak gibi önemli işler yaparlar. Üstelik laboratuvar çeşitleri cam tüplerde yaşa-

maya uyum sağlamış ve insanların içinde yaşama becerisini kaybetmiştir, dolayısıyla kesinlikle herhangi bir tehdit oluşturmazlar. Lenski ve onun laboratuvarındaki çalışanlar tipik laboratuvar giysileriyle çalışır ve eldiven bile takmazlar; bilimkurgu filmlerinde ya da Ebola salgınıyla mücadele haberlerinde görülen biyolojik tehlikelere dayanıklı uzay kıyafetlerini giymezler.

Mevsimle uyuşmayan derecede sıcak ve güneşli bir Güney Kaliforniya günü olan 24 Şubat 1988 günü, Lenski hücre kültür kabı olarak kullanılan tipik bir Petri kabını eline aldı. *E. coli* de diğer bakteriler gibi her hücrenin iki özdeş kardeş hücreye bölünmesiyle eşeysiz biçimde çoğalır. Bir *E. coli* hücresi Petri kabına koyulduğunda bölünmeye, bölünmeye, bölünmeye başlayarak sonunda hepsi ilk kurucu hücrenin özdeş altsoyları olan milyonlarca hücreden oluşma küçük bir öbek üretir. Bu öbeklere koloni denir. Lenski'nin eline aldığı kabın altı, yüzeyinde bu tür onlarca koloninin büyüdüğü, yapış yapış, yarı saydam, besleyici bir jelatin tabakasıyla kaplıdır. Bu kolonilerin hepsi REL606* adında bir *E. coli* laboratuvar çeşidinin tekil hücrelerinden üretilmiştir. Lenski eline sterilize edilmiş küçük bir metal iğne alır ve bununla rastgele seçtiği bir koloniye nazıkçe dokunarak iğne ucunda özdeş hücrelerden yüz binlercesini toplar; ardından bu ucu steril bir cam tüpün içindeki on mililitrelik bir sıvıya sokar. Böylece uzun süreli bir popülasyon doğmuştur. Aynı işlemi 11 kez tekrarladıktan sonra (her biri çay fincanından daha küçük) bir düzine cam tüp** 37°C'lik (bağırsaklarımızdaki gibi) sabit sıcaklığa ayarlanmış bir buzdolabına koyar.

Bu deneyin muhtevasında önemli bir bileşen daha vardı. Kolibasilileriyle çalışan araştırmacılar bu mikropların görevlerini sürdürmeleri için çok çeşitli menüler kullanır. Bunlardan bazıları toz halinde maya parçaları veya süt proteinleri gibi standart biyokimyasal la-

* R.E.L. Lenski'nin adının baş harfleridir.

** İçinde sıvı olan ama *E. coli* olmayan 13. bir cam tüp de bulaşmayı saptamak için kontrol tüpü olarak kullanılır. Burada girmeyeceğim sebeplerle yıllar sonra 14. bir cam tüp eklenmiştir. Böylece benim laboratuvar ziyaretimde gözlemlediğim yedilik iki sıra halindeki cam tüp sayısına ulaşıyoruz.

boratuvar besinleri olurken, bazıları da koyun kanı veya domuz bey-ni suyu, domuz kalbi suyu gibi egzotik bileşenler içerir. Lenski'nin *E. coli*'lerinin beslenme biçimi iki açıdan alışılmadık nitelik taşıyor-du. Birincisi sıvı evlerinin içindeki faydalanabilecekleri tek yiyecek, birçok organizmanın enerji için kullandığı bir şeker türü olan* gli-kozdu. İkincisi laboratuvar hazırlığı açısından diğer örneklerin aksi-ne yiyecek tedariği çok azdı, öyle ki her gün popülasyondakilerin sayısı glikoz tükenmeden önceki altı saat içerisinde hızla artıyordu. Glikoz tükenince hücreler bölünmeyi durduruyor ve sessizce bekli-yordu. Ertesi gün bir laboratuvar çalışanı her deney tüpünden için-dekilerin %1'ine, dolayısıyla *E. coli* popülasyonunun %1'ine (yaklaşık 50 milyon *E. coli*) karşılık gelen 0,1 mililitre sıvıyı hortumla çekip, ardından bunu 9,9 mililitrelik taze, glikoz koyulmuş sıvıya sahip yeni bir deney tüpüne boşaltır (laboratuvar bilimcileri deneklerinin için-de yaşadığı besin dolu çevreler için “ortam” kavramını kullanmakta-dır). Böylece döngü yeniden başlar.

Deneyin başlatılması için kullanılan *E. coli* çeşidi 1918'den bu yana araştırma çalışmalarına konu oldu. Gelgelelim bu deneyin özel koşulları, özellikle de periyodik biçimde tükenen, düşük glikoz dü-zeyi mikroplar için çok yeniydi. Bu ortam büyük ihtimalle kıt kay-naklardan verimli ve çabuk faydalanma yönünde güçlü bir seçim baskısı üretiyordu. Fakat laboratuvarda yapılan çoğu seçim dene-yinden farklı olarak Lenski bir sonraki nesle hangi mikropların ka-lacağını ayarlayarak kazananları ve kaybedenleri belirlemiyordu. Mikropların kozlarını kendi arasında paylaşmasına, hangi özellik topluluğunun en faydalı olacağını kendi yöntemleriyle belirlemeleri-ne olanak tanıyordu. Bu nedenle Lenski projeyi bir seçim deneyi olarak değil, Uzun Süreli Evrim Deneyi (kısaca USED) olarak görü-yordu.

Deneyin başında popülasyonlardaki bireylerin hepsi genetik açıdan aynıydı, hepsi tek bir ana hücrenin soyundan gelen özdeş to-runlardı. Dahası, atasal Petri kabındaki farklı koloniler mutasyon

* İnsanlar dahil. Kan şekerimizin düştüğünden şikâyet ettiğimizde, kanımızda çözünmüş glikoz miktarından bahsederez.

geçirmeye yetecek zamana sahip olmadıkları için, farklı popülasyonların kurucuları da, farklı kolonilerden alınmış olmalarına karşın genetik açıdan yine özdeş oluyorlardı. Bu, deneydeki on iki tüpün aslında genetik açıdan tümüyle homojen olduğu anlamına geliyordu; popülasyonların ne içerisinde ne de arasında genetik farklılık vardı.* Ancak zaman geçtikçe, mutasyonlar gerçekleştiğinde popülasyonlar arasında farklılaşma ortaya çıkacak, popülasyonların genetik açıdan birbirinden ıraksama olanağı doğacaktı.

Lenski'nin çalışması saha evrim deneylerinde görülen sorunu bu şekilde aştı. Ortamlar her deney tüpünde mutlak ölçüde, hiç olmazsa elden geldiğince diyelim, aynıydı. Ayrıca popülasyonlar da karbon kopyalar olarak, genetik açıdan tamamen aynı şekilde hayata başladı. Bu Gould'un düşünce deneyinin hayata geçirilmesi idi. Kaset bir dondurma dolabında yan yana, aynı anda on iki defa çalışınıyordu. Aynı başlama noktası, aynı ortam. Evrim kasedinin hepsinde eşzamanlı oynatılması paralel evrimsel sonuçlara yol açacak mıydı? Yoksa mutasyonların rastgeleliği (bir deney tüpünde bir mutasyonun, bir başka deney tüpünde çok farklı bir mutasyonun yaşanması) evrimi öngörülemez ölçüde farklı yollara sevk edecek miydi? Belirle-nimcilik ile tesadüf karşı karşıyaydı; hangisi kazanacaktı?

Uzun süreli araştırma programları herkese tarihçilik taslama olanağı sağlar. Geriye giderek çalışmanın gelişiminin izini sürebilir, sadece çalışma ilerlerken sonuçların nasıl çıktığını görmekle kalmaz, zaman içerisinde sonuçların yorumlanışının, çalışmadan çıkarılan mesajın nasıl değiştiğini izleyebilirsiniz. Bu geriye doğru araştırma biçimi, akademik hayatta karşılaşılan “ya bir şeyler yayımlarsın ya da silinip gidersin” kuralının basıncından kurtulmayı sağlar. Biliminsanı başarılı olmak için sonuçlarını düzenli biçimde raporlaştırmak durumundadır, bu da uzun süreli bir deneyin zengin ve süreklileşmiş bir makale birikimi oluşturacağı anlamına gelir.

* Aslında bu tam doğru değil. Lenski olur da karşılıklı bulaşma gerçekleşirse tespit etmeye yardımcı olur düşüncesiyle popülasyonların birbirinden ayır edilmesi için popülasyonların yarısında bir mutasyon yarattı. Mutasyonun fenotipik etkisi yoktu, bu nedenle de doğal seçimden etkilenmiyordu.

Lenski'nin USED'i de aynı durumdadır. Ben bu satırları yazarken deney 28 yıldır sürüyordu. Laboratuvarın pencerelerine tersten yapıştırılan sayıların duyurduğu üzere 64 bin nesil ortaya çıkmıştı, o günden bu yana da birkaç ay geçti. Lenski'nin web sayfasına baktığımızda da bu projeden çıkan 75 yayının listesini görebiliyoruz.

Bunlardan ikincisine, 1994 yılında, deneyin başlangıcından altı yıl sonra yayımlanan ve ilk 10 bin nesilden elde edilen sonuçların özetlendiği makaleye bakalım. Lenski ve bir süre önce laboratuvarında doktorasını tamamlamış Michael Travisano *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Bilimler Akademisi Bildirileri] dergisinde yayımlanan ortak makalelerinde, taze ortama her gün taşınmalarının ardından boyut yönünden gösterdikleri artış hızından ölçtükleri üzere, kolibasili popülasyonlarının on ikisinin de yeni çevrelerine uyum sağlamış olduğunu duyuruyor. Fakat popülasyonların daha iyi uyarlanma gösterebilme derecesi popülasyonlar arasında farklılık göstermiş; en uç değer itibarıyla içlerinden bazıları atalarından %60 daha hızlı büyürken, kimileri sadece %30 fazla çoğalabilmiş. *E. coli* hücreleri ayrıca atasal popülasyondakilerden daha büyükmüş, fakat bu artış da çeşitlilik göstermiş, bazı popülasyonlar hücre hacminde %50'lik artış gösterirken, bazılarında büyüme artışı %150'ye kadar çıkmış. Lenski ve Travisano, deney tüplerinde birbirinden farklı mutasyonlar gerçekleşmesinin sonucunda popülasyonların farklı biçimlerde uyum göstermiş olduğu sonucuna varmış. Onların ifadesiyle, “deneyimiz uyumsal evrimde şans olaylarının (tarihi tesadüflerin) oynadığı kritik rolü sergiliyor.”

Lenski, 20 bin nesil sınırına ulaşıldığında deneyin gelişimini yeniden gözden geçirdi. Popülasyonlar kendilerini çevreleyen “ya ziyafet ya açlık” koşullarındaki yaşamda daha başarılı olmayı sürdürmüştü; popülasyonlar ata popülasyonlarından ortalama %70 daha hızlı büyüyordu. Büyüme hızı açısından popülasyonlar arasındaki farklılıklar varlığını sürdürüyor ama bunlar “ince ayrımlar” olarak değerlendiriliyor ve vurgulanmıyordu. Esas olarak popülasyonların hepsinin aynı eğilimi, çok daha büyük bir büyüme hızına doğru gösterdiği vurgulanıyordu. Benzer biçimde, hücre büyüklüğüne ilişkin

yeni veriler bildirilmemiş olmasına karşın büyüklükte paralel bir artış olduğunun altı çiziliyor, popülasyonlar arasındaki farklılıklara (bahsedilse de) fazla dikkat çekilmiyordu.

Ayrıca Lenski Lab popülasyonları karşılaştıracak biçimde branşlaşmış ve heyecan verici yeni keşifler yapmıştı. Popülasyonların on ikisi de başka türde bir şeker olan D-riboz içeren deney tüplerinde büyüme becerilerini yitirmişti, bu durum hücrelerin biyokimyasal düzeneğinin de aynı şekilde değiştiğine işaret ediyordu. Genetik olarak farklı yönlerden yapılan birkaç ayrıntılı karşılaştırma, popülasyonların çoğunda veya hepsinde aynı değişikliklerin yaşandığını ortaya çıkarmıştı. Bu konuda yazılan makaleler popülasyonların sadece büyüme hızı ve hücre anatomisi açısından aynı biçimde evrimleşmediği, aynı şekilde bu gelişmenin altında yatan fizyoloji ve genetiğin de evrimleştiği sonucuna varıyordu.

2011 yılında, bu kez geçmişte evrimleşen 50 bin nesile bakan Lenski ifadesini yeniden teyit ederek şöyle diyordu: “Meğer evrim oldukça tekrarlanabilir özellikteymiş... Yeni nesiller birçok ayrıntı yönünden farklılık gösterse de, bu kadar çok sayıda fenotipik özellikte, hatta incelediğimiz gen dizilimlerinde bile benzer değişiklikler göstermeleri, evrimlerinin izlediği bu paralel gidişat beni şaşkınlık içinde bıraktı.”

Rich, Lenski’nin bilim kariyerine ilk adımlarını attığı dönemde dünyanın diğer ucunda başka bir genç adam üniversitede ilk bilim derslerine giriyordu. Paul Rainey de Lenski gibi biyolojiye âşıktı, Yeni Zelanda’daki Canterbury Üniversitesi’nde önce ormancılık, ardından botanik okudu. Lenski’den farklı olarak lisans eğitimini tamamladıktan sonra yüksek lisansa başvurmadı. Onun yerine geçmişte yarı profesyonel caz müzisyenliğiyle geçimini sağlamış biri olarak hemen Londra’ya gidip bir yılını Avrupa’yı dolaşarak, müzisyenlik yaparak, hayatı keşfederek, publarda çalışarak ve dünyayı tanıyarak geçirdi. Yeni Zelanda’ya döndüğünde ekmeğini saksofondan çıkarmaya devam etti, ama sonunda kız arkadaşının ailesinden gelen baskılar karşısında pes ederek bir süt şirketine satış yöneticisi olarak çalışmaya başladı. Üç ay sonra Rainey arzuladığı hayatın karton süt satışı ve market müdürleriyle toplantılardan ibaret olmadığı sonucu-

na vardı. Zaman zaman bazı gençlerde rastlandığı üzere okula dönmeye karar verdi. Kendisine uygun bir master programı araştırırken, ticari amaçlı mantar üretimiyle ilgili araştırmaya ilgi duyacak bir öğrenci için açılan kadroya rastladı.

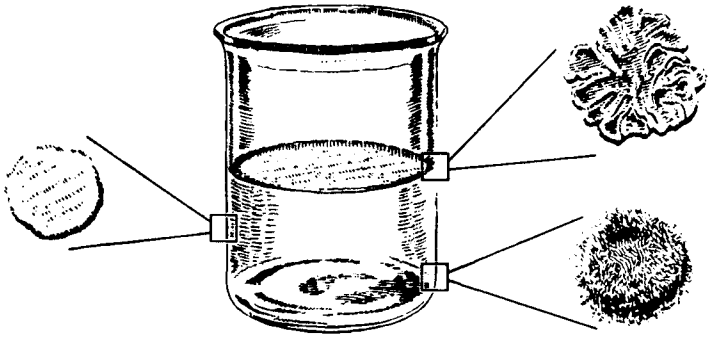
Projeye katılan Rainey, sadece mantar üretiminde rol oynamakla kalmayıp çok güzel de renkleri olan, *Pseudomonas fluorescens* adlı, koloni oluşturan bir bakteri çeşidinden haberdar oldu. Bakteri üretme tabaklarında yetiştirdiği bu bakteriler üzerine çalışmaya başladı. Çalışma ilerledikçe beklemediği bir şeyi fark etti: Bakteriler küçük Petri kaplarında zaman içerisinde değişiyor gibi görünüyordu. Bazıları renklerini yitiriyor ve saydamlaşıyor, aynı zamanda zehirliliğini kaybediyordu. Bazıları da aynı kabın içinde bölünerek farklı çeşitlere ayrılıyordu.

Merakı uyanan Rainey mantarlarla ilgili asıl çalışmasını sürdürürken bir taraftan da bu konuyla uğraşmaya girişip yeni büyüme ortamları ve çevreleri deneyerek bakterinin farklı çevrelere nasıl uyum sağladığına bakmaya başladı. Master çalışması doktora çalışmasına dönüştü, ardından mantarlarla ilgili doktora sonrası çalışmalar yürütmek üzere İngiltere'ye giderek önce Cambridge'te, ardından Oxford'da çalıştı.

Her şeyin birleşip bütünleştiği yer Oxford oldu. *Pseudomonas fluorescens* toprakta ve suda yaşayan bir bakteri çeşididir. Rainey'nin yaptığı işlerden biri, farklı konak bitkilerden bakteri suşları* numuneleri alarak bunları incelemektir. Bu tür bir suş, bölgedeki bir ormanda yetişen şeker pancarı bitkisinin yapraklarından toplanmıştı.

Bu numuneyi laboratuvara getirerek temel besinlerle dolu camdan bir laboratuvar bardağının içine koydu. Hafta sonu geçtikten sonra laboratuvara geri gelen Rainey, bakterilerin sıvı besinin üzerinde kalın yapışkan bir tabaka oluşturduğunu fark etti. Araştırmaya devam edince bakterilerin sıvı besinin içinde dokunulmadan bırakıl-

* Bir bakteri veya virüsün farklı alt türlerinin aralarında genetik farklılıklar bulunan gruplarına "suş" denmektedir; farklı suşlar arasında ilaçlara, dış etkilere dayanıklılık vb. özellik değişiklikleri olabilir. (Ç.N.)



Rainey'nin deneyinde *Pseudomonas fluorescens* farklı şekle sahip üç ayrı çeşide ayrıldı: düzgün (soldaki), kırışık yayılanlar (üstteki), tüylü yayılanlar (alttaki).

dığında laboratuvar bardağının farklı kısımlarına yerleşen üç farklı alt türe ayrıştığı ortaya çıktı. Tek bir atasal çeşidin çevrenin farklı kısımlarını kullanmaya uyarlanmış gibi görünen üç çeşidi ortaya çıkarması, minyatür bir uyumsal yayılım olarak başlı başına ilgi çekiciydi.

Rainey'nin laboratuvarında uyumsal yayılımı belgelemiş olması yepyeni bir şeydi, ama asıl büyüleyici olan, deneyi tekrar tekrar yapması, şeker pancarı seven bakterileri sıvı besinin içine koyması, kendi haline bırakması ve her seferinde aynı üç habitat çeşidinin ortaya çıkmasıydı. Hem de her seferinde.

Rainey, bakterileri deney bardağının içine ilk koyduğunda sıvı besinin her yerinde yuvarlak ve pürüzsüz halde bulunuyorlardı. Bunlara “düzgün” adını verdi. Fakat bir süre sonra düzgün tipler sıvının iç kısmına hapsolürken diğer iki tip evrimleşiyordu. Bu tiplerin ilki sıvının üzerinde tabakalar oluşturacak şekilde birbirine tutunan derin oluklu, engebeli uçları olan yuvarlaksı hücrelerdi. Rainey, bunlara da “kırışık yayılanlar” adını verdi. Diğer tiplerse düzgünlere benzer şekilde çok yuvarlaktı ama yoğun bir tüyle kaplıydı, bu yüzden “tüylü yayılanlar” adını aldılar. Tüylüler de, tıpkı kırışıklar gibi birleşerek yüzeyde bir tabaka oluşturuyordu ama onlar kadar yetenekli değildi ve çabucak deney bardağının dibine batıyor, virüsler kırışıklara

saldırdığında düzenli aralıklarla yüzeyde kısa süreliğine yeniden koloni oluştuyordu.

Bu uyumsal çeşitlenmenin neden yaşandığı açık değil; oksijen sınırlayıcı bir kaynak. Atasal düzgünler sıvının içinde yüzerken oksijen tüketiyorlar, bu da önce sıvının yüzeyindeki yüksek oksijen seviyelerinden faydalanabilen kırıksıkların, ardından da tüylü yayılanların evrimine yol açıyor. Böcek yiyen kertenkele türleri rekabeti en aza indirmek için farklı habitatlara uyarlanma sağladılar; oksijen atıştıran küçük hücreler de aynısını yapıyor.

Lenski, USED’de tür içinde yaşanan yakınsak evrimi ispatlamıştı, ama bu bir adım daha ileri gidiyor, aynı uyumsal yayılımı tekrar tekrar yaşıyordu. Bir *Pseudomonas fluorescens*’ı belirli besinlerle birlikte bir deney tüpünün içine koyuyor, birkaç gün kendi haline bırakıyor, sonra –o da ne!– düzgünler, kırıksıklar, tüylülerden oluşan bir karışım elde ediyordunuz. Sadece aynı üç tip ortaya çıkmakla kalmıyor, bunu öngörülebilir bir sırada yapıyor, hâkimiyet önce kırıksıklara geçiyor, tüylüler ancak ondan sonra ortaya çıkıyordu. Bundan daha iyi tekrarlanan bir şey olamazdı.

Oxford’daki doktora sonrası çalışmasının (ek çalışmasını sürdürdüğü) altıncı ayını tamamlayan Rainey, olayın temel hatlarını kavramıştı. Çalışmasını ilk kez araştırma laboratuvarının yarı yıl toplantısında kendi başına başarmış olmanın gurur ve heyecanıyla sundu. Bu oturumlar enstitü müdürünün çalışma odasında yapılıyordu. Enstitü yöneticisi, kuşağının birçok moleküler biyologu gibi moleküllerin çalışma biçiminin anlaşılmasına tamamen odaklanmamış biyolojik araştırmaların hepsini küçümseyen seçkin bir virologtu.

Rainey’nin sunumu sırasında yönetici sözünü keserek çalışmanın değersiz olduğunu, çünkü farklı tipler ortaya çıkarken yaşanan moleküler değişimleri anlamaksızın yaşananları sadece kaydetmekle yetindiğini söyledi. Rainey’nin bundan böyle enstitüde bu tarz çalışmalar yürütmesi yasaklandı.

Resmen yıkıldığını söylememize gerek yok. Fakat Rainey kendi sözleriyle “inatçı bir herif”ti ve bu yasaklama onun meseleyi iyice

araştırıp temeline inme yönündeki azmini pekiştirdiğiyle kaldı. Çalışmaya devam etti ve bu kez gizlice sürdürdü.

Olumsuzluk-belirlenimcilik tartışmasındaki temel meselelerden biri tesadüfün önemi, rastlantısal olayların geleceği şekillendirilme derecesidir. Bu tür olaylar evrimde de insan tarihindeki kadar önemli olabilir elbette. Biz de şu anda Paul Rainey'nin hikâyesinde tesadüfün rol oynadığı yere geldik. Rainey, laboratuvar toplantısının üzerinden fazla zaman geçmeden Oxford'a bir yıllık çalışma izniyle kadroya alınan bir araştırmacının geldiğini haber aldı: Rich Lenski.

Rainey, hemen tanışmak için randevu istedi ve buluşmaları çabucak süreklilik kazandı. Rainey'nin dar görüşlü patronunun aksine Lenski çalışmanın taşıdığı önemi gördü. Cesaret ve tavsiye vermekle kalmadı, Rainey'nin çalışmasını sürdürmesi için prestijli bir doktora sonrası projesine kabulünü destekleyen bir mektup kaleme aldı. Rainey, 1994'te kabulü alarak *Pseudomonas* araştırmasına tam zamanlı odaklanma olanağını elde etti.

Bir yıl sonra Lenski ünlü Mikrobiyal Popülasyon Biyolojisi Üzerine Gordon Araştırma Konferansı'na başkan seçilince Rainey'i konuşma yapması için davet etti. Bu çalışmanın kamuoyuna ilk açıklanışı oldu ve Rainey keşfettiği her şeyi anlattı. Konuşma çok etkileyiciydi ama yürüttüğü araştırma programı o dönemde yapılanların hepsinden farklıydı ve bu yüzden dinleyen biliminsanlarına yabancıydı. Rainey'nin üç habitat uzmanı için önerdiği evcil hayvan isimlerinden vazgeçmemiş olması da pek yardımcı olmamış olsa gerek; zira "kırıksık yayılanlar" ve "tüylü yayılanlar" gibi isimler önemli bir araştırma programının parçası olmaktan çok, çocuk kitaplarından çıkma gibi duruyor. Sıkıcı teknik isimler bulmak muhtemelen daha iyi olurdu; örneğin tüylüler için "Koloni Büyüme Formu IIa, Pilose" gibi bir şey. Öyle veya böyle çalışmanın özgünlüğü, komik isimler ve Rainey'nin kendine özgü sunum tarzı, sunum esnasında epey bir kaha-kahaya yol açtı. Rainey, bugün bile kaçının dalga geçmek için, kaçının beğendiği için güldüğünü bilmiyor.

Her şeye karşın Rainey, genel olarak olumlu karşılanarak teşvik

gördü. Ertesi sene, beş yıllık doktora sonrası çalışmasının ikinci yılında Oxford onu öğretim üyesi olarak (ABD'deki denkliği asistan profesörlük*) işe aldı. Çalışmasına ayrılan fonla coşan Rainey, kendi doktora sonrası çalışanını işe aldı; Gordon Konferansı'nda tanıştığı Michael Travisano adlı genç araştırmacı Lenski Lab'de deneyim kazanmıştı. Travisano ve Rainey, çalışmayı tamamlayarak iki yıl sonra şu an klasikleşmiş olan makalelerini *Nature* dergisinde yayımladılar.

Lenski'nin USED'i ile Rainey'nin tekrarlanan mikrobiyal uyumsal yayılımı evrim biyolojisinde yeni bir alt bilim dalı yarattı. Başlangıçta çalışma birkaç laboratuvarla sınırlıydı. Ama bu aşama fazla uzun sürmedi. Bir kere akademik nesil kısa ömürlü; laboratuvar çocukları çabucak büyüyor, sakalları çıkıyor ve kendi laboratuvarlarını kuruyor. 1990'ların sonuna geldiğimizde Lenski'nin öğrencilerinden bazıları öğretim üyesi olmuş, uzun süreli deneysel yaklaşımı başka kurumlarda sürdürür hale gelmişti. Ek olarak bağımsız biçimde bu yaklaşımı benimseyenler olmuş, araştırma tabanını genişletmekle kalmamış, üzerinde çalışılan organizmaların çeşitliliği de artmıştı. Lenski'nin bir düzine deney tüpüne *E. coli* fişkırtmasının üzerinden çeyrek yüzyıl geçtikten sonra bugün sadece bu konuyu ele alan konferansların yapılmasını mümkün kılacak kadar çok sayıda (belki yüzlerce) laboratuvar ve deneysel evrim çalışması yürütüyor.

Bu çalışmaların çoğu hayli kısa süreli oluyor; örneğin *Pseudomonas* deneyleri sadece on gün sürdü. Fakat giderek daha fazla araştırmacı Lenski'nin yaklaşımına öykünüyor ve uzun süreli deneyler yürütmeye girişiyor.

USED elbette bu tür çalışmaların piri ve öncüsü konumunda ve insanları uzun süreli deneysel evrim çalışmasını devam ettirebilmek için gerekenleri düşünmeye sevk ediyor. Yirmi yedi yıldan fazla süredir birileri her gün Lenski laboratuvarında aktarımları gerçekleştiriyor, her popülasyonu yaşadığı çevreden alıp yeni hazırlanan glikoz ortamı dizisine aktarıyor. Asıl işlem sadece birkaç dakika alsada, esas etkileyici olan organizasyon ve uygulama. Çalışma ayrımsız her

* Türkiye'de yardımcı doçent doktor. (Ç.N.)

gün, tatillerde ve kar fırtınalarında, hastalıkta, sağlıkta, düğünde, cenazede devam ediyor. Lenski Lab'deki herkes yıllardır hizmet veren laboratuvar müdürü Neerja Hajela'nın adını projenin bu kadar uzun süre başarıyla sürmesinde oynadığı rolle anıyor.

Aktarımların gündelik düzeni 27 yılda yalnızca üç kez aksadı. İlki Lenski Lab'in 1991 yılında Irvine'deki Kaliforniya Üniversitesi'nden Michigan State'e taşınması sırasında oldu. Bir laboratuvarın taşınması karmaşık bir süreçtir ve bu durum, projeye ara vermeyi gerektirdi. Bu kadar uzun bir ara sorun değildi. *E. coli* birçok mikrop gibi bir süper güce sahiptir: Dondurulabilir, bilimkurgu filmlerindeki astronotlar gibi canlı olarak uyutulmuş halde tutulup sonradan buzu çözülerek hiç kaygıya mahal kalmadan hayata döndürülebilir. USED deneyi aynen böyle derin dondurucuya koyularak ülkenin diğer tarafına tırlarla taşındı. Dokuz ay sonra popülasyonların buzu çözüldü ve deney kaldığı yerden devam ettirildi.

İkinci ve üçüncü kesinti daha kısaydı; 2007 ve 2010 kışında laboratuvardaki herkes tatildegdi, bu yüzden proje geçici olarak askıya alındı. Bu durum bir daha tekrarlanmadı ve proje son yedi yıldır her gün devam ediyor.

Deneyssel evrim araştırmacıları hem araştırma tasarımı hem de ele aldıkları sorunlar açısından çok çeşitli yaklaşımlar geliştirdiler. Yine de birçok çalışma Lenski-Rainey yöntemini takip ederek özdeş ortamlarda tekrarlanan popülasyonlar oluşturdu ve evrimin bütün popülasyonlarda paralel biçimde gerçekleşip gerçekleşmediği sorusunu araştırdı.

Hem USED hem de Rainey'nin çalışması tekrarlanan popülasyonların hemen hemen aynı biçimde evrimleştiğini bulduğuna göre, başka deneylerin farklı sonuç vermesini beklemeye gerek var mı? Başka bir deyişle eğer başlangıçta özdeş popülasyonlar özdeş ortamlara uyarlanıyorsa, neden aynı biçimde uyarlanmasınlar?

Göz önüne alınması gereken iki şey var. Birincisi popülasyonlar evrimleşmek için genetik varyasyona ihtiyaç duyar. Varyasyon yoksa değişim becerisi yoktur – doğal seçim bir varyantın karşısında bir diğerini kayırarak işler; varyasyon yoksa, seçilimin işleyeceği bir şey

yok demektir. Popülasyonlar başlangıçta genetik varyasyona sahip olmadığı için, sonraki evrimin hepsi deneyin başlamasından sonra gerçekleşen mutasyonlara dayanır. Dolayısıyla bu da popülasyonların evrim seyrinin her kopyalamada gerçekleşen mutasyonlar tarafından şekillendirilebilmesi anlamına gelir. Popülasyonlar arasında evrimsel farklılıkların ortaya çıkmasının temel nedeni, farklı popülasyonlarda farklı mutasyonların gerçekleşmesidir.

Dahası bir mutasyonun bir popülasyonda yerleşik hale gelip gelmemesi, mutasyonların oluşma sırasına dayalı olabilmektedir. Bir mutasyon eğer daha önce başka bir mutasyon yerleşik hale gelmişse faydalı olmayabilir veya tersi, önce başka bir mutasyonun yerleşik hale gelmesi gerekebilir. Bu yüzden iki popülasyonda aynı mutasyonlar gerçekleşse bile, mutasyon sırasındaki farklılıklar sonucunda farklı evrimsel sonuçlar ortaya çıkabilir.

Popülasyonların paralel biçimde evrimleşip evrimleşmeyeceğini etkileyebilen ikinci etmen, ortamın doğurduğu bir sorunun birden fazla çözüm yolu olmasıdır. 3. Bölüm’de değindiğimiz üzere, benzer ortamlarla yüzleşen türler, eğer aynı işlevsel tepkiyi üreten farklı fenotipler evrimleştirirlerse (iyi yüzme becerisi güçlü kuyrukların, ön ayakların, arka ayakların sonucu olabilir) veya seçim şartlarına uyarlanmanın birden çok işlevsel yolu varsa (yeni bir avcıya yanıt olarak fark edilmekten kaçınmak için kamuflaj veya kaçmak için uzun bacaklar evrimleştirmek) yakınsak biçimde uyarlanma göstermeyebilirler. Fakat gördüğümüz bir şey daha var, onu da unutmayalım; yakın akraba popülasyonların genetik benzerlikleri nedeniyle aynı biçimde evrim göstermeleri uzak akrabalara oranla daha olasıdır.

Göz önüne alınması gerekenleri belirttiğimize göre, mikrobiyal evrim alanında yapılan deneysel çalışmalarda beklentimiz ne olmalı? Hem Lenski’nin hem de Rainey’nin deneylerinde kopyalanan popülasyonlar büyük bir çoğunlukla aynı biçimde evrim gösterdi. Genel kural bu mu?

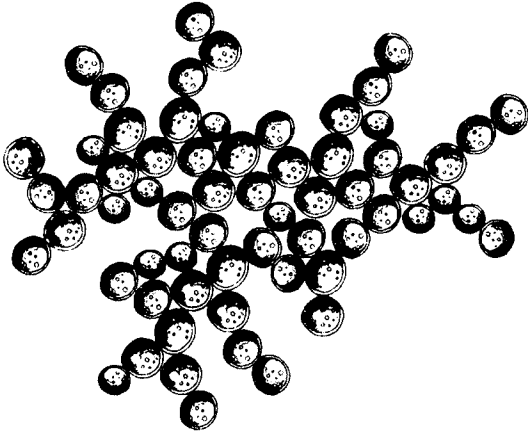
Bu önermenin değerlendirilmesi zor çünkü çalışmalar evrimi farklı biçimlerde inceliyor. En açık örnek oluşturanlarsa *E. coli* de-

neylerindeki büyük hücreler veya üç farklı *Pseudomonas* hücre tipi gibi, popülasyonları kalıtsal özelliklerinin tekrar tekrar benzer biçimde evrimleşip evrimleşmediğini görmek amacıyla inceleyen çalışmalar.

Deneylerde yaygın şekilde kullanılan bir başka organizma da, insanların yüzyıllardır ekmek, şarap ve bira yapımında kullandığı, hepimizin bildiği maya: *Saccharomyces cerevisiae*. Son dönemlerde bu maya hayatımızda yeni bir rol daha oynamaya soyundu: Moleküler biyoloji araştırmalarında model organizma haline geldi. Mayalar bahsetmiş olduğumuz diğer mikrobiyal türlerden farklı olarak ökaryottur; aynı bizim hücrelerimiz gibi, her hücrenin içinde DNA'yı barındıran dışa kapalı bir çekirdeğe sahiptir. Bu özellik biyolojilerini insanlarla ve diğer büyük organizmalarla daha ilişkili hale getirir.

Çekirdeği olmasına rağmen, her maya birey yalnızca bir hücreden oluşur. En azından genellikle böyledir. Her yere yettiği görülen (artık Minnesota Üniversitesi'nde kendi laboratuvarının başına geçmiş) Michael Travisano'nun başkanlığında bir grup araştırmacı, yaşamın evrimsel tarihinde önemli bir dönüm noktası olan tek hücrelilikten çok hücreliliğe geçiş konusunda çalışmak istedi. Bu değişimin nasıl yaşandığı, tekil organizmaların bağımsızlığını yitirmesini ve ortak çıkar uğruna beraber çalışma yönünde evrim göstermesini içerdiği için evrim biyologları açısından özellikle ilgi çekici bir konudur. Başlangıçta bağımsız olan hücreler neden sadece bazı hücrelerin yeniden üretildiği çok hücreli bir organizma oluşturmak için bir araya gelsin? Kendi bedeninizi düşünün; beyninizde, gözlerinizde, bacaklarınızda, bedeninizin her yerinde hücrelere sahipsiniz. Ne var ki pek az sayıda hücreniz, sadece yumurtalarınızda ya da sperminizdeki hücreler üreme ve DNA'larını bir sonraki nesle aktarma olanağı elde edebiliyor. Geriye kalan hücrelerin bu işten çıkarı ne? Bu epeydir tartışılan bir soru ve anlaşılan o ki Travisano da laboratuvarında evrim üzerine çalışarak bu sorunun peşine düşmüş.

Peki, tek hücreli organizmaları birlik oluşturmaya nasıl teşvik edersiniz? Araştırmacılar büyük boyut seçilimi yapma yoluyla hücrelerin daha büyük bir kütle oluşturmak üzere bir araya gelme yö-



Travisano'nun deneyinde kar tanesi şeklinde oluşan maya toplaşmaları.

nünde evrimleşmesini teşvik edebileceklerini fark ettiler. Travisano'nun ekibi başarılı bir plan oluşturmadan önce atılan adımlar başarısız olmuştu. Ağır kütlelerin sıvıyla dolu bir test tüpüne yerleştirildiğinde daha çabuk battığını tespit eden ekip, hücrelerin on saniye boyunca bir santrifüj etrafında döndürüldüğü bir cihaz kurdu. Dibe en çabuk batanlar (dipteki %1) çıkartıldı ve çoğalmaları için yirmi dört saat boyunca bir test tüpüne yerleştirildi, ardından dönme döngüsüne yeniden sokuldular, bu süreç iki ay boyunca her gün tekrarlandı. Hızlı batma seçilimi tam da beklendiği gibi sonuç verdi ve 10 popülasyonun hepsinde büyüklük artışına yol açtı.

Hücreler, deneyde yer alan biliminsanlarının tam da beklediği gibi birbirine yapışarak kar tanesine benzer çok hücreli toplaşmalar oluşturdu. Üstelik birleşmenin oluşma mekanizması 10 popülasyonun hepsinde aynıydı. Bira yapımında olduğu gibi tekil maya hücrelerinin bir araya gelmesi yerine, bu çok hücreli kümeler çoğalma sürecindeki değişimler üzerinden evrimleşmişti. Normalde maya *E. coli* gibi çoğalır, bir hücre iki hücreye bölünür, ardından bunların yolları ayrılır. Fakat kar tanelerinde bölünme süreci başlamış, iki hücre oluşmaktayken son adım olan iki parçaya ayrılma gerçekleş-

memiş, geride hücreler bölünmeye devam ettikçe daha da büyüyen, büyük, bağlantılı bir yapı kalmıştı.

Bu deney Lenski'nin ve Rainey'nin gruplarının yaptığı çalışmalardan farklılık göstermektedir elbette, zira araştırmacılar organizmaları yeni bir ortamın içine koyup doğanın iş görmesini beklemek yerine, seçilimi doğrudan yaptırmışlardır. Bu uzun süreli bir evrim deneyi değil, Lenski'nin deyimiyle bir seçim deneyiydi. Buna rağmen Travisano'nun çalışmalarının mesajı Lenski'nin ve Rainey'nin çalışmasıyla hemen hemen aynıdır; aynı seçim çevresiyle karşılaştığında popülasyonlar bağımsız olarak aynı biçimde evrim göstermiştir.

