
"Büyüleyici ve heyecan verici."
— BILL BRYSON
Sean B. Carroll
ŞANSLI OLAYLAR DİZİSİ
Rastlantı ve Gezegenin, Hayatın ve Sizlerin Varoluşu
Çeviri: Sinan Akbaytürk

A Series of Fortunate Events
Şanslı Olaylar Dizisi
Rastlantı ve Gezegenin, Hayatın ve Sizlerin Varoluşu
Sean B. Carroll

© Orenda Kitap
© 2020, Sean B. Carroll
© 2022, Bu kitabın Türkçe yayın hakları Kalem Ajans aracılığıyla Orenda Kitap'a aittir.

Yayın Yönetmeni: *Mustafa Karagüllüoğlu*
Çeviri: *Sinan Akbaytürk*
Editör: *Beyza Nur Yolcu*
İllüstrasyon: *Natalya Balnova*
Kapak Tasarım: *Chris Ferrante*
Kapak Uygulama: *Mehmet Çekil*
Sayfa Tasarım: *Deniz Tugay*

Sertifika No: *49829*
ISBN: *978-605-71641-4-8*
Yayın No: *39*
Bilim/Popüler Bilim: *09*

Birinci Baskı: *Ekim 2022*

Baskı-Cilt
Çalış Ofset
Davutpaşa Cad. Yılanlı Ayazma Sk. No:8
Davutpaşa- Topkapı/İstanbul
Tel: 0212 482 11 04 Sertifika No: 45159

ORENDA KİTAP
Çatalçeşme Sok. No: 52/1 34410 Cağaloğlu-İstanbul
Tel: (0212) 528 47 53 Faks: (0212) 512 33 78
www.orendakitap.com / bilgi@orendakitap.com
orendakitap

ŞANSLI OLAYLAR DİZİSİ

Rastlantı ve Gezegenin, Hayatın ve Sizlerin Varoluşu



SEAN B. CARROLL

İngilizceden Çeviren

Sinan Akbaytürk

Orenda

Sinan AKBAYTÜRK

1960 doğumlu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği mezunu. 30 yıl önce hobi olarak başladığı çeviriyi, mesleki çalışmaya ara verdiği 4 yıl boyunca serbest çevirmen olarak devam ettirdi. Hâlen serbest çevirmenlik ve danışmanlık yapıyor. Uygarlık Tarihi, Arkeoloji, Etimoloji, Felsefe ve Sinemaya ilgi duyuyor. Okumayı seviyor. Başlangıç düzeyinde Arapça ve İtalyanca biliyor.

Yıllardır beni böyle bir şey
yazmaya zorlayan kardeşim Pete'ye:
Umarım kötü iş çıkmamıştır.

Rastlantıyla yaşıyoruz ve rastlantılarla yönetiliyoruz.

— SENECA (MÖ 4 – MS 65)

İster yaşayan, ister ölü tüm insanlar, tamamen rastlantıdır.

— KURT VONNEGUT (1922–2007)

İÇİNDEKİLER

Giriş: Şansla Başımız Dertte **11**

Kısım I: Olur Böyle Şeyler

Bölüm 1: Tüm Kazaların Anası 25
Bölüm 2: Huysuz Canavar 41

Kısım II: Hatalar Dünyası

Bölüm 3: Aman Tanrım, Hangi Hayvan Bunu Emebilir ki? 71
Bölüm 4: Rastgele 91
Bölüm 5: Güzel Hatalar 107

Kısım III: 23 ve Siz

Bölüm 6: Tüm Annelerin Kazaları 137
Bölüm 7: Talihsiz Olaylar Dizisi 157
Son Söz: Rastlantı Üzerine Bir Söyleşi 171

Teşekkür **189**

Notlar **191**

Kaynakça **209**

Dizin **220**



GİRİŞ

ŞANSLA BAŞIMIZ DERTTE

"Birisi her şeyin bir nedeni olduğunu söylediğinde,
onu merdivenlerden aşağı iter ve
'Bunu neden yaptığımı biliyor musun?' diye sorarım."

— STEPHEN COLBERT

1996 yılında *Greater Milwaukee Open*'da ilk profesyonel turnuvasına çıkan Tiger Woods, 188 yarda par-3, 14. deliğin başlama yerinde çantasından 6'lık demir sopasını çıkardı. Woods, turnuva liderinin on beş vuruş gerisinde olmasına rağmen, 20 yaşındaki bu fenomen oyuncuyu izlemek için büyük bir seyirci kalabalığı toplanmıştı. Tiger, topu rüzgâra karşı fırlattı, pinden yaklaşık iki metre uzağa düştü, bir kez sola doğru sekti ve doğrudan deliğin içine yuvarlandı. Kalabalık dakikalarca tezahürat ve ıslıkla coşkusunu gösterdi.

Ancak bu, oyun geçmişindeki en uğurlu başlangıç değildi.

1994 yılında *Pyongyang Golf Kulübü*'nde hayatının ilk maçına çıkmış olan Yoldaş General Kim Jong-Il, bir yandan hiçbir delikte birdie'den (par'dan kısa atış) daha kötü atış yapmayan o zamanın gelecekteki Kuzey Kore Yüce Lideri, par altı skorla 38'e giderken,

bir yandan Yoldaş General Kim Jong-Il'nin 1994'te *Pyongyang Golf Kulübü*'nde tek vuruşta beş isabet kaydettiği bildiriliyordu.

Burada iki olası durum var: 1) Tiger o kadar güçlü bir rakip değildi; veya 2) birisi yalan söylüyordu. Durumun ne olduğunu anlamak bizler için pek zor olmasa gerek, olsa olsa Kuzey Koreliler için olabilirdi.

Biraz daha ayrıntıya girersek, Tiger'ın 24 yıllık (seksenden fazla turnuva kazandığı) kariyerinde üç as rekoru yaptığını görürüz. Ayrıca, ayrıntılı golf istatistiklerine baktığımızda da profesyonel bir golfçünün bir par-3 çukur için tek atışta isabet kaydetme oranının yaklaşık 2.500'de 1 olduğunu görebiliriz. Tiger'ın, profesyonel kariyerinde yaklaşık 5.000 par-3 çukur skoru var, bu nedenle en az iki as beklememiz normal; kariyerindeki toplam üç as puanı sürpriz değil. Ancak amatör bir golfçünün belli bir delikte isabet olasılığı 12.500'de 1'dir; aynı turda art arda iki isabet şansı ise 26 milyonda 1'dir; tek atışta isabette ise bu oran, 24 katrilyonda 1'e iner (bu, 24'ün ardından 15 tane sıfır demektir).

Jong-Il'nin beş asını daha da şaşırtıcı yapan şey, çoğu 18 çukurlu golf sahasında olduğu gibi, Pyongyang'ın da sadece dört kısa, par-3 çukur puanına sahip olmasıdır. Diğer tüm çukurların uzunluğu en az 340 yardadır. Yani, turun beşinci "1"ini elde etmek için küçücük diktatörün, Caddyshack'ten Carl Spackler'ın (Bill Murray tarafından oynanan) ölümsüz sözleriyle "büyük bir skorcu" olması gerekirdi. Sayın Başkan'ın skor kartının doğruluğundan şüphe etmek için karmaşık bir olasılık hesabı, istatistik veya golf oyunu bilgisi gerekmez. Genç Jong-Il'nin Kim Il Sung Üniversitesi'ndeki üç yılı boyunca 1.500 kitap ve altı opera yazdığı iddiasının imkânsızlığını görmemiz de zor değil. Ve söylendiği gibi, gerçekten de bütün bunları "becermiş" olma ihtimali nedir?

... Tek atışta beş çukurdan sonra bile!?

YANILGIYA DÜŞMEK

Kim Jong-Il (veya halefleri) hakkındaki masalları didik didik edip çürütmek kolaydır, ancak bizler başka diyarlarda şansımızı denerken, zor kazandığımız paramızı kaybetme riski de varsa, mevcut olasılıkları ve oyunu biraz anlamaya çalışmakta fayda vardır.

Akın akın kumarhanelere gidiyoruz. Her yıl yaklaşık 30 milyon ziyaretçi, rulet, keno, barbut ve bakara gibi çeşitli şans oyunlarında ve de slot makinelerinde şanslarını denemek için Las Vegas'a geliyor. Buradaki oyunlarda kasanın payı, yaklaşık %1 (barbut için) ila %30 (keno için) arasında değişmektedir. Kumarhaneler; piramitleri, gondol gezilerini, köpekbalığı havuzlarını, havai fişekleri, açık büfeleri ancak bu şekilde karşılayabiliyor ve Britney Spears'a bir gecelik 500.000 dolar ödeyebiliyor.

Kazanma ihtimalimizin az olduğunu iyi bilsek de bin bir emekle kazandığımız paramızı riske atıp bahse gireriz. Çünkü zarlar, ruletler veya elektronik oyun makineleriyle oynanan ve sadece şansa dayalı oyunlarda bile çoğu oyuncu, şansını artırabilecek bir şeyler yapılabileceğine inanır veya en azından öyle davranır. Örneğin, paramızı "uğurlu" sayılarımıza yatırır ya da "en çok" çıkanı takip eder veya artık "çıkma sırası" geldi diye düşündüğümüz renge veya numaraya oynarız.

Peki, bu nasıl oluyor? Diyelim ki rulet oynuyoruz ve arka arkaya beş kez siyah geldi. Siyah "en çok" çıktığı için siyah üzerine oynamaya mı devam etmeliyiz? Yoksa artık kırmızının "çıkma sırası" geldi diye düşünerek kırmızıya mı yatırmalıyız?

Serideki sıra ne zaman değişir, siyahın on kez arka arkaya çıkmasını mı beklememiz gerekir? Yoksa üst üste on beş kez mi?

Bütün bunlar kurmaca sorular değildir. 18 Ağustos 1913'te *Casino de Monte-Carlo*'da rulet masasında dikkat çekecek şekilde arka arkaya siyah çıkar. Avrupa ruletlerinde, on sekiz siyah, on sekiz kırmızı sayı ve yeşil renkte bir "0" vardır, bu nedenle çıkan bir sayının kırmızı

veya siyah olma olasılığı yaklaşık yüzde ellidir. Siyah on beş kez arka arkaya çıktığında, oyuncular ardışıklığın bitmek üzere olduğuna kanaat getirir ve giderek kırmızıya daha fazla oynamaya başlarlar. Fakat tekrar siyah çıkmaya devam eder.

Oyuncu, art arda gelen yirmi siyahtan oluşan bir seride tekrar siyah çıkma olasılığının bir milyonda birden az olduğunu düşünerek bahis miktarını iki ve üç katına çıkarır. Ancak seri yirmi altıda sona erinceye kadar rulette "siyah" çıkmaya devam eder. Ve kumarhane böylece küçük bir servet kazanmış olur.

Monte Carlo'da yaşanan bu olay, "Monte Carlo Yanılgısı" (veya "Kumarbaz Yanılgısı") olarak adlandırılan şeyin mükemmel bir örneğidir; bir olay belirli bir süre içinde beklenenden daha çok veya daha az gerçekleştiğinde, gelecekte bunun tam tersi sonucun ortaya çıkacağına olan inanca bu ad verilir. Zar atışı veya rulet oyunu gibi *rastgele* olaylar için bu inancın geçerliliği yoktur çünkü her bir sonuç önceki atışlardan veya dönüşlerden bağımsızdır, yani aralarında herhangi bir bağlantı yoktur.

Bu basit gerçeği kavramak, çok güçlü beyinlerimize zor gelir. Monte Carlo olayının daha az karmaşık, eski dönemlerden tek bir vaka olduğunu düşünüyorsanız, 2004-2005'te İtalya'da ortaya çıkan fenomene de bir bakalım. İtalyan ulusal piyangosu Super Enalotto'da çekiliş, on şehrin bölgesel piyangolarının her birinden beşer olmak üzere toplam elli sayı (1 – 90 arasında) içinden yapılıyordu. Venedik'te 53 sayısının en son çıktığı tarihten bu yana bir yıldan fazla bir süre geçtiği için bu ritardatario'ya (çıkmayan numaraya) oynamak ulusal bir saplantı haline gelmişti. Bazı vatandaşlar o kadar büyük tutarlar yatırmaya başladılar ki, aile birikimlerini tükettiler veya çok büyük miktarda borçlandılar. Ağır kayıpları nedeniyle bunalıma giren bir kadın, Toskana kıyılarında suya atlayıp intihar etti. Floransa yakınlarında bir adam ailesini ve kendisini vurarak öldürdü.

Sonunda, neredeyse iki yıldan, 152 çekilişin ve sadece 53'e yatırılan 3,5 milyar Avrodan fazla paranın (aile başına ortalama 200

Avrodan fazla) ardından, bu sayının nihayet Venedik'te çıkmış olması, bir grubun, ülkenin "kolektif psikozu" dediği bu durumun sona ermesini sağladı.

Oyunlarda şansla ilgili sorunlarımız gerçek hayattaki kararlarımıza da yansır. Tüm çocukları aynı cinsiyetten olan kaç ebeveyn, bir sonraki çocuğunun diğer cinsiyetten olacağı umudu veya beklentisiyle yeni bir çocuk yapmayı seçmektedir? Yazı tura atmak gibi, bebeğin cinsiyetinin ne olacağı da sonucu rastgele olaylara çok yakındır. "Yakın" diyorum çünkü erkekler ve kızlar arasındaki doğal doğum oranında, yaklaşık 51/49 şeklinde hafif bir dengesizlik vardır.

Monte Carlo Yanılgısı, psikologların bilişsel ön yargı dediği, dünyayı görme biçimimizi çarpıtan düşünme hatalarına bir örnektir. Kumar oynarken, bu ön yargılar rastgele sonuçlar üzerindeki kontrol duygumuzu bozar ve kazanma şansımızı abartmamıza neden olur. Çok sayıda araştırma, bilişsel ön yargılarımızın ve bunlara verdiğimiz yanıtların normal beyinlerdeki iletim yapısının bir parçası olduğunu ortaya çıkardı. Hem laboratuvarlarda, hem de gerçek saha örneklerinde (kumarhaneler) yapılan psikolojik çalışmalar, ardışık sayılarla ilgili Monte Carlo/Kumarbaz Yanılgısı'nı belgelemiştir. Ayrıca, büyük ikramiyeyi (kazanan serilere yakın rakamları olup ikramiye kazanamayanlar) az farkla kaçırmalarının, oynama motivasyonumuzu artırdığını da bulmuşlardır.

Yanlış akıl yürütmemizin bir açıklaması, beynimizin kalıpları algılamak ve olayları birbirine bağlamak için kesintisiz biçimde çalışmaya uyarlanmış olmasıdır. Hem olay dizilerini açıklamak hem de geleceği tahmin etmek için bu gördüğümüz bağlantılardan anlam çıkarmaya çalışırız. O yüzden, aslında rastgele gerçekleşen bağımsız olaylardan oluşan seriden bahsetsek de bazı dizilişlerin anlamlı bir kalıp olduğuna inanmak konusunda kolayca kendimizi kandırabiliriz.

Yani, insanların rastgele şansla bu kadar karmaşık bir ilişkisi olması biyolojimizden kaynaklanan bir meseledir. Bir yandan, arka arkaya kaybetsek de şans oyunlarından kesinlikle keyif alırız. Fakat kaybettiğimizde de bunu sadece bir "şansızlık" olarak kabul ederiz.

Ama öte yandan, kazandığımızda —ve her gün birçok insan kazanıyor— bu genellikle tamamen farklı yorumlanır. Şanslı olmak, genellikle şansın matematiğine veya kumar "stratejilerine" duyulan yanlış güvene değil, daha çok diğer güçlere bağlanır. Bazıları için güzel ahlâk sahibi olmaktır ya da yapılan iyiliklerin ödülüdür, diğerleri için duaların kabul edilmiş olmasıdır.

Kaliforniyalı kamyon şoförü Timothy McDaniel'i ele alalım. McDaniel, 22 Mart 2014 Cumartesi günü karısını kalp krizinden kaybetmişti. Ertesi gün, üç adet "Lucky for Life" piyango bileti aldı. Kazıdığında, 650.000 dolar kazandığını gördü. Ve McDaniel'in ağzından, "Sanırım karım, çocuklara bakabilmem için bir şekilde bu parayı bana gönderdi" sözleri döküldü.

McDaniel'in yürek burkan hikâyesi, bu büyük ölüm kalım oyununda şansla olan ilişkimizin nasıl da çelişkilerle dolu olduğunu gösteriyor. Pek çok insan şansı tamamen yok saymayı tercih eder ve McDaniel'in gazetecilere verdiği demeçte dediği gibi "her şeyin bir nedeni olduğuna" inanır.

Ama herkes değil tabii.

ŞANS PRENSİ

Jacques Monod'un gençliği, Fransa'nın kumarhaneleri ve daha sonra da film festivalleriyle ünlü şehri Cannes'da, Monte Carlo'nun hemen yakınlarında geçti. Ünlü bir Fransız gazeteci, bir film yıldızı fiziğine sahip olduğu için ona Hollywood ikonu Henry Fonda'ya benzeyen "prens" adını takmıştı. Hatırı sayılır bir müzik yeteneği ve olağanüstü zekâsıyla yirmili yaşlarındaki Monod, kendi kariyeriyle ilgili karar vermeye çalışıyordu. Fransız Direnişi'nde kendini gösteren Monod, bir aktör veya müzisyen olarak değil, parlak bir biyolog olarak ün kazandı. Genlerin nasıl çalıştığına ilişkin çığır açıcı keşifleri nedeniyle 1965 Nobel Fizyoloji veya Tıp Ödülü'nü meslektaşlarıyla paylaştı.

Moleküler biyoloji alanında bir öncü olan Monod, 1950'lerde ve 1960'ların başlarında, canlıların özelliklerini belirleyen moleküller

hakkında, Monod ve arkadaşlarının "yaşamın sırları" olarak adlandırdığı keşifler sağanağından haberdardı. Önde gelen araştırmacılardan oluşan nispeten küçük bir uluslararası toplulukla yakın ilişkiler kurdu. Örneğin, James Watson ve Francis Crick 1953'te DNA'nın (deoksiribonükleik asit) şifresini çözdüklerinde Monod, Watson'ın bu buluşu paylaştığı ilk kişilerden biri olmuştu.

Ancak, kültüründeki felsefi geleneklerin derinliklerine dalmış bir Fransız olarak Monod, bilimle bilimden çok daha ötesi için ilgileniyordu. Savaştan sonra, Fransa'nın önde gelen filozof-yazarlarından Albert Camus ile arkadaş oldu ve iki arkadaş, Left Bank kafelerinde, insanın varoluşuna dair konular üzerinde birlikte kafa yordular. Monod'a göre halk, bilimin temel amacının teknoloji yaratmaktan ibaret olduğunu düşünüyordu, oysa bu hatalıydı ve teknoloji sadece bir yan üründü. "Bilimin en önemli sonucu, insanın evrenle ilişkisini ya da kendisinin evrendeki yeriyle ilgili bakış açısını değiştirmiş olmasıdır" diyordu. İşte bu değerlendirme, arkadaşı Camus'nün de çok ilgisini çekmişti.

Monod, yeni moleküler biyolojinin, özellikle kalıtım alanında olmak üzere, daha geniş çerçevede genellikle gözden kaçmış derin felsefi çıkarımlara sahip olduğuna inanıyordu. Nobel Ödülü'nden ve Camus'nün zamansız ölümünden birkaç yıl sonra, modern biyolojinin önemini konuya uzak diğer insanlara anlatabilmek için bir kitap yazmaya karar verdi.

"Yaşamın sırrı... ortaya çıkmıştı" diye yazmış. "Bu, çok önemli bir olay, çağdaş düşüncede kesinlikle kendini güçlü biçimde duyurmalıdır." diye de eklemişti.

Monod, kitabın birkaç bölümünü, son dönemde yapılan DNA çalışmaları ve genetik kodun çözülmesiyle ortaya çıkan bulgulara ayırdı. Bu kitaptaki bilgilerin, çoğu okuyucu tarafından zor anlaşılabilecek olduğunu düşünerek proteinler ve nükleik asitlerin kimyasal yapılarına ait ayrıntıların yer aldığı bir ek bölüm ve genetik kodun nasıl çalıştığını açıklayan bir giriş bölümü de ekledi. Gerçeğe uygun

şekilde, genetik mutasyonları, DNA kodundaki uzun baz dizilerinin (ACGTTCGATAA vb.) sıralanışındaki rastlantısal değişiklikler –yer değiştirme, eklenme, silinme veya yeniden düzenleme–olarak açıkladı.

Ardından, neredeyse hiçbir uyarıda bulunmadan, DNA mutasyonlarının nasıl ortaya çıktığının daha geniş çıkarımlarına döndü. Konuya ilişkin 111 sayfalık, alıntı yapmaya değer arka plan bilgisinin ardından, beş asırlık bilimin en güçlü fikirlerinden birini ortaya koydu (bütün *italikler* orijinal metne aittir):

"Bu olaylara rastlantısal diyoruz, rastgele olaylar olduklarını söylüyoruz. Genetik koddaki tek olası değişiklik kaynağını, organizmanın kalıtsal yapısına ait *tek* veri havuzunu oluşturdukları için biyosferdeki her yeniliğin ve tüm yaratılışın kaynağının *sadece* rastlantıya bağlı olduğu sonucu çıkar.

"Evrimin harikulade yapısının en temelindeki saf rastlantı, tamamen özgür hareket etse de maalesef kördür: Modern biyolojinin merkezinde yer alan bu kavram, artık diğer olası veya akla yakın hipotezlerden biri değildir. Bugünün makul olan tek hipotezi, gözlemlenen ve test edilen gerçeklerle örtüşen hipotezdir. Ve hiçbir şey, bu noktadaki yaklaşımımızın revize edilebileceği olasılığını -ya da umudunu– haklı çıkarmaz.

"Bilimlerin hiçbirinde, insanmerkezcilik geleneğini bundan daha yıkıp geçen, yerle bir eden başka bir bilimsel kavram yoktu."

İşin aslı, biyokimya ve genetikte (o zamanlar büyük ölçüde basit bakteriler üzerinde çalışılmıştı) o güne kadar yapılmış ancak gizli kalmış keşifler, insanı yaratılışın merkezine veya zirvesine yerleştiren iki bin yıllık felsefeyi ve dini sorgulamaktaydı. Monod, "İnsan, hesaplanamaz sayıda rastlantısal olayın ürünüdür" diye yazmıştı. "Bizler, üzerine oynadığımız sayının hiç çıkmayabileceği ama sonunda çıktığı devasa bir Monte Carlo oyununun sonucuyduk."

Le Hasard et la nécessité (Rastlantı ve Zorunluluk) Ekim 1970'de Fransa'da yayımlandı. Felsefe ve genetik üzerine birkaç bölümü ve

kimyayla ilgili şekillerle dolu ekleri olan oldukça teknik bir kitaptı. İlk kez bir kitap yazan Monod, ne tür tepkiler gelebileceğini bilmiyordu.

Ve *kıyamet* koptu.

Fransa'da kitapla ilgili onlarca yorum yapıldı ve kısa sürede en çok satanlar listesine girdi - Erich Segal'in *Aşk Hikâyesi*'nin (ne de olsa Fransa'dayız) Fransızca çevirisinden sonra ikinci sıraya yerleşti. İngilizceye çevrildikten sonra, önde gelen İngiliz ve Amerikan gazete ve dergilerinin birçoğu Monod'la yapılan değerlendirmelere ve röportajlara yer verdi.

Pek çok yorumcu, insanın kökeni ve varlık nedenine ilişkin geleneksel fikirlere yönelik tehdit durumunu hemen fark etti. Ünlü bir teolog olan İngiliz biyokimyacı Arthur Peacocke'a göre Monod, "Teizme karşı yüzyılın en güçlü ve en etkili saldırılarından birini" başlatmıştı. *Rastlantıya Karşı: Monod'un Rastlantı ve Zorunluluk Kitabına Cevap*, *Rastlantının ve Zorunluluğun Ötesi ve Tanrı*, *Rastlantı ve Zorunluluk* gibi başlıklarla bir dizi makale ve kitap çıkardı. Monod'a, filozoflar ve teologlarla tartışmak üzere hem Fransa'dan hem de yurtdışından, televizyondan, radyo ve basından davetler yapıldı.

Amerikalı Kalvinist teolog ve papaz R.C. Sproul, rastlantısal olarak ortaya çıkan büyük olayları, *Rastlantı Eseri Değil* adlı kitabının ilk sayfasında şöyle özetlemişti:

"Tanrı'nın yerini alması için rastlantının yönetici konumunda olması şart değildir. Gerçekten de rastlantı, Tanrı'yı tahtından indirmek için çok az yetki gerektirir; işin yürümesi için gereken tek şart, var olmasıdır. Sadece rastlantının varlığı bile Tanrı'yı kozmik tahtından indirmek için yeterlidir. Rastlantının yönetmesi gerekmez; egemen olmasına gerek yoktur. Eğer aciz, alçak gönüllü bir varlık olarak bile varsa, Tanrı'yı sadece modası geçmiş kılmaz, aynı zamanda işsiz de bırakır."

Yaklaşık iki yüz sayfadan sonra Sproul şu sonuca vardı: "Şansın gerçek bir güç olduğu, efsaneden başka bir şey değildir. Gerçekte

hiçbir temeli yoktur ve bilimsel sorgulamada da yeri yoktur. Bilim ve felsefenin bilgide ilerlemeye devam etmesi için şansın bir kez daha ve herkes için mitolojiden arındırılması gerekir."

Sproul ve diğer eleştirmenler, bilim insanlarının şans veya rastlantı olarak algıladıkları şeyin sadece gerçek nedenler hakkında bilgi eksikliğinden kaynakladığını savundu. Belki de bu, Monod'nun anlatmak istediği umudun, bilim insanları daha fazlasını öğrendikçe, rastlantının rolü konusundaki yaklaşımımızın bir şekilde revize edilebileceği umudunun ifadesiydi.

İKİNCİ ŞANS

Sonraki elli yıl, ne Monod'un ne de onu eleştirenlerin umduğu gibi geçmedi. Fransız insanı, moleküler biyolojiden gelen yeni keşiflerin, modern toplum için doğal dünyadaki nedenlerle ilgili geleneksel inançlardan rastgelelik ve rastlantısal varlığımızı açıklayan görüşlere yöneltecek bir dönüm noktası olması gerektiğini düşünüyordu.

Hayır, uzak bir ihtimaldi bu. *Rastlantı ve Zorunluluk* kitabının etrafında kopan fırtına ve heyecan dindi, birkaç yıl sonra da Monod vefat etti. Anketler, örneğin Amerikalıların çoğunun, yeryüzünde olup biten her şeyin Tanrı'nın sayesinde gerçekleştiğine inanmaya devam ettiğini ortaya koyuyor.

Ancak Monod'u eleştirenlere de rahat yüzü yoktu. Biyosferde ve insan yaşamında rastlantıya ayrılan alan, umdukları ölçüde veya yönde olmasa da revize edildi. Bu alan, ne Monod'un ne de başka birinin hayal bile edemeyeceği noktalara uzandı.

Gezegenin tarihi ve işleyişi hakkında daha fazla şey öğrendikçe yaşamın akışının çeşitli kozmolojik ve jeolojik kazalarla nasıl sarsıldığını ve bunlar olmasaydı burada olmayacağımızı keşfettikçe büyük şaşkınlık yaşıyoruz. İnsanlık tarihini incelerken, salgınların, kuraklıkların ve uygarlığı değiştiren dönemlerin kolayca gerçekleşemeyecek rastgele, tek seferlik doğal olaylar tarafından nasıl tetiklendiğini

görüp yaşadık. Ve insanın biyolojisini ve bireysel yaşamlarımızı etkileyen faktörleri araştırırken, yaşam ve ölüm arasındaki çoğu zaman ince çizgide hüküm süren rastgeleliği suçüstü yakaladık.

Bu kitap, Monod'un anlatamadığı hikâyeleri; gezegen düzeyinden molekül düzeyine, dünyadaki büyük altüst oluşlardan, bizler dâhil her canlının hücrelerinde işleyen rastlantı mekanizmasına kadar şaşırtıcı keşifleri anlatıyor. Ve bu keşifler insanmerkezcilik geleneğinin rahatını bozarken, rastlantının hikâyesi —umarım siz de benimle aynı fikirde olursunuz— kulağa hoş gelen, gösterişli felsefeden veya ilahiyatçıların aksini ispatlama çabalarındaki iddialarından çok daha fazlasıdır.

Bütün bunlardan etkilenmiş olduğunuzu tahmin ediyorum —gezegenimize çarpan gök taşlarının gücü ve yarattığı etkilerin, kıtaların çarpışmasının ve buzulların ve okyanusların hızlı yükselip alçalmasının, tüm bunların sizde korkuyla karışık bir şaşkınlık yarattığını düşünüyorum; kısa ömrümüzde fark ettiğimizden çok daha istikrarsız bir gezegende yaşadığımızın (ve onun insafına kaldığımızın) farkına vardığımızın; Gezegeni paylaştığımız tüm güzel ve harika yaratıkların kaynağının şans olduğunu öğrenip şaşırdığımızın; her birimizi yaratan eşsiz görünmez kazalardan ürperdiğimizin; ve olağanüstü bir kaos döneminden kurtulan avcı-toplayıcı toplulukların en yeni torunları olan biz insanların, tüm bunların sırrına ancak son elli yılda varabilmiş olmamızın şaşkınlığı içindeyiz!

Buradaki amacım, çok detaya boğulmadan anlaşılır olmaktır. Dünyanın olduğu gibi olduğunu veya burada uzun bir rastlantı zinciri olsa da, şanslı olaylar nedeniyle burada olduğumuzu iddia etmek neredeyse önemsizdir. Aradığım açıklayıcı güç, özgüllükten geliyor. Yaşamın yönünü nasıl şekillendirdiklerini değerlendirebilmek için bu olaylardan bazılarını daha da açmak gerekir. Kitabın düzenlenişinde basit bir üç parçalı mantık izlenmiştir. Yaşam koşullarını şekillendiren cansız, dış rastgele olaylarla başlıyorum (Birinci Bölüm, "Olur Böyle Şeyler!") ve sonra her canlının içinde bu koşullara

uyum sağlayan içsel rastgele mekanizmayı ele alıyorum (İkinci Bölüm, "Hatalar Dünyası"). Ardından, hikâyeyi kişisel düzeye indiriyor (Üçüncü Bölüm, "23 ve Siz") ve rastlantının doğal yaşamımız ve ölümümüzü nasıl etkilediğini inceliyorum. Rastlantıya dayalı varoluşumuz, insanlığın yeryüzündeki konumu hakkında uzun süredir sahip olunan inançları yıkıp yok ediyor ve hayatımızın anlamı ve amacı konusunda zorlu soruları gündeme getiriyor. Son Söz'de, bazı özel konukların yardımıyla bazı olası cevaplar sunacağım.

Bu kitap, ele aldığı büyük fikirlerle kıyaslandığında nispeten küçük boyutlu bir kitaptır. Bilim, yüzyıllar boyunca bize gerçekten de bir dizi büyük fikirler armağan etmiş, ancak bunlar komik şekillerde algılanmıştır. Darwin anlaşılması son derece basit olan büyük bir fikir ileri sürmüş olsa da ve kanıtlar çok fazla ve her yerde karşımıza çıksa da, birçoğu buna inanmayı reddediyor. Einstein'ın yepyeni bir fikri vardı ve çok az insan bunu veya bunun kanıtlarını anlayabildi, birçoğu da inanıyor gözüktü. Monod'un da fikri son derece ilginç olsa da o günlerde (bilim insanları dışında) çoğu insan ne bu fikri, ne de Monod'nun adını duymuştu.

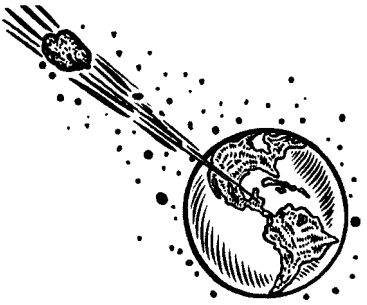
İşte bu nedenle en büyük umudum, bu küçük kitabın Monod'nun ikinci şansı olabilmesini sağlamaktır.

KISIM I

OLUR BÖYLE ŞEYLER

KISIM I

OLUR BÖYLE ŞEYLER



BÖLÜM 1

TÜM KAZALARIN ANASI

"Sürüngenler Çağı sona erdi çünkü yeterince
uzun sürmüştü ve baştan beri hepsi bir hataydı zaten."

— WILL CUPPY, *SOYUMUZUN TÜKENİŞİ* (1941)

2001'de Seth MacFarlane, en çok izlenenler grubuna henüz girmemiş animasyon dizisi *Family Guy*'ın yirmi yedi yaşındaki başyapımcısı ve yaratıcısıydı. Çok genç yaşta eğlence sektörüne giren MacFarlane, Eylül ayında konuşma yapmak üzere mezun olduğu Rhode Island Tasarım Okulu'ndan davet almıştı. Konuşmasını tamamladıktan sonra, bir grup profesörle çıkıp geç saatlere kadar içki içtiler.

Ertesi gün 11 Eylül'dü ve MacFarlane, sabah 8:15'te kalkacak Boston-Los Angeles uçağa yetişmeye çalışıyordu. Ama çok geç kalmıştı—uçuş aslında sabah 7:45'teydi; seyahat acentesi yanlış bilgi geçmişti.

MacFarlane, daha sonraki bir uçuşa rezervasyon yaptırdı ve ardından biraz kestirmek için yolcu salonunda geçti. Yolcuların

uğultusuyla uyandığında televizyonlar, New York'taki Dünya Ticaret Merkezi'nin Kuzey Kulesi'nin alev alev yanmakta olduğu haberini veriyorlardı. Çok geçmeden, Kule'ye çarpan uçağın MacFarlane'in kaçırdığı Boston-Los Angeles seferini yapan, American Airlines'a ait 11 sefer sayılı uçak olduğu anlaşıldı.

Aynı uçuşa Aktör Mark Wahlberg de rezervasyon yaptırmıştı. *The Perfect Storm* ve *Boogie Nights*'taki performansıyla dikkatleri çeken, yükselen yıldız Wahlberg ve arkadaşları yolculuk planını değiştirip Toronto'daki film festivali için bir charter uçak kiraladılar. Ardından da Los Angeles'a uçtular.

MacFarlane ve Wahlberg, on bir yıl sonra ve Ted filmini çekmek için bir araya geldi. Peki, bu iki adamın 11 sefer sayılı uçuşu kaçırıp, ileride gişe rekorları kıran bir film yapma ihtimalleri neydi? Bu katliamdan kurtulmaları tamamen rastlantı mıydı, yoksa arkasında daha büyük bir güç mü vardı? MacFarlane ve Wahlberg, yabani ot tüttüren, alaycı tarzda konuşan tembel bir oyuncak ayı canlanıp hayatımıza girebilsin diye mi bağışlanmışlardı? Yoksa film endüstrisinin kasasına 500 milyon dolardan fazla paranın girmesi için miydi bütün bunlar?

Fakat MacFarlane olaya öyle bakmıyor. "Alkol bizim dostumuz, bu hikâyenin ahlaki mesajı bu" şeklinde belirtiyor ve ekliyor "Ben kaderci değilim."

Acemi şansı, rastlantı, kazara olan şey, ne derseniz deyin. MacFarlane'in havaalanına geç gelebilmesi, kişisel açıdan olağanüstü sonuçları olan bir rastlantı olsa da tamamen bir rastlantıydı. Kazazedelerle sağ kurtulanlar arasında, yaşam ve ölüm arasında ne kadar ince bir çizgi olabileceğini düşününce insanın aklı başından gidiyor. Sadece 30 dakika bile ne kadar büyük bir fark yaratabiliyor!

Doğada da aynı ince çizgi vardır, sadece tek tek canlılar için (avcılığı düşünün) hatta türler için değil, tüm dünya için böyledir. Arabanızla şehrin dışına herhangi bir yere doğru gidin, yolların yer yer

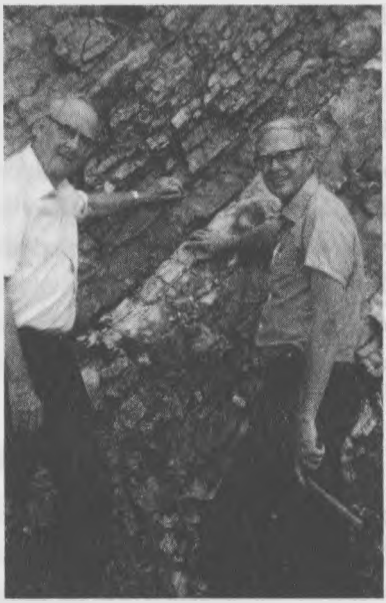
kayaların içinden geçtiğini görürsünüz. Muhtemelen çoğumuz, tarihin sayfalarının bizlerin gözünün içine bakmakta olduğunun farkına bile varmayız. Ancak okumayı bilirsek, genellikle renkli taş tabletlerden oluşan bu yığınlar bize öyle hikâyeler anlatırlar ki...

Strada Regionale (SR) 298, Orta İtalya'nın Umbria bölgesinde büyüleyici bir Orta Çağ kasabası olan Gubbio'nun hemen dışındaki bir kireçtaşı boğazından geçer. 1970'lerin ortalarında, Jeolog Walter Alvarez yola çok yakın bir kaya sütununda ilginç bir desen görür (Şekil 1.1). Çok sayıda kireçtaşı katmanının bir bölümünde, altta beyazdan, üstte kırmızıya doğru bir renk geçişi olduğunu fark eder. Alvarez daha yakından baktığında, iki kaya rengini ayıran tuhaf bir griye çalar bir kil tabakası olduğunu görür. Alvarez'in bu bir santimetrelik ince çizginin şifresini çözmesi, yirminci yüzyılın en çarpıcı ve devrim niteliğindeki bilimsel keşiflerinden birine yol açacak ve son 100 milyon yılda dünyadaki en önemli günün hikâyesini anlatmaya başlayacaktır. Bu, yaşayan çoğu şey için çok ama çok şanssız bir gündü ama sonunda bizim için son derece şanslı olduğu ortaya çıkacaktı. Ve çok, çok uzun zaman önce o gün, 30 dakika her şeyi değiştirecekti.

İKİ DÜNYAYI AYIRAN SINIR HATTI

Jeologların kayaların özelliklerini belirlemede kullandıkları yöntemlerden biri içerdikleri fosillerden yararlanmaktır. Gubbio kaya formasyonu bir zamanlar eski bir deniz yatağının parçasıydı, bu nedenle bünyesinde foraminifer veya kısaca "foramlar" adı verilen küçük yaratıkların fosilleşmiş kabukları yer alıyordu. Bu bol, tek hücreli organizmalar, okyanusun plankton topluluğunun ve besin ağının bir parçasıdır. Foramlar öldüğünde, kabukları okyanus sedimanlarına yerleşir ve kireçtaşlarının parçalarını oluşturur. Farklı boyut ve şekillerde kabuklara sahip, farklı foram türleri zaman içinde var olmuştur ve bu nedenle kayaları belirli zaman dilimleriyle ilişkilendirmek için kullanılabilir.

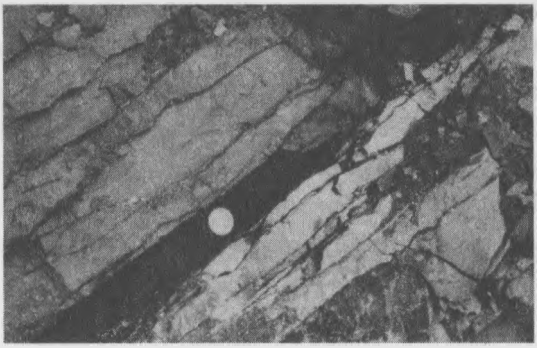
Alvarez, Gubbio'nun dışındaki bu kesilen kayadaki foramlara baktığında, beyaz kaya tabakasının çok çeşitli büyük fosil foramları içerdiğini gördü. Ancak hemen üstündeki kırmızımsı kaya tabakasında bu türler yoktu ve yalnızca birkaç çok daha küçük foram türü içeriyordu (Şekil 1.2). Ve kayanın iki rengi arasındaki ince kil tabakasında hiç fosil yokmuş gibi görünüyordu. Alvarez, okyanusta kısa sürede birçok foram türünün neslinin tükenmesine neden olan dramatik bir şey olduğunu fark etti.



ŞEKİL 1.1. Gubbio, İtalya'da yol yarması

Sağda, Luis ve Walter Alvarez kireçtaşı çıkmasında, Walter (sağda) Kretase kireçtaşının üst kısmına dokunuyor. © 2010 The Regents of the California University, Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı izniyle.

Altta, Gubbio'daki K-Pg sınır tabakası; aşağıdaki beyaz fosil açısından zengin eski Kretase tabakası, yukarıdaki daha koyu Paleojen tabakasından fosil içermeyen ince bir kil tabakasıyla (bir bozuk para ile işaretli) ayrılır. Fotoğraf Prof. Walter Alvarez/ Science Source.



Hollandalı jeolog Jan Smit, Gubbio'nun bin kilometre uzağında, İspanya'nın güneydoğu kıyısındaki Caravaca'da kayalardaki foramlarda benzer bir değişim modeli fark etmişti. Üstelik Smit, içinde foramların bulunmadığı çizginin jeolojide ve Dünya tarihinde iyi bilinen bir sınırı, iki dünyayı ayıran çizgiyi işaret ettiğini anlamıştı.

Sınır çizgisinin altında, karakteristik kireçli sedimantasyon olarak adlandırılan ve dinozorların dünyada egemen olduğu, uçan sürüngenlerin gökyüzünde tur attığı ve mosasaurların denizlerde ammonitleri (nautilus'un yakın akrabaları) avladığı Sürüngenler Çağı'nın son üçte birini oluşturan Kretase Dönemi'nin kayaları yatıyordu. Sınırın üzerinde, bu yaratıkların hiçbirinin yer almadığı, ancak tüylü hayvanların ortaya çıkıp karalar ve denizlerde en büyük hayvanlar haline geldiği Memeliler Çağı'nın başlangıcını işaret eden Paleojen kayaları vardı.

Kretase-Paleojen sınırı (kısaca K-Pg olarak bilinir; eskiden K-T olarak geçerdi) sadece dinozorların, pterosaurların, mosasaurların ve ammonitlerin yok olmasına değil, 66 milyon yıl önce yeryüzünde yaşayan tüm türlerin yaklaşık dörtte üçünün kitlesel yok oluşuna da işaret eder. Alvarez, Smit ve meslektaşları şunu merak ettiler: Foramlar gibi yaygın, küçük organizmaların yanı sıra çok daha büyük canlıların yok olmasına ne sebep olmuş olabilir?

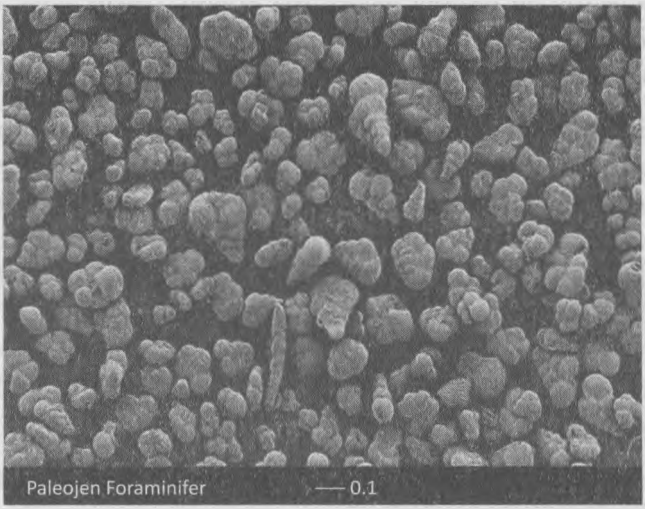
UZAYDAN GELDİLER!

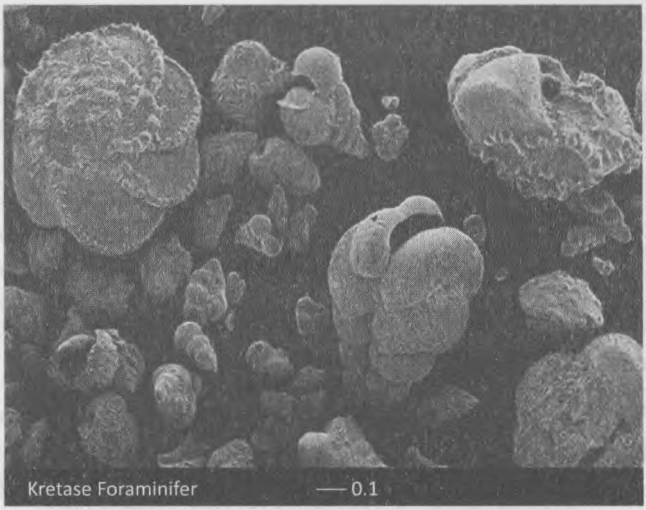
Bu yorumu daha önce de duymuşsunuzdur, bunun Dünya kaynaklı olmadığı, olsa olsa uzaydan gelmiş olabileceğini...

Ancak bu kısa cevap, gazete manşetlerinde veya ders kitaplarında gördüğünüz türden bu açıklama, ne keşfin veya olayın hakkını veriyor, ne de bize 66 milyon yıl önceki bu durumun dünyada bulunma şansımızı ve kendi türümüzün öyküsünü bilebilmek açısından neden bu kadar önemli olduğunu söyleyemiyor.

Alvarez, Smit ve arkadaşlarının, iki dönemi ayıran kil katmanı üzerinde yaptıkları kimyasal analizler, dünyada pek bulunmayan,

ancak belirli asteroit türlerinde sıklıkla rastlanabilen iridyum elementinin olağanüstü miktarlarda olduğunu ortaya çıkardı.





Şekil 1.2. Paleojen (üstte) ve Kretase (altta) foraminiferleri. Walter Alvarez ve Jan Smit, Kretase'nin sonu ile Paleojen'in başlangıç dönemleri arasındaki foramların büyüklüğü ve çeşitliliğindeki hızlı değişimden çok etkilendiler. Görüntüler Smithsonian Institution'ın izniyle. Fotoğraflar B. Huber.

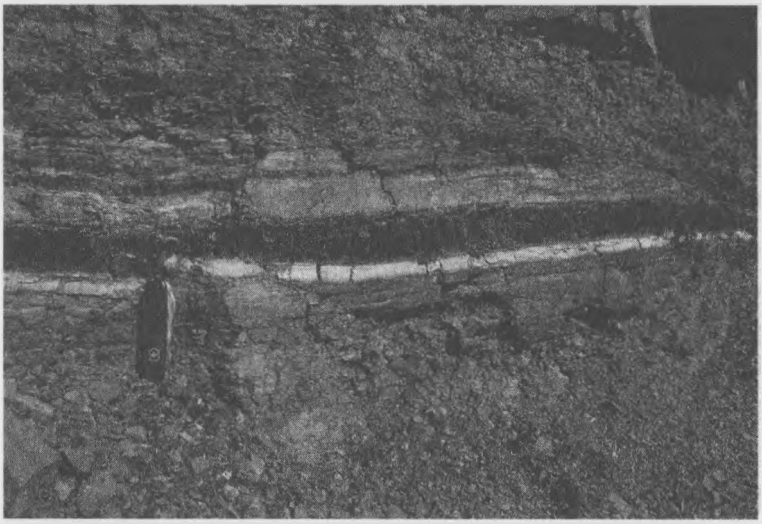
Kil katmanındaki iridyum, gezegenimize 66 milyon yıl önce bir asteroidin çarpmış olması ve göktaşından gelen bir miktar tozun İtalya ve İspanya bölgesine düşmesi olasılığını artırdı. Ancak bu tür senaryolara çok fazla kapılmadan önce, diğer K-Pg sınır konumlarında da iridyum bulgularını aramak gerekiyordu. Alvarez, beklendiği gibi Kopenhag/Danimarka ve yine Yeni Zelanda'da açığa çıkmış, görülebilir durumdaki sınır katmanlarında yüksek iridyum seviyelerine rastladı.

Walter Alvarez'in babası, Manhattan Projesi'nde emeği geçmiş ve Nobel ödüllü fizikçi Luis Alvarez, sınır tabakasında bulunan iridyum miktarından yola çıkarak, dünyayı iridyumla kaplamak için ne boyutta bir asteroid olması gerektiğini hesapladı (bkz. Şekil 1.1). Asteroidin yaklaşık 10 kilometre eninde olabileceğini buldu.

Bu boyut, dünyanın çapıyla (13.000 km) karşılaştırıldığında çok büyük gelmeyebilir. İki katlı bir evin yanında minik bilye gibi durur. Ancak temel fark, asteroidin çok daha hızlı —saatte yaklaşık 80.000 km hızla—hareket etmesidir, alev topu atmosfere girdiğinde 200 m çapında ve 40 m derinliğinde bir krateri açabilecek kadar güçlü olacaktır. Bu çarpışma, atmosferin içine ve etrafa büyük miktarda enkaz ve toz püskürtecek, güneş ışınlarını kesecek, dünyayı hızla derin bir soğuma sürecine sokacak ve bitkilerin üremesini felce uğratacaktı.

Alvarez, Smit ve arkadaşları, kitlesel yok oluşla ilgili asteroit çarpma senaryosunu 1980'de ortaya attılar. Bu, devrimci bir fikirdi, birçoğunun radikal, bazılarının da fazla radikal diyebileceği bir iddiaydı. 1800'lerden itibaren modern jeolojinin başlangıcından beri bu bilim dalı, gezegendeki değişikliklerin kademeli doğasını, yavaş ama istikrarlı süreçlerin uzun zaman dilimlerinde nasıl büyük değişiklikler yaratabileceğini ortaya koydu. Jeoloji bilimi, İncil'deki tufan ve diğer felaket hikâyelerinin yerini almıştı. Yaşamın tarihini bir çırpıda yeniden yazan bir felaket olayı fikri rahatsız ediciydi ve çok sayıda bilim insanının kabul edemeyeceği kadar zorlayıcıydı. Bir de krater meselesi vardı. Yüz yirmi mil çapında bir oyuktan bahsediyoruz ama

o büyüklükte veya bu yaşta bilinen herhangi bir krater yoktu. Bu gibi kanıtların olmaması, eleştirmenlerin elini kuvvetlendiriyordu.



Şekil 1.3. Güney Colorado'daki K-Pg sınır tabakası

Bu, Meksika çarpma bölgesinden ejecta (beyaz katman) içeren dünya orijinli bir tortudur. Fotoğraf Kirk Johnson, Ulusal Bilim Vakfı'nın izniyle.

Ancak sonraki yıllarda, içerik yönünden daha zengin K-Pg sınır bölgeleri keşfedildi ve incelendi (Şekil 1.3). Kuzey Amerika'dan birkaç kişi, cesaret verici bazı ipuçları buldu. Örneğin, Haiti'de büyük miktarda camsı madde ve kil topaklarından oluşan katmanlar bulundu. Küçük küre şekilli bu oluşumlar, kraterden püskürtülen ergimiş kayanın geriye toprağa düşerken hızla soğumasıyla oluşmuştu. Ada da ayrıca, sadece atomik patlamalar veya çarpmaların basıncıyla oluşabilecek şoklanmış kuvars taneleri de bulundu. Güney Teksas'taki Brazos Nehri yakınında, çarpan parçalarla birlikte muazzam tsunamilerin açık işaretleri keşfedildi. Bu kanıt, Meksika Körfezi yakınlarında bir yerlerdeki bir çarpışmaya işaret ediyordu.

Sonunda, 1991'de kısmen Meksika'nın Yucatan Yarımadası'ndaki Chicxulub köyünün altında bulunan ve K-Pg sınırıyla yaklaşık

aynı yaşta olduğu gösterilen, çapı 180 km'den daha fazla bir krater tespit edildi. Dumanın çıktığı baca deliği bulunmuştu.

KIYAMET

Chicxulub kraterinin keşfinden bu yana, jeologlar, paleontologlar, çevre bilimciler, iklim bilimciler gibi birçok bilim insanı, K-Pg etkisinin kitlesel bir yok oluşu nasıl tetiklediğini, hangi türlerin yok olduğunu, hangilerinin hayatta kaldığını ve bunun niçin olduğunu anlamaya çalıştılar. Artık, çarpışma gününün ve sonrasındaki günlerin, ayların ve yılların, Alvarezler ve Smit'in düşündüğünden daha kötü olduğunu biliyoruz.

Göktaşı atmosferde hızla ilerledi ve son 15.000 km'lik mesafeyi bir saniyede geçti. Çarpışmanın büyüklüğü 11'den daha yüksek (tarihin bilinen en şiddetli depremlerinden 100 kat daha güçlü) depremlere neden oldu, Yucatan kaya tabakasının çökmesine yol açtı, Meksika Körfezi ve Karayipler'i boydan boya kaplayan 200 metreden yüksek tsunamileri tetikledi. Patlama, 1.500 km boyunca gözün gördüğü mesafedeki her şeyi dümdüz etmişti.

Çarpmanın ardından yükselen ve içinde aşırı ısınmış hava, karbondioksit, su ve kükürt buharı, havaya karışan volkan külleri, buhar halinde püskürtüler ve kopan kaya parçaları bulunan bulut kütlesi, Dünya'nın dönüş hızından (saatte yaklaşık 40.000 km) daha yüksek hızlarda atmosfere ve atmosferin daha da ötesine saçıldı ve ardından ateş saçan trilyonlarca meteor olarak tekrar yeryüzüne düştü, saatlerce dünyanın dört bir yanına yağmaya devam etti.

Bu meteor yağmurunun miktarı, yeryüzünün her metrekaresine ortalama 10 kilogram küçük kürecikler düşecek şekilde kaplayacak kadar çoktu (en çok serpintiyi patlamanın yakınındaki alanlar aldı, uzaktakilere daha az düştü). Bu çok sıcak yağış, atmosferin sıcaklığını birden 200-300 dereceye kadar çıktığı düşünülen bir fırının sıcaklığına yükseltti. Yüksek sıcaklık ve düşen parçalar, kuru odunları tutuşturacak ve dünya çapında orman yangınları çıkarabilecek durumdaydı.

Çıkan yangınlar büyük miktarlarda is ve duman çıkardı, bu da çarpmanın çıkardığı toz ve çok büyük miktarlarda kükürt ve su buharıyla birlikte dünyaya gelen güneş ışığını birkaç yıl boyunca perdeleyecek, karalarda ve okyanuslarda fotosentezi ve bitkilerin yaşamasını engelleyecek ölçüdeydi. Karadaki sıcaklıklar, hızla sıfırın altına veya daha aşağılara düştü, en az birkaç on yıl boyunca bu seviyelerde kaldı. Karbonat zengini çarpma alanından atmosfere doğru enjekte edilen yoğun karbondioksit, okyanusların hızla asidik olmasına neden oldu.

Kulağa Hollywood yapımı bir felaket filminin abartıları gibi geldiğini biliyorum ama bu, gerçekten de bir kıyametti!

Çarpmanın etkisi tüm dünyada iz bıraktı. Yeryüzünde 300'den fazla K-Pg sınır bölgesi tespit edilmiştir. Yaşam üzerindeki etkisini, bu değerlerin daha fazlası olarak fosil kayıtlarında çarpıcı bir şekilde görmek mümkündür. "Sınır"ın üzerindeki dünya (çarpmadan sonraki) ile "sınır"ın altındaki dünya (çarpmadan önceki) birbirinden büyük oranda farklıdır.

Zarar gören kurbanların listesi dinozorlardan, deniz sürüngenlerinden ve ammonitlerden çok daha uzundur. Günümüzdeki bir sincaptan daha büyük olup suda yaşayan hiçbir canlı hayatta kalmadı (sincapların kendileri henüz evrimleşmemişti). Bu katliamın nedenleri oldukça açıktır: Hayat önce fırında kavruldu, sonra soğuktan dondu, sonra aç bırakıldı.

Ani çarpma, yaşamı yalnızca 1.000 m mesafe içinde yok edecekti. Fakat ısıl şok, küreselti ve her yerde kara hayvanları için nefes almayı çok zorlaştıracaktı. Sıcaktan kurtulanlar, muhtemelen haftalarca yanan ormanları ve diğer bitkileri yok eden orman yangınlarına katlanmak zorunda kalacaktı. Ve yangınlardan kurtulanlar, yeni bitki örtüsü olmadan yıllarca karanlığa ve soğuğa katlanmak zorunda kalacaklardı.

Bitki fosil kayıtları, karada yaşamın son derece çetin geçtiğini canlı bir şekilde ortaya koymaktadır. Önemli hayvan kayıtlarından

çok daha zengin olmak üzere Paleobotanikçiler, kayalardan yalnızca bitki parçalarını değil, belirli bir zamana ait bitki çeşitliliğinin zengin bir dökümünü veren, bir yüksük dolusu çökelti içinde yaklaşık on bin ila bir milyon polen tanesi olan muazzam miktarda spor ve polen de çıkarabilirler. Polenin bize anlattığı hikâye tam bir yıkımdır. Her iki yarım kürede de K-Pg sınırının hemen altında ve sınırda çiçekli bitkileri, ağaçları temsil eden zengin ve çeşitli polenler vardır... Hemen hemen başka hiçbir şey yoktur. Bunun yerine, sınır tabakasının hemen üzerinde eğrelti otu sporlarında büyük bir artış görülür. Polenlerin çimlenmek için alıcı bir çiçeğe konması gerektiği çiçekli bitkilerin aksine, bu eski bitkilerin sporları, tutundukları yerde filizlenebilir. Eğrelti otları aynı zamanda, örneğin volkanik patlamalar nedeniyle günümüzde harap olmuş yaşam alanlarını yeniden kolonize eden ilk bitkilerdir. Eğrelti otu dikeni belki 1000 yıl boyunca varlığını sürdürür. Sonunda yeryüzünü tekrar yeşillendiren ana bitkiler, çarpmadan önce ona hâkim durumda olanlardan çok farklıdır. Konuma bağlı olarak, türlerin yüzde 78'inin nesli tükenmiştir.