Uzun süreli laboratuvar evrim deneylerinin çoğu Travisano, Lenski ve Rainey'nin çalışmalarının aksine fenotipik özellikleri ölçmez. Nedeni basit: Bunu yapmak çok zordur. Mikroplar küçüktür, anatomilerinin veya fizyolojilerinin doğru ölçümünü almak çok zaman alan ve gayret isteyen bir iştir. Bu nedenle fenotiplerin ne ölçüde aynı biçimde evrim geçirdiği bu çalışmalarda genellikle değerlendirilmez.

Bunun yerine çoğu çalışma evrimsel tekrarlanabilirliğin sorgulanmasında tamamlayıcı bir veya iki yaklaşım izler. Yöntemlerden biri, popülasyonun büyüme hızının ata popülasyonun büyüme hızıyla karşılaştırılmasıdır. Popülasyonlar zamanla yeni ortamlara daha iyi uyum sağlama eğilimi gösterir, bu nedenle de popülasyonun büyüklüğü (tekil hücrelerin sayısı) daha çabuk artar. Birçok çalışma çeşitli deney popülasyonlarında uyarlanmada görülen artışın niceliksel olarak çok benzer olduğunu saptamıştır. Lenski'nin deneyinde büyüme hızında ortalama artışın %70 civarında ve popülasyonlar arasındaki farklılığın pek az olduğunu hatırlayalım.

Başka bir takımın yaptığı bir başka *E. coli* çalışması da benzer sonuçlara yol açtı. Araştırmacılar 114 popülasyon oluşturdu ve bunları 2.000 nesil boyunca çok yüksek sıcaklıklara maruz bıraktı. Büyük ihtimalle bu durum, sıcak su havuzunda yaşamının doğurduğu sıkıntılara karşı koyma yönünde işleyen fizyolojik uyarlanmalar için seçilime yol açtı, ama araştırma konusu fizyoloji değildi. Araştırma-

cılar büyüme hızında ata nesille karşılaştırıldığında çok istikrarlı, yaklaşık %40 düzeyinde bir artış belirlediler.

Deney popülasyonlarının uyumluluklarını aynı miktarda artırdığına dair bu ortak bulgu, bize uyarlanmalarını aynı ölçüde geliştirdiklerini söylüyor, ama bunu nasıl başardıklarını söylemiyor. Uyarlanmalarının artışıdaki benzerlik belki de aynı özellikleri evrimleştirdikleri için ortaya çıktı, fakat eşit ölçüde uygun olan farklı özelliklerin denk gelip evrimleşmesi nedeniyle de gerçekleşmiş olabilir.

Tekrarlanan evrimin saptanmasında ikinci yaklaşım, deneysel eşlemeler arasında yaşanan genetik değişimleri karşılaştırmaktır. Günümüzde bireylerin genomlarının hepsini birden çabucak ve ucuzca dizilemek mümkün. Bu tür çalışmalarda deney popülasyonlarında yaşanan genetik değişimlerin çoğunlukla aynı genlerde gerçekleştiği sıklıkla tespit ediliyor. Örneğin sıcak su havuzu deneyinde 114 deney popülasyonunun 65'inde belirli bir gende mutasyonların yaşandığı görüldü. Üstelik mutasyonlar farklı genlerde gerçekleştiğinde de, genellikle hemen hemen aynı işlevle bağlantılı genlerde gerçekleşti ki, Lenski'nin çalışmalarında da aynı sonuç elde edilmişti.

Deney popülasyonlarında yapılan bu genetik karşılaştırmalar düşünülürken, birkaç şerh düşmekte fayda var. Birincisi hemen hemen tüm vakalarda deney popülasyonlarının aynı gende mutasyon elde etmesi, tesadüfen elde etmelerinden daha sık görülecektir, ama bunun popülasyonların genetik evrimlerinde özdeş olmasıyla hiç alakası yoktur. Örneğin *E. coli* sıcak su havuzu popülasyonlarının her ikisinde de, bir popülasyonda mutasyona uğrayan genlerin yalnızca %20'si diğerinde de mutasyon edinmiştir. Dolayısıyla deney popülasyonları istatistiksel açıdan genetik yönden benzer biçimlerde evrimleşme eğilimi göstermektedir, fakat evrimsel açıdan popülasyonlar arasında birçok farklılık da görülmektedir.

Üstelik iki popülasyon aynı gende bir mutasyon elde ettiğinde bile, genellikle mutasyonlar aynı değildir ve genin içerisinde farklı DNA pozisyonlarında değişimleri temsil ederler. Bu tür mutasyonların benzer fenotipik değişimler üreteceği yönünde bir varsayım kulağa mantıklı gelebilir. Ne var ki aynı gen içerisinde farklı mutasyon-

ların, genin işleyişi üzerinde önemli ölçüde farklı etkilere sahip olması ve bu nedenle farklı fenotipik sonuçlara yol açması her zaman mümkündür. Elimizde fenotipik veriler olmadan bundan emin olamayız.

Bu şerhlere rağmen mikrobiyal evrim deneylerinde tekrarlanabilirliğin yüksek olduğu sonucuna varmak makuldur. Lenski ve Rainey deneyleri en bilinenleridir, ama genel olarak diğerleri de benzer bir mesaj vermektedir: Popülasyonlar kabaca aynı hızda uyarlanma göstermekte ve bunu (bildiğimiz kadarıyla) daha çok benzer uyarlanmalar geliştirerek yapmaktadır. Bu paralel sonuçlara ulaşmakta aynı gen kümelerini kullanma eğilimi göstermektedirler. Bu sonuçlar evrimin defalarca aynı yolu, en azından makroskobik düzeyde izlediğini göstermektedir; özdeş seçilim baskılarına maruz kalan özdeş popülasyonlar genellikle çok benzer biçimlerde evrim gösterecektir.

Büyük bir istisna hariç.

ŞİŞEDEKİ BULUŞ

USED'in çalışma yapısı deney tüplerinin hafta sonları ve tatiller dahil, yılın her günü değiştirilmesini gerektiriyordu. Laboratuvar çalışanlarının çoğu bu işte görev alıyordu. Laboratuvar müdürü Nerja Hajela, *E. coli*'lerin glikozu biten deney tüplerinden alınıp tedariği tazelenmiş yeni evlerine nakilleri için gereken işlemleri işin acemelerine özenle öğretiyor, ilk yaptıkları birkaç seferi dikkatle gözlüyordu. Ayrıca Hajela her ay bir takvim oluşturarak hafta sonu ve tatil nöbetlerini belirliyordu.

2003 yılı Ocak ayının sonuna doğru kıştan kalma bir cumartesi günü, USED hafta sonu nöbet sırası Lenski Lab çalışanı Tim Cooper'daydı. Daha önce birçok kez yaptığı bir işti, ama karlı, soğuk ve rüzgârlı bir havada muhtemelen evde kalmayı tercih ederdi. Her neyse, görev başına geçmek gerekiyordu ve laboratuvara doğru yola koyuldu.

İşin bu kısmı Cooper'ın çok hoşuna gidiyordu. Deney 14 yıldır devam ediyordu ve önemli bilimsel keşiflere yol açmıştı. Bakterileri gıdalarının tükendiği evlerinden kısa süreliğine de olsa kaynak zen-

gini yeni şişelerine aktarıırken, şimdiden evrim biyolojisi tarihindeki önemini kanıtlamış olan işi sayesinde bilim tarihinin bir parçası olduğunu hissetti. Düşen kar tanelerinin arasında ilerlerken bizzat kendisinin de bu tarihin bir parçası olacağını beklemiyordu.

O sabah laboratuvara ulaştığında hemen çalışmaya koyuldu. Steril cam kaplarla dolu dolaba gitti ve yeni deney tüplerini çıkardı. Hepsi tek tek hafif yana yatık halde geniş ağızlı cam kapların içerisine konmuştu, kapların delikleri havayla gelen bakterilerin deney tüpünün içine girmesine ve bulaşmasına engel olacak şekilde yukarıdan kapanıyordu. Deney tüplerini etiketledikten sonra önceden hazırlanmış ortam şişesini eline aldı ve her yeni tüpün içine dikkatle 9,9 mililitre damlattı.

Şimdi en önemli nakillerin zamanı gelmişti. Besinsizlikten kıvranan mikroplar günün büyük bölümünde sessizce oturup beklemişti. İçlerinden şanslıları tüketmeyi, bölünmeyi ve işgal etmeyi sürdürecekleri yeni ziyafet ortamına davet edilecekti. Cooper dondurma dolabı kuvvüzüne gitti ve USED popülasyonlarına ev sahipliği yapan deney tüplerini çıkararak laboratuvar tezgâhına götürmek üzere bir tepsiye yerleştirdi. Orada ortamın az bir miktarı (0,1 mililitre) eski deney tüplerinden çekilerek başka bir günün popülasyon büyümesini başlatacak yeni deney tüplerine aktarılacaktı. Cooper'ın çalışma alışkanlığı her seferinde iki deney tüpünü birden çıkarmak, ikisine birden hızla bakmak, ardından tepsinin içine koymaktı. İçindeki zekâ fışkıran takıntılılıkla yaptığı işi bir meydan okumaya dönüştürmüş, mikropları eski evlerinden yeni ikametgâhlarına taşımak için gereken zamanı en aza indirmeye çalışıyordu.

Bir deney tüpünde *E. coli* hücrelerinin sayısı artınca sıvı netliğini biraz kaybeder; bunun olduğunu nakil günü içerisinde kolayca görebilirsiniz, ama ertesi gün görüntü biraz daha anlaşılabilir olur. Cooper'ın görevi, nakil öncesinde yapacağı incelemede deney tüpü içerisindeki sıvıların hepsinin gereğine uygun bulanıklıkta olduğundan emin olmaktı; fazla berrak olursa geçen gün bir şeyler yolunda gitmemiş ve deney tüpünde bakteri yok demektir, yeterince saydam değilse de başka bakteri türlerinin bulaşması sonucunda bakteri popülasyonunda patlama var demektir. Bu şekilsel bir görevdi; Cooper,

çalıştığı üç yılda, bir gün önceden kalma tüpler içerisinde hafif bulanık olmasına hiç rastlamamıştı.

Cooper, deney kaplarının güvenli şekilde üstlerinde olmalarına dikkat ederek ilk iki deney tüpünü dolapta yer alan metal platformun üzerindeki kulplarından çıkardı. Hızla bir göz attı, yolunda gitmeyen bir şey görünmüyordu. İkinci deney tüpü çifti de aynı görünüyordu. Sırada Ara-3 ve Ara+3 olarak adlandırılan popülasyonları (anlamını açıklamaya değmez) içeren tüpler vardı. Bu tüpleri kaldırdığında... “hayatının şokunu yaşadı” dersek fazla dramatik olabilir ama gördüğü gerçekten büyük bir sürpriz oldu. Ara-3’ün bulunduğu tüpteki sıvı saydam değildi ve çorba kıvamındaydı. Opaklık bir bakteriyel popülasyon patlamasına işaret ediyordu ve *E. coli*’ye her gün sınırlı besin sağlandığı düşünülüyordu olmaması gereken bir şeydi.

Deneyin geride kalan 14 yılı içerisinde benzer durumlar, içerideki koşullardan faydalanmaya daha uygun başka tip bir mikrobun deney tüpüne girmesine izin veren çuvalamaların sonucunda birkaç kez ortaya çıkmıştı. Bu tür bir yanlış adım öngörülebilir bir sorundu ve Lenski Lab buna hazırlıklıydı. Her gün bir popülasyon yeni tüpüne (adına T1 diyelim) nakledildikten sonra, eski tüp (T0) saklanarak bir günlüğüne buzdolabına yerleştirilirdi. Ertesi gün yeni tüpün (T1) bulanık, dolayısıyla muhtemelen bulaşık olduğu görülürse, o tüpün içindekiler ıskartaya çıkarılır ve o günün tüpüne (T2) buzdolabındaki eski tüpten (T0) aktarma yapılırdı. Esasen deney bir gün atlıyor (bulaşmanın gerçekleştiği düşünülen günü) ve yeni tüpe aktarım yapmak için iki önceki günün eski tüpüne başvuruluyordu. Cooper, laboratuvar protokolünü takip ederek aynen bunu yaptı ve yeni Ara-3’e aktarım yapmak için cuma günü buzdolabına koyulmuş Ara-3 tüpünü kullandı.

Lenski Lab’de hafta sonu nöbeti iki gün sürüyordu, dolayısıyla Cooper pazar günü geri geldi. Şaşkınlıkla Ara-3’ün yine bulanık olduğunu gördü. Merakına gem vuramayan Cooper, tüpten küçük bir numune alarak mikroskopta inceledi. Az sayıda *E. coli* hücresi ile çok sayıda başka tipte, bulaşan her neyse o tipte bakteri görmeyi bekliyordu. Ne var ki hücrelerin hepsi *E. coli* gibi görünüyordu. Çoğu bakterinin mikroskopta *E. coli* gibi göründüğünü kabul edelim, dola-

yısıyla bu gözlem kesin karar anlamına gelmiyordu. Bunun büyük bir şey olabileceğini düşünen Cooper yine de heyecanlanmıştı.

Laboratuvarın kalıcı bulaşmalar, geçen günün tüpü kullanıldığında bile devam eden bulaşmalar için de bir protokolü vardı. Bulaşanların tüpe ne zaman girdiği nereden bilinecek? Herhalde birkaç gündür oradaydılar ve bu zamanı sayılarını baş gösterme düzeyine ulaşana dek çoğaltmakla geçirmişlerdi. Laboratuvarın sırf bu olasılık için her günün numunelerini muhafaza etmesi mümkün değildi, buzdolabındaki alan da bir yere kadardı. Zamanda bir gün geriye gitmek bulaşma sorununu çözmüyorsa, sıradaki adım B planını uygulamaktı.

Laboratuvar prosedürü izlenerek saat biraz daha geriye alındı, üç hafta önceye gidildi. Bunun mümkün olma nedeni *E. coli*'nin kriyojenik kabiliyetleriydi. Mikrobun canlılığı askıya alınmış durumda hayatta kalıp sonradan çözülebilme becerisi deneyin belirli süreler zarfında durdurulabilmesine izin vermekle kalmıyor, aynı zamanda araştırmacıların ihtiyaç duyulduğunda deneyin daha önceki zamanlarından numuneleri alarak canlandırmasına olanak sağlıyordu.

Deneyin her 500 neslinde bir (yaklaşık 75 gün) Lenski Lab çalışanları bir deney tüpündeki popülasyonun kullanılmamış %99'unu titizlikle etiketlenmiş cam şişeciklere aktarıyor ve bunları -80°C'deki soğuk ötesi dondurucunun içine dikkatle yerleştiriyordu. Geçmişte de deneyde terslikler doğduğunda araştırmacılar dondurucuya (ekibin taktığı isimle "donmuş fosil kayıtlarına") başvurarak en son arşivlenmiş numuneyi almış ve deneyi o noktadan tekrar başlatmıştı.

Numunelerin tutulduğu dondurucunun adı Avalon, çoğaltılan numunelerin koyulduğu yedekleme dondurucularının isimleri de Kyffhäuser, Valhalla ve Sheshnag. Bu isimlerin önemi ne biliyor musunuz? Ben bilmiyordum. Zack Blount'a göre (kendisiyle birazdan tanışacağız) yedekleme dondurucuları adlarını "efsane ve söylence-lerde büyük kahramanların kendilerine yeniden ihtiyaç duyulana dek uyuduğu yerlerden alıyor".

Daha önce bulaşma zannedilen tüm vakalarda laboratuvar Avalon'daki numunelerden yeniden başlangıç yaptığında sorun ortadan

kalkmıştı; diriltile popülasyonlar normal davranmış, deney tüpleri de berrak hallerine dönmüştü.

Fakat bu sefer öyle olmadı. Birkaç hafta sonra bulanıklık geri döndü. Yapılan yeni incelemeler nedenin bulaşma olmadığını gösterdi. Tersine tüpün gerçek sahipleri bir popülasyon azgınlığı içerisindeydi. Ara-3 popülasyonundaki *E. coli*, normal popülasyon büyüklüğünün on katına kadar çıkacak bir biçimde evrim göstermişti.

Ara-3 popülasyonunun büyüklüğü her gün sağlanan asgari miktardaki glikozla beslenemeyecek kadar fazlaydı. Görünen o ki, bu tekil popülasyondaki mikroplar sıvı besinlerindeki başka bir şeyden, hep orada olan ama diğer popülasyonların hiçbirinin daha önce faydalanmayı başaramadığı bir şeyden beslenme yetisi geliştirmişti. Bariz aday, limon yediğimizde ağzımızı ekşiten sitrik asidin bir türevi olan sitrattı.

Teoride sitrat *E. coli* için uygun bir enerji kaynağıydı. Aslında oksijen olmadığında *E. coli* ortamdan içine sitrat alarak beslenebilir. Fakat oksijenin olduğu koşullarda *E. coli* sitrat yemez. Nedeni sitrattı *E. coli* hücresinin içine sokma işini bir proteinin yerine getirmesidir; bu taşıyıcı protein hücre duvarından dışarı uzanır, sitrat moleküllerini yakalar ve sindirilmek üzere içeri çeker. Bu protein *citT* adı verilen ve sadece oksijen olmayan çevrelerde aktifleşen bir gen tarafından üretilir. Bu özel düzenlemenin neden evrimleştiği bilinmemektedir.

E. coli'nin oksijen varken sitrat kullanamaması o kadar yaygın ve mutlak ki, bu özellik bir bakterinin *E. coli* olup olmadığını saptanmasında tanılayıcı laboratuvar aracı olarak kullanılır. Bilim yazarı Carl Zimmer'a göre *E. coli* "dünyada üzerinde en yoğun çalışılan türdür". Buna rağmen, geçen yüzyılda organizma üzerinde yapılan sayısız deneye karşın *E. coli*'nin oksijenin olduğu koşullarda sitrat kullanma becerisi geliştirdiği tek bir laboratuvar vakası olmuş, şimdiye kadar görülen bu tek vaka da 1982 yılında gerçekleşmiştir.

DeneySEL ortamın içinde sitrat olması tarihi bir tesadüftü. Daha önceki araştırmacılar sitrattı *E. coli* deneylerinde kullanmıştı ve geçmişte işe yaradığı için Lenski de denenmiş ve kendini kanıtlamış bu

reçeteden şaşmamıştı. 1982 yılındaki çalışmadan haberdar olduğu için acaba bir popülasyon ondan faydalananak şekilde uyarlanma gösterir mi, diye düşündü, ama bu düşünce *E. coli* nesilleri sitrat cevizi kırılmakta birbiri ardına başarısız olunca kayboldu.

Ta ki 33.127. nesildeki bulanıklığa kadar. Bulaşma olasılığı elendikten sonra akla gelen ilk hipotez sitrat kullanımıydı. İlk testler olumlu çıktı: Ara-3 numuneleri içinde sitrat olan ama glikoz olmayan bir deney tüpüne koyulduklarında hayatta kalıp gayet iyi gelişme gösterdiler.

Bu noktada Ara-3 içinde neler döndüğünü anlama işi bu kez doktorasını Yale'den almış moleküler genetik uzmanı Christina Borland'a verildi. Sağlam kanıtlar elde etme görevi ona düşmüştü. Önce normal saptama yöntemlerinde görünmeyen, sitrat yiyebilen bir bulaşıcının popülasyonu ele geçirme olasılığını eleddi. Ardından sitrat yiyen kolibasillerinin kesinlikle Ara-3 olup olmadığını saptaması gerekiyordu; belki de popülasyonu bir şekilde sitratı nasıl kullanacağını çözmüş başka bir *E. coli* tipi kirletmiş olabilirdi. Yaptığı DNA analizi, popülasyonun içerdği mutasyonların uzun zamandan beri Ara-3'ü karakterize ettiğini gösterdi.

Varılacak tek sonuç kalmıştı: Lenski Lab'de 14 yıldır deney şişelerinde yaşamış olan bu tekil popülasyon, çok büyük bir evrimsel sıçrama göstermişti. Popülasyon bir şekilde, mutasyonların ve doğal seçilimin doğru biçimde karışımı yoluyla, bu türün doğada var olduğu milyonlarca yıl boyunca bildiğimiz kadarıyla üretmeyi başaramamış olduğu bir uyarlanmayı evrimleştirmişti.* Bu uyumsal dönüşümün evrimsel önemi o kadar büyüktür ki, Lenski suşun yeni bir tür olma yolunda olabileceği fikrini ileri sürmüştür; bu fikir 10 yıl sonra bugün bilimsel bir makale biçiminde sunulmak üzeredir. Üstelik on iki popülasyonun sadece birinde yaşanmıştır. Bugün bile, aradan geçen bir düzine yıl ve 30 bin nesil sonra bu beceri diğerlerinin hiçbir-

* Doğada birkaç *E. coli* popülasyonu oksijenli ortamlarda sitrat kullanabilmektedir ama tüm örneklerde bunun nedeni bu beceriyi kendi başlarına evrimleştirmeleri değil, gereken genleri başka mikrobiyal türlerden aşırabilmeleridir.

rinde evrimleşmemiştir. Öngörülebilirlik ve paralel evrim de buraya kadarmış!

Stephen Jay Gould “kasedi geriye alma” fikrini hiç uygulanamayacağını düşündüğü bir düşünce deneyi olarak ortaya atmıştı. “Sorun şu ki deneyi uygulama imkânımız olmayacak,” diye yazmıştı. Oysa mikrobiyal sistemlerde bu mümkün. Mikropların dondurulup hayata döndürülebilmesi saati geriye alıp kasedi yeniden oynatabileceğimiz anlamına geliyor. Ata popülasyonların dondurulmuş numuneleri hayata döndürülüp evrim yeniden harekete geçirilebilir ve sonucun ilk seferle aynı çıkıp çıkmayacağını görebiliriz. Mikroplarla çalışmanın sağladığı bu büyük avantajın değerini deneyini başlatırken tam olarak anlamadığını Lenski de itiraf ediyor. On iki popülasyonu paralel evrimleştirerek Gould’un metaforundan ilerleyen bir eşleme yaptığını düşünmüştü ama mikrobiyal popülasyonları zamanın daha önceki uğraklarından alıp hayata döndürme becerisi aslında kasedi gerçekten başa sarabildiği, zamanda geriye gidip yeniden başlayabildiği anlamına geliyor.

İşte bu yeniden başlama düğmesine basmak da 2004 yılının kışında Zack Blount adında, Lenski Lab’e yeni gelmiş 27 yaşında bir yüksek lisans öğrencisine düştü. Kuzeyin sert kışlarına şaşırtıcı bir ilgi duymuş, yumuşak sesli bir Georgia’lı olan Blount, Michigan State’e Lenski’yle çalışmaya gelmemişti. Fakat katılmayı istediği laboratuvarından pek memnun olmayınca şansını başka yerde denemeye karar verdi. Blount, Lenski Lab’in hipotez temelli yaklaşımını beğendi, Lenski de Blount’ta “ağırbaşlı ve zeki, biraz sessiz, bilim yapmaya istekli” genç bir adam gördü.

Blount, laboratuvara çok doğru bir zamanda geldi; Borland Ara-3 kolibasillerinin sitrat kullanma becerisi evrimleştirdiğini ispatlamış, ama bu birçok yeni soru doğurmuştu. Blount, başlangıçta Borland’ın sorumluluğundaki projenin bir kısmı üzerinde çalıştı, ama Borland aynı yıl içerisinde kocasıyla Çin’e taşınınca Lenski tüm projeyi ona devretti. Bunun 10 yıl sürecek ve Blount’a sadece doktora derecesini değil, doktora sonrası araştırmasının birkaç yılıyla beraber uluslararası ödüller kazandıracak bir iş olacağını ikisi de bilmiyordu.

Daha sonra alametifarikası olacak renkli (başlangıçta yeşil, şimdi mavi) laboratuvar önlüğünü giyen Blount çalışmaya koyuldu. O ana dek deneyde trilyonlarca *E. coli* yaşamış ve ölmüştü (on milyonlarca hücre taşıma kapasitesinde otuz bin nesil, on iki popülasyon - artık hesaplamayı siz yapın). O nedenle sitrat (Lenski lab dilinde "Cit+**") sindirme becerisinin tek bir mutasyonun sonucu olması pek mümkün görünmedi: Tek bir genetik değişim bu beceriyi üretebiliyor olsaydı, deney boyunca gerçekleşmiş olan milyarlarca mutasyon içerisinde Cit+'nın daha önce veya birden çok popülasyon içerisinde evrimleşmiş olması gerekirdi.

Cit+'nın evrimleşmesi için birbiri ardına gerçekleşen birkaç genetik değişimin yaşanmış olması daha muhtemel bir alternatifti. Bu iki olasılık arasında ayırım yapmak (Cit+'nın evriminden bir mutasyonun ya da birkaç mutasyonun sorumlu olması) karmaşık değildir, en azından ilkesel anlamda. Blount Cit+'nın sitrat yeme kapasitesine sahip olmayan ("Cit-") atasal bir popülasyondan tekrar evrimleştirilip evrimleştirilemeyeceğine bakmak üzere Avalon'un donmuş fosil kaynaklarına bir kez daha başvurdu. Sitrat evrimi için önceden belirli mutasyonların birleşmesi gerektiyse, o halde sadece görece yakın zamanlı popülasyonların Cit+ evrimleştirebilmeleri gerekir, zira zemin hazırlayıcı mutasyonlara daha öncekiler değil, yalnızca bu popülasyonlar sahip olacaktır. Yok, tek bir mutasyonla bu iş olmuşsa, o zaman da Cit+ durumuna gelme becerisinin deneyin herhangi bir noktasından alınıp canlandırılmış atasal popülasyonlarda gerçekleşmesinin de eşit ölçüde muhtemel olması gerekir.

Bir işin karmaşık olmaması çabuk halledileceği anlamına gelmez. Blount, 1988'deki ilk atadan başlayarak yakın dönemde dondurulmuş popülasyonlara dek deneyin on iki ayrı zamanında arşivlenmiş Ara-3 numunelerini çıkardı. Ayrı tarihli her bir numuneden aldığı hücreleri izole edip bunlardan altı eşlenmiş popülasyon üretti ve

* Blount mikrobiyolojik kurallara göre aslında "cit+" olması gerektiğini itiraf ediyor, ama hata yaptıklarını fark ettikleri zaman büyük harfle yazılan C'yi o kadar sevmiş haldeymişler ki o saatten sonra vazgeçmemişler.

bu toplam yetmiş iki popülasyonu iki buçuk yıl boyunca evrimleşmeye bıraktı. Yetmiş iki popülasyonun dördü sitrat sindirme becerisi evrimleştirdi, bunların dördü de görece yakın tarihli atalardandı. Ulaşılan bu sonuç sadece yakın tarihli Ara-3 popülasyonlarının sitrat sindirecek şekilde evrimleşebildiğini gösteriyordu.

Blount deneyin sonuçlanmasını beklemekten sıkılmıştı, o yüzden bir yandan da hafif Cit+ becerisinin evrimine daha duyarlı bir başka tekniği denemeye karar verdi. Bu yaklaşımda hücreler yine farklı zamanlarda dondurulmuş popülasyon numunelerinden alınıp yetiştirilerek her biri on milyardan fazla hücreye sahip birden fazla popülasyonun üretimi için kullanılıyordu. Ardından bu popülasyonlar üç hafta boyunca yenecek tek şeyin sitrat olduğu Petri kaplarına yerleştiriliyordu. Bu koşullar altında sadece nadir görülen Cit+ mutantı koloni oluşturacak kadar büyüyebilirdi. Blount'un incelediği 3.200 popülasyon içerisinde sadece 13'ü, yani yaklaşık yüzde 1/3'ü Cit+ halini alacak şekilde evrimleşti. Yine bunların çoğu son dönemden çıktı, içlerinden en eskisi 20 bin nesil sırasında dondurulmuş atasal popülasyondan geliyordu.

Tüm bu geriye sarmalardan iki sonuç çıkıyordu. Birincisi Cit+ evrimi çok nadir gerçekleşiyordu, özdeş koşullar altında tutulan popülasyonlar arasında bile durum böyleydi. İkincisi sitrat sindirme becerisi tek bir mutasyonla bahşedilmiyordu, bunun için yine çok nadir gerçekleştiği görülen birkaç mutasyon gerekiyordu. Cit+ becerisinin sonraki gelişimi için sahneyi hazırlayan 20 bin nesil sınırından kısa süre önce popülasyonda bir şey evrimleşmiş olmalıydı. Çok nadir görülen bu olayların zorunlu olarak birleşme gerekliliği, becerinin USED deneyindeki bir popülasyonda ortaya çıkmasının neden 30 binden fazla nesil sürdüğünü ve diğer 11 popülasyonda neden tekrar ortaya çıkmadığını açıklıyordu.

Zack Blount'un projesinin açıklayıcı tanımında bu sonuçların alınması için yapılan iş miktarının hakkının yeterince verildiği söylenemez. Kendisi, evrim biyolojisi çevrelerinde lotus pozisyonunda otururken çekilen fotoğraflarıyla ün kazandı: bacaklar çaprazlanmış, gözler kapalı, işaret ve baş parmakları meditasyon mudrasıyla yuvarlak oluşturmuş, üzerinde renkli önlüğü ve önünde bu deneylerin sa-

dece birinde kullanılan 13 bin Petri kabının istiflenmesinden oluşmuş dev bir kule.

Blount'un projeye başlaması ile bu sonuçları duyuran ilk makalenin yayımlanması arasında beş yıllık bir süre ve kırk trilyon *E. coli* geçti. Makale 2008 yılının yazında çıktığında o, projenin sonraki aşamasına çoktan geçmiş, mutasyonların tam olarak ne olduğunu buluyordu.

Uzun süreli deneyin bir avantajı da yeni teknolojik olanakların doğması ve daha önce ancak hayali kurulabilen şeylerin sonraki aşamalarda mümkün olmasıdır. Örneğimizde yaşanan ilerleme, bir bütün olarak organizmaların genom dizilerinin artık kolaylıkla ve ucuza çıkarılabiliyesiydi. Genom dizileme 20. yüzyılın son yıllarında ilk mümkün olduğu esnada, bir organizmanın tüm dizisinin elde edilmesi yıllar tutar ve milyonlarca dolara mal olurdu. 2008'e gelindiğinde fiyat 7.000\$'a, bekleme süresi sadece bir aya düşmüştü.* Artık bu olanağa sahip olan Blount ve laboratuvarındaki arkadaşları, sitrat sindirimini evriminden sorumlu genetik değişimleri tespit etmek için Cit+ ve Cit- *E. coli*'leri dizilemeye koyuldu.

Nasıl yapıldığının biyoteknolojik ayrıntılarına girmeyeceğim ama iş bir dört yıl daha uzadı ve bu arada Blount doktora tezini tamamlayarak Lenski laboratuvarındaki çalışmasını doktora sahibi bir üye olarak devam ettirdi. Sonunda, moleküler sihirbazlıkla ne yaşandığını buldu.

Blount, bunu başarabilmek için deneyin geçmişinden seçme popülasyonlardan alınan 29 *E. coli* hücresinin genomlarını diziledi. Cit+ popülasyonların hepsi Ci- popülasyonlarında görülmeyen bir mutasyonu taşıyordu. Hatırlayacağınız üzere kolibasilleri oksijenin yokluğunda hücrenin taşıyıcı proteinler üretmesini sağlayan *citT* genini tahrik ederek sitrat yakalayabiliyordu; proteinler hücre zarından dışarı uzanıyor ve yakındaki sitrat moleküllerini yakalıyordu. İşte Cit+ *E. coli* hücrelerinde bu genin ikinci bir kopyası yapılmış durum-

* 2013'te fiyat, 2007 yılındaki düzeyine oranla %99'dan fazla düşmüştü. Kalitesi de çok artmıştı.

daydı. Bu birçok organizmada görülen bir şeydir; yeni hücreler üretildiğinde DNA kendisini kopyalar ve bazen kopyalamada yaşanan bir hata, bir genden birbirinin ucuna bağlı iki kopyanın üretilmesine sebep olur.

Normalde *citT* geni oksijen düzeyi düşük olduğunda aktive olarak sitrat yakalayan taşıyıcı proteini üretir. Kromozom üzerinde *citT*'nin yakınında oluşan bir gen olan *rnk* ise aksine oksijen düzeyi düşük değil, yüksek olduğunda etkinleşir. Kazara *citT* geninin kopyası oluştuğunda, bu kopya tamamen tesadüf eseri *rnk* geninin etkinleşme anahtarının tam yanına yerleşmişti. Bu durum *citT* kopyasını oksijenin olduğu koşullarda *rnk* ile beraber harekete geçecek şekilde yeniden yapılandırdı. DNA eşlenme sürecinde tesadüfen yaşanan bu yanlış moleküler kopyalanma, Cit+ kolibasillerine oksijenin olmadığı koşullarda sitrat sindirme becerisini verdi.

Blount'un çalışması sonucunda Cit+'nın bu kadar faydalı olmasına rağmen USED popülasyonlarında bu kadar nadir evrimleşmesinin nedeni hakkında da iyi bir fikre ulaştık. Son derece düşük ihtimalli birkaç olayın olması gerekmişti. Sitrattan faydalanmaya izin veren kilit genetik değişim, tüm genin bir parçasının genomun içine fazladan bir kez daha kopyalandığı bir kopyalanma olayıydı. Dahası *citT*'nin kopyalanması gerekmele kalmıyor, kopyanın oksijenli ortamda etkinleşebilmesi için olabilecek tek doğru yere inmesi gerekiyordu. Blount'un geriye sarma deneyleri doğru genetik bağlam içerisinde bu tür mutasyonların gerçekleştiğini, ama bunun çok nadir yaşandığını gösteriyordu.

Fakat bu enderlik Cit+ evriminin gerçekleşme olasılığının düşüklüğünü yeterince belirtmiyor. Aslında *citT* geninin kendini kopyalaması ve kopyanın doğru yere inmesi de yetmiyor, bu tür bir kopyalanma ancak önceden hazırlıklı popülasyonlarda gerçekleştiğinde Cit+ evrimine yol açıyor. Önceden Cit+'yı mümkün kılacak başka bir şeyin evrimleşmesi gerekiyor ve bu bir şeyin de Ara-3 tüpünde ilk 20 bin nesilde ortaya çıkmamış olması gerekiyor.

“Potansiyel yaratan mutasyon”un veya mutasyonların (yani sonraki Cit+ evrimini mümkün kılacak mutasyonların) bulunması

zor bir iştir. Aradan bir üç yıl daha geçtikten sonra Blount'la işbirliği yapan Austin Teksas Üniversitesi'nden bir ekip sonunda potansiyel yaratan bir mutasyonu tespit etmeyi ve bu mutasyonun neden doğal seçim tarafından desteklendiğini bulmayı başardı. (Doğal seçilimin öngörü sahibi olmadığını hatırlayın; gelecekte faydalı olacağı için bir mutasyonu desteklemez. Dolayısıyla potansiyel yaratan mutasyon ya sitrattan faydalanmayla ilişkisi olmayan bir faydaya sahiptir ya da tesadüf eseri evrimleşmiştir ki bu büyük popülasyonlarda olası değildir.) Çalışma hâlâ tümüyle bitmiş değil; Cit+ evriminin potansiyelinin yaratılmasında parmağı olan ikinci bir mutasyon var gibi görünüyor ve bu mutasyon halen Teksas'ta araştırılıyor.

Hikâyenin devamı da var. İlk baştaki Cit+ sindirim becerisini bahşeden mutasyon ve potansiyel yaratımının yanında Cit+ kabiliyetinin evriminde üçüncü bir aşama daha vardı. Gen ikilenmesi gerçekleştiğinde Ara-3 sitrattan faydalanabiliyor ama bu pek az oluyordu. Mutasyon fazla bir avantaj sağlamıyor ve bu nedenle doğal seçimce güçlü biçimde desteklenmiyordu. Aslında mutasyon 1500 nesilden daha fazla bir süredir popülasyonda bulunuyor ama düşük bir sıklıkta yer alıyordu. Sitrata faydalanmasının, özelliğin popülasyon içerisinde hızla yayılmasına yetecek ölçüde gelişmesi, ancak başka bir mutasyon olayı (Cit+ mutasyonunun ikilenmesinin bireyler oksijenle etkinleşen genden iki kopya sahibi olana kadar ilerleme göstermesi) gerçekleştiğinde olmuştu. Blount'un analizi bu üçüncü olayın ilk ikisi kadar nadir olmadığını gösterdi ama yine de popülasyonda gerçekleşmesi belli bir süre alıyordu.

Aktardığımız Cit+ destanı, evrim sürecinin anlaşılmasına dönük önemli dersler barındırıyor. Bir taraftan büyük evrimsel ilerlemelerin nasıl gerçekleştiğini sergiliyor. Genellikle karmaşık kalıtsal özellikler (göz, böbrek vs.) sıfırdan yeni bir yapı yaratan tek bir mutasyonun sonucu değildir. Bu tür yenilikler genellikle birbirini izleyen birkaç adım şeklinde aşamalı olarak gerçekleşir.

Dahası Cit+ hikâyesi evrimin illa öngörülebilir olmadığını, kasedin yeniden oynatılmasının muhakkak aynı sonuca ulaştırmayabileceğini gösteriyor; Cit+ on iki popülasyonunun sadece birinde ev-

rimleşmekle kalmadı, bu evrimi Blount'un tekrar oynatımlarının son derece küçük bir yüzdesinde yaptı. Varılacak sonuç açık: Tam olarak doğru sırada gerçekleşen bir dizi mutasyon, evrimi farklı ve hiç gidilmemiş bir yola sokarak çok büyük bir etki yaratabilir.

“Rastlantı ile zorunluluk arasındaki gerilim.” Rich Lenski, kolibasilileriyle yürüttüğü 30 yıllık araştırma programının temelinde yatan tartışmayı böyle betimliyor. USED birbiri ardına yaptığı büyüleyici keşiflerle bu konunun ele alınışına gerçekten de önemli bir katkı sağladı. Fakat etkisi bu araştırma projesinin bizatihi sağladığı bilimsel getirilerin çok daha ötesindedir. USED, kendisinden önce yapılan deneylerin de yardımıyla, özdeş kurucularla oluşturulmuş eşlenen popülasyonların aynı şartlar altında farklılaşabilmesine olanak tanıyan benzer deneyler yürüten araştırmacılardan oluşan dev bir sanayi doğurdu.

Şu an devam eden çok sayıda deneye karşın, tamamlananlar sayesinde ana hatlar ortaya çıkmış durumda. Ve durumun Lenski'nin 1988'de tahmin edebileceğinden çok daha fazla inceliğe sahip olduğu görülüyor; Lenski kesinlikle şans ve rastlantı kampındandı ve Cit+ gibi sonuçların kural olmasını beklerdi. Oysa tam tersine genellikle zorunluluk kazanıyor. Aynı doğal seçim baskılarıyla karşılaşan deney popülasyonları genellikle aynı biçimde uyarlanma gösteriyor ve uyum başarısı açısından benzer bir artışa sahip oluyor.