Şimdi size çiçeklerin ve ağaçların hikâyesini anlattığıma göre, eski Jewel Akens'in hit şarkısında olduğu gibi, size kuşlardan ve arılardan da bahsetmek istiyorum. Tokat yemiş gibilerdi.

Kuşlar, Jura'nın sonlarında (yaklaşık 150 milyon yıl önce) Teropod dinozorlardan (onlar da *Tyrannosaurus rex*'le aynı soydandır) ayrıldıktan sonra evrimleştiler. Asteroit çarpışmasından önce birçok kuş türü geç Kretase döneminde gökyüzünü doldurdu. Ormanların dünya çapında yok olmasından sonra çoğu ortadan kayboldu. Benzer şekilde, Orta Kretase'de ortaya çıkan ve çiçekli bitkilerle yakın karşılıklı ilişkiler içinde evrimleşen arıların, çarpmanın ardından büyük bir bölümünün yok olduğuna dair kanıtlar vardır.

On binlerce bitki türünün tamamen yok olması için koşulların ne kadar kötü olması gerektiğini bir düşünün. Şimdi, küçük foraminiferlerin, çarpışmadan sonra %70 veya daha fazla plankton türünün ortadan kalkmasıyla okyanustaki koşullarla ilgili benzer bir hikâye anlattığını düşünün. Bitkiler ve formlar, kara ve denizlerdeki besin

zincirlerinin temelini oluştururken, bu zincirlerin en tepesindeki canlılar da onlarla birlikte çökmüştür.

Ancak tüm bu yıkıma rağmen hayatta kalanlar da vardı.

RESET DÜĞMESİNE BASMAK

İlk kurtulanlar, çarpma tabakasının hemen üzerindeki fosil kayıtlarında bulundu. Her biri büyük bir tür kaybına uğramış olsa da karasal omurgalıların tüm büyük grupları, hayatta kalan sürüngenler, amfibiler, kuşlar ve memelilerle temsil edilmektedir.

Büyük bilimsel soru şudur: Neden bazı türler başardı da diğerleri yapamadı?

Bunu başaran canlıların yaşam tarzları incelenerek önemli ipuçları elde edildi. Timsahlar ve kaplumbağalar, tamamen yok olan daha büyük kara dinozor kuzenlerinden çok daha iyi sonuç verdi. Bir grup olarak yılanlar da (tüm türler değil) krizden sağ çıktı. Hayatta kalan birkaç kuşun, küçük, oyuk açan, karada yaşayan veya kıyı kuşları oldukları anlaşılıyor. Bunu başaran memeliler de küçüktü ve muhtemelen aynı zamanda oyuklarda yaşayan türlerdi. Suda veya hem suda hem karada (timsahlar ve kaplumbağalar, kıyı kuşları) olmak bir avantaj gibi görünüyor. Aynısı oyuk açan/çukur kazan (kuşlar, memeliler, yılanlar) canlılar için de geçerlidir. Bu avantaj, ısıl şoktan korunmak açısından mantıklıdır. Küçük vücut boyutu veya yavaş metabolizma da beslenme ihtiyacını azaltır ve kıtlık zamanlarında çok büyük nimettir. Küçük vücut boyutu, daha hızlı üreme ve popülasyonların daha hızlı iyileşmesini de sağlar.

Çevre düzeldikçe, boşluğu doldurmak, gökyüzünü yeniden kaplamak genellikle küçük yaratıklardan oluşan bu topluluklara kalacaktı. Bugün yaşayan türler, bu rastlantısal öncülerin soyundan gelmektedir.

Dünyanın hayatta kalan ve soyu tükenmekte olan türler tarafından yeniden doldurulduğuna dair bu tablo, tamamen farklı kanıtlarla

doğrulandı. Örneğin kuşları ele alalım. Günümüzde yaşayan kuş türünün yaklaşık 10.000 civarında olduğunu biliyoruz. Bugüne kadar toplanan fosil kayıtları, Kretase'nin sonunda dördü tamamen yok olan beş ana kuş grubu olduğunu gösteriyor. Tüm modern kuşlar, bir grubun hayatta kalanlarının soyundan gelmektedir.

En ilginç olanı, modern kuşların yaklaşık kırk büyük grubunun (papağanlar, şahinler, sinek kuşları, vb.) kökeninin zamanlamasını, DNA'larını inceleyerek iyi bir tahminde bulunabiliriz. Daha sonra açıklayacağım nedenlerden dolayı (Bölüm 5), her türün DNA'sında hem atalarının kaydı hem de diğer türlerden ayrılmasının göreceli zamanı yer alır. Birkaç yıl önce, büyük bir araştırmacı grubu, tüm modern grupların temsilcilerinin tüm DNA dizilerini (genomu) belirledi. Kuşların bu evrim "ağacı", tüm canlı türlerinin K-Pg kitlesel yok oluştan sağ kurtulan birkaç soydan geldiğini ve kuş evriminin, *kelime oyununu bağışlayın*, kısa bir süre sonra başladığını ve yaklaşık 15 milyon yıl içinde neredeyse tüm modern düzenlerin oluştuğunu ortaya çıkardı.

Ortaya çıkarılan kuş evrimi modeli, kitlesel yok oluşun ardından ortak bir gövdeden ayrılan kollarıyla dokuz kollu şamdana benzer (Şekil 1.4). Bu model diğer hayvanlar için de geçerlidir. Kurbağaların geçmişi 200 milyon yıl öncesine dayanıyor, ancak kitlesel yok oluştan sonra kabaca 6.800 modern türün büyük çoğunluğunu oluşturan üç ana kurbağa grubu, yaşamda kalabilmiş gibi görünüyor. Aynı şey memeliler için de geçerli. Hem fosil hem de DNA kanıtları birçok, hatta belki de çoğunun, plasental (keseli olmayan) memeli grubunun (kemirgenler, etoburlar, toynaklılar, vb.) K-Pg olayından sonra, bazılarının ise bundan çok kısa bir süre sonra ortaya çıktığını göstermektedir.

Çarpmanın ve ardından gelen olayların neden olduğu büyük ayıklanmanın hayatın yönünü nasıl belirlediğini bir düşünün. Bir reset (sıfırlama) düğmesine basmak ve hemen önceki dünyadan kalanlarla hayat oyununu yeniden başlatmak gibi olurdu. 100 milyon

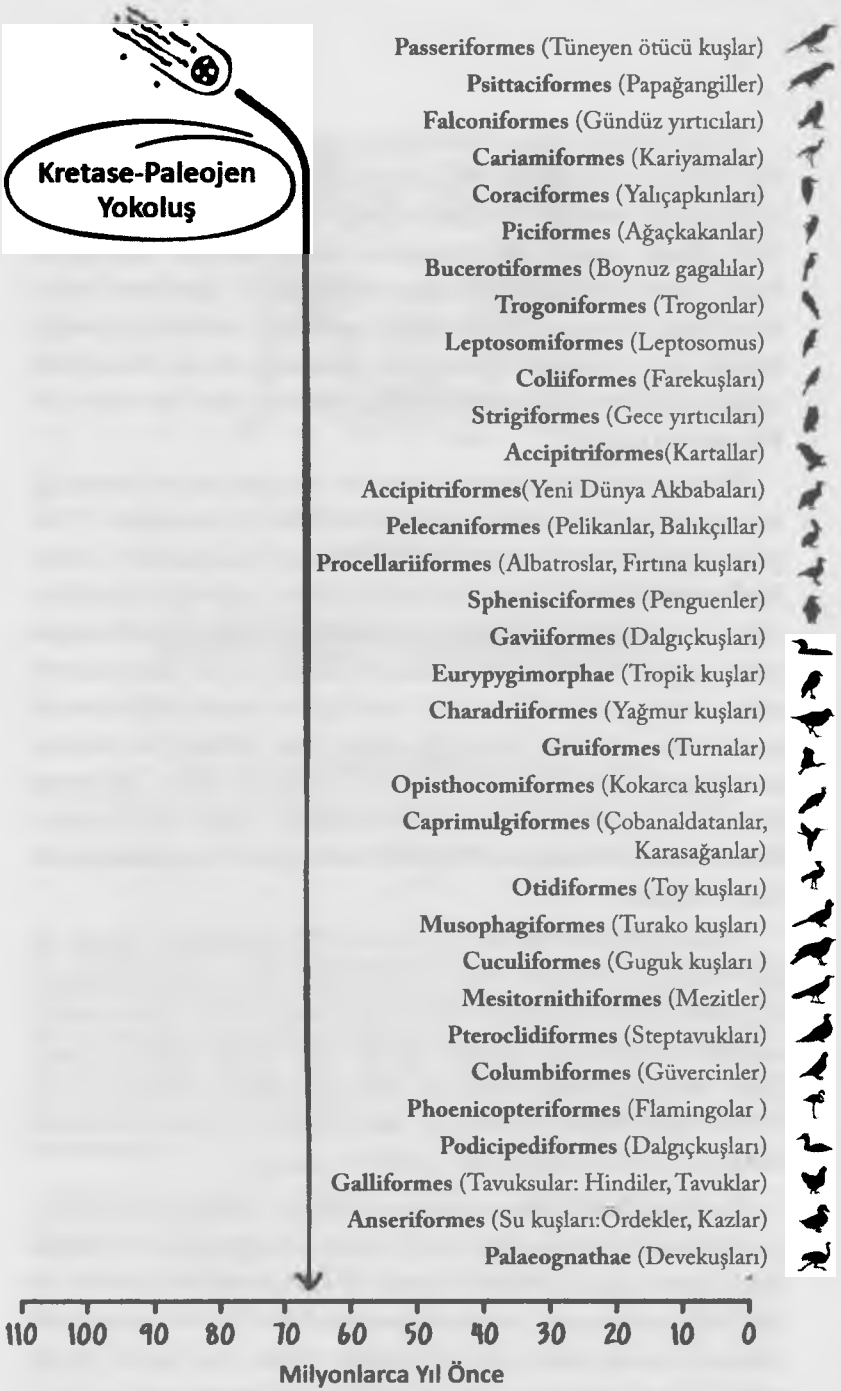
yıldan beri yeryüzünün hâkimi dev dinozorlar artık yoktu. Bu yeni dünya ve üzerinde yaşayanlar, önceki dünyaya pek benzemiyordu.

Türler açısından bakıldığında, kurbağalardan daha fazla kuş ve memelilerden daha fazla kurbağa vardı. Ama çarpma sonrası dünyaya Kuşlar Çağı ya da Kurbağalar Çağı değil Memeliler Çağı diyoruz. Bu isimlendirme, kısmen memelilerin kısa sürede daha büyük boyutlara ulaştığı, vejetaryenlerin ve etoburların kendilerinden çok daha büyük dinozorların boşalttığı alanı işgal etmeye başladığı gerçeğini yansıtıyor. Memeliler (yarasa olarak) göklere çıktılar ve (balinalar ve yunuslar; foklar ve morslar; denizayıları ve dugonlar vb.) tekrar suya uyum sağladılar. Ve nihayet, kitlesel yok oluştan sonra ortaya çıkan bir grup memeli yani primat da sonunda bizi doğurdu.

Bu olgu şu soruyu akla getiriyor: Asteroit çarpışması olmasaydı eğer, yine yeryüzünde olur muyduk?

TAM İSABET

Bu sorunun cevabını bulabilmek için birkaç olguyu ele almamız gerekiyor. İlk olarak, memeliler K-Pg neslinin tükenmesinden çok önce evrimleşmişlerdir. 100 milyon yıl boyunca büyük dinozorlarla birlikte yaşadıkları ve geç Kretase döneminde dünyanın çeşitli yerlerinde çok sayıda tür olduğu biliniyor. Dolayısıyla dinozorların varlığı, tüylü memelilerin ortaya çıkmasını engellemiş değildir. İkinci olarak, memeliler nispeten daha küçük boyutlu canlılardı, bu da sayıca baskın durumdaki dinozorların girmediği boşlukları doldurduklarını düşündürüyor. Üçüncüsü, dinozorların ortadan kaybolmasından sadece birkaç yüz bin yıl sonra, önceki 100 milyon yılda hiç olmadığı kadar büyüdüler. Yok olma sonrası ortalama ve maksimum vücut büyüklüğündeki bu çok hızlı artış, daha öncesinde memelerin boyutlarını sınırlamada dinozorların büyük bir etkilerinin olduğunu gösteriyor. Öyleyse, eğer asteroit çarpması olmasaydı, 100 milyon yıldan fazla bir süredir hüküm süren dinozorların muhtemelen hâlâ burada olacağı ve dolayısıyla primatların ve de bizim olmayacağımız sonucunu akla getiriyor.



Şekil 1.4. K-Pg çarpmasının ardından kuş evriminin menora modeliyle temsili Çarpışma öncesinden gelen birkaç kuş türü vardı; Biri hariç hepsi ortadan kayboldu, hayatta kalan grup hızla bugün bildiğimiz birçok forma yayıldı. Kısmen Brusatte ve arkadaşlarının (2015) izniyle. Kate Baldwin'in çizimi.

Kimin kazanıp kimin kaybettiğini belirleyen şey rastlantı olmuştur. Asteroit çarpmasının tetiklediği koşullar, herhangi bir canlının deneyiminin ötesindeydi. Evrimsel tarihlerinde hiçbir şey bu canlıları yıllarca sürecek bir cehenneme hazırlamamıştır. Dinozorları baskın yapan özelliklerin (örneğin, büyük beden) diğerlerini savunmasız hale getirmesi, dinozorlar için şanssızlıktı; özellikleri (örneğin, küçük boyut, oyuk/çukur açma) tam olmasa da (çünkü memelilerin çoğu da telef olmuştu) hayatta kalmayı mümkün kılan bir memeli alt kümesi için şanstı.

Aslında olasılıklar, asteroit olmasaydı varlığımızın da olmayacağı anlamında değildir sadece, yeterli büyüklükte bir asteroidin Dünya'ya çarpma ihtimalinin de çok düşük olduğu yönündedir. Chicxulub Krateri'ndeki K-Pg asteroidin keşfi, başka çarpmalar olup olmadığı konusunda da büyük merak doğurdu. Ancak son 500 milyon yılda, (çarpan cisimler topluluğuna ev sahipliği yapan) dünyada veya ayda, benzer şekilde, Chicxulub büyüklüğünde başka hiçbir asteroit çarpmasının meydana gelmediği ortaya çıktı. Kitlesel bir yok oluşu tetikleyebilmek için çarpan cismin boyutu önemlidir. Tek örneği bilinen bu çarpma üzerine söyleyebileceğimiz yegâne şey, Chicxulub'un belki de 500 milyon (veya daha uzun) yılda bir gerçekleşen bir olay olduğudur.

Ayrıca, yeterince büyük bir asteroitte bile çarpmanın yerinin de rol oynadığı ortaya çıktı. Yucatan hedef bölgesinin etrafındaki kayalar, hidrokarbon ve kükürt bakımından zengindir, bu da muazzam miktarlarda kurumun yanında, güneş ışığını kesen yoğun aerosollerin çıkmasına neden olmuştur. Jeologlar, dünya yüzeyinin yüzde 1-13'ü kadar küçük bir kısmının, benzer şekilde bir yıkıcı malzeme bulamacı üretebilecek kayalar içerdiğine inanıyor.

Bu küçük hedef, dünyanın saatte yaklaşık 1.600 km hızla dönüyor olması dikkate alındığında, asteroidin örneğin sadece 30 dakika önce ulaşmış olması halinde Atlantik Okyanusuna; 30 dakika sonra da Pasifik okyanusuna inecek olması demektir. Her iki durumda da sadece 30 dakika farkla dinozorlar muhtemelen yine burada yaşıyor olacak, Tanrı korusun, ne Ted, ne de Ted 2 çekilmeyecekti.



BÖLÜM 2

HUYSUZ CANAVAR

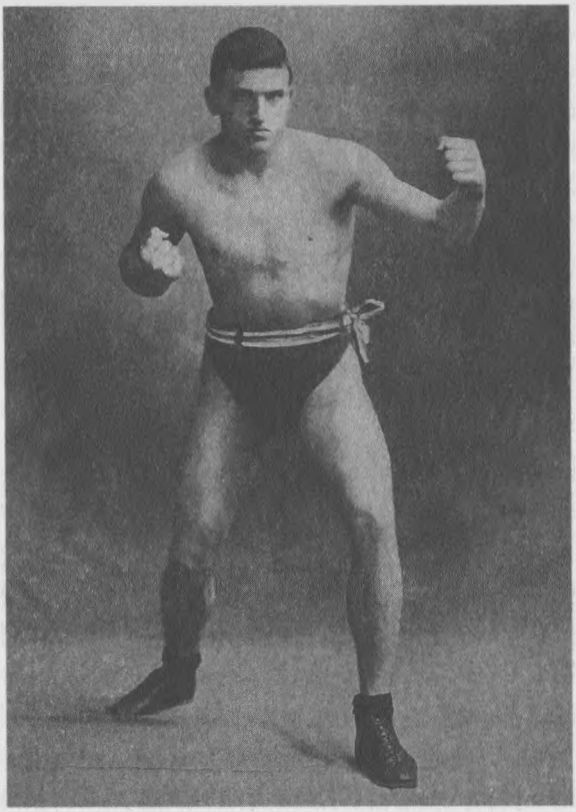
"Yaşam, ne kadar güçlü yumruk atabildiğinle değil,
o kadar yumruk aldıktan sonra bile devam edip edemediğinle ilgilidir."

— ROCKY BALBOA

20 Ekim 1903'te 5.000'den fazla seyirci, ünlü yerel boksör Joe Grim'in eski dünya orta ve ağır sıklet şampiyonu Bob Fitzsimmons'u nasıl yeneceğini görmek için Philadelphia'daki *Southern Athletic Club*'ı doldurmuştu. Grim, film karakteri Rocky Balboa'dan çok daha önce, cesareti ve yürekliliğiyle şehrin ve boks dünyasının sevgisini kazanmıştı.

İtalya'nın Avellino kentinde, dokuz çocuğun sekizincisi olarak dünyaya gelen Saverio Giannone, yani Grim, Amerika'ya geldiğinde henüz on yaşlarındadır. Bir süre ayakkabı boyacısı olarak çalışır, *Broadway Athletic Club*'ın hemen dışında küçük bir büfe işletir. Sık sık yapılan çıplak el boks maçlarını izlemeyi o kadar çok sever ki, bir gece rakip dövüşçü gelmeyince, yönetim seyircilerden bir gönüllü

ister, Grim de bu fırsatı kaçırmaz. Çok yumruk yer ve yere yığılır ama her seferinde şaşırtıcı biçimde lastik top gibi sıçrayıp kalkar. Herhangi bir teknik bilmeyen Grim, hep gülümser ve maç boyunca kıkırdamaya devam eder. Ünü, bir anda her tarafa yayılır ve kısa süre sonra onu diğer spor kulüplerine kiralayan ve hemen herkesle müsabakaya sokan bir menejeri olur. Adını "Joe Grim" olarak değiştiren de yine menajeridir (kimse onun gerçek adını söylemez bile) ve ünü, kesin galibiyet elde etme dürtüsüne karşı koyamayan rakiplerle karşılaşmaya çıktıkça da artar (Resim 2.1).



Resim 2.1: Joe Grim

12 Aralık 1903 tarihli ve 134 numaralı National Police Gazette'den alınan fotoğraf, izin alınarak kullanılmıştır.

Ama sonunda hep sürprizle karşılaşacaklardır. 70 kiloluk Grim, 1.70 boyuyla, Jack O'Brien, Barbados Joe Walcott, Dixie Kid, Johnny Kilbane ve Battling Levinsky gibi daha cüsseli rakiplerle ve daha ünlü isimlerle mücadele eder. Hepsi onu pestilini çıkarıncaya kadar döver ama hiçbiri onu tümden nakavt edemez. Çok hızlı yumrukları ve ezici kuvvetiyle tanınan Jack Blackburn, üç kez dener ama Grim'i tamamen yere seremez. Maçlarının sonunda, kanlar içinde kalan Grim ringin iplerine tırmanır ve hayranlarına bağırır, "Ben Joe Grim. Dünyadaki hiçbir rakipten korkmuyorum" diyerek dünya ağır sıklet şampiyonuyla karşılaşmak istediğini haykırırdı.

Ve bu fırsatı, o Ekim gecesi, yumruğuyla her şeyi delebileceği söylenen, yaşayan efsane Fitzsimmons ile yakaladı. Bugüne kadar bu spordaki en sert vuran boksörlerden biri olarak kabul edilen "Çilli Mucize" iki dünya şampiyonluğuna giden yolda çok sayıda büyük ağır sıklet rakibini nakavt etmişti. Maç, 6 raunt olarak planlandı ama çoğu boks uzmanı çok daha kısa sürmesini bekliyordu. Fitzsimmons ise rakibinin bir raunt bile dayanamayacağını düşünüyordu.

Fitzsimmons, Grim'i tekrar tekrar yere devirdi ama her seferinde o, "sakince ayağa kalkıp agresif savunma yapmaya" devam ediyordu. Fitzsimmons ise sadece başını sallıyor ve aralıksız yumruk çıkarıyordu. Şampiyon burnunu ve kulaklarını kanlar içinde bıraksa da Grim hep çenesini korumaya çalıştı. Fitzsimmons, Grim'i üçüncü rauntta dört, dördüncü rauntta altı kez yere seren svingler, kroşeler, direktler ve aparkatlar indirdi. Hakem yedi kez dokuza kadar saydı, ancak tekrar sıçrayıp ayağa kalktı ve dövüşe devam etti.

Altıncı raundun sonunda kalabalık, İtalyan'ın işini bitiremediği için şampiyonla alay etmeye başladı. Fitzsimmons, raundun başında öfkeyle köşesinden fırladı ama Grim tüm gücüyle karşılık verdi, hatta eski şampiyonu kısa süre sersemleten bir sving bile çıkardı. Fitzsimmons, Grim'i tekrar yere serip yüzüstü düşürdü. Ama Grim tekrar ayağa kalktı ve bitiş gonguna kadar mücadeleye devam etti. Fitzsimmons, maçta on yedi kez yere yıkıldıktan sonra köşesine dönerken bir kutlama taklası atan Grim'in elini sıkıp tebrik etti.

Bir görgü tanığına göre, Grim "normal bir adamı öldürebilecek şiddette" darbeler almıştı. Grim'in rakipleri, onun böyle bir dayağa rağmen nasıl dayanıp hâlâ gülebildiğine şaşırmışlardı. Ağır sıklet şampiyonu Jack Johnson, "Artık ben, insanın et ve kemikten oluştuğuna inanmıyorum" demişti. Grim neredeyse tüm maçlarını kaybetmesine ve kariyeri boyunca yüzlerce kez yere yıkılmasına rağmen, cesaretle mücadeleye devam etmesi ona "Canlı Kum Torbası" unvanıyla birlikte kalıcı bir ün kazandırmıştı.

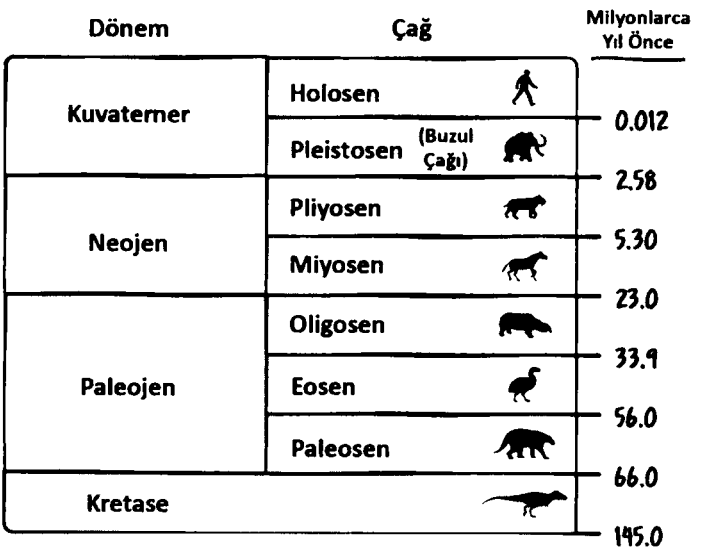
Joe Grim'in hikâyesinden çıkarabileceğimiz ders, türümüzün veya en azından bazılarımızın darbe alabileceğidir. Ve bu çok kötü bir şey değildir, çünkü asteroit çarpmasıyla cesur Joe Grim'in dünyaya gelişi arasındaki 66 milyon yılda Dünya, yaşama birçok darbe indirmiştir. Çalkantılı kariyeri boyunca, uğraştığı türlerin yüzde 99,9'undan fazlasını nakavt etmiştir.

Ama bizi değil, en azından henüz nakavt etmiş değil.

Peki, Joe Grim ve diğer iki ayaklı akrabalarının ortaya çıkma olasılığı neydi? Joe'nun ortaya çıkışının karşısına engel oluşturan olaylar, onun, ellerinde o ağır sıklet eldiveni varken pek de kolay olmayan uzun koşusundan çok daha uzun süren darbedir. Geçtiğimiz 66 milyon yılda, gezegenimizi değiştiren çok sayıda olayın kimisi oldukça yavaş, kimisi çok hızlı bir şekilde ortaya çıktı; bunların hiçbiri, oldukları şekilde, oldukları zaman meydana gelmeyebilir veya hiç gerçekleşmeyebilirdi ve hayat hikâyesi çok daha farklı olurdu. Gerçekten de, son bir milyon yıldır dünya, son 300 milyon yıldakinden farklı olarak son derece değişken bir döngüde sıkışıp kaldı.

Fakat bizi öldürmeyen şeyler bizi güçlendirdi. Yaşanan bütün bu altüst oluşlar türümüzün, gezegenin bize savurduğu darbelerle başa çıkma konusundaki özel yeteneklerini şekillendirdi, işte bu yüzden bizler, diğer pek çok rakibin yarışma dışı kaldığı yeryüzünde hâlâ var olmaya devam ediyoruz.

K-Pg asteroidin çarpmasını izleyen aylar ve yıllar, şüphesiz dünya tarihinin en kötü zamanlarından biriydi. Fakat Colorado'da yeni keşfedilen bir fosil hazinesi, dünyanın en çok etkilenen bölgelerinden birinde bile ormanların geri döndüğünü ve memelilerin toparlanıp birkaç yüz bin yıl içinde yeni ve daha büyük formlara dönüştüğünü ortaya koyuyor. Bundan sonraki milyonlarca yıl boyunca, memeliler ve kuşların dallara ayrılıp çeşitlenmesiyle, yeryüzündeki yaşam muhtemelen en iyi zamanlardan birini yaşamıştı.



Şekil 2.2. Jeolojik Dönemler şeması. (Kate Baldwin'in çizimi)

Jeologlar, son 66 milyon yılı Paleosen, Eosen, Oligosen, Miyosen, Pliyosen, Pleistosen ve Holosen olarak bilinen farklı uzunluklarda yedi döneme ayırırlar (Şekil 2.2). Bu dönemler arasındaki sınırlar, genellikle kayalar üzerinden incelenebilen, okyanuslar ve karadaki yaşam koşullarında geçişleri yansıtan değişikliklerle belirlenir. Bazı

sınırlar önemli yok oluşları işaret ederken, hiçbiri K-Pg sınırında görülen kapsamda değildir. Daha çok, memeliler de dâhil olmak üzere belirli bitki ve hayvan gruplarının, belirli formların ortaya çıktığı, kaybolduğu veya dünya üzerindeki dağılımlarının değiştiği daha sınırlı geçişleri işaret ederler.

Örneğin, Paleosen ve Eosen arasındaki geçiş, derin deniz foramlarında büyük bir yok oluşu göstermektedir. Ancak karada memeli türleri hızla yayıldı ve ilk primatlar Kuzey Amerika, Asya ve Avrupa'da ortaya çıkmıştır. Buna karşılık, Eosen-Oligosen geçişi, Avrupa'nın bazı bölgelerindeki plasentalı memelilerin % 80'inden fazlasının neslinin tükenmesi ve Kuzey Amerika'dan primatların ortadan kaybolmasıyla belirgindir. Pliyosen'in sonuyla birlikte, belirli memeliler, deniz kuşları, kaplumbağalar ve köpekbalıkları dâhil olmak üzere büyük deniz hayvanlarının soyu tükendi; köpekbalıkları grubunda, okul otobüsü boyutunda, Carcharocles megalodon cinsi meşhur köpekbalığı cinsi de vardı. Ve sadece 11.700 yıl önce Buzul Çağı'nın sonu, Afrika'dakiler hariç, aralarında Kuzey Amerika'daki dev kara tembelleri, develer, keskin dişli kediler ve Avrupa'daki yünlü mamut ve gergedanların da bulunduğu yaklaşık 90 türü kapsayan en büyük memelilerin (>44 kilogram) çoğunun soyunun tükenmesine tanık oldu.

Bu altüst ve yeniden oluşlar, her türden bilim insanının ilgisini çeker ve merak edilir: Gerçekte ne olmuştur?

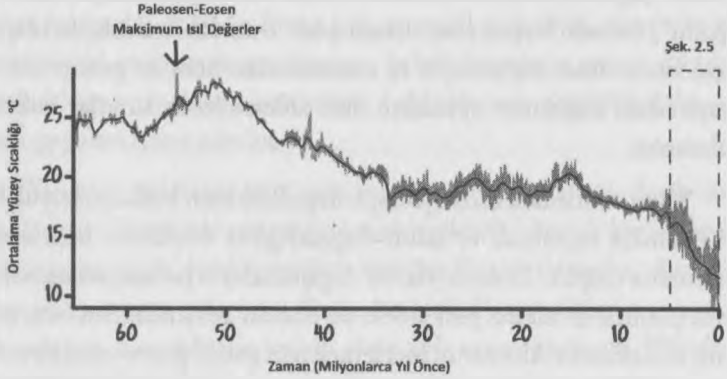
ÇAĞ DEĞİŞTİRİCİLER: ŞU OLAĞAN ŞÜPHELİLER

Çağın sınırlarının ötesindeki dağılım biçimlerinin çoğu on dokuzuncu yüzyıldan beri bilinmektedir. Temel soru, "Türlerin ortaya çıktığı dönemlerde, canlılar zaman içinde sürekli gelip gitmekte mi yoksa ani bir olayın sonucu mu ortaya çıkmaktadır?" sorusudur. Asteroitler, volkanlar, süpernovalar, levha tektoniği, deniz seviyelerinin düşmesi, buzullaşma veya bunların kombinasyonları dâhil olmak

üzere "çağlar" arasındaki hemen hemen her değişiklik için "ani değişim" yönünde birçok aday ortaya çıktı. Buradaki zorluk, bu olaylar için hem sahne değişimiyle eş zamanlı olan hem de gezegende ve yaşamdaki değişimin öyküsünü bize anlatabilecek kanıtlar bulmak olmuştur.

Yakın zamanlara kadar, jeolojik değişikliklerin hızlarını büyük bir doğrulukla saptamak ve iklim değişikliğinin boyutunu belirlemek mümkün değildi. Dolayısıyla, bu değişikliklerin potansiyel nedenlerini çözmek de zordu. Jeolojideki en önemli gelişmelerden biri, geçmiş dönemlerin iklimlerini incelemek için geriye gitme tekniklerinin ortaya çıkması olmuştur. Jeologlar artık, foramlar veya yumuşakçaların kabuklarında veya gömülü sedimanların bünyesindeki bileşiklerde korunan oksijen, karbon ve bor gibi elementlerin kararlı izotoplarının nispeten bolluğunu analiz ederek hava ve okyanus sıcaklıkları gibi eski iklim koşullarına ilişkin çıkarımlarda bulunabiliyorlar. Bu dolaylı kimyasal göstergeler veya "temsilciler", kayaların yaşlarını belirlemek için son derece hassas radyometrik tarihlemenin geliştirilmesiyle birleştiğinde, geçmişte neyin ne kadar hızlı gerçekleştiğine dair anlayışımızda devrim yaratmıştır. Bu olasılıklar (henüz) dumanı tüten silah gibi apaçık, kesin bir delil vermemiş olsa bile, çok önemli bir gerçek ortadadır: Çağlar arasındaki tüm geçişler, büyük, bazen ani iklim değişiklikleriyle karakterize edilirler.

Örneğin, Paleosen-Eosen geçişinin olağanüstü hızı, paleoiklim kayıtları elde edilinceye kadar dikkate alınmadı. Çift toynaklılar (günümüzde develer, geyikleri ve benzerlerinden oluşacak grup), tek toynaklılar (atlar, gergedanlar ve diğerlerinin yer aldığı grup) ve Eosen'in başında ilk kez ortaya çıkan primatları içeren birkaç grubun varlığı, bir asırdır bilinmektedir. İklim kayıtları, yaklaşık 100.000 yıllık bir süreçte, Paleosen ve Eosen arasındaki geçişe, küresel derin deniz ve kara sıcaklıklarında sırasıyla yaklaşık 5°C ve 5°C–8°C'lik ani artışların eşlik ettiğini ortaya koydu. (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Son 66 milyon yılda küresel sıcaklıkların değişimi

Kalın çizgi, 500 bin yıllık aralıklarla ortalama yüzey sıcaklığıdır; kesikli çizgilerle ayrılan alan doğrudan ölçümlere ait veri noktalarıdır. (Hansen ve arkadaşlarına dayanarak çizen Kate Baldwin). (2013).

Şimdi 5 derecenin o kadar da önemli olmadığını söyleyebilirsiniz. Ancak bunun küresel ortalama sıcaklıktaki değişim olduğunu düşünün. Bu dalgalanma yeryüzünün her tarafına eşit dağılmayacaktır; değişiklikler, ekvatora yakın olandan yukarı enlemlerde gidildikçe daha da büyük olacaktır. Bunu bir perspektife oturtmak gerekirse, 20.000 yıl önce yüzey sıcaklığındaki beş derecelik bir düşüş, Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya'nın büyük bir bölümünü kilometrelerce kalınlıkta buzulun altına gömmek için yeterlidir. Paleosen'deki etkisi, iklim, bitki örtüsü ve habitatta büyük bölgesel değişikliklere yol açmıştı.

Birbiri ardına gelen üç çağ değişikliği, yüzey sıcaklıklarının soğumasıyla karakterize edilir: Geç Eosen'den erken Oligosen'e 4°C–6°C'lik nispeten hızlı bir düşüş, Pliyosen sırasında yaklaşık 3°C'lik kademeli soğuma, erken Pleistosen'e ve Holosen'den hemen önce Pleistosen'in sonunda birkaç santigrat derece çok keskin bir soğuma ve yeniden ısınma. Jeologlar için zorluk, bu iklim değişikliklerini belirli olaylarla ilişkilendirmektir.

Asteroitler, K-Pg kitlesel yok oluşunun tetikleyicisi olarak Chicxulub asteroid çarpmasının keşfinden beri diğer gezegensel değişikliklerde "şüpheliler listesi"nin başındadır. Önemli bir küresel etkiye sahip olmak için göktaşlarının 1-2 km çapında olması gerektiği düşünülmektedir. Bu büyüklükteki çarpmalar, 20 km veya daha büyük kraterler oluşturacaktır. Güneş sisteminden, son 66 milyon yılda Dünya'ya çok sayıda büyük göktaşı düşmüştür ve bu kriterleri karşılayan bir düzine kraterin var olduğunu biliyoruz:

KRATER	ÇAP (km)	YAŞ (milyonlarca yıl önce)
Boltysh	24	65
Chesapeake Bay	40	36
Chicxulub	150	66
Eltanin	Bilinmiyor	2.5
Haughton	23	23
Kamensk	25	49
Kara-Kul	52	5
Logancha	20	40
Mistastin	28	36
Montagnais	45	51
Popigai	90	36
Ries	24	15

Bu çarpmalardan (Chicxulub dışında) herhangi biri çağ-değişimlerini işaret ediyor mu? Cevap: Pek değil.

Eltanin çarpması yaklaşık 2.58 milyon yıl önce Güney Pasifik Okyanusunda Pliyosen-Pleistosen geçişine çok yakın bir zamanda meydana geldi. Derin bir okyanus havzasında bilinen tek çarpmadaki asteroidin yaklaşık 2 km çapında olduğu düşünülüyor. Göktaşı,

atmosfere büyük miktarda su ve kükürt püskürterek ve dev tsunamileri tetikleyerek devasa boyutta bir su kütlesi kaldırdı. Ancak, gezegeni Buz Çağı'na dönüştürecek uzun süreli bir soğuk döneme sokmak için yeterli olup olmadığı net olarak bilinmemektir.

Benzer şekilde, bilim insanları, New Jersey kıyılarındaki Paleosen-Eosen sınırında çarpmanın açtığı çukuru keşfettiler. Ancak bu bulgu tek başına olayı kanıtlamaz. Aynı yaşta (henüz) başka bir krater bilinmiyor, bu nedenle asteroitin boyutunu da bilemiyoruz. Ayrıca, Paleosen-Eosen Maksimum Isıl Değerleri (PETM) sırasında sıcaklıklar yükselirken, asteroit etkilerinin dünyayı soğutması beklenir. Büyük volkanik patlamalar veya muazzam metan salınımı gibi diğer olaylar, ısınma için başta gelen şüphelilerdendir.

Genel olarak, Memeliler Çağı'nda değişimlere neden olan çarpmalara ilişkin kanıtlar yetersizdir. Çarpmalar, çoğu geçiş için uygun değildir ve bilinen hiçbir kalıcı küresel etkisi olmayan çok sayıda büyük çarpma olmuştur (bunların kesinlikle bölgesel veya kısa vadeli etkileri vardır). Peki, bitki ve hayvan yaşamındaki hızlı iklim dalgalanmaları ve büyük değişimler başka nasıl açıklanabilir? Son araştırmalar, dünyayı değiştiren çok farklı bir çarpma türünü ortaya çıkarmıştır.

SERADAN BUZHANEYE

Mevcut dünya haritası, çoğu kıtanın konumu açısından, 66 milyon yıl öncekinden olağanüstü derecede farklı değil. Ancak iklim, ilk memeli ve primat atalarımızın deneyimlediğinden esas olarak farklıdır. Kimyasal örnekler sayesinde, asteroit çarpmasından yaklaşık 15 milyon yıl sonra gezegenin çok daha sıcak olduğunu biliyoruz. 51-53 milyon yıl önce, Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığı 25°C-30°C'ye, tropik ormanlar Dünya tarihindeki en büyük boyutlarına ulaştı, subtropikal ormanlar kutup bölgelerine kadar uzandı ve gezegen üzerinde genel olarak buzul yoktu.

Bugün, küresel ortalama sıcaklık yaklaşık 14°C ve her iki kutup da buzullarla kaplıdır. Gezegen, erken Eosen'in "sera" ortamından

"buzhane"ye dönüşmüştür. Paleoiklim kayıtları, ortalama yüzey sıcaklığının hem kademeli hem de daha hızlı evrelerde azaldığını, zaman zaman ısınma aralıklarıyla birlikte yayıldığını ortaya koymaktadır (bkz. Şekil 2.3).

Peki ya asteroitler değilse, bu soğuma sürecini başka ne açıklayabilirdi?

İki önemli ipucu bulundu. Birincisi, Antarktika'nın buzullaşmasının zamanlarıdır. Kırk milyon yıl önce Antarktika da benzer durumdaydı ama fosillerden buranın yemyeşil bir görünümde olduğunu biliyoruz. Ancak geç Eosen'de donmaya başladı ve devasa kıta erken Oligosen döneminde buzla kaplandı ve o zamandan beri buzullar altında kaldı. Antarktika'nın buzullaşması, büyük su kütlelerini buz halinde bağladığı ve dünya çapında deniz seviyelerini düşürdüğü için Dünya'nın iklimi için büyük bir dönüm noktasıydı.

İkinci ipucu, karbondioksitin (CO_2) paleoiklim kaydından geliyor. Karbondioksit, atmosferdeki ısıyı hapsetmesine yardımcı olan birincil gaz olduğu için Dünya'nın ana sıcaklık kontrol düğmesi olduğu söylenir. CO_2 seviyeleri, ılık erken Eosen'de son derece yüksekti, yaklaşık milyonda 1400 (ppm) parça (günümüzdeki 415 ppm değeriyle kıyaslayın) ancak geç Eosen'de azaldı ve daha sonra erken Oligosen'de hızla 600-700 ppm'ye düştü.

CO_2'deki düşüş, Eosen-Oligosen geçişi boyunca büyük soğumayı ve Antarktika'nın buzullaşmasının başlangıcını açıklayacaktır. Peki, CO_2'deki keskin düşüş nasıl açıklanabilir?

CO_2'nin atmosferden uzaklaştırılmasının birkaç yolu vardır. Bitkiler CO_2'yi, bir kısmı toprağa gömülü olan gıda ve biyokütleye dönüştürerek, Okyanuslar sudaki karbondioksiti çözerek gerçekleştirir ve kayalar da kimyasal ayrışma yoluyla yapar: Yağmur suyundaki karbondioksit, kayaları yavaş yavaş çözen karbonik asit oluşturur, bu da daha sonra kalsiyum, magnezyum ve diğer iyonları nehirlere ve okyanuslara bırakır ve kabuk oluşturan, sonunda ölüp gömülen canlılar üzerinden karbonat iyonlarıyla birleşir. Bu mekanizmalardan

herhangi biri, geç Eosen'deki karbondioksit düşüşünü açıklayabilir mi? Gezegen yüzeyinde bu işi yapmak için daha fazla orman, daha fazla okyanus veya daha fazla kaya var mıydı?

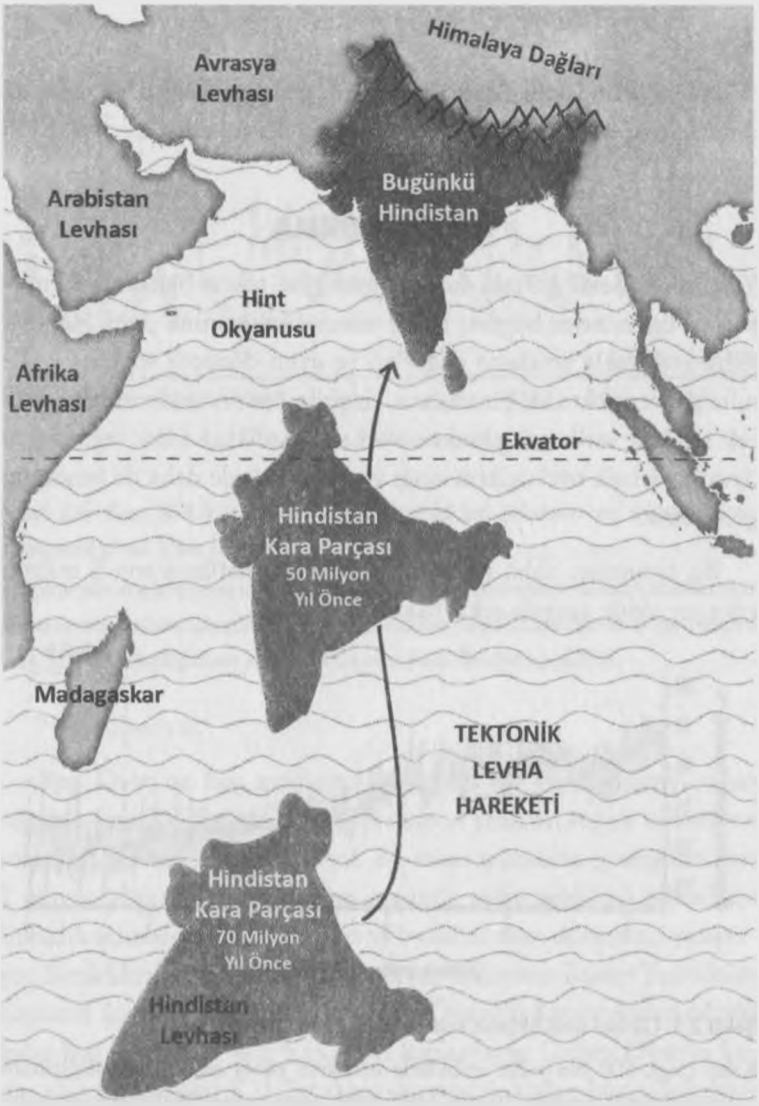
Daha fazla kaya olduğu ortaya çıktı ve bunun için Hindistan'a veya daha özel olarak Hindistan levhasına teşekkür edebiliriz. Bu levha, dünya kıtaları ve okyanuslarının bir tür küresel yapbozunu oluşturan bir düzineden fazla büyük, düzensiz şekilli tektonik levhadan biridir. Sert kayalardan oluşan, Dünya'nın kabuğunu ve üst mantoyu oluşturan plakalar, yarı sıvı bir magma ve erimiş kaya tabakasının üzerinde salınır şekilde hareket eder. Çoğunun hareketi oldukça yavaştır, yılda yaklaşık 2-4 santimetre düzeyindedir.

Ancak Hint levhası bir istisnadır. 66 milyon yıl önce, güney yarımkürede, Asya kıtasının 4.000 kilometre güneyinde ve Madagaskar yakınlarında olmak üzere çok farklı bir konumdaydı. Tektonik kuvvetler, levhayı yaklaşık 40 milyon yıl önce Asya ile çarpışana kadar yılda yaklaşık 18-20 santimetre olağanüstü bir hızla kuzeye doğru itti (Şekil 2.4).

Öncü Jeokimyacı Wally Broecker, bu olayı "dünyayı değiştiren çarpışma" olarak tanımlar. Bu ağır çekim çarpışma yavaş yavaş Tibet Platosu'nu ve Himalaya Dağları'nı oluşturmuş, bu yükselen dağlar, geç Eosen'de ve o zamandan beri atmosferden daha fazla CO_2 çekerek Dünya'nın iklimine yeni bir yön vermiştir.

Hint levhasının daha hızlı hareketi sadece bir tesadüf, jeolojik bir kaza gibi görünüyor. Levha, yaklaşık 140 milyon yıl önce Gondwanaland adlı dev bir süper kıtanın parçalanmasıyla oluşan diğer tüm levhalardan yaklaşık 100 km daha incedir. İnceliği, tektonik kuvvetlerin onu diğer levhalardan yılda yaklaşık 15 santimetre daha hızlı itip çekmesini sağlamıştır.

Ama yılda 15 santimetre ne kadar fark yaratır ki. Bu yüksek hız, Hint levhasının 20 milyon yılda çok daha büyük bir mesafe kat etmesine yol açmıştır. Daha tipik hızlarda, levha Asya'ya çarpmayabilecekti. Dünyanın iklimi kesinlikle bu şekilde değişmeyecek ve hayat hikâyesi çok daha farklı olacaktı.



Şekil 2.4. Dünyayı değiştiren çarpışma

Hint tektonik levhası hızla kuzeye doğru hareket etti ve yaklaşık 40 ila 50 milyon yıl önce Avrasya Levhası ile çarpışarak Himalaya dağlarını yarattı ve gezegenin iklimini yeni, daha serin bir yola soktu. Şekil, USGS[1] (2015) kayıtları esas alınarak Kate Baldwin tarafından çizilmiştir.

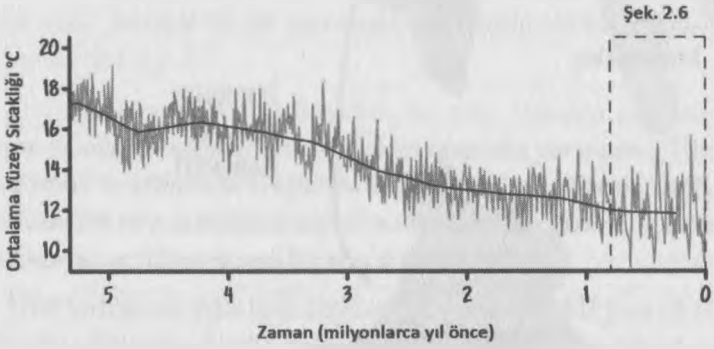
1 **USGS**: Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu, ABD'nin peyzajını, doğal kaynaklarını ve onu tehdit eden doğal tehlikeleri inceler. [ç.n.]

Ancak Hindistan Asya ile çarpıştı, gezegen değişti ve daha da dramatik ve şaşırtıcı şekillerde değişmeye devam ediyor.

BÜYÜK DONMA

Yukarıdaki Şekil 2.3'teki sıcaklık grafiğine tekrar bakalım. 66 milyon yıl öncesinden bugüne kadar uzanan kalın enine çizgi, 500.000 yıllık aralıklarla ortalama değerleri ve uzun dönemli soğuma eğilimini göstermektedir. Şimdi, ana çizginin üzerine eklenmiş ve gerçek sıcaklık verilerini gösteren sivri uçlara dikkat edin; sağa doğru devam edersek sivri uçların aşağı ve yukarı yönde daha da uzadığını görebiliriz.

Bu ayrıntıları daha iyi görmek için, genişletilmiş son 5 milyon yılın yer aldığı aşağıda şekle bakın:

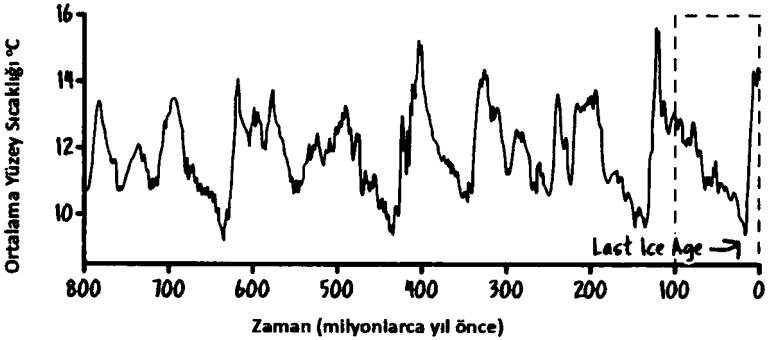


Şekil 2.5. Global sıcaklıkların son 5 milyon yıldaki değişimi

Kalın çizgi, 500 bin yıllık aralıklarla ortalama yüzey sıcaklığının değişimini göstermektedir; çizginin üzerine bindirilmiş aşağı-yukarı yönlü dalgalanmalar doğrudan ölçümlere ait veri noktalarıdır. Son birkaç milyon yılda bunların genliklerinin daha da arttığına dikkat edin. (Hansen ve arkadaşlarına dayanarak çizen Kate Baldwin)

Şeklin son 2 milyon yılın bulunduğu sağ tarafına bakın. Son 800.000 yıl, ayrıntılı olarak büyütülmüş şekilde kesikli çizgi içinde verilmiştir:

Şek. 2.8



Şekil 2.6. Son 800.000 yılda küresel sıcaklıklar. (Hansen ve arkadaşlarına dayanarak çizen Kate Baldwin).

Sıcaklıktaki düşüşler, buz tabakalarının yayıldığı buzul dönemleridir; sıcaklıktaki zirveler, buz tabakalarının geri çekildiği daha kısa buzullararası dönemlerdir. (Hansen ve arkadaşlarına dayanarak çizen Kate Baldwin) (2013).

Neler olmuştu?

Buz Devri'ne hoş geldiniz. Eosen'den bu yana yaşanan uzun soğuma trendi, Dünya'yı son 300 milyon yılın en soğuk dönemine sokmuştu. Evet, 300 milyon yıl. Bu uzun çıkıntılar, gezegenin son 2 milyon yıldır iki farklı durum arasında gidip geldiğini gösteriyor. Sıcaklık salınımları buzul çağları ve buzullar arası dönemleri yansıtıyor. Sıcaklıktaki düşüşler, büyük buz tabakalarının Kuzey Yarımküre boyunca ilerlediği buzul dönemleridir. Örneğin Kuzey Amerika'daki kalın buz tabakaları tüm Kanada'yı kaplamış ve Güney Ohio'ya kadar ulaşmıştı (Şekil 2.7). Sıcaklıktaki tepe noktalar, buz tabakalarının geri çekildiği daha kısa süren buzullararası dönemlere karşılık gelmektedir. Şu anda buzullar arası bir dönemdeyiz ve son 11.700 yıldır böyleyiz.



Şekil 2.7. Son buzul çağında Kuzey Amerika üzerinde buz örtüsü

Yirmi bin yıl önce, buz tabakalarının sınırları güneyde Ohio ve New York'a kadar uzanıyordu. Kate Baldwin'in çizimi.

Buz Devri'nin başlangıcı için tetikleyici olup olmadığı bilinmemektedir. Katalizör(ler) ne olursa olsun, CO_2 seviyelerinin Pliyosen'de yaklaşık 415 ppm'lik yüksek bir seviyeden Buzul Çağı'nın (Pleistosen) başlarında yaklaşık 280 ppm'ye düştüğü açıktır. Bu yeni, daha düşük CO_2 seviyesi, diğer etkenlerin (örneğin, güneş ışığının buzdan yansıması) devreye girdiği ve daha fazla soğumaya neden olduğu kritik bir eşik gibi görünüyor.

Ancak soğuma sabit değil, döngüseldir. Gezegen bir kez daha soğumadan önce bir şeyin sıcaklığının tekrar yükseltmesi gerekir. O bir şey güneştir ya da daha doğrusu, Dünya'ya düşen güneş ışınlarıdır.

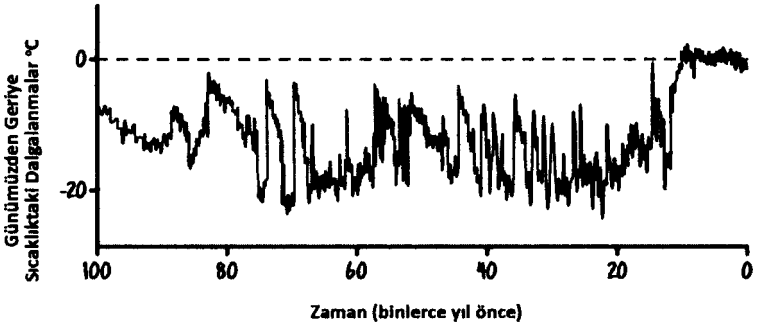
Buzul döngülerinin düzenliliği, Kuzey Yarımküre'nin daha yüksek enlemlerine çarpan güneş ışığı miktarını etkileyen Dünya'nın yörüngesindeki ve eğimindeki küçük değişikliklerden kaynaklanmaktadır. Son bir milyon yılda, en belirgin iki periyodiklik yaklaşık 100.000 yıl ve 23.000 yıl uzunluğundadır. Uzun salınımlar, diğer büyük gezegenlerin neden olduğu Dünya'nın neredeyse dairesel yörüngesindeki sapmalarla gerçekleşir ve buzul/buzullar arası döngüyü belirler. Kısa salınımlar, dünyanın dönme eksenindeki güneş ve ayın neden olduğu yalpalama nedeniyle gerçekleşir ve uzun buzul döngüleri içindeki buzul/buzullar arası evreleri belirler.

Ancak, Güneş'ten gelen radyasyon, sıcaklığın birincil nedeni değildir. Dünya ısınmaya başladığında, okyanuslardan karbondioksit salınır ve ısınma hızlanır. Ve okyanuslar soğudukça daha fazla CO_2 depolar. Geçtiğimiz 800.000 yılda, CO_2 seviyeleri yaklaşık 180 ppm ile milyonda 280 parça arasında salınım yapmıştır (çok yakın zamana kadar bu değer 400 ppm'yi aştığı şeklinde geçiyordu ama bu elinizdeki kitap farklıdır!). Sonuç, atmosferik CO_2 seviyelerinin ve dünyanın yüzey sıcaklığının uzun salınımlar boyunca yakından ilişkili olduğudur.

Ancak uzun yörüngesel döngüler ve karbondioksit, hikâyenin tamamı değildir. Buzul Çağı boyunca iklimin tahmin edilenden daha düzensiz ve çalkantılı olduğu ortaya çıktı.

FİBRİLASYON

Son 100.000 yıldaki Grönland sıcaklıklarının (bugüne oranla) grafiği aşağıda verilmiştir:



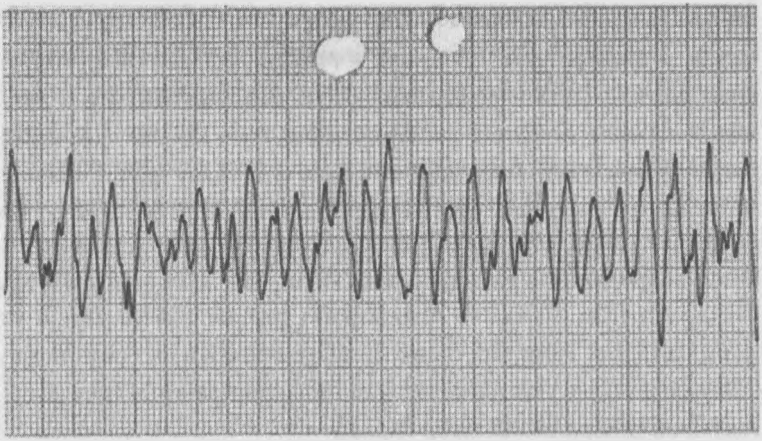
Şekil 2.8. Grönland yüzey sıcaklıklarında son 100.000 yılda yaşanan hızlı değişimler

Grönland'da her birkaç bin yılda bir buzul çağlarında 20°C'ye varan ani değişimler meydana geldi ve bu da bu süre zarfında dünya genelinde son derece istikrarsız bir iklime işaret ediyor. (ACIA (2004) verilerine dayanan Kate Baldwin'in çizimi).

"Vay canına, ne kadar da büyük salınımlar olmuş" diye düşünüyorsanız, bilim insanlarının Dünya'nın ikliminde, sadece buzul çağları ve buzullar arası dönemlerde değil, son 2 milyon yılda ama özellikle son buzul çağında ne kadar istikrarsız olduğunu keşfettiklerinde tam olarak ne düşündüklerini anlamaya çalışıyorsunuz demektir.

Rakip Avrupalı ve Amerikalı sondaj ekipleri Grönland buzulunun üç kilometre altına ulaştığında ve iklimde "aşırı" dalgalanmalar olarak tanımladıkları şeyi keşfettiklerinde yıl 1992'ydi. Buzul ve içinde hapsolmuş hava kabarcıkları ile tozlar, oluşumu sırasındaki iklimin kaydını tutar. Son 100.000 yılda yirmi beş kez olmak üzere, Grönland yavaş yavaş soğumuş ve ardından sadece 10-20 yılda 7°C kadar ısınmıştır. Karşılaştırma yapacak olursak, bugün bilim insanlarını endişelendiren Grönland buz tabakasının hızla erimesi, geçen yüzyılda sıcaklıkta sadece 2-3°C'lik bir artışla gerçekleşti. Bu 25 salınım bu nedenle küresel ölçekte büyük altüst oluşları yansıtıyor. Peki, ne olup bitmekteydi?

İşte bir grafik daha, ne olduğunu anlamaya çalışalım:



Şekil 2.9. Ventriküler Fibrilasyon

Bu, Ventriküler fibrilasyon (Düzensiz kalp atışı) olan bir hastanın elektrokardiyogramıdır. Beatson ve arkadaşlarından alınan görüntü. (2011) Oxford University Press'in izniyle.

Şaşırdık mı?

Oldukça iyi bir benzetmedir bu. Fibrilasyon, kas liflerinin rastgele kasıldığı kaotik, asenkron ve düzensiz bir kalp atışı anlamına gelen bir aritmi şeklidir. Artık biliyoruz ki, yörüngesel buzul salınımlarının uzun, düzenli ritimleri üzerine bindirilmiş dünyanın iklimi en azından son 800.000 yıldır fibrilasyon içindedir.

Örneğin, yaklaşık 12.900 yıl önce, dünya buzullar arası bir duruma doğru ısınırken, gezegenin bazı bölgeleri birkaç on yıl içinde aniden birkaç derece soğumuş, ardından 1200 yıl sonra, beş yıl gibi kısa bir süre içinde tekrar ısınmıştı. Bu dönem, soğuk hava dalgası sırasında güneye doğru uzayan soğuğa adapte olmuş bir bitkiye (*Dryas octopetala*) referansla Genç Dryas olarak adlandırılır.

Bu veya başka bir fibrilasyonun neden meydana geldiği hâlâ yoğun çalışma gerektiren bir konudur. İklim değişikliği olayları arasındaki zamanlama rastgeledir, bu nedenle tek bir faktör belirlemek zordur. Tam tersi, faktörlerin kombinasyonu bir devrilme noktasına kadar birikmekte ve iklim tersine dönmektedir. Açıklamanın bir kısmında Atlantik Okyanusu'ndaki sirkülasyon da yer alıyor gibi görünmektedir. Tropik Atlantik'in ılık suları, yüzey suyu buharlaştıkça atmosferi ısıtan Gulf Stream tarafından kuzeye taşınır. Yüzey suları, daha sonra daha tuzlu, daha soğuk ve daha yoğun hale gelir ve alt kutup bölgesine akar. Bu soğuk, tuzlu derin sular daha sonra ekvator, Güney Amerika, Afrika ve Antarktika'yı geçerek güneye yönelir ve sonunda Güney Atlantik'e döner, döngüyü tekrarlar. Bu Atlantik sirkülasyonu, Kuzey Yarımküre'yi ısıtan bir ısı pompası gibi işlev görür. Ancak bu pompa sık sık açılıp kapanır.

Sirkülasyon ve ısı pompası, çok hızlı bir şekilde çökebilen ve hızlı soğumaya neden olabilen kuzey buzullarının erimesi gibi bir tatlı su akışıyla da kapanabilir. Alternatif olarak, daha soğuk zamanlarda, daha az yeni erimiş su bulunacağından, tuzluluk artar, sirkülasyon güç kazanır ve bu da tekrar hızla ısınmaya neden olabilir.

Atlantik sirkülasyonunu keşfeden Wally Broecker, bu tür mekanizmaların iklim değişikliğine karşı bir tampon gibi davranmaktan çok, onun gücünü nasıl artırdığını görünce şaşırmıştır. Bu hızlı fibrilasyonların keşfinden kısa bir süre sonra Broecker, "Paleoiklim kayıtları bize, Dünya'nın iklim sisteminin kendi kendini dengeleyici olmaktan çok, küçük dürtülere bile aşırı tepki veren huysuz bir canavar olduğunu haykırıyor." demiştir.

Tabii ki, bu huysuz canavarla ilgili en ilginç sorular, bu aşırı tepkilerin yaşam üzerindeki etkileriyle ilgilidir. Asteroit, zamanlarının çoğunu suda veya yerin altında geçirenler dışında kalan çoğu canlıyı yok etmişti. Son 2 milyon yılda iklimdeki düzensiz, ani, büyük dalgalanmalara ne tür canlılar uyum sağlayabilmişti acaba?

Bu sorunun cevabı için şunu yapın; bu kitabı masaya bırakıp aynaya bakın. Şu anda tam da o canlıyı görüyorsunuz.

İklimdeki bu aşırı dalgalanmaların türlerimiz (ve atalarımız) için ne anlama gelebileceği hakkında bir fikir sahibi olabilmek adına paleo-dedektiflerin dikkatlerini Grönland ve Antarktika'nın buzlarındaki kayıtlardan Afrika'nın kayalarına ve toprağına gömülü diğer türdeki ipuçlarına çevirmeleri gerekiyor. Buradaki olay, Afrika'nın Ekvatora daha yakın olan soğuk ve sıcak dönemleriyle değil, nemli ve kurak döngülerle ilgilidir. Örneğin toz, polen, göl ve açık deniz çökeltileri, nemli ve kurak dönemler arasındaki yoğun dalgalanmaları göstermektedir.

Bu nemli ve kurak dalgalanmaların büyüklüğü ve hızı hakkında bir fikir edinebilmek için dünyanın en büyük ve sıcak çölü Sahra'nın (9.200.000 km^2), 5.000 ila 11.000 yıl önce yeşillik olduğunu düşünmeye çalışın! Son buzul çağının sona ermesinden sonra, aşırı kurak Sahra, kurumayan göller oluşturmaya ve çeşitli bitkileri, hayvanları, insanları beslemeye yetecek kadar, bol, günümüzdekine göre on kat fazla yağış almıştı. Cezayir, Çad, Libya, Sudan ve Mısır'daki binlerce kaya resmi ve gravürde, filleri, su aygırlarını, zürafaları, antilopları ve "Yeşil Sahra"nın avcılarını görürüz, —sadece birkaç yüzyıl içinde— iklim değişerek kuraklık başlamış ve bugünkü çöl ortaya çıkmıştır.

İklimdeki dalgalanmaların türümüz ve diğer türler üzerindeki uzun vadeli sonuçlarını anlamak için paleo-dedektifler, insanların ve atalarımızın varlığına ilişkin uzun kayıtların bulunabileceği bölgelere odaklandılar. Böyle bir yer, güney Kenya'da Nairobi'nin kırk mil güneybatısında, iki sönmüş yanardağ, Olorgesailie Dağı ve Oldonyo Esakut arasındaki Rift Vadisi'nin tabanında bulundu.

Öncü paleoantropologlar Mary ve Louis Leakey, ilk olarak 1942'nin Paskalya'sında hafta sonu Olorgesailie Havzası'nın aşınmış tepeleri ve vadilerini keşfettiler. Beyaz çökeltileri taramak için sahaya dağıldılar ve neredeyse aynı anda birbirlerine seslendiler. Mary, Louis'e seslenip duruyordu, acele etmesini ve ne bulduğunu hemen göstermesini istiyordu. "Sahayı gördüğümde gözlerime inanamadım.

On beşe yirmi metrelik bir alanda, kelimenin tam anlamıyla yüzlerce mükemmel, çok büyük ve küçük boyutlu baltalar vardı." diye hatırladı Louis. Mary, 700.000 yaşındaki bu manzaraya baktıkları halde, sanki bu taş ocağı daha yeni terk edilmiş gibi görünüyordu. Sahne o kadar şaşırtıcı ve etkileyiciydi ki, büyük bir bölümünü buldukları gibi bırakmaya karar verdiler. Bir yürüyüş yolu yapıldı ve saha bir müze olarak ziyarete açıldı, Olorgesailie günümüzde de ziyaret edilebilir durumdadır.

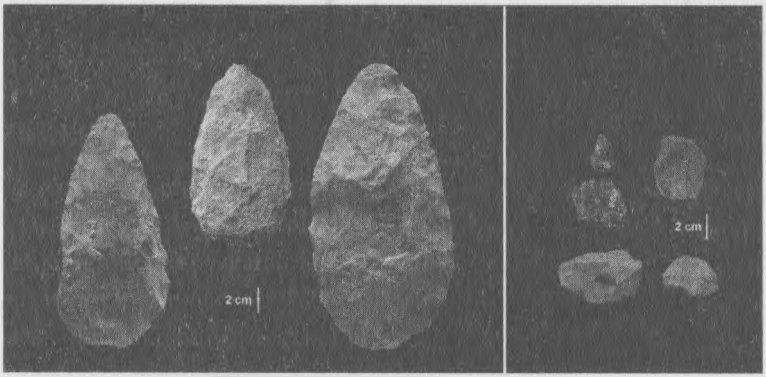
Buradaki çökeltiler, son 1.2 milyon yıllık geçmişe ait çok sayıda bulgu içerdiğinden, araştırma çalışmaları bu alanda yoğun bir şekilde devam ediyor. Birkaç on yıl boyunca, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Smithsonian Enstitüsü ve Kenya Ulusal Müzesi ile bağlantılı, büyük bir disiplinler arası araştırmacı ekibi, bu tarihi ortaya çıkarmak için çalışmalar yürüttü. Taş aletlerin yanı sıra, iklime ait kayıtlarla birlikte, bu dramatik hikâyeyi anlatan bol miktarda hayvan fosili de bulundu.

1.2 milyon yıl öncesinden 400.000 yıla kadar en az on altı büyük çevresel değişiklik meydana geldi ve bu sırada görünüm, birinden diğerine değişerek sulak alanlar ve kuru otlaklar arasında gitti geldi. Değişim son 320.000 yılda daha da hızlandı. İlginçtir, bu değişimlerin büyük çoğunluğunun ardından gelen tortu tabakasında el aletlerine rastlandı; bu bulgular bize, hominidlerin bir milyon yıllık oldukça değişken iklimde de bölgede yaşamlarını sürdürebildiğini veya en azından bölgeyi yeniden kolonize etmiş olabileceğini düşündürüyor.

Ancak hayvan kemikleri başka bir hikâye anlatıyor. Örneğin, yaklaşık 500.000 yıl önce mevcut olan ve zürafalar, antiloplar, zebralar ve fillerle akraba olan birçok büyük bedenli otlakçı da dâhil olmak üzere otuz memeli türünden sadece yedi tanesi sonraki 200.000 yıl boyunca varlığını sürdürebildi. Bu türlerin yerini, daha önce Olorgesailie'de bulunmayan on altı yeni tür aldı. Türlerdeki bu büyük dönüşümün en basit açıklaması, hızla yön değiştiren iklimin, türlerin

biyolojik olarak uyum sağlayabileceğinden daha hızlı yeni koşullar getirmesiydi.

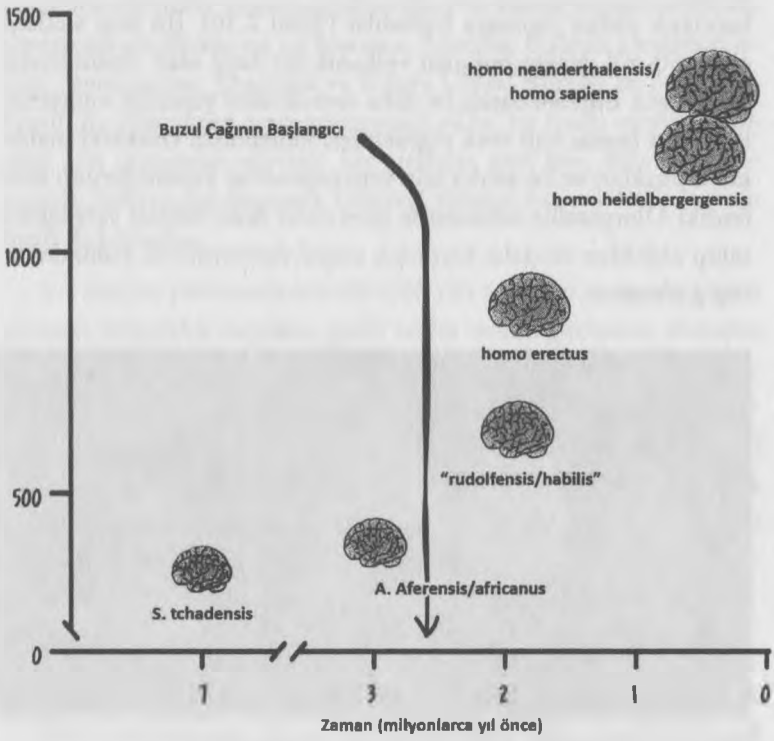
Hominidlerdeki bu dayanıklılığın açıklaması ne olabilir? Taş alet buluntuları bazı güçlü ipuçlarını ortaya koyuyor. Aynı 200.000 yıllık aralıkta, hominidlerin kullandıkları alet grubu çarpıcı bir şekilde yeniden tasarlandı. 500.000 yıl önce, Olorgesailie'deki aletler, ağırlıklı olarak, sahadaki kayalardan yapılmış, el yapımı büyük baltalardı. Ancak 500 ila 320 bin yıl önce, ilk insanlar silahlara, ince kazıyıcılara ve tığlara takılabilecek sivri uçların da aralarında bulunduğu daha karmaşık aletler yapmaya başladılar (Şekil 2.10). Bu yeni aletlerin çoğu, 50 mil uzakta bulunan volkanik bir kaya olan obsidiyenden yapılmıştır. Bundan başka, bu daha sonraki aleti yapanlar, muhtemelen vücut boyası için renk pigmentleri kullandılar. Uzaktaki malzeme kaynakları ve bu aletler için yeni tasarımlar, yapımcılarının daha önceki Olorgesailie sakinlerine göre daha fazla bilişsel yeteneklere sahip oldukları ve daha karmaşık sosyal davranışlarda bulunduklarını gösteriyor.



Şekil 2.10. Olorgesailie, Kenya'da bulunan el yapımı aletler

Hızlı iklim değişikliği döneminde Olorgesailie çevresinde kullanılan aletler büyük baltalardan (solda) daha küçük, daha ince işlenmiş bıçaklara ve sivri uçlara (sağda) dönüştü. Smithsonian Enstitüsü, İnsanın Kökeni Programı'nın izniyle.

Tek becerileri bunlardan ibaret değildi. Hominidler, 800.000 ila 1 milyon yıl önce ateşi kontrol etmeyi öğrendiler ve ateşi, avlanmak, yiyecekleri pişirmek (pişmiş yiyeceklerden daha fazla kullanılabilir kalori elde edilir) ve ısınmak için kullandılar. Tüm bu bilgiler, bu avcı-toplayıcıları, aşırı değişkenlik gösteren iklimin ve daha az öngörülebilir kaynaklarla (su, bitkiler, av eti ve malzeme) başa çıkabilme konusunda diğer canlılardan daha yetenekli hale getirecekti.



Şekil 2.11. Buz Devri sırasında insan beyninin büyüklüğü önemli ölçüde arttı
Uzun bir göreli durağanlık döneminden sonra, insan beyni son 3 milyon yılda üç kattan fazla büyümüştür. Bolhuis ve arkadaşlarına dayanan Kate Baldwin çizimi (2014).

Ve avcı-toplayıcılar nasıl daha fazla bilişsel ve sosyal davranışlar kazanmış olabilirlerdi?

Daha büyük ve daha iyi çalışan beyinlerle.

İnsanın evrimindeki ayırt edici özellik olan hominid beyin boyutu, Buzul Çağı'nın başlangıcından bu yana çarpıcı bir şekilde yaklaşık üç kat arttı (Şekil 2.11). Paleoantropologlar, Dünya tarihindeki bu olağandışı değişken dönemle yaşam alanlarını değiştirme ve oluşturma yeteneğine sahip, olağandışı büyük beyinli, alet yapan hayvanların evrimi arasında nedensel bir bağlantı olduğuna inanırlar.

Bizler, uzun zaman önce bir jeolojik kaza nedeniyle harekete geçirilen ve herhangi bir memelinin karşılaştığı en istikrarsız ve öngörülemeyen iklim döngülerinden birinin —bir dizi şanslı jeolojik olayın— şekillendirdiği özel bir Buzul Çağı'ndan doğduk. Bugün, cesur Buzul Çağı avcı-toplayıcı atalarımız sayesinde, beynimizi avcılık ve toplayıcılıktan daha fazlası için, eğlenceli uğraşlar (bahçe işleri, resim, kitap yazmak vb.) veya kum torbası olarak kullanıyoruz.

KISIM II

HATALAR DÜNYASI

KİTİM K.

HATALAR DÜNYASI

Biraz "Ya olmasaydı?" oyununu oynadık şimdiye kadar. Ya evren gezegenimize hızla bir top fırlatmasaydı? Ya K-Pg asteroidi Yucatan'ı ıskalasaydı? Hindistan alt kıtası Asya'ya doğru daha düşük hızla çarpsaydı? Ya iklim, Buzul Çağları boyunca yukarı ve aşağı değişkenlik göstermeseydi?

Canlıların bulunmadığı, fiziksel dünyadaki tüm bu "ya olmasaydı"ların cevapları, hayatın gidişatının kesinlikle çok farklı olacağı ve burada olmayacağımızdır. Bu nedenle açık veya örtülü sonuç, rastlantısal olarak burada olduğumuzdur. Rastlantının canlılar açısından rolünü derinlemesine inceleyerek bu noktayı açacağım, ancak bunu yapmadan önce, rastlantı derken ne demek istediğimi açıklığa kavuşturmak gerekiyor.

Şimdiye kadar şans ve rastlantının tam net tanımlarını vermedim, bunu bilinçli olarak yaptım. Bilim insanları ve tarihçiler, belirli bir sonucun neden(ler)ini açıklarken, birbiriyle ilişkili ancak farklı iki fikri dikkate alırlar; şans ve rastlantı. İki terimin her iki disiplinde de katı tanımları yoktur ve konuşma dilindeki kullanımları farklılık gösterir. Fakat şans ve rastlantıyı birbirinden ayırmak hem yararlı hem de önemlidir, bu yüzden bu terimleri kullanırken ne demek istediğimi burada tanımlayacağım.

Şans derken, nadiren gerçekleşen, tahmin edilemez veya rastgele bir olayı veya rastgele olacak kadar çok sayıda değişken veya etken içeren bir olayı kastediyorum. Şimdiye kadar; asteroitlerin çarpması, tektonik levhaların oluşumu, hareketi, çarpışması ve küresel iklimin hızlı değişmesi gibi rastgele olay türlerini gördük.

Rastlantıyı ise tarihsel anlamında, belirli bir sonuç için gereken geçmiş olay veya süreç şeklinde kullanacağım. Eğer bir sonuç, bir dizi olay veya sürece bağlıysa (koşulluysa), tüm bu olaylar olduğu gibi ortaya çıkmadan gerçekleşmeyecekse, o zaman her olay veya adım bir rastlantı olacaktır. O halde, burada şans, olayın kendisiyle ilgilidir, oysa bir rastlantıda olayın yararı ancak olup bittikten sonra ortaya çıkar. İkisi arasındaki karşılıklı ilişki, şansın bir olayın etkileri aracılığıyla tarihsel bir rastlantı haline gelebilmesidir.

Rastlantı, şansın sonucudur. Örneğin, eşlerimizle şansın yardımıyla tanışırız ama bu olay çocuklarımızın varlığı için bir rastlantı haline gelir. Benzer şekilde, Yucatan'daki asteroid çarpması şansa bağlı bir olaydır ancak daha sonra memelilerin, primatların ve türümüzün ortaya çıkışı bir rastlantıdır.

Bu anlam ayrımı yararlıdır, bir dizi rastlantı nedeniyle dünyanın veya yaşamlarımızın olduğu gibi olduğunu söylemek oldukça basit bir açıklamadır ve aydınlatıcı değildir. Buradaki ağırlık şans yönündedir ve aradığım açıklamanın gücü, belirli olmaktan, beklenmedik durumlara dönüşen rastgele olayların kökenini ve anlamını anlıyor olmaktan gelir.

Yüzyıllar boyunca, yaşama dair hâkim görüş, hiçbir şeyin şansa veya rastlantıya bırakılmadığı, tüm bu anlaşılması güç karmaşıklığı ve güzelliğin Tanrı tarafından mükemmel bir şekilde, bu mevcut haliyle tasarlandığı ve değişmediği yönündeydi. Gerçekten de bir zamanlar neredeyse tüm ciddi bilim insanlarının inandığı şey buydu. Sonraki üç bölümde, her canlının içinde işleyen şans mekanizmasının derinliklerine bakacağız. Canlıların dış fiziksel dünyanın koşullarıyla başa çıkıp çıkmayacağı ve bunu nasıl yapabileceğini belirleyen karakteristikleri oluşturan işte bu, içsel, rastgele süreçtir. Öyleyse yaşayan dünya, tamamen bağımsız, rastlantıların yönettiği iki sürecin (dış-cansız ve içsel-canlı) buluştuğu yerdir. Bir araya gelmeleri, gezegenimizi dolduran tüm farklı formları doğurur.



BÖLÜM 3

AMAN TANRIM, HANGİ HAYVAN BUNU EMEBİLİR Kİ?

"Ey emriyle rüzgârların estiği, denizin dalgalarını kabartan ve gazabını dindiren en güçlü ve şanlı Rab Tanrı; Biz, yarattıkların, aynı zamanda sefil günahkârlar, bu büyük ıstırabımızda sana yalvarıyoruz; kurtar bizi yâ Rab, yoksa mahvoluruz. İtiraf ediyoruz ki bizler güvende olduğumuzda ve etrafımızdaki her şey sakinken, Tanrımız, seni unuttuk ve sözünü dinlemeyi, emirlerine uymayı reddettik: Ama şimdi bunun ne kadar korkunç olduğunu tüm harika eserlerinde görüyoruz; her şeyden önce korkulması gereken yüce Tanrı..."

Bu ifadeler, bir Monty Python skecinden fırlamış bir yakarış repliği gibi görünebilir ancak bu, kanonik *Anglikan Ortak Dua Kitabı*'ndan (1789) alınmış "Denizdeyken Fırtınada Okunacak Dua"dır. İngiliz donanmasının kaptanları ve mürettebatının onu ezbere bilip

okuması için çok iyi nedenleri vardı. Ayrıca dua etmeleri gereken çok sayıda bâdire atlatmışlardı çünkü bilimsel hava tahminin yapılamadığı zamanlarda ve keşfedilmemiş sularda, 1700 ile 1850 arasında Kraliyet Donanmasından yaklaşık 1.000 gemi kaybedilmişti.

Deniz kazası, risklerden sadece biriydi. İsyan bir başkasıydı. Fırtınalar, ağır iş yükü, dar yaşam alanı, kısıtlı imkânlar, sürekli sarhoş gezen denizciler ve vatan hasreti denizcileri isyana sürüklediği için uzun yolculuklarda moral ve disiplini sağlamak oldukça zordu. En ünlü isyan,elbette, 1789'da *HMS Bounty*'de çıkan ve Tahiti'de sâkin geçirilen beş aylık dinlenme ve özgür aşktan sonra, birkaç denizcinin kontrolü ellerine geçirip Kaptan William Bligh ve on sekiz mürettebatı, bir tekneyle gemiden ayrılmaya zorlaması ve onları açık denizin ortasında kaderlerine terk etmesiydi.

Liderlik, denizcilik bilgisi ve dayanıklılıkta en büyük başarılarından birinde Bligh ve arkadaşları, günde bir ons ekmek ve çeyrek litre sudan ibaret erzaklarıyla berbat havada 4.000 mil katettiler. Bununla birlikte, Bligh'in kariyeri boyunca iki isyanın daha hedefi olması muhtemelen tesadüf değildir. Ve eğer bir kaptan fırtınalar veya isyanlardan sağ kurtulduysa, içinde her zaman bir çıldırma korkusu taşır. Genç Charles Darwin'in HMS Beagle ile yolculuğa çıkmasına neden olan şey, tam da kaptanın bu çıldırma korkusuydu.

Geminin ilk Kaptanı Pringle Stokes, *Beagle*'ın Güney Amerika'ya yaptığı ilk yolculuğunun (1826-1828) iki yılında müthiş bir umutsuzluğa kapılmıştı. Şili'nin uzak güney sahilinde, mutlu bir şekilde Port Famine açıklarına demir atan Stokes, günlüğüne şunları yazdı:

"Hiçbir şey etrafımızdaki manzaradan daha kasvetli olamazdı. Bu körfezin sarp kıyılarını çevreleyen heybetli, ıssız ve çorak tepelerin üzerine şiddetli fırtınaların hırpaladığı yoğun bulutlar çökmüştü... Sanki manzaranın hüzün ve ıssızlığına bir yenisini daha eklemek istercesine, kuşlar bile yaklaşmaktan kaçınıyor gibiydi... Hava

öyle kötüydü ki 'insanı öldürecek' gibiydi." Stokes bir ay sonra intihar etti. Geminin komutası, Beagle'ı geriye götürecek olan başka bir gemiden teğmene, Robert FitzRoy'a verildi.

Üç yıl sonra, 1831'e ikinci bir sefer görevi verildi, dümende yine FitzRoy vardı. Fakat Stokes'un trajedisini yaşamak istemeyen, kendi ailesindeki depresyon ve intihar öyküsünden endişe duyan FitzRoy, denizde hissedeceği kesin olan yalnızlık ve izolasyonu dengelemek için Amirallikten bir talepte bulundu. İki yıllık bu yolculukta kendisine eşlik edecek iyi eğitimli bir beyefendiyi, bilimsel zevklerini, yemekleri ve sohbetlerini paylaşacak birini istiyordu. Teklif edilen ilk kişi Darwin değildi. Ancak ilk iki aday kabul etmeyince görev, 22 yaşında, "şevk ve girişimcilik dolu" Darwin'e önerildi. Teoloji çalışma planlarını erteleyen Darwin, dünyayı görme fırsatının, deyim yerindeyse üzerine atladı.

Kaptan ve Darwin çok iyi anlaşıyorlardı ve genç doğa bilimci, FitzRoy'un denizciliğine hayrandı. Horn Burnu'nu dolaştıktan sonra, şiddetli fırtınalar *Beagle*'ı bir hayli hırpaladı ve eğer dümende FitzRoy gibi becerikli biri olmamış olsaydı, üç büyük dalga nedeniyle neredeyse alabora olacaklardı. Darwin günlüğüne şöyle yazdı: "Ancak bunu yaşayanlar, gerçekten şiddetli bir rüzgârın yarattığı korku ve sefaleti bilebilir. Tanrı, Beagle'ı bu felaketlerden uzak tutsun."

Fakat denizde neredeyse üç yıl geçirdikten sonra FitzRoy keçileri kaçırdı. Ekim 1834'ün sonlarında, Beagle Şili kıyılarındayken ve Darwin karada bir hastalıktan iyileşmeye çalışırken, FitzRoy geminin kaptanlığını bıraktı ve komutayı bir teğmene devretti. Amiralliğin, ek bir araştırma gemisi satın almasından dolayı FitzRoy'u uyarmasına ve ek mürettebat talebini reddetmesine çok kızmıştı. Darwin, FitzRoy'un durumunu kız kardeşi Catherine'e yazdığı mektupta şöyle açıklıyordu:

"Beagle gemisinde bir sürü garip olay yaşadık ... Kaptan FitzRoy son iki aydır çok sıkı çalışıyor ... Amiralliğin tavrı soğuk ... Bin tane başka olay onu zayıflattı ve hasta etti. Buna, ruhlardaki depresyon ve

karar vermede problem yaşanması durumu da eşlik ediyor. Kaptan, akli dengesini kaybetmekten korkuyor."

Böyle bir problemin ortaya çıkması durumunda ne yapılacağı Amiralliğin FitzRoy'a yolculuktan önce verdiği talimatta açıkça belirtilmişti:

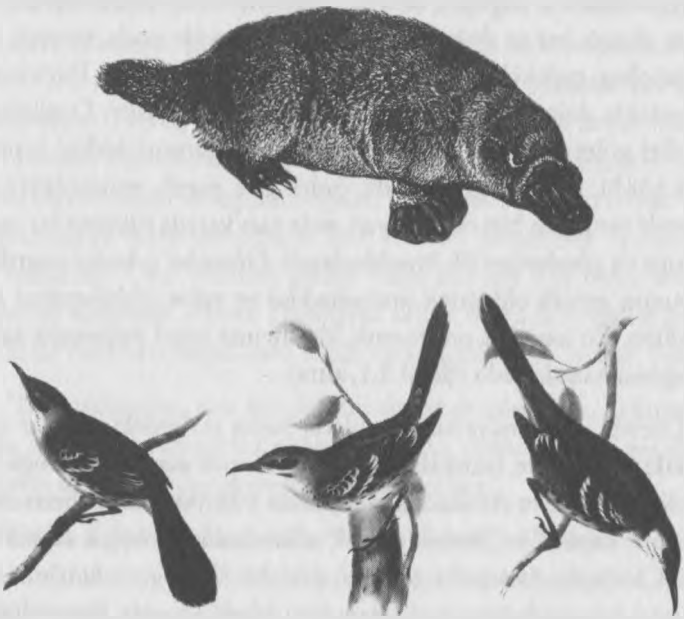
"Başınıza herhangi bir talihsiz kaza gelmesi durumunda, sonuçta Beagle'ın komutasının devredilebileceği zabitten, işbu belgeyle, gücü yettiği ölçüde araştırmanın gemide çalışılabilecek kısmını tamamlaması, örneğin o sırada Güney Amerika'nın batı yakasında kıyı araştırması yapıyormuş gibi çalışılması ve ancak yolculuk boyunca bir sonraki aşamaya geçilmemesi istenmektedir; yolculuğun devamında Pasifik geçilmeyecek, Rio de Janeiro ve Atlantik üzerinden İngiltere'ye dönülecektir."

Beagle aslında Güney Amerika'nın batı tarafındaydı. Dünyanın çevresindeki yolculuğun geri kalanı iptal edilecekti. Ancak Darwin'in bu noktada maceralarından vazgeçmeye hiç niyeti yoktu. Şili'yi keşfetmek için kendi başına yola çıkmak, ardından karadan Peru'ya geçmek, dağları aşarak Arjantin'e ulaşmak ve sonunda İngiltere'ye geri dönmek için başka bir gemi aramayı düşündü. Her iki durumda da, ne o ne de *Beagle*, Galapagos'u, Tahiti'yi, Avustralya'yı veya Güney Afrika'yı göremeyecekti.

Ancak FitzRoy kendini toparladı ve komutayı tekrar üstlendi. Böylece Darwin tüm buraları görebildi. Gördüğü şeyler, canlıların üzerinde yaşadığı bu dünyanın nasıl oluştuğuna dair onun ve bizlerin düşüncesini değiştirecekti.

Bizi Takdiri İlahi tarafından yaratılan ve dikkatle yönetilen bir dünyadan, tamamen doğal yasalarla işleyen bir dünyaya ilk götüren Darwin ve vahşi, evcil yaratıklardan oluşan bir hayvan topluluğuydu. Takdiri İlahi anlayışını şansın yardımıyla değiştiren ilk kişi Darwin olacaktı.

Darwin'in yaşadığı zamanın büyük bilmecesi, türlerin kökeniydi. Hemen hemen tüm bilim insanları ve sıradan insanlar tarafından benimsenen hâkim görüş, türlerin Tanrı tarafından mevcut durumları ve yerlerinde, çevrelerine tam olarak uygun ve değişmez biçimde özel olarak yaratıldığıydı. Darwin de Beagle'a bindiğinde özel yaratılmış olmaya inanıyordu ve yolculuğun büyük bölümünde yine böyle düşünmeye devam etti. Ancak birkaç karşılaşma, daha sonra filizlenecek bazı tohumlar ekmişti.



Şekil 3.1. Galapagos kuşları ve ornitorenk

Darwin dört farklı adada birbirine çok benzeyen ama farklı üç alaycı kuş türü buldu. Darwin'den (1838-1841) alıntı, üstte. John van Wyhe'nin (2002) izniyle çoğaltılmıştır. Yeryüzünde kalan iki yumurtlayan memeli türünden biri olan ornitorenk, altta. Lydekker'den (1904) alıntı.

FitzRoy'un kendini toparlamasının ardından sonra, *Beagle* ve Darwin Eylül 1835'te Galapagos Adaları'na yelken açtılar. Olağanüstü bir koleksiyoncu olan Darwin, —5.400'den fazla bitki, hayvan ve fosil örneği topladı—birkaç adaya keşif ve örnek toplamak için çıktı. Canlı varlıklar arasındaki ince farkları ayırt edebilecek şekilde gözlem yeteneği gelişmişti. Örneğin, farklı adalardaki alaycı kuşların birbirinden farklı işaretlere sahip olduğunu fark etti. Farklı adalardaki dev kaplumbağaların kabuklarının farklı şekillerde olduğunu gözlemledi (Şekil 3.1, üstte).

Ancak Darwin, bu aşamada bu gördüklerinden herhangi bir sonuç çıkarmadı. Galápagos'un siyah kayalıklarında beş hafta piştikten sonra *Beagle* batıya doğru yelken açtı. Sidney'de mola vermek, bir nebze olsun evdeki konfora benzer bir rahatlık sağladı ve Darwin'e iç kesimlerde dolaşma fırsatı verdi. Alacakaranlıkta Mavi Dağlar'daki bir dizi gölet boyunca yaptığı bir gezintide, şansına birkaç ornitorenk gördü. Kunduz gibi kürklü, ördek gibi gagalı, yumurtlayan iki memeli türünden biri olan ve yarı suda yarı karada yaşayan bu canlı, Avrupa'ya gönderilen ilk örneklerdendi. Görenler o kadar şaşırdılar ki bunun gerçek olduğuna inanamadılar ve sahte olabileceğini düşündüler. En azından ornitorenk, Yaratıcının espri anlayışına sahip olduğunu kanıtlıyordu (Şekil 3.1, altta).

Darwin, Avustralya'daki canlılarla başka yerlerdeki canlılar arasındaki zıtlıklar ve benzerlikler karşısında çok şaşırmıştı. Doğa bilimcilerin Asya ve Afrika'daki adaşlarına yüzeysel olarak benzedikleri için "kaplan" ve "sırtlan" olarak adlandırdıkları keseli etoburları gördü. Ve tıpkı Avrupa'da gördüğü gibi, bir "Karınca aslanı"nın konik kum kapanıyla böcekleri avlamasını izledi. Darwin, benzerlikleri tek bir Yaratıcı'nın eseri olarak yorumladı.

Daha batıya, Güney Afrika'ya seyahat eden Darwin, Cape Town'da ünlü Astronom Sir John Herschel'i ziyaret etme fırsatı buldu. Darwin daha önce Herschel'in *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*[2] (1831) adlı kitabını çoktan yutmuştu

2 *Doğa Felsefesi Çalışmaları Üzerine Ön Söylem*

ve yazarıyla tanıştığı için çok mutluydu. Genel olarak zamanının en büyük bilimsel aklı olarak kabul edilen Herschel, jeoloji, fosiller ve botaniğe de büyük ilgi duyuyordu. Kendi bahçesinde 200'den fazla türde bitki yetiştirdi ve Güney Afrika bitkilerini sınıflandırdı, bazı türlerin diğerleri arasındaki geçişi dolduruyor gibi göründüğünü kaydetti. Herschel, tanışmalarından önceki aylarda Darwin'den habersiz olarak, "gizemler gizemi" dediği şeyi, yani soyu tükenmiş türlerin yerine yenilerinin geldiğini düşünmüş ve bunu da yazıya dökmüştü.

Darwin günlüğüne bu görüşmenin "uzun süredir tadını çıkarma şansına sahip olduğum en unutulmaz olay" olarak kaydetti ve bu, dünya turunun beşinci yılında olan biri için çok şey ifade ediyordu. Gök bilimci ile genç doğa bilimci birbiriyle ne konuşmuş olursa olsun, Darwin çok geçmeden örnekleri farklı bir bakışla görmeye başlayacaktı. Dönüş yolculuğunda Darwin, Galapagos kuşları üzerine notlarını düzenlerken, çeşitli adalarda bulunan birbirinden biraz farklı alaycı kuşları ve kaplumbağaları tekrar inceledi ve temelde aynı alışkanlıklara sahip olduklarını fark etti. Bu gerçeklerin açıklaması ne olabilirdi? Özel yaratılış gereği Tanrı her ada için farklı bir tür yaratmış olabilirdi. Ancak Darwin'in aklına başka bir olasılık geldi: Belki de canlıların hepsi aynı türün varyasyonlarıydı. Şunları yazdı:

"Bu açıklamalar için en ufak bir dayanak bile varsa, Takımadaların zoolojisi araştırmaya değer olacaktır; çünkü bu tür gerçekler türlerin sürekliliği varsayımını çürütebilecektir."

Türler *değişebilir.* Darwin'in "buldum" dediği ilk andı bu. Evrim düşüncesinin kaygan yokuşunda küçük, ürkek bir adımdı. Darwin hiçbir alanda uzman değildi ve örneklerinin çoğunun adını bile bilmiyordu. Bazı Galapagos hayvanlarının farklı türler mi yoksa aynı türün varyasyonları mı olduğuna emin olamıyordu. Tüm örnekleri sınıflandırmak ve anlamlandırmak için kendi ülkesinin uzmanlarına güveniyordu.

Ve onlar da gerçekten Darwin'e yardım ettiler. Dönüşünü izleyen kış boyunca, önde gelen uzmanlar onun getirdiği örnekleri ve

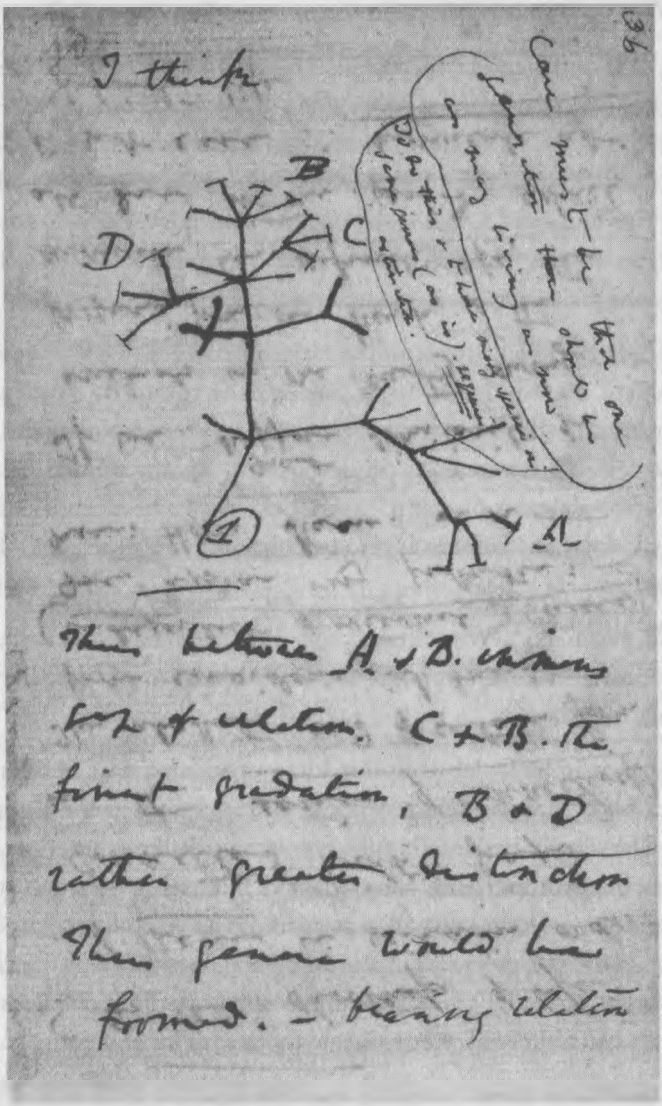
gemideki arkadaşlarının topladıklarını incelediler. Örneğin, Güney Amerika'dan topladığı fosiller, hâlen yaşamakta olan armadillo, lama, kemirgenler ve tembel hayvanlarla anatomik olarak yakından ilişkili, soyu tükenmiş dev memeliler olarak tanımlandı.

Darwin, Galapagos'a ait yirmi altı farklı kara kuşunun yirmi beşinin sadece farklı türler değil, aynı zamanda bu adalara özgü olduğunu öğrendiğinde çok şaşırmıştı. Daha sonra, "Elli-altmış mil arayla ve çoğunlukla birbirinin görüş alanı içinde olan, tam olarak aynı kayalardan oluşmuş ve benzer iklimdeki adaların farklı türlere sahip olabileceğini asla hayal etmemiştim." diyecekti.

Darwin, türlerin gerçekten değişebilir olma olasılığına kapılmıştı.

Bir dizi özel defter açtı ve kafasındaki düşünceleri not etti. İlk fikir dalgası, türlerin soykütüğüyle ilgiliydi. Avustralyadaki memelilerle başka yerdekiler arasındaki büyük farklılıkları tekrar gözden geçirdi ve bu farklılıkların nedeninin kıtalarının çok uzun süre önce ayrılmış olmasından kaynaklanıyor olabileceği sonucuna vardı. Güney Amerika'da bulduğu dev fosillerin, yaşayan memelilerin daha büyük, soyu tükenmiş versiyonları olduğu ortaya çıktı, bu sonuç, canlı türlerinin daha yaşlı, soyu tükenmiş türlerden geldiğini akla getiriyordu. Hayatı düzensiz dalları olan bir ağaç gibi gelişmiş olarak hayal etmeye başladı, bazı dallar ölüyor ve diğerleri yeniden oluşuyordu. Aynı bölgeden gelen hayvanlar arasında gördüğü benzerliklerin aynı kökenden gelmelerinden kaynaklandığına inanıyordu. Sonra defterinin 36. sayfasına "sanırım" yazdı ve bir diyagram çizdi (Şekil 3.2).

Basit, kaba bir taslaktı Darwin'in çizimi ama yaşamın radikal yeni bir resmiydi, bir türün yeni ve biraz farklı türlere, onların da büyük türlere ve ardından büyük büyük türlere ve benzerlerine yol açtığı türlerin bir soyağacını gösteriyordu. Darwin'in cesur fikri, türlerin var olan türlerden, tıpkı çocukların ebeveynlerinden doğması gibi doğduklarıydı. Darwin için bu keşif, özel yaratılışın sonu anlamına geliyordu.



Şekil 3.2. Darwin'in doğa konusundaki yeni görüşü

Darwin'in, türlerin soyağacına ilişkin ilk taslak çizimi. Not defterinden alınıt. Cambridge Üniversitesi Kütüphanesi'ninin izniyle çoğaltılmıştır. (Kayıt no: DAR.121)

Yeni türlerin nasıl oluştuğu üzerinde düşünmeye başladı.

1838 sonbaharında, tesadüfen, iktisatçı Thomas Malthus tarafından kırk yıl önce yazılmış *Nüfus Artışı Hakkında Araştırma* adlı makalesini okudu. Malthus, mevcut besin kaynaklarının artan nüfusa yetmeyebileceği, bunun da yoksulluk, kıtlık ve ölüme yol açabileceğini vurguluyordu. Darwin de, doğada aynı kuvvetlerin iş başında olduğunun ve birçok bitki ve hayvanın hayatta kalabileceklerinden çok daha fazla yavru doğurduğunun farkındaydı.

Topladığı koleksiyonlarından türlerin nasıl çeşitlendiğini çok iyi görmüştü. Kafasında bir başka şimşek daha çaktı. "Bu koşullar altında, olumlu değişikliklerin korunacağı ve olumsuz olanların yok olma eğiliminde olacağını düşünmüştüm. Bunun sonucu da yeni bir türün oluşumu olacaktır." şeklindeki düşüncesini hatırladı. Bu değişikliklerin korunmasını veya yok olmasını "doğal seçilim" olarak adlandırdı.

29 yaşındaki Darwin'in destansı yolculuğundan sadece iki yıl sonra, türlerin kökenini doğal seçilimle açıklayan bir teorisi vardı. Ancak teorisi, yirmi yıl boyunca gün ışığına çıkmayacaktı.

Darwin'in bu kadar uzun süre kitap yayımlamaması, nesiller boyunca bilim insanları için büyük bir soru işareti olmuştur. En azından, Darwin ilk başlarda bunu yayımlamaya kalkmanın erken olacağına inanıyordu. Kendi kafasındaki ve bilimsel çevrelerden ve diğerlerinden geleceği kesin olan sorulara cevap verebilmek için daha fazla kanıta, çok daha fazla kanıta ihtiyacı olacaktı. Daha sonra bir arkadaşına söylediği gibi, "Türlerin ne olduğuyla ilgili olabilecek ne bulursa her türlü veriyi körü körüne toplamaya karar verdim."

Darwin, on beş yıl boyunca teorisiyle ilgili her türlü veri ve gözlemi bir araya getirdi. Ayrıca, kendi dönemindeki herhangi bir doğa bilimciden çok daha üretkendi, yolculuğuna ait bir seyahatname, Beagle'la ziyaret ettiği yerlerin jeoloji ve zoolojisi üzerine dokuz cilt, midyeler üzerine dört cilt ve mercan resiflerinin oluşumu hakkında

yeni ve nihayetinde doğru bir teori yayımladı, bir yandan on çocuğuna babalık etmeyi de ihmal etmiyordu!

Sonunda, 1855'te kuzenine şöyle yazdı: "İki ya da üç yıl içinde toplayabildiğim ve türlerin değişmezliğiyle ilgili olumlu-olumsuz tüm veri ve argümanların yer aldığı bir kitap yazmak istiyorum, bunun için notlarımı toplamak ve karşılaştırmak için çok çalışıyorum. Kendimle ilgili en büyük gerçek, bitmek bilmez midyelerle sonunda işimin bittiğidir." diye ekledi.

Sonunda hazırdı.

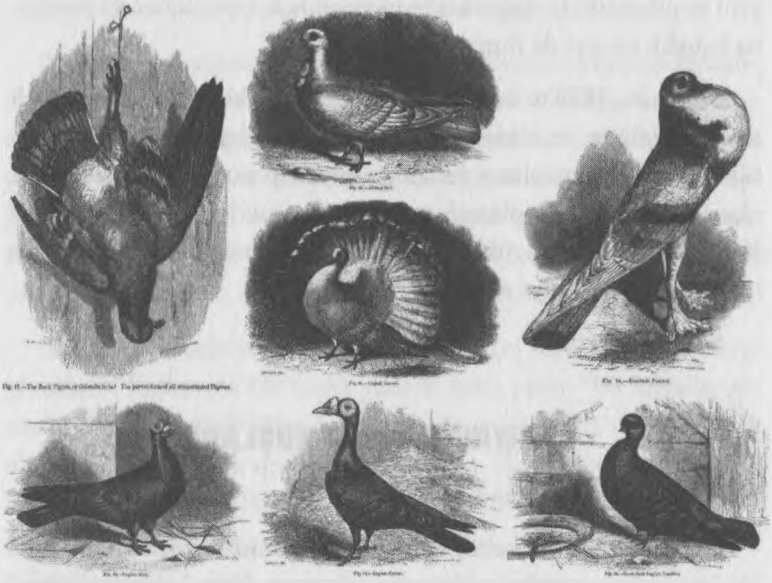
DARWIN'İN DİĞER KUŞLARI

Sonunda, hemen hemen hazırdı.

Darwin, insanları kendi teorisine ikna etmede zorluğun kısmen bir hayal gücü meselesi olduğunu anlamıştı. Eğer haklıysa, ispinoz gibi uzak geçmişteki tek bir atadan gelen bir tür zamanla sayısız alttüre ayrılmış olmalıydı. Ancak böyle bir çeşitliliğin ortaya çıkması için bilinmeyen, belki de çok uzun bir zaman gerekirdi ve ara aşamalar belirgin değildi. Birçok farklı türün tek bir atadan geliyor olmasının mümkün olduğunu nasıl gösterebilirdi? Doğal seçilimin yaşam çeşitliliğini şekillendirecek kadar güçlü olduğunu nasıl kanıtlayabilirdi?

Cevabı; Güvercinlerdeydi!

İngiltere'yi bir güvercin besleme çılgınlığı sarmıştı. Kuşları yetiştirmek ve çoğaltmak ucuz olduğundan, bu hobi sınıf veya gelirden bağımsız olarak herkese açıktı. Balonlu, kral, cüce, postacı, yelpaze kuyruk ve taklacı olarak adlandırılan birçok cins, tüylerin rengi, sayısı ve üzerindeki desenleriyle iskeletlerinin ve gagalarının boyutu vede şekli açısından farklılık gösteriyordu. Aslında o kadar farklılardı ki, yetiştiriciler farklı türlerin farklı vahşi türlerden türediğini düşündüler. Ancak Darwin, hepsinin tek bir türden, kaya güvercininden (*Columba livia*) türediğinden şüpheleniyordu (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yabani kaya güvercini ve süslü güvercin türleri

Darwin'in *Evcilleştirme Altındaki Hayvan ve Bitki Çeşitleri* (1868) adlı kitabından derleme; yabani kaya güvercini sol üstte. Resim Paul D. Stewart/ Science Source.

Böylece Darwin, çeşitli formları seçerken doğaya benzer bir şekilde hareket eden yetiştiricilerin eliyle, güvercin türlerinde ortaya çıkan şaşırtıcı çeşitliliği görünce, bunların Galápagos ispinozları gibi bir grubun yerine incelenebilecek mükemmel bir örnek olacağını düşündü.

Darwin'in Down köyündeki görkemli evinin ziyaretçileri, büyük doğa bilimciyi çalışma odasında, kuşkusuz, notlarına ve kitaplarına gömülmüş, düşünceli halde bulmayı umuyordu. Oysa Mayıs 1855'ten itibaren, büyük olasılıkla onu bahçesinin arkasına inşa ettiği kuş evindeki güvercinlerine hayranlıkla bakarken —ya da kadavralarını kaynatırken veya iskeletlerini ölçerken— bulmaları daha mümkündü.

Genelde gözlerden uzakta yaşayan Darwin, güvercin gösterilerine katılmaya başlamış ve hatta iki yetiştirme kulübüne bile üye olmuştu. Tıpkı on beş yıldır doğa bilimcileriyle yaptığı gibi, yeni bilgilerini, en sevdikleri türler hakkında onlardan alabileceği tüm bilgileri elde etmek için kullandı. Kendi güvercinleri neredeyse doksan civarında bir sayıya ulaşmıştı ve hayvanlara olan sevgisi de buna bağlı olarak artıyordu. Ünlü jeolog Charles Lyell'i davet ettiğinde, "Size güvercinlerimi göstereyim! Bana göre insanoğluna sunulabilecek en büyük lütuf budur." demişti.

Darwin, hangi kuşların çiftleşeceğinin seçiminde belirleyici olan ince özelliklerle, eğitimsiz kişilerin kesinlikle fark edemeyeceği küçük ayrıntıların yakalanması konusunda yetiştiricilerin görme yeteneklerinden özellikle etkilenmişti. Her bir cinsi tanımlayan özelliklerin (gaga uzunluğu, kuyruk tüylerinin sayısı vb.) çok fazla değişkenlik gösterdiğini öğrendi. Yetiştiriciler, büyüklük veya şekillerde büyük veya ani değişiklikler beklemiyorlardı; bazı özellikler için birbir buçuk mm olarak belirtilen kriterlerle, kuşların genel şekillerinde daha ince değişiklikler arıyorlardı.

Darwin, kendi türetme deneylerinde safkan yetiştiriciler arasında tabu olan bir yaklaşımı benimsemişti, farklı türlerin melezlenmesi. Tüm melezlerin tamamen verimli olduğunu keşfetti. Siyah sakallı beyaz kuyrukluları ve sonra melezleri birbirleriyle çaprazlarken, yabani güvercinlerinkine çok benzeyen işaretlere sahip mavi kuşlar elde etti! Bu iki sonuç Darwin'e hiçbir şüpheye yer bırakmayacak şekilde tüm soyların ortak bir yabani atadan türediğini kanıtladı.

Birkaç yılını güvercinleri incelemeye ayırma kararı meyvesini vermişti. Doğa bilimcilerin şüphelerini gidermek için çok daha iyi silahlanmıştı. Darwin, teorisinin doğuşundan bu yana, kendi bakış açısını birkaç güvenilir meslektaşıyla paylaşmış ve kendi fikrini açıklamadan diğer birçok doğa bilimcinin görüşlerini öğrenmeye çalışmıştı. Doğa tarihi bilgisindeki hızlı artışa rağmen, Darwin şöyle diyordu: "Şimdiye kadar türlerin değişmezliğinden şüphe eden tek bir kişiyle bile karşılaşmadım."

Darwin, güvercinler üzerine yaptığı çalışmalardan destek alarak şöyle yazacaktı: "Bu doğa bilimcilere... Türlerin doğadaki diğer türlerin soyundan geldiği fikriyle alay ederken bir uyarı dersi vermek gerekmez mi?"

Bu doğa bilimciler arasında bir istisna, 1858'de Alfred Russel Wallace'ın Darwin'e tür teorisiyle hemen hemen aynı fikirlere sahip kısa bir el yazması göndermesiyle ortaya çıkacaktı. Wallace, Amazon'u keşfetmek için dört yıl harcamış, bindiği gemide yangın çıkmış, ardından gemi batmıştı, bu kazalardan sağ kurtulup Malay takımadalarında dolaştı. Gezileri sırasında Wallace, komşu adalarda birbirinden biraz farklı türler, aynı türün bireyleri arasında büyük farklılıklar, hayatta kalabilecek olanların çok üzerinde doğum yapması gibi Darwin'inkine çok benzer gerçekleri gözlemlemişti ve yine o da Malthus'u okumuştu.

Wallace'ın makalesi ve Darwin'den kısa bir alıntı, 1858'de neredeyse hiç kimsenin ilgilenmediği profesyonel bir dergide birlikte yayımlandı. Darwin, sadece bir yıl sonra, *Doğal Seçilim Yoluyla Türlerin Kökeni ya da Hayat Kavgasında Avantajlı Irkların Korunumu Üzerine* adını taşıyan yapıtını tamamlayıp yayımladığında da dünyanın dikkatini çekmedi. Şimdiye kadar yazılmış en önemli kitaplardan birinin ilk bölümünde güvercinlere en az on sayfa ayrılmıştı (ve yaygın inanışın aksine, kitapta ispinozlara hiç yer verilmemiştir!).

AMAN TANRIM: DOĞAL SEÇİMİN GÜCÜ

Türlerin Kökeni, Darwin'in veya teorisinin bitiş çizgisi değildi, yolculuğunda yeni bir aşamanın başlangıcıydı. Sonunda fikirlerini ve kanıtlarını açıkladıktan sonra, bunlar bilimsel çevrelerin ve halkın görüşlerine sunuldu. Doğa bilimciler, ikna edici olmayan veya kabul edilemez buldukları konulara odaklandılar. Darwin'in türlerin doğal (yani tanrısal olmayan) kökenine ilişkin açıklaması hem bilimsel

dergilerde hem de popüler basında genellikle düşmanca eleştiriler aldı.

Harvard'ın önde gelen botanikçisi ve dindar bir Presbiteryen olan Asa Gray gibi birkaç bilim insanı, teistik görüşlerini yeni Darwin/Wallace teorisiyle uzlaştırmaya çalıştı. Darwin, Darwin teorisinin güçlü bir savunucusu olan ve Türlerin Kökeni'nin Amerika'da yayımlanmasına yardımcı olan Gray'le uzun, içeriği zengin ve çok sıcak bir yazışma sürdürdü.

Darwin, Gray'e "Ateist bir anlayışla yazmak gibi bir niyetim yoktu." diye yazmıştı, "Ama şunu kabul ediyorum ki, diğerlerinin gördüğü ve benim de yapmak istediğim kadar açık bir şekilde, etrafımızda yaratıma ve tanrının lütfuna dair bir kanıt göremiyorum. Bana dünyada çok fazla sefalet varmış gibi geliyor. İyi niyetli ve her şeye gücü yeten bir Tanrı'nın, Ichneumonidæ'yi [asalak yabani arı ailesi], tırtılların canlı bedenlerinden beslenmelerini veya kedilerin farelerle oynayacak olmasını, tam da bu niyetle tasarlayarak yaratmış olabileceğine ikna olamıyorum." diyordu.

Darwin, doğal seçilimi "en büyük güç" olarak görüyordu ve iddiasına daha fazla kanıt aramaya devam etti. Gray, Darwin'in en yeni hayali olan orkide araştırmasına cömert yardımlarda bulundu. Türlerin Kökeni'nin tamamlanmasından sonra Darwin, daha önce midye ve güvercinlerle yaptığı gibi, bitkiler üzerinde kapsamlı bir çalışmaya başladı. Her zamanki yaklaşımıyla, dünyanın dört bir yanındaki botanikçilerden bilgi ve örnekler istedi. Her zamanki gibi, argümanlarını güçlendiren daha derin keşifler yaptı.

Darwin güzel bitkilerden büyülenmişti ve bitkilerin polenlerle nasıl çapraz döllendiğine özellikle dikkat etmişti. Bitkinin farklı bölümlerinden farklı türlerde türetilen, böcekleri çiçeklerine çekmek ve onlara polen bulaştırmak için kullanılan çeşitli ve "mekanizmalar" adını verdiği düzenekleri keşfettiği için şaşırdı.