Bu benzerliğe karşın daha yakından bakıldığında izlenen evrim yollarının özdeş olmadığı görülüyor. Genellikle uyarlanmalar benzer ama değişik oluyor. Farklı popülasyonlarda bulunan kırıksık yayılanlar ince şekil ve yapı ayrıntıları yönünden birbirinden ayrışıyor; maya kar taneleri, hepsi dibe yerleşme hızını artırmaya hizmet etse de, boyut ve şekillenme yönünden büyük farklılıklar gösterebiliyor.

Genetik düzeyde de farklılıklar var. Farklı popülasyonlardaki fenotipik benzerlikler genellikle aynı genlerde yaşanan mutasyonlardan kaynaklanıyor. Ama her zaman değil; bazen de farklı genlerdeki mutasyonlar benzer bir fenotipik sonuç doğuruyor. Örneğin yakın zamanda Paul Rainey'nin laboratuvarında yapılan bir çalışma, kırıksık yayılanlar fenotipini üretebilecek 16 farklı genetik yol olduğunu

gösterdi. Hatta mutasyonlar popülasyonlar arasında aynı genlerde olduğunda bile, aynı değişimler nadiren görülüyor. 11. Bölüm’de göreceğimiz üzere fenotipik yakınsamanın taşıdığı bu genetik belirsizlik, ileride yaşanacak evrim açısından önemli sonuçlar doğurabiliyor. Yine de bu çalışmaları haberleştirdiğimizde olağan manşet değerini paralel evrimin ulaştığı boyut taşıyor. Zorunluluk tesadüfü gölgede bırakıyor. Çoğu zaman.

Bu deneylerde radikal ölçüde farklı evrimsel tepkiler nadir görülüyor, ama Cit+ hikâyesi de tek örnek değil. Bir başka *E. coli* çalışmasında farklı bir araştırma grubu ellerindeki *E. coli* popülasyonlarının yarısının iki çeşide ayrıldığını, bunlardan birinin asetatı diğerine göre daha verimli kullandığını buldu. Benzer bir evrimsel ıraksama USED popülasyonlarının birinde de yaşandı. Deneysel virüs popülasyonunun bazılarının, çoğunun değil, *E. coli* avlarına saldırmanın yepyeni bir yolunu evrimleştirdiği bir çalışma da bir diğer örnek. Bu örnekler evrimsel tekrarlamaların, her yinelemede özdeş koşullar sağlandığında bile hâlâ farklı sonuçlar verebildiğinin çarpıcı gösterimleri. Yaygın değil, ama yaşanıyor.

Mikroplar üzerinde evrim deneyleri düzenleme fikrindeki mütahiş yaratıcılık, zamansal açıdan, hiç değilse insan perspektifinden ölçüldüğünde kısa bir süre içerisinde sıkıştırılabilen evrim miktarıdır. Meyve sinekleriyle yapılan 60 bin nesillik bir deney 1.000 yıl, farelerle yapılan ondan on kat daha uzun sürerdi.

Yine de bu deneyler yeterince uzun süreli olmayabilir. 60 bin nesil dediğin, jeolojik açıdan göz kırpması süresidir. Türler milyonlarca yıl yaşar. Belki bu deneyler kendilerinden önce yapılanların hepsinden çok çok daha uzun ve bilgilendirici olsa bile, yine de yeterli uzunlukta değildir. Rich Lenski bu olasılığın varlığını kabul ediyor.

Lenski’nin akademik takipçileri USED’i on yıllarca yıl daha sürdürse acaba ne bulabiliriz? Bir deney ne kadar uzun sürerse, pek mümkün olmayan, nadir rastlanan ama faydalı mutasyon kombinasyonları mutlaka ortaya çıkacak, yeni Cit+ vakaları oluşacaktır. Belki bundan 300 yıl sonra 600.000. nesilde USED’deki on iki popülasyo-

nun on ikisi de Cit+ olacak. Kısa vadede öngörülemez gibi görünen uzun vadede kaçınılmaz olabilir.

USED 2002 yılında, Ara-3 henüz sitrat yiyici yoluna adımını atmamışken, evrimin öngörülebilirliğinin güçlü bir doğrulaması, Gould'un göklere çıkarılan olumsuzluğuna güçlü bir karşıt sav gibi görünüyordu. Ne var ki şimdi bu çalışmalardan çıkarılacak mesaj (ne kadar hayranlık verici olsa da) pek o kadar net değil. Uygun adım yürüyüşünü Cit-'de sürdüren 11 popülasyon evrimin çoğunlukla tekrarlanabilir olduğunu mu ispatlıyor? Yoksa Ara-3 Gould'un haklı olduğunu, evrimin öngörülemez olduğunu mu gösteriyor? Yanıt: Her ikisi de.

Ben bu kitabın son rötuşlarını yaparken yayımlanan bir söyleşisinde Lenski rotasını yeniden 30 yıl önceki ilk görüşlerine doğru çevirdi. USED On İki'de yaşanan birçok paralel değişime dikkat çektikten sonra, farklılıkları da, yalnızca Cit+'yı değil, popülasyonların sadece birinde ya da bazılarında sökün eden başka değişimleri de vurguladı. "Paralellik veya tekrarlanabilirlik bağlamında baktığımızda, USED ne kadar uzun süre devam ederse, popülasyonların gerçekten kendi yollarında ilerlediğini o kadar çok görüyoruz," dedi. "Ve her iki kuvvet kümesi (rastlantısal olan ile öngörülebilir olan) beraberce tarih dediğimiz şeye sebep oluyorlar."

ZERRELER, NOKTACIKLAR VE SARHOŞ MEYVE SİNEKLERİ

Gould'un sözlerini hatırlayalım: "Ben bu deneye 'yaşamın kasedini yeniden oynatmak' diyorum. Geriye sarma tuşuna basıyor ve gerçekte olan her şeyi iyice sildiğinizden emin olup geçmişte istediğiniz zamana ve mekâna gidiyorsunuz. (...) Sonra da kasedi tekrar oynatıp bu tekrarlamamanın orijinali gibi görünüp görünmediğine bakıyorsunuz."

Zack Blount'un yaptığı tam da budur. Mikrobiyal biyolojinin ve Lenski Lab'in derin dondurucularının sihri sayesinde Blount'un kasedi geriye sarması, geçmişte var olan şartları yeniden yaratması ve evrimin normal seyrini izlemesini sağlaması mümkün oldu.

Peki, Gould'un düşündüğü şey de bu muydu acaba? Sonuçta Gould'un kitabının adı da *It's a Wonderful Life*'in, George Bailey'nin koruyucu meleğinin George'a eğer o hiç var olmasaydı Bedford Falls'taki hayatın ne kadar farklı olacağını gösterdiği kilit sahnesini anırtmaktadır.

Melek Odbody'nin taktığı, kasedi daha eski bir zamana sarıp çalıştırma tuşuna basmaktan ibaret değil. Yaptığı, kasedi geri sar-

mak, evet, ama bu arada önemli bir özelliği de değiştiriyor: George Bailey'nin varlığını. Bu nedenle *It's a Wonderful Life*'taki öykü Blount'un deneyinin karşılığı değil. Clarence Odbody, "Zamanda geri gidelim, her şey aynıken baştan başlayalım, bakalım kasabanın tarihi aynı biçimde gelişecek mi?" demiyor. Bunun yerine şunu soruyor: "Şartlar hafif farklı olsaydı, bilhassa sen olmasaydın, tarih farklı olmaz mıydı?"

Gould, *It's a Wonderful Life*'tan aldığı dersi başa alıp oynatma deneylerine dair daha önce yaptığı tanımdan farklılaşan bir biçimde özetledi: "Bu on dakikalık harika sahne, sinema tarihinin en önemli anlarından biri olduğu kadar, olumsuzluğun temel ilkesi hakkında gördüğüm en güzel örneklemelerden de biri – kasedin baştan oynatılmasının tümüyle farklı ama aynı ölçüde fark edilebilir bir sonuç vermesi; George'un varlığı gibi küçük ve önemsiz görünen değişimlerin birikerek devasa farklara yol açması." Aldığı dersi evrime uygulayan Gould, daha önceki senaryosuna önemli bir koşul ekledi: "*Başlangıçta önemsiz görünen bir zerre veya noktacak tarafından değiştirilen* (italikler benim) her yeniden oynatma, fark edilebilir ve çözümlenebilir derecede, tamamen farklı formda bir sonuca yol açardı."

Blount, araştırmasını Gould'un ileri sürdüğü fikrin hayata geçirilmesi olarak tanımladı. Daha genel olarak tüm USED doğrudan benzeşir şekilde betimlendi, tek fark yeniden oynatmaların zamanda ardışık şekilde değil de, eşanlı biçimde birden çok deney tüpünde gerçekleştirilmiş olmasıydı. Acaba Lenskicilerin Gould'a bağıllık iddiaları yanlış mıydı?*

John Beatty, görüp görebileceğiniz en nazik adamdır. Görüntüsü bile samimi ve cana yakın, biraz babacandır; pos beyaz bıyıklar, sağlam bir çene, hafif açılmış bir alın, üzerinde genelde aşınmış bir deri ceket ya da hırkayla kendiyile barışık biridir. Doğma büyüme Teksaslı olan (belki de nedeni budur) Beatty şu anda Vancouver'daki

* USED'in Gould'a olan bağıllığı Blount'un ilk makalesinde yer alan bir dipnotta kendini gösterir. Dipnotta yazarlar Ara-3 tekrarlama deneyinin Gould'un ölümünün üçüncü yıldönümünde başladığını ve doğumunun altmış altıncı yıldönümünde sonlandırıldığını belirtir.

British Columbia Üniversitesi'nde bilim felsefesi profesörü olarak çalışmaktadır.

Bilim felsefecileri bilimin nasıl işlediğine ilgi duyar. Belirli bir kertenkele ya da nötrino hakkında öğrenilen özel bilgiyle değil, bilim süreciyle; bilimcilerin doğal olguları nasıl ele aldıklarıyla, fikirleri nasıl oluşturdukları, hipotezlerini nasıl test ettikleriyle, nasıl bazılarını reddedip bazılarını geliştirdikleriyle ilgilenirler.

Evrim biyolojisi bilim felsefecileri açısından özel bir zorluk taşır. Bilimin işleyişi konusundaki, çok önemli bir deneyin meseleyi kesin biçimde aydınlığa kavuşturduğu standart (karikatürleşmiş) düşünüşe uymaz. Evrim biyolojisi tarih içerir, geçmişte ne olduğunun bulunmasını ister, deneysel yönetime uygun olmayan sorular yöneltir (hangi deney bir zürafanın evrimini açıklayabilir?). Evrim alanında çalışmanın polisiye öykü ve romanlara ne kadar benzediğinden, yöntemlerinin diğer bilimler kadar tarih çalışmalarıyla benzerlik taşıdığından daha önce de bahsetmiştim. Beatty'nin ilgi duyduğu çok sayıda alandan biri de tarih ile bilim arasındaki ayrım ve web sitesindeki sözleriyle, “evrim biyolojisinin ikincisinden çok birincisine benzediği yönler”dir.

Uzun süredir ilgilendiği bağlantılı başlıklardan biri de evrim biyolojisinde rastlantının oynadığı roldür. Bu yüzden Gould, evrimde tarihin ve olumsuzluğun rolüne vurgu yaptığı *Wonderful Life*'i yayımladığında Beatty derhal dikkat kesildi.

Aradan yıllar geçip biliminsanları Gould'un fikirlerini sorgulamaya başlayınca Beatty geri dönüp *Wonderful Life*'i yeniden okudu. Ardından bir kez daha okudu. Ve herkesin gözden kaçırdığı bir şeyin farkına vardı. Beatty, Gould'un kitabının yayımlanışından 17 yıl sonra yazdığı makalesinde Gould'un “olumsallık” kavramıyla anlatmak istediği konusunda kafasının karışık olduğuna dikkat çekti.

Beatty, sözcüğün yaygın kullanımında iki farklı anlama sahip olduğunu söylüyordu. Birincisi öngörülemezlikti – “Tüm olumsuzluklara karşı hazırlıklı olmalıyız.” Gouldcu tarzda kasedi yeniden oynatma anlamında öngörülemezlik ne anlam taşıyordu? Çevrede evrimin farklı biçimde yaşanmasına neden olan öngörülemez (yıldı-

rım düşmesi veya sel gibi) bir şey oluyor değildi. Bu olamazdı, zira geriye sarma metaforunun öncülü her şeyin aynı olmasıydı; bu sadece çevreyle de sınırlı değildi, dış etki ve kışkırtmaları da kapsıyordu.

Yeniden oynatmada çevre aynıysa, öngörülemezlik nerede devreye giriyordu? Beatty bariz olasığa işaret etti: Gerçekleşen mutasyonlardaki farklılıklar. Biyologlar genelde mutasyonların öngörülemez olduğunu düşünür. Genomun bazı parçalarının mutasyonları diğerlerinden daha farklı yaşadığını ve belirli koşulların (kozmetik ışınlar ya da bazı kimyasallara maruziyet gibi) mutasyon hızını etkileyebildiğini biliyoruz. Ne var ki DNA'da hangi yerde mutasyon yaşanacağını tahmin edemediğimiz gibi, bu mutasyonun ne olacağını öngöremiyoruz. Aslında mutasyonu öngörülemez, tesadüfi bir oluş olarak değerlendirmek mantıklı.* Sonuç olarak tekrar oynatılan popülasyonların farklı mutasyon geçmişleri yaşamış olmalarını bekleyebiliriz.

Mesele, bu tür bir öngörülemezliğin evrimsel belirlenimsizciliğe yol açıp açamayacağıdır. Evrim genetik çeşitliliğe ihtiyaç duyar ve bu sayede çeşitlenmeleri farklı popülasyonlar farklı biçimlerde evrim gösterebilir. Bireylerin hepsinin mavi renk gözlere sahip olduğu bir popülasyon düşünün. Bu noktada popülasyon farklı bir göz rengi evrimleştiremez; bireylerin hiçbiri başka bir renk için genetik varyasyon sahibi değildir. Fakat bir popülasyonun içinde kahverengi göz üreten bir mutasyon yaşanırsa, bu durumda bu popülasyonun kahverengi gözlü olacak şekilde evrim göstermesi mümkündür. Buna karşın başka bir popülasyonda kahverengi göz mutasyonu gerçekleşme-

* Kasedi her şey tümüyle özdeş olacak şekilde, tam olarak aynı noktaya sararsak, mutasyonların tarihinin de özdeş olacağı ileri sürülebilir. Yani bir mutasyonun fiziksel ya da kimyasal bir nedeni olmak zorundadır; dolayısıyla şartlar gerçekten tümüyle aynıysa, sonucun da aynı olması gerekir. İzini Fransız matematikçi Simon-Pierre Laplace'a dek sürebileceğimiz bir düşünsel geçmişe sahip bu tür bir görüş, tanımı gereği kasedi yeniden oynatmanın aynı sonuca yol açacağı anlamına gelir. Fakat bu bakış açısı, kuantum mekaniği düzeyinde hakiki bir belirsizliğin var olduğunu, bundan dolayı en azından atom altı düzeyden moleküler düzeye yansiyabilecek bir belirsizliğin mümkün olabileceğini göz ardı etmektedir. Buna karşın tartışmanın hedefleri gereği mutasyonları öngörülemez kabul edecek, eşlenen popülasyonlarda paralel olmayan evrimin potansiyel bir kaynağı olarak ele alacağım.

yebilir, ama yeşil gözler için bir mutasyon gerçekleşir, bu durumda da popülasyonun farklı bir biçimde evrim gösterme olanağı olur. Mutasyonlar öngörülemez ise ve belirli mutasyonların oluşumu evrimin ilerleyeceği yönü etkiliyorsa, o halde evrimsel bir geri sarma farklı bir sonuca yol açabilir.

USED'in ele aldığı hipotez tam da budur. Ve yanıt, en azından bu vakada açıktır: Mutasyonların geçmişi öngörülemez olsa bile, evrim azımsanmayacak ölçüde öngörülebilir niteliktedir. Özdeş koşullarla başlarsanız, genellikle (ama kesinlikle her zaman değil!) epey benzer bir sonuç elde edersiniz.

Fakat “öngörülemezlik” olumsuzluğun anlamlarından sadece biri. Beatty'nin fark ettiği üzere ikinci bir anlam daha var. Bu ikinci tanım “nedensel bağımlılık” dediğimiz ve bir olayın meydana gelişi daha önce yaşanan bir şeye dayalı olduğunda gerçekleşen şeyi tanımlıyor – B olayının meydana gelişi, A olayının meydana gelişiyle olumsaldır (A olayının meydana gelişine tabidir). Varlığınız ebeveynlerinizin tanışmasıyla başlayıp çeşitli flört aşamalarından ilerleyerek sizin ana rahmine düşmenize yol açacak doğru zamanda çiftleşmelerine dek uzanan bir dizi olayın sonucudur. Bu olaylardan biri değişse, var olmazdınız. Sizin yerinize (belki de babanızın farklı bir spermının annenizin aynı yumurtasını döllemesi sonucunda) başka biri olurdu ve o kişi siz olmazdınız. Varlığınız tüm bu olayların oldukları gibi olmasına olumsaldır.

Gould bunu *Wonderful Life*'ta güçlü ve etkili bir biçimde ifade eder:

Tarihsel açıklamalar anlatı formunu alır: Açıklanacak olgu olan E, kendisinden önce D geldiği için ortaya çıkmıştır, onlardan önce de C, B ve A vardır. Daha önceki bu aşamalardan biri yaşanmamış veya farklı biçimde meydana gelmiş olsaydı, E var olmazdı (veya farklı bir açıklama gerektiren, önemli ölçüde değişmiş bir formda, E' olarak var olurdu). Bu sayede E anlamlı gelmekte ve A'dan D'ye ilerlenmesinin sonucu olarak kesin biçimde açıklanabilmektedir.

Kastettiğim rastlantısallık değil..., tüm tarihin merkezi ilkesi – olumsuzluk. Tarihsel bir açıklama... öncel durumların öngörülemez şekil-

de dizilişine (dayanır) ve dizilişin herhangi bir adımındaki önemli bir değişim nihai sonucu değiştirir. Bu nihai sonuç bu yüzden kendisinden önce gelen her şeye bağlı veya olumsaldır – tarihin silinmeyen, belirleyici imzasıdır bu.

Gould’un “zerreler ve noktacılar” derken kastettiği budur. B’yi zerre kadar değiştirirseniz, sonuç E olmaz. C’de bir noktayı kaydırırsanız, E’ye ulaşamazsınız.

“Olumsuzluğun” bu iki anlamı arasındaki fark, anlambilime ait bir tartışma görünebilir. Fakat Beatty bunun önemli olduğunu, farklı tanımların evrimsel belirlenimciliği nasıl gördüğümüze dair sonuçlar yarattığını düşündü. Bir tarafta olumsuzluğun öngörülemezlik olarak görülüşü, evrimin doğası gereği belirsiz olduğunu ileri sürüyor – tamamen aynı koşullarla başlayın, aynı çevresel değişimleri yaşayın, sonuç yine de farklı olabilir. Diğer tarafta nedensel bağımlılık görüşü başlangıca bakmıyor, sonuca bakıyor. Conway Morris gibi belirlenimciler sonucun mukadder olduğunu, uyumsal birkaç çözüm olduğunu ve bunların bir popülasyonun nerede başladığına, yolculuğu sırasında ne olduğuna bakmaksızın tekrar tekrar evrimleşeceğini ileri sürüyor. Gouldcularsa hemen “öyle değil”i yapıştırıp, nihai sonucun daha önceki özel koşullara kritik şekilde bağlı olduğunu (olumsal) söylüyor.

Lenski’nin USED’inin deneysel evrim sahasını harekete geçirip aynı yaklaşımdan ilerleyen büyük bir girişimcilik dalgasına yol açması gibi, Beatty’nin makalesi de bilim felsefecileri üzerinde benzer bir etki yarattı. İzleyen on yılda felsefi alanda “olumsallık” kelimesindeki ince semantik ayrımları tartışan ve Gould’un kafasında olanlara bundan da ince (bazı örneklerde epey zorlama) açıklamalar getiren küçük ölçekli bir üretim sanayi doğdu.

Yine de işaret ettiği noktalar üniversite felsefe bölümlerinin ötesine taşıdığı için Gould’daki anlam bulanıklığı önemlidir. Gould, yaşam kasedinin yeniden oynatılmasının sadece bir *Gedankenexperiment* (düşünce deneyi) olduğunu iddia etmişti, ama mikrobiyal evrimciler bunun aksini kanıtladı: USED ve onu izleyen birçok araştırma Gould’un olanaksız olduğunu düşündüğü evrimsel yeniden oynatma deneylerini hayata geçirmek amacıyla özel olarak hazırlan-

mişti. Öte yandan Beatty'nin gösterdiği üzere aslında Gould yeniden oynatma başlığında olumsuzluk ve belirlenimcilik hakkında farklı fikirleri birleştirmişti. Yine Beatty'nin gösterdiği üzere, araştırmacılar olumsuzluğun farklı anlamlarını kullanmış ve bu nedenle birbirinden temelden farklı araştırma programları oluşturmuştu.

Önceki iki bölümde belirttiğim çalışmaların hepsi USED'in genel kurulumuna sadık kalmaktaydı; özdeş popülasyonlarla başlanır, bunlar özdeş çevrelere yerleştirilir ve ne ölçüde özdeş evrim yollarında ilerleyeceklerine bakılır. Bunun olumsuzluğun öngörülemezlik tanımının sınanması olduğu açıktır; Gould'un kasedi yeniden oynatma tabiri kelimenin gerçek anlamıyla uygulanmakta, aynı başlangıç koşulundan yola çıkan popülasyonların hepsi nesiller boyunca aynı çevresel koşulları deneyimlemekte, sonuç öngörüldüğü üzere aynı mı olacak diye bakılmaktadır.

Peki, olumsuzluğun nedensel bağımlılık tarzında kavranışı, evrimsel sonuçların tarihin özel akışına kritik şekilde bağlı olduğu fikri ne durumdadır? Gould'un buradaki reçetesi açıktır: "Önceki bir olayı, o anda önemsiz görünen bir olayı isterseniz ufacık değiştirin, evrim radikal ölçüde farklı, bambaşka bir kanala akar. Bu... tarihin özünü ne bir fazla ne bir eksik, aynıyla yansıtır. Adı da olumsuzluktur."

Gould'un önemsiz zerre ve noktacıları işte burada devreye girmektedir. Geçmişte bir noktaya gidip aynı koşullarda yeniden başlamıyoruz, demektedir. Geçmişe gidiyoruz, ama ya başlangıç koşullarında ya da yol boyunca olan bir şeyi değiştiriyoruz, demektedir. Bir biyoloğun dikkat çektiği üzere Gould'un fikri şu şekilde ifade edilebilir: "Zamanda 500 milyon yıl geriye gidin, bir trilobiti yarım metre sola kaydırın ve evrimin aynı biçimde ilerleyip ilerlemeyeceğine bakın."

Bu tür bir deneyin nasıl düzenleneceği belli gibi görünüyor. Bir grup popülasyonu özdeş çevrelere yerleştirin, ardından onları zerre/noktacık kadar farklılıklara maruz bırakın ve yine paralel evrim gösterecekler mi, bakın.

Bu zerre ve noktacılar ne gibi bir biçim alacak? Örnek olarak USED'i alalım; acaba bir araştırmacı evrimsel sonucun değiştirilen

koşullara dirençliliğini sınamak için ne yapar? Aklıma gelen birkaç fikri yazayım (popülasyonların hepsinin elbette aynı çevresel değişimleri yaşamadığını hatırlatalım; zaten bu deneylerin esprisi, çevresel değişimin evrimin seyrini değiştirip değiştirmediğinin değişim yaşamayan popülasyonla karşılaştırma içerisinde test edilmesidir): bir deney tüpünü yeniden kuvöze koymak yerine bir ay boyunca oda sıcaklığında bırakmak; bir deney tüpüne normal 0,1 mililitre yerine 0,001 mililitre ortam eklemek; bir deney tüpünü içinde ışık olan bir kuvözün içine koymak; sıvı besine iki gün boyunca normal glikoz payının üç katını koymak; sıvı besine pembe boya eklemek. Bunları mikrobiyal bilim alanında tecrübesiz biri olarak kafadan atıyorum, mikrobiyologların çevresel değişimler konusunda çok daha ilginç deney örnekleri bulacağına eminim.

Bu tür deneysel çalışmalara hiç rastlamıyorum, nedenini anlamak da zor değil. Bu tür çalışmaların hazırlanıp yürütülmesi çok ciddi çaba gerektiriyor. Burada bahsedilen çevresel değişimler de oldukça küçük çaplı şeyler. Uzun ömürlü yansımalarının olmaması çok muhtemel görünüyor. Dolayısıyla bu heyecanlı bir sonuç alma olasılığının düşük olduğu ve beklenen sonucun alınma olasılığının yüksek olduğu bir deney gibi görünüyor. Genellikle bu tür sonuçlara pek dikkat gösterilmez ve yayımlatmak bile zor olabilir. Sonuç olarak bu tür çalışmalar, özellikle de kariyerlerini ilerletmek için makale yayımlamaya ihtiyaç duyan genç biliminsanları açısından pek çekici olmayabiliyor.

Gould'un "değişen koşullara dirençlilik" adını verebileceğimiz hipotezini doğrudan test etmiş kimse olmasa da, kimi araştırmacılar genetik açıdan birbirinden farklılaşmış popülasyonlarla başlayarak yolu yarıladı. Neden farklı olduklarını bilmiyoruz (farklı zerrelere ve noktacılarının kayıtları elimizde yok) ama önemi de yok, sonuçta farklı geçmişleri olmuş ve bu çalışmalar tarihsel olarak elde edilen farklılıkların gelecekteki evrimi etkileyip etkilemediği sorusunu yanıtlamaya çalışıyor. Farklı bir şekilde ifade edersek, acaba aynı çevresel koşullarla yüzleşen genetik açıdan farklı popülasyonlar aynı biçimde evrilir mi?

Uç bir örnek olarak elimizde iki köpek popülasyonu olduğunu

varsayalım, bunlardan biri schnauzer veya chihuahua gibi küçük köpeklerden, diğerleri de tazi veya Alman kurdu gibi büyük köpeklerden oluşsun. Diyelim ki bunlar yeni bir büyük avcı türünün, mesela kaplanın geldiği bir yerde bulunuyor olsun (hepsi bir adadaydı, kaplan da anakaradan gelip adaya yerleşti belki). İki köpek popülasyonu bu avlanma baskısına farklı biçimlerde uyarlanma gösterebilir; küçük köpekler saklanmaya ve göze çarpmamaya yönelik uyum gösterirken, büyük köpekler daha çabuk kaçmaya yönelik uzun bacaklar evrimleştirebilir. İki popülasyonun farklı genetik yapılarının onları yeni yırtıcı tehdidine farklı biçimlerde uyarlanmaya yatkınlaştırdığını hayal etmek herhalde zor değildir.

Genetik farklılıkların aynı seçilim baskısına maruz kalan popülasyonların evrimine olan etkisi ilk kez 1980'li yılların ortasında meyve sinekleri üzerinde yapılan bir laboratuvar deneyinde araştırıldı. Bir muzun fazla olgunlaşmasına izin veren herkesin bildiği üzere, çürüyen meyvenin etrafında meyve sinekleri toplaşır. Bir meyvenin çürürken yaptığı şeylerden biri de ekşiyerek alkol üretmesidir. Sonuç olarak meyve sinekleri bira fabrikasında yaşamaya benzer şekilde, alkol buharı altındaki bir çevrede yaşarlar. Peki, bir sinek içkiyi fazla kaçırıp içine çok alkol çekerse ne olur? O da sizin gibi, benim gibi (hiç değilse benim gibi) sarhoş olur: Önce etraftaki şeylere çarpa çarpa heyacanla uçar. Ardından sersemler, tökezler, düşer. Sonunda yere yığılır ve kalkamaz. Akşamdan kalma hali de farklı değildir. Sinek uçmaya başlar. Düşer. İşleri ağırdan alır. Muhtemelen bir süre alkole tövbe eder, tövbesini de bir sonraki fazla olgunlaşmış muz karşısına çıkıp cazibesini konuşturana dek bozmaz.

Biz insanlarda alkol duyarlılığı farklı farklıdır ve bu farklılığın hiç değilse bir kısmı genetik temellidir. Aynı durumun meyve sineklerinde de olduğunu varsayan, o sırada Kaliforniya Üniversitesi'nin Davis kampüsünde post doktorasını yapmakta olan ve şu anda Wesleyan Üniversitesi'nde profesör olarak çalışan Fred Cohan, sineklerin alkole daha toleranslı hale gelecek şekilde evrimleşip evrimleşmeyeceği sorusunu araştırmaya karar verdi. Daha önemlisi, farklı yerlerdeki popülasyonların aynı biçimde evrimleşip evrimleşmeyeceğini veya popülasyonlar arasındaki, hangi nedenle evrimleşmiş

olursa olsun, genetik farklılıkların farklı biçimlerde uyarlanmalarına yol açıp açmayacağını öğrenmek istedi.

Cohan, Harvard'da yüksek lisansını yaparken meyve sineklerinin popülasyon biyolojisi üzerine çalışmış, aynı türden popülasyonların genetik açıdan ne ölçüde farklılaştıklarını araştırmıştı. New England üniversitelerinin birinde çalıştığı için laboratuvarında mahsur kalmış halde başkalarının gönderdiği sinekler üzerine çalışmıştı.

Fakat Kaliforniya'ya taşınmak hayatında yeni ufuklar açmıştı. Bir adam hayatını laboratuvardaki küçük şişelerin içindeki meyve sineklerine bakarak geçirecekse, bari bırakın da dışarı çıkıp sineklerini kendisi toplasın. Özellikle de sinek toplamak için güzel manzaralı yerlere gitmeniz gereken Batı Kıyıları'ndaysanız. Hele bir de sizin böcekbilimsel tuhaflıklarınıza katlanmakla kalmayıp sinek toplama gezilerinden de hoşlanan bir özel eğitim öğretmeniyle yeni evlenmişseniz...

Bu yüzden Cohan'lar 1982 yazında Davis'e geldikten hemen sonra bir üniversite aracına atladılar ve rotayı kuzeye çevirip Oregon üzerinden Washington eyaletinin içlerine doğru ilerlediler. Amaçları Batı Kıyı Şeridi civarındaki meyve sineklerinden numuneler toplamaktı. Topladıkları sinekler bir seçilim deneyinde, coğrafi olarak farklılaşmış popülasyonların aynı seçilim baskısına aynı biçimde uyarlanıp uyarlanmadığını görmek amacıyla kullanılacaktı. Ama Cohan'ların önce sineklerini yakalamaları gerekiyordu.

Meyve sineği yakalamak isterseniz nereye gidersiniz? Meyve sinekleri fermente olan meyveleri sever, bu yüzden meyvelerin çürüdüğü bir yer bulmanız gerekir. Numunelerini fast food restoranlarının arka tarafındaki çöplerden toplayan bilimsenleri olduğunu duymuştum, ama Cohan'ın daha iyi bir fikri vardı: Doğrudan meyvenin kaynağına gidecekti. Böylece o ve eşi meyve çiftliği bulma amacıyla yollarda boş boş dolaşmaya başladılar. Tüm bunların internet çağından önce yaşandığını unutmayalım. İnternete bağlanıp Google Haritalar'da en yakın çiftliği aratamıyorlardı. Bunun yerine bir meyve bahçesine denk gelinceye dek bu tür yerlerde dolanıp durdular.

Çiftçiler arabayla gelip sinek kovalamak için çiftlikte başıboş dolaşma izni isteyen bu genç çiftin isteğine şaşırtıcı ölçüde sıcak yaklaştı; aslında bu can sıkıcı küçük zararlıların gerçekten bir değer taşıyor olması, belki de önemli olabilecek bir şeyler öğrenmemize yardım edebilecek olması da ilgilerini çekti. Cohan da meyve sineklerinin aslında zararlı bir şey yapmadıklarını söylemiş olmaktan memnundu.

Bir meyve sineğini nasıl yakalarsınız? Bunu ilk düşündüğümde ben elimde bir kelebek ağı, havadaki bir sineği yakalamak için arada bir üstüne çullanarak, zigzaglar çize çize koşuşturduğumu düşündüm. Bunu kelebeklerle yapmıştım, çok eğlenceli olmuştu. Ama meyve sineklerinde öyle olmuyor. Onun yerine meyve sineklerine leziz gelecek bir kova dolusu yiyeceği yere koyup meyve sineklerinin parti zamanı olan akşam karanlığının çökmesini bekliyorsunuz. Bunu iş çıkışı yapılan bir kokteyl partisinde karides ve kajun sosu servisine benzetebiliriz, tek fark bu örnekte iştah açıcı olarak olgun muzlarla yaş maya ve üzüm suyunun karıştırılması ve kokusundan olduğu anlaşılana kadar mayanın çoğaltılmasıyla yapılan *crème de la muz* gibi bir şey sunuluyor. Meyve sinekleri buna bayılıyor. Ardından yapmanız gereken şey kovanın üzerine bir ağ yerleştirmek, sinekleri korkutup ağa takmak için ayağınızla kovaya hafifçe vurmak, elinizle sıkıp ağı kapatmak, sinekler ağa takıldı işte. Bir anda şişelerce meyve sineği elde ettiniz bile.

Cohan'lar yaptıkları iki saha gezisinde birçok çiftlik ve bahçeyi ziyaret ederek sonunda San Diego'dan Vancouver'a kadar dokuz ayrı yerden laboratuvar popülasyonu derlemeyi başardılar (Kanada numunelerinin toplanmasında bir meslektaşlarından yardım aldılar). Davis'e dönünce Cohan tüm popülasyonları alkol dayanımı seçilimine maruz bırakarak sadece alkolden en az etkilenen sineklerin üreme yoluyla çoğalmasına izin verdi.

Kulağa pek karmaşık değilmiş gibi geliyor, ama alkolün meyve sineği üzerindeki etkisi nasıl ölçülür? İnsanlarda bir grup kişiye sert içkiler verir, ardından tıpkı alkol muayenesi yapan polis gibi düz bir çizgi üzerinde yürüme, dili dolanmadan konuşma vs. becerilerini ölçersiniz. Aynısını (konuşma testi hariç) meyve sineklerinde de yapabilirsiniz, bir miktar alkol buharına maruz bırakır, ne gibi tepkiler

vereceklerine bakarsınız. Sorun bu yöntemin çok usandırıcı olmasıdır. Bu tür bir seçim deneyi genellikle her bir popülasyonda binlerce değilse bile yüzlerce sineğin test edilmesini gerektirir. Verileri toplamak amacıyla her biri için birkaç dakika ayırarak bu kadar meyve sineğini tek tek izlemek feci zaman alır.

Neyse ki girişken bir Harvard'lı master öğrencisi olan, Co-han'ın arkadaşı Ken Weber bir çözüm buldu – inebriyometre! (Biz buna alkolmetre de diyebiliriz.) Şöyle çalışıyor: Üstü kapanan bir metre yirmi santimetre uzunluğundaki bir cam tüpün içine bin adet meyve sineğini bırakıyorsunuz. Sinekler yukarılarda uçmayı sever, bu yüzden duvarlarda yürüyüp havada uçarak yukarı doğru hareket ederler. Tüpün yukarisından içeriye bir lastik hortumla boyuna alkol buharı pompalarsınız ve bu buhar dipteki başka bir hortumdan dışarı çıkar. Zamanla sinekler çakırkeyif olur, ama içlerinden bazıları daha fazla kafayı bulur. İyice sarhoş olduklarında uçma becerilerini kaybeder ve düşmeye başlarlar. Tüpün yan taraflarında sarhoş sinekler için yere yığıldıklarında yeniden ayaklanmalarına destek olmaya yarayan eğimli bir dizi raf vardır. Sonuç olarak hafif sarhoş sinekler boş bulunup düşmeye başlasa da, genellikle bu raflara tutunmayı başarırlar. Fakat sinekler iyice sarhoş olmuşsa, o kadar aciz hale gelirler ki bir raftan diğerine yuvarlana yuvarlana düşerek en sonunda tüpün en altına kadar inerler ve buradaki ekranın üzerine düştüklerinde onları almak mümkün olur. En sonunda yalnızca alkole en dirençli sinekler kalır ve nesillerini sürdürmek için birbirleriyle eşleşmelerine izin verilen talihlilerimiz de bunlar olur.

Deneyin başlangıcında alkol dayanımı yönünden çeşitlilik vardı; bazı sinekler birkaç saniye içinde tamamen sarhoş olup tüpün dibini boyluyor, diğerleriyse yarım saat geçse bile uçmayı sürdürüyordu. Sinekler ortalama olarak yaklaşık on iki dakika sonra sızıyor ve kuzeydeki popülasyonlardan alınan sinekler güneydekilere oranla biraz daha fazla dayanabiliyordu.

Yirmi dört nesil sonra popülasyonların hepsi çok daha yüksek bir alkol dayanımı geliştirdi. Ne var ki bu artış popülasyonların hepsinde aynı değildi: Britanya Kolumbiyası'ndan gelen sinekler bayılmadan önce ortalama 50 dakika kadar vızıldıyor, Güney Kaliforniya sinekle-

riyse 40 dakikaya ancak ulaşıyordu. Başka bir deyişle aynı seçim etmenlerine maruz kalmalarına rağmen kuzeyli popülasyonlar güneyli popülasyonlara oranla çok daha iyi uyarlanma göstermişti. Başlangıçta popülasyonlar arasında görülen hafif bir varyasyon, seçim sonucunda çok daha büyük bir farklılığa yol açmıştı.

Geçenlerde benzer bir deney bu kez maya üzerinde yapıldı. Araştırmacılar altı farklı çevrede tomurcuklanmış maya çeşidini aldılar; meşe ağacı, kaktüs meyvesi, zencefilli bira ve bir kadının vajinası da bunlara dahildi. Ardından her çeşitten alınan üçer numune besin kaynağı olarak glikoz içeren laboratuvar şişelerine kondu. (Laboratuvar deneycileri deneklerini glikozla beslemeyi çok seviyor!) Kendi habitatlarında çok farklı biçimlerde evrimleşmiş bu popülasyonlar yeni glikoz diyetlerine aynı biçimde mi uyarlanma gösterecekti? Araştırmacılar 5 ay ve 300 maya nesli sonra her popülasyonun birtakım kalıtsal özelliklerini ölçtü, bunların içerisinde büyüme hızı, popülasyon büyüklüğü, hücre büyüklüğü, glikoz tüketim hızı ve sindirilen glikozun yeni maya hücrelerine dönüştürülme hızı da vardı. Her özellikte çok önemli evrimsel değişimler olmasına karşın popülasyonlar ciddi varyasyonlar göstermeye devam etti; özellik değerleri birbirine yakınlaşmamakla kalmamış, bazı örneklerde ortak çevreye uyarlanırken gittikçe daha da farklı hale gelmişlerdi.