Darwin'in "aynı amacı elde etmek için... yapının sonsuz çeşitliliği"ni keşfetmesi, eleştirmenleri üzerinde "yan kanat hareketi" olarak

tanımladığı şeyi yapma fırsatı yarattı. Okuyucuların güzel ve popüler bitkilere olan ilgisini çekecek ve onları özel yaratılıştan uzaklaştırıp evrimsel bir açıklamaya yönlendirecekti. Darwin, farklı bitkilerdeki farklı varyasyonlar üzerinde doğal seçilimin bu işi ne zaman yapabileceğini sordu, neden her şeye kâdir bir Yaratıcı tam olarak aynı amaç için bu kadar çok farklı modifikasyon yapmakla uğraşsındı?

İngiliz ve Yabancı Orkidelerin Böcekler Tarafından Döllenmesinin Çeşitli Mekanizmaları Üzerine adlı kitabını tamamlamadan hemen önce Darwin, tozlaşma mekanizmalarını yepyeni bir düzeye taşıyan Madagaskar yıldız orkidesi (*Angræcum sesquipedalia*) adlı bir örnek aldı. İngiliz botanikçi arkadaşı Joseph Hooker'a heyecanla şöyle yazdı: "Bay Bateman'dan, nektar organı 30 cm uzunluğunda muhteşem Angræcum sesquipedalialarla dolu bir paket aldım –Tanrım, hangi böcek onu emebilir ki?"

Darwin, güzel ve ender bulunan bir bitkinin çiçeklerinin çok tatlı nektar ürettiğini keşfetti, ancak çiçeğin yapraklarının yaklaşık 3 cm altından itibaren, 30 cm uzunluğunda, kırbaç benzeri, yeşil renkli bir mahmuzun uzandığını gördü. Bu nektar hortumu, görmüş olduğu diğer tüm orkidelerinkinden çok daha uzundu (Şekil 3.4). Uzun mahmuzu inceledi, içine ince bir çubuğu uzattığında polenin ancak nektar organının tam dibine ulaşıldığında yapıştığını gördü.

Çeşitli böceklerin polen taşıma yollarını araştıran Darwin, beslenme sırasında bazı güvelerin polenleri ancak dili uzaktaki nektara ulaştığında toplayabileceğini varsaymıştı. "Güvenin onu emebilen bir gövdesi olmalı!" dedi Darwin, Hooker'a. Böyle bir güvenin var olup olmadığı bilinmiyordu, ancak Darwin kitabında bir tahminde bulunmaya cesaret etti: "Madagaskar'da yirmi altı ila yirmi sekiz santimetreye kadar uzayabilen gövdeye sahip güveler olmalı."

Yıldız orkidesindeki böylesine alışılmamış özellik, Darwin'e, doğal seçilimin bir özelliği, herhangi bir yönde ve herhangi bir uzunlukta değiştirebilmenin kümülatif gücünün çarpıcı bir örneğini vermişti. Yetiştiricilerin yapay seçilim yoluyla aşırı biçimler (süslü

güvercinler, tazılar, uzun boynuzlu sığırlar vb.) üretebilmeleri gibi, Darwin de doğal seçilimin uç yaratık formları (fırfırlı ağaçkakanlar, uzun boyunlu zürafalar ve 30 cm nektar organı bulunan orkideler) üretebileceğine ikna olmuştu. Öyleyse, niçin akıl almaz derecede uzun dilleri olan güveler olmasındı?

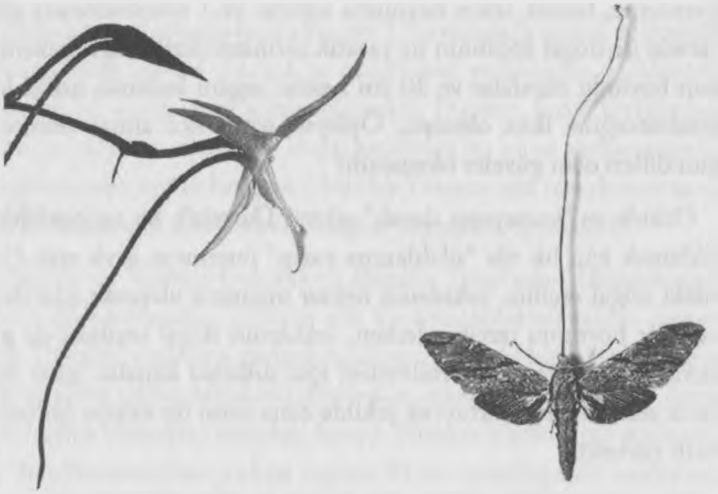
Orkide ve "varsayıma dayalı" güvesi Darwin'i, bu uç özellikleri açıklamak için bir tür "silahlanma yarışı" önermeye sevk etti: Güvedeki doğal seçilim, orkidenin nektar organına ulaşmak için daha uzun bir hortumu tercih ederken, orkidenin doğal seçilimi de güvelerin polenle temas edebilmeleri için dillerini kanalın içine tam olarak sokmasını gerektirecek şekilde daha uzun bir nektar hortumu tercih edecekti.

Darwin'in doğal seçilime olan inancı, bu konuda haklı olduğunu doğruladı. Tahmininden kırk bir yıl ve ölümünden yirmi bir yıl sonra Madagaskar'da, 28 cm uzunluğunda hortumu olan bir güve, *Xanthopan morganii praedicta* keşfedildi (Şekil 3.4).

Darwin'in uzun diller ve uzun çiçek hortumlarının bir silahlanma yarışı fikri olduğu konusundaki varsayımı da aynı derecede ileri görüşlü olduğunu ortaya çıkardı. Bir yüzyıldan fazla bir süre sonra, Güney Afrika'da bir şahin türü ve iris bitkilerinin yabani popülasyonları üzerinde yapılan dikkatli çalışmalar, dil uzunluğu ve çiçek borusu uzunluğunda önemli farklılıklar olduğunu ortaya çıkardı ve en uzun hortuma sahip bitkilerin gerçekten de yayılmada en başarılı olanlar olduğu, polenlerin uzun dilli güveler aracılığıyla tozlaştığı ve bu nedenle doğal seçilim tarafından tercih edildiğini gösterdi.

Güveler, nektarla beslenenler arasında son derece geniş ağza sahip olma konusunda yalnız değildir. Kılıç gagalı sinekkuşunun 10 cm uzunluğunda bir gagası, mega burunlu sineğin 5.7 cm hortumu vardır, Ekvador bulut ormanı nektar yarasasının dili 8.5 cm uzunluktadır ve tüm vücudundan bir buçuk katından daha uzundur.

Tanrım, bu canlılar bu koşullarda gerçekten de emebiliyorlar...



Şekil 3.4. Yıldız orkide ve güve

Solda yer alan yıldız orkide (*Angraecum sesquipedale*), polenin yer aldığı alışılmadık derecede uzun bir nektar hortumuna sahiptir. Varlığı Darwin tarafından keşfedilmeden onlarca yıl önce tahmin edilen *Xanthopan morganii praedicta* güvesi, alışılmadık derecede uzun bir dile sahiptir ve bu hortumun içinden nektara ulaşır ve poleni toplar. Fotoğraf: Robert Clark'ın izniyle.

DARWIN VE RASTLANTI

Ne var ki, doğal seçilim konusundaki şüphecilik, savaşın sadece yarısıydı. Darwin, doğal seçilimin, bir türün bireyleri arasında var olan çeşitlilik üzerinde geçerli olduğunu savunmaktaydı. Hem düşmanlar hem de destekçiler arasındaki tartışmaların odağında işte bu çeşitlilik yer alıyordu. Darwin, ne kendisinin ne de başka birinin varyasyonun tam nedenini veya kalıtım yasalarını bilmediğini açıkça kabul etti. Bununla birlikte, *Türlerin Kökeni* kitabının birçok yerinde Darwin, çeşitliliği, rastlantıya veya çeşitliliğin rastlantısal doğasına dayandırmaktaydı.

Darwin, varyasyonların ortaya çıkmasında olasılık unsuru olduğunu açıkça kavramıştı. Yerli yetiştiricilerin neden büyük sürüler

bulundurduklarına dikkat çekti, "İnsana açıkça yararlı veya hoş gelen varyasyonlar arada bir görüldüklerinden, çok sayıda bireyin olması durumunda bunların ortaya çıkma olasılığı da o oranda daha büyük olacaktır." Doğada da aynı şeyin geçerli olacağını düşündü: "Belirli bir süre içinde, çok sayıda yaşam formu olması, doğal seçilime uygun diğer varyasyonların ortaya çıkma olasılığı, az sayıda olanlara göre her zaman daha yüksek olacaktır."

Bazı durumlarda, varyasyonları "kazaen olan" olaylar şeklinde tanımladı:

"Vücudun boyutunda ve biçiminde rastlantısal bir sapma olduğundan şüphe etmek için hiçbir neden göremiyorum... Yani bireyler, yiyeceğini daha çabuk elde edebilecek ve böylece yaşama şansı ve soyundan sapma olasılığı daha yüksek olacaktır."

"Bitkilerde olduğu gibi hayvanlarda da yapıdaki herhangi bir değişiklik, her yönden avantajlı olan sayısız, minör ve isterseniz onlara rastlantısal deyin, varyasyonların birikmesiyle elde edilebilir."

Eleştirmenler, varyasyonların rastlantısal olduğu fikrine, yani bir Yaratıcı ya da akıllı tasarımcının rolünden hiç söz edilmiyor olmasına saldırdılar. Bu, birçok kişinin Darwin'i reddetmesinin bir başka nedeniydi. Sürecin, bir şekilde bir Yaratıcı tarafından yönlendirilmiş olması düşüncesini tercih eden Gray, varyasyonların rastlantısal olmasını pek hoş karşılamadı. Değişimin tasarlanmış veya yaratılmış olması fikri, tarif ettiği çok çeşitliliğin tanrısal müdahaleye olan ihtiyacı ortadan kaldırdığını düşünen Darwin'e pek uymuyordu. Darwin, Gray'in argümanını güvercinler ve ağaçkakanları kullanarak çürüttü:

"Asa Gray ve diğerleri, her bir varyasyona veya en azından faydalı varyasyonlara Tanrı tarafından tasarlanmış gözüyle bakıyor. Ancak ona, insanların eğlenmesi için Tanrı'nın inayetiyle tasarlanmış ve insanoğlunun ondan süslü veya yelpaze kuyruklu güvercinleri türettiği kaya güvercinindeki varyasyonlara bakıp bakmadığını sorduğumda, ne cevap vereceğini bilemedi. Ve eğer o ya da herhangi biri,

bu kapsamda, bu değişikliklerin rastlantısal olduğunu kabul ederse, o zaman, gayet güzel uyarlanmış ağaçkakandaki türetimle gelen bu varyasyonları, ilahi takdire bağlamak için hiçbir neden göremiyorum."

Bununla birlikte, varyasyonların nedenini ve rastlantının rolünü anlamak, dev Madagaskar güvesinden bile daha zor olacaktır. Varyasyonların ne olduğunu bir sonraki yüzyıl boyunca kimse açıklayamadı ancak rastlantıyı son birkaç yılda suçüstü yakalayabildik.



BÖLÜM 4

RASTGELE

"Sürekli olumsuz basındaki skandallara rağmen"

— DONALD TRUMP, TWITTER, 31 MAYIS 2017

Beyzbol puan cetvellerini ilk kez sekiz yaşındayken okumaya başlamıştım. Oyuncuların maçlarda neler yaptığını "*The Times*"tan, hayır, hayır *The New York Times* değil, bizim buraların *The Toledo Times*'ından okuyabilmek için her sabah merdivenleri birer ikişer koşarak iner, almaya giderdim. Vuruş ortalamaları sadece Pazar gazetesinde yayımlanırdı, bu yüzden çoğu normal çocuk gibi ben de takipte olabilmek için hafta boyunca her gün en sevdiğim oyuncuların istatistiklerini hesaplardım.

14 Haziran 1974 Cuma günü, hemen *daha önemli* gelişmelere ulaşmak için Watergate skandalına ait haberleri atladım, fakat çoğu perşembe günleri genellikle maç yapılmadığı için hayal kırıklığına uğradım. Ancak hayal kırıklığım uzun sürmedi.

Büyük ligdeki takımlardan ve büyük bir Toledo taraftar kitlesine sahip Detroit Tigers, yardım toplama amaçlı olarak Cincinnati Reds'le bir gösteri maçı yapmıştı. Oyun, ligdeki sıralamayı etkilemeyecek veya istatistiklere girmeyecekti, fakat yine de habere ait kupürü kestim ve aşağı yukarı yarım asırdır saklıyorum. Bakalım buradaki bir ayrıntıyı fark edebilecek misiniz:



Tigers Edge Reds In Exhibition

DETROIT (AP) — Detroit got three runs on a pair of early homers and added a big seventh ining to defeat Cincinnati of the National League 5-3 in their inter-divisional Sandloot Benefit exhibition baseball game Thursday night.

Detroit opened up the scoring in the first inning when Mickey Stanley walloped a bases empty shit, and added a pair in the second on a two run blast by Jim Northrup off starter Tom Hall.

Şekil 4.1. Toledo Times, 14 Haziran 1974

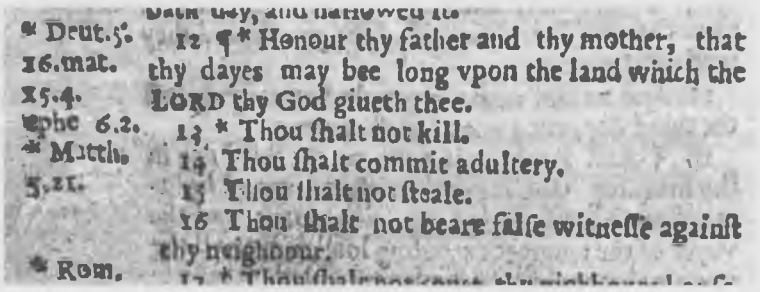
Toplam üç dizgi hatası yapılmıştı ama gözüme çarpan bir "o" yerine "i" yazılmış olanıydı. Komik gelmişti bana (hâlâ da öyle geliyor).

Bunun, olsa olsa bir dizgi hatası olabileceğini düşünmüştüm. Tanınmamış bir spor yazarının "Kimse bunu okumaz, ben de arada dalgamı geçeyim." diye içinden geçirdiğini sanmıyorum. Ardından, aynı hikâyeyi yazan diğer birkaç Ohio gazetesini de kontrol ettim ve

onların yazdıkları Mickey Stanley'nin kaleye isabetsiz bir "vuruş"[3] yaptığı şeklindeydi.

Her neyse, sonrasında birinin işinden kovulduğunu tahmin ediyorum.

Benzer şekilde, Kraliçe Victoria, Galler'deki günümüzde tarihi nitelik kazanmış Menai köprüsünü ziyaret edip üzerinden *geçtikten* sonra *The Times of London* bu haberi: "Kraliçe, muhteşem esere zarafetle *çişini yaptı*"[4] şeklinde vermişti. Saray'ın bunu eğlenceli bulduğunu sanmıyorum. *Washington Post*, Başkan Wilson'ın müstakbel eşi Edith Galt ile onu *eğlendirmek* için tiyatroya gittikleri akşamın ardından, "Başkan nişanlısını *girmek* için her şeyi yapıyor" haberini yaptığında Beyaz Saray da hoşlanmamıştı bundan. Post, gazeteyi toplattırdı ancak tirajın bir bölümü dağılıp insanların eline ulaşmayı başarmıştı. Kennedy, Clinton ve Trump'ın da gözden kaçan hikâyelerinden sonra, King James Onaylı İncil'inin 1631 tarihli baskısının Beyaz Saray'daki komodinin çekmecesinde tutulup tutulmadığını merak etmiyor değilim:


* Deut.5. 16.mat. 15.4. Ephe 6.2.
12 ¶ * Honour thy father and thy mother, that thy dayes may bee long vpon the land which the LORD thy God giueth thee.
13 * Thou ſhalt not kill.
* Matth. 5.21.
14 Thou ſhalt commit adultery.
15 Thou ſhalt not ſteale.
16 Thou ſhalt not beare falſe witneſſe againſt thy neighbour.
* Rom.

Şekil 4.2. 1631 tarihli Kral James Onaylı İncil'deki Emirler, Leicester Üniversitesi Kütüphanesi'nin izniyle (SCS03550).

Yazım yanlışlığı yapılan sadece Yedinci Emir (yukarıdaki 14. satır) değildi. Tesniye 5:24'te şöyle yazdığını görüyoruz: "Ve siz, işte, Tanrımız Rab bize görkemini ve koca *poposunu* gösterdi." Kuşkusuz

3 *shot* (vuruş) yerine *shit* (dışkı) yazılmıştır.

4 *pass* (geçmek) yerine *piss* (çiş yapmak) yazılmıştır.

"Görkemli" olan "büyüklük-greatness" idi, ancak yazım hatası nedeniyle "great-asse" basılmıştı.

Dinen uygunsuz bu yazım yanlışlığının bir yıl boyunca farkına varılmadı. Kral I. Charles, adamakıllı kızmıştı. Tüm kopyaların yakılmasını emretti, içlerinden birinin borç nedeniyle hapiste öldüğü matbaacıların ruhsatlarını iptal etti.

İşte, tek bir harf veya tek bir kelime ne kadar fark yaratabiliyor.

Aynısı hayatın alfabesi için de geçerlidir. Genetik dizideki birçok yazım yanlışlığı, anlamı değiştirmez veya zararı dokunmayan anlamsız diziler üretirken, bazı değişikliklerin canlıların nasıl göründüğü, çalıştığı veya davrandığı üzerinde büyük etkileri olabilir, bazıları iyi, bazıları kötü yönde.

Orijinal metin şuydu: KKKYMMKHL

Bir yazım hatası onu: KKKY**R**MKHL yapmıştı.

İşin püf noktası, bu değişikliğin niçin olduğudur. Monod, elli yıl önce genetik dizide, mutasyon adı verilen tüm değişikliklerin bir rastlantı işi, yani *potansiyel sonuçlarına bakılmaksızın rastgele meydana gelen kazalar* olduğunu savunmuştu. Tüm felsefi sonuçları, bu iddianın doğruluğuna bağlıydı.

Bir iddiadan bahsediyorum çünkü Monod'un iddiasını özellikle cesur kılan şey, o zamanlar DNA mutasyonları hakkında direkt olarak çok az şeyin biliniyor olmasıydı. 1970'de bilim insanları canlıların genetik metinlerine ulaşamadıkları gibi, DNA dizilimini belirleyecek durumda da değillerdi. Hiç kuşkusuz haberiniz olduğu gibi, durum olağanüstü bir şekilde değişti ve günümüzde, ölü veya soyu tükenmiş insanlar veya canlılar dâhil her şeyin ve herkesin DNA'sı artık açık bir kitap gibi okunabilmekte.

İnsanoğlunun güçlükle elde ettiği bu yetenek bize, Monod'nun iddiasını test etme, hayatın kitaplığındaki yazım hatalarının izini sürme, yapılan hataları tespit etme gücü verirken, güçlü teknoloji; yaşam mekanizmasının derinliklerine bakma ve nihayet rastlantısallığı suçüstü yakalama şansı veriyor.

MİLYARDA BİR

Mutasyonların rastgeleliği durumunu doğrulamak için öncelikle karşılanması gereken koşullar hakkında yeterli bir fikre sahip olmamız gerekir. Organizma popülasyonu düzeyinde rastlantısallık, DNA düzeyinde rastlantısallık ve mekanizma düzeyinde rastlantısallık olmak üzere dikkate alınması gereken üç düzey vardır.

Bir popülasyonda, belirli bir mutasyonun aşağıdaki durumlarda rastgele olduğu söylenir: 1) sonuçları ne olursa olsun ortaya çıkar ve 2) içinde meydana geldiği birey(ler) önceden bilinemez veya tahmin edilemez.

Eğer mutasyonlar rastgeleyse, bireylerin DNA'larında rastgele bir dağılımda ortaya çıkmaları beklenir.

DNA'nın içinde ise, rastlantıya bağlı bir mekanizma tarafından rastgele bir mutasyon ortaya çıkar.

Monod'nun başlangıç düzeyinde (ve sadece başlangıç düzeyinde) kanıtı vardı.

Penisilin gibi ilk güçlü antibiyotiklerin geliştirilmesinden kısa bir süre sonra, klinik uzmanlar ve araştırmacılar, antibiyotiğe dirençli bakteri olgusuyla karşılaştılar ve bu yeni mucize ilaçla tedavi edilen bazı hastalarda, artık duyarlı olmadıkları enfeksiyonlar gelişti. Direnç geliştirmiş bakteriler izole edildiğinde, nesilden nesile kararlı oldukları görüldü, bu da direncin kalıtsal bir mutasyondan kaynaklandığını göstermiş oluyordu.

Bu antibiyotikler, bakterilerin muhtemelen daha önce hiç maruz kalmadığı yeni kimyasallar olduğundan, direnç mutasyonunun

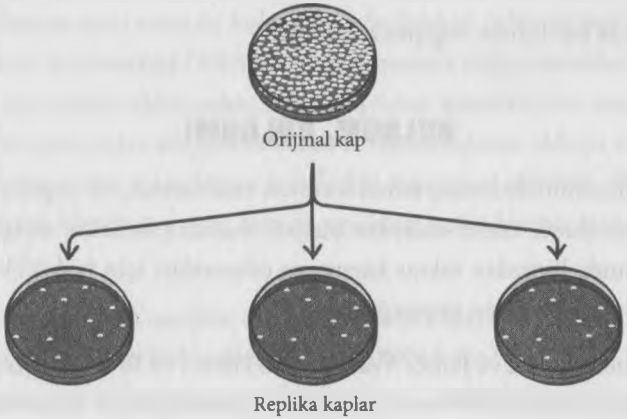
kökeni bir bilmeceydi. İlacın varlığı, bakterilerde antibiyotik direnci geliştiren mutasyonların oluşumunu bir şekilde yönlendirmiş miydi? Veya direnç mutasyonları, ilacın ortamda olup olmamasından ve bu şanslı bakterilerin varlığında büyüyebilmesinden bağımsız olarak rastgele mi meydana gelmişti?

Genç bakteriyologlar Esther ve Joshua Lederberg'den oluşan parlak ekip akıllı ve mükemmel bir deney gerçekleştirinceye kadar, yönlendirilmişlik veya rastgelelik arasında karar vermek zordu. Lederbergler, hiç antibiyotiğe maruz kalmamış bakterileri direnç açısından test etmenin bir yolunu bulabilirlerse, mutasyonların oluşumu için antibiyotiğin gerekli olup olmadığı sorusunun cevabını da alabileceklerini anladılar. Buradaki zorluk, direnç mutasyonlarının çok çok nadir, belki de bir milyar veya daha fazla bakteriden sadece birinde görülmesiydi. Bırakın böyle bir tanesiyle deney yapmayı, çok büyük bir samanlıkta iğne aramaya benziyordu bu iş, nasıl bulunurdu ki?

Bakterilerin özellikleri genellikle agar (deniz yosunundan yapılmış jelatin benzeri bir madde) gibi besinler emdirilmiş katı bir ortamda çoğaltılarak test edilir. Bakteriler, agar plakasının yüzeyine dağılmış koloniler oluşturur. Lederberglerin en önemli keşfi, plakayı önce sterilize edilmiş kadife kumaş parçasına ve ardından kumaşı da yeni bir plakanın yüzeyine bastırarak milyonlarca bakteri kolonisi içeren plakaların birebir kopyalarını yapmanın yöntemini bulmuş olmalarıydı. Kumaş, orijinal plakadan birden fazla kopya yapılabilecek kadar bakteri toplamıştı.

Antibiyotiğe dirençli mutasyonlarının kökenini bulabilmek için Lederbergler, önce orijinal bakterileri antibiyotiğin olmadığı bir ortamda çoğalttı, ardından replikaları antibiyotik içeren kapların üzerine yerleştirdiler ve bu kaplarda antibiyotiğe dirençli birkaç koloninin çoğaldığını gördüler. Bu mutasyonlar bir şekilde antibiyotik tarafından yönlendirilmiş olabilirdi. Bununla birlikte, çoğaltma tekniği nedeniyle, Lederberg'ler orijinal plakalara geri dönebildi ve

bu bakteriler hiç antibiyotiğe maruz kalmamış olsa bile direnç mutasyonlarının orijinal kolonide var olduğunu gösterebildiler (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Mutasyonların bir popülasyonda rastgele meydana geldiğinin kanıtlanması

Lederbergler, antibiyotik olmaksızın bir orijinal bakteri kabında çoğaltma yaptılar, ardından bu bakteri popülasyonunu antibiyotik içeren kaplara kopyaladılar. Gelişen birkaç antibiyotiğe dirençli koloni, farklı kaplar üzerinde aynı noktaya yerleştirildi, bu da orijinal kaptaki ilk kolonilerin antibiyotik yokluğunda, yani rastgele evrimleştiğini gösterdi. Kate Baldwin'in çizimi.

Aynı tekniği kullanan Lederbergler, bakterilerde viral enfeksiyonlara karşı direnç geliştirmek gibi diğer özelliklerin de rastlantısal olarak ortaya çıktığını ve virüse veya herhangi bir özel ortama önceden maruz kalmaya bağlı olmadığını ortaya koydular.

Lederberglerin artık klasikleşmiş deneyleri, hayal edebileceğiniz en düşük teknoloji gerektiren deneylerdi. Birkaç petri kabı, kumaş parçası ve basit besinin olması yetiyordu. Bugünün parasıyla yaklaşık 50 dolar değerinde malzemelerdi bunlar.

Ama hikâyenin en can alıcı noktası şuydu: Çalışma 1951'de, DNA yapısı çözülmeden önce ve henüz DNA'nın kalıtımdaki rolü

hakkında bazı kuşkular varken tamamlanmıştı. O sırada, fiziksel olarak bir mutasyonun gerçekte ne olduğu konusunda kimsenin hiçbir fikri yoktu.

Fakat bu durum değişmek üzereydi.

BULDUM, BULDUM!

Bu buluş, bilimde birkaç temel sorunun yanıtlarının bir çırpıda verildiği son derece ender anlardan biriydi. Bunlar çok kritik rastgelelik konusunda birazdan tekrar karşımıza çıkacakları için birkaç önemli ayrıntının üzerinden geçeceğim.

Francis Crick ve James Watson, 1951'den 1953'e kadar, genellikle aralıklı olarak DNA'nın yapısındaki gizemin peşine düşmüşlerdi. Birkaç başarısızlıktan sonra, Rosalind Franklin'in DNA kristallerinin X-ışını görüntülerinden elde edilen bazı önemli ipuçları sayesinde Watson, 1953 yılının Şubat ayında, bir cumartesi sabahı, DNA'yı oluşturan dört kimyasal bazın —adenin (A), guanin (G), sitozin (C) ve timin (T)— kartondan modelleriyle oynarken yapının anahtarını keşfetti. İşin zahmetli kısmı, bazların genel yapıda nereye ve nasıl uyduğunu bulmaktı. Watson, "benzerler benzerlerle" (A ile A, G ile G vb.) eşleştirme şemalarını denemişti, ancak ortaya çıkan molekül kötü ve mümkün olamayacak bir karmaşa halindeydi.

Bir sabah, tek başına çalışan Watson, bazları farklı çiftler halinde düzenleyerek yeni bir şey denedi: Büyük baz A ile küçük baz T ve büyük baz G ile küçük baz C birlikte olacak şekilde sıralama yaptı. Bu özel çiftler yan yana getirildiğinde, Watson, bir bazdaki kimyasal grupların, diğer bazdaki kimyasal gruplarla hidrojen bağ adı verilen bir tür bağ oluşturabildiğini gördü (Şekil 4.4, solda).

Evet, tam isabet. Watson, A-T ve C-G baz çiftleri arasındaki bağların ikili sarmalın iki zincirini bir arada tutabileceğini hemen anladı. Çiftler aynı boyut ve şekilde olduklarından, uzun ikili

sarmalın iç kısmında, döner bir merdivenin basamakları gibi düzgün bir şekilde üst üste sıralanabilirlerdi (Şekil 4.4, sağda).

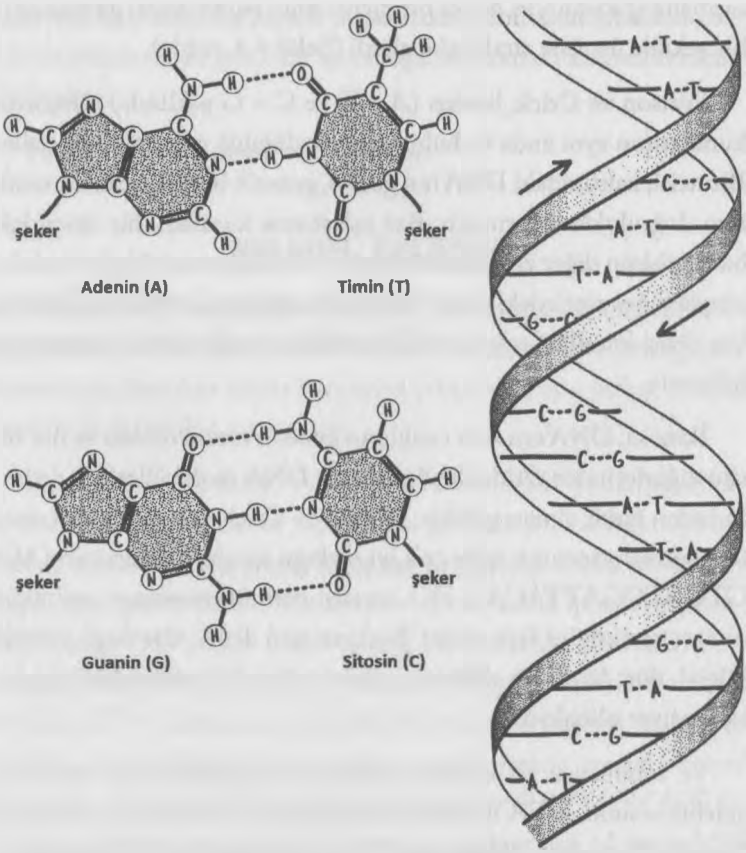
Watson ve Crick, bazları (A – T ve C – G şeklinde) eşleştirme kurallarının aynı anda üç bulmacayı çözdüğünü çabucak fark ettiler. Birincisi, kalıtımdaki DNA'nın görevi, genetik bilgiyi nesilden nesile tam doğrulukla aktarmaktı. Baz eşleştirme kuralları, bir zincirdeki baz dizisinin diğer zincirdeki bazların tamamlayıcısı olduğu ve dolayısıyla diğer zincirdeki diziyi belirlediği anlamına geliyordu. Böylece, baz dizisi kurallara uygun şekilde nesilden nesile birebir kopyalanabiliyordu.

İkincisi, DNA'nın tüm canlıların genetik metni olması ve her türün diğerlerinden farklı olabilmesi için DNA moleküllerinin de birbirinden farklı olması gerekir. Watson ve Crick, baz çiftlerinin uzun ikili sarmal yapısının içine çok iyi uyduğu için baz dizilerinin (ACGTGATCGATTACA... vb.) sayısız permütasyonunun mümkün olması gerektiğini fark ettiler. Bazların tam dizisi, türe özgü genetik bilgiyi, dört harfli bir alfabeyle yazılmış tüm biyosferin kütüphanesini taşıyor olmalıydı.

Ve sonuncusu da kalıtsal özelliklerde değişikliklerin meydana gelebilmesinin, DNA metninde değişiklik gerçekleşmesine bağlı olmasıdır. Bu nedenle Watson ve Crick, mutasyonların da baz dizisindeki değişiklikten kaynaklandığını öne sürdüler.

Nefes kesici doğrusu. Bilim insanlarının bir zamanlar sadece sıkıcı, işe yaramaz bir polimer olduğunu düşündükleri şeyin kimyasından hayatın işleyişine dair üç derin bilgi.

Watson, bunun üzerine Paris'e bir kutlama gezisi yaptı ve keşfini, duyunca hayretler içine kalan Monod'a anlattı.



Şekil 4.4. DNA baz eşleştirme kuralları ve ikili sarmal

A-T ve C-G baz çiftleri, hidrojen bağlarıyla bağlı benzer şekilli çiftler oluşturur, solda. İki DNA dizisinin, karşıt dizilerde yer alan bazlar arasındaki hidrojen bağlarıyla bir arada tutulduğu DNA'nın çift sarmal modeli, sağda. Watson'dan (1980) alınan veriler esas alınarak Kate Baldwin tarafından çizilmiştir.

Bu büyük buluş birçok yeni soruyu da gündeme getirmişti. Birincisi, dört harfli DNA alfabesinin canlıların özelliklerini belirlemek için nasıl çalıştığıydı. Sonraki on yıl boyunca, küçük bir araştırmacı grubu, DNA'nın baz dizisinin, her canlıda tüm işi yapan ve özelliklerin çoğunu belirleyen protein moleküllerini oluşturma talimatlarını

nasıl kodladığını belirleyerek genetik alanında rekor kırdı (bir sonraki bölümde daha ayrıntılı ele alacağız).

Bu yeni biyokimyasal bilgilere ve Lederberglerin yaptığı deneylere dayanarak Monod, biyosferdeki tüm yenilik ve değişikliklerin genetik metindeki rastgele değişikliklerden, yani rastlantısallıktan kaynaklandığını iddia etti. Bu akla yakın bir sonuçtu, ancak tamamen dolaylı kanıtlara dayanıyordu.

İkili sarmalla ortaya çıkan ikinci büyük soru dizisi, rastgeleliğin doğrudan fiziksel kanıtıyla ilgiliydi: Metin nasıl kopyalanıyordu, hatalar ne sıklıkla ortaya çıkıyordu ve nihai soru olarak, hatalar *niçin* oluşuyordu? Biyologlar, bu soruları dikkate değer bir kesinlik ve ayrıntıyla yanıtlamakta olağanüstü adımlar attılar.

EN HIZLI DAKTİLOCULAR

DNA metnini kopyalama görevi, DNA polimerazları adı verilen bir enzim ailesinin işidir (çünkü DNA polimerlerini oluştururlar). Bu moleküler makineler, Dünya'daki en hızlı ve en doğru daktilo yazıcılarıdır.

Bağırsaklarımızda yaşayan basit bakteri *Koli basilinin* (*E. coli*) genetik metnini kopyalamayı ele alalım. E. coli, etrafında yaklaşık 4.6 milyon baz çifti bulunan ve 4.000'den fazla gen içeren tek bir dairesel kromozoma sahiptir. Bakteri her otuz dakikada iki katına çoğalabilir, bu da bu süre içinde 4.6 milyon veya dakikada yaklaşık 150.000 bazın kopyalanması anlamına gelir. Şaşırtıcı bir şekilde, *E. coli*, işlemi DNA'sında yalnızca bir yerde başlatır ve *saniyede yaklaşık 1.000* baz hızında her iki yönde (saatin dönme ve tersi yönünde) devam eder. Karşılaştırma yapabilmek için en hızlı daktilo yazarı Stella Pajunas'ın, 1946'da IBM marka bir elektrikli daktiloda *dakikada* 216 kelime veya yaklaşık 1.000 karakter yazabildiğini hatırlayalım. Bu bir dünya rekoruydu; daktilo kullanan bir profesyonel ortalama, bu hızın yaklaşık üçte biri hızında çalışır ve elinizdeki bu kitabın bir

kopyasını yaklaşık 16 saatte çıkarabilir. *E. coli* DNA polimeraz ise bunu yaklaşık beş veya altı dakika içinde yapar.

Şimdi biraz doğruluk oranı hakkında konuşalım. Bir profesyonelin yaklaşık yüzde 97 oranında hatasız yazması, yani her 100 karakterde en çok 3 yazım hatası yapması beklenir. DNA polimerazlarla ilgili ayrıntılı çalışmalar, enzimlerin 10.000 ila 100.000 bazda sadece 1 gibi çok düşük oranda hata yaptığını, yani doğruluk oranının yüzde 99.999 olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu etkileyici sayı, hikâyenin sadece bir kısmını anlatıyor. Bu oranlar, bir test tüpünde izole edilmiş enzimler kullanılarak ölçülür. Bakteri hücrelerinin içindeki gerçek mutasyon oranı çok çok daha düşüktür – her bir çoğaltma başına 10 *milyar* bazda sadece bir veya iki hata. Bunun nedeni, kopyalama makinesinin ayrıca yanlış girilmiş bazları düzelten bir düzeltme okuması da yapmasıdır; bu işlem doğruluğu, sadece kopyalamaya göre 100 kat daha artırır. Ve yeni kopyalanan DNA'daki yanlış eşleşmeleri arayan, doğruluğu bin kat daha artıran başka bir biyokimyasal makine daha vardır. Bu oranları; enzimin yaptığı 100.000'de 1 hata, düzeltme okumasından kaçanların 100'de 1'i ve uyumsuzluk tespitinden kaçanların 1.000'de 1'ini çarparak final hata oranını 100.000 × 100 × 1,000 = 1 milyarda 1 olarak elde ederiz.

Bunlar bakteriler için sorun değil diyebilirsiniz, peki ya insanlarda mutasyon oranı? Herhangi bir kişinin tüm DNA (*genom*) dizisini ucuz ve hızlı bir şekilde belirleyebildiğimiz için insanlardaki mutasyon oranlarını artık çok doğru bir şekilde ölçebiliyoruz. Anne-baba ve çocuklarının DNA'sını sıralayarak, çocuklarda ebeveynlerinin herhangi birinden farklı olan bazları tespit ederek bir nesilde meydana gelen mutasyonların tam sayısını tespit edebiliyoruz. Değer aralığı, her 100 milyon baz çifti başına, yaklaşık bir mutasyon oranı için her çocuğun kabaca 6 milyar baz DNA çifti içinde yaklaşık 40-70 yeni mutasyondur. Bu oran, bakterilerdeki orandan daha yüksek ama yine de oldukça düşük bir değerdir.

Bölüm 6'da bu mutasyonlar hakkında daha fazla şey söyleyeceğim, ancak kendiniz veya çocuklarınız (veya gelecekteki çocuklarınız) hakkında paniğe kapılmadan önce, bu yeni mutasyonların çoğunun ne iyi ne de kötü olacağını ve de hiçbir etkisi olmayacağını belirtmem gerek. Bunun nedeni, genomumuzdaki genler arasında çok fazla boşluk bulunması ve mutasyonların çoğunun bu boşluklarda gerçekleşmesidir. Ve bir mutasyon bir gene yerleşip onu bozsa bile, genlerimizin çoğu iki kopya olduğundan bu tek sağlam kopya hayatta kalmamızı sağlar.

Her çocukta bulunan 40 ila 70 yeni mutasyon, sırasıyla yumurta ve sperm yoluyla hem anneden hem de babadan gelir (yumurta ve spermin nasıl bir araya geldiğini açıklamayayım isterseniz!). Biyologlar şaşırtıcı bir şekilde, dizileme teknolojisini her bir sperm hücresindeki mutasyonları tanımlayabilecek kadar ileri götürdüler. Stanford Üniversitesi'nden bir biyolog olan ve "ejakülom" adını verdiği şeyin keşfine öncülük eden Stephen Quake, sperm başına 25 ila 36 mutasyon buldu; bu değer, çocuklarda bulunan toplam mutasyon sayısının yaklaşık yarısı kadardır.

Bireylerin DNA'sındaki mutasyonları bulabilecek böylesine güçlü bir teknoloji ile artık rastgelelikle ilgili temel bir soru sorabiliriz. Mutasyonlar genomda rastgele mi dağılıyor? Bu tür çalışmalar farklı türlerde yapılmıştır ve cevabı, ilk tahmin olarak: "Evet!"tir.

Şu ana kadar, Monod açısından her şey güzeldi. Artık hataların ne sıklıkla ortaya çıktığını ve rastgele dağıldığını biliyoruz. Ancak geriye bir soru kalıyor: Hatalar niçin oluşuyor?

Ve cevap, çok geçmeden, rastlantıyı suçüstü yaparken geldi.

KUANTUM FİBRİLASYON

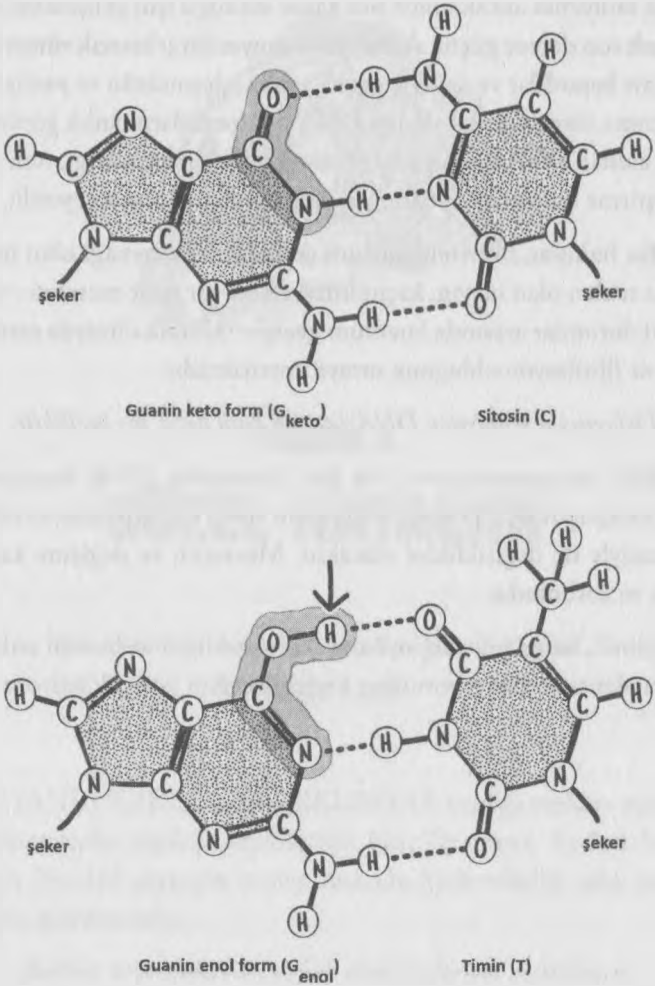
Watson ve Crick 1953'te DNA'nın yapısı üzerinde çalışırken, dört bazın kimyası hakkındaki sınırlı bilgileri nedeniyle başlangıçta başarısız oldular. Watson, kimyasal yapıları bir ders kitabından kopyaladı,

ancak bazıları yanlıştı (hepimiz için iyi bir ders!). Neyse ki, gruplarında çalışan başka bir bilim insanı ona doğru bilgileri aktardı ve tarihe geçtiler.

Bu kimyasal ayrıntıların yalnızca DNA bilmecesini çözmek için önemli olmayıp, rastgele mutasyonla ilgili soru için de çok önemli olduğu ortaya çıktı. Öyleyse burada biraz duralım, biraz kimya geliyor. Aşağıdakilere göz atmaktan çekinmeyin; yeniden kimya dersi almadan ana fikri öğrenebilirsiniz. Veya arkadaşlarınızı etkilemek için bir miktar derine de dalabilirsiniz. DNA'da bulunan dört baz da dâhil olmak üzere birçok molekül, bir formdan diğerine geçebilen totomer (bağ eşiz) adı verilen alternatif formlarda bulunur. Bu formlar arasındaki fark, bir hidrojen atomunun (bir proton) bazların halka yapıları üzerinde yer değiştirmesidir. Bu yer değişikliği, diğer bazlarla hidrojen bağı için hangi grupların uygun olduğu üzerinde etkilidir. Guanin ve timin bazlarının bir formuna "keto" formu denir; alternatifi "enol" formudur (Şekil 4.5). Watson'ı harekete geçiren ilk şey, enol formlarını kopyalamasıydı. Meslektaşı, keto formlarının çok daha yaygın formlar olduğuna ve bu düzeltmenin Watson'ın keşfine yol açtığına dikkat çekti.

Ancak Watson'ın baştaki hatasında önemli bir ipucu vardı. O ve Crick, enol formlarının hidrojen bağları oluşturabileceğini, *ancak yanlış bazla* —G ile T veya A ile C— oluşturduğunu fark ettiler. İlk raporlarında, bir hidrojen atomunun yer değiştirmesiyle "kendiliğinden mutasyonun, bazen en az olası totomerik formlarından birinde ortaya çıkan bir bazdan kaynaklanabileceğini" öne sürdüler. DNA kopyalama sırasında, örneğin G bazı eğer az rastlanan bir formdaysa, ikili sarmalın içine yanlış bir tamamlayıcı bazın, örneğin bir C yerine bir T'nin eklenebileceğini düşündüler.

60 yıl ileriye gidebilseydik bu olanak, biyokimyacıların tam başarmak isteyeceği şey olacaktı. Bu ancak molekülleri atomik düzeyde gözlemlemeyi mümkün kılan çok gelişmiş teknolojilerle başarılabildi. Çünkü az rastlanır forma geçiş, molekül ortak forma dönmeden



Şekil 4.5. Mutasyonun temelindeki çok kısa süreli şekil değişikliği

Guaninin (G) keto formunu içeren tipik G-C baz çiftinin (üstte), G-T baz çifti oluşturabilen (altta) ve mutasyona neden olan daha geçici enol formu ile karşılaştırılması. Aradaki fark, daha büyük guanin halkası (okla işaretli) üzerindeki bir hidrojen atomunun konumundaki geçici yer değiştirmeden kaynaklanmaktadır. Kate Baldwin tarafından Bax ve arkadaşlarının (2017) verilerine dayanılarak çizilmiştir.

önce saniyenin ancak binde biri kadar sürdüğü için gelişmeleri tespit etmek son derece güçtü. Ancak biyokimyacılar o kısacık süreyi yakalamayı başardılar ve özünde geçici yanlış eşleşmelerin ve yanlış bazın eklenme sürecinde yakalanan DNA polimerazların anlık görüntülerini aldılar. DNA bazlarındaki bu kısacık şekil değişikliği, tüm yanlış eşleştirme hatalarının yüzde 99'undan fazlasını oluşturuyordu.

Bu buluşlar, biyosferdeki tüm çeşitliliğinin kaynağı olan mutasyona neden olan olayın, kaçınılmaz, temel bir fizik meselesi —kimyasal durumlar arasında kuantum geçişi— atomik düzeyde rastlantısal bir fibrilasyon olduğunu ortaya koymaktadır.

Dolayısıyla mutasyon, DNA'daki bir hata değil, bir özelliktir.

Her bir organizmanın her bir hücresinde, DNA kopyalaması gerçekleştiğinde, DNA'ya özelliklerini veren bazların içsel özellikleri nedeniyle de değişiklikler olacaktır. Mutasyon ve değişim, kaçınılmaz ve zorunludur.

Şimdi, hangi güzelliğin, hangi karmaşıklığın ve hemen ardından da rastlantının hangi sorunları üretebileceğini görmek istiyoruz.



BÖLÜM 5

GÜZEL HATALAR

"Tüm mucitlerin en büyüğünü söyleyeyim size: Kazalar..."

— MARK TWAIN

DÜNYANIN EVRİM GERÇEKLERİNE verdiği tepkiler aşırı uç noktalara kadar yayıldı. Tepkilerden biri, Tennessee Eyaleti Meclis'inde No. 185 sayısıyla verilen tasarıda ifade edildiği gibi, onları sürgüne göndermekti:

> *Kısmen veya tamamen devlet okul fonlarıyla desteklenen üniversitelerde, normal okullarda ve diğer tüm devlet okullarında herhangi bir öğretmenin, İncil'de anlatılan şekliyle İlahi Yaratılış hikâyesini inkâr eden ve bunun yerine insanın daha düşük bir hayvan türünden geldiğini iddia eden herhangi bir teoriyi öğretmesi yasa dışıdır.*

Mart 1925'te kabul edilen yasa, hüküm giyen lise öğretmeni John T. Scopes'un ünlü davasının temelini oluşturuyordu. Yasa, Tennessee

eyalet mahkemesinde anayasaya uygunluk açısından da onaylandı ve 1967'ye kadar yürürlükte kaldı.

Bu size çok acımasız geliyorsa, yelpazenin diğer ucunu duyuncaya kadar bekleyin. Sovyet Komünist Partisi liderleri, zooloji profesörü Ilia İvanov tarafından, Scopes davasıyla aynı yılda (1925) Batı Afrika'ya yapılacak bir keşif gezisinin finanse edilmesine onay vermişti. Bu bilim insanı, spermlerin seçilmiş erkek vericilerden elde edildiği ve dişi hayvanlara mekanik olarak verildiği çiftlik hayvanlarında suni döllenmenin öncüsü olarak isim yapmış, ancak bu süreç, İvanov'un binlerce at ve koyun üzerinde başarıyla uygulanan yöntemlerine kadar yaygın olarak benimsenmemişti. İvanov, çiftleşme sürecini atlatarak, suni tohumlamanın melez hayvanların yaratılmasına imkân vereceğini de düşündü ve zebrat (at-zebra) ve zubron (bizon-inek) gibi bazı yeni çeşitler üretebildi.

İvanov'un yeni projesi yeni bir melez, bu sefer de insanlarla şempanzeler arasında bir "insanze" yaratmayı hedefliyordu. İvanov, iki türün, yaşamını sürdürebilir bir melez oluşturacak kadar yakın akraba olduğuna ve bunun insanın maymundan evrildiğini etkileyici bir şekilde doğrulayacağına inanıyordu.

Projeye resmi Sovyet desteği, büyük ölçüde ideolojikti. Çok iddialı olmayan bir unvana sahip Aydınlanma Komiserliği, araştırmayı "materyalizm (*yalnızca maddenin var olduğu doktrini*) için son derece önemli bir konu" olarak tanımlarken, diğerleri bunun dini öğretileri ve kilisenin gücünü baltalayacağını umuyordu. Başarılı olursa, bu melezler Sovyet bilimi için de büyük bir propaganda malzemesi olacaktı.

İvanov'u sadece Sovyetler desteklemiyordu. Paris'teki Pasteur Enstitüsü yönetimi, o sırada dünyanın belki de en seçkin biyomedikal araştırma kurumu, araştırmayı teşvik etti ve İvanov'a Fransız Ginesi'ndeki tesislerinde şempanzelerle çalışma izni verdi. Bu girişim ve potansiyel önemi geniş çapta duyuruldu. *New York Times*, deneyin "insan ile yüksek maymunlar arasında yakın bir ilişki kurarak evrim

doktrinini desteklemeyi" amaçladığını bildirdi. Basında yer alan kısmıyla çok ilgi uyandırdı, ancak aynı zamanda bazı muhalifleri de uyandırmıştı. İvanov, Paris'te kaldığı süre boyunca, beyaz ırkın üstün olduğunu iddia eden Ku Klux Klan (KKK) hareketinden tehdit mektubu aldı ve bu mektubu, çalışmalarının "olağanüstü bilimsel, ama... sosyal ağırlığının da olduğunun" olumlu bir kanıtı olarak değerlendirdi.

Fakat, bu arada deneyin lojistiğinin KKK'dan daha büyük bir sorun olduğu ortaya çıktı. İvanov'un 1926'da Fransız Ginesi'ne ilk gezisi bir fiyaskoydu. Tesisteki tüm şempanzelerin çok genç ve cinsel olarak olgunlaşmamış olduğunu gördü. İvanov, 1927'de Gine'ye tekrar gitti ve birkaç yetişkin şempanzenin yakalanmasına yardım etti. Sonunda İvanov, üç dişi şempanzeyi bir insan donörden alınan spermle döllemeyi başardı. Ancak hamile kalamadılar.

İvanov, çalışmalarına devam edebilmek, ancak bu sefer tam tersi yönde, insan dişilerinin maymun spermiyle döllenmesi için denemeler yapmak üzere bir düzineden fazla şempanzeyle birlikte Sovyetler Birliği'ne döndü. İki yıllık resmi görüşmelerden sonra İvanov, bir Sovyet primat araştırma istasyonunda, bir doktorun gözetiminde en az bir yıl boyunca tecrit altında yaşamayı kabul edecek, tam idealist (para peşinde olmayan) bir anlayışa sahip "en az beş" gönüllü arama izni aldı. İvanov'un gönüllüleri vardı, fakat yurda getirttiği tüm maymunlar nakliye sırasında veya kafeslerinde tutulurken ölmüştü ve deney ertelenmek zorunda kaldı. Bu arada, Sovyetlerin yönetiminde tasfiyeler sürdükçe İvanov'un başına başka olaylar da geldi. Diğer birçok bilim insanıyla birlikte, asılsız suçlamalarla gizli polis tarafından gözaltına alınıp tutuklandı ve 1932'de ölecek olduğu Kazakistan'a sürgüne gönderildi. İvanov olayı, böylece Sovyetlerin belleğine gömülmüş oldu.

Neyse ki dünyada kalan şempanzeler için, evrimin kanıtı, insanlarla çiftleşmelerini gerektirmedi. İnsanların mı yoksa diğer türlerin mi doğal yollarla evrimleştiği sorusunu çoktan geride bıraktık.

Günümüzün meşru ve yakıcı soruları, türlerin *nasıl* evrimleştiğiyle ilgilidir:

Yeni yetenekler ve yaşam tarzları nasıl ortaya çıkıyor? Ve, yeni türler nasıl oluşuyor?

Bu sorular, biyosferdeki yaratıcılığın ve yeniliğin kökeninin merkezinde yer alır. Biyolojideki en büyük beyinlerden bazılarının, doğal seçilim ve mutasyonun buluşa göreli katkılarıyla boğuştuğunu ve bugüne kadar hararetli bir tartışmanın devam ettiğini öğrenmek sizi şaşırtabilir. "Tüm organik varlıkların birbiriyle ve fiziksel yaşam koşullarıyla uyumlarının, doğanın seçilim gücünün etkisiyle uzun zaman içinde gerçekleşebilecek değişim miktarının, güzelliğinin ve sonsuz karmaşıklığının bir sınırını göremiyorum." Ancak bir asırlık Darwinci düşüncenin tüm bilgisine sahip olan Monod, rastgele mutasyonun ve dolayısıyla "her yeniliğin, biyosferdeki tüm yaratılışın kaynağının tek başına rastlantı olduğunu" iddia etti.

Öyleyse cesaretimizi toplayıp "bu iki gerçek dâhiden hangisi haklıydı, ya da daha haklı olan kimdi?" sorusunu soralım.

Alacağımız cevap önemlidir, çünkü Monod'ya göre, rastgele mutasyonun yaratıcı rolü ne kadar büyükse, yaşamın rastlantı eseri olma olasılığı da o oranda büyük olacaktı.

Neyse ki, herhangi bir türün DNA'sını inceleme ve yeni bir yeteneğin veya adaptasyonun kesin nedenini belirleme konusundaki son yeteneğimizin yardımıyla önemli bir yeni kavrayış olanağı var. DNA'yı daha iyi anlamak için önce Darwin'in en sevdiği canlılardan birine bir göz atalım.

GÜVERCİN TÜYLERİ

İngiliz trompetçi güvercini, Hint yelpaze kuyruklusu, Eski Alman baykuşu, Eski Hollanda kapuçini ve Jakoben, eğitimsiz bir göze birbirinden çok farklı görünen çeşitli güvercin türleridir (Şekil 5.1).

Ancak işin meraklıları, ortak bir özelliğin olduğunu söylerler; kıvrımlı tüyleri ya da tepeli oluşları. Çoğu cinste (İngiliz baloncu, İngiliz taklacı, yarış güvercini vb.) ve ataları olan yabani kaya güvercininde bu tür süsler yoktur.



Şekil 5.1. Tepeli güvercinler

Soldan sağa, Jakoben, Yaşlı Hollanda kapuçini ve İngiliz trompetçi. Tümü, boyunlarının ve başlarının etrafında bir tepe oluşturan tüyler taşır. Fotoğraflar Michael D. Shapiro'nun izniyle.

Öyleyse basit bir soru soralım: Bazı güvercinler bu süslere nasıl sahip oldular?

Darwin'in kuşlarını yetiştirmesinden itibaren 150 yıl boyunca kesin bir cevap bulmak hiç de kolay olmadı. Yetiştirme deneyleri sayesinde, tepenin olması veya olmamasının tek bir gen tarafından belirlendiğini ortaya çıktı. Bununla birlikte, bir güvercinin DNA'sında bulunan binlerce gen arasından bu genin belirlenmesi, bu genin tepeli ve tepeli olmayan kuşlarda nasıl farklılaştığını anlamak, samanlıkta iğne aramaya benziyordu. Bu tür bilgiler, çok daha hızlı ve daha ucuz DNA dizileme yöntemleriyle her canlının DNA dizilerini erişim imkânına kavuşulan çok yakın zamana kadar büyük ölçüde ulaşılamaz durumdaydı.

Güvercin veya başka bir türün DNA samanlığındaki önemli iğneleri bulmak için DNA'nın dilini ve canlı organizmaların işleyen

kısımlarını oluşturacak DNA bilgilerinin kodunun nasıl çözüldüğünü bilmemiz gerekir. DNA'nın dili kolayca öğrenilebilir; çok kısa bir alfabesi, çok sınırlı bir kelime hazinesi vardır ve gramer kuralları basittir. Bu dili öğrenmenin getirisi, yalnızca yeniliğin ve biyolojik çeşitliliğin kaynağını değil, sonraki iki bölümde ele alacağımız insan bireyselliğinin kaynağını ve hastalıkların nedenlerini de anlayabilmektir. Daha sonra dönüp tekrar bakmak üzere bu kısa bölüme yer imi koymak isteyebilirsiniz.