Bu iki çalışma ile daha önce ele aldıklarımız arasındaki en önemli fark, 10. Bölüm'deki USED gibi çalışmalarda popülasyonların başlangıçta özdeş olmalarıydı. Bu çalışmalarda başlangıçta popülasyonlar farklılık taşıırken işe girilmiş; bilinmeyen bir süre boyunca ayrı ayrı evrimleşmiş olan kaynak popülasyonlar genetik ve fenotipik farklılıklar biriktirmişti. Sonuç açıktı. Başlangıçta özdeş olduklarında popülasyonlar genellikle seçilime aynı biçimde tepki veriyor; farklı başladıklarındaysa evrimsel tepkiler epey ıraksak olabiliyordu. Gould'un hanesine bir puan yazdık: Başlangıçtaki koşulları değiştirirseniz, sonuçta farklı bir evrim rotası ortaya çıkabilir.

Fakat neyin popülasyonların en başta birbirinden ıraksamasına neden olduğunu bilmediğimiz için bu sonuçlar tam anlamıyla tatmin edici değil. Daha sonraki ıraksamayı hazırlayan küçük noktacık ve zerreler ne? İlk akla gelen olasılıklardan biri, bir tür doğal seçim

baskısının bir popülasyonu etkileyip diğerini etkilememiş olması. Bu tür bir seçilime verilen evrimsel tepki genetik değişime yol açar. Arından bu değişmiş gen havuzu sonraki evrimsel rotayı etkileyebilir.

Bu tarz bir senaryoyu laboratuvarında test etmek zaman alıcı olsa da, o kadar karmaşık değildir. Başlangıçta özdeş popülasyonları nesiller boyunca farklı çevrelere maruz bırakırsınız. Bu farklı çevrelere uyarlanma gösterdiklerindeyse, bu kez hepsini aynı yeni seçim çevresine maruz bırakır ve benzer biçimde mi uyarlanma gösteriyorlar yoksa geliştirdikleri farklılıklar farklı biçimlerde uyarlanmalarına mı neden oluyor diye bakarsınız.

Bu tür pek az çalışma yapılmış olması ilginçtir, alınan sonuçlar da karışıktır. Bazı çalışmalarda popülasyonlar baştaki farklılıklarına rağmen evrim göstererek çok benzer hale gelmiş, önceki farklılıklarını ortadan kaldırmıştır. Fakat başka deneylerde de popülasyonlar aynı çevreyi tecrübe etmelerine rağmen birbirine yakınsamamıştır. Başka bir deyişle olumsuzluğun alametifarikasını yansıtmışlardır: Geçmişte olanlar gelecekte olacakları etkilemektedir. Bu gibi çalışmalardan Gould'un noktacı ve zerrelere ulaşmak zor değildir: Geçmişteki olaylara cevaben gösterilen evrimsel uyarlanma, evrimin sonradan izleyeceği güzergâhları etkileyebilir.

Fakat iki popülasyonun genetik açıdan birbirinden ıraksaması için farklı çevresel koşullara maruz bırakılması gerekmez. Benzer seçim baskılarını yaşayan popülasyonlar dahi tamamen aynı biçimde uyarlanma göstermeyebilir. 10. Bölüm'de değindiğimiz mikrobiyal deneyler, genetik (çoğu defa aynı geni kapsayan) değişimler çoğunlukla çok benzer olsa bile, popülasyonlar arasında DNA düzeyinde görülen değişimler genellikle farklılaşmaktadır. Bu tür çok küçük genetik farklılıkların popülasyonları gelecekte farklı şekilde evrim göstermeye yöneltmesi mümkün müdür?

USED'de 2.000 nesile ulaşıldığı esnada on iki popülasyon seçim değerlerini hemen hemen aynı miktarda artırmıştı. Deney hakkında yazılan ilk makalede bu sonucu aktaran Lenski, popülasyonların hepsinin aynı biçimde evrimleştiğini ileri sürmüştü. Bununla beraber başka bir açıklamanın da mümkün olabileceğini teslim etmiş, popülasyonların yeni koşullarına uyarlanmanın farklı yollarını

bulmuş olabileceğinin ve uyarlanma hızının hepsinde tesadüfen aynı olabileceğinin de farkına varmıştı.

Bu iki olasılık, popülasyonların genetiği hakkında farklı tahminlere yol açıyordu. Paralel uyarlanma hipotezi, popülasyonlarda gerçekleşmiş genetik değişimlerin büyük oranda aynı olduğunu kabul ederken, benzer-uyarlanmışlık-etkilerine-sahip-benzeşmeyen-uyarlanmalar hipoteziyse popülasyonların çok farklı genetik değişimler yaşamış olduğunu kabul ediyordu. Fakat olay gen ve genom araştırmalarının henüz hayal olduğu 1990'lı yılların başında yaşanıyordu. Bu iki olasılık arasında nasıl seçim yapılacağı belirsizdi.

Bu muammanın çözülmesi işi yine bizim Michael Travisano'ya düştü. Travisano'nun araştırma kariyeri kar tanesi mayadan önce, kırışık yayılanlardan da önce, Lenski Lab'de başladı. (9. Bölüm'de doktorasını yaparken yazdığı makalelerin birinden bahsetmiştim zaten.) Travisano ilk başta laboratuvara hamsterların yumurtalık hücrelerinde araştırma yapıp kanser olmalarına neyin sebep olduğu üzerine çalışarak hücre biyolojisi deneyimi kazanmış bir teknisyen olarak girdi. Geçmişe dönüp baktığında bugün deneysel evrim çalışmaları yürüttüğünü fark ediyor, ama o dönem bunlar o şekilde tanımlanmıyordu. Esasen bir hücrenin metastatik olmasına neyin sebep olduğunu anlamaya çalışarak belirli deneysel tedavilere verilen tekrarlanabilir yanıtları arıyorlardı.

Bu çalışma deneyiminin üzerine yeni USED deneyimiyle beraber Travisano, evrimin tekrarlanma derecesinin nasıl değerlendirileceği üzerine kafa yoruyordu. On iki USED popülasyonunun hepsinin aynı biçimde evrimleşip evrimleşmediğini ortaya çıkarmak için Lenski'yle beraber çalışarak çok şık bir deney tasarladı. İşin püf noktasının popülasyonları başka bir çevreye yerleştirip başlarına ne geleceğini izlemek olduğunu fark etmişlerdi. Popülasyonların hepsi USED koşullarına uyarlanırken genetik açıdan aynı biçimde evrimleşmişse, o halde (genetik açıdan benzer olduklarından) hepsinin yeni çevrede eşit ölçüde başarılı olması gerekirdi. Yok, eğer popülasyonlar USED koşullarına farklı farklı genetik uyarlanmalar geliştirmişse, bu durumda yeni koşullara uyarlanma başarıları da birbirinden farklı olacaktı.

Travisano bu fikri test etmek amacıyla 2.000. nesildeki on iki *E. coli* popülasyonundan numuneler aldı ve bunları farklı bir çevreye yerleştirdi. Bunlara enerji kaynağı olarak glikoz sunmak yerine de, ortamı maltoz adlı farklı tipte bir şeker vererek oluşturdu.

USED'in ilk 2.000 neslinin ardından popülasyonların hepsi glikoz kullanımında çok daha ustalaşmış ve bu nedenle aynı yiyeceği alan atalarından çok daha hızlı büyür hale gelmişti. Glikoza olan bu uyarlanma maltoz kullanım becerilerini nasıl etkileyecekti? Travisano, orijinal halleriyle karşılaştırmak amacıyla donmuş arşivlerde derinlere inerek, atasal USED popülasyonunu diriltti ve maltozda ne kadar iyi büyüdüklerini ölçtü.

Maltoz kullanma becerisi ortalama olarak hiç değişmemişti. Ne var ki bu ortalama, popülasyonlar arasında çok büyük miktarlarda varyasyon olduğu gerçeğini örtüyordu. Popülasyonların beşi aslında maltoz kullanımında atalarından daha kötü (bazen çok daha kötü) olacak şekilde evrimleşmişti. Bu popülasyonlar açısından glikoz kullanımına uyarlanma, maltozdan daha az faydalanabilme pahasına elde edilmişti. USED deneyi sırasında popülasyonların aslında maltoza hiç maruz bırakılmadığını da hatırlayalım; maltoz kullanım becerisindeki zayıflama, artan glikoz alımına uyarlanma sırasında yaşanan değişimlerin tesadüfi bir sonucuydu sadece. Buna karşılık diğer yedi popülasyon maltoz kullanım becerilerini ilerletmişti.

Bu durum, 2.000. nesle gelindiğinde on iki USED popülasyonunun genetik açıdan epey uyumsuz olduğu anlamına geliyordu. Popülasyonların glikozda büyüme hızları yaklaşık olarak aynı olmasına karşın, bu homojenlik popülasyonlar arasında evrimleşmiş olan genetik farklılıklardaki heterojenliğin üzerini örtmüştü.

Travisano, çalışmasını yayımladığından bu yana kavramsal açıdan benzer bir dizi proje yürütüldü ve hepsinde de hemen hemen aynı sonuç elde edildi. Eşlenen popülasyonlar aynı seçim koşullarına maruz bırakıldıklarında benzer biçimlerde uyarlanıyor gibi görünse bile, onları yepyeni çevrelere koymak, yeni koşullara heterojen tepkiler vermelerine yol açan örtük genetik varyasyonu açığa çıkarmaktadır. Diğer deyişle görüntü aldatıcı olabilmektedir; özdeş çev-

reler içerisinde aynı başlangıç noktasından başlayan evrim, görüldüğü kadar belirlenimci olmayabilir!

Öyleyse bir sonraki soruya geldik. Popülasyonların tek bir çevrede çok sayıda nesil evrimleştirdiğini varsayalım. Bu sürede birike-rek çoğalan farklılıklar, sadece başlangıçta yeni bir çevrede nasıl ilerleyeceklerini değil, aynı zamanda sonradan yeni koşullara nasıl uyarlanma göstereceklerini de etkileyecek mi? Bu soruyu yanıtlamaya girişen az sayıda araştırma oldu ve Travisano'nunki halen referans çalışma durumunda.

Travisano, USED On İkisi'nin maltozlu bir ortama yerleştirildiğinde ilk tepkilerindeki heterojenliği keşfettikten sonra, bu kez popülasyonların bu yeni kaynağa uyarlanmasına olanak tanıdı. Bu deney USED'le tamamen aynı biçimde yürütüldü, tek fark ortamda sağlanan besin maddesinin glikoz yerine maltoz olmasıydı. Yine aynı USED'deki gibi popülasyonlar zaman içerisinde uyarlanma gösterdi; 1.000 nesil sonra popülasyonların hepsi maltoz kullanımına ilk atalarından daha iyi uyarlanma göstermişti. Dahası, uyarlanma derecesi her popülasyonun başlangıçtaki uyumluluklarıyla bağıntılıydı; maltozda başlangıçta iyi performans göstermeyenler, başta iyi gidenlerle karşılaştırıldığında, uyarlanmada çok daha büyük bir artış sergilediler. Hatta etki o kadar büyüktü ki, deneyin sonuna gelindiğinde popülasyonlar maltoza neredeyse eşit ölçüde uyumlanmıştı; başlangıçtaki uyumluluk farkları büyük oranda ortadan kalkmıştı.

Yine de bazı farklılıklar vardı; deneyin başında maltoz kullanımında en iyi olan popülasyonlar, ilk baştaki en kötü maltoz tüketen popülasyonlardan hâlâ yaklaşık %10 hızlı büyüyordu. Hücre büyüklüğü sonuçları da benzerdi. Yönelime benzer bir görünüm vardı; başlangıçta en küçük hücrelere sahip olan iki popülasyon en büyük artışı yaşamış, en büyük hücrelere sahip popülasyon ise en büyük düşüşü yaşamıştı. Fakat aynı zamanda, benzer hücre büyüklüklerine sahip bazı popülasyonların farklı biçimlerde evrilmesi nedeniyle epey bir tutarsızlık da vardı.

Diğer bir deyişle popülasyonlar arasında maltoz kullanımına uyarlanma derecesinde görülen (USED popülasyonları glikozda evrimleşirken kazara gelişmiş) başlangıçtaki çeşitlilik, uzun süreli bir

etkiye sahipti. Maltoza 1.000 nesil boyunca yaşanan uyarlanma genetik farklılaşmanın izini silmeyi başaramamıştı.

Gouldcu açıdan bakıldığında bu sonuç çok önemlidir. Popülasyonlar paralel biçimde evrimleştiğinde bile, büyümekte olan saklı farklılıklar onları yeni koşullara maruz kaldıklarında farklı yönlere yöneltebilir.

Wonderful Life çok büyük bir bilimsel etki yarattı. Kitap popüler bir dille yazılmış olmasına rağmen yaklaşık 4.000 bilimsel makalede alıntılındı ki bu muazzam bir sayıdır (biliminsanları genelde çalışmalarından yapılan alıntılar elliye, bilemedin yüzü buldu mu, mutlu olurlar). “Yaşamın kasedini başa alıp oynatmak” anlamını zaten herkes bildiği için herhangi bir açıklama yapılmadan doğrudan terimler sözlüğüne girdi.

Yine de, John Beatty, bunu doğrudan ifade edemeyecek kadar kibar biri olsa da,* aslında Gould bu benzetmede bayağı bir çuvallamıştı. Gould’un “geriye sarma tuşuna basın... geçmişte istediğiniz herhangi bir yere ve zamana gidin... Ardından kasedi yeniden çalıştırın” talimatları çok açıktır. Ama Gould’un söylediklerinin anlatmak istediğiyle hiç alakası yoktur. Ya da isterseniz Gould, aslında çok daha fazla şey anlatmak istemiştir, diyelim.

Gould’un fikrini test etmek amacıyla birbirinden ayrı denebilecek iki araştırma programı geliştirildi. Söylediklerini doğru kabul eden USED ve benzeri çalışmalar kasedi geriye sardılar – ya atasal popülasyonları dirilterek sözcüğün gerçek anlamıyla ya da deney şişelerini birbiri ardına ele alma yoluyla yeniden oynatmaları mekânsal olarak gerçekleştirerek.

* Bu konuda ilk ağızdan bir otorite olarak konuşabilirim, çünkü Beatty’nin karşısındakini eleştiremeyecek kadar kibar tarzından faydalananlardan biri de benim. Gould’un olumsuzluk konusundaki görüşleri hakkındaki makalesinde örnek olarak benim Karayipler’deki kertenkele evrimi konulu çalışmamı kullandı (tesadüfe bakın, diğer örnek de Travisano-Lenski’nin maltoz üzerine ortak makalesiydi). Beatty makalesinde benim mantıksal anlam taşımayan bir şey yazdığımı dikkat çeker. Konunun üzerinde durup açabilecekken, benim sonrasında kendisine ne demek istediğimi açıkladığımı ve böylece benim makalemden yazdığım açıkça ortada olmasına karşın, sonuçta söylenenin mantıklı bir anlam taşıdığının görüldüğünü yazar.

Alternatif bir yaklaşım, her ne kadar akılda kalıcı benzetmesiyle bağdaşmasa da Gould'un söylediğini yaptı. Bu çalışmalarda evrimin tedirgemeye ne kadar dirençli olduğunun görülmesi amacıyla popülasyonlar değişik koşullara maruz bırakıldı. Evrim her zaman aynı bitiş noktasına mı geliyordu, yoksa sonuçlar başlangıçtaki koşullara ve sonradan yaşananlara olumsal mıydı?

Bu iki yaklaşımın ortalama olarak farklı sonuçlar verecek gibi görünmesi pek de şaşırtıcı değildir. Popülasyonlar tam olarak aynı başlar ve aynı çevreleri tecrübe ederse, genellikle aşağı yukarı aynı biçimde evrim gösterir. Mutasyonların gerçekleşmesinde rastlantısalılık vardır ve bu rastlantısalılık popülasyonların uyarlanma gösterdikleri çevrede kaldıkları sürece yer yer çok, çoğu zamansa yalnızca biraz ıraksamalarına neden olacaktır.

Olur da farklı biçimde başlar veya zaman içerisinde başlarından farklı olaylar geçerse, popülasyonların ıraksaması daha muhtemeldir. Bu senaryoyu (Gould'un sözlerinde asıl vurguladığı senaryoyu) sınanan pek az çalışma olması ilginçtir, ama bu çalışmalar bazen evrimsel sonucun çok farklı olacağını ispatlamaktadır.

Beatty, bu iki yaklaşımın birbirini tamamlayıcı olduğunu ileri sürerek analizini sonuçlandırır. Birinci yaklaşım aynı başlayan popülasyonların ıraksayıp ıraksamayacağını araştırırken, ikinci yaklaşım yola farklı şekilde başlayan veya farklı olaylar yaşayan popülasyonların aynı evrimsel sonuca yakınsayıp yakınsamayacaklarını sorgular.

Diğer bir alternatif de, ilk deney kümesine ikincinin bir alt kümesi olarak bakmaktır. Özdeş olarak başlayan popülasyonlar bile mutasyonların yaşandığı farklılıklar yüzünden sonunda ayrışıp birbirinden ıraksayacaktır. Bu farklılıklar geçmişin bir sonucu olduğu kadar, dış olayların da tetiklediği değişimlerin sonucudur. Bu tür genetik farklılıklar ortaya çıktıklarında popülasyonların daha da ıraksamasına mı neden olacaktır yoksa popülasyonlar her şeye rağmen aynı genel biçimde uyarlanmaya devam mı edecektir?

Daha önemli mesele, bizlerin hangi soruları sormak istediği-mizle ilgilidir. Felsefeci açısından aynı başlayan ve özdeş deneyimlere sahip popülasyonların özdeş biçimde evrimleşip evrimleşmeyece-

ğini sormak ilgi çekicidir. Doğabilimci, astrobiyolog ve (iddia ediyorum) Stephen Jay Gould açısından soru farklıdır. Doğada popülasyonlar asla tamamen aynı biçimde başlamaz ve asla aynı tarihsel olaylar dizisini yaşamaz. Benzer çevrelerde bu tür popülasyonlar ortaya çıktığında, doğal seçim Conway Morris ve diğerlerinin ileri sürdüğü gibi genetik bünye ve geçmiş farklılıklarını silip ortadan kaldırmaya yetecek kadar mutlak bir güce sahip midir? Yoksa seçim Gould'un ileri sürdüğü gibi tarihsel kayıtların sınırları içerisinde işlemeye zorunlu, olasılıkları daha önce yaşananlarca sınırlanmış ve bu nedenle her seferinde farklı bir sonuca ulaşmaya eğilimli midir?

Laboratuvar evrim deneyleri bu sorulara netlik kazandırma ve bize çok farklı evrimsel olasılıklarla karşı karşıya olduğumuzu gösterme açısından harika iş çıkardılar. Ancak en büyük avantajları aynı zamanda en büyük dezavantajları durumunda: Laboratuvarın yapay sınırlarıyla kısıtlanmış haldeler. Tasarım olarak laboratuvar deneyleri, tıpatıp aynı deney tüpleri yan yana dizilmiş halleriyle kontrol yönünden çok güzeldir. Konuyla ilgisiz, dış kaynaklı nedenler (sistemdeki gürültü) mümkün olabilecek en üst ölçüde ortadan kaldırılarak araştırmanın incelenen etmenlere odaklanması sağlanmıştır. İyi yürütülen bir deney için olmazsa olmaz tüm bu şeyler iydirdir, hoştur.

Fakat daha önce de belirttiğimiz üzere doğa gürültülü ve kontrolsüzdür. Tamamen özdeş çevreler fikri komiktir; rüzgâr eser, böcekler uçar gelir, yukarıdan geçen bir kuşun kakasından çıkan tohum filizlenir. Her şeyi kontrol etmeye alışmış laboratuvar bilimcileri için acayip pasaklı ve şoke edicidir. Ama doğa böyledir.

Bunlar tam da Gould'un bahsettiği türde noktacık ve zerrelere: Tohum, fırtına, asteroit gibi bir olay veya koşul yüzünden bir yeniden oynatma bir diğeriyle aynı olamaz. Keşke mikrobiyal evrim deneylerinin gücünü alıp doğanın tesadüfiliğine ilâştirebilseydik – o zaman zaman ve mekân olumsuzluklarının oynadığı rolü gerçekten test edebilirdik. İşte tam da bunu yapabileceğimiz, aynı zamanda da mikropların evriminin insan refahını nasıl etkilediğini öğrenebileceğimiz anlaşıldı.

İNSAN ORTAMI

Pseudomonas aeruginosa doğada çok yaygın görülen, yeni koşullara çok rahat uyaranabilen, oyunbaz bir bakteridir; uzay mekiğiyle gezerken ve petrol sızıntılarının içinde gelişebilir. Bitkilere, yuvarlak solucanlara, meyve sineklerine, balıklara ve birçok memeliye bulaşır. İnsanlarda yanık enfeksiyonları ve yaralarda, idrar yolunda ve gözlerde bulunur.

P. aeruginosa nemli yerleri çok sever, bu yüzden akciğerler onun için çekici yerlerdir. Çoğu insan için bu sorun değildir; öksürür, bunları dışarı atarız. Fakat kistik fibrozisten mustarip kişilerde durum farklıdır. KF hastalarının mukusları (sümük) anormal yoğunluktadır, ciğerlerinin temizlenmesi bu yüzden zor olur. *P. aeruginosa* ve başka bazı bakteriler mukus topaklarından faydalananarak ("biyo-film" denen) yüzeyler oluşturup kendilerini sümüksü sığınakların içine gömerek yok edilmesi zor hale getirirler. Sonuç enfeksiyon, zatürre, akciğer hasarı ve çoğu kez ölümdür – *P. aeruginosa* kistik fibrozisli bireylerde görülen can kayıplarının yüzde 80'iyle ilişkilidir.

Hekimler 2000 yılı civarında meselenin *P. aeruginosa*'nın KF

hastalarına yerleşip ciğerlerin geçiş yollarında oyuklar açmasıyla sınırlı olmadığını fark ettiler. Mikrobun öldürücülüğü kısmen yerleştikten sonraki evrimi yüzündendi; bu evrimi yeni pnömatik habitata dışarı atılmasını zorlaştıran biçimde uyarlanırken ve zararlı etkisini artırırken gerçekleştiriyordu.

Bu keşif KF'li insanların tedavi biçimini değiştirdi. Eskiden KF'li insanlar özel hazırlanmış KF yaz kamplarına ve hastane koğuşlarına götürülerek bir arada tutulurdu. Bugün bunun yapılabilecek en kötü şey olduğunu fark etmiş durumdayız; bu tür toplanmalar *P. aeruginosa*'nın son derece gelişmiş, öldürücü suşlarının bir bireyden diğerine aktarımını kolaylaştırmaktadır. Şu anda KF'li bireyler arasında temas, özellikle hastanelerde mümkün mertebe engellenmektedir.

Bunun sonucunda bugün KF'li insanların çoğu *P. aeruginosa*'yı başka KF'lilerden değil, çevredeki kaynaklardan almaktadır. Mikrobun bakış açısından her KF'li birey bir fırsat, her *P. aeruginosa* kolonizasyonu evrimsel açıdan bağımsız bir olaydır. Bu da artık aşına olduğumuz bir soruyu akla getirmektedir: *P. aeruginosa* suşları benzer, fakat özdeş olmayan çevrelere (bu örnekte insanların akciğerlerine) uyarlanma gösterirken benzer biçimlerde mi evrimleşmektedir?

Bu soru, son üç bölümde bahsi geçen birçok mikrobiyal deneysel evrim çalışması gibi teorik olarak laboratuvarında test edilebilir. Hatta böyle bir deney de yapılmıştır. Girişimci birkaç Kanadalı araştırmacı KF'li bireylerin akciğerlerindeki mukusa benzeyen yapışkan, yumuşak bir madde imal ederek sahte insan akciğerleri üretti. Ardından *P. aeruginosa*'yı yapışkan maddeyle dolu Petri kaplarına koyup uyarlanmasını izlediler.

Kopyalanan *P. aeruginosa* popülasyonları, mikrobiyal evrim deneylerinin çoğunda görüldüğü gibi, yeni çevreye uyarlanma biçimlerinde birçok benzerlik gösterdi. Fakat popülasyonların hepsi aynı Petri kabı kültüründeki mikroplardan alınmıştı; hepsi yolculuklarına genetik açıdan benzer durumda başlamıştı. Oysa KF hastalarındaki *P. aeruginosa* suşları muhtemelen her bireyde önemli farklılıklar gösteriyordu.

KF enfeksiyon vakalarının çoğunda *P. aeruginosa*'nın çevresel

kaynağını bilmeyiz. Kolonizasyon güzergâhı çok büyük olasılıkla tesadüfidir; belki bir birey mikroplarını bir su musluğundan, diğeri bataklığa yapılan bir kuş gözlem gezisinden almıştır. Çok farklı çevrelere uyarlanma imkânına sahip bu *P. aeruginosa* suşlarının genetik açıdan farklılık göstermesi muhtemeldir. Daha önceki çalışmalardan öğrendiğimiz üzere, bir deney heterojen evrimsel ve ekolojik arka planlardan gelen popülasyonlardan başlatıldığında popülasyonlar kendilerine özgü biçimlerde uyarlanabilmektedir. Dolayısıyla değişik KF suşlarının farklı insanlara aynı biçimde uyarlanmasını bekleyebilir miyiz, belli değildir.

Ama kesin olan bir şey vardır: KF'li birinin solunum sistemini istila eden bakteriler, dış dünyadakinden çok farklı şartlarla karşılaşacaktır. *P. aeruginosa* yalnızca istilacılarla savaşılan bir bağışıklık sistemiyle ve onu etkisiz hale getirmeye uğraşan antibiyotiklerle değil, ayrıca kendisiyle rekabet eden çeşitli bakteri türleriyle ve üzerini örten yapışkan mukusla da uğraşmak zorunda kalacaktır. Doğal seçim baskıları çok yoğun olacaktır.

Üstelik insanların solunum sistemi, burun sinüslerinden solunum bronşioelleri ve alveollerine dek çok sayıda farklı ortam sunmaktadır. Dolayısıyla hava akımı, nemlilik, oksijen miktarı, yüzey yapısı, mukus bolluğu, antibiyotik yoğunluğu açısından farklılıklar gösteren birçok niş mevcuttur. Bu çeşitlilik, keza her insanda var olan özgül farklılıklar, farklı *P. aeruginosa* suşlarının (sadece KF hastaları arasında değil, hastaların içerisinde bile) farklı biçimlerde uyarlanmasına yol açabilmektedir.

Farklı *P. aeruginosa* suşlarının nasıl uyarlandığı akademik bir mesele değildir, elbette. Laboratuvarda yapılan evrimsel tekrarlanabilirlik testlerinin çoğu meraktan yapılır. Bir meşe ağacından ve bir kadının üreme yolundan alınan mayanın glikoz dolu bir Petri kabında yaşamaya benzer biçimde uyarlanıp uyarlanmadığı evrim biyologlarının ilgi alanında olabilir, ama kistik fibrozisli insanların akciğerlerinde bakterilerin aynı biçimde uyarlanıp uyarlanmadığının gerçek dünyada yarattığı sonuçlar vardır. Bakterinin evrimi ne kadar tekrarlanabilir özellikteyse, yeni ilaç ve tedavi uygulamaları geliştirmek o kadar kolay olur.

Etiğin olmadığı bir dünyada araştırmacılar KF'li bireyleri bilinçli olarak farklı *P. aeruginosa* suşlarıyla enfekte eder ve bakterinin evrimini takip ederdi. Gerçek dünyada böyle bir deneyi düşünmek bile elbette yanlış ve korkunç olur. Fakat *P. aeruginosa* saldırısı olduğunda KF'li insanların başından her seferinde esasen aynı olaylar dizisi geçiyor.

İşte bu tip bir doğal araştırma yüzyılın başında Kopenhag Kistik Fibrozis Merkezi'ndeki araştırmacılarca yapılmıştı. Merkezdeki tedavi protokolünün bir parçası olarak KF'li bireyler her ay düzenli şekilde gelip *P. aeruginosa* varlığı yönünden incelenmesi için balgam örneği vermektedir. Testi pozitif çıkanlar derhal bir tedavi rejimine alınıyor ve bu tedavi bazen bakterinin temizlenmesinde etkili olabiliyordu.

Tedavi amaçlı oluşturulmuş olmalarına karşın bu prosedürler aynı zamanda güzel bir evrim çalışması niteliği taşıyordu. Merkezin klinik uzmanları *P. aeruginosa* enfeksiyonlarını neredeyse oluşur oluşmaz tespit ediyor, ardından yer yer 10 yıla kadar varan süreler boyunca yeniden örnekler alıyor ve izliyordu. Aynı hastadan farklı zamanlarda alınan numunelerin karşılaştırılması sayesinde çalışanlar bakterinin evrimsel ilerleyişini kayda geçirebiliyordu.

Danimarkalı araştırmacılar 34 çocuk ve genç yetişkinden alınan 400'den fazla *P. aeruginosa* numunesinin tüm genomunu dizilediler. Birkaç vakada farklı bireylerden alınan suşlar çok benzerdi ve bu durum kliniğin bu tür bulaşmaları engellemek için gösterdiği onca çabaya karşın bakterinin başka hastalardan geçtiğine işaret ediyordu.*

Fakat bakteri genomlarının büyük çoğunluğu birbirinden çok farklıydı ve bu da hastaların *P. aeruginosa*'larını bağımsız şekilde, farklı çevresel suşlardan aldığını gösteriyordu. O halde soru, bu farklı bakterilerin izlediği evrim güzergâhlarının ne kadar benzer olduğuydu.

* Bu olasılığı güçlendiren bir diğer şey de, ziyaretçi kayıtlarından araştırılan hastaların enfeksiyon gerçekleşmeden önce klinikte aynı zamanda bulunduğu tespit edilebilmesiydi.

Araştırmacılar, bir bireyde bulunan *P. aeruginosa* DNA'sının farklı zamanlardaki durumunun karşılaştırılması yoluyla, bakteri o kişide yerleştikten sonra gerçekleşmiş olan genetik değişimlerin kaydını tutmayı başardılar. Toplamda 12 binden fazla mutasyon buldular; bu, kolonileşen suş başına ortalama 300'den fazla mutasyona denk geliyordu.

Asıl güçlük, bu veri kalabalığından anlam çıkarmaktı. Hangi değişimler yeni işgal edilen insan akciğeri ortamına uyarlanmayı yansıtıyordu ve hangileri uyumsal önemi olmayan rastgele değişimlerdi? *P. aeruginosa* genomu, 5 binden fazla gen ve 6 milyondan fazla DNA parçası içerir. Yaşanan büyük ilerlemelere karşın hâlâ bakterinin genomunun nasıl işlediği konusunda pek az bilgiye sahibiz. Bu nedenle Danimarkalı araştırmacılar saptadıkları 12 bin genetik değişimin hemen hepsinin ne anlam ifade ettiği konusunda pek az fikre sahipti.

Bu açmazın karşısında araştırmacıların aklına harika bir fikir geldi. Benzer çevrelere yerleşen popülasyonların yakınsak evriminin, uyumsal evrimin güçlü bir kanıtı olduğunu düşündüler. Zaten mikropların benzer koşullara uyarlanmak için aynı genleri yakınsak biçimde kullandığı da bilinmekteydi. *P. aeruginosa*'nın insanların içinde yaşamaya uyarlanmasında devreye giren genleri betimleme amacıyla, neden farklı KF hastalarında tekrar tekrar mutasyon göstermiş olan genlere bakmayı denemeyelim?

Araştırmacılar, aynı gende mutasyonları olan suşların sayısını kayda geçirerek mutasyonları tasnifledi. Toplamda mutasyonlar yaklaşık 4 bin gende gerçekleşmiş, bunların üçte birinde birden çok suшта mutasyon görülmüştü. İki suş aynı gende şans eseri de mutasyon kazanabilir, elbette. İstatistiksel analiz eşiği 5 olarak belirlemiş – o kadar çok suş içerisinde aynı gende mutasyonların gerçekleşmesinin rastlantı eseri olması çok düşük bir olasılıktı.*

52 gen beş veya daha fazla suшта mutasyon kazanmıştı; rekor 20

* Burada biraz basitleştirme de söz konusu, zira asıl hesaplama genin büyüklüğüne dayalı olarak değişmektedir.

susun, toplamın yarısından fazlasının, genetik bir değişim yaşadığı bir gendeydi. Araştırmacılar, bu 52 geni, muhtemel yakınsak uyarlanma adayları, onların diliyle ifade edersek “mutasyonların patojen uyumluluğunu optimize ettiği pato-uyumsal gen adayları” olarak düşündüler.

Bu yöntemin etkinliğini sınamanın yollarından biri, *P. aeruginosa* uyarlanmasında devreye girdiği daha önceden bilinen genleri saptayıp saptamadığına bakmaktır. Hakikaten, buldukları genlerin yarısı daha önce tespit edilen, antibiyotik direncinin ve biyofilm oluşumunun evriminde devreye giren en dikkat çekici genlerdendi. Yakınsamaya güvenmek, gerçekten de patojen uyarlanmasında görülen genlerin saptanmasını sağlıyordu.

Bu çalışmadan elde edilen umut verici sonuç, daha önce KF uyarlanmasında görüldüğü tespit edilmemiş bir dizi genin saptanmış olmasıydı. Bu genlerin yedisinin biyokimyasal işlevi bilinmekteydi, dolayısıyla araştırma artık bu işlevlerin mutasyonla değiştirilmesinin *P. aeruginosa*’nın KF hastalarına uyarlanmasını nasıl sağladığına odaklanmaktadır. Ek olarak, yakınsak genlerin 19’unun keşfedilmemiş topraklar olduğunu, işlevlerinin hiç bilinmediğini belirtelim (*P. aeruginosa*’nın genlerinin neredeyse yarısının nasıl çalıştığını hiç bilmediğimize göre, pek de şaşırtıcı değil). Bir genin ne yaptığını bilmezsek, o gendeki değişimlerin insan akciğerleri ortamına uyarlanmasına nasıl yol açabileceği konusunda hiçbir fikrimiz olamayacağı da çok açık. Bu genlerin nasıl işlediğini bulmanın çok yüksek bir öncelik taşıdığı ortada.

Bu hikâyeyi “Yakınsak Evrim Kistik Fibrozis Hastalarını Kurtarıyor” başlığıyla bitirmeyi çok isterdim, ama henüz daha oraya gelmedik. Yine de yakınsak evrim konusunda çalışmanın salt akademik bir uğraşı olmadığı ortada; patojenik (hastalık yapan) organizmaların insanlara nasıl saldırdığını anlamamıza ve belki de onları yenecek tedavileri hazırlamamıza yardımcı olabilir.

Öte yandan bu çalışmanın sonuçları aynı zamanda evrimsel öngörülebilirlik ve yakınsaklık sorunuyla da ilgili. Tanımlanan genlerin çoğu 34 hastanın yarısından azında mutasyon geçirmiştir. Daha-

sı, analizde yakınsamaya itimat edildiğinde de sadece bir veya birkaç hastada gerçekleşen uyumsal mutasyonların tespiti mümkün olmamıştır. *P. aeruginosa*'nın KF hastalarına uyarlanışında toplam tekrarlanabilirlik de hayli düşüktür. Bu tekrarlanmazlığın mutasyonlardaki rastlantısallığın mı, bulaşan farklı suşların farklı genetik yapılarının mı, hastalar arasındaki biyolojik farklılıkların mı, yoksa akciğerlerin farklı kısımlarına uyarlanmanın mı sonucu olduğu belirlenememiştir.

Yapılan başka bir çalışmada da çok benzer sonuçlar elde edildi. *Burkholderia dolosa*, 1990'ların başında Boston'daki bir hastanedeki KF hastalarında görülüp 39 bireye bulaştığında henüz bilim için yeni bir mikroptu. Danimarka'daki *P. aeruginosa* araştırmasında olduğu gibi aynı hastalardan tekrar tekrar alınan numuneler, araştırmacıların mikrobun her bir bireydeki genetik değişimlerini izlemesini sağladı.

Burada da *P. aeruginosa* çalışmasındaki gibi çok fazla sayıda mutasyon vardı. Bakterinin tanınmamışlığı koşullarında değişimlerin çoğunun yarattığı sonuçların çıkarsanması zordu, bu nedenle Harvard Tıp Fakültesi'nden Tami Lieberman'ın öncülüğünde bir ekip birden çok KF hastasında tekrar tekrar mutasyon geçirmiş genleri aramaya başladı. Tespit ettikleri 17 gen içerisinde antibiyotik direnci ve hastalık gelişimiyle bağlantılı olduğu bilinen 11 gen vardı. Fakat birden çok mutasyon geçirmiş genlerin üçünün işlevi tümüyle bilinmiyordu ve başka üçü de akciğer hastalıklarında hiç görülmemişti. Bu bilgi olmasaydı kimse onların *Burkholderia* enfeksiyonunda önemli olduğunu düşünmezdi. Şu anda araştırma, nasıl patolojik olabileceklerini anlama amacıyla mutasyonların birkaçı üzerinde yürütülen çalışmalarla sürüyor.

Yine *P. aeruginosa* çalışmasında görüldüğü gibi, hastaların yarısında görece az sayıda gen mutasyon geçirmişti ve toplam öngörülebilirlik yine düşüktü. Ve çalışma, birden çok hastada yakınsak şekilde mutasyon göstermiş genlere odaklanma yoluyla sadece bir veya birkaç hastada gerçekleşmiş uyumsal değişimleri tespit etmeyi başaramadı.

Bu çalışmaların ikisi de KF hastaları enfeksiyonlara yatkın olduğu için kistik fibrozis üzerinde yapıldı. Rutin takibin yapılması araştırmacılara enfeksiyonun ilk aşamalarından numuneler alma ve bakterinin zaman içerisinde nasıl uyarlandığını araştırma olanağı sağlıyor. Ne yazık ki çoğu hastalıkta elde her bireyden çok sayıda numune bulunmaz. Hatta çoğu vakada bu tür numunelerin faydası da olmaz, çünkü birçok bakteri son kurbanına başka bir yerde evrimleşip patojenik uyarlanmalarını yapmış şekilde ulaşır.

Yakınsak genetik değişimleri tespit etmenin bir başka yolu da, evrim biyologlarının izinden giderek kalıtsal özellik evrimini incelemek için bir filogeni oluşturmaktır. Tıbbi mikrobiyologlar kötücül suşları zararsız akrabalarıyla karşılaştırma yoluyla, yalnızca patojenik suşlarda birkaç kez evrimleşmiş olan benzer değişimleri arıyorlar.

Araştırmacılar bu yaklaşımı ilaç direncinin genetik temelini araştırmakta daha sık kullanıyor. Örneğin veremden sorumlu olan *Mycobacterium tuberculosis* adlı bakteri birçok kez antibiyotik direnci geliştirmiş durumdadır. Uluslararası bir araştırma ekibi *M. tuberculosis*'in içlerinden 47'si verem tedavisinde kullanılan antibiyotik ilaçlara direnç sergilemiş olan 123 suşunun genomunu diziledi. Elde edilen filogeni, beklendiği gibi, antibiyotiğe dirençli suşların hepsinin birbiriyle yakın akraba olmadığını ve ilaçlara direncin yakınsak şekilde birçok kez evrim gösterdiğini doğruladı.

Araştırmacılar, bütün örneklem içerisinde suşlarının hiç değilse birinde bir mutasyon yaşamış yaklaşık 25 bin DNA konumu tespit etti. Ardından birden çok kez ve yalnızca veya öncelikle dirençli olan suşlarda evrimleşmiş mutasyonlara odaklandılar. İçlerindeki en uç örnek, sekiz dirençli suшта evrimleşip dirençli olmayan hiçbir suшта evrimleşmemiş bir mutasyondur.

Araştırma müthiş başarılı oldu. *M. tuberculosis* genomunda 11 bölgenin (genler veya genler arasında bulunan DNA'lar) antibiyotik direnci göstermiş mutasyonlara sahip olduğu daha önceden tespit edilmişti. Çalışmada bunların 11'i birden tespit edildi. Ayrıca ek olarak, daha önceden veremle ilişkili olduğundan şüphelenilmemiş olan 39 bölge daha bulundu. Bunlardan 11'i işlevi önceden bilinen genle-

rin içindeydi. Bu genlerden birkaçı bakterinin hücre duvarının geçirgenliğinin belirlenmesinde görevliydi; bu durum bu tür değişimlerin, belki de antibiyotiğin bakterinin duvarından içeriye girmesini zorlaştırarak, antibiyotik direnciyle bir biçimde ilişkili olabileceğini düşündürüyordu. Geriye kalan 28 değişim, işlevi bilinmeyen genlerdeydi. Araştırma bu değişimlerin antibiyotik direncine nasıl yol açtığını ve sonuçta bu türde bir evrimin nasıl önlenebileceğini veya yarınlatabileceğini bulmak amacıyla halen devam ediyor.

Bu araştırmalarda görülen yakınsama düzeylerine nadiren rastlanmaktaydı. En uç yakınsama vakaları bile suşların yarısını zar zor kapsadı; en yakınsak şekilde mutasyona uğramış genler, ancak suşların pek azında karşımıza çıktı. Aslına bakılırsa genlerin çoğu sadece tek bir suшта mutasyona uğramıştı. Yakınsama-olumsallık tartışmasında bu veriler Gould'un çok işine yarar gibi görünüyor.

Biyotıp alanındaki hekimler açısından bakıldığında, bu tartışma esas önemli noktayı gözden geçiriyor: Biraz öngörülebilirlik, hiç olmamasından çok çok daha iyidir. Mikropların hepsi aynı gendeki değişimleri kullanarak uyarlanmıyor olsa bile, bazılarının aynı biçimde evrimleşiyor olması önemli bir bilgidir. Uyarlanma mekanizmasını öğrenerek, odak noktasındaki genin işin içine karıştığı vakalarda uygulayacağımız tıbbi önlemleri tasarlayabiliriz. Hastadan numuneler alarak hızla mikrobiyal genomu dizileyip enfeksiyona neden olan suşun sorguladığımız genetik değişime sahip olup olmadığını öğrenebiliriz. Sahipse tedaviyi çıkarız. Sahip değilse başka nedenlere bakarız. Bu konuda yaptığı çalışmalar çok büyük önem taşıyan Roy Kishony bu görüşü daha teknik bir dille ifade ederek (yüksek lisans öğrencisi Adam Palmer'la birlikte) şöyle yazdı: "Az miktarda bir kestirim gücü bile ilaçların seçimi, monoterapi ile birleşik tedavi arasında tercih ve geçici dozaj rejimi, direnç evrimine karşı en dayanıklı genotipe dayalı tedavileri seçmek konularında bize bilgi sağlayarak tedavi sonuçlarını önemli ölçüde geliştirebilir."

Hekimlerin bir bireyin rahatsızlığının özel nedenini tespit edip ona göre tedavi ettiği şu çok ses getiren "kişiselleştirilmiş tıp" yaklaşımının bir yönü de budur. Ve bazı mikrobiyal patojenlerin ya-

kınsak evrimleştiği gerçeği, bu yaklaşımı çok daha uygulanabilir kılmaktadır.

Patojen suşlar üzerinde karşılaştırmalı olarak çalışılması, mikrobiyal evrimi ve onun insan sağlığına etkilerini anlamak için izlenen tek yaklaşım değildir. Mikrobiyal evrim konusundaki kavrayışımızın ilerleyişinde büyük değer taşıyan evrim deneyleri, mikropların bize saldırmak ve aldığımız karşı önlemleri boşa çıkarmak için uyarlanma gösterdiği öngörülebilir biçimleri araştırmak için de kullanılmaktadır.

Bu çalışmaların çoğu Lenski, Rainey, Travisano ve diğerlerinin öncülük ettiği genel yaklaşımı kullanarak antibiyotik direncini araştırmaktadır: Çeşitli hasarlar doğurarak mikropların üzerine git ve nasıl uyarlanma gösterdiklerini izle. En temel düzeyde bakıldığında bu çalışmalar tekrarlanan evrimsel örüntüleri aramaktadır. Mikroplar tekrar tekrar aynı biçimde direnç geliştiriyorsa, bu durumda araştırmacılar çabalarını bu kendine has evrimsel tepkileri engellemeye odaklayabilir.

Bu tür çalışmalara verilebilecek değerli bir örnek, Kishony'nin aynı zamanda *Burkholderia dolosa* araştırmasının yapıldığı yer de olan Harvard Tıp Fakültesi'ndeki laboratuvarında yaşandı. Bu deneyde eski dostumuz *E. coli*, özel olarak tasarlanmış yetiştirme odalarına yerleştirilerek üç antibiyotikten birine (kloramfenikol, doksisisiklin ve trimetoprim) maruz bırakılmış ve evrimsel tepkisi 20 gün (yaklaşık 350 *E. coli* nesli) boyunca izlenmişti. Her tedavi beş kez tekrarlanmıştı.

Çalışmanın amacı, antibiyotiklere direncin evriminin gözlemlenmesiydi. Başlangıçta (hepsi aynı atadan elde edilen) bakteriler dirençli değildi ve antibiyotiklerin olduğu koşullarda çok zayıf bir büyüme sergiliyordu. Fakat direnç çok çabuk biçimde evrimleşmeye başladı ve büyüme hızları arttı.

Mikrop popülasyonları ilaçlara karşı çok benzer uyarlanma örüntüleri gösterdiler. Üçünde de kullanılan beş popülasyon direncini istikrarlı bir şekilde artırdı; kloramfenikole maruz kalan popülasyonlarda bu artış 1.600 kata kadar ulaşıyordu. Deneyin sonunda araştırmacılar 15 popülasyonun her birinden aldıkları hücrelerin

genomlarını dizileyerek bunları ata popülasyonun genomuyla karşılaştırdı.

Özdeş suşlarla başlatılan daha önceki deneysel mikrobiyal uyarlanma çalışmalarıyla uyumlu olarak trimetoprim maruz bırakılan beş popülasyon da çok benzer biçimlerde evrimleşti. Trimetoprim, kolibasillerindeki *dihidrofolat redüktaz* (*DHFR*) genini etkisizleştirmeye yarar. Bu nedenle *E. coli*'nin karşı stratejisinin *DHFR* üzerinde değişiklik yaparak genin ürettiği enzimin üretimini artırmak ve ilacın geni tanımasını zorlaştırmak olması şaşırtıcı değildir. Beş popülasyondaki değişimlerin neredeyse hepsi *DHFR*'deydi. Bu gende toplamda yedi farklı mutasyon saptandı: Bu mutasyonların biri beş popülasyonun hepsinde, bir diğeri dört popülasyonda yaşanmış, mutasyonların biri dışında hepsi en az iki popülasyonda yaşanmıştı. *DHFR* genindeki mutasyonlar dışında ek olarak sadece üç mutasyon gerçekleşmişti ve bunların hepsi farklı bir gende ve hepsi yalnızca bir popülasyonda yaşanmıştı.

Belirli mutasyonların tekrarlanan şekilde evrim göstermesindeki yüksek düzey karşısında araştırmacılar deneyin her günü her popülasyondan aldıkları *DHFR* numunelerini dizileyince aynı veya benzer hareket eden mutasyonların devamlı diğerlerinden önce geldiğini fark ederek mutasyonların oluşumunda tutarlı bir düzen olduğunu keşfettiler. Diğer deyişle, *E. coli*'de trimetoprim direncinin evrimi son derece tekrarlıydı.

Diğer iki antibiyotiğe maruz kalan popülasyonlarda sonuçlar çok farklıydı. Deneyin sonunda beş kopya içinde direncin evrimleşme derecesi her ilaç için benzer olsa da, genetik değişimlerin incelenmesi her popülasyonda çoğunlukla farklı mutasyon evrimleştiğini ortaya koyuyordu.

E. coli'nin bir ilaç karşısında tekrar tekrar benzer biçimlerde evrim gösterip diğer ikisi karşısında öngörülemez bir biçimde evrimleşmesinin nedeni açık değildir. Buna karşın elde edilen sonuçlar antibiyotik direnci sorununa genel çözümler geliştirmenin trimetoprim açısından diğer ikisine oranla daha kolay olduğunu göstermektedir.

Kimi biliminsanlarının laboratuvar duvarlarının dışında yürütülen araştırmaların tertipsizliğinden hoşlanmadığını daha önce de belirtmiştim. Haddinden fazla çevresel gürültü, haddinden fazla kirlenici, kontrolsüz değişken. Bu endişe yakınsak evrim bakımından özellikle yerindedir; çevreler aynı değilse, yakınsamanın olmaması farklı seçim baskılarının sonucu da olabilir. Akarsulardaki dikenli balıklar üzerine yapılan yeni bir çalışma tam da bu sonuca ulaştı. Başlangıçta Teksas Üniversitesi'ndeki araştırmacılar farklı su yollarında bağımsız olarak kolonileşmiş olan popülasyonlarda yakınsama olmayışına şaşmıştı. Fakat daha dikkatle incelediklerinde durumun açıklaması ortaya çıktı: Akarsular arasında görülen su kalitesi ve bitki örtüsü çeşitliliği balık popülasyonları arasındaki fenotipik farklılıklara ve yakınsama yokluğuna açıklık getiriyordu. Elbette aynı açıklama (ince çevre farklılıkları) farklı bireylere yerleşen *M. tuberculosis* veya *P. aeruginosa* suşlarında yakınsama olmayışını, hatta başka yakınsama yokluğu vakalarını da izah edebilirdi.

Kimi biliminsanları kontrollü laboratuvar çalışmalarında yakınsak tepkiler olmayışından bile şüphe duymaktadır. Bir deney tüpü ile diğeri arasındaki çok küçük bir farklılık bile (sıcaklıkta kesir düzeyinde bir derece farkı veya yakındaki pencereden gelen güneş ışığının azıcık fazlalığı) farklı seçim baskılarına, bunun sonucunda da yakınsak olmayan uyarlanmaya yol açmak için yeterli olmuştur belki de.

Öte yandan bu laboratuvar şüpheleri, evrimsel öngörülebilirliğin araştırılmasında yakınsak evrim yaklaşımına daha derin bir eleştirinin temsilcisi sayılabilir. Benim şu ana kadar yüzleşmekten kaçındığım önemli bir sorudur bu. Şu ana dek “tekrarlanabilirlik” ve “öngörülebilirlik” kavramlarını birbirinin yerine geçecek şekilde kullandığım söylenebilir. Ama bunlar aynı şey midir? Daha önemlisi, sırf yakınsak evrimin tekrarlanan evrimin görüngüsü olması, onu evrimin öngörülebilirliği üzerine çalışmanın iyi bir yolu yapar mı?

Kimileri ise böyle düşünmüyor. Örneğin Avrupalı biliminsanlarından ikisine göre, tekrarlanabilirlik “öngörülebilirliğin zayıf bir formudur, zira sürecin belirlenimci doğası ancak geçmişe bakarak tespit edilebilir.” Bir başka deyişle gerçek tahmin, incelenen sistemin

ayrıntılarıyla anlaşılmasına dayalı olarak *a priori* yapılır; tekrar tekrar yaşanan bir şeye bakmakla yetinilip ileride yine aynı şekilde davranacağını öngörerek yapılmaz.

Bu bilimciler adalarda mahkûm kalmış fillerde küçük bedeninin tekrar tekrar evrimleştiğini gözlemlemekle yetinmez; ada ortamlarının beden büyüklüğünün evrimini nasıl etkilediğini anlayarak bu sayede evrimsel küçülmeyi öngörebilmek isterler. Laboratuvar evrim deneylerinde bile popülasyonlar aynı şartlara maruz bırakıldığına aynı genin mutasyonlar yaşadığını veya hücre büyüklüğünün her zaman arttığını gözlemlemek onlara yetmez. Deney yapılmadan önce beklenen sonucu açıkça belirleyebilmek isterler.

Biliminsanları makroskobik düzeyde bu tür tahminleri her zaman yapar. Dale Russell'ın dinozoroid varsayımını oluştururken yaptığı da ilk ilkelerden yola çıkmaktı. Anatomi bilgisine dayanarak bir theropod dinozorda görülen daha büyük beyin seçiliminin nasıl başka anatomik değişimlere yol açacağını, bunun da görünüm itibarıyla insana çok benzer bir organizmayla sonuçlanacağını öngörebilmişti.

Fizyoloji ve biyomekanik alanlarından araştırmacılar uzun süredir çok daha sofistike bir biçimde anatomik tasarım ile organizmanın işlevleri arasındaki ilişkiyi araştırıyor. Sert manevralara ihtiyaç duyan bir kuş için en iyi kanat yapısı nedir? Kısa ve kalın, tıpkı savaş jetlerindeki gibi. Soğuk yerlerde yaşamak için en iyi beden yapısı nedir? Isı kaybedilen yüzey alanını mümkün olduğunca küçültmek için kısa kol ve bacaklara sahip, bodur bir yapı.

Bunlar gerçekte evrimleşmiş olandan bağımsız olarak yapılmış tahminlerdir. Dolayısıyla sağlaması doğayla yapılabilir. Bazı vakalarda (benim verdiğim iki örnekteki gibi) öngörülerin doğruluğu ortaya çıkar: Doğal seçim en uygun çözümleri destekliyor gibi görünüyor. Başka vakalarda da teori ile doğa örtüşmez; ya teori kötüdür ya da bazı kısıtlamalar doğal seçilimin en uygun çözümü şekillendirmesini engellemiştir. Bu kısıtlamaların ne olabileceği başlı başına ilginç bir konudur: Belki beklenen mutasyonlar gerçekleşmiyor veya bazı feragatler bunların gerçekleşmesini engelliyordur (her şeyi aynı

anda optimize etmek mümkün değildir). Ya da belki çözüm olanaksızdır; örneğin hiçbir organizma enerji kaynağı olarak çekirdek bölünmesini kullanmaz ve tekerleğe benzer biyolojik yapılar son derece nadir görülür.

Mikrobiyal organizmalarla uğraştığınızda ilk ilkelere tahmin yapmak daha da zordur, çünkü bu hücrelerin biyokimyasal ve moleküler işleyişi hâlâ iyi anlaşılmış değildir. Genetik düzeyde (bu günlerde mikroplar üzerine çalışan araştırmacıların çoğunun yaptığı gibi) çalıştığınızda bu zorluk iyice artar, çünkü genlerin çoğunun işlevi halen gizemini korumaktadır. Verem ve KF araştırmalarında varlığı tespit edilmiş ama işlevi hiç bilinmeyen tüm o genleri düşünün; mikrobiyal patojenlerin uyumsal evriminde hangi rolleri oynadıkları konusunda *a priori* tahminler yapmak çok zordur.

Elbette bazı istisnalar vardır. Bunlardan biri *E. coli*'de antibiyotik direncine sebep olan gendir. Beta-laktamaz geni, beta-laktamaz adında bir enzim üretir ve bu enzim penisilin, ampicilin, sefotaksim ve başka birçok antibiyotiğe saldırarak onları etkisiz kılacak şekilde evrimleşir. Bu nedenle beta-laktamaz geni ve ürettiği enzim üzerinde yoğun şekilde çalışılmış, bu gen ve enzimi mikrobiyal genlerin ve ürettikleri enzimlerin çoğundan çok daha iyi anlaşılmıştır.

Yeni yapılan bir çalışmada gende oluşan mutasyonların çeşitliliği araştırıldı. Araştırmacılar moleküler numaralar çekerek *E. coli* hücrelerinin 10 bin farklı mutasyon üretmesini sağladı. İçlerinden 1.000'ini mantıklı bir şekilde seçip bunların antibiyotik direnci üzerindeki etkisini ölçtüler (niceliklendirmeyi de hücreyi öldürmek için gerekli olan antibiyotik miktarıyla yaptılar). Bazı mutasyonların hiç etkisi olmadı, birkaçının feci bir etkisi vardı, çoğununsa orta derece, hafif hasar verici etkisi oldu.

Beta-laktamaz üzerinde geçmişte çok çalışılmış olduğu için araştırmacılar her bir mutasyonun molekülün şeklini değiştirmesi, faaliyet düzeyini değiştirmesi, istikrarını koruması yönlerinden değerlendirerek enzimin işleyişini nasıl etkilediğini belirlemeyi başardı. Ardından bu değişimleri antibiyotik direnci üzerindeki etkiyle ilişkilendirerek daha güçlü bir bağıntının var olduğunu buldular:

Daha büyük değişimler, dirençteki daha büyük değişmelerle ilintiliydi. Bir başka deyişle araştırmacılar işe bir mutasyonla başlamış, mutasyonun ürettiği enzimi nasıl değişime uğrattığını çözmüş ve bu değişimlerden antibiyotik direncinin nasıl etkileneceğini isabetli bir biçimde tahmin edebilmişti. Araştırmacıların *E. coli* gibi bir mikrobun yeni çevresel şartlarla karşılaştığında nasıl evrimleşeceğini tahmin edebilmelerini sağlayan tam da bu tür bir yaklaşımdı.

Fakat bu gibi örnekler kaideden çok, istisnadır. Çoğu durumda uyarlanmaya yol açan genleri bilmeyiz. Hangi genlerin işe karıştığını bilsek bile, genlerin nasıl işlediğini pek anlamadığımız gibi, ilgili mutasyonların etkisi konusunda ondan da az şey biliriz. Belki bir gün hangi mutasyonların evrimleşeceğini kolaylıkla öngörebiliyor olacağız, ama o güne daha çok var.

Yeterli kapsamda bilgiye sahip olmadığımız bu tür koşullar altında bazen araştırmacılar öngörude bulunmak için yeterli ölçüde tamamlanmış verileri kullanır. Örneğin Harvard'daki araştırmacılar bir *E. coli* suşunun, dirençli olmayan suşları etkisiz kılmak için gereken sefotaksim antibiyotiğinin 100 bin kat daha büyük dozlarına karşı koyma becerisinde olduğunu fark etti. Yapılan genetik analiz bu yüksek direnç düzeyinin beta-laktamaz geninin beş mutasyon kazanmasının sonucu olduğunu gösterdi.

Araştırmacılar bu beş mutasyona odaklanıp, doğal seçilimin mutasyonların hiçbirini göstermeyen dirençsiz suştan başlayarak kaçınılmaz biçimde beş kere mutasyona uğrayan suşa yol açıp açmayacağını araştırdılar. Fakat evrim deneyleri düzenlemek yerine, beş mutasyonun mümkün olan tüm kombinasyonlarıyla *E. coli* suşları oluşturdular. Her suş için ayrı ayrı sefotaksim direncini ölçüp, "Her bir suş açısından eğer eklenmiş olsaydı direnci artıracak bir mutasyon var mıdır?" sorusunu sordular. Örneğin mutasyonların ikisine sahip bir suş açısından diğer üç mutasyondan birinin eklenmesi direnci artırır mıydı? Yanıt tüm suşlar için evet çıktı. Tek mutasyonlu suşların hepsi sonunda ikincisini ekleyecek, iki mutasyonluların hepsi üçüncüyü ekleyecekti vs. Mutasyonların ortaya çıkma sırası ne olursa olsun, beş mutasyonlu suş kaçınılmaz sonuçtu. Yazarlar "ya-

şam kasedi büyük oranda yeniden üretilebilir ve hatta öngörülebilir olabilir” sonucuna vardılar.

Bu sık ve kapsamlı çalışma genetik düzeyde bir evrimsel belirlenimcilik örneği olarak çok dikkat çekti. Fakat bir problem vardı: Çalışma sadece aşırı dirençli suşta bulunan mutasyonlarla sınırlı tutulmuştu. Diğer mutasyonlarda durum neydi? Onlar işi bozabilir miydi?

Yanıtı bulmak için bir grup Hollandalı araştırmacı bir evrim deneyi düzenledi. Bu deney, mutasyon evreninin önceki çalışmada odaklanılan beş mutasyonla sınırlı olmaksızın deneyde gerçekleşenlerle tanımlanacağı anlamına geliyordu. Mutasyonların serbest pazarında süper suşun evrimleşmesi kesin miydi? Hollandalı ekip deneylerini artık bildiğimiz şekilde, başlangıç itibarıyla benzer on iki popülasyonu ilaca birkaç nesil boyunca maruz bırakarak ve uyumsal evrimin ölçüsünü nicelikleştirerek tasarladı.

Sefotaksim direnci deney sırasında arttı, fakat yedi popülasyonun diğer beşinden önemli miktarda daha dirençli hale gelmesiyle, direncin ölçüsü çeşitlilik gösterdi. Biliminsanları her bir popülasyonun genomunu diziledi ve yüksek ölçüde dirençli yedi popülasyonda aynı üç mutasyonun (süper beşin üçü) esasen aynı sırada evrimleşmiş olduğunu keşfetti.* Buna karşın bu üç mutasyonun en az biri diğer beş popülasyonda evrimleşmeyi başaramamıştı.

Harvard süper suş araştırması belirli bir mutasyonun (mikrobiyoloji dilinde G238S) sefotaksim direncinin görülmesinde özellikle etkili mutasyon olduğunu gösterdi. Hollandalıların çalışmasında başarılı olanların yedisi de hemen G238S’yi evrimleştirmişti, daha ağır hareket eden popülasyonların üçünde de aynısıydı. Hollandalı araştırmacılar G238S’yi evrimleştirmekte başarısız olmuş olan iki popülasyonu mercek altına aldı ve ilk elde etmiş oldukları mutasyonları,

* Süper beş mutasyonun diğer ikisine gelince, birinin evrimi deneyin tasarımına içsel teknik nedenler yüzünden engellenmişti, ama beşinci mutasyonun gelişmemesinin nedeni muammaydı.

popülasyonların birinde R164S'yi ve diğerinde A237T'yi* tespit ettiler; bu mutasyonlardan hiçbirisi süper dirençli suşta bulunan beşin içerisinde değildi, Harvard ekibinin çalışmasına dahil edilmemişti.

Ardından Hollandalı ekip deneye yeniden başladı ama bu kez bu iki mutasyondan birine sahip olan *E. coli*'lerle, R164S'li beş popülasyonla ve A237T'li beş popülasyonla başladılar. Sefotaksim direnci yine zaman içerisinde arttı, ama sonuçta on popülasyonun hepsi de ilk deneydeki en dirençli yedi popülasyondan önemli ölçüde düşük direnç düzeylerine sahip oldu. Dikkat çekici bir durum, bu popülasyonların hiçbirinin G238S evrimleştirmemesiydi, fakat G238S'li popülasyonlarda görülmeyen birçok başka mutasyon içeriyorlardı.

G238S'nin R164S ve A237T ile neden bağdaşmadığı çok açık değil, ama mutasyonlar bir enzimin farklı biçimlerde kıvrımlanmasına neden oluyor gibi görünüyor; ilk mutasyon kıvrımlanma kalıbını değiştirdikten sonra, ikinci mutasyon yeni biçimlenişte bozucu değişimlere neden olacak ve bu nedenle mutasyonlar tek tek uygun olmalarına karşın birlikte gerçekleşemeyecektir. Origamideki gibi: Yolun başında fil yapmaya başladıysanız, yolun ortasında değiştirip Japon balığı yapamazsınız.

Hollandalıların çalışması tarihsel olumsuzluğun, sonraki evrimsel sonucu kökten şekillendiren tesadüfi bir olayın mükemmel örneğidir. İçinde tesadüf eseri ilk önce G238S sökün etmiş popülasyonlar belli bir yöne doğru giderek çoğu kez yüksek direnç düzeyleri evrimleştirmektedir. Ne var ki içinde ilk olarak diğer mutasyonlar gerçekleşenler için bu yol imkânsızlaşır; yolculukları bittiğinde G238S artık faydalı değildir ve uyumsal evrim bunun yerine farklı bir yola girer ve bu yol onu daha aşağı derecede, daha az dirençli bir yöne götürür. Harvard ekibinin deneyi diğer genlere bakmak üzere tasarlanmamıştı ve bu nedenle sefotaksime uyarlanmanın öngörülemez ölçüde olduğu dereceyi keşfetmediler.

* Bu isimler amino asit konumlarındaki değişimi anlatmaktadır. İlk harf ata amino asittir, rakamlar gen içerisindeki konumu gösterir, son harfe mutasyonun neden olduğu yeni amino asittir.

İki yaklaşım arasındaki ve Harvard'lı ve Hollandalı ekiplerin çalışmalarının sonuçları arasındaki aykırılık, genetik düzeyde *a priori* evrim öngörülerinde bulunmanın niçin bu kadar zor olduğunu örnekliyor. Genom, ilgili mutasyonların hepsinin tek tek yalıtılamayacağı ve hangilerinin birbirlerini ne yönde etkileyeceğinin önceden tahmin edilemeyeceği ölçüde büyük ve karmaşık. Sırf belirli bir mutasyon kümesi son derece uyumsal bir sonuca yol açtı diye, tek başına bu sonuç bu mutasyonların evrimleşeceği anlamına gelmiyor. Sık sık aynı genotipi üretmenin birçok yolu olduğu (*P. fluorescens*'te bir kırışık yayılan üretmenin 16 farklı genetik yolu olduğunu hatırlayın) ve aynı çevresel probleme de bir o kadar farklı çözüm getirebildiği görülmektedir. Hemen hemen tüm vakalarda önceden hangisinin olma olasılığının en yüksek, hangisinin en az olduğunu çıkarsamamız mümkün değildir.

Bu sorun üzerinde (hem moleküler hem teorik düzeyde) çalışan çok zeki birçok kişi var, o yüzden belki de, hava durumunda olduğu gibi, yarınki evrim tahminlerimizde de ilerleme kaydedilecektir; fakat şu anda yapabildiklerimiz sınırlıdır. Dolayısıyla bu, ne evrimleşeceğini tahmin etmenin en iyi yolunun, kâh evrimsel zaman yoluyla kâh evrim deneylerinin sonucunda, geçmişte yaşananlara bakmak olduğu anlamına geliyor.

Mikrobiyal uyarlanma çalışmalarından elde edilen sonuçlar, belli bir öngörülebilirlik derecesinin var olduğunu ve bu tekrarlanabilirliğin karşı önlemler geliştirmeye temel sağlayabileceğini gösteriyor. Hasar verici tehdit oluşturacak şekilde evrimleşen organizmalar elbette sadece mikroplarla sınırlı değildir. Çimlerimizi ve tarım alanlarımızı işgal eden otlar, ekinlerimizi yiyen böcek ve kemirgenler, hastalık taşıyan sivrisinekler – hepsinin ortak noktası, onları kontrol etme çabalarımızı evrimsel olarak boşa çıkarmış olmalarıdır.* Ve tıpkı mikroplar gibi bunların yarattığı zarar da milyarlarca dolarla ve on binlerce hayatla ölçülmektedir.

Pestisit (böcek ilaçları ve ot öldürücüleri kapsayacak anlamda

* Örneğin yaklaşık 600 eklembacaklı türü şu veya bu pestisite direnç geliştirmiştir.

kullanılmaktadır)* direncinin evrimi, antibiyotik direncinin evrimiyle birçok paralellik taşımaktadır. Pestler de birçok mikrop gibi bizim kimyasal silahlarımızı yenmek için çok çeşitli yollar evrimleştirmiştir; bunlara pestisitle teması en aza indiren davranış değişimleri, pestisiti dışarıda tutmak için dış deride değişiklikler, pestisiti başka bir şeye çevirmek, onu vücudun önemsiz bir kısmında tecrit etmek veya hızla vücuttan atmak için araçların geliştirilmesi ve pestisit hedeflediği moleküler yapıda yapılan değişiklikler dahildir. Bu kadar çok olasılığın olması sayesinde aynı türden popülasyonlar belirli bir pestisite maruz kaldığında çoğu kez farklı biçimlerde uyarlanmaktadır.

Öte yandan birçok pestisit, çok sayıda pestte ortak olan biyokimyasal yollara saldırdığı için ticari açıdan başarılıdır. Bunun sonucunda birçok tür bu saldırıların boşa çıkarılmasında benzer (sık sık da özdeş) araçlar evrimleştirmiştir. Örneğin bazı sivrisinek türleri böcek öldürücü dieldrine uyarlanma amacıyla DNA'larında aynı değişimleri evrimleştirmiştir. Benzer biçimde, otuzdan fazla farklı böcek türü (sinekler, pireler, hamamböcekleri, güveler, tripsler, yaprak bitleri, kın kanatlılar, open böcekler bunlar arasındadır) piretroid pestisitlere dirençli hale gelmek için aynı DNA değişimini edinmiştir.

Pestler, yakınsak pestisit direnci mekanizmaları evrimleştirdiğinde, aynı mikroplardaki gibi, bizim buna karşılık verme becerimiz yükselmektedir. *Bacillus thuringiensis* bakterisinden elde edilen pestisitler buna iyi bir örnektir. Bu toprak mikrobu bilinmeyen nedenlerle, böcekler için öldürücü proteinler üretmektedir. Biliminsanları bu proteinleri tespit etmiş ve böcek ilacı olarak kullanmıştır. Bt insektisitleri denen bu böcek öldürücüler başlangıçta ekinlerin üzerine sıkılıyordu, ama 1990'ların sonlarından beri bazı ekin türleri bu proteinleri kendileri üretecek şekilde genetik açıdan değiştirildi. Şu an Bt ekinleri ekilen arazi miktarı inanılmazdır; 2013 yılında dünya gene-

* Daha teknik düşünen kişiler için belirtirsek, ayrıca fungusitleri, larvisitleri, rodentisitleri, mollussisitleri, akarisitleri ve aklınıza gelebilecek diğer haşarat ya da vermin-isitleri kapsamaktadır.

linde 800 milyon dönüme ulaşmıştır, ABD'deki tüm mısırların üçte ikisini ve en çok pamuk üretilen ülkelerdeki pamuğun dörtte üçünden fazlasını içermektedir.

Bt toksinlerine direnç laboratuvar deneylerinde kolayca, tarlalarda biraz daha zor evrimleşmiştir. Bt toksinleri böceklerin sindirim kanalındaki proteinlere bağlanarak iş görür. Direnç çoğunlukla bu bağlanan proteinlerin üretimini engelleyen mutasyonlar yoluyla evrimleşir. Örneğin üç tırtıl türünün birçok popülasyonunda, *cadherin* adındaki toksine bağlanan proteini üreten gendeki mutasyon sonucunda bir Bt toksini çeşidine karşı direnç gelişmiştir. Benzer biçimde yedi tırtıl türü, molekülleri zarlardan geçiren bir bağırsak proteinini engelleyen mutasyonlar yoluyla yakınsak şekilde direnç evrimleştirmiştir.

Birkaç gendeki mutasyonların tekrar tekrar evrimleştiğinin farkına varmak, direncin evrimine karşı mücadelede önemli bir dizi sonuç doğurmaktadır. Birincisi belli direnç mutasyonlarının ortaya çıkıp çıkmadığını görmek için pest popülasyonları düzenli şekilde izlenebilir. Bu izlemeler, sahada ya da laboratuvarında seçilmiş popülasyonlarda tespit edilen mutasyonları saptamak için belirlenmiş yöntemleri içermektedir. Bu tür aleller erken teşhis edildiğinde mutasyonun yaygınlaşmasını engellemek için önlemler alınabilir. Daha genel olarak, popülasyonların tekrar tekrar aynı biçimde direnç geliştirdiğinin keşfedilmesi, bu mekanizmayı bozmak için ekinlerdeki Bt geninin genetiğinin değiştirilmesi çabalarını teşvik eder. Örneğin araştırmacılar böceklerin *cadherin*'e bağlanmayı engelleyerek direnç geliştirdiğini fark ettiklerinde, Bt toksinini *cadherin*'i tümünden boş vererek başka proteinlere bağlanmasını sağlayacak şekilde değişime uğrattılar.

Bu, yakınsamanın sihirli bir kurşun olduğu anlamına gelmez. Bt toksin gibi örneklerde bile izlemeler ancak daha önceden saptanmış yakınsak mutasyonları bulmada etkilidir. Diğer genlerdeki mutasyonları ve başka direnç mekanizmalarını bir yana bırakın, aynı gendeki başka mutasyonlar bile fark edilmemiş olabilir (aslında başka genlerde yakınsak olmayan şekilde evrimleşmiş mutasyonlar ve başka birçok Bt direnç mekanizması tespit edilmiş durumdadır). Ayrıca

direncin yakınsak şekilde evrimleşmiş olmasının bilgisi, birçok başka pestisit açısından yeni yaklaşımlara yol açmayabilir.

Çevre üzerinde antibiyotiklerin ve pestisitlerin kullanımının çok ötesinde etkilere sahibiz; dünyayı sayısız yolla değiştiriyoruz. Bazen yarattığımız sorunlar o kadar büyük oluyor ki türler azalıyor ve yok oluyor. Fakat başka birçok durumda da doğal seçim devreye giriyor ve türler yeni koşullara uyarlaniyor.

İnsan kaynaklı değişimler yüzünden yaşanan yakınsak evrim, ilk kez bizim çevreyi kirletmemize karşı bir tepki olarak tespit edildi. Zehirli düzeyde ağır metal içeren topraklara bitkilerin gösterdiği uyarlama ve kirli alanlarda koyu renk evrimleştiren güveler bunların ilk örneklerindendi ve yenileri de keşfediliyor. Gayet net görülen vakalardan biri de Kuzey Amerika'nın Atlas Okyanusu kıyısındaki haliçlerde bulunan küçük bir balıkla ilgilidir. Yıllık balığı başka pek az türün tahammül edebildiği son derece kirli alanlarda yaşamayı başarmaktadır. Kaliforniya Üniversitesi'nden biliminsanlarının yönettiği bir ekip, Doğu Kıyısı boyunca yayılmış, kirliliğe dayanıklı dört popülasyonu incelemiş ve kendilerini dioksin dahil, çok sayıda olağanüstü yüksek düzeyde kirleticiden etkilenmez duruma getiren aynı fizyolojik yolu bağımsız olarak geliştirdiklerini tespit etmiştir. Yapılan genom analizleri, aynı gen kümesinde yaşanan mutasyonların dört popülasyonun dördünde de bu uyarlarmaya yardımcı olduğunu göstermiştir.

İnsanlar olarak hayvanları ticari veya keyfi amaçlarla popülasyonlarından ayırdığımızda da güçlü seçim baskısı uyguluyoruz. Avcılar çoğu durumda belirli kalıtsal özelliklere sahip bireyleri hedef alıyor. Bunun sonucu da bu özelliğe sahip bireylere karşı güçlü bir seçim oluyor ve birçok örnekte popülasyonlar yakınsak şekilde benzer tepkiler evrimleştiriyor. Örneğin ganimet amaçlı avlananlar en büyük, en muhteşem hayvanları tercih ediyor. Dolayısıyla birçok türde küçük uzuv ve silahların evrimleşmiş olması sürpriz olmuyor; Amerika yaban koyunlarında ve samur antiloplarında daha küçük boynuzlar, geyiklerde küçülen boynuzlar, fillerde küçülen fildişleri bu duruma örnek oluşturuyor. Hatta bazı fil popülasyonlarında artık tamamen dişsiz bireyler bile bulunuyor.

Aynı olgu balık yataklarımızda da görülüyor. Balık avlama araçlarının çoğu büyüklük seçici özelliktedir: Örneğin ağların çoğu daha büyük balıkları yakalamakta, küçüklerin ağdan çıkmasına izin vermektedir. Sonuçta küçükler için seçim avantajı doğmaktadır. Bu yüzden birçok farklı balık türünün maksimum büyüklüğü eskisine göre çok küçülmüştür. Örneğin Kanada'nın Saint Lawrence Körfezi'ndeki en büyük Atlantik morinası 1970'lerin başında 30 kiloyu aşarken bugün 5-5,5 kiloya düştü; Massachusetts açıklarındaki morinalar da bugün hemen hemen aynı büyüklükte, oysa 19. yüzyılın sonunda orada 100 kiloluk balıklar tutuluyordu.* Bu büyük bir ekonomik sorundur, zira bir popülasyondaki balık sayısı bireylerin daha küçük boyutlu olmasını telafi edecek şekilde artmaz. Sonuç, av veriminin (balıkçı gemilerinin yakaladığı tonajın) devamlı azalmasıdır.

Önemli bir soru da, çevreyi ilk haline yeniden döndürürsek popülasyonların yakınsak şekilde atasal hallerine kavuşup kavuşmayacağıdır. Bazı vakalarda bu olmaktadır; örneğin hava kirliliği ortadan kaldırıldığında biberli güveler birçok yerde benekli yüzlerini yeniden evrimleştirdi. Fakat tepkilerin daha tutarsız olduğu başka vakalar da var. Örneğin büyüklük seçici balıkçılık ve avcılık azaltıldığında, balıklar genellikle daha büyüyecek şekilde yeniden evrimleşmediği gibi, yaban koyunları da yeniden daha büyük boynuzlar evrimleştirmiyor. Bu evrimsel asimetriyi açıklayan olası bir dizi neden var. Büyük olasılıkla avlanma olmadığında yaşanan büyük beden seçilimi, avlanma esnasındaki küçük beden seçiminden çok daha zayıf. Bir başka açıklama, avlanmanın ekosistemi büyük beden için artık desteklenmediği yeni bir dengeye sürüklemiş olmasıdır. Örneğin bazı türler, avlanan türlerin geçmişte kullandığı kaynakları devralacak

* Bu (hem vücut büyüklüğünde hem de fildişi, geyik boynuzu gibi belirli yapılarda görülen) küçülmelerin ne ölçüde evrimsel değişimden kaynaklandığı konusunda biliminsanları arasında tartışmalar var. En büyük yapıları sahip en büyük bireyleri ortadan kaldırma eylemi, hiçbir genetik değişim gerçekleşmese dahi, hayatta kalanların hali vaktinin daha az yerinde olacağını garantiler; ek olarak bundan fenotipik esneklik de kısmen sorumlu olabilir. Her şeye karşın, bu vakaların hiç olmazsa bazılarında bu küçülmelerin genetik bir temeli olduğu kanıtlanmıştır.