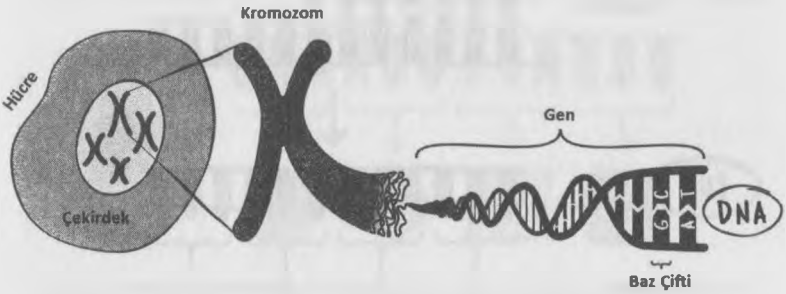
Haydi, kromozomlar, genler ve DNA ile başlayalım. Her organizmanın genetik bilgisi, hücrelerde bir veya daha fazla kromozom tarafından taşınır. Her kromozom uzun bir DNA molekülü içerir; bazıları 200 milyondan fazla baz uzunluğundadır. Her gen, DNA molekülü boyunca kendi aralığını kaplar (Şekil 5.2). Bireysel kromozomlar binlerce gen içerebilir.

4. Bölüm'den DNA'nın A, C, G ve T harfleriyle kısaltılan dört farklı bazdan oluştuğunu hatırlayalım. DNA hakkındaki en şaşırtıcı gerçek, yaşamın tüm çeşitliliğinin sadece bu dört bileşenin permütasyonuyla oluşmasıdır. DNA'nın iki zinciri, karşılıklı zincirler üzerinde yer alan baz çiftleri arasındaki güçlü bağlarla bir arada tutulur; A her zaman T ile eşleşir ve C de her zaman G ile. Her gen içinde kodlanmış benzersiz bilgiyi belirleyen, DNA segmentindeki (ACGTTCGATAA, vb.) bin veya daha fazla bazın benzersiz dizilişidir.

Sadece bu dört bazı kullanarak, türlerin tüm DNA'sı, oksijen taşımaktan gıdaları parçalamaya ve gelecek nesiller için DNA'yı kopyalamaya kadar hücrelerimizde ve vücudumuzdaki tüm işleri yapan molekülleri yani binlerce farklı *proteini* kodlar. Proteinlerin kendileri, *amino asitler* adı verilen yapı taşlarından oluşur ve bunların yirmi farklı türü vardır (kolaylık olması açısından bunlar protein dizilerinde ayrı birer harf olarak da gösterilir). Ortalama olarak yaklaşık 400 uzun zincir halinde bir araya getirilen bu amino asitlerin kimyasal özellikleri, her bir proteinin benzersiz aktivitesini belirler.

Biyologlar 50 yıl önce genetik kodu deşifre edebildiğinden, DNA kodu ile her proteinin benzersiz dizisi arasındaki ilişki o tarihten bu

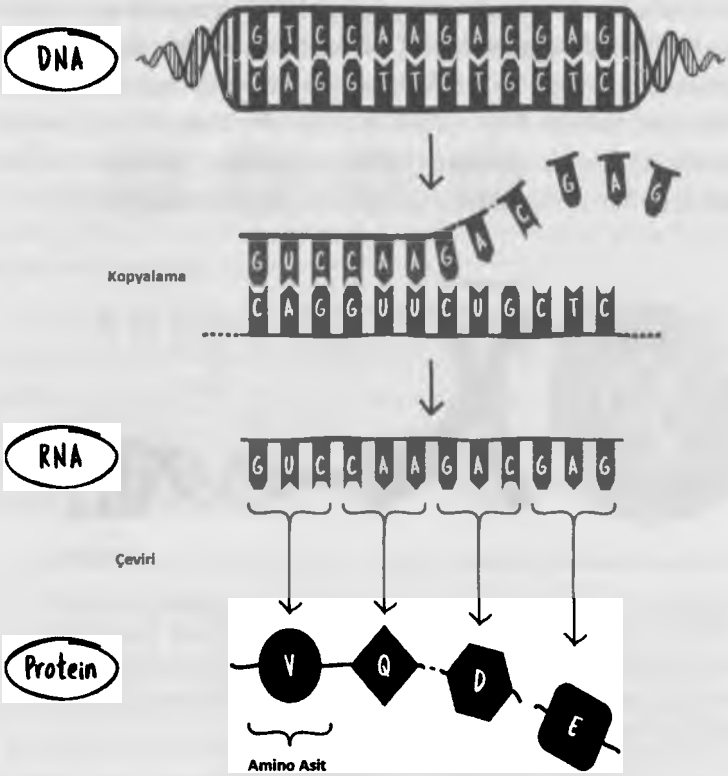
yana iyi bilinmektedir. Protein yapımında DNA'nın kodunun çözülmesi iki aşamada gerçekleşir. DNA ilk önce tek bir mesajcı RNA dizisine kopyalanır; bu RNA, DNA'nın zincirinin tamamlayıcısıdır. Ardından, haberci RNA proteinlere *çevrilir*. Genetik kod, her seferinde üç baz olmak üzere (RNA çevirisinden) okunur ve amino asitler, üç bazın oluşturduğu üçlü tarafından belirlenir (Şekil 5.3).



Şekil 5.2. Kromozomlar, DNA ve genler arasındaki ilişki

Kromozomlar hücre çekirdeğinde bulunur; her kromozom uzun bir DNA molekülü içerir ve her uzun DNA molekülü, birçok DNA baz çiftini kapsayan birçok gen içerir. Kate Baldwin'in çizimi.

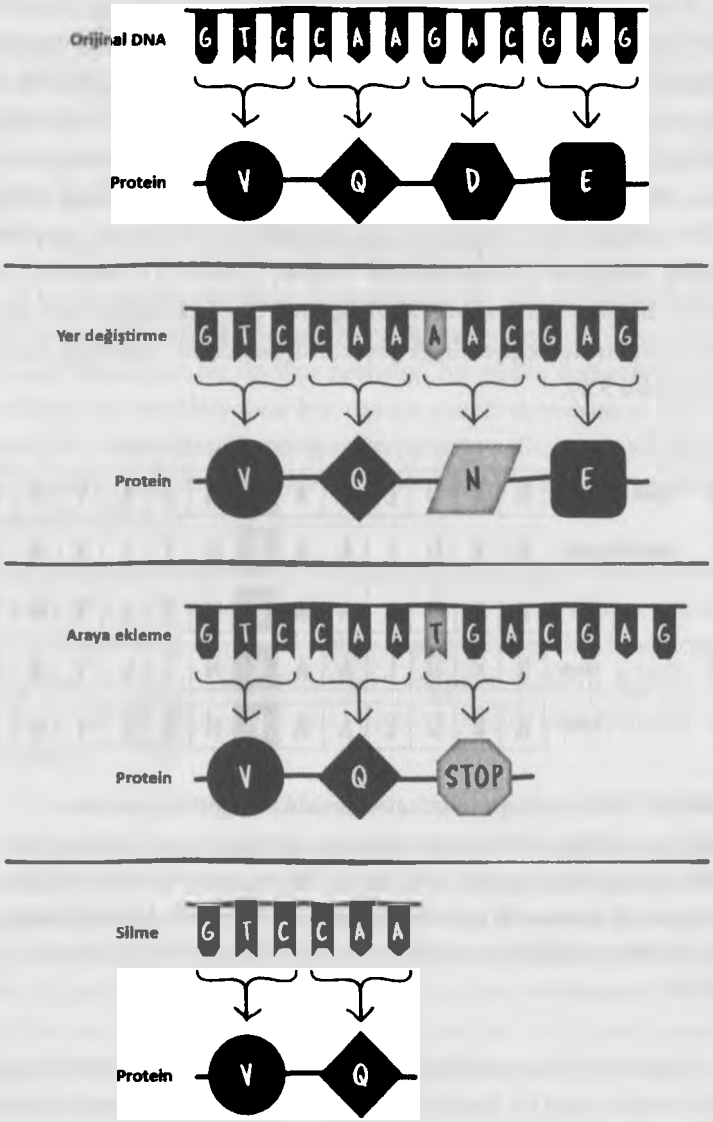
DNA'da A, C, G ve T'nin 64 farklı üçlü kombinasyon, ancak sadece yirmi amino asit vardır. Belirli amino asitlere ilişkin çoklu üçlü kod (Amino asit kodlamayan ve proteinlerin çevrilmesinde, tıpkı cümlenin sonunu belirten nokta gibi durma noktasını gösteren üç adet üçlü kod) vardır. Bize kolaylık sağlayan ve yaşamın ortak kökeninin bir kanıtı olan bu kod (birkaç küçük istisna dışında), her canlı türünde aynıdır. Belirli bir DNA dizisi verildiğinde, DNA dizisinin kodladığı protein dizisini deşifre etmek kolaydır. Benzer şekilde, DNA'daki çeşitli mutasyon türleri (yer değiştirme, ekleme ve silme) verildiğinde de protein dizilerinin nasıl değiştiğini tam olarak tahmin edebiliriz (Şekil 5.4).



Şekil 5.3. DNA'daki bilgilerin şifresinin çözülme süreci

DNA'nın proteinlere deşifre edilmesi iki adımda gerçekleşir: DNA ilk önce bir DNA dizisinin tamamlayıcısı olan tek bir mesajcı RNA dizisine kopyalanır; daha sonra haberci RNA, bir proteini oluşturan bir amino asit dizisine çevrilir. Kate Baldwin'in çizimi.

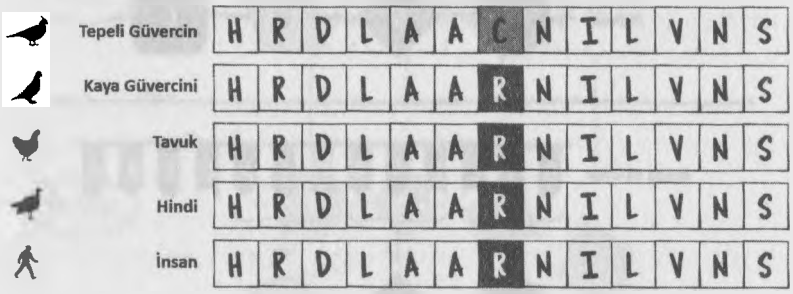
Samanlıkta iğne aramanın zorluğu genomların büyüklüğünden gelir. Güvercin genomu 2.6 milyar baz çifti (bizim genomumuz yaklaşık 6 milyar baz çiftidir) ve 17.300'den fazla gen içerir. Yine de Utah Üniversitesi'nden Biyolog Mike Shapiro ve dünyanın dört bir yanından katkıda bulunan ekibiyle birlikte, güvercinlerin nasıl tepeli olabildiklerini tam olarak anlayabildiler.



Şekil 5.4. Farklı mutasyon türleri DNA dizisini değiştirir

Yer değiştirmeler, eklemeler ve silmeler genellikle DNA'da meydana gelir ve yapılan protein dizisini değiştirir. Kate Baldwin'in eseri.

Bunu yapabilmek için 22 tepeli ve 57 tepesiz cinsten oluşan geniş bir örnek grubunun DNA'sını inceleyip karşılaştırdılar. Bir tepenin olup olmamasının belli bir gen tarafından belirlendiğini ve daha da ilginci, o genin dizisindeki belli bir konumdaki tek bir farkla belirlendiğini buldular. Tepesiz kuşlarda C:G baz çifti bulunmasına karşılık, tepeli kuşlarda T:A baz çifti bulunur. Bu durum, C'nin yerine T'nin geldiği tepeli formların bir atasında bir mutasyon meydana gelmiş olduğunu göstermektedir. Genler, Ephrin-B2 reseptörü adı verilen bir proteini kodlar; DNA'daki tek baz farkı, amino asit arjininin sistein ile değiştirildiği protein dizisinde bir farklılığa neden olur (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Tek bir mutasyon tepeli güvercindeki bu değişikliğe yol açar

Birkaç türe ait Ephrin-B2 protein dizisinden bir parça, amino asitler için tek harfli kısaltmalar kullanılarak gösterilmiştir. Tepeli güvercinlerde ortaya çıkan mutasyon, bir pozisyonda arjin (R)'den sistein (C)'ye tek bir değişikliğe neden olur. Shapiro ve diğerlerinin verilerine dayanarak Kate Baldwin'in çizimi. (2013).

Shapiro ve ekip arkadaşları, tek bir değişikliğin güvercinin görünümünde nasıl bu kadar büyük bir fark yarattığını da keşfettiler. Mutasyon, baş ve boyun tüylerinin ters yönde uzamasına ve böylece boyundan aşağıya değil başın üzerine doğru uzayarak başın etrafında bir tepe oluşturmasına neden olur.

Şimdi mutasyon ve doğal seçilimin buluşa katkısı sorusuna güvercindeki tepelerin kökeninin nasıl etki ettiğine bakalım. Tepenin kökeni son derece açıktır: Bir noktada, güvercinin atalarından birinde, tepe oluşturan bir mutasyon gerçekleşmiştir. Çok sayıda cinste tepenin bulunması ise, yetiştiricilerin bu cinsleri üretirken ve çoğaltırken tepeli olanları *seçmeye* dikkat etmiş olmalarıyla açıklanmaktadır.

O halde, mucit kimdir? Mutasyon mu yoksa seçim mi?

Darwin, doğal seçilimin kademeli olarak "sonsuz derecede küçük" varyasyonlar üzerinde hareket ettiğine inanıyordu. O ve sonraki nesil biyologlar, bir özelliği herhangi bir yönde değiştirmek için herhangi bir popülasyonda her zaman yeterli varyasyonun mevcut olduğunu varsaydılar. Bu görüşe göre, doğal seçilim evrimsel değişimi başlatır ve yaratıcıdır, oysa mutasyonlar yalnızca doğal seçilimin üzerinde etki ettiği "ham maddeyi" sağlar.

Ancak bu cinslerdeki tepe, ataları olan kaya güvercininde yoktu. Bunun yerine, güvercin başındaki tüy modelinin ters yöne çevrilmesi ve nihayetinde bir tepe halini alması, pek çok küçük adımda değil, bir gende tek bir spesifik mutasyon tarafından sağlandı. Ephrin-B2 mutasyonunun etkisi için "sonsuz derecede küçük" veya "yetersiz" denemezdi.

Bu tür keşifler —yaratıklardaki farklı değişikliklerden sorumlu spesifik mutasyonların keşfi— bugün bilimsel dergilerin sayfalarını dolduruyor ve mutasyonun potansiyel yaratıcı rolünün yeniden düşünülmesinin yerinde olduğunu gösteriyor. Mutasyonun rastgeleliğiyle ilgili olarak geçen bölümde yaptığımız gibi, mutasyonun yaratıcılığını değerlendirmek için de bazı kriterlere ihtiyacımız olacaktır. Buluşun tanımı, daha önce var olmayan bir şeyin yaratılmasıdır. Aşağıdaki kriterlerden herhangi biri karşılanıyorsa bir mutasyonun yaratıcı olarak kabul edilmesini öneriyorum:

1) Mutasyon yeni bir fiziksel özellik yaratır.

2) Mutasyon, yeni bir moleküler işlev veya yetenek yaratır.

3) Mutasyon, bir gende yeni bir fizyolojik işlev yaratır.

Tepe mutasyonu, ilk kriteri karşılıyor. İlginç bir şekilde, Shapiro ve ekibi, 20 milyon yıl önce güvercinlerden ayrılan bir tür olan evcilleştirilmiş karıncayiyen güvercinlerde tepenin oluşumundan sorumlu olan geni ve mutasyonu da araştırdı. İlginçtir, sorumlu mutasyonun güvercin tepesi mutasyonuyla aynı Ephrin-B2 reseptör geninde olduğunu, ancak gen içinde farklı bir bazda yer aldığını keşfettiler. Keşif, bu kuşlarda tepenin oluşumunun sadece çok sınırlı şekillerde meydana gelebileceğini gösteriyor.

Ancak iki tepeli olmak genel bir kural oluşturmaz. Diğer buluşlara bakalım ve kendimize mutasyonun ne yapıp ne yapamayacağını soralım. Kaotik fiziksel gezegenimizin hikâyelerini anlattım: Yükselen dağlar, donan okyanuslar ve buzul çağlardaki iklimin dalgalanması. Bu nedenle, bazı ekstrem ortamlarda yaşayan (veya yaşamış olan) bazı büyüleyici canlıların DNA'larına bir göz atacağız ve bunu nasıl başardıklarını göreceğiz.

DNA İÇİN KÜÇÜK ADIMLAR, YÜNLÜ MAMUTLAR İÇİN DEV İLERLEME

2001'de bir akşam biyolog Kevin Campbell, televizyonda, Sibirya'nın donmuş topraklarında yünlü bir mamutun gün ışığına çıkarılmasıyla ilgili bir belgesel izliyordu. Aklına basit bir soru geldi: Buzul Çağı'ndaki bu hayvanlar şiddetli soğukla nasıl başa çıkabilmişlerdi?

Mamutların mükemmel durumdaki fosil kayıtları, atalarının yaklaşık 7 milyon yıl önce Afrika'nın ekvator bölgesinde ortaya çıktıklarını ve yaklaşık 1-2 milyon yıl önce de Buzul Çağı'nın ilk evrelerinde yüksek enlemlerde koloni kurduklarını ortaya koymaktadır. İyi korunmuş, mumyalanmış örnekler, soğuğa karşı farklı anatomik adaptasyonlar olduğunu gösteriyor. Sıcaktan korunmak zorunda olan Asyalı ve Afrikalı kuzenlerinin aksine, mamutların soğuk kuzeyde sıcaklığı korumaya yardımcı olan birkaç özelliği vardı: Kalın kürk, yünlü kürklerini iyi yağlayan derialtı bezleri, çok daha küçük kulaklar ve daha kısa kuyruklar.

Ancak Campbell, göremediği şeyi; hayvanların donmuş tundralar üzerinde durmasını sağlayan fizyolojik mekanizmaları özellikle merak ediyordu. Ren geyiği ve misk öküzü gibi Kuzey Kutup hayvanlarının, vücutlarının donma noktasının biraz üzerindeki bir sıcaklıkta tutulmasını sağlayan ince, yalıtılmış ayak uçlarıyla ısı kaybını azalttıklarını biliyordu. Kan damarları paralel bir ağ şeklinde düzenlenmiş olduğundan, bacaklarından aşağı inen damarlar ısıyı, yukarı doğru uzanan damarlara aktarır, böylece soğuk ısırmasından korunabilmiş olurlar. Bununla birlikte, bacaklardaki sıcaklık düşümü, akciğerlerden kan yoluyla dokulara oksijen taşıyan protein olan hemoglobinin yaşam enerjisini iletmesini de zorlaştırır.

Campbell, mamutun kanındaki hemoglobinle ilgili özel bir şey olup olmadığını merak etti. Bunu öğrenmenin önünde sadece küçük bir engel vardı, yaklaşık 10.000 yıl önce türün soyu tükenmişti. Yani ortada incelenebilecek bir mamut kanı falan yoktu.

Ancak bunlar, araştırmacıların mumyalar ve fosillerden çok küçük miktarlarda DNA örnekleri alıp analiz etmeye başladıkları eski DNA teknolojisinin ilk günlerine ait endişelerdi. Campbell, Almanya'nın Leipzig kentinde bulunan Max Planck Enstitüsü çalışanlarından eski bir DNA uzmanı, Avustralyalı biyolog Alan Cooper ve Michael Hofreiter ile birlikte, Kuzey Sibirya'nın donmuş topraklarda bulunan 43.000 yıllık bir mamuta ait uyluk kemiğinden ne elde edebileceklerini görmek için bir araya geldi.

Araştırmacılar, polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) adı verilen bir teknik kullanarak, hemoglobin proteininin iki farklı zincirini kodlayan iki genin mamut versiyonlarının kopyalarını çıkarmayı başardılar. Mamutların Asyalı ve Afrikalı akrabalarından ayrılmasından bu yana ortaya çıkan bir zincirde üç fark tespit ettiler. Hemoglobin, biyolojide üzerinde en iyi çalışılan proteinlerden biridir. Campbell ve arkadaşları, farklardan en az ikisinin, memelilerde nadiren değişen zincirdeki konumlarla ilgili olduğu sonucuna vardılar.

Bu gözlem sadece korelasyon amaçlıydı. Mamutun hemoglobinin farklı çalışıp çalışmadığını test etmek için araştırmacılar proteini

hayata döndürmek zorunda kaldılar. Bu amaçla, mamuta ait hemoglobini üretmek için bakteri hücrelerini işleme soktular ve özelliklerini Asya fili hemoglobiniyle karşılaştırdılar. Mamut hemoglobinin, daha düşük sıcaklıklarda oksijen salımı açısından fil hemoglobinine göre gerçekten çok daha iyi olduğunu keşfettiler.

Aşırı soğuğun yanı sıra, hemoglobinin işlev görmesinin özellikle zor olduğu başka durumlar da vardır. Yüksek irtifada, solunan havadaki oksijen oranı aynıdır ancak akciğerlerde gaz değişimini sağlayan kısmi oksijen basıncı deniz seviyesinden çok daha düşüktür. Örneğin, 5.500 m yükseklikte yaklaşık % 50 düşer ve bu durum da hayvanlar ve insanlar için oksijen eksikliği (hipoksi) riski oluşturur.

Bununla birlikte, birçok kuş türü çok yüksek irtifalarda uçabilir (çok enerji tüketen bir süreçtir). Belki de en ünlüsü, Himalaya üzerinden geçerek Hindistan'dan Moğolistan'a göç eden ve 6.500 metrenin üzerinde belgelenen Hint kazıdır. Benzer şekilde, And kazı 5.500 metre yüksekliklere kadar yaşar. Bunların ve diğer çeşitli yüksek irtifa kuşlarının hemoglobin genlerinin ve proteinlerinin incelenmesi, alçak irtifa kuşlarının hemoglobinlerine göre proteinin oksijene olan yatkınlığını artıran ve böylece damarlardaki kanın oksijenle zenginleştirilmesine ve vücut dokularına yeterli oksijen iletilmesine yardımcı olan bir dizi spesifik mutasyon ortaya çıkardı.

Bu kuşlarda ve yünlü mamutta, hemoglobine yeni özellikler kazandırmak için bir veya birkaç mutasyon yeterliydi ve bu da hayvanların menzil mesafelerinin çok zorlu ortamlara kadar artırılmasına yardımcı oldu. Bu mutasyonları yaratıcı mutasyonlar olarak değerlendirin. Mevcut genlerdeki bu basit yer değiştirmeler, mutasyonun sadece bir türüdür, ancak DNA ve canlılar üzerinde çok daha dramatik etkileri olan başka mutasyon türleri de vardır.

DERECE MESELESİ

Yünlü mamut ve Hint kazının hemoglobinlerinin adaptasyonları müthiştir, ancak bazen aşırı koşullar daha da aşırı önlemler gerektirir.

Örneğin Antarktika'yı ele alalım. Bölüm 2'de gördüğümüz gibi, gezegendeki sıcaklıklar son 50 milyon yılda büyük ölçüde düşmüştür. Antarktika bir zamanlar buzulların olmadığı yemyeşil bir yerdi ve tropikal olmasa da en azından ılıman sularla çevriliydi. Ancak günümüzde, Antarktika gezisine çıkacaksanız ve dalış yapmaya niyetiniz varsa, yapmayın. Kıta çevresindeki deniz sıcaklığı yaklaşık eksi 1.9°C'dir. Çabucak buz kesilir insan.

Ama bu buzlu sularda çok fazla hayat vardır. Dünyanın en soğuk sularının aslında balıklarla dolu olması ilk kâşiflerden bazıları için büyük bir sürpriz olmuştu. Bu da bilimsel bir gizemi ortaya koyuyor: Tropikal veya ılıman sulardan gelen balıklar yaklaşık eksi 0.8°C'de donar normal olarak, dolayısıyla Antarktika balıklarının daha soğuk sularla başa çıkmasını sağlayacak bir şey olmalıdır.

O bir şey antifrizdir.

Antarktika balıklarının kan serumlarının incelenmesi, yaklaşık eksi 2.1°C'ye düşünceye kadar donmadıklarını ortaya çıkardı, bunun nedeni, antifriz olarak çalışan proteinlerle dolu olmasıydı.

Bu sularda balıkların baş düşmanı soğuktan çok buzlanmadır. Su, solungaçlardan balığın içine kaçarsa veya yutulursa daha büyük buz kristallerinin oluşumuna yol açacak ve balıklar kaskatı kesilmiş birer çubuğa dönüşecektir.

Antifrizin yaptığı şey; buz moleküllerine bağlanarak onların daha büyük, ölümcül kristallere dönüşmesini engellemektir. Ilıman deniz balıklarının kan serumu bu proteinlerden yoksundur, bu da bize antifrizin yeni bir buluş olduğunu anlatır. Aslında, farklı kutup balıkları farklı antifriz proteinlerine sahiptir, bu nedenle balıkların antifrizi çok kere icat ettiği açıktır. Antifrizler bize, yeni şeylerin nasıl icat edildiğini keşfetmek için büyük fırsatlar sunmaktadır.

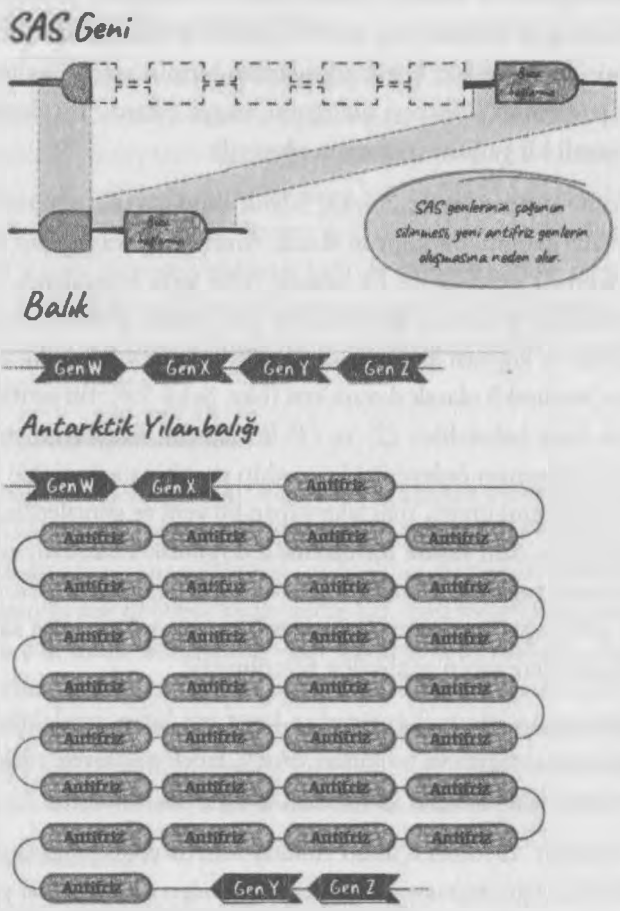
Yılan balıkları böyle bir gruptur. Güzel görünümlü balıklar değiller, hatta bazılarına çirkin bile diyebilirsiniz, ancak McMurdo Sound'un buzlu sularının 500-700 metre altında sergiledikleri gelişme yeteneklerine hayran kalırsınız. Çin Bilimler Akademisi'nden

araştırmacılar Christina Cheng ve Art DeVries ve ekip arkadaşları çok basit bir soru sordular: Yılan balığı antifrizi nasıl ortaya çıkmıştır? İki olasılık vardır: Antifriz tamamen yeni bir şey veya yeni bir işlevi yerine getiren eski bir özellik olabilir. Cevap, her ikisinden de biraz çıkıyor ve mutasyonların birkaç büyük adımda nasıl yeni genler ve işlevler yaratabileceğini gösteriyor.

Antifriz proteininin, diğer balıklarda, hatta farelerde ve insanlarda bulunan başka bir proteinin bir bölümüne büyük oranda benzerlik gösterdiği fark edildiğinde, önemli bir ipucu geldi; yani bu diğer proteinin uzun süredir var olduğu anlamına geliyordu. Protein, genellikle hücrelerimizin yüzeyindeki moleküllere bağlanan sialik asit adı verilen belirli bir şeker türünün yapımında rol oynayan bir enzimdir. Sialik Asit Sentaz (kısaca SAS) olarak adlandırılan enzim, antifrizden (yaklaşık 65 amino asit) çok daha büyüktür (yaklaşık 360 amino asit), ancak antifriz dizisi, SAS'ın kuyruk ucundaki 65 amino asit dizisine çok benzer (Şekil 5.6, üstte).

Bu büyük benzerliğin nedeni, yılan balıkları ve diğer balıkların DNA'sını inceleyen bir uzman tarafından deşifre edildi. Bu dedektiflik çalışması, antifriz geninin, SAS geninin bir parçasından evrimleştiğini ortaya çıkardı (Şekil 5.6, üstte). Bu parça, kendi başına buz kristallerine bağlanma yeteneği olan bir miktar proteini kodluyor, bu aktivite de okyanusun sıcaklığı düştüğünde işe yarıyordu. Antifriz proteini doğuşundan bu yana, buza bağlanma gücünü artıran birçok değişikliğe uğramıştır.

Bundan başka, balığın *çok fazla* antifriz üretilmesini sağlayacak şekilde antifriz genlerinin sayısı büyük ölçüde artmıştı. Yılan balığında, genin otuzdan fazla kopyası bulunur ve bunların tümü bir kromozom üzerinde yan yana sıralanmıştır (Şekil 5.6, altta). Bu genlerin art arda dizilimi, araştırmacılara; yılan balığının antifriz genleri bataryasının, binlerce baz çiftini kapsayan bütün genlerin hatta çok sayıda gen içeren daha büyük DNA bloklarının tek bir adımda kopyalandığı iyi bilinen başka bir mutasyon mekanizması tarafından zaman içinde oluşturulduğunu anlatıyordu.



Şekil 5.6. Antifrizin bulunuşu

Bir Antarktika balığında bulunan SAS genindeki (kesikli kutucuklar) bir silme, orijinal genin önüne kaynaşmış buza bağlanma aktivitesinde bulunan proteini kodlayan bir segment bırakarak bir antifriz geni yaratmıştır. Altta, Bu antifriz geni daha sonra birçok kez kopyalanmıştır, öyle ki Antarktika yılan balığı diğer genler (W, X, Y, Z) arasında yuvalanmış genin yaklaşık otuz kopyasına sahipken, sıradan balıklarda antifriz hiç yoktur. Deng ve diğerlerinin verilerine dayanan Kate Baldwin çizimi (2010).

Bu hikâyede bir önemli nokta daha var. Atalardan kalma, şeker sentezleyen gen ile daha yeni antifriz genleri arasındaki fark, antifriz genlerinin kökenindeki kritik adımlardan birinin atadan kalma genin bir parçasının silinmesi olduğunu ortaya çıkardı. Bu durumda, *silme* önemli bir yaratıcı mutasyon oluyordu.

O halde antifriz üretimi birkaç büyük adımdan oluşmaktaydı. İlk olarak, SAS geninin bir kopyası alındı. Antifrizin ortaya çıkışı birkaç büyük adımda gerçekleşti. İlk olarak, SAS geni kopyalandı. Daha sonra yeni SAS geninin çoğu silindi ve parça kaldı. Daha sonra parça kopyalandı ve kopyası kopyalandı ve milyonlarca yıllık balık evrimi boyunca bu sürekli olarak devam etti (bkz. Şekil 5.6). Bu mutasyonlar, daha önce bahsedilen (2) ve (3) kriterlerini karşılayan yeni bir fizyolojik (donmayı önleyen) işleve sahip yeni bir tür molekül (buza bağlanan protein) üretti. Yeni işler yapan bu yeni ve genişletilmiş gen dizileri olgusu, tüm yaşam formlarında yaygındır. Yılanların avlarını yakalamasını sağlayan zehirler ve memelilerin yavrularını besledikleri süt gibi diğer yenilikler de benzer bir evrimsel geçmişe sahiptir ve farklı işlevlere sahip genlerden türetilmiştir.

Mutasyonun yaratıcılığı üzerine koca bir kitap yazılabilir. Sizi bundan kurtaracağım ve bu birkaç örnek, farklı mutasyon türlerinin nasıl yaratıcı olabileceğini göstermek için yeterli olacaktır.

"Yazılabilir" diyorum çünkü mutasyonların çoğu yaratıcı değildir. Aslında, çoğu mutasyonun birkaç nedenden dolayı etkisi yoktur. Birincisi, hayvan ve bitki genomlarında hiçbir temel işlevi olmayan (belki de DNA'mızın yüzde 95'i kadar) çok sayıda DNA dizisi vardır. Bu dizilerde meydana gelen mutasyonların genellikle bir etkisi olmaz. İkincisi, genetik kodun fazlalığı nedeniyle, bir DNA bazını değiştiren genlerdeki mutasyonlar, kodlanmış proteinin sırasını değiştirmez. Bölgelerin kodlama kısımlarında bulunan tüm mutasyonların yaklaşık dörtte üçü, üçlünün "anlamını" değiştirmez, çünkü orijinal ve mutasyon geçirmiş üçlü, aynı amino asidi kodlayan eş anlamlılardır. Üçüncüsü, protein dizilimlerinde değişikliğe neden

olan mutasyonlar bile herhangi bir işlevsel etkiye sahip değildir hatta zararlı bir etkiye bile sahip olabilir.

O halde yaratıcı mutasyonlar küçük bir azınlıktır ve az rastlanır özelliktedir. Önceki bölümde açıkladığım gibi, DNA'daki herhangi bir spesifik pozisyonda herhangi bir mutasyona çok rastlanmaz ve yaklaşık 100 milyon bireyde bir (türe bağlı olarak) ortaya çıkar. Gen kopyaları ve silinmeleri de benzer şekilde nadirdir. Bununla birlikte, yeterli sayıda deneme yapılması halinde nihayet hedefe topu atacak amatör bir golfçü gibi, nesiller boyunca yeterli sayıda güvercin, kumru, balık vb. verilmesi halinde bir popülasyonda belirli bir mutasyon meydana gelecektir.

Fakat bir sıkıntı vardır.

Mamutun hemoglobini, mutasyon açısından tek isabetli atış değildi, birden fazla mutasyon içeriyordu. Mutasyonlar bağımsız olaylar olduğundan, aynı gende aynı anda iki mutasyonun meydana gelme olasılığı yok denecek kadar azdır. Bu, Kim Jong-Il'nin tek-problemde-çok-delik sorunudur—iki mutasyonun olasılığı, bağımsız mutasyon olasılığının katlarıdır, yaklaşık 108'de 1 x 108 = 1016 veya 10 katrilyon bireyde 1'dir. Bu sayıyı yünlü mamutlarla ilgili değerlendirmeye kalktığımızda, sayı, Dünya'daki tüm hayvan yaşamının tüm biyokütlesinin bir milyar katından fazlasına denk gelecektir.

İmkânsız mı?

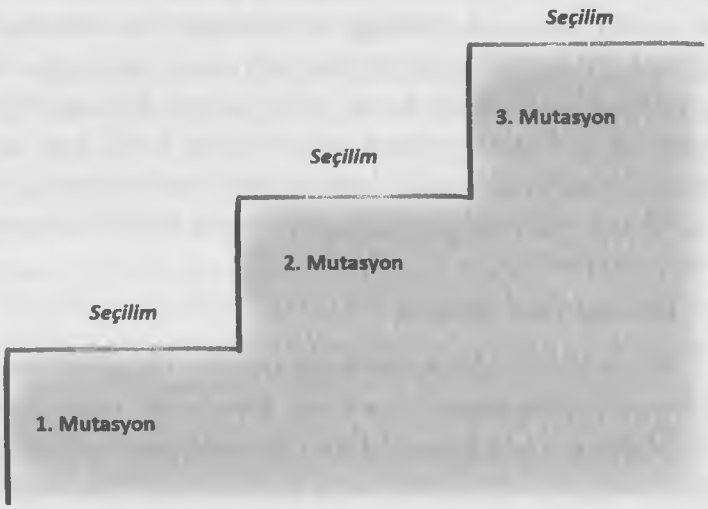
Hayır. Anahtar kelime doğal seçilimdir.

TIRMANMA ADIMLARI

Araştırmacılar yünlü mamutta, mamut hemoglobinindeki üç değişiklikten en az ikisinin oksijen taşınmasını bağımsız olarak etkilediğini buldular. Bu değişikliklerin her birinin mamutların soğuktaki performanslarını arttırdığı ve menzilini genişlettiği sonucuna varılabilir. Fakat iki mutasyonun aynı anda meydana gelme olasılığının

olmadığı düşünülürse, iki mutasyon (veya üç) tüm yünlü mamutlarda nasıl ortaya çıkabilir?

Süreç bir anda değil, aşamalar halinde gerçekleşir.



Şekil 5.7. Evrim merdiveni

Kümülatif bir süreçle bir gende birden fazla değişiklik meydana gelebilir. Yeni mutasyonlar, bir gendeki adım adım her değişikliği (merdivende yukarı çıkışı) sağlarken, doğal seçilim bir popülasyondaki her mutasyonu (merdiven basamaklarında) yayar. Bu şekilde, bir gende birden fazla değişiklik birikebilir. Kate Baldwin'in çizimi.

Eğer bir mutasyon önemli bir performans avantajı sağlıyorsa, zaman içinde bir popülasyonda sıklığı artabilir, onu miras alanların üreme performansını ve hayatta kalma oranını almayanlara göre yükseltebilir. Bu, doğal seçilimin rekabetçi sürecidir. Örneğin, bir mutasyon sadece yüzde 3'lük bir avantaj sağlıyorsa, yani mutasyona sahip olanlar, mutasyona sahip olmayanlar tarafından üretilen her 100 için 103 canlı yavru üretiyorsa, mutasyon 1000'den az nesilde büyük bir popülasyonda her yerde bulunabilecektir. Eğer ikinci bir

faydalı mutasyon meydana gelirse, o zaman ilk mutasyona zaten sahip olan ve daha sonra yayılabilen bir canlıda ortaya çıkacaktır. Bu süreç, *kümülatif* doğal seçilim sürecidir. İşleyiş, merdivenden yukarı tırmanmaya benzer, yeni mutasyonlar yukarı yönde yeni basamakları verir, doğal seçilim ise bir sonraki adımdan önce bir popülasyonda mutasyonu (merdiven basamakları) yayarak her adımın yukarı yönde atılmasını sağlar (Şekil 5.7). Yavaş üreyen canlılarda süreç uzun zaman alsa da süreci, mikrop ve virüs gibi hızla çoğalan canlılarda ve kendi vücudumuzdaki hücrelerde gerçekleştiğini gerçek zamanlı olarak izleyebiliriz. Şekil 5.7'ye dikkatlice bakın; bu merdiven basamaklarını tekrar göreceksiniz.

Bu basamaklar, ilgili mutasyon ve doğal seçilim işlerinin ve her birinin ne yapıp ne yapamayacağı hakkında bir fikir verebilir. Doğal seçilim kendi başına hiçbir şey icat edemez; yenilik -bir adım yukarı çıkış- etkinleştirici bir mutasyon gerektirir. Öte yandan, yeni bir mutasyon bireylerde meydana geldiğinden, mutasyon tek başına bir popülasyonu değiştiremez veya aynı anda birden fazla değişiklik üretemez.

Dolayısıyla rastlantı bulur, doğal seçilim bu buluşu yayar.

Ya da tersi olur. Belirli bir mutasyonun, belirli bir zamanda, belirli bir popülasyonda, Dünya'nın herhangi bir yerinde herhangi bir avantaj sağlayıp sağlayamayabileceğini değerlendirmek de çok önemlidir. Örneğin, yünlü mamut hemoglobininin düşük sıcaklıklarda oksijen taşımasını sağlayan mutasyonların aynılarından biri de birkaç insanda bulunmuştur. Fakat bu hafif bir kansızlığa neden olur ve bu nedenle popülasyonda yayılmaz. Benzer şekilde, bir memelide kürkü beyaz yapan bir mutasyon, karlı bölgelerde faydalı olabilir, başka yerlerde ise dezavantajdır.

O halde bir canlı için iyi olan, bir başkası için mutlaka iyi demek değildir; bu onların içinde bulunduğu koşullara bağlıdır. Peki, bu koşulları ne belirler? 1 ve 2. Bölümlerde gördüğümüz gibi, bunlar büyük ölçüde dışsal, fiziksel koşullardır ve bunlar da -rastlantısal olarak- sayısız olasılıklara bağlıdır.

Yani rastlantı bulur ve bu buluşun kaderi rastlantıların şekillendirdiği koşullara bağlıdır.

İlahi Takdir'in[5] çok çok uzağındayız, Rhode Island'ın başkentini kastetmiyorum. Ama dahası da var. Rastlantının canlılar dünyasındaki etkisi, karakterlerin bulunmasının ötesinde, Darwin'in en sevdiği fenomene kadar uzanır: Türlerin kökeni. Bu alanı keşfetmek ve bu bölümü tamamlamak için, Ivanov'un arayışına ve şempanzeler ve insanlar meselesine dönelim.

Tesadüfün canlılar dünyasındaki etkisi, karakter özelliklerinin bulunuşundan Darwin'in en sevdiği fenomen olan türlerin kökenine kadar uzanır. Bu alanı keşfetmek ve bu bölümü kapatmak için İvanov'un arayışına ve şempanzeler ve insanlara dönelim.

RASTLANTI AĞACI

İvanov'un yaptığı deneyde bir kadının şempanzenin spermiyle hamile kalması halinde durum ne olurdu? Yaşamını devam ettirebilecek bir insan-şempanze karışımı (insanze) bir yaratık mı doğacaktı?

Kesin bir şey söylenemez ama bu olasılığı değerlendirirken göz önünde bulundurulması gereken bazı gerçekler var.

Türler, üreme açısından izole popülasyonlar olarak tanımlanır. Türler arasında melez oluşumunun önünde iki grup engel vardır: Hayvan davranışı veya anatomisi gibi çiftleşmeyi engelleyen çiftleşme öncesi faktörler ile canlı (veya doğurgan) melezlerin gelişmesini engelleyen, büyük ölçüde genetik olan, çiftleşme sonrası faktörler. İki tür arasında, zamanla yaşamını sürdürebilir melez yavruların gelişimini engelleyebilecek genetik "uyumsuzlukların" birikebileceği iyi bilinmektedir. Bunlar, yalnızca şimdiye kadar karşılaştığımız ve gen dizilerini etkileyen mutasyon türlerini değil, gen dizilerini

5 Orijinal metinde geçen *Providence*, ABD'nin doğusundaki Rhode Island eyaletinin en büyük şehridir, aynı zamanda, çeviride kullanıldığı şekliyle İlahi Takdir anlamına da gelmektedir. Yazar, bu benzerliğe gönderme yapmaktadır. (ç.n.)

etkilemeyen ancak kromozomlardaki genlerin sırasını ve konumunu ayrıca kromozom sayısını değiştirebilen kromozomlardaki daha büyük ölçekli (tersine dönüşler, yer değiştirmeler, zincirde kırılmalar ve füzyonlar) düzenlemelerdir.

İvanov, suni tohumlama yoluyla insan-şempanze çiftleşmesinin önündeki anatomik ve davranışsal engelleri aşınca, sorun genetiğe indirgenmiş oldu: Anneden gelen insan genleriyle, baba durumundaki şempanzeden gelen genler birleşerek bebek üretebilir miydi?

Türlerin DNA dizilimleri sayesinde, genomumuzun çoğunun yaklaşık %98.8'i için insanlarınkiyle aynı olduğunu biliyoruz. Bu durum, soylarımızın ayrılmasından bu yana yaklaşık 6 milyon yıl içinde, her 1000 baz çiftinde bir şempanze veya insan soyunda ortalama olarak yaklaşık 12 tek-bazlı mutasyonun meydana geldiği anlamına gelir ki bu da 3 milyar baz çiftinde toplamda yaklaşık 35 milyon mutasyon demektir. Şempanzenin genleri 24 çift kromozoma yayılmışken bizde 23 çift kromozom vardır.

Bu değerler hem büyük bir benzerlik gösteriyor hem de bir "insanze"nin yaşayabilirliğini her iki yönde de değiştirebilecek birçok farklılığa işaret ediyor. Soru, bir hayvanla melezleştirmede genetik farklılıkların ne ölçüde tolere edilebilir olduğu veya tersine, melez oluşumun önünde ne ölçüde bir engel olduğudur.

Evrim biyologları S. Blair Hedges ve Sudhir Kumar ile Philadelphia'daki Temple Üniversitesi'ndeki meslektaşları, konuyu yaşam ağacı üzerinden incelediler. Memeliler ve kuşlar gibi hayvanlarda tam türleşme için gereken sürenin 2 milyon yıl civarında oldukça sabit olduğunu ortaya çıkardılar. Bu sürenin ötesinde, herhangi iki soy arasındaki üreme, genetik uyumsuzlukların birikmesiyle engellenen bir "geri dönüşü olmayan nokta" gibi görünmektedir.

Kısacası, büyük, dallara ayrılan yaşam ağacı, popülasyonlardaki sürekli rastgele mutasyon birikiminin kaçınılmaz ürünü veya yan ürünü gibi görünüyor. Bu sonuç, Darwin'in hayal edemediği ve hayal

bile edemeyeceği derin bir bilgidir. Yazarlardan alıntı yapmakta fayda var:

"Ağaçlarda gözlemlenen soyların ayrılması, muhtemelen çoğu durumda popülasyonların ve potansiyel olarak kısa sürede birçoğunun izolasyonuna yol açan rastgele çevresel olayları yansıtıyor. Ancak rastgele genetik olaylardan kaynaklanan nispeten uzun bir süreç [türleşme süresi (2 milyon yıl)], sonunda tür haline gelen izolatların sayısını da sınırlayacaktır. Bu modele göre çeşitlendirme, abiyotik ve genetik olmak üzere iki rastgele sürecin ürünüdür."

Başka bir deyişle: Etrafınızdaki hayatın tüm güzelliğine, karmaşıklığına ve çeşitliliğine bakın. Rastlantısal olarak belirlenen hatalarla dolu bir dünyada yaşıyoruz.

İnsanze sorununa gelince, insanlar ve şempanzeler 2 milyon yıldan çok daha uzun (yaklaşık 6 milyon yıl) bir süredir ayrı olduklarından, bahse girerim, bir insan-şempanze karışımı bebeğin yaşaması pek mümkün değildir.

İvanov bir melez elde edememiş olsa bile, deneyinde dikkate alınmayan ancak özellikle 2020'de dünyanın deneyimledikleri ışığında gündeme getirilmesi önemli olan bir başka olası sonuç daha var: İvanov ölümcül bir salgını tetikleyebilirdi.

Bir önceki bölümde, KKKYMMKHL şeklindeki bir protein dizisini KKKYRMKHL olarak değiştiren ve 35 milyondan fazla insanı öldüren bir harf hatasından bahsetmiştim.

Burada ilk kısa dizinin, şempanzelerin yanı sıra goriller ve diğer çeşitli Eski Dünya maymunlarını[6] enfekte eden simian immün yetmezlik virüsünün (SIV) yol açtığı bir proteinin parçası olduğunu açıklayacağım. İkinci dizilimdeki bir değişiklik (M→R), AIDS pandemisinden sorumlu suş[7] dahil olmak üzere, insan immün yetmezlik

6 Afrika, Arabistan veya Asya'ya özgü, kavrayıcı olmayan kuyrukları ve birbirine yakın burun delikleri olan bir maymun türü (ç.n.)

7 Suş; bir bakteri veya virüsün farklı alt türlerinin, aralarında genetik farklılıklar bulunan grupları (ç.n.)

virüsünün (HIV-1) üç ana suşunda da bulunur. Mutasyon, SIV'in şempanzelerden insanlara üç ayrı kez atlamasını ve HIV-1 olmasını sağladı.

İlk enfeksiyonların nasıl ortaya çıktığı tam olarak belli değildir. Çoğu spekülasyon, vahşi hayvanların avlanması, etlerinin hazırlanması ya da tüketimi sırasında enfekte şempanze kanı veya vücut sıvılarının insanlara temas ettiği fikrini öne çıkarmaktadır. Bununla birlikte, ilk enfeksiyonların yaklaşık zamanı ve yeri bellidir ve yirminci yüzyılın başlarında Batı Orta Afrika'da meydana gelmiş gibi görünmektedir. HIV-1'in daha az bilinen kötü ikizi olan HIV-2 de Batı Orta Afrika'da ortaya çıkmıştı. SIV'nin geniş bir alanda dağılımı, İvanov'un şempanze spermi elde ettiği yerlerde bilmeden virüsü insanlara bulaştıracağı ve potansiyel olarak HIV/AIDS'in ortaya çıkmasına yol açabileceği anlamına gelmektedir.

SIV'nin insanları enfekte edebilecek virüslerde tekrarlanan, bağımsız mutasyonu ve bu virüslerin insanlar arasında yayılması, viral pandemilerin kökenlerinin de nasıl bir rastlantı meselesi olduğunu göstermektedir. Belli bir hayvan türünde rastgele mutasyona uğrayan virüsler arasında bazıları rastlantısal olarak insanları enfekte edebilir. Eğer bu tür insanlarla çok yakın temas kurarsa, virüs bir veya daha fazla insana bulaşabilir ve ardından insandan insana yayılabilir.

Yeni bir virüsün hayvandan insana bulaşmasıyla ilgili bu "yayılma" olayları, aynı zamanda (kuşlardan bulaşan) 1918 İspanyol gribi pandemisinin, 2002-2004 arası (misk kedilerinden bulaşan) şiddetli akut solunum sendromu salgınının ve 2012'den itibaren birden çok kez patlak veren (ve develerden bulaşan) Orta Doğu Solunum Sendromu (MERS) salgınının kaynağıydı.

Gerçekten de çiçek hastalığı (2000 yıldan daha uzun bir süre önce kemirgenlerce taşınan virüslerden bulaşan) ve kızamık dâhil (yaklaşık 1000 yıl önce evcil sığırların sığır vebası virüsünden bulaşan), insanlığın başına gelen kötü belaların çoğunun hayvan kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır.

2019 yılının sonlarında Çin'de ortaya çıkan ve tüm dünyayı etkisi altına alan SARS-CoV-2 korona virüsü de benzer bir kökene sahiptir. Genomunun ilk çalışmaları, yarasa korona virüslerininkine çok benzer özelliklerin yanı sıra şimdiye kadar yalnızca pangolin (pullu karıncayiyenler olarak da bilinir) korona virüslerinde bulunan spesifik mutasyonları ortaya çıkardı. Pangolinler, Çin'de ve başka yerlerdeki yabani et pazarlarında satılan popüler ürünlerdendir. Bu durumda, SARS-CoV-2'nin pangolinlerden insanlara yayılmış olabileceği anlaşılıyor.

Burada şempanzelerle çiftleşmeyin, develeri öpmeyin ve misk kedisi veya pangolin eti yemeyin uyarılarının ötesinde, bulaşma olayları ve potansiyel salgınların, gerçekleşmeyi bekleyen kazalar olduğu konusunda alınacak daha büyük bir ders bulunmaktadır.

KISIM III

23 ve SİZ

23 ve Siz

Artık diğer tüm türler gibi biz insanların da rastlantı eseri olarak burada olduğunu biliyoruz. Bizler, kaya güvercinlerini, yünlü mamutları ve yılan balıklarını yaratan, aynı dış ve iç süreçlerin rastlantısal etkileşiminden var olduk. Ancak buradaki "bizler" genele yönelik bir ifadedir. Bir biyolog "insanlar" dediğinde, tam olarak kimden bahseder? Her birimiz çeşitli şekillerde birbirimizden farklı değil miyiz?

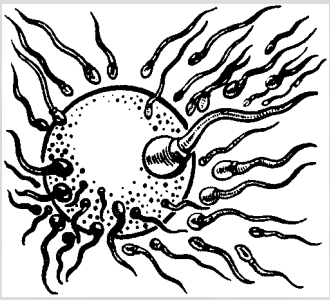
Eğer öyleyse, türümüzün içindeki tüm çeşitlilik nereden geliyor? Her birimizi benzersiz yapan nedir?

Bundan sonraki bölümlerde, rastlantıyı kişiselleştireceğim.

Muhtemelen tüm hayatın boyunca bundan kaçındın ama anne babanın gonadlarını ve sana hamile kalınan anı düşünmenin zamanı geldi. Ve travmanızı artırmak için büyükanne ve büyükbabanızın gonadlarından da bahsedeceğim.

K-Pg asteroitinin ve türümüzün Buzul Çağı'nın kaosundan ortaya çıkışının neden iyi talihinizin sadece yarısı olduğunu anlayacaksınız. Sizin, özellikle de burada, yani Dünya'da olmanız için bir sürü rastlantının belirli şekillerde gerçekleşmesi gerekiyordu.

Ve bu sadece doğmanızın bağlı olduğu değil, sizi hayatta tutmaya yardımcı ve öldürebilecek olan rastlantıdır aynı zamanda, fakat okumaya devam ederseniz bu riski azaltmanın yolları olduğunu da göreceksiniz.



BÖLÜM 6

TÜM ANNELERİN KAZALARI

Kendinizi çok küçük ve güvensiz hissettiğinizde,
Doğumunuzun ne kadar şaşılası bir olasılık olduğunu hatırlayın;
Ve akıllı yaşamın olması için dua edin uzayda bir yerlerde,
Çünkü burada, Dünya'nın her yerinde aşağılık insanların olduğunu unutmayın!

— MONTY PYTHON, *GALAXY SONG*

Dışarıdan, basit, beyaz, tek katlı görünen dikdörtgen bina, kırsal Amerika'nın güneyindeki birçok küçük Hristiyan kilisesine benziyordu. İçeride, tipik bir cumartesi gecesi, ayine cemaatten "Oh Happy Day" ilahisini coşkuyla söyleyen yaklaşık yirmi kişi katılmıştı. Ancak Kentucky, Middlesboro'daki Full Gospel Tabernacle in Jesus Name Kilisesi'nin 42 yaşındaki papazı Jamie Coots, kürsüye yakın küçük bir kutuya yaklaştığında, ayin yepyeni bir görünüme büründü.

Rahip, kutudan çıplak elleriyle iki çıngıraklı yılan çıkardı, yavaşça başının üstüne kaldırdı, kıvrılmakta olan yılanları cemaatinin bir üyesine vermeden önce şarkı söylemeye devam ederek sakin adımlarla kilise içinde dolaştı. (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Jamie Coots elinde bir çıngıraklı yılan tutarken
Tennessean \ USA TODAY Network'ün izniyle çoğaltılmıştır.

Batı Virginia, Kentucky, Tennessee ve Appalachia'nın diğer bölgelerindeki yüz kadar Pentekostal kilisede uygulanan yılan tutma ritüeli, kaynağını İncil'deki bir pasajdan almaktadır, Markos 16:18: "*Yılanları elleriyle tutacaklar. Öldürücü bir zehir içseler bile, zarar görmeyecekler.*" Mukaddes Kitap'ta zehirli yılanların kastedilmediği iddia edilse de ailesi üç kuşaktır kilise hizmetinde bulunan Coots bunu şöyle yorumluyor: "Bana göre Tanrı, bana böyle olmayı öğretti."

Coots ve cemaati için zehirli çıngıraklı yılanlarla ve bakır kafalılarla yakın olmak bir inanç eylemidir (ki ısırılmayacağına veya ısırılırsa, onları yalnızca Tanrı'nın koruyacağına inandıkları için genellikle tıbbi tedaviyi de reddederler).

Coots, vaazda söylediklerini uygular. 2013 yılında ulusal bir televizyon röportajı sırasında dokuz kez ısırılmıştır. Neyse ki bazı

ısırıklar, hayvan zehirini dışarı vermediği için "kuru" ısırıklar olmuştu. Coots'un yaralanmalarının en kötüsü, bir şeritli çıngıraklı yılanın sağ orta parmağını ısırmasıydı. Gazeteciye, "Hayatımda hissettiğim en büyük acıydı" dedi. Bu ısırık tedavi edilemedi, sonunda doku öldü ve parmağını kaybetti.

Neden böyle risklere girilir ya da bu kadar acıya katlanılırdı ki? Coots sessizce, "Bu bir iç huzur... Tanrı, varlığını hissetmeme izin vermekle beni onurlandırdı," dedi ve ekledi "İncil bana uçaktan atlamamı söylerse, atlarım."

Sadece üç ay sonra, 15 Şubat 2014'te, bir şeritli çıngıraklı yılan onu uçak bileti masrafından kurtardı.

Amerika Birleşik Devletleri'nde çok az insan yılan ısırıklarından ölmektedir. Coots, 2014 yılı boyunca gerçekleşen sadece üç ölümden biri, ancak 2012 ile 2015 yılları arasında ölen üç Pentekostal yılan-tutucusundan ikincisidir. Birkaç ölüm vakasının ana nedeni, en ciddi ısırıkların genellikle panzehirle başarılı bir şekilde tedavi edilebilmesi olduğu halde, Coots ve diğer yılan-tutucular tıbbi tedaviyi reddetmişlerdi. Ayrıca, çoğu ısırıktan da kaçınabilmek pekala mümkündür. Hastane kayıtları incelendiğinde, yılan ısırıklarının çoğunun yılanı taciz eden veya tutan insanlarda olduğunu ortaya koyuyor. Arkadaşım ve yılan uzmanı Danny Brower, "İki tür yılan meraklısı vardır: Hiç ısırılmamış olanlar ve *çok* ısırılmış olanlar." demeyi severdi.

Aslında, Amerika Birleşik Devletleri'nde herhangi bir tür vahşi hayvan kaynaklı ölümcül kazalar çok nadirdir. 2018 yılı, ayılar (5), dağ aslanları (2), timsahlar (2) ve köpekbalıkları (1) saldırılarından ölenlerin toplamda (10) en yüksek olduğu yıl olarak öne çıkmıştı. 2017'de bu türde yalnızca iki ölüm yaşanmıştır. Şimdi bunu, merdivenden veya iskeleden düşme (569), yüzme havuzlarında boğulma (723), kazaen ateş etme (486) veya uyuşturucu dışındaki zehirlenmelerden (3.484) kaynaklanan ölümlerle karşılaştırın. Hayvanlarla ilgili kazalar manşetlerde yer alır, ancak birçok rastgele olayda olduğu gibi, çeşitli kazaların olma olasılıkları hakkında kesin bir fikre

sahip değiliz. Düşük olasılıklı olandan korkmaya ama daha büyük tehdidi görmezden gelmeye veya hafife almaya meyilliyizdir.