şekilde popülasyonlarını genişletmiş olabilir; bu durumda av sonlandıktan sonra bile seçim baskıları kalıcı şekilde değişmiş olabilir.

Yakınsak evrim, türlerin değişen bir çevreye nasıl karşılık vereceğinin anlaşılmasında ve durumu geliştirmek için neler yapabileceğimiz konusunda, pestisitlerde ve antibiyotiklerde de görüldüğü üzere, hikâyenin ancak bir kısmına ışık tutuyor olabilir. Yine de yakınsama, gerçekleştiğinde probleme ilişkin net bir çerçeve sunuyor ve genel nitelikte karşı önlemlerin geliştirilmesine olanak veriyor. Biliminsanları da bu çerçevede balıklardaki küçülmeyi engellemek amacıyla bir dizi yaklaşım geliştirdi; boyut seçimi yapmayan ağların geliştirilmesi, en büyük balıkları popülasyon içindeki genlerini korumaları için denize geri atmak, büyük balıkların serpilebildiği ve büyük genlerini balıkçılık sahalarına taşıyabildiği balık avına yasak alanlar oluşturulması bunlar arasında yer alıyor.

Biliminsanları türlerin küresel olarak değişen dünyaya nasıl tepki verdiğini araştırırken, karşımıza yeni yakınsak evrim vakaları çıkacağına hiç kuşku yok. Görmezden gelinen bariz gerçek küresel ısınma, elbette. Şu ana dek iklim değişikliği nedeniyle yaşanan evrimsel uyarlanmaları inandırıcı şekilde ispatlayan pek az araştırma oldu, ama bu hızla değişiyor. Doğal popülasyonlarda yaşanan yakınsama örneklerinden pek haberdar değilim, ama solucanlar üzerinde yapılan yedi yıllık bir deneysel çalışma, daha sıcak topraklarla bağlantılı olarak yaşanan tekrarlanan genetik değişimleri tespit etti. Bunun eriyen buzdağının sadece ucu olduğunu ve yakında savunmasız türlerde yakınsak şekilde evrimleşmiş olan birçok fizyolojik, davranışsal, anatomik değişimin varlığını saptayacağımızı tahmin ediyorum.

Aşırı avlanan balık alanlarındaki boyut küçülmesinin tersine, bu durumda karşılaşılabilecek zorluk yakınsama hakkında ağır aksak elde edilen bilgilerin evrimi engellemek için değil, bu kez etkililiğini artırmak için kullanılması olacak. Bu tür müdahalelerin nasıl şekillenebileceğini önceden öngörmek zordur, fakat bunların arasında özellikle etkili genlerin onlara sahip olmayan, ihtiyaç sahibi popülasyonlara taşınması ve çevreyi sık sık evrimleşen davranışsal ve fizyolojik uyarlanmaları geliştirecek şekilde değiştirmek gibi biçimler yer alabilir.

Daha genel baktığımızda, evrim sürecini eşi benzeri görülmemiş bir yönlendirme becerisine sahip olacağımız yeni bir çağın eşiğindeyiz. Yeni moleküler teknolojilerin gelişimi (içlerinden en yakın zamanda gerçekleşeni ve en önemlisi CRISPR*) genetiği değiştirilmiş vahşi popülasyonlar endişesi yarattı, oysa bu durum temelde doğadaki genetik evrimi yönlendirebilmek anlamına geliyor. Sivrisineklerin insanlara sıtma gibi hastalıkları taşıyamaması için genetik olarak modifikasyonu yönünde planlar şimdiden yapılıyor. Hem pratik hem etik birçok itiraz doğuran, cesur yeni bir dünya bu. Bu endişeler haklı sebeplere dayanıyor, ama potansiyel olarak olumlu bir taraf da var. Türleri kendi yararımıza olacak şekilde düzenleyebilmekle kalmayacağız, değişen bir dünyaya uyarlanmalarına olanak tanıyacak genler aktararak türlere yardım da edebileceğiz.

Peki, belirli bir çevresel güçle karşı karşıya olan bir türe hangi genleri sunacağımızı nasıl bileceğiz? Yakınsak evrimle, elbette! Başka türlerde tekrar tekrar işe yaradığı çözümlere bakarak nesli tehlikede olan türlerin genetik kurtuluşu için en iyi adayları saptayabileceğiz. Gelecek böyle mi olacak, göreceğiz, ama böyle olursa yakınsak evrim muhtemelen önemli bir rol oynayacak demektir.

* *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*: Düzenli Aralıklarla Bölünmüş Palindromik Tekrar Kümeleri.

SONUÇ

KADER, ŞANS VE İNSANLARIN KAÇINILMAZLIĞI

Üç metre boyları, uzun kuyrukları ve sivri kulaklarıyla Na'viler Alfa Centauri kıyısında bulunan kurgusal bir ayın üzerinde yaşıyorlar. *Avatar*'ın mavi derili insansı yaratıkları kendi dünyalarını Dünya üzerindeki yaşama çarpıcı ölçüde benzeyen yemyeşil, biyolojik açıdan zengin bir ekosistemle paylaşıyor. Hayvanlar elbette bazen çekiç başlı köpekbalığına benzer bir yüze veya fazladan birkaç bacağa sahip olabiliyor, ama genellikle aşına olduğumuz yaratıkları andırıyorlar: leoparlar, atlar, maymunlar, pterodaktiller, brontoterler,* kuşlar ve antiloplar. Gür bitki örtüsü doğrudan Amazon ormanlarından alınmış gibi görünüyor, Dünya'daki bitkilere o kadar benziyor ki, bir botanikçi bitkileri bütün bilimsel isimleriyle tam olarak sınıflandırabiliyor.

Ayrıntılara gösterilen özen ve iyi prodüksiyon, *Avatar*'ı kendi türündeki diğer filmlerden ayrı bir yere koyuyor, zaten bu nedenle En İyi Sanat Yönetimi, En İyi Sinematografi ve En İyi Görsel Efekt Oscar'larını aldı. Fakat biyoloji açısından *Avatar*, başka dünyalarda

* Gergedanların eski zamanlardaki dev akrabaları.

geçen diğer filmlerin pek çoğundan farklı değil. *Yıldız Savaşları*'ndan *Galaksinin Koruyucuları*'na başka gezegenlerde geçen bilimkurgu filmlerin çoğu, dünyalarında genel görünüm olarak Dünya'da evrimleşmiş olanlara çok benzer yaşam formlarına ve biyolojiye yer veriyor. *Dune: Çöl Gezegeni* ve *Yaratık*'taki korkunç avcılar gibi daha acayip tipler bile bazen dünyalı türlere dayanan biyolojiler sergiliyor.

Esasında gerçekten farklı sinematik yaşam formlarına bakarsanız, bunlar Dünya'dakilerden çok farklı türde bir biyolojiye dayalı oluyor. Yaşamın dayandığı temel yapıtaşı element olarak karbonun yerini, bu hikâyelerde silikon, hatta bazen saf enerji alıyor ve bunlardan kristallerden, yıldızlar arası protoplazmadan veya enerji dalga-boylarından oluşan türler üretiliyor.

Astrobiyologlar dünya dışı yaşamın, eğer varsa, karbona dayalı olmasının daha muhtemel olduğunu ve bu nedenle kimyasının Dünya'daki yaşama daha benzer olabileceğini düşünüyor. O yüzden tartışmayı, Samanyolu galaksisinde artık başka yerlerde de olduğunu bildiğimiz Dünya'ya benzer çok sayıdaki gezegende ortaya çıkma potansiyeli olan karbon bazlı yaşam formlarıyla sınırlandırılalım. Bu gezegenlerdeki ekosistemlerin içinde Dünya'dakilere benzer türlerin olması muhtemel mi? Bizler de birçok filmin önerdiği ve Conway Morris'in ciddi olarak söylediği, "Dünya'yla karşılaştırılabilir özellikte, ona benzer bir gezegende bulacaklarımız, burada (Dünya'da) gördüklerimizle genel anlamda benzeşecek ki ben bunun çok daha eksiksiz biçimde olacağını tahmin ediyorum" gibi bir beklenti içerisinde olmalı mıyız?

Conway Morris ve diğerleri bu iddiayı iki argümana dayandırıyor. Birincisi, yakınsamanın her yere nüfuz etmiş olması, doğal seçilimin çevrenin doğurduğu ortak sorunlara aynı çözümü üretme eğiliminde olduğunu akla getiriyor. İkincisi, fizik yasaları evrenseldir, hiç değilse bizim evrenimizde ve çevreye uyulanmada bizim dünyamıza özgü olmayan, en uygun özellikte belirli bazı yolları zorla kabul ettirir. Conway Morris bunlara daha spekülatif bir üçüncü argüman ekliyor: Dünya'da evrimleşmiş olan DNA, klorofil (bitkiler fotosentez için kullanır), opsinler (görme sistemlerinde ışığı saptamak için kullanılan moleküller), hemoglobin (kanda oksijenin taşınma-

sında kullanılır) gibi bazı biyolojik moleküller, karbon bazlı malzemeler kullanan bir sistemde oluşması mümkün en iyi veya en iyiler arasında yer alan moleküllerdir. Dolayısıyla Conway Morris ve diğerlerinin önermesine göre, başka gezegenlerde de benzer temel yapıtaşlarının karşımıza çıkması mantıksız değildir.

Dünya dışı yaşam formları ile Dünya'daki türler arasında bazı yakınsama örneklerinin olmasının mümkün olduğunu ben de kabul ediyorum. Organizmaların başka yerlerde de, aynı burada olduğu gibi enerji kazanma ihtiyacı olacak, bunu ya kendileri üreterek ya da dış kaynaklardan çekerek karşılayacaklardır. Keza dış uyarıcıları saptamak için duyuşsal becerileri olması gerekecektir. Bazılarının da hareket etmesi gerekecek.

Dünya'daki türler bu işlerde çok başarılıdır, o yüzden başka gezegenlerde de paralellerinin olması şaşırtıcı olmaz. Bu özellikle doğru, çünkü kütleçekim, termodinamik, akışkanlar mekaniği ve diğer fiziksel olaylar her yerde bulunur. Yoğun bir ortamın içinde hızla hareket etmeye ihtiyaç duyan organizmalar, aerodinamik bir vücut şekli evrimleştirerek performanslarını mümkün olduğu ölçüde artıracaktır. Tahrikli uçuş, kaldırma sağlayıcı araçlar gerektirir; kanatlar bu işi gayet iyi başarıyor. Işığı odaklandırmak en etkili şekilde gözler gibi hayvanlar âleminde çok kez evrimleşmiş kameraya benzer bir yapıyla yapılıyor.

Sonuç olarak dünya yaşamı ile dünya dışı yaşam arasında, özellikle de Dünya'ya en çok benzeyen gezegenlerde bazı paralelliklerin olması muhtemeldir. Başka yaşam formlarında da aynı moleküler yapıtaşları evrimleşirse, her ne kadar aynı molekülleri kullanmanın hangi derecesinin fenotipik yakınsamayı zorunlu kıldığı açık olmasa da, bu tür yakınsamalar daha belirgin olabilir.

Bazı yakınsama vakaları oluşsa dahi, ben dünya dışı yaşamın ağırlıklı olarak bizim Dünya'da gördüklerimizden çok farklı olmasını bekliyorum. Yakınsak evrimi yapılan evrim deneyleriyle beraber değerlendirdiğimizde, uzak akraba türlerin aynı şartlara maruz kaldıklarında sıklıkla farklı biçimde evrim gösterdiklerini görüyoruz.

Başka gezegenlerdeki türlerin de uzak akraba olacağına hiç kuş-

ku yok. Yaşam formları farklı başlangıç noktalarından evrimleşiyor olacak, ayrıca yaşam karbon bazlı ve genetik kod DNA gibi bir şeye dayalı olsa bile, kalıtımın ve evrimin kuralları çok farklı olabilir. Bir bireyin yaşamı sırasında edindiği özellikler yavrularına aktarılabilir, ama aktarılmayabilir de. Cinsel üreme sayesinde gerçekleşen anne baba genlerinin yeniden şekillenışı hiç yaşanmayabilir veya bizim alıştığımız iki birey yerine her çiftleşmede belki üç birey, on birey ya da yüz bireyin işe müdahil olması gerekebilir. Bildiğimiz haliyle doğal seçilim (aynı türden bireylerin sınırlı kaynaklar için rekabetine dayalı) işlemeyebilir. Belki işbirliği, hem tür içi hem türler arası, evrimin itici gücü olacak. Farklı türler hiç olmayacak belki de. Yaşamın düzenlenişinde olabilecek bu tür farklılıklar düşünüldüğünde, evrimin farklı gezegenlerde aynı rotayı izlemesi muhtemel görünmüyor.

Gezegenlerin kendisi de çok farklı olacak. Rich Lenski her şeye kadir olsaydı,* bir düzine Dünya gezegeni yaratır, bunları özdeş güneş sistemlerine yerleştirir, birkaç milyar yıl bekler, ardından gelip yaşamın (ortaya çıktığını varsayarsak) özdeş kürelerinde benzer mi, farklı mı olduğuna bakardı. Fakat Lenski veya bir başkası bu deneyi nasıl yapacağını bulana kadar, yaşamın farklı gezegenlerde nasıl evrimleştiğini (tabii, evrimleşmişse) karşılaştırmaya mahkûmuz.

Bizler Dünya'nın biricik olduğunu, onun gibisinin hiçbir yerde olmadığını düşünürdük. Şimdi çok yanlış düşünmüş olduğumuzu biliyoruz. Artık neredeyse her hafta Güneş sistemi dışında yerleşmeye elverişli yeni bir gezegenin keşfedildiği duyuruluyor. Bu bulgular-dan yapılan kestirimlerle, sadece bizim evrenin köşesindeki küçük yerimizde (Samanyolu Galaksisi) bu tür gezegenlerin sayısının milyarlarca olduğunu çıkarsıyoruz.

Fakat bir gezegenin yerleşmeye elverişli olarak değerlendirilmesi için gerekenlerin çok geniş tutulduğunu, başlıca ölçütün sadece sıvı su bulundurabilmesi olduğunu ve bunun da çok geniş bir sıcaklık ve şartlar aralığında gerçekleştiğini aklınızda tutun. Dolayısıyla bu gezegenler diğer tüm nitelikler açısından çok büyük bir çeşitlilik

* Bildiğim kadarıyla, değil.

göstermektedir: Sıcaklık, atmosfer bileşimi, radyasyon yükü, kütleçekim, jeolojik bileşim hemen akla gelenler.

Farklı koşullar altında evrimleşen popülasyonların, aynı genel seçim baskılarına maruz kalsalar dahi, benzer olmayan biçimlerde evrim göstermeye meyilli olduğunu biliyoruz. Bunun kanıtını da birbirinden çok az farklı çevrelerde yaşayan *E. coli*, dikenli balıklar ve meyve sinekleri popülasyonlarından elde etmiş durumdayız. Muhtelif gezegenlerde görülen çok farklı çevrelerin evrimi alternatif yollara sürükleyeceğine hiç kuşku yok.

Artık varsayımları bırakalım. Birbiriyle çelişen evrimsel dünyaları ve bunun sonuçlarını görmek için aslında yapmamız gereken Yeni Zelanda'yı dünyadaki herhangi bir yerle karşılaştırmaktan ibaret. Genel anlamda bakacak olursak kuşlar ve memeliler o kadar da farklı değildir. Karbon bazlı olma ve DNA kullanmanın yanında, ikisi de birçok temel biyolojik işleyiş yönü ortak olan omurgalı hayvanlardır. Fakat yine de Yeni Zelanda'nın faunası Avustralya'ninkinden, And Dağları'ninkinden, Serengeti'ninkinden ve başka her yerden çarpıcı ölçüde farklıdır. Kimse Yeni Zelanda'yı bu yerlerden biriyle karşılaştırıp evrimin benzer biçimde gerçekleştiğini söylemez.

İsterseniz dinozorların (*T. rex*, *Stegosaurus* ve 30 metre boyunda, 70 ton ağırlığında sauropodların) hükümrانlığı ile bugünkü fillerin, zürafaların, kedilerin ve krill yiyen mavi balinaların dünyasını karşılaştıralım. Belki *Triceratops* gergedana hafif bir benzerlik taşıyabilir, *Struthiomimus* uzaktan biraz devekuşuna benzeyebilir, ama Mezozoik Zaman'ın hâkim hayvanları genel anlamda bugün yerlerini alanlardan son derece farklıdır.

Yaşam eğer bu gezegende mekânsal ve zamansal yönden bu kadar farklı evrimleşiyorsa, başka gezegenlerdeki yaşamın Dünya'da evrimleşenlere paralel evrimleşmesini beklemek pek anlamlı gelmiyor. Carl Sagan bunu Gould'un *Wonderful Life*'ından altı yıl önce yazdığı çok satan kitabı *Kozmos: Evrenin ve Yaşamın Sırları*'nda iyi ifade etmiş: "Kimi insanlar (örneğin bilimkurgu yazarları ve sanatçılar) diğer varlıkların neye benzeyebileceği üzerine düşünüp tahminler yaptılar. Dünya dışı varlıklara dair bu tasavvurların çoğu konu-

sunda şüphelerim var. Bana bildiğimiz yaşam formlarına haddinden fazla dayanıyor gibi görünüyorlar. Herhangi bir organizmanın olduğu duruma gelmesi, bireysel olarak attığı pek beklenmedik birçok adımın sonucunda oluyor. Başka bir yerdeki yaşamın bir sürüngene, bir böceğe veya bir insana çok benzer bir görünümde olacağını düşünmüyorum.”

Peki, insanların (ya da bizim gibi bir şeyin) evrimleşmeye yazgılı olduğu fikrine ne diyorsunuz? Bu tür bir iddiayı ileri süren tek kişi Conway Morris değil, ama asteroit çarpımasıyla bile, memelilerin yine de çoğalacağını ve bundan 30 milyon yıl önce Dünya soğuktan sonra insanların evrimleşeceğini iddia ederek en ayrıntılı ve net konuşan odur. Ama bu iddia da, evrim sürecinde yaşananlarla çelişiyor. İnsanların evrimi bu kadar kaçınılmazsa, neden sadece bir kez yaşandı?

Yine Kuşların İmparatorluğu’nu, son 80 milyon yılda kendi evrim yolundan ilerlemiş olan Yeni Zelanda’yı düşünelim. Orada insana benzer canlılar nerededir? Evrimin memeliye az da olsa benzer bir şey üretmeye en çok yaklaştığı şey, solucan koklayan küçük kividir. Jeolojik açıdan yine ayrı bir evrimsel güzergâh izleyen Avustralya, memeli üretmeye başlamış başlamasına ama insanlara en fazla yakınlaştığı örnek maymuna çok uzaktan benzetilebilecek, ne zekâsıyla ne de insana benzer herhangi bir özelliğiyle nam salabilmiş ağaç kanguruları olmuş.

İnsanlar, primatların çıktığı bazı bölgelerde bile evrimleşememiş. Madagaskar üzerinde 40 milyon yıldan fazladır ağaçtan ağaca süzülen lemurlar, çok büyük tür çeşitliliği yaratmış müthiş bir evrimsel başarı öyküsüdür. Fakat ilk insangillerin maymun atalarımızdan çıkmadan on milyonlarca yıl önce çeşitlenmeye başlamasına karşın, lemurlar insana az da olsa benzer bir tek tür bile üretmedi. Güney Amerika yaklaşık 50 milyon yıl boyunca dünyanın geri kalanından izole durumdaydı, bu durum birkaç milyon yıl önce Panama Kıstağı yükselene dek sürdü. Maymunlar burada da yaklaşık 36 milyon yıl önce bir tomruğun veya başka bitki örtüsü unsurlarının üzerinde Afrika’dan sürüklenerek kıyıya vurdular. Onlar da epey bir çeşitlendi (parmak kadar ipek maymunlarından tutalım da, ince

uzun bacaklı örümcek maymunlarına kadar) ama bu ada kıtada da insana benzer bir varlık hiç evrimleşmedi.

Gerçek şu ki, biz insanlar, bir evrimsel tekizlik örneğiyiz; Dünya üzerinde hiçbir yerde hiçbir zaman bizim gibi bir şey evrimleşmedi. Yakınsak evrimin genel olarak her yerde görülmesi, görünüşe göre bizim evrimsel kaçınılmazlığımıza sınırlı bir destek sağlayabiliyor.

Gelin, dünya dışı yaşama başka bir perspektiften bakalım. “Yalnız mıyız?” insanlığın büyük sorularından biridir. Yanıtı, “biz”den kastımızın ne olduğuna bağlı.

“Biz” derken, başka gezegenlerdeki yaşamı mı anlatmak istiyoruz? Eğer öyleyse, yanıt bilmediğimiz açık. Fakat Dünya’ya benzer, yaşama elverişli milyarlarca gezegen olduğu düşünülürse, çok sayıda biliminsanı yaşamın başka bir yerde de, belki birden çok kez evrimleşmesinin kaçınılmaz olduğunu düşünüyor.

Yaşamın başka gezegenlerde evrimleştiğini varsayarsak, acaba yaşam buradaki gibi çok hücreli ve karmaşık mı, yoksa sadece bir avuç basit, tek hücreli organizma mı olur? Dünya’da yaşam başlayalı neredeyse 4 milyar yıl oluyor. İlk organizmalar çok küçüktü ve tek bir hücreden oluşuyordu ve bu durum (birkaç yüz milyon eksiği ya da fazlasıyla) 2,5 milyar yıl boyunca sürdü. Fakat sonunda çok hücreden oluşan organizmalar evrimleşti ve bunu birçok kez yaptılar. Çok hücrelilik yapılan tutucu tahminlere göre hayvanlarda en az bir kez, mantarlarda üç kez, alglerde altı kez (yeşil su yosunlarının bir çeşidinden evrimleşen kara bitkileri de buna dahil) ve bakterilerde en az üç kez ortaya çıktı. Daha serbest (neyin “çok hücrelilik” sayılacağına dayanan) tahminlerdeyse en az yirmi beş ortaya çıkış tahmini yapılıyor.

Biliminsanları arasında “karmaşıklık” kavramıyla anlatılmak istenenin ne olduğu hakkında da tartışma var; birden fazla hücresi olan bir organizmanın muhakkak tek hücreli bir varlıktan çok daha karmaşık olması gerekmiyor. Önerilen karmaşıklık ölçütleri arasında bir organizmadaki farklı hücre tiplerinin sayısı (örneğin bizde kas, deri ve birçok başka hücre tipi var), değişik biçimlerde uzmanlaşmış parçaların sayısı, parçalar arasındaki farklı etkileşim çeşitlerinin sayısı ve daha birçoğu var. Hangi tanım kullanılırsa kullanılsın, kar-

maşıklığın Dünya sakinleri içerisinde birçok kez evrimleştiği açık. Bu büyük tekrarlanabilirlik, çok hücreliliğin ve karmaşıklığın yaşamın evriminin kaçınılmaz bir ürünü olduğunu akla getiriyor, hiç değilse bizim dünyamızda. Eğer yaşam Dünya'ya benzer başka gezegenlerde evrimleşmişse, biz Dünyalılar çok hücreli karmaşıklığımızda yalnız olmayabiliriz.

Artık zekânın da (yine bambaşka tanımlara sahip bir kavram daha) sadece bizim primat akrabalarımızda değil, çok farklı birçok başka hayvanda da birçok defa yakınsak şekilde evrimleşmiş olduğunu biliyoruz. Kutuları üstüne çıkıp yiyeceğe ulaşabilecek şekilde doğru yere yerleştiren filler, çatlakların içindeki larvaları yakalamak için kancalı aletler yapan kargalar, havuzlarında bir nesnenin var olup olmadığı hakkındaki soruları yanıtlamak için sembolik dil kullanan yunuslar – büyük beyinli birçok türün bizim fark ettiğimizden çok daha zeki olduğu ortaya çıkıyor. Zekâyâ benzer yönleri olduğunu hiç düşünmediğimiz kertenkele ve balık gibi türler bile, zorlu bilişsel görevleri yerine getirme becerisine sahip olduklarını kanıtlıyor. Herhalde içlerinden en şaşırtıcısı, bizimkilerden çok farklı biçimde yapılanmış beyinlere sahip olmalarına karşın kavanozların çevrilerek açılacağını ve okyanus tabanında tebdili kıyafet dolaşmak için hindistan cevizi kabuklarının kullanılabilceğini bulan ahtapotlardır.

Bazı hayvanlar sorun çözmenin yanı sıra, genelde bir hayvanın üzerine işaret koyup ardından önüne bir ayna yerleştirilerek test edilen öz farkındalığa da sahip. Hayvan aynaya bakar ve işarete dokunursa, kendisine baktığını fark etmiş demektir. Kendini tanıma becerisine sadece kuyruksuz maymunların sahip olduğunu düşünürdük ama son yıllarda filler, yunuslar ve saksaganlar da ayna sınavını geçti. Aslında bu hayvanların birçoğu aynaları ağızlarının içine ve normalde göremedikleri diğer vücut kısımlarına bakmak için kullandı, bu da hayvanların kendilerinin farkında olduklarının ve kendilerini merak ettiklerinin açık bir kanıtıydı.

Uzun lafın kısıası, Dünya'da ileri entelektüel beceriler yakınsak şekilde birçok kez ortaya çıktı. Bunu yaşamın diğer gezegenlerde nasıl evrimleşmiş olabileceğine dair bir gösterge olarak alırsak, evrendeki tek zeki varlık biz olmayabiliriz.

Zekâ ve öz farkındalığın bu yakınsak evrimine karşın, başka hiçbir hayvan bizimki gibi bir zekâ geliştirmedir. Bildiğimiz kadarıyla yine hiçbir hayvan, bizim özbilinçli içebakış becerimize benzer bir şey de evrimleştirmiş değildir. Bu yakınsak olmayan tekil köken ışığında konuşursak, zekâmızın evriminin çok düşük ihtimalli, beklenmedik bir talih (Dünya'nın kendi Cıt+'sı) veya burada kaçınılmaz olarak olacak bir şey olup olmadığını söyleyemeyiz. Sonuç olarak başka gezegenlerde karşılaştırılabilir (veya daha büyük) zekâ düzeyleri evrimleşip evrimleşmediğini öngörmek için Dünya'da yaşanmış olanlara bakamayız.

Yeniden Dünya'ya dönelim. Gould'un metaforunda ufak bir değişiklik yapıp kasedi yeniden oynatalım, ama bu kez büyük bir değişiklik yapalım: Biz olmayalım. Biz evrimleşmemiş olsaydık, yüksek zekâlı bilinçli varlıkların evrimleşip evrimleşmeyeceğini öngörebilir miyiz?

Önkoşullar (büyük bir beyin ve belli bir zekâ düzeyi) başka primatlarda kesinlikle var. Daha önce gördüğümüz üzere yakın akraba türler paralel evrim geçirmeye yatkın. İnsanlar olmasaydı, kuyruksuz maymunlar veya başka primat türleri bizim yerimizi alır mıydı?

Paleoantropologlar, soyumuzda beyin büyüklüğünde yaşanan ani ve hızlı artışı tetikleyen şeyin ne olduğu konusunda uzun süredir tartışıyor. Fosil kalıntılar, iki ayak üzerinde yürümenin beyin büyüklüğündeki artıştan önce evrimleştiğini gösteriyor. Geniş bozkırlara yerleşmesi de ilerletici bir etmen olarak değerlendiriliyor. Aynı yolu başka bir primat da izleyebilir miydi? Olanaksız görünmüyor. Hakkaten de Senegal'deki bir şempanze popülasyonu savanlara yerleşmiş durumda ve daha küçük primatları avlamak için mızrak kullanıyor; anatomik açıdan buna iyi uyarlanmamış olmalarına karşın onlar da yer yer iki ayak üzerinde yürüyor. İnsanlarla aynı duyum düzeylerini evrimleştirdiklerini kafada canlandırmak *Maymunlar Cebennemi* filmine başvurmasak bile zor değildir.

Ya primat olmayanlar? Onlar insanlarla yakın akraba değil ve bu yüzden Senegal şempanzeleri veya başka primatlarda olduğu gibi bizimle aynı genetik yatkınlıkları paylaşmıyor. Fillerin, yunusların,

kargaların ya da ahtapotların insan düzeyinde zekâ evrimleştirmesi mümkün müdür? Olanaksız, diyemem. Bu tip hayvanların hepsi milyonlarca yıl boyunca etrafımızda böyle bir şey geliştirmeden do-laştı fakat yeterli zaman verilirse, kim bilir?

Ve son olarak dinozorun insanın yerini almasına ne diyoruz? Kasedi yeniden ama bu kez farklı bir nedensellik zinciri kurarak oynatalım, *İyi Bir Dinozor*'un ön kabulüne dönelim, asteroidin ramak kala Dünya'nın yanından geçip gittiği, afetin olmadığı koşullara. *Velociraptor*, *Troodon* ve arkadaşları büyük beyinleriyle beraber kurtuluyor. Evrim onları nereye taşıyacak?

Dale Russell, postulatında, doğal seçilimin kertenkele türlerindeki beyin büyüklüğünün sürekli artmasını destekleyeceğini, bunun bir dizi anatomik dönüşümün ardından nihayet size ve bana ürkütücü ölçüde benzeyen bir yeşil sürüngene yol açacağını ileri sürmüştü. Russell, bu makalesini kaleme aldıktan sonra Conway Morris ve diğerleri, insana benzer bir türün evrimleşmeye yazgılı olduğu önermesine destek amacıyla bu makaleden alıntılar yapmıştı.

Bugün Russell'ın bir ayrıntıda hatalı olduğunu biliyoruz. Russell'ın makalesini yayımladığı 1980'li yıllarda kuşların dinozorlardan evrimleşip evrimleşmediği hâlâ paleontologlar arasında tartışma konusuydu. Şimdi bu tartışma duruldu; başına buyruk birkaç kişi haricinde herkes kuşların kökeninin *Velociraptor* ve *Troodon*'un yakın akrabası bir grup theropoda dayandığında uzlaşıyor. Kuşlar şu anda dinozorların evrim ağacının bir dalı olarak kabul görüyor; dahası elde edilen yeni bulgular bundan 35 yıl önce hiç akla gelmeyen bir şeyi de ortaya çıkardı. Çin'deki müthiş fosil keşifleri sayesinde bugün kuş tüylerinin theropod dinozor tarihinin erken döneminde, henüz bir theropod çeşidi kuşları ortaya çıkarmadan önce evrimleştiğini biliyoruz. Sonuç olarak sadece kuşlar değil, birçok theropod (*Troodon*'lar, hatta bebek *T. rex*'ler dahil) kuş tüyüyle kaplıydı.*

Dolayısıyla Russell'ın tasviri biraz güncellenmeye ihtiyaç duy-

* Teknik olarak ne *Troodon*'un ne de genç *T. rex*'in fosil kuş tüylerine sahibiz fakat her iki vakada da, kuş tüyü taşıyan çok yakın akraba türlerin fosilleri bulundu.

yor. Bay Dinozoroid'e pullarla kaplı yeşil deri yerine, tüyden bir palto giydirmemiz gerekiyor. Madem başladık, ona bir de papağanlardaki gibi havalı bir renk verelim. Artık kimse bu yakışıklı arkadaşı dünya dışı bir varlıkla karıştırmaz!

Dış görünümünden daha önemlisi, Russell'ın ileri sürdüğü ve yatay yönlü (kafa ve ön gövdenin ileri doğru hareketinin uzun bir kuyrukla dengelendiği, vücudun arka bacakların üzerinde hassas bir dengeye sahip olduğu) *Troodon*'u alıp dikey bir iki ayaklıya çeviren dönüşüm adımlarıydı. Daha büyük bir beynin evrimi gerçekten bunu zorunlu kılar mı?

Russell daha iri bir kafatasının dik bir vücut pozisyonunu gerektirdiğini niçin düşündüğüne dair bize çok fazla ayrıntılı açıklama sunmadı. Kuşların en gelişmiş beyinlileri bile (bazıları da epey zeki, vücut büyüklüğüne oranla çok iri beyinleri var) yatay, dinozorsu vücut pozisyonlarını koruyordu. *T. rex* de o devasa kafatasıyla dikleşerek yürümedi.

Russell'ı eleştirenler onun bakış açısının fazla insan merkezci olduğunu, tahminlerini insanların evrimleşme tarzının, en azından bilinçaltı aracılığıyla fazla yönlendirmiş olduğunu ileri sürdü. Bir paleontolog "haddinden fazla insani" demişti; bir başkası da "şüphe yaratacak kadar insani" diye eklemişti.

Russell, bu itirazı bekliyordu ve makalesinde karşılık verdi. Yakınsak evrimden bahsederek (ve Conway Morris'ten 10 yılı aşkın bir süre önce davranarak) eğer insanlar bir kez evrimleşmişse, bizim gibi bir şeyin yeniden evrimleşmesini beklemenin elbette mantıklı olacağını ileri sürdü. (Conway Morris, sonradan, "Bizim için bu kadar iyi bir çözümse, bunun bir dinazor için de iyi bir çözüm olacağını düşünmek o kadar zor mu?" diyerek aynı fikirde olduğunu belirtecekti.) Yine de Russell, fikirlerinin spekülatif olduğunu kabul ediyor ve makalesini düello davetiyle bitiriyordu: "Meslektaşlarımızı alternatif çözümler saptamaya davet ediyoruz."

Düelloyu kabul eden olmadı. Aslına bakarsanız Russell'ın makalesi bilim çevrelerinde geniş bir tartışma da yaratmadı. 1982 yılında yayımlanışından bu yana başka bilimsel makalelerce sadece 42 kez

referans gösterildi; bu da yılda bir kez demektir ki, kaynak alınma klasiği düzeyine yükseldiği pek söylenemez. Üstelik bu referansların çoğu (Russell'ın makalesinin ana odağı olan) *Troodon*'un anatomisinin teknik ayrıntıları üzerine, hiç popüler sayılamayacak paleontoloji makalelerinde yer aldı; dinzoroid fikri pek az bilimsel ilgi ve karşılık doğurdu.

Bense makaleden 1980'lerin sonundan beri haberdardım ve onu keşfedilmemiş bir cevher olarak görüyordum, bu kitapla gün ışığına çıkarmak için can atıyordum. Sonra bir gün Russell'ın fikrinden bahsedenden olmuş mu acaba diye internete girip bakmanın, hiç de fena bir fikir olmadığını düşündüm. Ve müthiş bir şaşkınlıkla konu hakkında blog yazıları, yorumlar, çizimler, klipler, sohbetler vesaire bir dolu şey olduğunu keşfettim. Dinzoroid hipotezi canlıydı ve siber âlemde büyüyordu.

Bu çevrimiçi malzeme üç gruba ayrılabilir. Birinci grupta Russell'ın fikrinin eleştirisiz aktarımları, yazdıklarının tekrarlanması, bunların yanında da genellikle yaptığı heykelin çizim ve fotoğrafları bulunuyordu.

İkinci grupta muhabbet Russell'ın yaptığı canlandırımın uzaylıya benzer görünüşü etrafında dönüyordu. Yeşil derili, pullu, insana benzer, hafif tuhaf özellikleri ve birkaç parçasının eksik oluşuyla dinzoroid, bilimkurgu filmlerinden fırlamış dünya dışı bir varlıktan farksızdı. Bu da her türlü uçuk kaçık tartışmaya yol açıyor ve bir internet sitesi (anlaşılan ciddi ciddi) şunları bildiriyordu: “(Dinzoroid) evrimleşerek en sonunda, normal seyrinde ilerlerken veya tam da dünya dışı sınırları keşfe başlamışken Atlantis'inkine benzer bir felaketle yıkılan bir kültürü geliştiren bir humanoid türüne dönüştü. Bu durumda bazı UFO yolcularının soyu belki de ASIL YURTLARI olan gezegende şu an egemen olan türleri izlemek için uzay kolonilerinden GELMEYE DEVAM EDEN bu sürüngen kültüründen hayatta kalanlara dayanıyor.”

Tüm bu saçmalığın ortasında bulunan üçüncü grup tepkiler de, dinzoroid meselesini ciddiye almış ve hipotezi eleştirip Russell'ın davetine karşılık vererek alternatif senaryolar üreten belli sayıda pa-

leontolog ve dinazor tutkunundan geliyor. Bu yazarlar da aşına olduğumuz bir vurguyu yapıyor: Başlangıçta farklı olan türler, benzer seçim baskıları karşısında aynı evrimsel rotayı tutturmayacaktır.

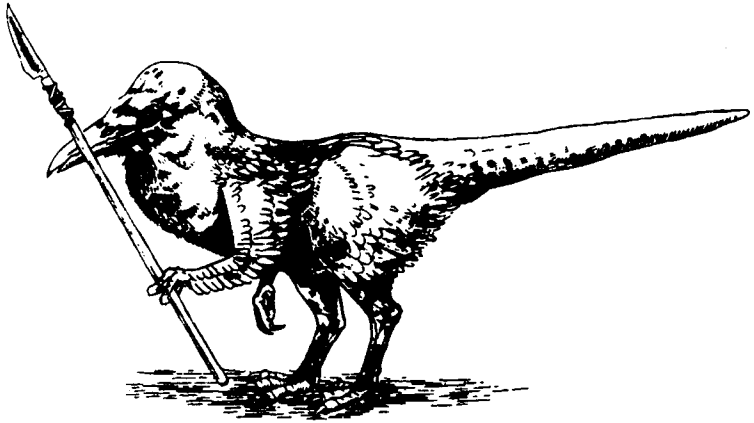
Şimdi olduğumuz yere nasıl geldiğimizi düşünelim. En yakın akrabalarımız kuyruksuz maymunlar – goriller, şempanzeler, orangutanlar ve gibbonlar. Bu türlerin hiçbirinin kuyruğu yok. Evrim tarihinde daha gerilere, kuyruklu bir ata bulmaya, yaklaşık 22 milyon yıl önce bizim kuyruksuz maymun-insan kökenimizin Eski Dünya maymunlarından ayrıştığı noktaya gitmemiz gerek. Atalarımız iki ayak üzerinde ancak kuyruklar kaybedildikten sonra yürümeye başladı. Bunun sonucunda büyük kafalarımızı bedenlerimizin tam üstünde dengeleyebilmek için tamamen dik bir postür evrimleştirmemiz hiç şaşırtıcı değil; zira karşı ağırlık olarak iş görebilecek bir arka uzantımız yoktu. Tümüyle dik olmasaydık, dengemizi korumak için sürekli ileri doğru hareket etmek zorunda kalırdık.