Olasılıkları gereğince değerlendirememiş olmak, bireysel varlığımıza da uzanır. Bir hayvan saldırısından ölme olasılığı son derece düşüktür, ancak ebeveynlerimizin gonadlarımızdaki şans oyunlarının sonucunda hayatta kalma olasılığı gerçekten astronomiktir. Bazılarımıza plan dışı birer "kaza" olduğumuz söylenmiş olabilir ama gerçek şu ki, aslında hepimiz birer kazayızdır. Üstelik günlük hayatta kalmamız, vücudumuzda rastlantısal olan işleyen olağanüstü bir sisteme bağlıdır.

YETMİŞ TRİLYONDA BİR

Güneş sistemindeki büyük bir gezegenin yakınlarında bulunan ve örneğin 100 milyon parçadan oluşan dev bir gök taşı sürüsünü düşünün. Çoğunluğu, onları boş alana doğru fırlatacak yörüngelerinde ilerler, ancak küçük bir grup sürüden ayrılarak dev küreye doğru yönelir. Zamanla, bazıları hedefe yaklaşır ve dış atmosferinden geriye sıçradıkları görülür. Ancak bunlardan biri koruyucu tabakaya nüfuz eder ve kritik yükünü bırakır. Büyük gövde çarpma anında titreşir ve kimyasal bir serpinti yayar.

Ama bu olayda hayat sona ermiyor, tam tersine başlıyordur.

Şaşırdık mı? Gök taşlarını, başları ve uzun kuyrukları var olarak hayal etmeye çalışın.

Bu tarif edilenler gök taşı değil insan spermidir ve buradaki çarpma, tek bir spermin kendi boyutunun otuz katı büyüklüğündeki insan yumurtasının dış kaplamasına nüfuz ettiği döllenme anına karşılık gelir. Titreme ve serpinti, yumurtada meydana gelen ve diğer spermler tarafından döllenmeyi önleyen; embriyonik gelişim sürecini başlatan dramatik fiziksel ve kimyasal değişiklikler dizisinin bir parçasıdır.

Bu doğrudur, herkesin ne kadar özel olduğuyla ilgili tüm bu dokunaklı-duygusal saçmalıkların aslında bir doğruluk payı vardır. Herkes (tek yumurta ikizleri hariç) genetik olarak, tıpkı kar taneleri gibi benzersizdir!

Kendi kendinize, "Bu gerçekten doğru mu? Annemin gözleri, babamın burnu vb. bende de var, tıpkı ablam, erkek kardeşim vb. gibi."

Pekala, o halde hemen kısa bir sınav yapalım: Her ebeveyn döllenme sırasında yirmi üç kromozom verirse, ebeveynleriniz genetik olarak benzersiz kaç tane çocuk üretebilir?

Tahminde bulunun. 23? 46? 92?

Hayır. İşte bir ipucu: Cevap 70... trilyondan fazla. Bu, arkasında 13 sıfır bulunan 7 demektir.

Matematiğin kapağını kaldıralım. Anahtar soru, kaç farklı kromozom *kombinasyonu* olabildiğidir.

İnsanlarda toplamda kırk altı kromozom olmak üzere yirmi üç çift kromozom vardır. Yirmi iki kromozom, erkek ve kızlarda aynı genel yapıya sahiptir ve otozom olarak adlandırılırken, diğer iki kromozom, X ve Y, cinsiyet kromozomlarıdır (erkeklerde bir X ve bir Y; kızlarda iki X kromozomu vardır). Normal olgun sperm ve yumurta hücrelerinde her kromozomun bir kopyası vardır, bu nedenle döllenmiş yumurta yirmi üç çift kromozomun tam bir tamamlayıcısına sahiptir.

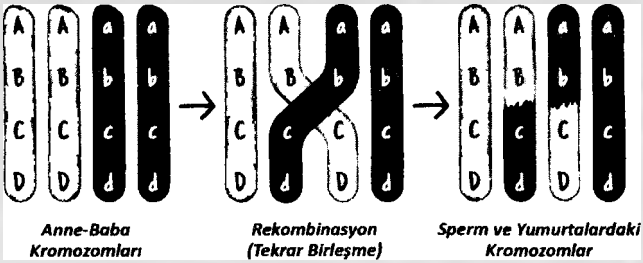
Ardından her insan kromozomlarının yarısını (yumurtası yoluyla) anneden ve yarısını (sperm yoluyla) babadan miras alır. Anne ve baba da kromozomlarının yarısını sırasıyla kendi anne ve babalarından (büyükanne ve büyükbabanızdan) miras aldılar. Bu, herhangi bir kromozom için bir sperm veya yumurta hücresine katkıda bulunabilecek iki alternatif kromozom olduğu anlamına gelir. Bu kromozomlar farklı atalara sahip oldukları için aynı değildir. Çoğu genin alternatif DNA dizilimlerini taşıyor olacaklardır.

Sperm ve yumurtalar, her bir kromozom çiftini içeren hücrelerle başlayan ve her bir kromozomun tek bir kopyasıyla sonuçlanan işlemlerle üretilir. En önemlisi, her bir kromozom çiftinden birini sperm veya yumurta haline getiren süreç rastgeledir. Bu, her spermin her kromozomun iki versiyonundan birine sahip olabileceği anlamına gelir. İki kromozomun olası farklı kombinasyonlarının sayısı 4; üç kromozomun olası kombinasyonlarının sayısı ise 8'dir ve böyle devam eder. 23 kromozomun olası kombinasyonlarının sayısı 2 üssü 23 (2^{23}) veya 8.388.608 farklı spermdir. Farklı olası yumurta sayısı aynıdır (2^{23})= 8.388.608. Olası sperm ve yumurta kombinasyonlarının sayısı, şu iki sayının çarpımıdır: 8.388.608 × 8.388.608, bu da 70.368.744.177.664 (kabaca 70 trilyon) farklı bebeğe eşittir.

Bu oldukça büyük bir rakam. Testisler günde yaklaşık 100 milyon sperm üretmeye çalışır, böylece bir erkek yaşamı boyunca 2 trilyon veya daha fazla üretebilir. Buna karşılık, kadınlar üretebilecekleri yumurtaların tümüyle -yaklaşık 1 ila 2 milyon- birlikte doğarlar, bu da ergenliğe kadar yaklaşık 50.000'e düşer. Ve ayda sadece bir yumurta üretildiği için ailedeki bireylerin sayısı trilyonların çok altında kalır. Ben (hamilelik sırasında) 4.67 kg'a ulaştığım için annem dört çocukta durmuştu.

Matematik, her birimizin benzersiz olduğunu bildirse de aslında bu, potansiyel benzersiz çocuk sayısını daha düşük gösteriyor. Bu durum, genetik omleti karıştıran diğer iki faktörden kaynaklanmaktadır. Faktörlerden ilki, şimdiye kadar bahsetmediğim ve genetik rekombinasyon adı verilen bir süreçtir. Yumurta ve spermin yapımı sürecinde kromozomlar eşlendiğinde, fiziksel olarak birbirleriyle yeniden birleşebilir ve bölümlerini değiştirebilirler. Ortaya çıkan kromozomlar daha sonra orijinal ebeveyn kromozomlarının bir mozaiği olur (Şekil 6.2). Rekombinasyon, kromozom boyunca hemen hemen her yerde olabileceğinden ve kromozom çifti başına ortalama olarak bir kez gerçekleştiğinden, kromozomal olarak farklı yumurta ve spermlerin gerçek sayısı 8.388.608'den çok daha fazladır. Bundan başka, yumurta ve sperm üretimi sırasında, annede ve babada

bulunmayan yeni mutasyonlar meydana gelir. Daha önce de belirtildiği gibi, sperm veya yumurta başına yaklaşık 20-35 yeni mutasyon vardır ve bunlar genom boyunca rastgele meydana gelir, bu nedenle genetik olarak farklı sperm ve yumurtaların sayısı astronomik olarak büyüktür.



Şekil 6.2. Genetik rekombinasyon, sperm ve yumurtaların genetik çeşitliliğini arttırır. Kromozomlar sperm veya yumurta yapmak için eşleştiğinde, her iki kromozomdan gelen genetik bilgiden oluşan bir mozaik olacak şekilde birbirleriyle yeniden birleşebilirler. Kate Baldwin'in çizimi.

Kromozomların sperm ve yumurtalara rastgele dağıtılması, kromozomdaki parçaların rastgele yer değiştirmesi, rastgele yeni mutasyonlar ve hangi şanslı spermin hangi yumurtayı dölleyeceği şeklindeki dört rastgele mekanizma sayesinde, her birimiz benzersiz kromozom, gen ve mutasyon kombinasyonları taşıyoruz. Her birimiz, genetik olarak benzersiz bir sperm ile genetik olarak benzersiz bir yumurtanın çarpışmasının yol açtığı benzersiz birer kazayız.

NE ÇIKARSA BAHTINA

Artık hepimiz kendimizi özel hissettiğimize göre, daha zor gerçekleri ele almanın zamanı geldi.

Sperm, yumurta ve bebek üreten süreçlerin tümü büyük oranda rastlantı gerektirdiğinden, bazen bu benzersiz genetik kombinas-

yonların şansının yaver gitmediği de olur. Bebeklerin yaklaşık yüzde beşinde genetik bozukluk olacaktır. Bunların yaklaşık yüzde 20'si, annede ve babada bulunmayan yeni bir mutasyondan kaynaklanmaktadır.

En yaygın genetik bozukluklar arasında, X kromozomundaki mutasyonların neden olduğu hastalıklar bulunur. Bu sendromlar, sadece bir X kromozomuna sahip olduklarından en sık erkeklerde görülür, dolayısıyla X üzerindeki bir genin tek kopyasının kusurlu olması halinde sendrom görülecektir. Dişilerde iki tane X kromozomu vardır, bu nedenle bir genin diğer X üzerindeki fonksiyonel bir kopyası kusurlu bir geni telafi etmek için genellikle yeterlidir. Hemofili A, Duchenne Musküler Distrofisi (DMD) ve kırmızı-yeşil renk körlüğü, ağırlıklı olarak erkeklerde ortaya çıkar ve anne veya babada bulunmayan yeni bir mutasyondan dolayı kendiliğinden ortaya çıkabilen X kromozomu kaynaklı sendromlardandır. Kusurlu gen taşıyan anneler, bu X kromozomunu oğullarına aktardığında da ortaya çıkabilirler.

Mutasyonlar rastgele olmasına rağmen, sperm veya yumurtalarda bulunabilecek mutasyonların sayısını veya türünü belirli faktörler de etkiler. Örneğin, erkekler yaşlandıkça, spermleri ortalama olarak daha fazla mutasyon taşır. Bunun nedeni, spermi oluşturan hücrelerin daha fazla DNA replikasyonu döngüsüne maruz kalmış olması ve daha fazla mutasyon biriktirmesidir. İzlandalılar ve çocukları üzerinde yakın zamanda yapılan bir araştırma, babaların her iki yılda bir yaklaşık üç ek mutasyon geçirdiğini ortaya koymuştur. Mutasyon sayısı arttıkça, genetik hastalık riski de artar. Örneğin, otizm spektrum bozukluğu (ASD) olan çocukların en az yüzde otuzunun yeni mutasyonlardan kaynaklandığı görülmüştür. Beş ülkede 5.7 milyondan fazla çocuk üzerinde yapılan bir araştırma, OSB'li bir çocuğun babası olma riskinin, elli yaşın üzerindeki erkeklerde, otuz yaşın altındaki erkeklere göre yaklaşık %66 daha fazla olduğunu bulmuştur. Bu gerçek, yaşlı bir milyarderle takım kurmayı planlayan süper modellerin düşünmesi gereken bir şeydir.

Genetik bozuklukların bir başka kaynağı da olgun yumurtaların yapımı sırasında kromozomların ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Bazen, bir çiftin her iki kromozomu, olağan yirmi iki diğer tek kromozomla birlikte tek bir yumurtaya paketlenir. Bu yumurta döllenirse, embriyo trizomi adı verilen bir durum olan o kromozomun üç kopyasına sahip olacaktır. En yaygın trizomi, özellikleri kromozom 21 üzerinde belirli genlerin fazla dozlanmasından kaynaklanan Down sendromundan sorumlu olan kromozom 21'dir.

Trizomi ve diğer trizomi riskleri çok yüksektir.

Down sendromu ve diğer trizomilerle ilgili risk yaşla birlikte artar. Yumurtalar, kız bebeklerin embriyonik gelişimi sırasında oluşur, ancak onlarca yıl sonrasına kadar olgunlaşmazlar. Kadınların yumurtaları yaşlandıkça, kırk yaşında trizomi riski yirmi beş yaşına göre yaklaşık iki buçuk kat daha fazla olur. Büyük ölçüde trizomi ve diğer kromozom anormallikleri nedeniyle, yirmi dört yaşın altındaki kadınlar ilk üç aylık dönemde yaklaşık yüzde 10 oranında düşük yaparken, kırk iki yaşın üzerindeki kadınlarda bu oran yüzde ellinin üzerindedir. Kromozom 21 dışındaki trizomiler nispeten nadirdir veya çocuklarda hiç görülmez, bu da diğer trizomileri olan çoğu bebeğin dünyaya gelemeyeceğini düşündürür.

Doğumlarımızda o kadar çok rastlantı vardır ki, aslında hepimizin kendimizi şanslı hissetmemiz gerekir.

Bazıları diğerlerinden daha fazladır.

TÜRÜNÜN TEK ÖRNEĞİ

Stephen Crohn, Manhattan'dan Hudson Nehri'nin hemen karşısında, Dumont, New Jersey'de büyümüştü. 1947'de doğan ve 1960'larda reşit olan ve bir "bebek bombası" ürünü olan Crohn, eşcinsel bir erkek olarak kimliğiyle ilgili mücadele etmek zorunda kaldı. Ön yargıların farkında olarak, sivil haklar hareketine katılmak için üniversiteden ayrıldı ve Martin Luther King ile birlikte

Selma'dan Montgomery, Alabama'ya yürüdü. Kabul görmek isteyen ve dışa dönük bir kişilik olan Crohn, New York'un Hell's Kitchen mahallesine taşındı ve henüz yeraltında olan eşcinsel kültürünü benimsedi. Sonunda okula döndü ve geçimini sağlamak için bir yandan redaktör olarak çalışırken bir sanatçı olarak bir kariyerini geliştirdi.

Yıllar sonra 1979'da yakışıklı ve atletik bir yönetici şef olan Jerry Green'e âşık oldu. Kısa süre sonra ülkenin diğer ucuna Batı Hollywood'a taşındılar ve Green Ocak 1981'de sürekli bir yüksek ateş durumu ortaya çıkıncaya kadar Los Angeles'ın gece hayatına daldılar. O yazın, daha sonrasında, Hastalık Kontrol Merkezleri (CDC), New York ve California'daki eşcinsel erkeklerde olağandışı pnömoni salgınları ve nadir rastlanan bir kanser görüldüğünü duyurdu. Ertesi kış Green'in bir gözü görmez oldu ve Kaposi sarkomu olarak bilinen kanserli lezyonlarla kaplandı. Green, Crohn'un gözünün önünde eriyip gitti, Mart 1982'de, CDC'nin o yıl içinde Edinilmiş Bağışıklık Yetmezlik Sendromu (AIDS) olarak adlandırdığı hastalığın ilk kurbanlarından biri olarak hayata veda etti.

Hastalığın nedeni, 1984 yılında Fransız ve Amerikalı araştırmacılar tarafından tespit edildi. Bu, hayvanlarda kansere neden olabilen, retrovirüs olarak adlandırılan, daha önce bilinmeyen bir virüstü. Soğuk algınlığı veya grip gibi viral enfeksiyonların çoğu sınırlı sürelidir çünkü bağışıklık sistemlerimiz bunlara karşı güçlü bir tepki verir ve sonunda onları vücuttan atar. Ancak AIDS virüsünün (daha sonra HIV olarak adlandırılacak olan insan bağışıklık yetmezliği virüsünün) iki uğursuz özelliği vardır. İlk olarak, bağışıklık sistemi hücrelerine bulaşır ve sonunda birçok mikrop türüne yanıt için gerekli olan anahtar hücre tipini tüketir, pnömoniye, mantar enfeksiyonlarına ve daha kötüsüne yol açar. İkincisi, çok yüksek bir mutasyon oranına sahiptir, öyle ki bağışıklık sistemine görünüşünü sürekli olarak değiştirir ve saldırıları savuşturur. Hastalık ortaya çıktıktan sonra doktorlar da ilaçlar da bu hastalığa karşı büyük ölçüde çaresiz kalmıştı.

Green, Crohn'un sosyal çevresinde hastalığa yenik düşen ilk kişiydi. 1985'te iki kişi daha, 1986'da bir diğeri ve 1989'da bir kişi daha

öldü. Crohn, fazla önlem almadığı için sıradaki kişi olacağından korkuyordu. Kendini kötü hissettiği zamanlarda başka belirtiler aramaya çalıştı. Ama çok sayıda arkadaşı ölürken de semptom göstermemişti. Artık kendisinin de hastalığa yakalandığından emindi. Yavaş yavaş, bir şekilde virüse karşı dirençli olabileceği aklına geldi. Doktorlara ve arkadaşlarına muayene edilmesi gerektiğini söylemeye başladı.

Sezgileri basit birer fantezi değildi. Ailesinde tıbbi dedektiflik geleneği vardı. Büyük amcası, mide-bağırsak hastalığına adını veren doktor Burrill Crohn'du. Aile toplantılarında araştırmacılara hikâyesini anlattı ve onlar da onun muayene edilmesi gerektiği konusunda anlaştılar.

Nihayet 1994 yılında biri çıkıncaya kadar kimsenin elinden bir şey gelmedi. Aaron Diamond AIDS Araştırma Merkezi'nden Dr. William Paxton, virüse maruz kalmış ancak hastalığı ilerlememiş erkekler arıyordu ve Crohn'un doktoru onunla temasa geçti. Paxton, Crohn'un kanını aldı ve CD4 T hücreleri adı verilen bir grup beyaz kan hücresini yüksek dozda HIV'e maruz bıraktı.

Paxton şaşırmıştı, "CD4 hücrelerine bulaştıramadım ve bu, daha önce hiç tanık olmadığımız bir şeydi".

Crohn'un T hücrelerinin neden nüfuz edilemez olduğunu anlamak için birkaç yıl geçmesi gerekiyordu. HIV, T hücre yüzeylerinde bir geçit gibi davranan CXCR4 ve CCR5 adlı iki koruyucu protein aracılığıyla hücrelere erişim sağlıyordu. Crohn'un T hücrelerinin ayrıntılı olarak incelenmesi sonucu bunların CCR5 reseptörünü üretmedikleri ortaya çıktı. Geçidin bir parçası olmadığı için virüs onun T hücrelerine girememişti. Crohn'un DNA'sının dizilimi, onun CCR5 geninin *her iki* kopyasında (CCR5delta32 olarak ifade edilir) bir 32 baz çifti silinmesi durumunun olduğunu ortaya çıkardı. Bu keşif, biri annesinden diğeri babasından olmak üzere iki kromozomun her birinde şanslı mutasyonu miras aldığı anlamına geliyordu.

Bu keşif hem Crohn'u hem de tıp çevrelerini harekete geçirdi. Crohn, hikâyesini medyaya ve bağışçılara anlatarak AIDS

araştırması için para toplanmasına yardımcı oldu. Tıp çevreleri, yeni HIV ilaçları türlerini araştırmak için Crohn hücreleriyle elde edilen bilgilerin üzerine atladı. On yıl sonra, HIV'in CCR5 reseptörüne erişimini engelleyen maraviroc adlı yeni bir ilacın hastalarda kullanılması onaylandı. Aynı yıl, Timothy Ray Brown adlı HIV pozitif bir hastaya, Crohn ile aynı CCR5delta32 mutasyonuna sahip bir donörden kemik iliği nakli yapıldı ve AIDS'ten iyileşen ilk hasta oldu.

Delta32 mutasyonuna yönelik dünya çapında kapsamlı araştırmalar, Avrupalılarda ve Avrasyalılarda önemli bir sıklıkta (yüzde 3-16) meydana geldiğini, ancak yerli Afrikalılar, Güney Amerikalılar veya Asyalılarda bulunmadığını veya neredeyse hiç olmadığını ortaya koymaktadır. Mutasyonun bulunduğu popülasyonlarda, HIV'e direnç için gerekli iki kopyayı taşıyan Crohn gibi bireyler nispeten nadirdir, tipik olarak popülasyonun yüzde 1'inden daha azdır. Hâlâ devam eden gizemlerden biri, delta32 mutasyonunun neden var olduğudur, çünkü açıkça AIDS'in çıkışından çok daha eskidir. Delta32 mutasyonuna, Orta Çağ'da yaygın olan ve Orta Almanya'daki Tunç Çağı'na (2.900 yıl önce) tarihlenen cesetlerden alınan DNA örneklerinde rastlanmıştı. HIV virüsü yirminci yüzyılın başlarına kadar şempanzelerden insanlara bulaşmadı (bkz. Bölüm 5). Bir spekülasyon, delta32 mutasyonunun ilk kez birkaç bin yıl önce Avrupa'da veya Avrasya'da ortaya çıktığı, henüz tanımlanamayan başka bir patojene karşı bir miktar direnç sağladığı ve böylece doğal seçilimin yaygınlığının artmasına neden olduğudur. Aksi halde, yirminci yüzyıl insanlarında HIV'e karşı direnç gelişmesi sadece tesadüf eseri olmuş olurdu.

Kökeni ne olursa olsun, ebeveyni sayesinde Crohn, bilet almamış olduğu bir piyangoda asla beklemediği bir ödül kazanmış oluyordu. Ama gerçek şu ki, HIV'e yakalanmamak konusunda yeterince şanslı olan herkes de vücudun şansa bağlı bölümü tarafından hayatta tutuluyor.

ÖZ SAVUNMA MERDİVENİ

AIDS'ten milyonlarca kişinin ölümü, bağışıklık sisteminin bizi potansiyel patojenlerden korumada ne kadar önemli olduğunu açıkça göstermektedir. AIDS hastaları, normalde sağlıklı, enfekte olmamış kontrol altında tutulan virüsler, mantarlar, parazitler ve bakterilerin neden olduğu fırsatçı enfeksiyonlar olarak adlandırılan enfeksiyonlardan mustariptir. Aynı tür enfeksiyonlar, bağışıklık sisteminin gelişimini engelleyen mutasyonlarla doğan (Boy in the Bubble şarkısındaki gibi) çocukları veya bağışıklık sistemini baskılayan belirli kemoterapi türlerini alan hastaları etkiler.

Her gün potansiyel düşmanlar tarafından kuşatılırız, korunuruz ve bizden habersiz içimize sızarlar. Yetişkin olduğumuzda, vücudumuzun içinde ve üzerinde kendi hücrelerimizden daha fazla sayıda bakteri hücresi yaşar. Yaklaşık seksen mantar türüyle birlikte insanın "mikrobiyota"sını oluşturan yaklaşık bin kadar türün üyeleridirler. Ayrıca çevremizde, sebze-meyvenin yetiştiği toprakta, evcil hayvanlarda ve her birimizin üzerindeki her türlü mikropla temas halindeyiz. Bağışıklık sisteminin olağanüstü gücü, bakteri, virüs, mantar veya parazit gibi herhangi bir yabancı istilacıya tepki verme ve o yabancı maddeye karşı ("antijen" olarak adlandırılan) antikorlar üreterek herhangi bir yabancı proteini veya karbonhidratı tanıma yeteneğinde yatmaktadır. Ve evet, buna SARS-CoV-2 gibi yeni patojenler de dâhildir.

Bir kişinin karşılaşabileceği potansiyel antijen aralığı o kadar geniştir ki, bağışıklık sistemi hepsini tanıyabilmek için milyonlarca -belki de on ya da yüz milyonlarca- farklı antikora ihtiyaç duyar. Biyolojideki en büyük gizemlerden birine ilişkin püf noktası da budur zaten: Bağışıklık sistemi, önüne gelen hemen her şeyi tanıyıp nasıl savunmaya geçebiliyor?

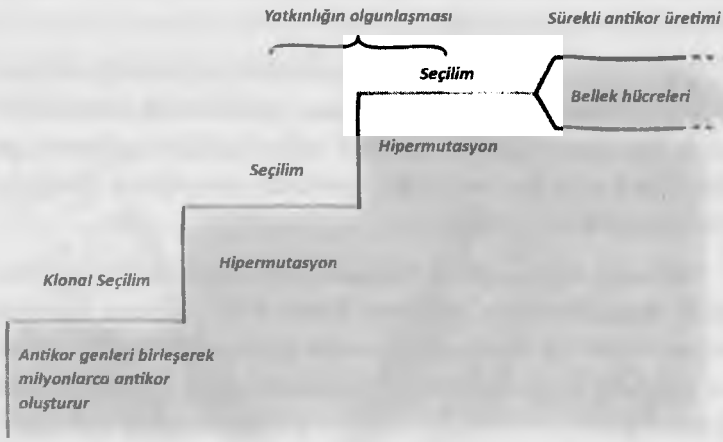
Monod, sorunun çok önemli olduğunu düşünmüş ve konuyu *Rastlantı ve Zorunluluk* kitabında gündeme getirmişti. Temel mekanizma, araştırmacıların onlarca yıldır gözünden kaçmıştır. Monod

çözümü görecek kadar yaşamadı; kritik gelişme, o öldükten hemen sonra gerçekleşti.

Keşfi görseydi çok sevinirdi: Bağışıklık sistemi rastgele şansla ve daha önce gördüğümüze çok benzeyen bir merdiven şeklinde çalışıyor. (bkz. Şekil 5.7). Merdivenin basamaklarını çıkmak, yalnızca bağışıklık hücrelerinde meydana gelen belirli türde mutasyonlarla ilgilidir; işleyiş ise, bu hücreler üzerindeki seçimi içerir. Önce merdivendeki basamakları özetleyeceğim, ardından tek tek yukarı çıkış ve işleyişle ilgili daha fazla bilgi vereceğim. Büyük keşif yine kombinasyon matematiğinden gelecek.

Bağışıklık yanıtının ana dalından biri, B hücreleri adı verilen bir beyaz kan hücresi sınıfıyla ilgilidir (diğer ana dal, T hücreleri adı verilen beyaz hücreleri içerir). Bu hücreleri, istilacılara karşı mücadelede vücudun askerleri olarak düşünün. B hücreleri, sonunda antikor proteinlerinin salgılanmasına yol açan bir dizi aşamadan geçer. Bu antikor proteinlerini de kimyasal silahlar olarak düşünün. Belirli bir antijene bağlanarak çalışırlar; bağlanma daha sonra yabancı maddeyi durdurmaya, yok etmeye veya vücuttan uzaklaştırmaya yardımcı olur.

B hücreleri öncelikle, büyük sayılarda oldukları dalak ve lenf düğümlerinde bulunur. B hücresi bağışıklık yanıtındaki ilk adım, B hücresi yüzeyinde bir antikor reseptörü tarafından tanınan (bağlanan) bir antijenle karşılaştığında B hücresinin harekete geçmesidir. B hücrelerinin yalnızca çok küçük bir kısmı belirli bir antijeni tanıyacaktır. Bir antijeni tanıdıklarında, çoğalmaları ve sayılarını büyük ölçüde artırmaları için uyarılırlar (bir hücre yaklaşık bir haftada 4.000 hücreye çoğalabilir). Bu sürece "klonal seçim ve yayılma" denir (biraz sonra terimler daha net anlaşılacaktır) ve merdivenin ilk basamağını oluşturur (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. Öz savunma merdiveni

Rastgele genetik olaylar ve seçim turları, belirli antijenlere karşı antikorlar üretir. İlk basamak, gelişen B hücrelerinde gen segmentlerini rastgele birleştirerek antikor genlerinin birleştirilmesidir. İlk işleyiş, bireysel B hücrelerinin antijene bağlandığı zamandır; bu klonlar daha sonra uyarılır ve klonal seçim adı verilen bir süreçte çoğalır. Bu klonlar içinde, antikor genleri daha sonraki mutasyon turlarından geçer (hipermutasyon; ikinci ve üçüncü basamaklar); antijen için daha yüksek afiniteye (yatkınlığa) sahip olanlar, *yatkınlık olgunlaşması* adı verilen bir süreçte çoğalmaya devam etmek üzere seçilir. Merdiven daha sonra bölünür; bazı B hücreleri büyük miktarlarda antikor üretmeye devam eder ve bazıları, yaşamın ilerleyen dönemlerinde antijenle tekrar karşılaşıldığında çoğalmaya hazır olan bellek hücreleri haline gelir. Kate Baldwin'in çizimi.

Daha sonra, bir B hücresinin klonu çoğaldıkça, B hücrelerinde antijene bağlanan reseptörü güçlendiren mutasyonlar meydana gelir. Bir sonraki basamak yani. Ardından, antijene daha güçlü bağlanan klonlar, *yatkınlık (afinite) olgunlaşması* adı verilen bir süreçte çoğalır; bu, merdivenin ikinci basamağıdır. Bundan sonra, merdiven bölünür. Bazı B hücreleri yüksek miktarda (birkaç gün boyunca saniyede 2.000 molekül kadar) antikor salgılamaya devam eder. B hücrelerinin üstel olarak çoğalması ve yüksek oranda antikor üretimi nedeniyle

vücut, hızla çoğalan bir istilacıya karşı bir hafta gibi bir süre içinde şiddetli bir savaş başlatabilir.

Diğer B hücrelerinin, antijenle ikinci kez karşılaşıldığında daha da hızlı ve kuvvetli yanıt vermeye hazır, yıllarca varlığını sürdürebilen ve *hatırlayabilen* bellek hücreleri haline geldiğini belirtmek gerekir (Şekil 6.3). İşte bu yüzden genellikle aynı mikrop tarafından ikinci kez enfekte olmayız.

Herhangi bir potansiyel düşmana karşı koymak için vücudun, çeşitli antijenlere karşı antikorlar üreten bir B hücreleri ordusuna ihtiyacı vardır. Bu, büyük gizemi ortaya çıkarıyor: Bağışıklık sistemi, her biri farklı bir antikor üreten milyonlarca farklı B hücresini nasıl oluşturabilir?

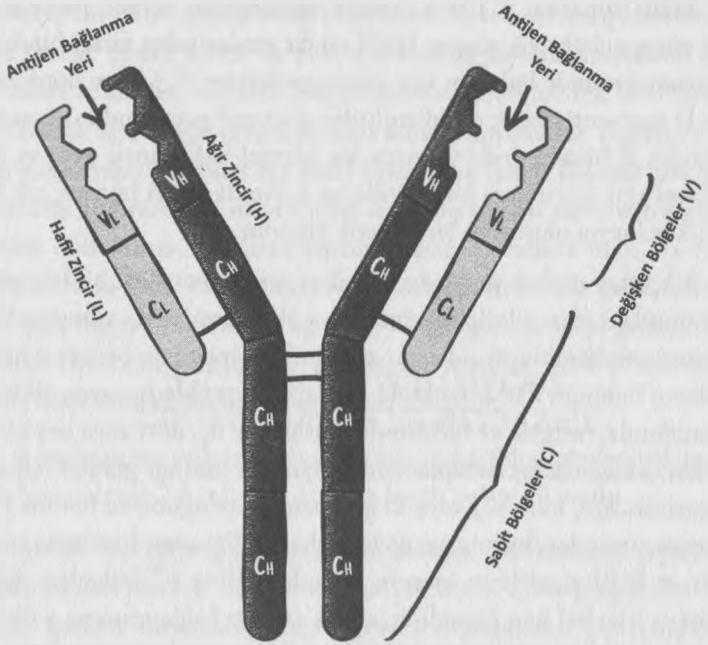
BAĞIŞIKLIĞIN CEPHANELİĞİ: BİRKAÇTAN BU KADAR ÇOKLUĞA

Hayran olunacak önemli bir özellik, antikorların antijenlere nasıl bağlandığıdır.

Antikorlar, iki uzun "ağır" ve iki kısa "hafif" zincir olmak üzere dört protein zincirinden oluşan Y-şekilli moleküllerdir (Şekil 6.4). Zincirler bir araya geldiğinde oluşan şekilden dolayı Y-şekilli denmektedir. Ağır ve hafif zincirler birbirine bağlanır ve ağır zincirlerin kendileri de toplu olarak bir arada tutulur. Ağır ve hafif zincirler, antijenin bağlandığı yer olan birleşme noktasında bir cep oluştururlar. Her bir antikor molekülü başına bu türde (Y'nin her kolunda bir tane olmak üzere) iki antijen bağlanma yeri vardır. Antikorların özgüllüğü, antijen bağlama bölgesindeki amino asitlerin dizilimiyle belirlenir. Farklı antikorların antijen bağlanma noktalarında farklı amino asit dizileri olduğundan, antikor çeşitliliği bulmacası, bağışıklık sisteminin milyonlarca farklı antijen bağlama yeri dizisini nasıl oluşturabildiğine bağlıdır.

Antikorlar aslında proteinlerdir, bu nedenle genler tarafından kodlanırlar. Uzun süredir çözülmemiş olan anahtar gizem, genomun

milyonlarca antikor geni (yani ağır ve hafif zincirler için milyonlarca gen) içerip içermediği veya daha az sayıda ağır ve hafif zincir geninden çeşitli antikorlar üreten B hücrelerinin gelişimi sırasında bazı olayların olup olmadığıydı.



Şekil 6.4. Antikorun yapısı

Antikorlar dört protein zincirinden oluşur: İki ağır (H) zincir ve iki hafif (L) zincir birleşerek Y-şekilli molekülü oluştururlar. İki zincir, Y'nin her iki ucundaki antijen bağlama noktasında bir cep oluşturur. Her zincirin bu iki parçasının sıralaması değişkendir ve Değişken Bölgeler (V), zincirlerin geri kalanı ise değişmezdir ve Sabit Bölgeler (C) olarak adlandırılır. Değişken bölgeler, gen segmentlerinin birleştirilmesiyle oluşturulur. Kate Baldwin'in çizimi.

Gen klonlama ve DNA dizileme mümkün hale geldiğinde, antikor genlerinin yapısı hakkındaki bilgilere de erişebildik. Bu buluş 1976'da, antikor genlerinin çoğalan B hücrelerinde DNA parçalarının yeniden düzenlenmesiyle bir araya getirildiğini keşfeden

Susumu Tonegawa tarafından gerçekleştirildi. Tonegawa daha sonra, çok sayıda farklı antikor üretmek için az sayıda gen parçasının farklı şekillerde nasıl birleştirilebileceğini bulduğu için Nobel Ödülü'ne layık görüldü.

Hafif zincirler, V, J ve C olarak adlandırılan üç gen parçasının bir araya gelmesiyle oluşur. Hafif zincir genlerinden farklı bir kromozom üzerinde bulunan ağır zincir genleri ise, V, J, C ve dördüncü bir D segmenti olarak da adlandırılan dört gen parçasından bir araya getirilir. B hücrelerinde yalnızca bir işlevsel hafif zincir geni ve bir işlevsel ağır zincir geni birleştirilir, bu anlamda her B hücresi, tek bir antikor formu oluşturan bir genetik klondur.

Vücudun toplam potansiyel antikor gen cephaneliği, bir iskambil oyunundaki olası ellerin sayısını (veya bir sperm ya da yumurtadaki kromozom kombinasyonlarının sayısını) hesaplamaya benzer şekilde kolayca bulunur. Farklı renkteki kartların ve renklerin sayısı dikkate alındığında, rastgele ve birbirinden farklı kaç üç, dört veya beş kartlı elin çekilebileceği hesaplanabilir. Aynı şey antikor genleri için de geçerlidir. Kaç tane V, J veya D gen parçası olduğunu ve her bir gen parçası türünden birinin rastgele birleştirildiğinden hareketle olası ağır ve hafif zincirlerin sayısını hesaplayabiliriz (C bölgeleri diğer antikor işlevleri için önemlidir, ancak antijen bağlanmasına katkıda bulunmazlar, bu nedenle çeşitlilik hesaplamasına dâhil edilmezler).

Hesaplamaları ayrı ayrı yapacağım ama kafanız bulanırsa, kartları karıştırmayı ve iki, üç veya daha fazla karttan rastgele kaç el yapabileceğinizi düşünün.

Örneğin, insanlarda 51 ağır zincir V segmenti, 27 ağır zincir D segmenti ve 6 ağır zincir J segmenti bulunur. Bu nedenle, bu segmentlerin her biri, ağır zincir parçalarını bir araya getirmek için diğer segmentlerle rastgele birleştirilmeye kalkılırsa, insanlar 51 × 27 × 6 = 8.262 farklı ağır zincir oluşturabilir. Bu sadece 84 (51 + 27 + 6) gen segmentinden çok sayıda ağır zincir demektir.

İnsanlarda ayrıca bir tür hafif zincir için 40 V segmenti ve 5 J segmenti; ikinci bir hafif zincir türü için 30 V segmenti ve 4 J segmenti

vardır. Yine bunlar rastgele birleştirilirse, birinci türden 40 × 5 = 200 farklı hafif zincir ve ikinci türden 30 × 4 = 120 farklı hafif zincir oluşur. Bu da, 79 gen segmentinden toplam 320 hafif zincir yapar.

Bir diğer hesaplama da bizi olası antikorların toplam sayısına götürür. Bir çiftin yapabileceği olası bebek sayısının hesaplanmasına çok benzer çünkü sperm ve yumurta kombinasyonu gibi, bu da antikorları ve antijen bağlama bölgelerini oluşturan tek tek hafif zincir ve tek tek ağır zincir proteinlerinin kombinasyonudur. Belirli bir B hücresi tarafından hangi tek hafif zincirin ve hangi tek ağır zincirin yapıldığı bir rastlantı meselesidir, dolayısıyla tüm olası kombinasyonlar kullanılırsa, 320 hafif zincir × 8262 ağır zincir veya 2.6 milyondan fazla farklı insan antikoru bulunur. Tüm bu ateş gücü, sadece 163 gen segmentinden (84 ağır ve 79 hafif gen parçası) geliyor. Bu sonuç, vücudun, genomdaki gen segmentlerinin 10.000 katından daha fazla antikor üretebileceği anlamına gelir.

Karşılaştırma yaparsak, standart bir 52 kartlık desteden çekilebilecek neredeyse 2.6 milyon olası beş kartlı poker eli vardır.

Ancak bu çarpıcı sayının, aslında olası antikorların sayısının azımsanması demek olduğu ortaya çıkmıştır. Gen parçalarını bir araya getiren mekanizma biraz gevşek olduğundan gen parçaları arasındaki bağlantılar da kesin değildir. Bu durum, bağlantı noktalarında antikorların çeşitliliğini birçok kez artıran ek DNA dizisi varyasyonlarına yol açar. İnsan vücudu *her gün* yaklaşık bir milyar yeni B hücresi üretir, bu da neredeyse tüm olası antikorların temsil edilmesini sağlamaya yeterlidir.

Bununla birlikte, bir antijen devreye girdiğinde, uyarılmış B hücrelerinin bir diğer genetik özel durumu daha gerçekleşir. Ağır ve hafif zincir DNA dizilerinin değişken bölgeleri, diğer DNA dizilerinin arka plandaki hızından yaklaşık bir milyon kat daha fazla bir hızda yeni mutasyonlara uğrar. "Somatik hipermutasyon" olarak adlandırılan bu durum, merdivenin ikinci basamağıdır (şekil 6.3). Bu süreç, antikor çeşitliliğinin cephaneliğini en az on kat arttırır.

Bu nedenle, üç rastgele mekanizma, antikor çeşitliliği üretir: Gen bölümlerinin karıştırılması ve birleştirilmesi, hafif ve ağır zincirlerin bağımsız kombinasyonu ve somatik hipermutasyon. Genel olarak, insanların en az 10 *milyar* farklı antikor üretebileceği tahmin edilmektedir.

Öz Savunma Merdiveninden, neden aşılandığımız anlaşılabilmektedir. Antikorların oluşmaya başlaması günler alır, hafızanın oluşması ise daha uzun sürer. İnsanları mikroplardan gelen cansız antijenlere maruz bırakıp bellek hücreleri oluşturursak, aşılanmış kişiler gelecekte patojene maruz kalma durumunun iki adım önünde olacaktır, bundan dolayı ya enfeksiyon kapmazlar ya da hafif atlatırlar. Merdiven ayrıca, yılan sokması gibi acil bir durumda antikorlara ihtiyacımız olması ihtimaline karşı, antikor üretmeleri için neden bazen kasıtlı olarak hayvanları kandırdığımızı da gösteriyor.

Jamie Coots'un ölümünden sonra, kilisenin papazlığını yirmi bir yaşındaki oğlu Cody üstlendi ve yılanla uğraşma geleneğini sürdürdü. Dört yıl sonra, Cody bir ayin sırasında bir şeritli çıngıraklı yılanla uğraşırken, yılan sağ kulağının üstünden ısırarak temporal arterini deldi. Yoğun kan akışına rağmen yılanı tutmaya devam edip vaazını sürdürmeye çalıştıysa da sonunda kiliseden çıkmak zorunda kaldı. Nefes almakta zorlanıyordu, yaşaması mı yoksa ölmesi mi gerektiğine Tanrı'nın karar vermesi için yakındaki bir dağın tepesine çıkmak istedi.

Cemaatinden bir kişi bunun aksini düşündüğü için onu yakındaki bir hastaneye götürdü ve acil servis personeli Mavi Kod alarmı verdi. Cody'nin nefes yolunu açtılar ve sonra yaşayıp yaşamayacağını bilemeden onu havadan Tennessee'deki tıp merkezine naklettiler. Orada, zehiri nötralize etmek ve temizlemek için yaşam desteği verildi ve panzehir (yılan zehiri toksinlerine karşı hayvan antikorlarından yapılmış) verildi. Yoğun bakım ünitesinde on günlük bir mücadeleden sonra Cody kefeni yırtmayı başardı.

Hastaneden çıktıktan sadece bir hafta sonra yılanlarla kaldığı yerden devam etti. Elbette şansını zorluyordu ama bir sonraki bölümde göstereceğim gibi, hepimiz öyleyiz aslında.



BÖLÜM 7

TALİHSİZ OLAYLAR DİZİSİ

"Herkes sonunda ölecektir ama çok az insan
bu gerçeğin hatırlatılmasını ister."

—LEMONY SNICKET, THE AUSTERE ACADEMY

1972'de bir bahar günü, Appalachian sıradağlarının bir parçası olan Orta Virginia'daki Blue Ridge dağlarında hafiften yağmur çiseliyordu. Kıdemli park korucusu Roy Sullivan, Shenandoah Ulusal Parkı'nda bulunan Loft Dağı kamp alanındaki kayıt istasyonunda görev başındayken, aniden sağır edici bir ses duyar.

Sullivan daha sonra yerel bir muhabire "Duyduğum en gürültülü şey" demişti. "Alevler istasyonun içinde oradan oraya dolaşıyordu ve kulaklarımdaki çınlama geçtikten sonra cızırdayan bir şey duydum. Saçlarım tutuşmuş yanıyordu. Alevlerin boyu on beş santime yükseliyordu." Sullivan ceketiyle alevleri söndürdü ve yanmış saç derisini soğutmak için tuvalete koştu.

Sullivan daha ciddi ya da daha kötü yaralanmadığı için şanslıydı. Yıldırımlar 100 milyon voltun üzerinde bir gerilim üretilebildiğinden, yıldırım çarpan kurbanların yaklaşık yüzde onu hayatını kaybeder. Ama Sullivan'ı daha da şanslı yapan şey, bu çarpmanın onun ne ilk, ne ikinci hatta ne de üçüncü yıldırım çarpması olmasıydı. İş hayatında bu dördüncü kez başına geliyordu ve dört yıllık bir süre içinde üçüncüsüydü bu, hepsi parkta meydana gelmişti.

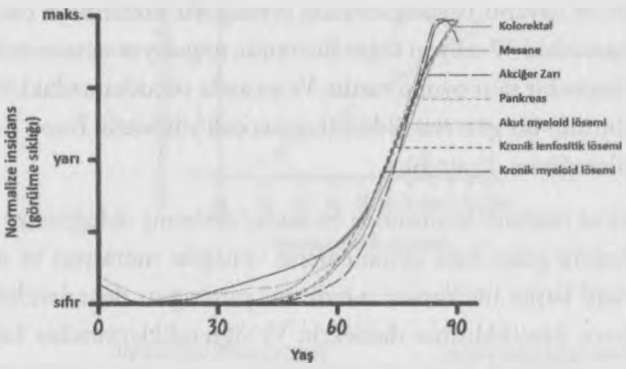
İlki otuz yıl önce, Sullivan şiddetli bir fırtına sırasında bir yangın kulesinden kaçmaya çalışırken olmuştu. Yıldırım sağ bacağında şerit halinde 1-1,5 cm'lik bir kısmı yakmış ve ayak başparmağının tırnağını koparmıştı. İkincisi, 27 yıl sonra Shenandoah'ın ünlü, manzaralı Skyline Drive'ında kamyon sürerken oldu. Yıldırım açık kabinden girdi, kirpiklerini, kaşlarını ve saçının çoğunu yaktı, kol saatini kavurdu ve Sullivan'ı bayılttı. Kamyonu uçurumun kenarında durmuştu. Üçüncüsü ise, sadece bir yıl sonra, yıldırım bir trafodan sıçrayıp Sullivan'ı bahçesinde yere yıktı.

Dördüncü kez yıldırım çarpmasının olduğu bu tarihe kadar sadece iki kişinin en çok üç kez çarpıldığı biliniyordu; onlar için üçüncü çarpma ölümcül olmuştu. Sullivan'ın başına gelen dört olayın park yetkilileri veya doktorlar tarafından doğrulanmasıyla, 60 yaşındaki korucu, dört kez çarpılan ve sağ kalan tek kişi olarak *Guinness Rekorlar Kitabı*'na girdi ve kendisine "paratoner insan", "Yıldırım Adam" veya "Yıldırımsavar" lakapları takıldı.

Sullivan'a sık sık "Neden sen?" diye sorarlar. O da "şansını" İlahi Takdir'e bağlar, ancak Tanrı'nın onu neden bu kadar sık seçtiğini anlamadığını itiraf eder. Ayrıca, görünüşe göre Tanrı tatmin olmamış olmalı ki Sullivan, Park Hizmetlerinden emekli olmadan önce, -1973 ve 1976'da- iki kez daha çarpılmıştır. Ardından, Sullivan 1977'de balık tutarken yine yıldırıma yakalanmış ve tekrar yanmıştır.

Sullivan'ın rekoru için bir başka olası açıklama, yıldırımın mesleki bir tehlike olduğudur. Her türlü iş, büyük riskler de taşır: Boksörler yumruk yer, vaizleri çıngıraklı yılanlar sokar, park korucularına yıldırım çarpar.

Maalesef, sadece hayatta olmanın bile bir mesleki bir tehlike olduğu ortaya çıkmıştır. Aşağıdaki grafiğe bakalım:



Şekil 7.1. Yaşla birlikte kanser görülme sıklığı 100 kat artıyor
Rozhok ve DeGregori (2019) verilerine dayanarak Kate Baldwin'in çizimi.

Eğriler, kanser insidansının otuz ile yetmiş beş yaş arasında yaklaşık 100 kat arttığını gösteriyor; bu da yaşamları boyunca her beş kişiden ikisi buna yakalanacak demektir.

Bu model ilk olarak neredeyse yetmiş yıl önce fark edilmişti. Aynı zamanda, epidemiyologlar kanserle belirli yaşam tarzı alışkanlıkları veya meslekler arasında bir bağlantı olduğuna dair ilk destekleyici kanıtları topluyorlardı. Araştırmacılar o zamandan bu yana kanserin neden ve nasıl oluştuğunu anlamaya çalışıyorlar. Yaşla veya belirli aktivitelerle kanser olasılığındaki artışın herkesin hastalığa yakalanmayacağı gerçeğiyle birleşmesi, ilk araştırmacılara güçlü bir şans faktörü olduğunu düşündürmüştü.

Bu bölümde şunu soracağız: Kanser ne dereceye kadar kötü genler, kötü alışkanlıklar veya şanssızlıktan kaynaklanır?

Muhtemelen ilk tepkiniz "Yaşasın! Kanser olmayı bekliyordum zaten," olmayacaktır. Elbette böyle bir konunun pek eğlenceli bir

tarafı yok ama kanserin neden rastlantısal yaşamlarımızın bir parçası olduğunu, bize servet getiren aynı süreçlerden birinin bize nasıl şanssızlık da getirebileceğini göreceğiz. Gonadlarımızda devam eden oyunları ve hayatın başlangıcındaki piyangoyu özetlemeye çalıştım. Vücudunuzdaki 37 trilyon diğer hücrenin, neredeyse tamamında oynanan başka bir şans oyunu vardır. Ve şu anda vücudunuzdaki hücrelerden birinin bir gün sizi öldürme şansı çok yüksektir. Bunu bilmek isteyebileceğinizi düşündüm.

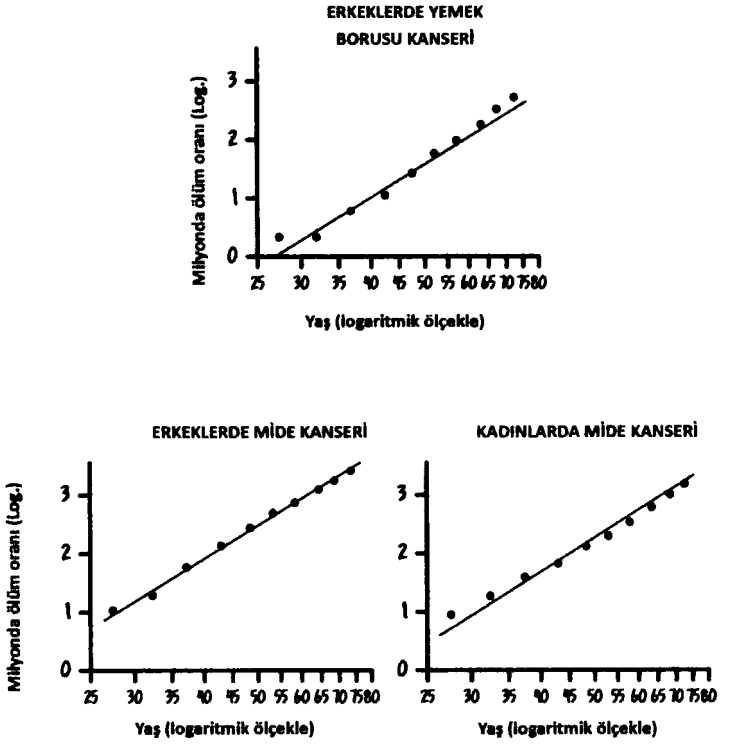
Şans ve rastlantı konusunda bu kadar ilerlemiş olduğunuza göre, artık tanıdık gelen bazı fenomenlerin -rastgele mutasyon ve seçilimin- nasıl başka bir kanser merdiveni yarattığını değerlendirmeye son derece hazırlıklısınız demektir. Ve öğrendiklerinizden bazıları sizi veya sevdiğiniz birini o merdivenden uzak tutmanıza yardımcı olabilir.

KANSER MERDİVENİ

Epidemiyologların dikkatini çeken sadece kanserin yaşla birlikte artması değildi. Kanser insidans eğrileri, lineer değil üsteldir, yani kanser sayısı yaşla aynı oranda değil, daha hızlı artar. Bu oranı ve bunun ne anlama gelebileceğini anlamak için epidemiyologlar, ters logaritma uyguladılar. Bu ilk araştırmacılar, çeşitli kanserlerdeki ölüm oranlarını, yaş ilişkisini gösteren grafikleri logaritmik ölçekte çizdiklerinde, birkaç farklı kanser arasında önemli derecede tutarlı bir matematiksel ilişki keşfettiler: Her birinde ölüm oranları, yaşın altıncı kuvvetinin bir fonksiyonu olarak artmaktaydı (Şekil 7.2).

Neden altı ve bu ne anlama gelebilir?

Eğer kanser, yıldırım veya yılan sokması gibi "tek seferlik" bir fenomen olsaydı, insandaki kanser hastalıklarının görülme sıklığının farklı yaşlarda eşit oranda olması gerekirdi. Ancak kanser, yaşın altıncı kuvvetiyle doğru orantılı olarak arttığı için bu durum, kümülatif bir risk ve kümülatif çoklu bir süreç ortaya koyuyordu. Bu ilişki,



Şekil 7.2. Kanser, yaşın altıncı kuvvetinin bir fonksiyonudur.

Çeşitli kanser türlerinin insidansının, yaşın altıncı kuvvetiyle orantılı olarak artması, ilk araştırmacıları kanserin oluşumunda bir dizi mutasyon içerdiği fikrine yönlendirdi. Armitage ve Doll (1954) verilerine dayanarak Kate Baldwin'in çizimi.

DNA'nın yapısı çözülmeden ve mutasyonun doğası ortaya çıkmadan önce gözlemlenmiş olsa da birkaç öncü epidemiyolog, kanserin bir hücrede yaşla birlikte biriken bir dizi ardışık mutasyonun sonucu olduğunu cesaretle öne sürdüler. Daha da cesurca olanı, birçok kanserin yaşın altıncı kuvvetinin bir fonksiyonu olduğu keşfine dayanarak, bu kanserlerin özellikle altı veya yedi ardışık mutasyon gerektirebileceği iddiasıydı. Bu senaryoda, araştırmacılar yinelemeli bir

süreç düşündüler: Tek bir hücrede bir ilk mutasyon meydana gelir ve hücre çoğalır; daha sonra, bu hücrelerden birinde ikinci bir mutasyon meydana gelir, ardından yine çoğalırlar; sonra üçüncü bir mutasyon meydana gelir ve bu böyle devam eder. Her mutasyonun normal hücrelere göre bir miktar büyüme avantajı sağlaması durumunda, normal dokuyu aşacak şekilde aşırı çoğalacaklarını, yani kanser gibi davranacaklarını fark ettiler. Takip eden on yıllarda, insan ve hayvan tümörleri üzerinde yapılan çalışmalar, aynı tümörden gelen hücrelerin sıklıkla belirgin bir kromozomal anormalliğe sahip olduğunu ortaya çıkardı ve tümörlerin tek bir hücredeki ilk mutasyondan kaynaklandığı fikrini destekledi.



Şekil 7.3. Kanser Merdiveni

Kanser çok aşamalı bir süreçtir. Bir gen sürücüsündeki ilk mutasyon (merdivendeki ilk basamak), diğer hücrelere (her bir merdivende çıkış) göre bir hücre klonuna hafif bir seçici avantaj sağlayabilir; ilk klonun bir hücresindeki ikinci bir sürücü mutasyonu (2. mutasyon) ayrıca bir seçici avantaj sağlayabilir (ikinci çıkış) ve bu ikinci klonun bir hücresi içindeki üçüncü bir sürücü mutasyonu (3. mutasyon) seçici avantajı kanseri oluşturan noktaya doğru daha da artırabilir. Kate Baldwin'in çizimi.

Bu sonuç, tümörlerin genetik klonlar olduğu anlamına gelmektedir.

Aynı zamanda bunun anlamı, kanserin, her bir basamağı (merdivenden çıkışı) sağlayan yeni mutasyonlar ve bir sonraki basamak (çıkış) gerçekleşmeden önce her yeni mutasyonu içeren klonu çoğaltarak ilerlemeyi sağlayan seçilim ile başka bir basamak olduğudur (Şekil 7.3).

Ancak bu merdiven, kanser oluşumunun yalnızca kavramsal bir taslağıdır. Bilim insanlarının ve doktorların umutsuzca bilmek istedikleri şey, her adımı başlatan mutasyonların kimliği ve herhangi bir kanserdeki basamak sayısıdır.

SÜRÜCÜLER, HIZLANDIRICILAR VE DURDURUCULAR

Araştırmacıların temel epidemiyolojik çalışmalardan yirmi yıl sonrasına kadar kanserin genetiğini incelemeye başlamadılar. En önemli açık sorulardan biri, kanserin kromozom sayısındaki farklılıklar gibi bazı genel anormalliklerin sonucunda mı, yoksa belirli genlerin değişmesinden mi kaynaklanıyor olduğuydu. İlk önemli sonuçlar, aynı kanser tipine sahip hastalarda bağımsız olarak meydana geldiği gözlemlenen çok spesifik kromozom düzenlemelerinin tanımlanmasıyla elde edildi. Bu tanımlamalarla, bu kanserlerin en azından belirli genlerdeki değişikliklerden kaynaklandığı ileri sürülüyordu. Başlangıçta, kaç farklı genin veya ne tür genlerin kansere katkıda bulunabileceğini kimse bilmiyordu. İnsan genomunda yaklaşık 20.000 gen vardır. Bu genlerin büyük bir kısmı kanser oluşumuna katkıda bulunuyorsa, çözülmesi kaotik bir durum olacaktı. Sonunda, gen klonlama ve DNA dizilimi yapılabilir hale geldikçe, insandaki kanserlerle ilişkili bir gen mutasyonları kataloğu oluşturulmaya başlandı. Onlarca yıllık araştırmalar sonucunda, kanserlerde sıklıkla mutasyona uğrayan yaklaşık 150 kadar gen tanımlandı. Bu sayı, tüm genlerin yalnızca küçük bir alt kümesinin (yüzde 1'den az) kanser oluşumu için kritik olduğunu göstermektedir. Mutasyona uğramış genler iki geniş fonksiyonel

kategoriye ayrılır. Bazı genlerdeki mutasyonlar, yaptıkları proteinlerin aktivitesini arttırır veya değiştirir ve kanser oluşumunu teşvik eder; bu genler *onkogenler* olarak adlandırılır. Diğer kanserlerde, belirli genler mutasyonlar tarafından silinir veya etkisiz hale getirilir, bu da yaptıkları proteinlerin normal işlevinin hücre büyümesini kontrol etmek olduğunu gösterir; bu genler *tümör baskılayıcı* olarak adlandırılır.