Şimdi de kaldırımda yürüyen bir güvercini gözümüzde canlandıralım. O da iki ayaklı, ama kafası ileride duruyor ve bedeni dikey değil, yatay. Bacakları bir tahterevallinin dayanak noktası gibi konumlanmış, kuşun ne ileriye ne de geriye devrilmeyeceği şekilde en doğru yere yerleşmiş. Bu güvercini boyu yaklaşık bir metre olacak şekilde büyütün, çenesine dişler ekleyin, kanatlarını silip kollar ekleyin, birkaç küçük değişiklik daha yapın, *Troodon*'a ulaştınız.

Şimdi de doğal seçilimin daha iri beyinleri, dolayısıyla *Troodon*'da daha büyük bir kafayı desteklediğini varsayalım. Kuyruğu olmayan iki ayaklı bir hayvan için dik postürün en etkili çözüm olduğu ortada. Fakat vücudunun ön kısmını dengelemek için zaten bir kuyruktan faydalanan bir tür için daha kolay evrimsel rota, daha ağır bir kuyruk geliştirmek olurdu.

Burada Dale Russell'ın senaryosunun mümkün olmadığı söylenmiyor; evrimin o yönde ilerlemesi ihtimal dahilindedir. Ne var ki kuyruksuz maymunların insanlara dönüşümünden çıkarsanan bir senaryonun farklı anatomik özelliklere sahip çok farklı bir ataya uygulanabileceğini düşünmek için bir neden yok.

Bu bakış açısından ilerlenip dinozoroide birkaç alternatif daha



Dinozoroidin yeni görünümü

önerildi. Ayrıntılarda farklılıklar olsa da, hepsi temelde şu noktada ortaklaşıyor: Bilimkurgusal sürüngen-uzaylı görünümünün modası geçti, onun yerini büyük, iri beyinli, kuşa benzer bir hayvan aldı. Kuş tüyleriyle süslenmiş, cisimleri tutmak için belki ellerin yerine ya da onlara ek olarak gagasını kullanan, dinozor soyundan gelme bu oldukça zeki hayvan vücudu yere yatay, büyük kafasını dengeleyen kuyruğu, elinde veya gagasında aletlerle etrafta bir balıkçıl veya karga gibi kasıla kasıla yürüyor.

Evrimin bu yoldan ilerleyeceğini bilmek mümkün değil. Ama yine de şu yargıya varılabilir: Dinozorlar hayatta kalmış olsaydı, onların soyundan gelenler (hakikaten zeki dinozorlar bile) bugün bize hiç benzemeyeceklerdi. Süper boyutta beyne sahip bir tavuk, bundan daha doğru bir benzetme olurdu.

Geçenlerde hiç akla gelmeyecek bir gizli ajanın varlığından haberdar oldum. İnsanın diline dolanan tanıtım müziğindeki sözlerle “hem karada hem havada yaşayan, yumurtlayan memeli, eylem hayvanı” Perry the Platypus [Ornitorenk Perry] üç eyalet arası bölgeyi*

* Açık şekilde söylenmiyor ama anlaşılan Denver civarında bir yer.

ele geçirmek isteyen kötü kimselerin çabalarına engel oluyor. Perry, turuncu gaga ve ayakları, camgöbeği rengi, taktığı kendine özgü kahverengi fötr şapkasıyla, Aşağı Taraf'ın 007'si gibi: çekici, esprili, ileri Ju-Jitsu becerilerine ve teknik zamazingolardan oluşan bir cep-haneliğe sahip, uçan bir ornitorenk arabası sürüyor.

Disney Channel'da dört sezon yayımlanan *Phineas and Ferb* [*Finneas ve Förb*] itiraf edelim ki kürklü yıldızında birkaç biyolojik farklılık yapma hakkını kendinde bulmuş. Yetişkin ornitorenkler sonuçta dişlere sahip olmadığı gibi, iki ayak üzerinde de yürümez veya kadınların düşüp bayılmasına sebep olan gıcırtyıyla kükreyen bir ses çıkarmaz. Yine de program, ornitorenğin kalın kürkü, güçlü kuyruğu, perdeli ayakları ve elbette gagası dahil sahip olduğu birçok adaptasyonu bol bol överek bir çocuk kuşağının bu harika türü hak ettiği biçimde tanınmasını sağladı. Hakikaten de yumurtlayan hepi topu birkaç memeliden biri olduğu için "ilkel" damgası yiyen ornitorenk hak ettiği saygıyı görmüyor. Ben şovu izlerken Perry'nin kendisiyle ve türüyle çok gurur duyması gerektiğini fark ettim.

Bu beni Perry'nin suçla savaşan zihninden başka hangi düşüncelerin geçebileceğini düşünmeye sevk etti. Perry'nin eserlerini sınırlı inceleme şansı bulduğum için ne kadar içgözlemci olduğunu kavrayamadım. Fakat karşı casusluktan kalan zamanlarında derin düşüncelere daldığını varsayarsak, üzerinde düşündüğü konulardan biri başka gezegenlerde ornitorenkoid yaşamının mümkünatı olabilir. Neden olmasın? Ornitorenkler muazzam hayvanlardır, Perry'nin perspektifinden bakıldığında evrim sürecinin doruk noktası olduklarına hiç kuşku yoktur. Düşünceli bir ornitorenk olan *Ornithorhynchus anatinus*'un kâinatta yalnız olup olmadığını merak etmesi de çok doğaldır.

Bazıları buna saçma diyerek karşı çıkabilir. Ornitorenk mi evrimin doruk noktasıymış? O küçük beyinleriyle, konuştukları bir dil bile yokken? Olmaz öyle şey deyip kusur bulmak mümkün; ornitorenkler evrimin zirvesine, yani bize giden yolda karşımıza çıkan bir ara durak sadece, öyle değil mi? Sonuçta esas zirve, büyük beyinlerimiz, aletlerimiz, bilinçliliğimiz vs. ile biziz.

Fakat elbette ki, bu bakış son derece insan merkezci. İyi yanları-

mız var, yanlış anlamayın. Ama ördek gagalı arkadaşın da iyi yanları var.

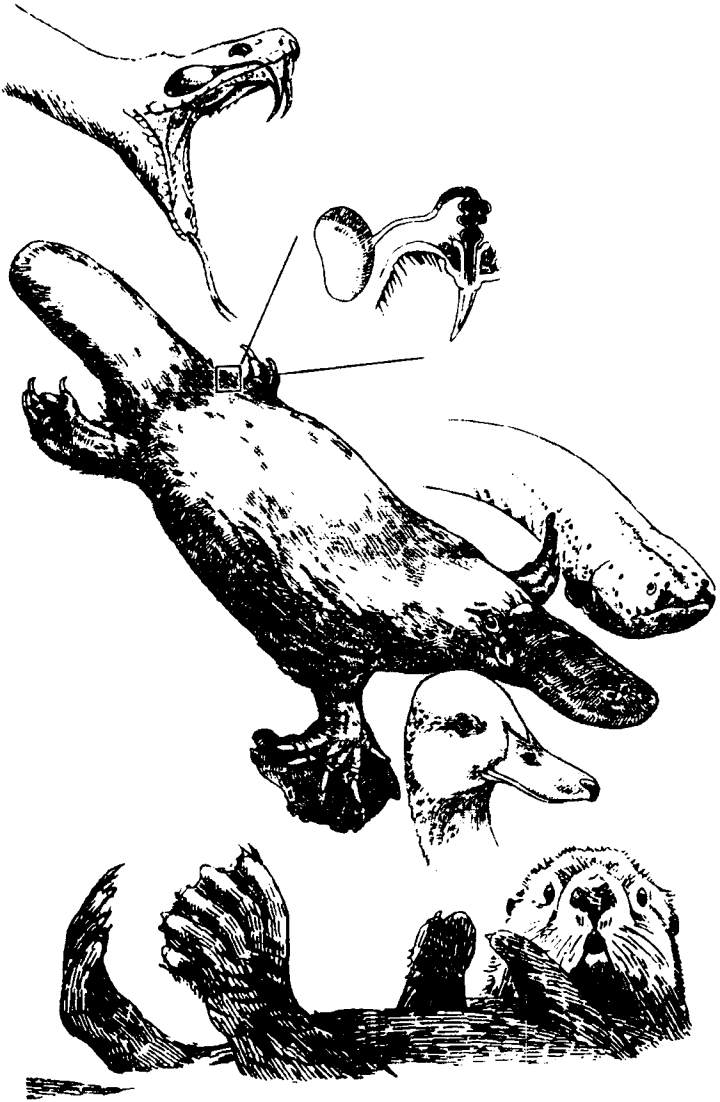
Hakikaten, şu gagaya bir bakın. Yüzeysel bakıldığında ördeğin gagasına çok benzeyen ornitorenğin kayış gibi rostrumu, çok minik on binlerce algılayıcıyla kaplıdır. Bunlardan altmış bini dokunmaya karşı muazzam hassastır, bir balık yüzgecinin vuruşunun yarattığı su basıncı değişimini saptayabilir. Kırk bin başka algılayıcınınınsa farklı bir işlevi vardır.

Ornitorenğin yiyeceğini nasıl bulduğu uzun süre gizemini korudu. Bir ornitorenk suya girdiğinde gözlerini, kulaklarını ve ağzını kapar. Bu duyusal yoksunluğa rağmen yine de her gece ağırlığının yarısı kadar kereviti yakalayıp yiyeabilmektedir. Bir süre akarsu yatağını ördeklerin yaptığı gibi gagasıyla eşeleyip durarak vakit geçirir, ama bu av bulmada etkili bir yol değildir. Kafasını ve gagasını hiç durmadan bir aşağı bir yukarı sallaya sallaya suda yüzerken aniden avını hissediverir. Avustralyalı doğabilimci Harry Burrell, bu gözlemlerden yola çıkarak 20. yüzyılın başlarında ornitorenğin bir çeşit altıncı hissi olması gerektiği varsayımında bulunmuştur.

Bu ekstra duyunun mahiyetini 1980'lerde Almanlar ve Avusturalyalılardan oluşan bir ekip keşfetti. Ornitorenk, zayıf bir elektrik yükü yayan bir pili, bir havuzun dibinde saklanmış olsa bile bulabiliyordu. Devamında yapılan çalışmalar, ornitorenklerin gagalarındaki elektroreseptörler sayesinde avlarının hareket ederken ürettiği çok küçük elektrik yükleri yoluyla yemeklerinin yerini kesin olarak bulabildiğini doğruladı. Bu özellikleri dokunma reseptörleriyle su akıntılarını ve diğer hareketleri saptama becerileriyle birleştiğinde ornitorenkler aslında dünyalarını dokunsal ve elektriksel uyarıcılarla "görüyordu".

Görüldüğü üzere bizler gibi ornitorenkler de kendileri açısından muazzam varlıklar. Dolayısıyla başka bir yerde ornitorenkoid yaşamı var mı diye niçin sormasınlar?

Ne yazık ki başka gezegenlerde ornitorenkoidlerin olduğunu savunmak, dünya dışı humanoidlerin varlığını savunmakla aynı ölçüde inandırıcı. Ornitorenk de sadece Avustralya'da evrimleşmiş



Ornitorenk, diğer türlerden ortaya karışık yakınsak parçalara sahip, evrimsel açıdan emsalsiz bir örnek.

olan* bir evrimsel tekiz. Diğer kıtalarda başka memelilerin benzer şartların varlığına rağmen ornitorenge benzer yaratıklara evrimleşmeyi başaramamış olması, ornitorenk yaşam tarzının akarsu ortamlarına uyarlanmanın doğal seçilimin (kaçınılamaz surette ulaşmak için uğraştığı) en üstün formunu temsil ettiğini iddia etmeyi zorlaştırıyor. Sonuç olarak başka galaksilerden gelen ornitorenkler fikri harika olsa da, dünya dışı varlıklar beklenti listemizin en tepesine onları koymak için bir neden göremiyorum. Ornitorenk, bir yerde evrimleşip başka hiçbir yerde evrimleşmeyen emsalsiz bir tür olarak, insanlar gibi, net bir şekilde olumsuzluk kategorisine oturuyor.

Her ne kadar evrim, ornitorengin ikizini üretememiş olsa da, onun her bir parçasının başka organizmalarda paralellerinin olmasıyla Perry'nin türü yakınsak evrimin tahtında oturuyor olabilir. Onun düpedüz bir şaka, farklı hayvanlardan kurnazlıkla toplanmış bir karışım olduğunu düşünen erken dönem İngiliz biliminsanlarını kim suçlayabilir? Gerçekten de öyledir: Ördeğin gagası, susamurunun perdeli ayakları, deniz samurunun su geçirmez gür kürkü,** kunduzunkine benzer iri bir kuyruk. Elektroresepsiyon becerilerinin bile paraleline elektrikli yılan balıkları ve başka balıklarda, Guyana yunuslarında ve bir semender çeşidinde rastlanmaktadır. Ayak bileğinde zehir püskürten bir mahmuza sahip ornitorenkten başka hayvan olmasa da, bu yapının anatomisi de çingiraklı yılanın zehirli dişine yakınsaktır: Her ikisi de bir zehir salgı bezine bağlanan boş tüplerdir, zehir salgı bezini sıkın kaslarla mahmuzdan veya diştten ittirilerek hedefe püskürtülür. Dolayısıyla ornitorenk paradoksal biçimde yakınsamanın hem mükemmel bir örneği hem de reddidir, evrimsel açıdan emsalsiz fakat yakınsak özelliklerin bileşimidir.

Ördek gagamız muğlaklıkta yalnız değildir. Biz insanlar da başka soylarda bağımsız şekilde evrimleşmiş çok sayıda özelliğe sahip evrimsel tekizleriz. Hatırlayalım:

* Arjantin'de bulunan altmış küsur milyon yıllık azı dişleri, muhtemelen iki kata arasındaki antik Gondvana bağlantısının bir sonucu olarak ornitorenklerin çok eski akrabalarının zamanında Güney Amerika'da var olduğu izlenimini veriyor.

** Ornitorenkler, donmaya yakın sularda hemen hemen hiç vücut ısıyı kaybetmeden yüzmelerine olanak tanıyacak kadar kalın derililerdir.

İki ayaklılık kuşlarda ve onların theropod dinazor akrabalarında, kangurularda, zıplayan kemiricilerde var. Yer yer iki ayak üzerinde duran şempanzeler, karıncayıyenler, kertenkeleler, hamamböcekleri gibi çok sayıda hayvanı da atlamayalım.

Saç dökülmesi birçok memelide görülen bir özellik, hatta özellikle sıcak iklimlerde yaşayan veya yağ tabakasına sahip hayvanlarda çok daha fazla tüy dökülüyor. İlk akla gelenler balinalar, suaygırları, domuzlar, filler, foklar, tüysüz köstebek fareleri.

Karşıt başparmaklar primat akrabalarımız dışında keseli sıçanlarda, koalalarda, bazı kemirgen ve ağaç kurbağalarında görülür.

İleri bakan büyük iki göz, yine bütün primatların ortak özelliğidir ama onu kedi, baykuş, Asya kamçılı yılanı gibi birçok yırtıcı tür ve gece türü de bağımsız olarak evrimleştirmiştir.

Başka evrimsel mahsusiyetler de yakınsak özelliklerden nasibini almıştır. Örneğin kivi, saça benzer tüylere ve memelilerdeki gibi sert bıyıklara sahiptir; diğer özelliklerinden bazıları da kuşlar arasında nadir görülür veya hiç görülmezken, başka omurgalı türlerde yaygın şekilde görülür; ilikle dolu kemikler, burnunun ucundaki delikler ve harika koku alma duyusu gibi.

Bukalemunların da eşi benzeri yoktur. Dar yüzeylere daha iyi tutunmak için birbirine karşıt şekilde yerleşmiş ayak parmakları ve çıkık göz çukurları, bunların içinde bağımsız olarak dönebilen gözleri, kavrama yeteneğine sahip kuyrukları, ileri fırlayan dilleriyle bu kertenkelelere benzer bir başka canlı daha yoktur. Ne var ki bu özelliklerin her biri farklı tipte bir hayvanla yakınsaktır: Dillerini ağızlarından uzağa fırlatabilen başka semenderler de vardır; ağaçta yaşayan kavrayıcı kuyruklu birçok başka tür daha vardır (örneğin bazı maymunlar, karıncayıyenler, kertenkeleler, keseli sıçanlar, denizatları); kum balıklarının bir türü de çıkık göz çukurlarına ve bağımsız hareket eden gözlere sahiptir; benzer ayak parmakları düzeni bazı kuşlar ve keseli hayvanlarda da görülür.

Dolayısıyla yakınsamaya hak ettiği değeri vermiyor olabiliriz. Biz evrimsel tekizler (kiviler, ornitorenkler, bukalemunlar ve insan-

lar) benzersiz olabiliriz, ama vücudumuzdaki birçok bölüm başka organizmalarda yakınsak şekilde evrimleşmiştir.

Diğer bir deyişle burada, Dünya’da türler benzer çevresel şartlar karşısında sık sık benzer kalıtsal özellikler evrimleştiriyor. Bu yüzden bir humanoidin ya da bir ornitorenkoidin (veya bukalemunoidin veya kivioidin) başka bir yerde evrimleşmiş olması muhtemel değilse bile, bu, dünya dışı canlıların bize tümüyle yabancı görüneceği anlamına gelmiyor. Dünya dışı bir canlı, hatta ornitorenk tarzında farklı Dünya sakinlerinden ödünç alınmış parçalardan oluşan karma bir varlık bile olabilir.

Bir süre önce büyük evrim biyoloğu Edward O. Wilson, bizimki kadar ileri bir uygarlık geliştirebilecek dünya dışı varlıkların biyolojisi konusunda bazı düşüncelerini paylaştı. Dünya’daki evrime ilişkin bildiklerimize dayandırdığı öngörülerine göre şöyle olmalılar:

Karada yaşayacaklar çünkü teknolojinin gelişimi enerjinin taşınabilir bir formundan (örneğin ateş) faydalanmayı gerektirecek.

Büyük olacaklar çünkü ileri zekâ için gereken sinirsel işlemler büyük beyinleri gerektiriyor.

İletişim için görsel ve işitsel sistemlere dayanıyor olacaklar çünkü bunlar uzun mesafelere sinyal iletmenin en etkili yolları.

Bedenlerinin ön tarafında büyük kafaları olacak. Kafa, içine büyük bir beyin almak için büyük olacak, ayrıca yaratık ileri doğru hareket ederken etrafı incelemek için kullanılan duyuşsal bir organ işlevi görecek.

Avlanma amaçlı, fakat aşırı büyük olmayan ağız ve dişleri olacak. Bir türün ileri bir uygarlık geliştirmesi için gereken toplumsal işbirliği, avın yakalanması ve savunmanın basit kaba güçle değil, müşterek araçlar ve zekâ yoluyla hayata geçirilmesini sağlayacak.

Az sayıda kol, bacağa veya başka uzantılara sahip olacak, en az bir çift uzantı hassas dokunuş ve kullanım amacıyla yumuşak uçlu olacak.

Bu tarifler Dale Russell'inkilere oranla çok daha az belirginlik taşısa da, çoğu yorumcu muhtemelen aynı eleştirileri getirerek listenin hâlâ fazla dar görüşlü, kendini Dünya'da evrimleşmiş olan şeylerle fazla sınırlamış olduğunu söyleyecektir. Wilson açısından bakarsak, bunun zaten açıkça onun başlangıç noktası olduğunu, çıkarımlarının Dünya'nın evrimsel tarihinden yapıldığını da belirtmek gerekir.

Gelin, bu eleştirileri bir kenara koyup Wilson'ın iddialarını olduğu gibi alalım; saydıklarının teknolojik açıdan hünerli dünya dışı türlerin neye benzeyebileceği konusunda mantıklı öngörüler olduğu ortada. Ve bu öngörüler aslında çok da kısıtlayıcı değil. Bu çerçeveden bakıldığında dünya dışı türler büyük başlı, iki gözlü, küçük dişlere sahip küçük bir ağızlı, üst gövdelerinin iki tarafında bir çift uzantısı olan, yuvarlak kafasının üstünde ince saç telleriyle iki ayaklı canlılar olabilir. Veya altısı hareket etmek için kullanılan eklemli sekiz uzantıya, öndeki iki uzantısının ucunda daha hassas yedi uzantıya daha, soğansı kafasının üzerinde sesi saptamak için fincan şeklinde devasa altı açıklığa, üstteki üçgen şeklinde düzenlenmiş dev üç göze bağlı, dönebilen sap gibi bir boyna sahip bir canlı da olabilir. Diğer deyişle ortaya çıkacak nihai sonuç Dünya'da olanlara çok benzer olabileceği gibi, Wilson'ın dünya dışı evrime yönelik dünya merkezci bakışıyla bile Dünya türlerinin sahip olduklarına pek az benzeyen vücut parçalarına sahip tümüyle farklı bir şey de olabilir.

Buradan daha genel bir soruya gelelim. Başka yerlerde hayatın neye benzediğini öngörebilmek için Dünya'daki yaşama bakmamız gerçekten şart mı? Örneğin ben, kendi adıma Dünya'daki yaşamın bizimkine benzer bir gezegende olabilecek her varoluş biçimini, hatta varoluş biçimlerinin çoğunu ortaya çıkarmış olduğuna hiç inanmıyorum.

Bitkiye benzer (enerjisini doğrudan güneşten veya bazı kimyasal reaksiyonlar yoluyla elde eden) bir organizmanın hareketli olup bacaklar veya etrafta dolaşmanın başka bir biçimini evrimleştirmesi için bir neden mi var? Ve bunu başardılar diyelim, bu durum sonunda zekânın evrimine yol açabilecek bir sinir sistemi getiremez mi?

Ayrıca etrafta dolaşmak için kol ve bacağın şart olduğunu kim söylüyor? Ahtapotlar ve mürekkepbalıkları kendilerini zıt yöne itmek için bir tüpten dışarı su fışkırtarak tepkili itme yöntemiyle hareket ediyor. Bu bazı atmosferlerde çok etkili olabilir.

Burgess Şeyli'nde bulunan şu acayip yaşam formlarını hatırlayalım. Dip balçığında debelenen yarım kozalaklar, hortumunun ucunda duran pençesiyle beş gözlü yırtıcılar, kıvrımlı bacakların üstünde sırtlarındaki bir dizi dikenle yükselen solucana benzer tüp bedenler, alt kısmında bir ağızla suda süzülen bir yara bandı. Bu hayvanlar gerçekten vardı. Günümüzde başka gezegenlerde bulunan ekosistemlerin atalarının onlara benzer şeyler olamayacağını söylemek hangimizin haddine düşmüş? Diyelim öyle oldu, o gezegenlerdeki yaşam bugün nasıl bir görünüme sahip olurdu?

Aktarılanların hepsini değerlendirdiğimizde, evrimin rastlantısal veya tesadüfi olmadığını biliyoruz. Doğal seçim türlerin evrimsel gelişebilme biçimlerini sınırlıyor, onları benzer çevre koşullarıyla yüzleştiklerinde sık sık aynı biçimde uyarlanmaya mecbur ediyor. Bazı durumlarda çevrenin doğurduğu sorunlarda tek bir en iyi biyolojik çözüm mevcut ve birçok durumda türler bu en uygun çözümlere tekrar tekrar başvuruyor. Dahası akraba türler biyolojilerinde her açıdan birçok benzerliğe sahip; genetik benzerlikleri ve gelişme biçimleri özellikle önem taşıyor. Bu benzerlikler de yakın akrabaları aynı evrimsel yönde ilerlemeye yönlendiriyor. Dolayısıyla yakınsak evrim genellikle sınırlı sayıda optimal çözümün varlığı ile genetik, gelişim ve ekoloji açısından paylaşılan benzerliklerin kesişimi sonucunda uyarlanmanın aynı yöne doğru akmasından kaynaklanıyor.

Öte yandan biyolojik olasılıklar dünyası genellikle devasa bir alan ve doğal seçim, genetik ve gelişim eğilimlerine rağmen evrimsel açıdan gerçekleşebilir nihai sonuçlar kümesi büyük olabiliyor. Sonuç olarak evrim sık sık bildiğini okuyor. Özellikle de evrim farklı başlangıç noktalarından farklı genler ve gelişim sistemleriyle başladığında bununla karşılaşırız. Hatta aynı ata soyundan başlayıp benzer şartlarla karşı karşıya olduğunda bile sonuç ıraksak olabiliyor. Evrim bazen kendini tekrarlıyor, ama çoğu kez tekrarlamıyor.

O halde evrimi öngörebilir miyiz? Kısa vadede, evet, belli ölçüde. Fakat zamanın akışı uzadıkça, atalar ve koşullar farklılaştıkça başarıyla tahminde bulunma olasılığımız düşüyor. Dinozoroid olur muydu? Zannetmiyorum. Ornitorenk Perry? Ne yazık ki, hayır. Bu noktada olmak kaderimiz mi? Yok, öyle diyemem.

Sayısız olaydan herhangi biri geçmişte farklı gerçekleşmiş olsaydı *Homo sapiens* de evrimleşmezdi. Kaçınılmaz olmaktan çok uzağız, bu noktada olduğumuz için ve olaylar tam bu şekilde geliştiği için şanslıyız. Asteroitler dışında başka hangi olaylar evrim yolunda bizim lehimize oldu? Geçmişte yaşanacak çok cüzi bir farklılığın (büyük-büyük-büyük-milyonuncu-nesilden-büyükbabamız Ernie'nin üzerine düşen bir ağaç, bir orman yangını, bir mutasyon) bizim gelecekteki varlığımızı bitirmeyeceğini kim bilebilir?

Öte yandan kim bilir, belki de humanoid ikizlerimiz farklı bir tarihsel silsileyle bol bol evrimleşecekti. Belki dünya keseli insanlarla dolu olacak, lemur insanlar, ayı insanlar, karga insanlar, hatta belki kertenkele insanlar olacaktı. Gözünüzde her temsilcinin farklı evrimsel kökenden geldiği bir Birleşmiş Milletler canlandırın.

Yaşamın birkaç milyar yıl önceki ortaya çıkış noktasından baktığınızda, evrimsel sonuçlardan hangisini alsanız gerçekleşme ihtimali düşük görünürdü. Fakat geçmiş bir şekilde yaşandı ve milyarlarca yıllık doğal seçilimin sonucunda, yaşamı bir başkasından değil de bu yoldan akıtan tarihin oyunuyla bugün buraya geldik. Şanslı mıyız? Evet. Kaçınılmaz yazgımız mıydı? Hayır. Bizler, evrimsel talihimizin keyfini sürerek, onun nimetlerinden faydalanmalıyız.

TEŞEKKÜR

Bu kitap üzerinde çalıştığım üç yıl boyunca bana yardımcı olan pek çok arkadaşım, meslektaşım ve akrabama derin minnettarlık duyuyorum. Küçüklü büyüklü sorularıma yanıt veren birçok insan oldu. Rahatsız edip durduğum, hatta yazdıklarımı okuyup değerlendirmeye mecbur bıraktığım kişilere, Rowan Barrett, Zack Blount, Fred Cohan, Tim Cooper, John Endler, Marc Johnson, Rees Kassen, Craig MacLean, Rasmus Marvig, Paul Rainey, David Reznick, Dolph Schluter, Roy Snaydon, Bruce Tabashnik, Michael Travisano ve Nash Turley'e özel olarak minnettarım. Bana bilgi, tavsiye ve yanıt veren çok sayıda kişiye de teşekkürler: Eldridge Adams, Anurag Agrawal, Chris Hamlin Andrus, Spencer Barrett, Dan Blackburn, Chris Borland, Angus Buckling, Molly Burke, Todd Campbell, Scott Carroll, Gary Carvalho, Satoshi Chiba, Ke Dong, Mick Crawley, Stuart Davies, Chuck Davis, Doug Erwin, Scott Edwards, Maha Farhat, Charles Fox, Gonzalo Giribet, Pedro Gómez López, Billie Gould, Wendy Hall, Chris Hamlin, Marshal Hedin, Andrew Hendry, David Hillis, Hopi Hoekstra, Nina Jablonski, George Johnson, Leo Joseph, Betul Kacar, Rick Lankau, Tami Lieberman, Adrian Lister, Tim Low, Zhe-Xi Luo, Andy Macdonald, Blue Magruder, Jordan Mallon, Greg Mayer, Axel Meyer, Mark Moffett, Loretta O'Brien, Mark Olson, Sterling Nesbitt, Mike Palmer, Delphine Picard, Gregory Priebe, Peter Raven, Diana Rennison, Robert Ricklefs, Sara Ruane, Eric Rubin, Dov Sax, Tom Schoener, Phil Service,

Susan Singer, Russell Slater, Morten Sommer, David Spiller, Jonathan Storkey, Yoel Stuart, Doug Swain, Corina Tarnita, Henrique Teotonio, Erdal Toprak, Ken Weber ve Andrew Whitehead. Ayrıca birkaç kez Facebook'a yazıp çeşitli konularda örnekler istedim ve inanılmaz sayıda Facebook arkadaşımın çok sayıda harika öneri aldım; yanıt veren herkese teşekkür ederim. Harvard Ernst Mayr Kütüphanesi çalışanlarına (Ronnie Broadfoot, Connie Rinauldo, Dorothy Barr ve özellikle Mary Sears) ve Washington Üniversitesi Olin Kütüphanesi'ne bulunması zor referansları bulmamda yardımları için çok teşekkür ederim. Keza her tür yardımı için Jared Hughes'a çok teşekkürler. Birçok bölümün, hatta kitabımın tümünün taslağını okuyanlara hararetle teşekkür ediyorum. Çok büyük katkıda bulundular! Alan Barker, Frank Grady, Harry Greene, Wendy Hall, Ambika Kamath, Andy Knoll, Carolyn Losos, Joseph Losos, Ann Mandelstamm, Marc Mangel, Irwin Shapiro ve Mike Whitlock'a teşekkürler. Trinidad gezimi kolaylaştırdıkları için David Reznick ve Cody Lane'e de teşekkür ediyorum.

Neil Shubin, Dan Lieberman, Nicholas Dawidoff ve özellikle Doug Emlen, kitap yazım süreci hakkında paha biçilmez önerilerde bulundular. Yayın temsilcim Max Brockman, sürecin ilerleyişini sağlamakta harikaydı, editörüm Courtney Young, yazdıklarımı alıp çok daha iyi bir şeye dönüştürerek harika bir iş çıkardı. Kevin Murphy, Alexandra Guillen, Martha Cameron, Joel Breuklander ve Riverhead Books ekibinin diğer üyelerine de benim müsveddelerimin bir kitaba dönüştürülmesindeki yardımları için teşekkür ediyorum. Doug Tuss ve Emily Harrington, çizim programı için altyapı hazırlamada harika bir iş çıkardı, Marlin Peterson'ın çizimleri de şahane idi ve bu kadar kısa bir sürede ustalıkla hazırlandı.

Son olarak hayatım boyunca gösterdikleri destek, ama özellikle de bu projeye gösterdikleri büyük ilgi için annem ve babam Carolyn ve Joseph Losos'a, önerileri ve her türden yardımı için, son öğrendiğim şeyleri çocukça anlatırken asla sıkılmış gibi görünmediği ve tüm süreç boyunca bana katlandığı için sevgili eşim Melissa'ya teşekkür ediyorum.

NOTLAR

Bu bölümde sizlere bazı konularda ek bilgi ve kaynaklar sunacağım. Referansların fazla ayrıntılı olmamasını hedefledim ve birçok konu için konuya giriş özelliği taşıyan bir ya da iki makale belirtmekle yetindim. Metinde ele alınan birçok örnek (örneğin lepidoteslerin, anolelerin ve biberli güvelerin evrimi, keza Rich Lenski'nin Uzun Süreli Evrim Deneyi) internette ayrıntılı olarak var. Metinde özel olarak bahsi geçen ve doğrudan alıntı yapılan bilimsel makalelerin kaynaklarını sunuyorum.

GİRİŞ: İyi Bir Dinozor

27 **uzun boyunlu brontozorlar:** Tschoop, E., O. Mateus ve R. B. J. Benson, "A specimen-level phylogenetic analysis and taxonomic revision of Diplodocidae (Dinosauria, Sauropoda)", *Peer J* 3: e857, 2015.

30 **"maymuna benzer memelilerin... ortaya çıkışı":** Conway,

Morris S., *Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe*, Cambridge University Press, İngiltere, Cambridge, 2003, s. 222.

31 **Kanadalı paleontolog Dale Russell:** Russell, D. A. ve R. Séguin, "Reconstructions of the small Cretaceous theropod *Stenonychosaurus inequalis* and a hypothetical dinosaurid", *Sylogosus*, 37, 1982, s. 1-43.

- 32 **Morris bir BBC belgeseline çıkar:** "My Pet Dinosaur," BBC şovu *Horizons*'ta 13 Mart 2007 tarihli bölüm. https://www.youtube.com/watch?v=rmaLa_6o_Qg.
- 32 **dört ışık yılı uzağımızda:** Overbye, D., "Far-off planets like the Earth dot the Galaxy", *New York Times*, 4 Kasım 2013; "Proximate goals", *Economist*, 27 Ağustos 2016, A1.
- 33 **"Olur da... iletişime geçmeyi başarırırsak":** Bieri, R., "Huminoïds on other planets?" *American Scientist*, 52, 452-458, 1964, s. 457.
- 33 **David Grinspoon:** Grinspoon, D., *Lonely Planets: The Natural Philosophy of Alien Life*, New York, Harper Collins, 2003, s. 272-273.
- 33 **Conway Morris beklendiği üzere yine hemfikir:** Conway, Morris, *Life's Solution*, 2003, s. 328.
- 37 **1980'lerden itibaren yapılan genetik araştırmalar:** Sibley, C. G. ve J. E. Ahlquist, *Phylogeny and Classification of Birds: A Study in Molecular Evolution*, New Haven, CT, Yale University Press, 1990; Barker, F. K. vd., "Phylogeny and diversification of the largest avian radiation", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 11040-11045, 2004.
- 39 **Bir adım daha atarak:** McGhee, G., *Convergent Evolution: Limited Forms Most Beautiful*, Cambridge, MA, MIT Press, 2011, s. 272.
- 39 **Conway Morris de aynı fikirde:** Gallagher, P., "Forget little green men-aliens will look like humans, says Cambridge University evolution expert", *The Independent*, 1 Temmuz 2015, <http://www.independent.co.uk/news/science/forget-little-green-men-aliens-will-look-like-humans-says-cambridge-university-evolution-expert-10358164.html>.
- 41 **Can alıcı vuruş:** Gould, S. J., *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History*, New York, W. W. Norton, 1989, s. 289.
- 42 **Fakat Conway Morris'le yaptığı... bir tartışmada:** Conway, Morris S. ve S. J. Gould, "Show-down on the Burgess Shale", *Natural History*, 107(10), 1988, s. 48-55.
- 42 **Bir benzeri daha yok:** Henneberg, M., K. M. Lambert ve C. M. Leigh, "Fingerprint homoplasy: koalas and humans", *Natural Science*, 1: 4, 1997.

1. BÖLÜM: Evrimsel Déjà Vu

- 52 **2013 yılında Sri Lankalı, Endonezyalı ve Avustralyalı biliminsanları:** Ukuwela, K. D. B. vd., "Molecular evidence that the deadliest sea snake *Enhydryna scabiosa* (Elapidae: Hydrophiinae) consists of two convergent spe-

- cies", *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 66, 2013, s. 262-269.
- 54 **2014 yılında yayımlanan bir makalede:** Denoeud, F. vd., "The coffee genome provides insight into the convergent evolution of caffeine biosynthesis", *Science*, 345, 2014, s. 1181-1184.
- 62 **çünkü biz burada olmazdık:** Erwin, D. H., "*Wonderful Life* revisited: chance and contingency in the Ediacaran-Cambrian radiation", Ramsey, G. ve C. H. Pence (Yay. haz.), *Chance in Evolution*, Chicago, University of Chicago Press, 2016, s. 277-298.
- 62 **tekrar tekrar, yücelterek vurguladığı üzere doğrudan Conway Morris'in:** Conway, Morris S., "The Middle Cambrian metazoan *Wiwaxia corrugata* (Matthew) from the Burgess Shale and *Ogygopsis* Shale, British Columbia, Canada", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 307, 507-582, 1985, s. 572.
- 63 **bunun bir dereceye kadar açıklamasını:** Erwin, "*Wonderful Life* revisited", s. 277-298.
- 63 **Üstelik yapılan bazı analizlerle:** Teknik olarak bu analizler arthropodlar denen, örümcekler, ıstakozlar, böcekler gibi eklem bacaklı omurgasızlarla sınırlıydı. Burgess Şeyli'ndeki en ilginç türlerin çoğu (hepsi değil) eklem bacaklıdır. Briggs, D. E. G., R. A. Fortey ve M. A. Wills, "Morphological disparity in the Cambrian" *Science*, 256, 1992, s. 1670-1673; Foote, M. ve S. J. Gould, "Cambrian and recent morphological disparity", *Science*, 258, 1816, 1992.
- 64 **Bir meslektaşımız Gould'un evrimin rastlantısal doğası yönündeki görüşlerinin:** Bowler, P., "Cambrian conflict: crucible an assault on Gould's Burgess Shale interpretation", *American Scientist*, 86, 1998, s. 472-475.
- 64 **Bir başkası da Conway Morris'in:** R. Fortey, R., "Shock Lobsters", *London Review of Books*, 1 Ekim 1998, 24-25.
- 64 **Konuşmamızda Conway Morris:** Bu düşünceler Conway Morris'in Gould'un *Bully for Brontosaurus* eserine ilişkin yaptığı değerlendirmede yayımlandı. Conway, Morris S., "Rerunning the tape", *Times Literary Supplement*, 4628, Londra, 13 Aralık 1991.
- 65 **"Evrimsel yakınsama her yerde görülmektedir":** Gallagher, "Forget little green men".
- 70 **Conway Morris bunu şöyle ifade ediyor:** Agy.
- 70 **Yakınsama plasentaya:** Blackburn, D. G. ve A. F. Fleming, "Invasive implantation and intimate placental associations in a placental trophic African lizard, *Trachylepis ivensi* (Scincidae)", *Journal of Morphology*, 273, 2012, s. 137-159.

- 75 **bu yakınsama vakasını olağanüstü kılmaktadır:** Conway, Morris S., *The Runes of Evolution: How the Universe Became Self-Aware*, West Conshohocken, PA, Templeton Press, 2014.
- 75 **deri rengindeki çeşitlenmenin uyumsal önemi:** Deri rengi evrimi konusunda daha fazlası için bkz. Jablonski, N. G., *Living Color: The Biological and Social Meaning of Skin Color*, Berkeley, University of California Press, 2012.
- 77 **İneklerle beraber:** “Got lactase?”, *Understanding Evolution*, Nisan 2007, http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/news/070401_lactose.
- 2. BÖLÜM: Kopyalanmış Sürüngeçler**
- 80 **Küba’nın onda biri büyüklüğündeki Jamaika:** Anoleler konusunda daha fazla bilgi için, bkz. önceki kitabım: Losos, J. B., *Lizards in an Evolutionary Tree: Ecology and Adaptive Radiation of Anoles*, Berkeley, University of California Press, 2009.
- 84 **yara kapatmada:** Reinberg, S., “Gecko’s stickiness inspires new surgical bandage”, *Washington Post*, 19 Şubat 2008, <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2008/02/19/AR2008021901653.html>.
- 87 **Zaman içerisinde:** Örneğin: Coyne, J. A. ve H. A. Orr, *Speciation*, Sunderland, MA, Sinauer Associates, 2004; Nosil, P. A., *Ecological Speciation*, Oxford, UK, Oxford University Press, 2012.
- 90 **tüm bir yayının yakınsaması:** Losos, J. B., “Adaptive radiation, ecological opportunity, and evolutionary determinism”, *American Naturalist*, 175, 2010, s. 623-639.
- 90 **adı sanı pek bilinmeyen Japon adalarında:** Chiba, S., “Ecological and morphological patterns in communities of land snails of the genus *Mandarina* from the Bonin Islands”, *Journal of Evolutionary Biology*, 17, 2004, s. 131-143.
- 92 **Sonra DNA karşılaştırmaları:** Ruedi, M. ve F. Mayer, “Molecular systematics of bats of the genus *Myotis* (Vespertilionidae) suggests deterministic ecomorphological convergences”, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 21, 2001, 436-448.
- 92 **düşündüğümüzün aksine Hindistan’daki:** Bossuyt, F. ve M. C. Milinkovitch, “Convergent adaptive radiations in Madagascan and Asian ranid frogs reveal covariation between larval and adult traits”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97, 2000, s. 6585-6590.
- 93 **büyük benzerliğine rağmen:** Reddy, S. vd., “Diversification and the adaptive radiation of the vangas of Madagascar”, *Proceedings of the Royal Society of London B*, 279, 2012, s. 2062-71.

- 94 **biyologlar ne zaman esin kaynaklarını:** Ada evrimi konusunda daha fazla bilgi için *bkz.* Carlquist, S., *Island Life: A Natural History of the Islands of the World*, Garden City, NJ, Natural History Press, 1965; Whittaker, R. J. ve J. M. Fernández-Palacios, *Island Biogeography: Ecology, Evolution, and Conservation*, 2. baskı, Oxford, İngiltere, Oxford University Press, 2007.
- 96 **Dilediğiniz büyük memeliyi:** *Agy.*
- 98 **son bir eğilimi daha vurgulayalım:** Wilkins, A. S., R. W. Wrangham ve W. T. Fitch, "The 'domestication syndrome' in mammals: a unified explanation based on neural crest cell behavior and genetics", *Genetics*, 197, 2014, 795-808.
- 99 **Sibiry'a'da yapılan uzun süreli bir deney:** Trut, L., I. Oskina ve A. Kharlamova, "Animal evolution during domestication: the domesticated fox as a model", *BioEssays*, 31, 2009, s. 349-360; Dugatkin, L. A. ve L. Trut, *How to Tame a Fox (and Build a Dog): Visionary Scientists and a Siberian Tale of Jump-Started Evolution*, Chicago, IL, University of Chicago Press, 2017.
3. BÖLÜM: Evrimsel Ayırıklık
- 103 **"yarasa ailesinin fare üretme girişimi":** Diamond, J., 1990. "New Zealand as an archipelago: an international perspective", Towns, D. R., C. H. Daugherty ve I. A. E. Atkinson (Yay. haz.), *Ecological Restoration of New Zealand Islands*, Wellington, NZ, New Zealand Department of Conservation, s. 3-8.
- 105 **"dünyadaki hiçbir bitkiye benzemeyen":** Carlquist, *Island Life*, s. 208.
- 114 **Fransız bilimsini François Jacob:** Jacob, F., "Evolution and Tinkering", *Science*, 196, 1977, s. 1161-1166.
- 116 **Yakınsama vakalarının hepsinde:** Ord, T. J. ve T. C. Summers, "Repeated evolution and the impact of evolutionary history on adaptation", *BMC Evolutionary Biology*, 15, 137, 2015.
- 116 **Üç dikenli balık:** Dikenceler ve evrimleri konusunda daha fazlası için *bkz.* Schluter ve J. D. McPhail, "Ecological character displacement and speciation in sticklebacks", *American Naturalist*, 140, 1992, s. 85-108; Schluter, D., "Resource competition and coevolution in sticklebacks", *Evolution Education and Outreach*, 3, 2010, s. 54-61; Hendry, A. P. vd., "Stickleback research: the now and the next", *Evolutionary Ecology Research*, 15, 2013, s. 111-141.
- 118 **ayak parmak sayısı:** Wake, D. B., 1991. Homoplasy—the result of natural selection, or evidence of design limitations?" *American Naturalist*, 138, 1991, s. 543-567.
- 119 **"Doğal seçim yakınsamaya yönlendirdi" hipotezini doğru-**

dan test edebilmek: Uyarlanmada ve evrimsel yakınsamada doğal seçilimin oynadığı rolün nasıl araştırılması gerektiği konusunda tartışma için bkz. Larson, A. ve J. B. Losos, "Phylogenetic systematics of adaptation, Rose, M. R. ve G. V. Lauder (Yay. haz.), *Adaptation*, San Diego, Academic Press, 1996, s. 187-220; Autumn, K., M. J. Ryan ve D. B. Wake, "Integrating historical and mechanistic biology enhances the study of adaptation", *Quarterly Review of Biology*, 77, 2002, s. 383-408.

- 119 "belli bir uyumsal avantaj olduğu ortada": Alıntı için bkz. Fleur, N. St., "Armed and dangerous: T-rex not the only dinosaur short-arming it", *New York Times*, 19 Temmuz 2016, D2.

4. BÖLÜM: Evrimsel Değişimin Pek O Kadar Yavaş Olmayan Temposu

- 132 **Bernard Kettlewell:** Kettlewell, H. B. D., *The Evolution of Melanism: The Study of a Recurring Necessity with Special Reference to Industrial Melanism in the Lepidoptera*, Oxford, İngiltere, Oxford University Press, 1973.
- 133 **Güçlü seçilimin deneysel tanıtılması:** Cook, L. M. vd., "Selective bird predation on the peppered moth: the last experiment of Michael Majerus", *Biology Letters*, 8 Şubat 2012, DOI: 10.1098/rsbl.2011.1136.
- 135 **Rosemary ve Peter Grant:** Grant, P. R. ve B. R. Grant, *40 Years of Evolution: Darwin's Finches on Daphne Major Island*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1995; Weiner, J., *The Beak of the Finch: A Story of Evolution in Our Time*, New York, Vintage Books, 1995.
- 139 **Çok tartışılan kuramı:** Gould, S. J., *The Structure of Evolutionary Theory*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 2002.

5. BÖLÜM: Renkli Trinidad

- 144 **küçük lepistesin şöhreti:** Aktaracağım kaynaklar Trinidad lepistesleri üzerinde yarım yüzyıldan fazladır yapılan araştırmalara iyi bir giriş olabilir: Haskins, C. P. vd., "Polymorphism and population structure in *Lebistes reticulatus*, an ecological study", Blair, W. F., (Yay. haz.), *Vertebrate Speciation*, Austin, University of Texas Press, 1961, s. 320-394; Endler, J. A., "Natural selection on color patterns in *Poecilia reticulata*", *Evolution*, 34, 1980, s. 76-91; Reznick, D. ve J. A. Endler, "The impact of predation on life history evolution in Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*)", *Evolution*, 36, 1982, s. 160-177; Reznick, D., "Guppies and the empirical study of adaptation", Losos, J. B., (Yay. haz.), *In the Light of Evolution: Essays from the Laboratory and Field*, Greenwo-

- od Village, CO, Roberts & Co, 2009, s. 205-232; Magurran, A. E., *Evolutionary Ecology: The Trinidadian Guppy*, Oxford, İngiltere, Oxford University Press, 2005; Karim, N. vd., "This is not déjà vu all over again: male guppy colour in a new experimental introduction", *Journal of Evolutionary Biology*, 20, 2007, s. 1339-1350; Kemp, D. J. vd., "Predicting the direction of ornament evolution in Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*)", *Proceedings of the Royal Society of London B*, 276, 2009, s. 4335-4343.
- 145 beğeniyle karşılanan bir kitap yazdı: Baranauckas, C., "Caryl Haskins, 93, ant expert and authority in many fields", *New York Times*, 13 Ekim 2001.
- 147 Bu bilgiyi Haskins'in bir başka akvaryum çalışmasıyla: Magurran, *Evolutionary Ecology*.
- 147 1960'lı yılların baş döndüren günlerinde: John Endler 16 Mart-8 Haziran 2015 tarihleri arasında gerçekleştirdiğimiz bir e-posta yazışmasında bilim alanında kişisel yolculuğu ve lepestes projesi hakkında ayrıntılı bilgiler ilettiler.
- 149 Bu çalışma büyük bir başarıydı: Endler, J. A., *Geographic Variation, Speciation, and Clines*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1977.
- 151 "Sahada elde edilen sonuçlar çarpıcıydı": Endler, J. A., "Natural selection on color patterns in *Poecilia reticulata*", *Evolution*, 34, 1980, s. 76-91.
- 156 David Reznick: David Reznick 21 Mart 2015-16 Kasım 2016 tarihleri arasındaki birçok e-mailinde bilimsani olarak gelişimi ve lepestes projesi hakkındaki sorulara yanıt verdi.
- 165 kırmızı ve siyah noktaların büyüklüğü: Bu makalede (D. J. Kemp vd., bu bölümün ilk dipnotunda referans verilen) bu beneklerin "turuncu" diye geçtiğini, ama bunların Endler'in orijinal çalışmasında "kırmızı" dediklerine karşılık geldiğini, benim de bu yüzden burada kırmızı dediğimi belirtmeliyim. Bu çalışmada yine Endler'in çalışmasından farklı olarak mavi ve pırıltılı benekler bir tutulmuştu.
- 166 Bu noktada tüm söyleyebileceğimiz: Başka bir çalışma grubu da Reznick'in bir başka girişiminde renk evrimini karşılaştırdı ve herhangi bir renk değişimi kanıtı bulmayı başaramadı. Fakat bu çalışma, 2005'te Reznick ve Endler çalışmasında hayvan görüş uzmanlarının uyguladığı son model renk analizini kullanmıyordu. Üstelik diğer grup müteakip bir çalışmada Reznick ve Endler ekibinin bulduğu farklılıkları saptamayı da başaramadı ki bu durum diğer grubun yönteminin renk evriminin en azından bazı tiplerini (özellikle de artan pırıltınlığı)

saptama becerisi olmadığını akla getiriyor. Diğer grubun yazarları makalelerinde yöntemlerinin gerekçelendirmesini savunmacı denebilecek bir tarzda yaptı ki bunun da gözden geçirme sürecinde gelen eleştirileri boşa çıkarma amaçlı olması muhtemeldir. Bu noktada sonuçlarına ne anlam verebiliriz, bilmek mümkün değil. Eldeki en iyi yöntemlerin kullanılmasıyla başka lepistes girişimleri üzerinde çalışmalar yapmaya ihtiyaç olduğu çok açık.

- 167 **üç deney popülasyonundan lepistes topladı:** O'Steen, S., A. J. Cullum ve A. F. Bennett, "Rapid evolution of escape ability in Trinidadian guppies (*Poecilia reticulata*)", *Evolution*, 56, 2002, s. 776-784.

6. BÖLÜM: Kertenkele Kazazedeleri

- 171 **Olur da Bahamalar'ı ziyaret ederseniz:** Benim kitabımda Bahama anoleleri üzerinde yapılan deneysel çalışma özetleniyor: Losos, J. B., *Lizards in an Evolutionary Tree*, 2009. Önemli makaleler şunlar: Schoener, T. W. ve A. Schoener, "The time to extinction of a colonizing propagule of lizards increases with island area", *Nature*, 302, 1983, s. 332-334; Losos, J. B., T. W. Schoener ve D. A. Spiller, "Predator-induced behaviour shifts and natural selection in field-experimental

lizard populations", *Nature*, 432, 2004, s. 505-508; Losos, J. B. vd., "Rapid temporal reversal in predator-driven natural selection", *Science*, 314, 2006, s. 1111; Kolbe, J. J. vd., "Founder effects persist despite adaptive differentiation: a field experiment with lizards", *Science*, 335, 2012, s. 1086-1089.

7. BÖLÜM: Gübreden Modern Bilime

- 195 **175 yıl kadar önce:** Dünyanın en uzun süredir devam eden deneyinin aslında hangisi olduğunu belirlemek kolay değil. Birçok online kaynak katranın huniden damlayışının gözlemlendiği bir deneyden bahsediyor ama bu çalışma sadece 1920'lerden beri var. Ben internet araştırmaları yoluyla Rothamsted'ten önce başlamış ve halen süren bir deney bulmayı başaramadım. Rothamsted deneyleri başlamadan hemen önce, 1840'tan beri işleyen pille çalışan bir çana dair haberler var ama bir çanı izlemek deney sayılabilir mi, pek emin değilim.

- 195 **Böylelikle "yapay gübre" deneyleri:** Rothamsted, Park Grass Deneyi ve Roy Snaydon'ın deneylerini incelemek için şu kaynaklar iyi bir başlangıç sağlayacaktır: J. Silvertown, J., *Demons in Eden: The Paradox of Plant Diversity*, Chicago, University of Chicago Press, 2005; Silvertown, J. vd., "The Park Grass Experi-

- ment 1856-2006: its contribution to ecology", *Journal of Ecology*, 94, 2006, s. 801-814; Storkey, J. vd., "The unique contribution of Rothamsted to ecological research at large temporal scales", *Advances in Ecological Research*, 55, 2016, s. 3-42; Snaydon, R. W., "Rapid population differentiation in a mosaic environment. I. The response of *Anthoxanthum odoratum* populations to soils", *Evolution*, 24, 1970, 257-269; Snaydon, R. W. ve M. S. Davies, "Rapid population differentiation in a mosaic environment. II. Morphological variation in *Anthoxanthum odoratum*", *Evolution*, 26, 1972, s. 390-405; Strauss, S. Y. vd., "Evolution in ecological field experiments: implications for effect size", *Ecology Letters*, 11, 2007, 199-207. Bu çalışmaya dair anlattıklarında Roy Snaydon (4-27 Haziran 2015), Stuart Davies (27 Mayıs 2015), Jonathan Silvertown (19-29 Mayıs 2015) ve Jonathan Storkey (2 Haziran 2015) ile yapılan sohbetlerden de yararlandım.
- 197 **"deney alanı":** Lawes, J. B. ve J. H. Gilbert, *Report of Experiments with Different Manures on Permanent Meadow Land*, Clowes and Sons, Londra, 1859, s. 43.
- 198 **bir yürüyüşe çıkılım:** Parsel betimlemeleri, özellikle üçüncüsü J. Silvertown, *Demons in Eden*'a dayanmaktadır. Ek bilgilerin kaynağı Jonathan Storkey'yle kurulan kişisel iletişimden (2 Haziran 2015) ve şu kitaptan alındı: Crawley, M. J. vd., "Determinants of species richness in the Park Grass Experiment", *American Naturalist*, 165, 2005, s. 179-192.
- 204 **İçlerinden en dikkat çekicisi:** Şu makaleler Silwood Park tavşan deneylerine giriş sağlayacaktır: Crawley, M. J., "Rabbit grazing, plant competition and seedling recruitment in acid grassland", *Journal of Applied Ecology*, 27, 1990, s. 803-820; Olofsson, J., C. De Mazancourt ve M. J. Crawley, "Contrasting effects of rabbit exclusion on nutrient availability and primary production in grasslands at different time scales", *Oecologia*, 150, 2007, s. 582-589; Turley, N. E. vd., "Contemporary evolution of plant growth rate following experimental removal of herbivores", *American Naturalist*, 181, 2013, s. 21-34; Didiano, T. J. vd., "Experimental test of plant defence evolution in four species using long-term rabbit exclosures", *Journal of Ecology*, 102, 2014, s. 584-594. Bu deneylerdeki birçok ayrıntının açıklamasını Marc Johnson (29 Mayıs-10 Aralık 2015), Mick Crawley (29-30 Mayıs 2015) ve Nash Turley'yle (17-29 Mayıs 2015) yapılan sohbetlere borçluyum.
- 207 **Örneğin Marc Johnson:** Agrawal, A. A. vd., "Insect herbivores drive real-time ecological

and evolutionary change in plant populations", *Science*, 338, 2012, s.113-116.

- 207 **başka çalışmalar da yapıldı:** Ba-taillon, T. vd., "A replicated climate change field experiment reveals rapid evolutionary response in an ecologically important soil invertebrate", *Global Change Biology*, 22, 2016, s. 2370-2379; Soria-Carrascal, V. vd., "Stick insect genomes reveal natural selection's role in parallel speciation", *Science*, 344, 2014, s. 738-742.

8. BÖLÜM: Yüzme Havuzlarında ve Kum Havuzlarında Evrim

- 209 **Bu havuzlar onundur:** Dikenli balık deneysel evrim araştırma programının gelişimi konusunda anlattıklarım esasen Dolph Schluter (12 Haziran 2015-23 Eylül 2016), ayrıca Rowan Barrett (4 Mart 2015-12 Temmuz 2016) ve Diana Rennison (23 Eylül-11 Kasım 2016) ile yapılan konuşmalara dayanmaktadır.

- 210 **Yaptığı ayrıntılı çalışmalar ders kitaplarına girmiş:** Schluter, D., T. D. Price ve P. R. Grant, "Ecological character displacement in Darwin's finches", *Science*, 227, 1985, s. 1056-1059.

- 214 **Yanıta çok çabuk ulaştı:** Barrett, R. D. H., S. M. Rogers ve D. Schluter, "Natural selection on a major armor gene in threespine stickleback", *Science*, 322, 2008,

s. 255-257; Barrett, R. D. H. vd., "Rapid evolution of cold tolerance in stickleback", *Proceedings of the Royal Society of London B*, 278, 2011, s. 233-238.

- 215 **önde gelen genom uzmanlarıyla beraber çalışan:** Colosimo, P. F. vd., "Widespread parallel evolution in sticklebacks by repeated fixation of *Ectodysplasin* alleles", *Science*, 307, 2005, s. 1928-1933.

- 216 **pelvik diken uzunluğunda seçim:** Rennison, D. J., "Detecting the drivers of divergence: identifying and estimating natural selection in threespine stickleback", doktora tezi, University of British Columbia.

- 219 **Kuşlar tarafından avlanmak:** Dice, L. R., "Effectiveness of selection by owls of deer-mice (*Peromyscus maniculatus*) which contrast in color with their background", *Contributions from the Laboratory of Vertebrate Biology*, 34, 1947, s. 1-20.

- 219 **genetik farklılıklardan yapılan bir çıkarsamaydı:** Linnen, C. R. vd., "On the origin and spread of an adaptive allele in deer mice", *Science*, 325, 2009, s. 1095-1098.

- 219 **Nebraska kum tepeleri:** Sandhills ak ayaklı fareler projesi konusundaki betimlemem Rowan Barrett'la 5 Haziran 2015-12 Temmuz 2016 arasında yapılan kapsamlı görüşmelere dayanıyor.

9. BÖLÜM: Kasedi Yeniden Oynatmak

- 243 24 Şubat 1988 günü: Lenski'nin deney kayıtları gayet iyi tutulmuş ve haklarında internette popüler makaleler bulmak mümkün, keza dergilerde de: Appenzeller, T., "Test tube evolution catches time in a bottle", *Science*, 284, 1999, 2108; Pennissi, E., "The man who bottled evolution", *Science*, 342, 2013, s. 790-793. Lenski kendi bloğunda da çalışmasının sonuçlarını özetlemiş: *Telliamed Revisited* (29 Aralık 2013, <https://telliamedrevisited.wordpress.com/2013/12/29/what-weve-learned-about-evolution-from-the-ltee-number-5/6>). Bu araştırma programı ve görev alan birçok kişinin kişisel geçmişi hakkında birçok bilgiyi Lenski Lab'e yaptığım ziyarete (2-3 Ekim 2014) ve Zack Blount'la yaptığım yazışmalara (20 Aralık 2014-6 Kasım 2016), ayrıca Rich Lenski (17-27 Ağustos 2015), Tim Cooper (24-27 Ocak 2015) ve Chris Borland'la (18-23 Şubat 2015) kurduğum iletişime borçluyum.
- 246 Proceedings of the National Academy of Sciences: Lenski, R. E. ve M. Travisano, "Dynamics of adaptation and diversification: a 10,000-generation experiment with bacterial populations", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91, 1994, s. 6808-6814.
- 246 farklılıklar varlığını sürdürüyor: Lenski, R. E., "Phenotypic

and genomic evolution during a 20,000-generation experiment with the bacterium *Escherichia coli*", *Plant Breeding Reviews*, 24, 2, 2004, s. 225-265.

- 247 "Meğer evrim oldukça tekrarlanabilir özellikteymiş": Lenski, R. E., "Evolution in action: a 50,000-generation salute to Charles Darwin", *Microbe*, 6, 2011, s. 30-33.
- 247 Paul Rainey de Lenski gibi: Paul Rainey'yle yapılan e-mail yazışmaları (15 Şubat 2015-17 Mart 2015) bu konudaki geçmişinin ve *Pseudomonas fluorescens* araştırma programının ayrıntılarına vakıf olmamı sağladı.
- 252 Travisano ve Rainey çalışmayı tamamladı: Rainey, P. B. ve M. Travisano, "Adaptive radiation in a heterogeneous environment", *Nature*, 394, 1998, s. 69-72.
- 256 Fakat kar tanelerinde: Ratcliff, W. C. vd., "Experimental evolution of multicellularity", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 2012, s. 1595-1600.
- 257 bir başka E. coli çalışması: Tenaillon, O. vd., "The molecular diversity of adaptive convergence", *Science*, 335, 2012, s. 457-461.

10. BÖLÜM: Şişedeki Buluş

- 264 "efsane ve söylencelerde büyük kahramanların": Zack Blount, kişisel iletişim, 13 Mart 2015.

- 265 “dünyada üzerinde en yoğun çalışılan türdür.”: Zimmer, C., “The birth of the new, the rewiring of the old”, *The Loom*, 19 Eylül 2012, <http://blogs.discovermagazine.com/loom/2012/09/19/the-birth-of-the-new-the-rewiring-of-the-old/#.WCO6JeErJjs>.
- 267 “Sorun şu ki”: Gould, *Wonderful Life*, s. 48.
- 267 “ağırbaşlı ve zeki”: Rich Lenski, kişisel iletişim, 17 Ağustos 2015.
- 269 Tüm bu geriye sarmalardan iki sonuç çıkıyordu: Blount, Z. D., C. Z. Borland ve R. E. Lenski, “Historical contingency and the evolution of a key innovation in an experimental population of *Escherichia coli*”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 2008, s. 7899-7906.
- 270 moleküller alanındaki sihirbazlığını kullanarak: Blount, Z. D. vd., “Genomic analysis of a key innovation in an experimental *Escherichia coli* population”, *Nature*, 489, 2012, s. 513-518.
- 272 ikinci bir mutasyon: Quandt, E. M. vd., “Fine-tuning citrate synthase flux potentiates and refines metabolic innovation in the Lenski evolution experiment”, *eLife*, 4, 2015, e09696.
- 273 “Rastlantı ile zorunluluk arasındaki gerilim.”: Dennehy, J., “This week’s citation classic: the fluctuation test”, *The Evolutionary Biologist*, 9 Temmuz 2008, <http://evolutionarybiologist.blogspot.com/2008/07/this-weeks-citation-on-classic-fluctuation.html>.
- 273 yakın zamanda Paul Rainey’nin laboratuvarında yapılan: Lind, P. A., A. D. Farr ve P. B. Rainey, “Experimental evolution reveals hidden diversity in evolutionary pathways”, *eLife*, 4, 2015, e07074.
- 274 Bir başka E. coli çalışmasında: Friesen, M. L. vd., “Experimental evidence for sympatric ecological diversification due to frequency-dependent competition in *Escherichia coli*”, *Evolution*, 58, 2004, s. 245-260.
- 275 yayımlanan bir söyleşisinde Lenski: Wilson, D. S., “Evolutionary biology’s master craftsman: an interview with Richard Lenski”, *This View of Life*, 30 Mayıs 2016, <https://evolution-institute.org/article/evolutionary-biologys-master-craftsman-an-interview-with-richard-lenski/>.
11. BÖLÜM: Zerreler, Noktacıklar ve Sarhoş Meyve Sinekleri
- 277 “Ben bu deneye ‘yaşamın kasedini yeniden oynatmak’ diyorum”: Gould, *Wonderful Life*, s. 48.
- 278 “Bu on dakikalık harika sahne”: Agy., s. 287.
- 278 “... her yeniden oynatma”: Agy., s. 289.

- 281 “Tarihsel açıklamalar anlatı formunu alır”: Agy., s. 283.
- 283 “Önceki bir olayı”: Agy., s. 51.
- 283 “Zamanda 500 milyon yıl geriye”: Maynard, Smith J., “Taking a chance on evolution”, *New York Review of Books*, 14 Mayıs 1992.
- 285 Daha önemlisi, farklı yerlerdeki popülasyonların: Fred Cohan 19 Şubat 2015-6 Kasım 2016 tarihleri arasındaki bir dizi e-mailde bu projenin arka planını nezaket göstererek ayrıntılandırdı.
- 288 Sinekler ortalama olarak: Cohan, F. M. ve A. A. Hoffman, “Genetic divergence under uniform selection. II. Different responses to selection for knockdown resistance to ethanol among *Drosophila melanogaster* populations and their replicate lines”, *Genetics*, 114, 1986, s. 145-163.
- 289 Geçenlerde benzer bir deney: Spor, A. vd., “Phenotypic and genotypic convergences are influenced by historical contingency and environment in yeast”, *Evolution*, 68, 2014, s. 772-790.
- 290 sonucu aktaran Lenski: Lenski, R. E. vd., “Long-term experimental evolution in *Escherichia coli*. I. Adaptation and divergence during 2,000 generations”, *American Naturalist*, 138, 1991, s. 1315-1341.
- 292 Travisano bu fikri test etmek amacıyla: Travisano, M. vd., “Experimental tests of the roles of adaptation, chance, and history in evolution”, *Science*, 267, 1995, s. 87-90.
- 294 bayağı bir çuvallamıştı: J. Beatty, J., “Replaying life’s tape”, *Journal of Philosophy*, 103, 2006, s. 336-362.
- 295 pek az çalışma olması ilginçtir: İlginçtir, şu ana dek hiç kimse bu tür çalışmaların kapsamlı bir değerlendirmesini yapmadı. En yakın tarihli olanlar: V. Orgogozo, V., “Replaying the tape of life in the twenty-first century”, *Interface Focus*, 5, 2015, 20150057 ve Zack Blount’un kaleme aldığı, mikroplarla yapılan deneylere odaklanan ve USED’in güzel bir değerlendirmesini sunan bir kitap bölümü: Blount, Z. B., “History’s windings in a flask: microbial experiments into evolutionary contingency”, Ramsey, G., ve C. H. Pence (Yay. haz.), *Chance in Evolution*, Chicago, University of Chicago Press, 2016, s. 244-263.

12. BÖLÜM: İnsan Ortamı

- 298 Hatta böyle bir deney de yapılmıştır: Wong, A., N. Rodrigue ve R. Kassen, “Genomics of adaptation during experimental evolution of the opportunistic pathogen *Pseudomonas aeruginosa*”, *PLoS Genetics*, 8, 2012, e1002928.

- 300 Danimarkalı araştırmacılar: Marvig, R. L. vd., “Convergent

- evolution and adaptation of *Pseudomonas aeruginosa* within patients with cystic fibrosis", *Nature Genetics*, 47, 2014, s. 57-64.
- 302 **biyokimyasal işlevi:** Burada ve daha önce aktarılan ayrıntıların bazılarını sağlayan Rasmus Marvig, kişisel iletişim, 17 Temmuz 2015 ve 22 Mayıs 2016.
- 303 **Yapılan başka bir çalışmada da:** Lieberman, T. D. vd., "Parallel bacterial evolution within multiple patients identifies candidate pathogenicity genes", *Nature Genetics*, 43, 2011, s. 1275-1280.
- 304 **Uluslararası bir araştırma ekibi:** Farhat, M. R. vd., "Genomic analysis identifies targets of convergent positive selection in drug-resistant *Mycobacterium tuberculosis*", *Nature Genetics*, 45, 2013, s. 1183-1189.
- 305 **"Az miktarda bir kestirim gücü bile":** Palmer, A. C. ve R. Kishony, "Understanding, predicting and manipulating the genotypic evolution of antibiotic resistance", *Nature Reviews Genetics*, 14, 2013, s. 243-248.
- 306 **Bu deneyde eski dostumuz:** Toprak, E. vd., "Evolutionary paths to antibiotic resistance under dynamically sustained drug selection", *Nature Genetics*, 44, 2012, s. 101-106.
- 308 **fenotipik farklılıklara ve yakınsama yokluğuna açıklık:** Stuart, Y. vd., "Contrasting effects of environment and genetics generate a predictable continuum of parallel evolution", *Nature Ecology & Evolution*.
- 308 **Kimi bilim insanları kontrollü laboratuvar çalışmalarında:** Lobkovsky, A. E. ve E. V. Koonin, "Replaying the tape of life: quantification of the predictability of evolution", *Frontiers in Genetics*, 3(246), 2012, s. 1-8.
- 308 **"öngörülebilirliğin zayıf bir formudur":** de Visser, J. A. G. M. ve J. Krug, "Empirical fitness landscapes and the predictability of evolution", *Nature Reviews Genetics*, 15, 2014, s. 480-490.
- 310 **mutasyonların çeşitliliği:** Jacquier, H. vd., "Capturing the mutational landscape of the beta-lactamase TEM-1", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 2013, s. 13067-13072.
- 312 **"yaşam kasedi":** Weinreich, D. M. vd., "Darwinian evolution can follow only very few mutational paths to fitter proteins", *Science*, 312, 2006, s. 111-114.
- 312 **Mutasyonların serbest pazarında:** Salverda, M. L. M. vd., "Initial mutations direct alternative pathways of protein evolution", *PLoS Genetics*, 7, 2011, e1001321.
- 315 **bazı sivrisinek türleri:** Liu, N., "Insecticide resistance in mosquitoes: impact, mechanisms, and

- research directions”, *Annual Review of Entomology*, 60, 2015, s. 537-559.
- 315 **otuzdan fazla farklı böcek türü:** French-Constant, R. H., “The molecular genetics of insecticide resistance”, *Genetics*, 194, 2013, s. 807-815; Rinkevich, F. D., Y. Du ve K. Dong, “Diversity and convergence of sodium channel mutations involved in resistance to pyrethroids”, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 106, 2014, s. 93-100.
- 315 **ekilen arazi miktarı:** Tabashnik, B. E., T. Brévault ve Y. Carrière, “Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres”, *Nature Biotechnology*, 31, 2013, s. 510-521. Ayrıca Bruce Tabashnik bazı güncellenmiş rakamları paylaştı (kişisel iletişim, 13 Ekim 2016).
- 316 **bir Bt toksini çeşidine karşı direnç:** Wu, Y., “Detection and mechanisms of resistance evolved in insects to Cry toxins from *Bacillus thuringiensis*”, *Advances in Insect Physiology*, 47, 2014, s. 297-342.
- 316 **yedi türlü türü:** Tabashnik, B., “ABCs of insect resistance to Bt”, *PLoS Genetics*, 11, 2015, e1005646.
- 317 **Gayet net görülen vakalardan biri:** Reid, N. M. vd., “The genomic landscape of rapid repeated evolutionary adaptation to toxic pollution in wild fish”, *Science*, 354, 2016, s. 1305-1308.
- 317 **İnsanlar olarak hayvanları:** Bu konuda okumaya başlamak için iki kaynak: Allendorf, F. W. ve J. J. Hard, “Human-induced evolution caused by unnatural selection through harvest of wild animals”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 2009, s. 9987-9994; Heino, M., B. Düz Pauli ve U. Dieckmann, “Fisheries-induced evolution”, *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 46, 2015, s. 461-480.
- 318 **en büyük Atlantik morinası:** Allendorf ve Hard, “Human-induced evolution”, s. 9987-9994; Doug Swain (kişisel iletişim, 11 Ekim ve 25 Ekim 2016) ve Loretta O’Brien (kişisel iletişim, 24 Ekim 2016).

SONUÇ: Kader, Şans ve İnsanların Kaçınılmazlığı

- 321 **yemyeşil, biyolojik açıdan zengin:** bkz. Wilhelm, M. ve D. Mahison, *James Cameron’s Avatar: An Activist Survival Guide*, New York, HarperCollins, 2009; “Pandorapedia: the official field guide”, https://www.pandorapedia.com/pandora_url/dictionary.html; *Pandora Discovered*, keza Sigourney Weaver’ın seslendirdiği dört dakikalık bir kısa film çok öğretici: https://www.youtube.com/watch?v=GBGDmin_38E#t=93.

- 322 “Dünya’yla karşılaştırılabilir özellikte, ona benzer bir gezegende”: Conway, Morris S., “Predicting what extra-terrestrials will be like: and preparing for the worst”, *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 369, 2011, s. 555-571.
- 325 “Kimi insanlar (örneğin bilimkurgu yazarları ve sanatçılar)”: Sagan, C., *Cosmos*, New York, Random House, 1980, s. 29. [*Kozmos: Evrenin ve Yaşamın Sırları*, çev. Reşit Aşçıoğlu, Altın Kitaplar, İstanbul.)
- 327 Daha serbest (...) tahminler-deyse: Carroll, S. B., “Chance and necessity: the evolution of morphological complexity and diversity”, *Nature*, 409, 2001, s. 1102-1109; Niklas, K. J., “The evolutionary-developmental origins of multicellularity”, *American Journal of Botany*, 101, 2014, s. 6-25.
- 328 doğru yere yerleştiren filler: de Waal, F., *Are We Smart Enough to Know How Smart Animals Are?*, New York, W. W. Norton, 2016.
- 329 bir şempanze popülasyonu: Roach, M., “Almost human”, *National Geographic*, 213(4), 2008, s. 124-144.
- 331 “haddinden fazla insanı”: Thomas Holtz şurada alıntılanmış: Hecht, J., “Smartasaurus”, *Cosmos*, 9 Temmuz 2007, <https://cosmosmagazine.com/palaeontology/smartasaurus>.
- 331 “şüphe yaratacak kadar insani”: Naish, D., “Dinosauroids revisited, revisited”, *Tetrapod Zoology*, 27 Ekim 2012, <https://blogs.scientificamerican.com/tetrapod-zoology/dinosauroids-revisited-revisited/>.
- 331 Conway Morris sonradan: Alıntı Hatt-Cook, G., “What if the asteroid had missed?”, *BBC News*, 13 Mart 2007, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6444811.stm>.
- 331 “Meslektaşlarımızı alternatif çözümler saptamaya”: Russell ve Séguin, “Reconstructions of the small Cretaceous theropod *Stenonychosaurus inequalis*”.
- 332 “bir humanoid türüne dönüştü”: “Thinkaboutit’s Alien Type Summary-Dinosauroids”, *Thinkaboutit*. Erişim 1 Haziran 2016. <http://www.thinkaboutit-aliens.com/think-aboutits-alien-type-summary-dinosauroids/>. Alıntıda “amfibi”yi yanlış olduğu için “sürüngen”e çevirdim.
- 332 Tüm bu saçmalığın ortasında: Naish, “Dinosauroids revisited, revisited”.
- 334 Kuş tüyleriyle süslenmiş: Roy, S., *Deviant Art*. Erişim 12 Kasım 2016. <http://povorot.deviantart.com/gallery/9348116/The-Dinosauroids>.
- 336 Harry Burrell: Burrell, H., *The Platypus*, Sydney, Angus & Robertson, 1927.

336 dokunsal ve elektriksel uyarıcılarla: Pettigrew, J. D., "Electroreception in monotremes", *Journal of Experimental Biology*, 202, 1999, s. 1447-1454; Grant, T., *Platypus*, 4. baskı, Collingwood, Australia, CSIRO Publishing, 2008.

338 insanlar gibi, net bir şekilde olumsuzluk kategorisine: Jerry Coyne evrimsel tezleri (hem bu kavramı hem de "mahsusiyetler" kavramını kullanıyor) büyük bir ferasetle tartışıyor. Ayrıca buradaki ornitorenklere benzer bir vurguyu filler için yapıyor. *Bkz.* Coyne, J. A., "Simon Conway Morris's new book on evolutionary convergence. Does it give evidence for God?", *Why Evolution Is True*, 8 Şubat 2015, <https://whyevolutionistrue.wordpress.com/2015/02/08/simon-conway-morriss-new-book-on-evolutionary-convergence-does-it-give-eviden->

[ce-for-god/](https://whyevolutionistrue.wordpress.com/2015/02/08/simon-conway-morriss-new-book-on-evolutionary-convergence-does-it-give-eviden-); Coyne, J. A., *Faith versus Fact: Why Science and Religion Are Incompatible*, New York, Penguin, 2016.

340 Edward O. Wilson: Wilson, E. O., *The Meaning of Human Existence*, New York, Liveright, 2015, s. 113-117.

Evrimsel biyolojinin en temel sorularından biri evrimin kaçınılmaz mı, tesadüfi mi olduğudur. Evrimin getirdiği bazı çözümler, farklı zamanlarda ve farklı türlerde tekrar tekrar karşımıza çıkar. Bazense en ufak bir mutasyon, evrim sürecini tamamen farklı bir mecraya sürükler.

Jonathan B. Losos, *Kader, Şans ve Evrimin Geleceği*'nde, evrim biyolojisinin yanıt aradığı büyüleyici soruları ele alıyor, en son araştırmaların verileri ışığında yorumlar yapıyor. Ekosistemlerin korunması, zararlı virüs ve bakterilerle mücadele, uzayda yaşam gibi konularda son derece ufuk açıcı görüşler getiren *Kader, Şans ve Evrimin Geleceği*, evrimi kavrayış biçimimizi değiştirecek.

Pedram Türkoğlu'nun

Ön sözünü okuyun



₺ 38.50

Tellekt

www.tellekt.com

ISBN 978-605-80433-0-5



9 786058 043305