Bu iki kategoriyi zihinde canlandırmanın bir başka yöntemi de kontrolden çıkan bir araba üzerinden düşünmektir. Olabilecek iki yol vardır; sıkışmış bir gaz kelebeği veya patlamış frenler. Onkogen mutasyonları gazın takılmasına neden olur, tümör baskılayıcı mutasyonlar frenleri patlatır. Her iki mutasyon kategorisi de kanser oluşumunu yönlendirir, bu nedenle genel olarak "gen sürücü" mutasyonları olarak adlandırılırlar.

Problem yaratmak için fazladan hız gerekmez. Eğer gen sürücüsü mutasyonu, diğer hücrelere göre yalnızca çok küçük bir seçici büyüme avantajı sağlıyorsa, yüzde birden bile daha azsa, bu küçük avantaj, günlerce, haftalarca, yıllarca bir araya gelen milyarlarca hücre kütlesi oluşturabilir.

İdeal olan, bir gün tüm potansiyel gen sürücüsü mutasyonları için herhangi bir tümörü incelemek ve mutasyonları tümör davranışıyla ilişkilendirmek mümkün olacaktır. O gün, beklenenden çok daha erken geldi, ancak manzara hem aydınlatıcı hem de uyarıcı nitelikte.

KAZA SAHNESİ

Kanserin genetik analizindeki devrim, DNA dizilemesinin zaman ve maliyetinde, on yıl kadar önce hasta başına yaklaşık 100.000 dolarlardan bugün 1.000 dolarlara veya daha aşağısına dramatik düşüşlerle hızlandırıldı. Ulusal ve uluslararası çabalar, on binlerce kansere ilişkin DNA dizilerinin "atlaslarını" oluşturdu.

Araştırmacıların ve uzman hekimlerin görevi, sürücü mutasyonlarını tespit etmek için kanser vakasındaki DNA dizisini taramaktır. Her bir gen sürücüsünün durumu, dizilerinin bütünlüğü üzerinden

değerlendirilir. Pek çok kanserin sekanslarını analiz ederek, belirli sürücü mutasyonları ile belirli kanser türleri arasındaki ilişkiler ortaya çıkarılmıştır. Örneğin, belirli lösemiler neredeyse her zaman, kolorektal kanserler ve pediatrik retinoblastomalarda olduğu gibi belirli bir gen sürücüsündeki mutasyonları içerir. Diğer sürücü mutasyonları, çok çeşitli kanserlerin büyük bir bölümünde meydana gelir ve bu da kanser oluşumuna genel bir katkıda bulunduklarını gösterir. Ve tipik olarak, birden fazla sürücü mutasyonu mevcuttur; çoğu tümör, iki ila sekiz sürücü mutasyonu içerir yani genellikle hem gaz kelebeğini sıkıştırır hem de frenleri bozarlar.

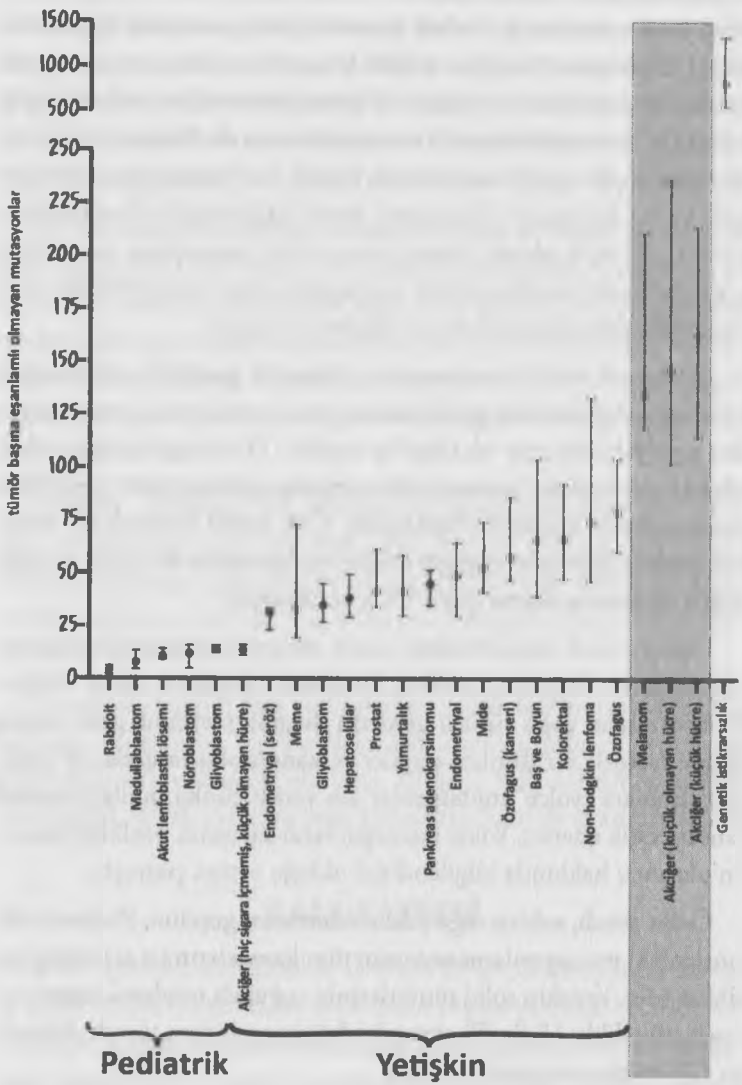
Çoklu gen sürücü mutasyonları, kanserin genellikle çok aşamalı bir süreç olduğuna dair güçlü kanıtlardır. Ancak kanser genomlarından toplayabildiğimiz tek bilgi bu değildir. Herhangi bir kanserdeki tek mutasyon sürücü mutasyonları olmayıp, aslında bunlar genellikle mutasyonların küçük bir azınlığıdır. Çok çeşitli kanserlerde bulunan protein değiştirici mutasyonların toplam sayısı en azdan en çoğa doğru sıralanmış olarak Şekil 7.4'te verilmiştir.

Genel olarak, kanserlerdeki sessiz olmayan mutasyonların sayısı 10'dan az bir değerden, 200'ün üzerindeki değerlere kadar değişir. Mutasyonların çoğu sürücü genlerin dışında meydana gelir, büyük ölçüde rastgele bir dağılım sergiler ve kanser oluşumunda rol oynamaz. Bunlara "yolcu" mutasyonlar adı verilir çünkü bunlar yalnızca kansere eşlik ederler. Yolcu mutasyonların sayısının özellikle kanserin oluşumu hakkında bilgilendirici olduğu ortaya çıkmıştır.

Gelin şimdi, soldan sağa şeklin üzerinden geçelim. Pediatrik tümörlerdeki mutasyonların sayısının tüm kanserlerin en azı olduğuna dikkat edin. Yetişkin solid tümörlerinin çoğunda ortalama mutasyon sayısı genellikle 15 ila 75 arasında değişir ve birkaç tümör türünde ise 125 mutasyonu aşar.

Daha fazlasını açıklamadan önce, tablonun alt kısmındaki tümör tiplerine göz atın ve bazı tümörlerin niçin o konumda olduğunu düşünmek için bir dakikanızı ayırın.

Şimdi bazı özel karşılaştırmalar yapalım.



Şekil 7.4. Farklı kanserler, farklı sayıda mutasyon içerir.

Vogelstein ve arkadaşlarından (2013) gelen verilere dayanarak Kate Baldwin tarafından çizilmiştir.

Yetişkin-pediatrik model karşılaştırmasıyla başlayalım. Yetişkin tümörleri neden daha fazla yolcu mutasyon taşıyabilir? En direkt açıklama, yetişkinlerin hücrelerinde ortaya çıkan kanserlerin, çocuklardaki kanserlerden daha fazla DNA kopyalama döngüsüne maruz kalması ve bu nedenle daha fazla mutasyon biriktirmesidir.

Peki ya yetişkinlerde görülen kanserlerle farkları nedir? Yetişkinlere ait tümör çeşitlerinin iki ucuna bakın. Her iki uçta da akciğer kanserlerinde bulunan mutasyonlar var, ancak düşük değerler (<15) hiç sigara içmemiş kişilerde görülürken, sigara içen kişilerin tümörlerinde on kat daha fazla mutasyon meydana gelir (küçük hücreli ve küçük hücreli olmayan akciğer kanseri olarak adlandırılan iki farklı tipte akciğer kanseri vakalarında). Bu farkın açıklaması ne olabilir?

Sigara dumanı, DNA'yı değiştiren veya DNA'ya zarar veren düzinelerce kimyasal içerir. Sigara içenlerin akciğer kanserlerinde, içmeyenlere göre ortalama yolcu mutasyon sayısının daha fazla olması, sigaranın mutasyon sıklığını artırdığını ortaya koymaktadır. Gerçekten de akciğer kanserleri Şekil 7.4'teki diğer kanserlerden biri dışında hepsinden daha fazla mutasyon içerir.

Ve bir diğer kanserin, melanomun kimliği de aydınlatıcıdır. Deri kanserleri güneşte uzun süre kalmayla ilişkilidir; en yüksek cilt kanseri oranları, güneşli iklimlerde (örneğin, Güney Afrika, Avustralya ve Arizona), Kafkasyalılarda görülür. Güneş ultraviyole radyasyon üretir ve de UV ışınlarının DNA hasarına ve mutasyona neden olduğu iyi belgelenmiştir. Bu nedenle, melanomlardaki daha fazla sayıda yolcu mutasyon sigara içenlerin akciğer hücreleri gibi, bu hücrelerin de mutajenlere çok daha uzun süreli maruz kaldığını gösteriyor.

Gerçekten de artık tek bir hücreden DNA'yı hızla analiz etme olanağına sahip olduğumuza göre, araştırmacılar, kanser oluşumundaki ilk yerel olayları izlemek için normal dokulardaki sürücü mutasyonları tespit edip edemediklerini görmek üzere bu yeteneği kullandılar. Plastik cerrahi hastalarının göz kapaklarında, normal görünen cilt dokusunu inceleyen bir İngiliz ekip, hücrelerin çok sayıda

mutasyon içerdiğini ve yaklaşık dörtte birinin potansiyel bir sürücü mutasyonu taşıdığını keşfetti.

Akciğer kanserleri, melanomlar ve hatta normal görünen cilt dokusundaki fazla sayıda mutasyon, sigara içmenin ve güneşe maruz kalmanın neden kanser riskini artırdığının canlı kanıtıdır. Mutasyonlar genom içinde rastgele meydana gelir, ancak bir hücrenin DNA'sında ne kadar çok mutasyon ortaya çıkarsa, bir gen sürücüsünün ve ardından ikincisinin yakalanma şansı o kadar artar ve bu böyle devam eder.

Mutasyon sayısı ile kanser oluşma olasılığı arasındaki ilişki, belirli bir sürücü mutasyon kategorisi tarafından da kanıtlanmıştır. Bazı kanserler, Şekil 7.4'te kelimenin tam anlamıyla çizelgenin dışında kalan çok sayıda mutasyon (500-1.500) içerir. Bu tümörlerin, DNA hasarını izleyen ve onaran proteinleri kodlayan genlerde mutasyonlara sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak, bu tümörlerin genel mutasyon oranları çok daha yüksektir ve ek mutasyonlar edinmeye daha da yatkındırlar.

Artık kanser riskinin neden yaşla birlikte arttığını anlayabiliriz: Bir hücre ne kadar çok bölünme geçirirse, o kadar çok mutasyon biriktirir. Ancak kanser bir şans meselesidir, mutlak kader değildir. Bu, DNA'da rastgele mutasyonların nerede meydana geldiğiyle ilgilidir. Çoğu hücre bir sürücü mutasyonu almaz.

MÜCADELE ŞANSI

Bu yeni bilgi bize kanserin nedeni hakkında ne söylüyor? Aslında, soruyu kime sorduğunuza bağlı. Bir genetikçi, sürücü mutasyonlarının kansere neden olduğunu söyleyecektir ve bu doğrudur, ancak yaşamlarımızı nasıl yaşadığımız ve sevdiklerimize nasıl baktığımız konusunda o kadar da yararlı olmayabilir. En yakın ve acil soru, bu sürücü mutasyonlarına neyin sebep olduğudur. Bu sorunun cevabı bana göre üç bölümde ele alınmalıdır.

Birincisi, Şekil 7.4'te pediatrik tümörlerle kanıtlanmıştır. Gen sürücülerini etkilemiş olan az sayıda mutasyon taşırlar. Dikkate alınması gereken bir yaşam tarzı faktörü yoktur; çok kötü şansın bir sonucudur ve neyse ki nispeten seyrek görülür. Çocuğu yakalanan biri için yapabileceğiniz en iyi şeylerden biri, kendilerinin buna neden olacak hiçbir şey yapmadıklarını ve bunu önlemek için yapabilecekleri hiçbir şey olmadığını anlatmaya çalışmaktır.

Cevabın ikinci kısmını akciğer, deri ve rahim ağzı kanserlerinden alıyoruz. Bu kanserlerde aynı zamanda bir şanssızlık faktörü de vardır, ancak bu basamaklardan uzak durmanın bazı yolları da mevcuttur. Örneğin, sigara içmek yaşam boyu akciğer kanseri riskini yirmi kat artırır. Kurt Vonnegut'un belirttiği gibi, "Halk sağlığı yetkilileri, pek çok Amerikalının yoğun sigara içmesinin ana sebebinden asla bahsetmezler, bu da sigara içmenin oldukça emin ve oldukça onurlu bir intihar şekli olmasındandır." Benzer şekilde, her yıl diğer tüm kanserlerin toplamından daha fazla kişiye cilt kanseri teşhisi konuyor, ancak çeşitli araştırmaların sonucu bize, risk altındaki popülasyonlarda UV'yi azaltan güneş koruyucularının düzenli olarak kullanılmasının insidansı azaltabileceğini göstermektedir. Vonnegut'un bir zamanlar yeni üniversite mezunlarına sunduğu tavsiyeye hepimiz kulak vermeliyiz, "Güneş kremi kullanın, Sigara içmeyin!" Aynı şekilde, rahim ağzı kanserlerinin büyük çoğunluğuna (birçok ağız, baş ve boyun kanseri gibi) insan papilloma virüsü (HPV) ile enfeksiyona neden olur, bu da aşılama ile büyük ölçüde önlenebilir (bu tür şeylerin yararına inanıyorsanız eğer!).

Cevabın üçüncü kısmını da tablodaki yetişkin tümörlerinin çoğundan alabiliriz. Bu kanserlerdeki mutasyonların sayısı, canlı olmanın ve DNA'yı kopyalamanın kaçınılmaz bir yan ürünü olan mutasyonun nasıl amansız olduğunu göstermektedir. Yaşam tarzı ve çevresel faktörler bir miktar etkilese de yetişkin kanserlerinin çoğu büyük ölçüde bir şanssızlık meselesidir -bir dizi talihsiz olayın sonucudur- ama aynı zamanda uzun yaşamak da şanslı olmanın bir sonucudur.

Ancak en önemli soru, tüm bunların kanser ortaya çıktıktan sonra mücadele açısından ne anlama geldiğidir? Çok iyi haber şu ki, rastlantısal mutasyonlarla ilgili bu yeni bilgi, yeni bir kuvvet ve yeni bir umut getirdi. Buzul Çağı kaosunun şekillendirdiği büyük beyinli maymun, şansa karşı savaşmak için bu büyük organı kullanıyor.

Yirmi beş yıl önce, çoğu kanserde sürücü mutasyonları için nereye bakacağımızı bilmiyorduk ve bilsek bile büyük ölçüde çaresizdik. Ancak 1998'den başlayarak, sürücü mutasyonların ürettiği belirli molekülleri hedef alan yeni bir ilaç sınıfı bulundu. Bugün, otuzdan fazla kanser türünün büyümesi ve yayılmasında rol oynayan molekülleri hedef alan çok sayıda ilaç var ve daha birçok aday ilaç da deneniyor. Yani, eğer yıldırım çarparsa, artık hayatta kalma şansımız giderek artıyor.



SON SÖZ

RASTLANTI ÜZERİNE BİR SÖYLEŞİ

"Kaplan avlanmalı, kuş uçmalı,
İnsan da oturup düşünmeli 'Niçin, niçin, niçin?' diye.
Kaplan uyumalı, kuş konmalı,
İnsan da kendi kendine anladım demeli..."

— KURT VONNEGUT, KEDİ BEŞİĞİ
(BOKONON KİTAPLARI)

Kurt Vonnegut, *Slapstick*[8] adlı yarı-otobiyografik romanında kız kardeşi Alice'in kırk bir yaşında kanserden ölümünün hikâyesini anlatır. O ve erkek kardeşi Bernard, son gününde onu ziyaret ederler.

8 Slapstick: Sanatçıların abartılı ve genellikle dikkatsizce veya mantıksızca hareketler yaptığı bir tür komedidir. Adını İtalyan *commedia dell'Arte*'de kullanılan "şakşak" aletinden alır. (ç.n.)

"Bir ayrıntı olmasaydı, onun ölümü de istatistiksel olarak göze çarpmayan bir ölüm olurdu, o da şuydu: Wall Street'te bir yeri olan ve satın alma acentalarına yönelik bir iş dünyası yayınının editörlüğünü yapan sağlıklı kocası James Carmalt Adams, iki gün önce, Amerikan demiryolları tarihinde kendisini bir asma köprüden atan, ilk ve tek trende 'The Brokers Special'da ölmüştü."

"Bir düşünün."

"Bu gerçekten de oldu."

Büyük mizahçının öykülerinde birçok fantastik senaryo vardır ama tren kazası gerçekten de onun dediği gibi olmuştu. 15 Eylül 1958 sabahı, yaklaşık 100 yolcusuyla Jersey City'ye gitmekte olan New Jersey Central banliyö treni nasıl olduysa üç ışık sinyalinden ve otomatik bir makas değiştiriciden yavaşça geçti ve asma köprüden 15 metre aşağıya düşmeden önce 150 metre kadar gitmeye devam etti. Beş vagonlu trenin iki vagonu suya düşerken, üçüncü vagon iki saatten fazla havada asılı kaldı. Kurtarma ekiplerinin kahramanca çabalarına rağmen, Vonnegut'un kayınbiraderi de dâhil kırk sekiz kişi hayatını kaybetmişti.

Vonnegut ve erkek kardeşi, kız kardeşlerinin kritik durumunu ve kocasına emanet edilecek olan dört küçük çocuğuyla ilgili endişelerini düşünerek, onu bu feci olaydan haberdar etmemeye karar verdiler. Fakat o, zaten bir başka hastanın kendisine verdiği gazeteden, kocasının ölüler veya kayıplar arasında olduğunu okumuştu. Vonnegut, kızkardeşinin tepkisini ve ona söylediklerini şöyle anlatıyor:

"Alice herhangi bir din eğitimi almadığı ve mükemmel bir hayat sürdüğü için kocasının hayatını çok kalabalık bir yerde başına gelecek bir kazada kaybedebileceğini asla aklından geçirmemişti."

"Aferin ona."

Gerçekten de çok yoğun yerlerde olan kazalardan bahsediyorum. Hem toplu hem de bireysel olarak hepimizin bir dizi; kozmolojik,

jeolojik ve biyolojik kaza sonucu burada olduğumuzu, yine bazılarımızın nasıl ve niçin kazaen bu dünyayı terk edeceğini gösterdim sizlere.

Rastlantıya dayalı dünyamız, derin bir gizemi barındırır. Biyosferdeki tüm yenilik, çeşitlilik ve güzelliğin kaynağının kör bir rastlantı olması hayret vericidir gerçekten. Bir asteroidin, kayan tektonik plakaların ve fibrilasyona neden olan bir polimerin neler yapabildiğine de şaşırmışsınızdır sanırım.

Ancak rastlantıya dayalı varoluşumuz, mümkün olan tüm dünyaların en iyisinde değil, romancı Christian Jungerson'ın deyimiyle "acımasız rastlantısallık, muazzam kaos ve sürekli biyolojik kırılganlık" bir dünyada yaşadığımıza dair rahatsız edici bir ikilemi de beraberinde getiriyor. Bu görüş, elbette, insanlığın büyük şemadaki yeri hakkındaki geleneksel inançları paramparça ediyor.

Monod'yu eleştirenlerin kınadığı gibi, rastlantı, Tanrı'yı olup bitenlerden ya da en azından geleneksel olarak O'na yüklediğimiz işlerin büyük çoğunluğundan uzaklaştırır. Tanrı, ne gebe kalma süreciyle ilgili olarak yarışı kazanan sperm ve yumurtayı seçme işiyle ne canlıların DNA'ları ve özelliklerinin belirlenmesiyle ne hava durumuyla ne de kanser veya salgın hastalıklarla uğraşmaz.

Bu tür iddialar karşısında yapabileceklerinizden biri, rastlantının rolünü dikkate almamaktır. Ancak rastlantının her yerde karşımıza çıkabilecek olduğunu kabul etme cesareti göstermemiz gerekmez mi acaba, işte burada hayatımızın anlamı ve amacı hakkında cevaplanması zor bazı sorular çıkıyor: İlahi Takdirle değil de tesadüfen buradaysak ne yapmalıyız? Bu bilgiden yaşamımızda nasıl yararlanmalıyız?

İlk aklıma gelen, Dr. McCoy'u (*Uzay Yolu'ndan "Bones"*) hatırlayıp "Lanet olsun Jim, ben bir bilim adamıyım, filozof değil" diye sızlanarak itiraz etmek. Bu soruların cevaplarına her birimizin bireysel olarak karar vermemiz gerektiğini düşünüyorum. Ancak bu bölüm

Son Söz olduğundan ve konuyla ilgili benim kendi düşüncelerimin ne olduğu konusunda bir beklenti olabileceğinden, değer verdiğim favori düşünürlerin yardımıyla bazı olası cevaplar sunacağım.

Rastlantıların yönettiği dünyamız ve insanların anlam arayışları Vonnegut'un eserlerinde tekrarlanan temalardır. Vonnegut, kız kardeşi Alice'in ölümünden hemen sonra yazdığı, gelecekte geçen ikinci romanı *Titan'ın Sirenleri* (1959) şu ifadelerle başlıyordu:

"Herkes artık hayatın anlamını kendi içinde nasıl bulacağını biliyor.

Ama insanlık her zaman bu kadar şanslı değildi. Bir asırdan daha kısa bir süre önce ne erkekler ne de kadınlar kendi içlerindeki bilmecelere bu kadar kolay erişemiyorlardı.

Ruhun elli üç kapısından hiçbirini sayamadılar.

Ucuz dinler hep kazançlı işlerden olmuştu."

Romandaki iki ana karakterden biri (Winston Rumfoord), belirli öğretileri olan Tamamen Kayıtsız Tanrı Kilisesi'ni kurar. Bu dinin ana öğretileri şunlardır, "Küçük adam, Yüce Tanrı'ya yardım etmek veya onu memnun etmek için kesinlikle hiçbir şey yapamaz ve Mutluluk Tanrı'nın eli değildir." İkinci ana karakter (Malachi Constant), kaçırıldıktan ve daha sonra Dünya'ya döndükten sonra, Kilise'nin ana temalarından birini açıklar: "Hepimiz gibi ben de bir dizi rastlantının kurbanıydım."

Vonnegut'un kitapları, bilim insanlarının yanı sıra, her şeyin bir sebeple gerçekleştiğini ve kör tesadüfün dünyayı yönettiğini düşünmeye en az eğilimli görünen tek insan grubunun mizahçılar ve komedyenler olduğunu anlamama yardımcı oldu. Günümüzün pek çok harika komedyeni; Seth MacFarlane, Eric Idle, Bill Maher, Ricky Gervais, Sarah Silverman, Bill Burr, Eddie Izzard, Lewis Black ve daha fazlası ve de Mark Twain'den Vonnegut'a ve George Carlin'e kadar eski büyük komedyenler insanlığın yeri ve amacı hakkındaki geleneksel inançları reddederken, bu inançlardan bazılarındaki

saçmalıklara bizi güldürdüler. Aslında o kadar çok komik insan var ki, bu neden böyle? Bilim insanları ve komedyenlerin ortak noktası nedir? Komedyenler neden bu tür konularla ilgilenir ki? Rastlantının her yerde karşımıza çıkması durumunda nasıl yaşamamız gerektiğini düşünüyorlar? Bazılarına doğrudan ulaşmaya ve sormaya karar verdim. Sonra aklıma geldi: Onları sadece birbirleriyle değil, edebiyat ve bilim dünyasından kahramanlarımla rastlantı ve bunun sonuçları hakkında bir sohbet için bir araya getirmek eğlenceli olmaz mıydı? Tüm bu komik, akıllı insanlarla bir oturma odasında oturup stres atarken hayal ettim.

Çoğu yazmakla, oyunculuk ve turne çalışmalarıyla meşgul olduğundan ve bazıları ne yazık ki çoktan öldüğünden lojistik olarak bu imkânsızdı. Kolektif zekâlarını ve bilgeliklerini paylaşmanın en iyi yolunun, bana ya da başkalarına söylediklerine dayanarak bir senaryo yazmak olduğuna karar verdim. Aşağıdakiler, konuşmanın nasıl sürmüş *olabileceğini* açıklamaktadır (alıntıların çoğu kelimesi kelimesine verilmiştir; notlara bakınız).

RASTLANTI HAKKINDA BİR SÖYLEŞİ

KARAKTERLER

Albert Camus	Yazar-filozof, Nobel Edebiyat Ödüllü 1957
Ricky Gervais	Komedyen-aktör, *The Office* ve *After Life*'ın yaratıcısı
Eric Idle	Monty Python'un kurucu üyesi, söz yazarı
Eddie Izzard	Komedyen-aktör, *Force Majeure* stand-up programının sunucucusu
Bill Maher	Komedyen, *Real Time with Bill Maher* programının sunucucusu
Seth MacFarlane	Komedyen-animatör-aktör, *The Family Guy*'ın yaratıcısı

Jacques Monod	Nobel ödüllü biyolog (1965), *Rastlantı ve Zorunluluk* kitabının yazarı
Sarah Silverman	Komedyen-aktris, *Speck of Dust* programının sunucusu
Kurt Vonnegut	*Titan'ın Sirenleri* ve *Mezbaha No:5* kitaplarının yazarı
Sean Carroll	Moderatör, Nobel Ödüllü veya komedyen değil

CARROLL

Burada olduğunuz için hepinize teşekkür ederim. Gelin önce hayatlarımızdaki rastlantılardan, kazalardan, "ya olmasaydı"lardan bahsedelim isterseniz. Seth, 11 Eylül'den kıl payı kurtulma hikâyenle başlayalım. Bu yaşadıkların hayatını etkiledi mi?

MACFARLANE

Özellikle etkiledi diyemem. Ben kaderci değilim. Dindar biri de değilim. Eminim, yılda yüzlerce olaydan, farkında bile varmadan kıl payı kurtuluyoruzdur. Karşıdan karşıya geçiyorsunuz, iki dakika sonra geçseydiniz size bir araba çarpabilirdi örneğin, bunu asla bilemezsiniz. Eminim bu tür şeyler her zaman olur.

SILVERMAN

Hayatta olduğum için inanılmaz şanslıyım. 2016'da kötü bir epiglotit atlattım. Bana hemen ilaç verdikleri için durumu anlayamamıştım. Ama daha sonra, o vaziyette ölecek durumda olduğumu öğrendim.

CARROLL

Ne olmuştu?

SILVERMAN

Niçin doktora gittiğimi hatırlamıyorum bile, sadece boğazım ağrıyordu. Boğazıma baktı ve şöyle dedi: "Doğru Acil'e gidiyoruz." Soluk

borumun üst kısmında bir apse vardı. Bu apse bir milimetre daha büyüyerek soluğumu kesecek ve ölecektim; ya da patlayacak ve irin dışarı akacak, ben yine ölmüş olacaktım. 5 gün sonra uyandığımda hiçbir şey hatırlamıyordum.

CARROLL

Bu deneyim sizi nasıl etkiledi?

SILVERMAN

İlk iki günü, evde ilaçsızlıktan ve hiçbir şeyin önemli olmadığının beni yataklara düşüren farkındalığından dolayı sürünerek geçirdim. Neyse ki, bunu hiçbir şeyin önemli olmadığına dair motive edici bir aydınlanma izledi. Tüm bunlar belki beni biraz daha, şey ... minnettar kıldı diyeceğim, doğru kelime minnettarlık mı bilmiyorum, biraz klişe gibi geliyor.

MONOD

Ben de minnettarım. Sonunda batacak olan bir tekneyle Kuzey Kutbu yolculuğuna katılmaktan vazgeçmiştim. Geminin adı *Pourquoi-Pas? (Neden olmasın?)* gibi bir şeydi. Dümende ünlü bir kaptan ve kâşif vardı. 1934'te bir doğa bilimci olarak Grönland'a gitmiştim. İki yıl sonra beni tekrar davet ettiler. Son dakikada vazgeçip California'ya gitmeye karar verdim. Gemi İzlanda açıklarında bir kasırgada battı ve biri hariç hepsi öldü.

CARROLL

Peki ya daha sonra, savaş sırasında? Sen de Albert de Direniş'teydiniz. Bu çok tehlikeli değil miydi?

CAMUS

Ee, evet. Epeyce tehlikeliydi. Ama ben şanslıydım.

CARROLL

Nasıl yani?

CAMUS

Hiç yakalanmadım ama birçok yoldaşım yakalandı ya da öldürüldü. Beni örgüte alan kadın, benimle buluşacağı gün tutuklandı ve bir kampa sürüldü. Bir keresinde sokakta durduruldum ve arandım ama üzerimdeki kağıtları bulamadılar, yoksa alıp götürürlerdi, hatta daha kötüsü olurdu.

MONOD

Gestapo, Paris'te her yerdeydi, bir sonraki buluşmamızın sonumuz olup olmayacağını asla bilemezdik. Toplantı yapacağımız güvenli eve giderken şöyle düşündüğümü hatırlıyorum, "Yakalanma ve ailemi bir daha görememe riskini göze almalı mıyım? Yoksa yanından geçip evime mi dönmeliyim?" D-Günü'nden üç gün önce Paris'teki liderlerin neredeyse tamamını yakaladılar. Şehir dışında olduğum için şanslıydım.

VONNEGUT

Ben yakalandım. Keşif-gözlem grubundandım ve Bulge Savaşı sırasında Almanlara esir düştüm. I. Dünya Savaşı'ndaki bir siper kadar derinliği olan bu lağımdaydık. Her tarafta kar vardı. Biri muhtemelen Lüksemburg'da olduğumuzu söyledi. Kumanyalarımız bitmişti. Almanlar bizi görebiliyorlardı çünkü bizimle bir hoparlörden konuşuyorlardı. Bize durumumuzun umutsuz olduğunu söylediler, vb. Üzerimize seksen sekiz milimetrelik mermi gönderdiler. Mermiler tam üzerimizde ağaçların tepesinde patladı. Çok gürültü çıkarmıştı. Üstümüze çelik parçaları yağıyordu. Bizden birileri yaralandı. Sonra Almanlar bize tekrar dışarı çıkmamızı söyledi. Biz de öyle yaptık.

Savaşın bizim için bittiğini söylediler, şanslıydık, artık savaştan sağ çıkacağımızdan emin olabilirdik, ki bu onların emin olabileceğinden çok daha fazlasıydı.

CARROLL

Şanslı mıydın?

VONNEGUT

Hem evet, hem hayır. Altı hafta sonra, Müttefikler tarafından bombalandığında Dresden'de bir savaş esiriydim. Kurtulabileceğimizi hiç ummuyorduk. Kasabada hava saldırısından koruyabilecek çok az sayıda sığınak vardı ve savaş endüstrileri yoktu, sadece sigara fabrikaları, hastaneler, klarnet fabrikaları. Sonra bir siren çaldı —13 Şubat 1945'ti— ve yolun iki kat altındaki büyük bir et deposuna indik. Yukarı çıktığımızda şehir harap olmuştu.

Günlerce şehirde dolaştık ve sağlık önlemi olarak cesetleri çıkarmak için bodrumlara ve sığınaklara girdik. Olağanüstü dikkatle yürütülen bir *Sürpriz Yumurta* avıydı. Yirmi beş yıl sonra *Mezbaha No:5*'i yazdım.

IDLE

İşte Kurt'un romanlarından birinden alınmış olabilecek başka bir gerçek hikâye. Babam İkinci Dünya Savaşı'nda, eve otostop çekerken öldü.

VONNEGUT

Aman Tanrım.

IDLE

1941'den II. Dünya Savaşı'nın sonuna kadar Kraliyet Hava Kuvvetleri'nde, uçağın en tehlikeli koltuğu olan Wellington bombardıman uçağında, arkada nişancı/telsiz operatörü olarak görev yaptı ve yara almadan kurtuldu. 1945 Noelinde, Avrupa'da savaşın bitiminden yedi ay sonra, trenlerin hepsi ağzına kadar dolu olduğu için eve dönerken çelik malzeme taşıyan bir kamyona otostop çekmiş. Trafikteki bir başka araba trafiğe takılmamak için yoldan çıkınca, kamyon da yoldan çıkmış, çelik yük kayarak babamı ezmiş. Noel arifesinde hastanede öldü. Üç yaşındaydım.

CAMUS

Korkunç. Babam da I. Dünya Savaşı, Marne Savaşı'nda [1914] öldü. Henüz bir yaşında bile değildim.

GERVAIS

Çok üzgünüm arkadaşlar. Savaş benim de kaderimi çizdi ama tam tersi yönde, annem ve babam İngiltere'de bir elektrik kesintisi sırasında tanıştılar.

IDLE

Ne kadar romantik!

GERVAIS

Ama anlamam uzun zaman aldı. Ben üç kardeşin en küçüğüydüm. 11-12 yaşlarındayken anneme "Diğerleri neden benden bu kadar büyük?" dediğimi hatırlıyorum. Annem de "Çünkü sen bir hataydın" demişti.

VONNEGUT

Hepimiz gibi.

IZZARD

İkinci Dünya Savaşı bu, İkinci Dünya Savaşı. İşte O'nun, o zaman aşağı inmesi gerekiyordu. Hepimizi O yarattıysa ve biz deliler gibi dua ediyorsak ve elli milyon ölüyorsa, anladınız, inmesinin vaktiydi. Ama olmadı, bu yüzden geleceğini sanmıyorum. Tsunamiler oluyor, gelmiyor, depremler oluyor gelmiyor, Dünya savaşları oluyor gelmiyor. Gelmiyor bir türlü.

CARROLL

Eddie meselenin özüne iniyor, değil mi? Gerçekten de insan işlerinden sorumlu, bizi gözetleyen biri gibi görünmüyor.
Bu da beni bu grup için kilit bir soruya getiriyor: Sizce neden bu kadar çok komedyen Tanrı'nın olmadığı sonucuna varıyor?

IDLE

Zaman kazandırıyor.

MAHER

İnsanların dua ettiği, hayatlarımıza müdahale edebileceğini düşündükleri, öbür dünya için bir tür cennet-cehennem operasyonu yürüten hümanist tanrılardan bahsediyoruz. Bahsettiğimiz şey bu tür bir geleneksel dindir.

IZZARD

Dinler tamamen hikâyelerle doludur. Hikâyelerden ibarettir, bu durumda Yüzüklerin Efendisi'nden farkı yoktur.

MAHER

Haklısın. Bir balinanın karnında üç gün yaşayan bir adamın hikâyesini garipsemiyoruz, bir uzay tanrısının bir bakireyi hamile bırakması ve aslında kendisi olan bir çocuğa babalık etmesi ve onu, kendini öldürmesi göreviyle dünyaya göndermesi, ancak sağ kalması söylentisini de yadırgamıyoruz. Eğer Hristiyanlık günümüzde yeni din olarak gelseydi, onun da Scientology gibi çılgınca bir iddia olduğunu düşünürdük.

IDLE

Bence biz [Monty Python] artık Scientology'den daha komik olduğumuz gerekçesiyle vergi indiriminden yararlanmak için başvurmalıyız... Biz bir din bile olabiliriz. Örneğin; Briantoloji.

CARROLL

Böyle düşünmek güzel ama neden halka açık, neden işlerinize dini dâhil ediyorsunuz? Bu senin için riskli değil mi? Kurt'un kitapları en sık yasaklananlar arasında. *Family Guy* şiddetli protestolara uğruyor. *Life of Brian* çeşitli yerlerde sansüre uğradı ve yasaklandı.

IDLE

Komedi doğruları söyler. "Kral çıplak" diyebilmektir. Her şey meydandadır burada. *Life of Brian* kırk yıl sonra bile hâlâ sahnede...

MAHER

İnsanlar gülseler bile, derinlerde bir yerde bunun doğru olabileceğini bilirler.

VONNEGUT

Kabul ediyorum. Şaka yapmak başlıbaşına bir sanattır ve daima duygusal tehditlere karşılık olarak doğarlar. En iyi şakalar tehlikelidir ve çok tehlikelidir, çünkü bir şekilde doğruları söylerler.

IDLE

Komedide hedef gerçeğin kendisidir. Genellikle doğru şeyi yanlış zamanda söylemektir.

CARROLL

Yerinde bir soru, "komedyenler Tanrı hakkında ne biliyor" olabilir?

SILVERMAN

Tanrı var mı bilmiyorum. Yani, bir Tanrı'nın olduğunu düşünemiyorum. Ama bilmiyorum. Sen de bilmiyorsun, biliyor musun? Ama eğer bir Tanrı varsa, cinayetlerle ve, ee, çocukların açlıktan ölmesiyle ve ... spin sınıfıyla tamamen ilgisiz olan bir Tanrı'dır. Bildiğiniz, hayatın tüm acımasızlıkları işte.

IZZARD

Dindar insanlar bunun ölümden sonra da devam edeceğini düşünebilir. Benim düşüncem eğer durum buysa, sadece bir kişi geri gelip her şeyin yolunda olduğunu, her şeyin doğrulandığını bize bildirse güzel olurdu. Ölen milyarlarca insandan sadece biri bulutların arasından çıkıp, "Benim ben, Jeanine, harika burası, gerçekten iyi bir spa var" derse müthiş iyi olmaz mıydı...

GERVAIS

Tanrı hakkında bilinecek hiçbir şey olmadığı için bir komedyen de Tanrı hakkında en az herkes kadar bilir. Ancak, bir ateist, bilinecek

hiçbir şey olmadığını bilen tek kişidir, bu yüzden muhtemelen avantajlıdır. Ateist bir komedyen, insanları inanç veya inançsızlık konusunda güldürebilir. İyi bir ateist komedyen insanları güldürebilir ve inanç ya da inançsızlık hakkında düşünmelerini sağlayabilir.

CARROLL

Ve mizah, gerçeği daha kolay ortaya çıkarır...

MACFARLANE

Aynı şey toplumdaki sosyal, politik veya bilimsel konuları alıp bunlarla ilgili alegorik bir tarzda bilim kurgu merceğinden hikâyeler anlatmanın yollarını bulmak olan geleneksel bilimkurgu için de geçerlidir.

VONNEGUT

Shakespeare, seyircinin ağır şeylerden sıkıldığını fark edince, tekrar ciddi şeyler yazmaya başlamadan önce, üslubunu biraz yumuşatır ve bir palyaço, aptal bir hancı ya da onun gibi bir şeyleri de konu ederdi. Ve başka gezegenlere yapılan geziler, aslında şaka amaçlı bir bilimkurgu türüdür, olayları aydınlatmak için sık sık palyaçoları işin içine sokmakla eş değerdir.

Bu arkadaşımız Camus gibi daha didaktik bir yaklaşımın aksine, *Sisifos Efsanesi*'ndeki ana soruyu nasıl dile getirdiniz?

CAMUS

Gerçekten ciddi bir felsefi problem var, o da intihar.

VONNEGUT

Yani edebiyattan da çok komik şeyler var.

CARROLL

Bu da Eric'e sormam gereken bir soruyu gündeme getiriyor. Niçin *The Meaning of Life*- Hayatın Anlamı adlı şarkıyı Fransız aksanıyla söylüyorsun?

IDLE

Çünkü felsefenin de tıpkı şarapta olduğu gibi Fransızı daha iyidir.

CARROLL

Bu film Fransa'da nasıl karşılandı?

IDLE

1983'te [Cannes'da] Jüri Büyük Ödülü'nü kazandı.

CARROLL

Mizah, bilimkurgu, çizgi filmler, şarkılar. Belki bilim insanlarının bir noktaya parmak basmanın başka yolları olduğu konusunda hepinizden öğrenecekleri bir şeyler var mıdır?

MAHER

Kafeinsiz vişneli çikolatalı diyet kolaya düşkün bir kültürde, bilgileri eğlence ile birlikte sunmanız en iyisidir.

IDLE

Bilimle ilgili temel özellik, test edilebilir olmasıdır. Komedi seyirci üzerinde test edilir. Gülerlerse işe yaramış demektir.

CARROLL

Birçoğunuz bilimin çok güçlü destekçilerisiniz.

MACFARLANE

İnsan hakları hareketi gibi. İnanç yerine bilginin ilerlemesine yönelik sesini yükselten insanlar olmalı.

VONNEGUT

Bilimi seviyorum. Bütün hümanistler de öyledir.
Bir zamanlar Isaac Asimov için bir anma töreni yapmıştık ve bir yerinde "Isaac şimdi cennette" demiştim. Bu, bir Hümanist topluluğa

söyleyebileceğim en komik şeydi. Gülmekten kırıldılar. Ancak birkaç dakika sonra kendine gelebilmişti katılımcılar.

GERVAIS

Bilim gerçeği arar. Ve ayrımcılık yapmaz. İyi ya da kötü, her şeyi bulup çıkarır... Yeni gerçekler ortaya çıktığında bundan da rahatsız olmaz. Gelenek oldukları için Orta Çağ uygulamalarına tutunmaz. Tersini yapsalardı, penisilin aşısı olamayacaktınız, sülüklerden medet umup dua etmeye başlayacaktınız.

CARROLL

Öyleyse dua edecek birisi yoksa ve ölümden sonra yaşamın peşinde değilsek, hangi esaslara göre yaşamalıyız?

IZZARD

Bütün büyük dinlerde Altın Kural denen bir ilke vardır. Özeti "*Sana yapılmasını istemediğini, sen de başkasına yapma*"dır. Hepimiz bunu yapsaydık, tüm dünya hemen güzelleşmeye başlardı. Dua et, meditasyon yap, peki. Ama sadece Altın Kuralı takip edin, tüm dünya güzelleşir. Dünyanın güzelleşmesini sağlamak bu kadar da kolay olabilir.

GERVAIS

"Sana yapılmasını istemediğini..." iyi bir kuraldır. Affetmek muhtemelen var olan en büyük erdemdir. Ama bu tam bir erdemdir. Sadece Hıristiyanlığa mahsus bir erdem değil. İyi olmak hiç kimsenin tekelinde değildir.

MAHER

Elbette hiçbir ahlakbilimcinin Altın Kural'la bir sorunu yoktur, ancak bunun neden eski mitlere ve batıl inançlara bağlanması gerektiğini bilemiyoruz. Kendi başına muhteşemdir, "yanan çalıdan"[9] esinlenmesi gerekmez.

9 *Yanan Çalı;* Tanah'ta (Çıkış 2,23 - 4,18) aktarıldığına göre Sina Dağı'nda Musa'ya görünen ve ona İsrailoğullarını Mısır'dan çıkarma görevini veren bir çeşit teofanidir. (ç.n.)

GERVAIS

İşte maneviyatın gerçekten kaybettiği yer burası. İnsanları dövmek için bir sopa haline geldiğinde problem olmaya başlar. Bunu yap yoksa cehennemde yanacaksın.

Cehennemde yanmayacaksın ama sen yine de iyi olmaya çalış.

CARROLL

Peki anlamlı, mutlu bir hayat yaşamak için zamanımızı nasıl geçirmeliyiz?

VONNEGUT

Sadece vakit geçirmek için buradayız ve kimsenin size farklı bir şey söylemesine de izin vermeyin.

CAMUS

Belki de öyledir. Ancak yapabileceklerimiz arasında, yaratma eylemi en önemlisidir. Yaratmak hem mutluluğun anahtarı hem de geleceğe bırakılan bir armağandır.

GERVAIS

Evet! Daha önce dünyada mevcut olmayan bir şeyi yapmalısınız. Bunun ne olduğu önemli değil. Bir masa, bir film ya da bahçe işi herkes yaratmalı. Bir şeyler yapmalı, sonra arkana yaslanıp "Bunu ben yaptım." demelisin.

MONOD

Hem bir şeyler hem de fikirler yaratmalıyız. Bilimin rolü hakkında temel bir yanılgı vardır: Bilimin amacı teknoloji yaratmaktır, teknoloji ve uygulamalar yan ürünleridir. Bilimin en önemli sonuçları kendimize bakışımızı, varlığımızın anlamını değiştirmek olmuştur.

GERVAIS

Kendimize hep sorar dururuz, neden buradayız? Eh, tesadüfen buradayız, seçemezdik. Özel değiliz, sadece şanslıyız ve bu bir tatil.

14 buçuk milyar yıldır yoktuk. Şanslıysak 80 ya da 90 yılımız var ve bir daha asla var olmayacağız. Bu yüzden bundan en iyi şekilde yararlanmalıyız.

CARROLL

Ve sanırım hepiniz bundan en iyi şekilde nasıl yararlanacağınızı söylediniz. Doğruyu söyleyin, başkalarına iyi davranın, yaratın ve Tanrı aşkına, hep gülmeye çalışın. Bunun için ve tüm yaratımlarınız için teşekkür ederiz.

TEŞEKKÜR

Merhum ve gerçekten büyük Tom Petty'nin söylediği gibi, "Kaybedenler bile bazen şanslıdır." Bazen ne kadar şanslı olduğuma ben bile inanamıyorum. Çok kişiye çok fazla teşekkür borcum var.

Her şey aile ile başlar. Bana düzgün bir kromozom seti ve üç harika, her zaman cesaret verici kardeş, Jim, Nan ve Pete'i veren annem ve babam. Ve dört harika oğlum; Will, Patrick, Chris ve Josh sayesinde... Şimdi hepsi yetişkin olan ve her biri kitabın taslağını gözden geçirip harika katkılar veren dört muhteşem oğluma - Will, Patrick, Chris ve Josh'a - teşekkürler.. Ve karım Jamie'ye sonsuz teşekkürler. –Petty, seni bulduğumda, şanslı bebeğimi bulduğumu söylerdi hep– Bu beşinci kitabımız üzerinde birlikte çalışabildiğim için çok şanslı olduğum Dr. Megan McGlone'a çok teşekkürler. Hikâyeyle ilgili geri bildirimleri, kaynakça ve notları derleyip bir araya getirdiği, sanat tasarımı tarafını koordine ettiği ve izinleri aldığı, el yazmasını hazırladığı ve en önemlisi proje boyunca mizahını koruduğu için teşekkürler. Ve doktora için tebrikler!

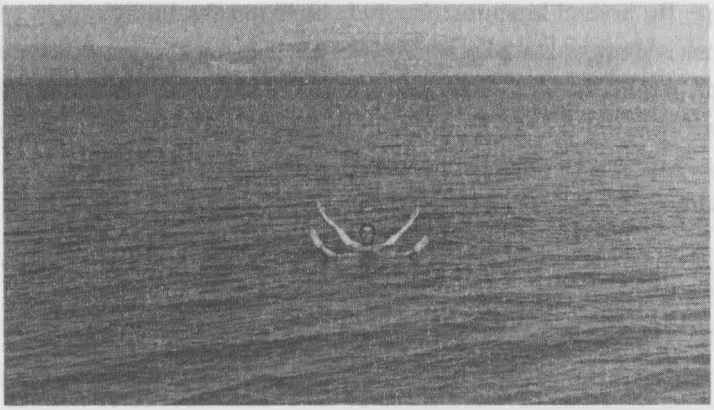
Konuşmayla ilgili sorularıma zaman ayırdığı için Eric Idle'a ve bizimle iletişime geçtiği için Alana Gospodnetich'e özel teşekkürler; katkılarından dolayı Eddie Izzard'a ve bizimle iletişime geçmemizi sağladığı için Max Burgos'a; katkısı için Seth MacFarlane'e ve bize yardım ettiği için Joy Fehily'ye; babasının geçmişi konusundaki katkıları nedeniyle Nanette Vonnegut'a. Zekâları ve bilgelikleri

için Sarah Silverman, Bill Maher ve Ricky Gervais'e de teşekkürler. Umarım sözlerinin bu amaçla kullanıldığı için bir şikayetleri yoktur.

El yazısı taslağını dikkatle inceleyen ve ayrıntılı geri geri bildirimlerde bulunan meslektaşlarım Eric Haag, Antonis Rokas, David Elisco ve Laura Bonetta'ya; dikkatli ve yapıcı yorumları için iki anonim yorumcuya teşekkür ederim. İnsan paleontolojisine dair ipuçları için Dr. Caitlin Schrein'e ve DNA konusundaki "kuantum fibrilasyonu"yla ilgili bulgularına ilişkin sorularımı yanıtlayan Dr. Hashim Al-Hashimi'ye de teşekkür ederim.

Princeton University Press'ten, en başından beri kitabı memnuniyetle karşılayan ve onu geliştirmenin birçok yolunu nazikçe öneren editörüm Alison Kalett'e özel teşekkürler. Ajanım Russ Galen'e de bu projeyi memnuniyetle karşıladığı coşku ve on beş yıllık bilgece tavsiyeleri için teşekkür ederim.

Son olarak, hiç tanışma fırsatı bulamadığım, ancak *Rastlantı ve Zorunluluk*'un kırk yılı aşkın bir süre önce ilk okumasından bu yana bir referans noktası olan Jacques Monod'a (1910-1976) teşekkürler. Bilim insanlarını bir yana bırakın, çok az insan daha dolu bir hayat ya da daha net bir amaçla dolu olarak yaşamıştır.



Jacques Monod Kızıldeniz'de. Fotoğraf, Pasteur Enstitüsü Arşivleri'nin izni ve Olivier ve Philippe Monod'un onayıyla kullanılmıştır.

NOTLAR

SAYFA

7 **İster yaşayan, ister ölü:** Vonnegut (1998), s. xi.

GİRİŞ

SAYFA

11 **Kalabalık dakikalarca tezahürat:** "Tiger Woods' First Ace in 1996." *PGA TOUR*. Video. www.pgatour.com/video/2014/01/21/tiger_s-first-ace.html

11 **Yoldaş General Kim:** Gallo, DJ. "Kim Jong-Il Was a Dictator Who Went To Great Links." *ESPN*. 19 Dec 2011. www.espn.com/espn/page2/index/_/id/7369649; Girard, Daniel. "Kim Jong-Il Once Carded 38-under Par at Pyongyang Golf Course." *The Star*. 19 Aralık 2011. Toronto Star News- papers Ltd. www.thestar.com/sports/golf/2011/12/19/kim_jongil_once_ carded_38under_par_at_pyongyang_golf_course.html.

12 **Burada iki olası durum var:** Read more about the real story here—Sens, Josh. "Behind Kim Jong Il's Famous Round of Golf." *GOLF.com*. 1 Haziran 2016. EB Golf Media LLC. www.golf.com/golf--plus/behind-kim-jong-ils-famous-round-golf

12 **Ancak amatör bir:** "Hole In One Odds: Golf 's Rare Feat." *US Hole In One*. 22 Temmuz 2008. www.holeinoneinsurance.com/news/2008/07/hole-in-one-odds-golfs-rare-feat.html

12 **Jong-Il'in beş asını:** "Pyongyang Golf Course Scorecard & Course Layout." *Asian Senior Masters*. 1 Oct 2005. Asian Seniors Tour. www.asianseniormasters.com/newsdetails1.asp?NewsID=1076

12 **Ve söylendiği gibi, gerçekten:** "Kim Jong Il: 10 Weird Facts, Propaganda." *CBS News*. 19 Aralık 2011. CBS Interactive. www.cbsnews.com/media/kim-jong-il-10-weird-facts-propaganda/5/

13 **Akın akın kumarhanelere:** Prince, Todd. "Number of Young, First-Time Visi- tors to Las Vegas on the Rise." *Las Vegas Review-Journal.* 5 Nisan 2017. www.reviewjournal.com/business/tourism/number-of-young-first-time-visitors-to-las-vegas-on-the-rise/

13 **Kumarhaneler; piramitleri, gondol:** Katsilometes, John. "Reports: Britney Spears to Make $500K Per Show in Las Vegas." 2 Temmuz 2018. *Las Vegas Review-Journal.* www.reviewjournal.com/entertainment/entertainment-columns/kats/reports-britney-spears-to-make-500k-per-show-in-las-vegas/

14 **Ve kumarhane böylece:** Huff and Geis (1959), s. 28–29.

14 **Sonunda, neredeyse iki yıldan:** Arie, Sophie. "No 53 Puts Italy Out of its Lottery Agony." *The Guardian.* 10 Şubat 2005. Guardian News and Media Limited. www.theguardian.com/world/2005/feb/11/italy.sophiearie.

15 **"Yakın" diyorum çünkü:** Grech (2002). Ayrıca, çocuklarının tümü erkek olan ebeveynlerin, kız evlat için değil, başka bir erkek çocuk sahibi olma eğiliminde olduklarına dair bazı kanıtlar vardır: Rodgers and Daughty (2001).

15 **Ayrıca, büyük ikramiyeyi:** Croson ve Sundali (2005); Clark ve ark. (2009).

16 **Sanırım karım, çocuklara:** Bleier, Evan. "California Man Wins $650K in Lottery Day After Wife Dies from Heart Attack." *United Press International.* 31 Mart 2014. www.upi.com/Odd_News/2014/03/31/California-man-wins-650K-in-lottery-day-after-wife-dies-from-heart-attack/4731396267665/

16 **"her şeyin bir nedeni":** "Winner Stories: Timothy McDaniel." *calottery.* California State Lottery. www.calottery.com/win/winner%20stories/timothy-mcdaniel

17 **Örneğin, James Watson:** Carroll (2013), s. 332.

17 **"Bilimin en önemli sonucu":** J. Monod, Paris'te Gerald Leach'le röportaj, 3 Ocak 1967, BBC yayını, 1 Şubat 1967, jonuşma metni MON. Bio 09, Fonds Monod, SAIP, s. 11.

17 **"Yaşamın sırrı":** Monod (1971), s. xii.

18 **"Bu olaylara rastlantısal":** Monod (1971), s. 112.

18 **"Evrimin harikulade yapısının":** Monod (1971), s. 112–113.

18 **"İnsan, hesaplanamaz sayıda":** Monod (1969).

19 ***Rastlantıya Karşı: Monod'un:*** Schoffeniels (1976).

19 ***Rastlantının ve Zorunluluğun Ötesi:*** Lewis (1974).

19 ***Tanrı, Rastlantı ve Zorunluluk:*** Ward (1996).

19 **"Tanrı'nın yerini alması için":** Sproul (1994), s. 3.

19 **"Şansın gerçek bir güç":** Sproul (1994), s. 214.

19 **Anketler, örneğin Amerikalıların:** Pew Research Center. "When Americans Say They Believe in God, What Do They Mean?" *Pew Research Center*. 25 Nisan 2018. www.pewforum.org/2018/04/25/when-americans-say-they-believe-in-god-what-do-they-mean/

BÖLÜM 1

SAYFA

25 **"Sürüngenler Çağı":** Cuppy (1941), s. 104.

26 **Çok geçmeden:** McLaughlin, Katie. "MacFarlane: Angry Jon Stew- art Call An 'Odd Hollywood Moment.'" *Piers Morgan Tonight*. 6 Ekim 2011. Video. CNN Entertainment. www.cnn.com/2011/SHOWBIZ/10/05/seth.macfarlane.pmt/index.htm.

26 **Ardından da Los Angeles'a:** Weidinger, Patrick. "10 Famous People Who Avoided Death on 9/11." *Listverse*. 12 Aralık 2011. listverse.com/2011/12/12/10-famous-people-who-avoided-death-on-911/

26 **"Alkol bizim dostumuz":** McLaughlin, Katie. "MacFarlane: Angry Jon Stewart Call An 'Odd Hollywood Moment.'" *Piers Morgan Tonight*. 6 Ekim 2011. Video. CNN Entertainment. www.cnn.com/2011/SHOWBIZ/10/05/seth.macfarlane.pmt/index.htm.

28 **Alvarez, okyanusta kısa sürede:** Alvarez (1997).

29 **Alvarez, Smit ve arkadaşlarının:** Alvarez ve ark. (1980); Smit ve Hertogen (1980).

31 **Asteroidin yaklaşık 10:** Alvarez ve ark. (1980).

32 **Örneğin, Haiti'de büyük:** Smit (1999).

32 **Sonunda, 1991'de:** Hildebrand (1991).

32 **Çarpışmanın büyüklüğü:** Schulte ve ark. (2010).

33 **Bu çok sıcak yağış:** Robertson ve ark. (2013).

34 **Karadaki sıcaklıklar:** Artemieva ve ark. (2017); Brugger ve ark. (2017); Gulick ve ark. (2019).

34 **Karbonat zengini:** Henehan ve ark. (2019).

34 **Zarar gören kurbanların:** Robertson ve ark. (2013).

34 **Önemli hayvan kayıtlarından:** Vajda ve Bercovici (2014).

35 **Asteroit çarpışmasından önce:** Field ve ark. (2018).

35 **Benzer şekilde, Orta Kretase'de :** Rehan ve ark. (2013).

35 **Şimdi, küçük foraminiferlerin:** Gallala ve ark. (2009).

36 **Timsahlar ve kaplumbağalar:** Robertson ve ark. (2004).

36 **Bir grup olarak yılanlar:** Longrich ve ark. (2016).
37 **Bugüne kadar toplanan fosil:** Field ve ark. (2018).
37 **Kuşların bu evrim "ağacı":** Jarvis ve ark. (2014).
37 **Kurbağaların geçmişi 200 milyon:** Feng ve ark. (2017).
37 **Hem fosil hem de DNA:** O'Leary ve ark. (2013).
38 **Çok sayıda tür olduğu:** Longrich ve ark. (2016).
38 **Üçüncüsü, dinozorların:** Lyson ve ark. (2019).
40 **Ancak, son 500 milyon yılda:** Mazrouei ve ark. (2019).
40 **Yucatan hedef bölgesinin:** Schulte ve ark. (2010).
40 **Jeologlar, dünya yüzeyinin:** Kaiho and Oshima (2017).

BÖLÜM 2

SAYFA

43 **Jack Blackburn:** Casey, Mike. "Joe Grim: How to Take It and Then Some." *Boxing.com.* 3 Eylül 2013. www.boxing.com/joe_grim_how_to_take_it_ and_then_some.html
43 **"Ben Joe Grim":** "Grim Stays the Limit with Fitz." *St. John Daily Sun.* 24 Ekim 1903. Erişilen sayfa: news.google.com/newspapers?nid=37&dat=19031024&id=HwAIAAAAIBAJ&sjid=9zUDAAAAIBAJ&pg=2275,1041090
43 **"sakince ayağa kalkıp agresif":** "Grim Stays the Limit with Fitz." *St. John Daily Sun.* 24 Ekim 1903. Erişilen sayfa: news.google.com/newspapers?nid=37&dat=19031024&id=HwAIAAAAIBAJ&sjid=9zUDAAAAIBAJ&pg=2275,1041090
43 **Hakem yedi kez dokuza:** "Joe Grim Issues Defi to Jeffries." *Deseret News.* 2 Kasım 1903. Erişilen sayfa: news.google.com/newspapers?nid=Aul-kAQHnToC&dat=19031102&printsec=frontpage&hl=en
43 **Fitzsimmons, maçta on yedi:** "Grim Stays the Limit with Fitz." *St. John Daily Sun.* 24 Oct 1903. Erişilen sayfa: news.google.com/newspapers?nid=37&dat=19031024&id=HwAIAAAAIBAJ&sjid=9zUDAAAAIBAJ&pg=2275,1041090; Casey, Mike. "Joe Grim: How to Take It and Then Some." *Boxing.com.* 3 Ekim 2013.
44 **"Artık ben, insanın et ve":** Ehrmann, Pete. "'Iron Man' Joe Grim Found Fame with a Thick Skull." *OnMilwaukee.com.* 7 Ocak 2013. onmilwaukee.com/sports/articles/joegrim.html.
44 **"Canlı Kum Torbası":** Ehrmann, Pete. "'Iron Man' Joe Grim Found Fame with a Thick Skull." *OnMilwaukee.com.* 7 Ocak 2013. onmilwaukee.com/ history/articles/joegrim.html.
45 **Fakat Colorado'da yeni keşfedilen:** Lyson ve ark. (2019).
46 **Buna karşılık, Eosen-Oligosen geçişi:** Blois and Hadly (2009).

46 **Pliyosen'in sonuyla birlikte:** Pimiento ve ark. (2017).

46 **Ve sadece 11.700:** Koch and Barnosky (2006).

47 **Dolayısıyla, bu değişikliklerin:** Kennett and Stott (1991).

47 **İklim kayıtları:** see Figure 1; McInerney and Wing (2011).

48 **Birbiri ardına gelen üç çağ:** Hren ve ark. (2013).

48 **3°C'lik kademeli soğuma:** Filippelli and Flores (2009).

48 **birkaç santigrat derece çok keskin:** Alley (2000).

49 **Önemli bir küresel etkiye:** Mazrouei ve ark. (2019).

49 **Bu büyüklükteki çarpmalar:** Hughes (2003).

49 **Derin bir okyanus havzasında:** Goff ve ark. (2012).

50 **Mevcut dünya haritası:** Scotese, Christopher R. *PALEOMAP Project.* www.scotese.com

50 **Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığı:** Anagnostou ve ark. (2016).

50 **tropik ormanlar Dünya tarihindeki:** Hansen and Sato (2012); Wing ve ark. (2005).

51 **Ancak geç Eosen'de:** Carter ve ark. (2017).

51 **Karbondioksit için:** Lacis ve ark. (2010).

51 **CO_2 seviyeleri, ılık erken:** Anagnostou ve ark. (2016).

52 **Tektonik kuvvetler, levhayı:** Bouilhol ve ark. (2013).

52 **Hindistan tektonik levhasının:** Kumar ve ark. (2007).

52 **Öncü jeokimyacı Wally Broecker:** Broecker (2015).

52 **Levha, yaklaşık 140 milyon:** Kumar ve ark. (2007).

56 **Katalizör(ler) ne olursa olsun:** Martínez-Botí ve ark. (2015).

57 **Geçtiğimiz 800.000 yılda:** Barker ve ark. (2011); Snyder (2016).

57 **Son 100.000 yılda yirmi beş:** Weart (2003); Greenland Ice-Core Project (GRIP) Members (1993); Alley ve ark. (1993); Mayewski ve ark. (1993).

59 **ardından, 1200 yıl sonra:** Alley (2000); Fiedel (2011).

60 **İklim değişikliği olayları arasındaki:** Ditlevsen ve ark. (2007); Lohmann and Ditlevsen (2018).

60 **"Paleoiklim kayıtları bize":** Broecker (1995).

61 **Son buzul çağının sona ermesinden itibaren:** Tierney ve ark. (2017).

61 **"Sahayı gördüğümde gözlerime":** Leakey (1974), s. 159–160.

62 **Buradaki çökeltiler:** Potts ve ark. (2018); Behrensmeyer ve ark. (2018).

62 **en az on altı büyük:** "Olorgesailie, Kenya." *East African Research Projects: Human Evolution Research.* Smithsonian Institution. humanorigins.si.edu/research/olorgesailie-kenya

62 **Bu türlerin yerini:** Potts ve ark. (2018).

63 **Aynı 200.000 yıllık aralıkta:** Brooks ve ark. (2018).

64 **Hominidler, 800.000:** Potts (2013); Gowlett (2016).

BÖLÜM 3

SAYFA

71 **"Ey emriyle rüzgârların estiği,":** "1789 U.S. Book of Common Prayer." *Online An glican Resources at Justus.anglican.org.* justus.anglican.org/resources/bcp/1789/Prayer_at_Sea_1789.htm.

72 **Ayrıca dua etmeleri gereken:** "Royal Navy Loss List Searchable Database." *Maritime Archaeology Sea Trust.* 4 Şubat 2018. www.thisismast.org/research/royal-navy-loss-list-search.html.

72 **"Hiçbir şey etrafımızdaki manzaradan":** King (1839), s. 179.

73 **"şevk ve girişimcilik dolu":** Francis Beaufort'tan Robert FitzRoy'a Mektup, 1 Eylül 1831, Darwin Correspondence Project, "Letter no. 113," erişim tarihi 25 Mart 2019, www.darwinproject.ac.uk/DCP-LETT-113.

73 **"Ancak bunu yaşayanlar":** Darwin (2001), s. 132.

73 **"Beagle gemisinde bir sürü":** Charles Darwin'den Emily Catherine Langton'a Mektup, 8 Kasım 1834, Darwin Correspondence Project, "Letter no. 262," erişim tarihi 25 Mart 2019, www.darwinproject.ac.uk/DCP-LETT-262.

74 **"Başınıza herhangi bir talihsiz":** King (1839), s. 23.

74 **Gördüğü şeyler, canlıların:** Desmond ve Moore (1991), s. 129.

76 **Alacakaranlıkta Mavi Dağlar:** Darwin (2001), s. 402.

77 **"gizemler gizemi":** Letter, John Herschel to Charles Lyell, 20 Şubat 1836, W. H. Cannon'dan (1961) alıntıdır.

77 **"en unutulmaz olay":** Darwin (2001), s. 427.

77 **"Bu açıklamalar için en ufak":** Barlow (1963), s. 262.

78 **Darwin, Galapagos'a ait:** Sulloway (1982), s. 192, s. 359.

78 **"Elli-altmış mil arayla":** Darwin (1845), s. 394.

80 **"Kafasında bir başka şimşek":** Darwin (1887), s. 83.

80 **Darwin'in bu kadar uzun süre:** Van Whye (2007).

80 **"Türlerin ne olduğuyla ilgili":** Charles Darwin'den Joseph Dalton Hooker'a Mektup, 11 Ocak 1844, Darwin Correspondence Project, "Letter no. 729," erişim tarihi 3 Nisan 2019, www.darwinproject.ac.uk/DCP-LETT-729.

81 **"İki ya da üç yıl içinde":** Charles Darwin'den William Darwin Fox'a Mektup, 19 Mart 1855, Darwin Correspondence Project, "Letter no. 1651," erişim tarihi 3 Nisan 2019, www.darwinproject.ac.uk/DCP-LETT-1651.

83 **Kendi güvercinleri:** Secord (1981), s. 166.

83 **"Size güvercinlerimi göstereyim":** Charles Darwin'den Charles Lyell'e Mektup, 4 Kasım 1855, Darwin Correspondence Project, "Letter no. 1772," erişim tarihi 3 Nisan 2019, www.darwinproject.ac.uk/DCP-LETT-1772.

83 **Yetiştiriciler, büyüklük veya şekillerde:** Secord (1981), s. 174.

83 **Bu iki sonuç Darwin'e:** Darwin (1859), s. 25–26.

83 **"Şimdiye kadar... türlerin":** Darwin (1887), s. 87.

83 **"Bu doğa bilimcilere":** Darwin (1859), s. 29.

83 **"Ateist bir anlayışla yazmak":** Charles Darwin'den Asa Gray'e Mektup, 22 Mayıs 1860, Darwin Correspondence Project, "Letter no. 2814," erişim tarihi 30 Nisan 2019, www.darwinproject.ac.uk/DCP-LETT-2814.

85 **"en büyük güç":** Darwin (1868), s. 248.

85 **"yapının sonsuz çeşitliliği":** Darwin (1862), s. 349.

86 **"Bay Bateman'dan, nektar organı":** Charles Darwin'den Joseph Dalton Hooker'a Mektup, 25 Ocak 1862, Darwin Correspondence Project, "Letter no. 3411," erişim tarihi 30 Nisan 2019, www.darwinproject.ac.uk/DCP-LETT-3411.

86 **Darwin, güzel ve ender bulunan:** Arditti ve ark. (2012).

86 **"Güvenin onu emebilen bir gövdesi":** Charles Darwin'den Joseph Dalton Hooker'a Mektup, 30 Ocak 1862, Darwin Correspondence Project, "Letter no. 3421," erişim tarihi 30 Nisan 2019, www.darwinproject.ac.uk/DCP-LETT-3421.

86 **"Madagaskar'da yirmi altı":** Darwin (1862), s. 188.

86 **Orkide ve "varsayıma dayalı":** Darwin (1862), s. 202–203; Arditti ve ark. (2012), s.425–427.

87 **Tahmininden kırk bir yıl:** Arditti ve ark. (2012).

87 **Bir yüzyıldan fazla bir süre:** Alexandersson ve Johnson (2002).

87 **Kılıç gagalı sinekkuşu:** Muchhala ve Thomson (2009)'dan alıntıdır.

87 **nektar yarasası:** Muchhala (2006).

88 **Darwin, ne kendisinin:** Darwin (1859), s. 131, s. 198.

88 **Bununla birlikte, Türlerin Kökeni**: Darwin'in varyasyonların doğasına ilişkin anlayışı konusunda geniş tartışmalar için bkz. C. Johnson (2015) ve J. Beatty (2006).

89 **"İnsana açıkça yararlı,":** Darwin (1859), s. 41.

89 **"Belirli bir süre içinde":** Darwin (1859), s. 177.

89 **"...hiçbir neden göremiyorum":** Darwin (1859), s. 94.

89 **"Bitkilerde olduğu gibi hayvanlarda":** Darwin (1859), s. 242.

89 **"Asa Gray ve diğerleri":** Charles Darwin'den Frances Julia (Snow) Wedgwood'a Mektup, 11 Temmuz 1861, Darwin Correspondence Project, "Letter no. 3206," erişim tarihi 7 Nisan 2019, www.darwinproject.ac.uk/DCP-LETT-3206.

BÖLÜM 4

SAYFA

93 **Benzer şekilde, Kraliçe Victoria:** "The Queen's Visit to the Britannia Tubular Bridge." *The Victorian Web*. 7 Ekim 2017. www.victorianweb.org/history/victoria/16.html

93 **Post, gazeteyi toplattırdı:** Rabbe, Will. "The Washington Post's Famous 1915 Typo." *MSNBC*. 6 Ağustos 2013. www.msnbc.com/hardball/the-washington-posts-famous-1915-typo

94 **Dinen uygunsuz:** Brown, DeNeen L. "The Bible Museum's 'Wicked Bible': Thou Shalt Commit Adultery." *Washington Post*. 18 Kasım 2017. www.washingtonpost.com/news/retropolis/wp/2017/11/17/the-new-bible-museums-wicked-bible-thou-shalt-commit-adultery/?utm_term=.f1e9f851f41f: Bu olayda, dizgi hatalarının çift olmasında bir kasıt aranmıştı. Dine yapılan bu saygısızlık, rakip matbaanın bir sabotajı da olabilir.

94 **Orijinal metin**: Wain ve ark. (2007).

96 **Genç bakteriyologlar Esther ve**: Lederberg and Lederberg (1952).

99 **Watson ve Crick:** Watson ve Crick (1953a).

99 **Watson, bunun üzerine Paris'e:** Carroll (2013), s. 332.

101 ***E. coli*, etrafında yaklaşık:** Blattner ve ark. (1997).

101 **Karşılaştırma yapabilmek için:** "Average Typing Speed Infographic." *Ratatype*. www.ra- tatype.com/learn/average-typing-speed/

102 **DNA polimerazlarla ilgili ayrıntılı:** Fijalkowska ve ark. (2012).

102 **Değer aralığı:** Roach ve ark. (2010); Conrad ve ark. (2011).

103 **Stephen Quake:** Wang ve ark. (2012).

103 **Bu tür çalışmalar:** bkz örneğin. Zhu ve ark. (2014). Tüm olası baz yer değiştirmelerinin sıklığının eşit olmadığına dikkat edin; benzer boyut ve şekildeki bazların (örneğin A'dan G'ye, C'den T'ye) değiştirilmesi, farklı boyuttaki bazlarda oluşan (örneğin A'dan C'ye, G'den T'ye) değişikliklerden daha sıktır.

104 **"kendiliğinden mutasyonun, bazen":** Watson ve Crick (1953b), s. 966.

106 **DNA kopyalama sırasında:** Watson ve Crick (1953c). Dikkatinizi çekerim, Monod bu önerinin farkındaydı (Monod, 1971, s. 192), ancak bunu destekleyecek hiçbir ampirik kanıt mevcut değildi.

106 **Ancak biyokimyacılar o kısacık süreyi:** Bebenek ve ark. (2011); Wang ve ark. (2011); Kimsey ve ark. (2015); Kimsey ve ark. (2018).

BÖLÜM 5

SAYFA

107 **"Tüm mucitlerin en büyüğü":** Twain (1935), s. 374.

107 **Yasa, Tennessee eyalet mahkemesinde:** "Tennessee Evolution Statutes." Chapter 27, House Bill No. 185 (1925); Chapter 237, House Bill No. 48 (1967). *Famous Trials in American History: Tennessee vs. John Scopes The "Monkey Trial."* law2. umkc.edu/faculty/Projects/FTrials/scopes/TENNSTAT.HTM.

108 **ancak bu süreç:** Rossiianov (2002).

108 **"materyalizm ... için son derece önemli":** Rossiianov (2002), s. 286.

108 **"evrim doktrinini desteklemeyi":** "Soviet Backs Plan to Test Evolution." *New York Times.* 17 Haziran 1926.

109 **"olağanüstü bilimsel, ama":** Rossiianov (2002), s. 302.

109 **İvanov olayı:** Etkind (2008).

110 **Biyolojideki en büyük:** Nei (2013).

110 **"...bir sınırını göremiyorum":** Darwin (1859), s. 109.

110 **"tek başına rastlantı olduğunu":** Monod (1971), s. 112.

114 **Güvercin genomu:** Shapiro ve ark. (2013).

114 **Yine de, Utah Üniversitesi'nden:** Shapiro ve ark. (2013).

118 **İlginç bir şekilde, Shapiro:** Vikrey ve ark. (2015).

118 **Mamutların muhteşem fosil kayıtları:** Campbell ve ark. (2010).

120 **Belki de en ünlüsü**: Hawkes ve ark. (2011). Song ve ark. (2005).

120 **Benzer şekilde, And kazı**: Jessen ve ark. (1991).

120 **Bunların ve diğer çeşitli**: Storz (2016).

120 **Bu kuşlarda**: see Zhu ve ark. (2018).

122 **Antifriz proteininin, diğer balıklarda**: Baardsnes and Davies (2001).

122 **Bu dedektiflik çalışması**: Deng ve ark. (2010).

122 **Örneğin, bir mutasyon**: Nei (2013).

127 **Örneğin, yünlü mamut**: Huang ve ark. (2019).

129 **Bu durum, soylarımızın ayrılmasından**: Varki ve Altheide (2005).

129 **Memeliler ve kuşlar gibi**: Hedges ve ark. (2015); Marin ve ark. (2018).

130 **"soyların ayrılması"**: Hedges ve ark. (2015).

130 **KKKYMMKHL şeklindeki bir protein**: Wain ve ark. (2007).

130 **İkinci dizilimdeki bir değişiklik (M⊠R)**: Wain ve ark. (2007).

131 **HIV-1'in daha az bilinen**: Sharp ve Hahn (2011).

131 **2002-2004 arası ... şiddetli akut solunum sendromu salgınının ve 2012'den itibaren birden çok kez patlak veren ... Orta Doğu Solunum Sendromu**:Mohd, Tawfiq, ve Memish (2016).

131 **Gerçekten de, çiçek hastalığı:** Babkin ve Babkina (2015).

131 **ve kızamık:** Furuse, Suzuki, ve Oshitani (2010).

132 **SARS-CoV-2 korona virüsü:** Andersen ve ark. (2020); Zhang ve ark. (2020).

BÖLÜM 6

SAYFA

137 **Ancak Kentucky, Middlesboro'daki Jamie Coots**: Tribell, William S. "Last Film Footage of Pastor Jamie Coots." 23 Mart 2014. Video. www.youtube.com/watch?v=5f4NyYqHXa8

138 **"Bana göre Tanrı, bana böyle olmayı öğretti":** Wilking, Spencer and Lauren Effron. "Snake- Handling Pentecostal Pastor Dies From Snake Bite." *ABCNews*. 17 Şubat 2014. abcnews.go.com/US/snake-handling-pentecostal-pastor-dies-snake-bite/story?id=22551754

139 **"Hayatımda hissettiğim en büyük acıydı":** Chang, Juju ve Spencer Wilking. "Pentecostal Pas- tors Argue 'Snake Handling' Is Their Religious Right." *ABCNews*. 21 Kasım 2013. abcnews.go.com/US/pentecostal-pastors-argue-snake-handling-religious/story?id=20971576

139 **"Bu bir iç huzur...":** Chang, Juju and Spencer Wilking. "Pentecostal Pastors Argue 'Snake Handling' Is Their Religious Right." *ABCNews*. 21 Kasım. 2013 abcnews.go.com/US/pentecostal-pastors-argue-snake-handling-religious/story?id=20971576.

139 **Sadece üç ay sonra:** Wilking, Spencer ve Lauren Effron. "Snake- Handling Pentecostal Pastor Dies From Snake Bite." *ABCNews*. 17 Feb 2014. abcnews.go.com/US/snake-handling-pentecostal-pastor-dies-snake-bite/story?id=22551754

139 **üç Pentekostal yılan-tutucusundan ikincisi:** Duin, Julia. "Serpent-Handling Pastor Profiled Earlier in Washington Post Dies from Rat-tlesnake Bite." *Washington Post*. 29 Mayıs 2012. www.washingtonpost.com/lifestyle/style/serpent-handling-pastor-profiled-earlier-in-washington-post-dies-from-rattlesnake-bite/2012/05/29/gJQAJef5zU_story.html?utm_term=.a321063ededb; "Kentucky Man Dies from Snake Bite at Church Service." *CBS News*. 28 Temmuz 2015.cbsnews.com/news/kentucky-man-dies-from-snake-bite-at-church-service/

139 **Hastane kayıtları incelendiğinde:** Pauly, Greg. "Misplaced Fears: Rattlesnakes Are Not as Dangerous as Ladders, Trees, Dogs, or Large TVs." *Natural History Museum of Los Angeles County*. nhm.org/stories/misplaced-fears-rattlesnakes-are-not-dangerous-ladders-trees-dogs-or-large-tvs

139 **Şimdi bunu, merdivenden veya iskeleden düşme:** "Facts + Statistics: Mortality Risk." *Insurance Infor- mation Institute*. www.iii.org/fact-statistic/facts-statistics-mortality-risk

144 **Bunların yaklaşık yüzde 20'si:** Walter ve ark. (1998).

144 **İzlandalılar ve çocukları üzerinde:** Jónsson ve ark. (2017).

144 **Örneğin, ... en az yüzde otuzunun:** Iossifov ve ark. (2014).

144 **Beş ülkede 5.7 milyondan fazla çocuk üzerinde:** Sandin ve ark. (2016).

145 **Büyük ölçüde trizomi:** Hardy ve Hardy (2015).

146 **Sonunda okula döner:** Green, Jesse. "The Man Who Was Immune to AIDS." 5 Haziran 2014. *New York Magazine*. nymag.com/health/bestdoctors/2014/steve-crohn-aids-2014–6/

146 **O yazın, daha sonrasında:** "Thirty Years of HIV/AIDS: Snapshots of an Epi- demic." *amfAR: The Foundation for AIDS Research*. amfar.org/thirty-years-of-hiv/aids-snapshots-of-an-epidemic/

147 **Ama çok sayıda arkadaşı ölürken:** Green, Jesse. "The Man Who Was Immune to AIDS." 5 June 2014. *New York Magazine*. nymag.com/health/bestdoctors/2014/steve-crohn-aids-2014–6/

147 **"CD4 hücrelerine bulaştıramadım":** Pincock (2013).

147 **Crohn'un DNA'sının dizilimi:** Liu ve ark. (1996).

148 **On yıl sonra:** Brown (2015).

148 **... dünya çapında kapsamlı araştırmalar :** Solloch ve ark. (2017).

148 **Delta32 mutasyonuna:** Hummel ve ark. (2005).

156 **insanların en az 10 milyar farklı antikor:** Glanville ve ark. (2009).

156 **Orada, zehiri nötralize etmek ve temizlemek:** Roberts, Joe. "Pastor almost killed by snake during sermon vows to keep handling snakes." *MetroUK*. 24 Ağustos 2018. metro.co.uk/2018/08/24/pastor-almost-killed-by-snake-during-sermon-vows-to-keep-handling-snakes-7878534/; Barcroft TV. "Pastor Fights For Life After Deadly Rattlesnake's Bite | MY LIFE INSIDE: THE SNAKE CHURCH." 23 Ağustos 2018. Video. www.youtube.com/watch?v=7ewdisyzk4k

156 **Orada, zehiri nötralize etmek ve temizlemek:** Yapımcı Thomas Midlane'e göre Coots panzehir aldı. Yazara gönderdiği 2 Ağustos 2019 tarihli e-postadan.

BÖLÜM 7

SAYFA

157 **"Alevler istasyonun içinde oradan oraya":** Burchard, Hank. "Lightning Strikes 4 Times." 2 May 1972. *The Ledger.* Vol 65, No 200. Lakeland, Florida. Page 3D.

158 **... kurbanların yaklaşık yüzde onu:** "Lightning Facts and Statistics." *Weather Imagery.* 18 Şubat 2007. www.weatherimagery.com/blog/lightning-facts/

158 **Üçüncüsü ise, sadece bir yıl sonra:** Burchard, Hank. "Lightning Strikes 4 Times." 2 Mayıs 1972. *The Ledger.* Vol 65, No 200. Lakeland, Florida. Page 3D.

158 **"paratoner insan":** "Most Lighting Strikes Survived." *Guinness World Records.* www.guinnessworldrecords.com/world-records/most-lightning-strikes-survived

158 **"Yıldırım adam" veya "Yıldırımsavar":** Dunkel, Tom. "Lightning Strikes: A Man Hit Seven Times." *The Washington Post.* 15 Ağustos 2013. www.washingtonpost.com/lifestyle/magazine/inside-the-life-of-the-man-known-as-the-spark-ranger/2013/08/15/947cf2d8-ea40-11e2-8f22-de4bd2a2bd39_story.html

158 **Ardından, Sullivan 1977'de:** Dunkel, Tom. "Lightning Strikes: A Man Hit Seven Times." *The Washington Post.* 15 Ağustos 2013. www.washingtonpost.com/lifestyle/magazine/inside-the-life-of-the-man-known-as-the-spark-ranger/2013/08/15/947cf2d8-ea40-11e2-8f22-de4bd2a2bd39_story. html

159 **Eğriler, kanser insidansının:** Nordling (1953).

159 **her beş kişiden ikisi:** "Cancer Statistics." *National Cancer Insti- tute.* National Institutes of Health. www.cancer.gov/about-cancer/understanding/statistics

160 **Ancak kanser, yaşın altıncı kuvvetiyle:** Nordling (1953); Armitage ve Doll (1954).

162 **Takip eden on yıllarda:** Nowell (1976).

163 **Onlarca yıllık araştırmalar:** Vogelstein ve ark. (2013).

165 **Ve tipik olarak, birden fazla:** Vogelstein ve ark. (2013).

167 **Her iki uçta da:** Govindan ve ark. (2012).

167 **Sigara dumanı, DNA'yı değiştiren:** DeMarini (2004).

167 **Plastik cerrahi hastalarının göz kapaklarında:** Martincorena ve ark. (2015).

168 **Mutasyonlar genom içinde rastgele:** Rastgele sözcüğünü yine geniş anlamda kullanıyorum; bazı mutasyon türleri diğerlerinden daha olasıdır/ daha sık görülür (bkz. Bölüm 4).

168 **... mutasyonlara sahip olduğu ortaya çıkmıştır:** Vogelstein ve ark. (2013).

169 **Örneğin, sigara içmek yaşam boyu:** Samet ve ark. (2009).

169 **"Halk sağlığı yetkilileri":** Vonnegut (1950), s. xv.

169 **Benzer şekilde, her yıl diğer:** Green ve ark. (2011); Watts ve ark. (2018).

170 **Bugün, otuzdan fazla kanser:** "Targeted Cancer Therapies." *National Cancer Institute.* National Institutes of Health. www.cancer.gov/about-cancer/treatment/types/targeted-therapies/targeted- therapies-fact-sheet

SON SÖZ

SAYFA

171 **"Kaplan avlanmalı":** Vonnegut, *Kedi Beşiği*, (2010), s. 182.

172 **"Bir ayrıntı olmasaydı, onun ölümü":** Vonnegut, *Slapstick*, (2010), s. 12–13.

172 **Beş vagonlu trenin iki vagonu:** Maggie Bartel ve Henry Lee. "New Jersey Train Plunges off a Bridge into Newark Bay Killing More than 40 in 1958." *Daily News.* 16 Sept 1958. *New York Daily News.* 15 Eylül 2015 www.nydailynews.com/news/national/tragic-train-accident-new-jersey-1958-article-1.2360153

172 **"Alice herhangi bir din eğitimi":** Vonnegut, Slapstick, (2010), s. 14.

173 **Rastlantıya dayalı dünyamız:** Jungersen (2013), s. 266.

174 **"Herkes artık hayatın anlamını kendi":** Vonnegut, *Sirens*, (2009), s. 1.

174 **"Küçük adam, Yüce Tanrı'ya":** Vonnegut, *Sirens*, (2009), s. 183.

174 **"Hepimiz gibi ben de":** Vonnegut, *Sirens*, (2009), s. 232.

RASTLANTI ÜZERİNE BİR SÖYLEŞİ

Orijinal ifadelerden yapılan alıntılar italik olarak verilmiştir. Yazarla doğrudan konuşmalar, italik ve altı çizilidir. Yazar tarafından düzenenen ve eklenen ifadeler ise kalın, düz metindir.

SAYFA

168 ***MacFARLANE Özellikle etkiledi diyemem:*** Rabin, Nathan. "Seth MacFarlane." *AV Club. 26* Ocak 2005. *The Onion.* tv.avclub.com/seth-macfarlane-1798208419.

168 ***SILVERMAN Hayatta olduğum için:*** Sarah Silverman. "Merhaba. Bunu hayatımdaki herkese anlatıyorum..." 6 Temmuz 2016. www.facebook.com/SarahSilverman/posts/hi-this-is-me-telling-everyone-in-my-life-at-once-why-i-havent-been-around-this-/1160269914023100/

168 ***SILVERMAN Bana hemen ilaç verdikleri için:*** Murfett, Andrew. "After a Near- Death Experience, Comedy Alleviates Sarah Silverman's PTSD Pain." *The Sydney Morning Herald.* 25 May 2017. www.smh.com.au/entertainment/tv-and-radio/after-a-neardeath-experience-comedy-alleviates-sarah-silvermans-pain-20170525-gwd4c0.html

168 ***SILVERMAN Niçin doktora gittiğimi hatırlamıyorum:*** Sarah Silverman. "Merhaba. Bunu hayatımdaki herkese anlatıyorum..." 6 Temmuz 2016. www.facebook.com/SarahSilverman/posts/hi-this-is-me-telling-everyone-in-my-life-at-once-why-i-havent-been-around-this-/1160269914023100/

168 ***SILVERMAN Boğazıma baktı ve şöyle dedi:*** Silverman, Sarah, yazar, performans sanatçısı. *A Speck of Dust.* Directed by Liam Lynch. Netflix Studios, Eleven Eleven O'Clock Productions, Jash Network, 2017.

168 ***SILVERMAN 5 gün sonra uyandığımda:*** Sarah Silverman. "Merhaba. Bunu hayatımdaki herkese anlatıyorum..." 6 Temmuz 2016. www.facebook.com/SarahSilverman/posts/hi-this-is-me-telling-everyone-in-my-life-at-once-why-i-havent-been-around-this-/1160269914023100/

169 ***SILVERMAN İlk iki günü, evde:*** Sarah Silverman. "Merhaba. Bunu hayatımdaki herkese anlatıyorum... 6 Temmuz 2016. www.facebook.com/SarahSilverman/posts/hi-this-is-me-telling-everyone-in-my-life-at-once-why-i-havent-been-around-this-/1160269914023100/-once-why-i-havent-been-around-this-/1160269914023100/

169 ***SILVERMAN Tüm bunlar belki beni biraz:*** Murfett, Andrew. "After a Near-Death Experience, Comedy Alleviates Sarah Silverman's PTSD Pain." *The Sydney Morning Herald.* 25 Mayıs 2017. www.smh.com.au/entertainment/tv-and-radio/after-a-neardeath-experience-comedy-alleviates-sarah-silvermans-pain-20170525-gwd4c0.html

169 **MONOD Ben de minnettarım:** Carroll'a (2013)dayanarak, s. 36–37.

169 **CAMUS Ee, evet. Epeyce tehlikeliydi.**

169 **CAMUS Hiç yakalanmadım:** Carroll'a (2013)dayanarak, s. 220.

170 **MONOD Gestapo Paris'te her yerdeydi:** Based on interview with Olivier Monod'la yapılan röportajdan alıntı, Paris, 17 Ağustos 2010; Carroll (2013), s. 208–209.

170 **VONNEGUT Ben yakalandım.**

170 ***VONNEGUT I. Dünya Savaşı'ndaki bir siper kadar:*** Hayman ve ark. (1977).

170 **VONNEGUT Biz de öyle yaptık.**

170 ***VONNEGUT Savaşın bizim için bittiğini söylediler:*** Hayman ve ark. (1977).

170 **VONNEGUT Hem evet, hem hayır. Altı hafta sonra...**

170 ***VONNEGUT Kurtulabileceğimizi hiç ummuyorduk:*** Hayman ve ark. (1977).

171 **VONNEGUT Yirmi beş yıl sonra *Mezbaha No:5*'i yazdım.**

171 **IDLE ...Kraliyet Hava Kuvvetleri'nde:** Idle'dan alıntı (2018), s. 4.

171 **GERVAIS Çok üzgünüm, arkadaşlar:** Tim Adams'dan alıntı. "Second Coming." *The Guardian*. 10 Temmuz 2005. www.theguardian.com/theobserver/2005/jul/10/comedy.television

172 **GERVAIS Ama anlamam uzun zaman ald...**

172 ***GERVAIS "...anneme "Diğerleri neden benden:*** Gordon, Bryony. "Ricky Gervais: Don't Ask Me the Price of Milk—I Fly by Private Jet." *The Telegraph*. 26 Ağustos 2011. www.telegraph.co.uk/culture/comedy/8722858/Ricky-Gervais-Dont-ask-me-the-price-of-milk-I-fly-by-private-jet.html.

172 ***IZZARD İkinci Dünya Savaşı bu:*** "Eddie Izzard Explains Why He Doesn't Be lieve in Religion." *Skaylan*. 24 Kasım 2018. *YouTube*. www.youtube.com/watch?v=emcb_HqBLrU

180 ***IDLE Zaman kazandırıyor:*** Eric Idle. Yazara gönderilen 8/21/2019 tarihli e-postadan.

172 ***MAHER "...hümanist tanrılardan bahsediyoruz:*** Gettelman, Elizabeth. "The MoJo Interview: Bill Maher." *Mother Jones*. September/October 2008. www.motherjones.com/media/2008/09/mojo-interview-bill-maher/

173 ***IZZARD: Dinler tamamen hikâyelerle:*** Yaqhubi, Zohra D. "Izzard Accepts Humanist Award." *The Harvard Crimson*. 21 Şubat 2013. www.thecrimson.com/article/2013/2/21/izzard-accepts-humanist-award/

173 ***MAHER ... söylentisini de yadırgamıyoruz:*** Gettelman, Elizabeth. "The MoJo In- terview: Bill Maher." *Mother Jones*. September/Ekim 2008.

174 ***IDLE Bence biz [Monty Python] artık... başvurmalıyız:*** Silman, Anna. "Monty Python Reunites at Tribeca: "We are Funnier than Scien- tology . . . We Could be a Religion." *Salon*. 25 Nisan 2015. www.salon.com/2015/04/24/monty_python_reunites_at_tribeca_we_are_funnier_than_scientology_we_could_be_a_religion

173 ***IDLE Komedi doğruları söyler:*** Eric Idle. Yazara gönderilen 8/21/2019 tarihli e-postadan

173 ***MAHER İnsanlar gülseler bile:*** Gettelman, Elizabeth. "The MoJo Interview: Bill Maher." *Mother Jones*. Eylül/Ekim 2008.

173 **VONNEGUT Kabul ediyorum.**

173 ***VONNEGUT Şaka yapmak başlıbaşına:*** Rentilly, J. "The Best Jokes Are Dangerous, An Interview with Kurt Vonnegut, Part Three." *McSweeney's.* 16 Eylül 2002. www.mcsweeneys.net/articles/the-best-jokes-are-dangerous-an-interview-with-kurt-vonnegut-part-three

174 ***IDLE Komedide hedef gerçeğin kendisidir:*** Eric Idle. . Yazara gönderilen 8/21/2019 tarihli e-postadan.

174 ***SILVERMAN Tanrı var mı bilmiyorum:*** Silverman, Sarah, yazar, performans sanatçısı. *A Speck of Dust.* Directed by Liam Lynch. Netflix Studios, Eleven Eleven O'Clock Productions, Jash Network, 2017.

174 ***IZZARD Dindar insanlar bunun ölümden:*** Adams, Tim. "Eddie Izzard: 'Everything I Do in Life is Trying to Get My Mother Back.'" *The Guardian.* 10 Eylül 2017. www.theguardian.com/culture/2017/sep/10/eddie-izzard-trying-to-get-mother-back-victoria-and-abdul

174 ***GERVAIS Tanrı hakkında bilinecek hiçbir:*** Gervais, Ricky. "Does God Exist? Ricky Gervais Takes Your Questions." *The Wall Street Journal.* 22 Aralık 2010. blogs.wsj.com/speakeasy/2010/12/22/does-god-exist-ricky-gervais-takes-your-questions/

175 ***MacFARLANE the traditional sci-fi method of storytelling:*** "Seth MacFarlane on Using Science Fiction to Explore Humanity." *Sean Carroll's Mindscape.* 5 Ağustos 2019. www.preposterousuniverse.com/podcast/2019/08/05/58-seth-macfarlane-on-using-science-fiction-to-explore-humanity/

175 ***VONNEGUT Shakespeare, seyircinin ağır şeylerden:*** Standish, David. "Kurt Vonne gut: The Playboy Interview." *Playboy.* 20 Temmuz 1973.

175 ***CAMUS Gerçekten ciddi bir felsefi problem vardır:*** Camus (1991), s. 3.

175 ***VONNEGUT Yani edebiyattan da çok komik:*** Vonnegut (2014), s. 64.

175 ***IDLE Çünkü felsefenin de, tıpkı şarapta olduğu gibi Fransızı:*** Eric Idle. Yazara gönderilen 8/21/2019 tarihli e-postadan.

176 ***IDLE 1983'te [Cannes'da] Jüri Büyük Ödülü'nü kazandı*** Eric Idle. Yazara gönderilen 8/21/2019 tarihli e-postadan.

176 ***MAHER Kafeinsiz vişneli çikolatalı diyet:*** Gettelman, Elizabeth. "The MoJo Interview: Bill Maher." *Mother Jones.* Eylül/Ekim 2008. www.motherjones.com/media/2008/09/mojo-interview-bill-maher/

176 ***IDLE Bilimle ilgili temel özellik:*** Eric Idle Yazara gönderilen 8/21/2019 tarihli e-postadan..

177 ***MacFARLANE İnsan hakları hareketi gibi:*** Woods, Stacey Grenrock. "Hungover with Seth MacFarlane." *Esquire.* 18 Aug 2009. www.esquire.com/entertainment/movies/a6099/seth-macfarlane-interview-0909/

176 ***VONNEGUT Bilimi seviyorum:*** Vonnegut (2014), s. 59.

176 ***VONNEGUT Bir zamanlar Isaac Asimov için bir anma töreni:*** Vonnegut (2014), s. 57.

176 ***GERVAIS Bilim gerçeği arar:*** Gervais, Ricky. "Ricky Gervais: Why I'm an Atheist." *The Wall Street Journal.* 19 Aralık 2010. blogs.wsj.com/speakeasy/2010/12/19/a-holiday-message-from-ricky-gervais-why-im-an-atheist/

177 ***IZZARD Bütün büyük dinlerde Altın Kural:*** Izzard (2018), s. 335.

177 ***GERVAIS "Sana yapılmasını istemediğini,. . .":*** Gervais, Ricky. "Ricky Gervais: Why I'm an Atheist." *The Wall Street Journal.* 19 Aralık 2010. blogs.wsj.com/speakeasy/2010/12/19/a-holiday-message-from-ricky-gervais-why-im-an-atheist/

177 ***MAHER Elbette hiçbir ahlakbilimcinin Altın Kural'la:*** Gettelman, Elizabeth. "The MoJo Interview: Bill Maher." *Mother Jones.* September/October 2008. www.motherjones.com/media/2008/09/mojo-interview-bill-maher/

177 ***GERVAIS İşte maneviyatın gerçekten kaybettiği yer:*** Gervais, Ricky. "Ricky Gervais: Why I'm an Atheist." *The Wall Street Journal.* 19 Aralık 2010. blogs.wsj.com/ speakeasy/2010/12/19/a-holiday-message-from-ricky-gervais-why-im-an-atheist/

178 ***VONNEGUT Sadece vakit geçirmek için buradayız:*** Vonnegut (2007), s. 62.

178 **CAMUS Belki de öyledir. Ancak yapabileceklerimiz arasında**: Camus'den (1991) alıntı.

179 ***GERVAIS Daha önce dünyada mevcut olmayan:*** Turner, N.A. "Ricky Gervais on Chasing Your Dream, Doing the Work and Living a Creative Life." *Medium.* 4 Ağustos 2019. medium.com/swlh/ricky-gervais-on-chasing-your-dream-doing-the-work-and-living-a-creative-life-946684bd634d

178 **MONOD Hem bir şeyler hem de fikirler yaratmalıyız:** Carroll'un programında (2013) Gerald Leach'le BBC röportajı s. 482; Monod (1971), s. xi.; Monod (1969).

178 ***GERVAIS Kendimize hep sorar dururuz:*** Wooley, Charles. "When Charles Wooley met Ricky Gervais." *60 Minutes.* 2019. 9now.nine.com.au/60-minutes/charles-wooley-ricky-gervais-seriously-funny/1b49b447-bdd2–43c2–8238-b4c2ba287646

KAYNAKÇA

ACIA (2004). *Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. ACIA Overview report.* Cambridge University Press.

Alexandersson, R. and S.D. Johnson. (2002) "Pollinator-Mediated Selection on Flower-Tube Length in a Hawkmoth-Pollinated Gladiolus (Iridaceae)." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences.* 269(1491): 631–636.

Alley, Richard B. (2000) "The Younger Dryas Cold Interval as Viewed from Central Greenland." *Quaternary Science Reviews.* 19: 213–226.

Alley, R.B., D.A. Meese, C.A. Shuman, ve ark. (1993) "Abrupt Increase in Gre- en- land Snow Accumulation at the End of the Younger Dryas Event." *Nature.* 362: 527–529.

Alvarez, L., ve ark. (1980) "Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction: Experimental results and theoretical interpretation." *Science.* 208: 1095–1108.

Alvarez, Walter. (1997) *T. rex and the Crater of Doom.* Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Anagnostou, Eleni, Eleanor H. John, Kirsty M. Edgar, ve ark. (2016) "Changing Atmospheric CO2 Concentration was the Primary Driver of Early Ceno- zoic Climate." *Nature.* 533: 380–384.

Andersen, Kristian G., Andrew Rambaut, W. Ian Lipkin, ve ark. (2020) "The Proximal Origin of SARS-CoV-2." *Nature Medicine.* Published online. https://doi.org/10.1038/s41591-020-0820-9.

Arditti, Joseph, John Elliott, Ian J. Kitching, and Lutz T. Wasserthal. (2012) " 'Good Heavens What Insect Can Suck It'—Charles Darwin, *Angraecum sesquipedale* and *Xanthopan morganii praedicta.*" *Botanical Journal of the Linnean Society.* 169: 403–432.

Armitage, P. and R. Doll. (1954) "The Age Distribution of Cancer and a Multi-Stage Theory of Carcinogenesis." *British Journal of Cancer.* 8(1): 1–12.

Artemieva, Natalia, Joanna Morgan, and Expedition 364 Science Party. (2017) "Quantifying the Release of Climate-Active Gases by Large Meteorite Impacts With a Case Study of Chicxulub." *Geophysical Research Letters.* 44(20): 10180–10188.

Baardsnes, Jason and Peter L. Davies. (2001) "Sialic Acid Synthase: The Origin of Fish Type III Antifreeze Protein?" *Trends in Biochemical Sciences.* 26(8): 468–469.

Babkin, Igor V. and Irina N. Babkina. (2015) "The Origin of the Variola Virus." *Viruses.* 7: 1100–1112.

Barker, Stephen, Gregor Knorr, R. Lawrence Edwards, ve ark. (2011) "800,000 Years of Abrupt Climate Variability." *Science.* 334: 347–351.

Barlow, Emma Nora. (1963) "Darwin's Ornithological Notes." *Bulletin of the British Museum (Natural History) Historical Series.* 2: 201–273. Accessed: darwin-online.org.uk/content/frameset?itemID=F1577&viewtype=text &pageseq=1

Bax, Ben, Chun-wa Chung, and Colin Edge. (2017) "Getting the Chemistry Right: Protonation, Tautomers and the Importance of H Atoms in Biological Chemistry." *Acta Crystallographica Section D Structural Biology.* 73(Pt 2): 131–140.

Beatty, John. (2006) "Chance Variation: Darwin on Orchids." *Philosophy of Science.* 73(5): 629–641.

Beatson, K., M. Khorsandi, and N. Grubb. (2013) "Wolff–Parkinson–White Syndrome and Myocardial Infarction in Ventricular Fibrillation Arrest: A Case of Two One-Eyed Tigers." *QJM: An International Journal of Medicine.* 106(8): 755–757.

Bebenek, Katarzyna, Lars C. Pedersen, and Thomas A. Kunkel. (2011) "Replica- tion Infidelity via a Mismatch with Watson-Crick Geometry." *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 108(5): 1862–1867.

Behrensmeyer, Anna K., Richard Potts, and Alan Deino. (2018) "The Oltulelei Formation of the Southern Kenyan Rift Valley: A Chronicle of Rapid Landscape Transformation over the Last 500 k.y." *Geological Society of America Bulletin.* 130: 1474–1492.

Blattner, F.R., G. Plunkett 3rd, C.A. Bloch, ve ark. (1997) "The Complete Genome Sequence of *Escherichia coli* K-12." *Science.* 277(5331): 1453–1462.

Blois, Jessica L. and Elizabeth A. Hadly. (2009) "Mammalian Response to Cenozoic Climatic Change." *Annual Review of Earth and Planetary Sciences.* 37: 8.1–8.28.

Bolhuis, Johan, Ian Tattersall, Noam Chomsky, ve ark. (2014) "How Could Lan- guage Have Evolved." *PLoS Biology.* 12(8): e1001934.

Bouilhol, Pierre, Oliver Jagoutz, John M. Hanchar, and Francis O. Dudas. (2013) "Dating the India-Eurasia Collision Through Arc Magmatic Re- cords." *Earth and Planetary Science Letters.* 366: 163–175.

Broecker, W.S. (1995) "Cooling the Tropics." *Nature.* 376: 212–213.

Broecker, W.S. (2015) "The Collision That Changed the World." *Elementa: Science of the Anthropocene.* 3. 000061. 10.12952/journal.elementa.000061. Brooks, Alison S., John E. Yellen, Richard Potts, ve ark. (2018) "Long-Distance Stone Transport and Pigment Use in the Earliest Middle Stone Age."Science. 360: 90–94.

Brown, Timothy Ray. (2015) "I Am the Berlin Patient: A Personal Reflection." *AIDS Research and Human Retroviruses.* 31(1): 2–3.

Brugger, Julia, Georg Feulner, and Stefan Petri. (2017) "Baby, It's Cold Outside: Climate Model Simulations of the Effects of the Asteroid Impact at the End of the Cretaceous." *Geophysical Research Letters.* 44: 419–427.

Brussatte, Stephen L., Jingmai K. O'Connor, and Erich D. Jarvis. (2015) "The Origin and Diversification of Birds." *Current Biology.* 25(19): R888-R898. Campbell, Kevin L, Jason E. E. Roberts, Laura N. Watson, ve ark. (2010) "Substi- tutions in Woolly Mammoth Hemoglobin Confer Biochemical Properties Adaptive for Cold Tolerance." *Nature Genetics.* 42(6): 536–540.

Camus, Albert. (1991) *The Myth of Sisyphus and Other Essays.* Translated by Justin O'Brien, *Le Mythe de Sisyphe*, 1942. First Vintage International Edition, 1991. New York: Random House.

Cannon, Walter F. (1961) "The Impact of Uniformitarianism: Two Letters from John Herschel to Charles Lyell, 1836–1837." *Proceedings of the American Philosophical Society.* 105(3): 301–314.

Carroll, Sean B. (2013) *Brave Genius: A Scientist, A Philosopher, and Their Daring Adventures from the French Resistance to the Nobel Prize.* New York: Crown Publishers.

Carter, Andrew, Teal R. Riley, Claus-Dieter Hillenbrand, and Martin Rittner. (2017) "Widespread Antarctic Glaciation During the Late Eocene." *Earth and Planetary Science Letters.* 458: 49–57.

Clark, Luke, Andrew J. Lawrence, Frances Astley-Jones, and Nicola Gray. (2009) "Gambling Near-Misses Enhance Motivation to Gamble and Re- cruit Win-Related Brain Circuitry." *Neuron.* 61: 481–490.

Conrad, Donald F., Jonathan E.M. Keebler, Mark A. DePristo, ve ark. (2011) "Variation in Genome-Wide Mutation Rates Within and Between Human Families." *Nature Genetics.* 43(7): 712–714.

Croson, Rachel and James Sundali. (2005) "The Gambler's Fallacy and the Hot Hand: Empirical Data from Casinos." *The Journal of Risk and Uncertainty.* 30(3): 195–209.

Cuppy, Will. (1941) *How to Become Extinct.* New York: Dover Publications.
Darwin, Charles R. (1845) *Journal of Researches into the Natural History and Geology of the Countries Visited During the Voyage of* H.M.S. Beagle *Round the World.* London: Murray. 2d ed. Accessed: darwin-online.org.uk/content/ frameset?itemID=F14&viewtype=text&pageseq=1
Darwin, Charles R. (1859) *On the Origin of Species by Means of Natural Se- lection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life.* London: Murray. 1st ed. Accessed: darwin-online.org.uk/content/ frameset?itemID=F373&viewtype=text&pageseq=1
Darwin, Charles R. (1862) *On the Various Contrivances by Which British and Foreign Orchids are Fertilised by Insects.* London: John Murray.
Darwin, Charles R. (1868) *Variation of Animals and Plants Under Domestication.* New York: E.L. Godkin & Co. 1st ed., Volume 2. Accessed: darwin-online. org.uk/content/frameset?itemID=F877.2&viewtype=text&pageseq=1
Darwin, Charles R. (1887) *The Life and Letters of Charles Darwin: Including an Autobiographical Chapter.* Volume 1. Ed. Francis Darwin. London: John Murray.
Darwin, Charles R. (2001) *Charles Darwin's* Beagle *Diary.* Ed. Keynes. Cambridge: Cambridge University Press. Accessed: darwin-online.org.uk/content/frameset?viewtype=text&itemID=F1925&pageseq=1
DeMarini, David M. (2004) "Genotoxicity of Tobacco Smoke and Tobacco Smoke Condensate: A Review." *Mutation Research.* 567: 447–474. deMenocal, Peter B. (1995) "Plio-Pleistocene African Climate." *Science.* 270: 53–59.
Deng, Cheng, C.H. Christina Cheng, Hua Ye, ve ark. (2010) "Evolution of an Antifreeze Protein by Neofunctionalization Under Escape from Adaptive Conflict." *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 107(50): 21593–21598.
Desmond, Adrian and James Moore. (1991) *Darwin: The Life of a Tormented Evolutionist.* New York: W.W. Norton & Co.
Ditlevsen, P.D., Katrine Krogh Andersen, A. Svensson. (2007) "The DO- Climate Events Are Probably Noise Induced: Statistical Investigation of the Claimed 1470 Years Cycle." *Climate of the Past.* 3(1): 129–134.
Etkind, Alexander. (2008) "Beyond Eugenics: The Forgotten Scandal of Hybridizing Humans and Apes." *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences.* 39: 205–210.

Feng, Yan-Jie, David C. Blackburn, Dan Liang, ve ark. (2017) "Phylogenomics Reveals Rapid, Simultaneous Diversification of Three Major Clades of Gondwanan Frogs at the Cretaceous-Paleogene Boundary." *Proceedings of the National Academy of Sciences*. E5864–E5870.

Fiedel, S.J. (2011) "The Mysterious Onset of the Younger Dryas." *Quaternary International*. 242: 262–266.

Field, Daniel J., Antoine Bercovici, Jacob S. Berv, ve ark. (2018) "Early Evolution of Modern Birds Structured by Global Forest Collapse at the End-Cretaceous Mass Extinction." *Current Biology*. 28: 1825–1831.

Fijalkowska, Iwona J., Roel M. Schaaper, and Piotr Jonczyk. (2012) "DNA Rep- lication Fidelity in *Escherichia coli*: A Multi-DNA Polymerase Affair." *FEMS Microbiology Reviews*. 36: 1105–1121.

Filippelli, Gabriel M. and José-Abel Flores. (2009) "From the Warm Pliocene to the Cold Pleistocene: A Tale of Two Oceans." *The Geological Society of America*. 37(10): 959–960.

Furuse, Yuki, Akira Suzuki, and Hitoshi Oshitani. (2010) "Origin of Measles Virus: Divergence from Rinderpest Virus Between the 11th and 12th Cen- turies." *Virology Journal*. 7(52).

Gallala, Njoud, Dalila Zaghbib-Turki, Ignacio Arenillas, ve ark. (2009) "Catastrophic Mass Extinction and Assemblage Evolution in Planktic Foraminifera Across the Cretaceous/Paleogene (K/Pg) Boundary at Bidart (SW France)." *Marine Micropaleontology*. 72: 196–209.

Glanville, Jacob, Wenwu Zhai, Jan Berka, ve ark. (2009) "Precise Determination of the Diversity of a Combinatorial Antibody Library Gives Insight into the Human Immunoglobulin Repertoire." *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 106(48): 20216–20221.

Goff, James, Catherine Chagué-Goff, Michael Archer, ve ark. (2012) "The Eltanin Asteroid Impact: Possible South Pacific Palaeomegatsunami Footprint and Potential Implications for the Pliocene-Pleistocene Transition." *Journal of Quaternary Science*. 27(7): 660–670.

Govindan, Ramaswamy, Li Ding, Malachi Griffith, ve ark. (2012) "Genomic Landscape of Non-Small Cell Lung Cancer in Smokers and Never-Smokers." *Cell*. 150: 1121–1134.

Gowlett, J.A.J. (2016) "The Discovery of Fire by Humans: A Long and Convoluted Process." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*. 371: 20150164.

Grech, Victor. (2002) "Unexplained Differences in Sex Ratios at Birth in Europe and North America." *BMJ*. 324: 1010–1011.

Green, Adèle C., Gail M. Williams, Valerie Logan, and Geoffrey M. Strutton. (2011) "Reduced Melanoma After Regular Sunscreen Use: Randomized Trial Follow-Up." 29(3): 257–263.

Greenland Ice-Core Project (GRIP) Members. (1993) "Climate Instability During the Last Interglacial Period Recorded in the GRIP Ice Core." *Na- ture.* 364: 203–207.

Gulick, Sean P.S., Timothy J. Bralower, Jens Ormö, ve ark. (2019) "The First Day of the Cenozoic." *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 116(39): 19342–19351. Hansen, James E. and Makiko Sato. (2012) "Climate Sensitivity Estimated from Earth's Climate History." *NASA Goddard Institute for Space Studies and Columbia University Earth Institute.* 1–19.

Hansen, James, Makiko Sato, Gary Russell, and Pushker Kharecha. (2013) "Climate Sensitivity, Sea Level and Atmospheric Carbon Dioxide." *Philo- sophical Transactions of the Royal Society A.* 371: 20120294.

Hardy, Kathy and Philip John Hardy. (2015) "1st Trimester Miscarriage: Four Decades of Study." *Translational Pediatrics.* 4(2): 189–200.

Hawkes, Lucy A., Sivananinthaperumal Balachandran, Nyambayar Batbayar, ve ark. (2011) "The Trans-Himalayan Flights of Bar-Headed Geese (*Anser indicus*)." 108(23): 9516–9519.

Hayman, David, David Michaelis, George Plimpton, and Richard Rhodes. (1977) "Kurt Vonnegut, The Art of Fiction No. 64." *The Paris Review.* 69. www.theparisreview.org/interviews/3605/kurt-vonnegut-the-art-of-fiction-no-64-kurt-vonnegut

Hedges, S. Blair, Julie Marin, Michael Suleski, ve ark. (2015) "Tree of Life Reveals Clock-Like Speciation and Diversification." *Molecular Biology and Evolution.* 32(4): 835–845.

Henehan, Michael J., Andy Ridgwell, Ellen Thomas, ve ark. (2019) "Rapid Ocean Acidification and Protracted Earth System Recovery Followed the End- Cretaceous Chicxulub Impact." *Proceedings of the National Academy of the Sciences.* 201905989; DOI: 10.1073/pnas.1905989116.

Hildebrand, A.R. (1991) "Chicxulub Crater: A Possible Cretaceous/Tertiary Boundary Impact Crater on the Yucatán Peninsula, Mexico." *Geology.* 19: 867–871.

Hren, Michael T., Nathan D. Sheldon, Stephen T. Grimes, ve ark. (2013) "Terres- trial Cooling in Northern Europe During the Eocene-Oligocene Transition." *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 110(19): 7562–7567.

Huang, Kai, Shijun Ge, Wei Yi, ve ark. (2019) "Interactions of Unstable Hemoglobin Rush with Thalassemia and Hemoglobin E Result in Thalassemia Intermedia." *Hematology.* 24(1): 459–466.

Hughes, David W. (2003) "The Approximate Ratios Between the Diameters of Terrestrial Impact Craters and the Causative Incident Asteroids." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* 338: 999–1003.

Huff, Darrell and Irving Geis. (1959) *How to Take a Chance.* New York: W.W. Norton.

Hummel, S., D. Schmidt, B. Kremeyer, ve ark. (2005) "Detection of the CCR5-Δ32 HIV Resistance Gene in Bronze Age Skeletons." *Genes and Immunity.* 6: 371–374.

Idle, Eric. (2018) *Always Look on the Bright Side of Life: A Sortabiography.* New York: Crown Archetype.

Iossifov, Ivan, Brian J. O'Roak, Stephan J. Sanders, ve ark. (2014) "The Con- tribution of De Novo Coding Mutations to Autism Spectrum Disorder." *Nature.* 515: 216–221.

Izzard, Eddie. (2018) *Believe Me: A Memoir of Love, Death and Jazz Chickens.* London: Michael Joseph.

Jarvis, Erich D., Siavash Mirarab, Andre J. Aberer, ve ark. (2014) "Whole- Genome Analyses Resolve Early Branches in the Tree of Life of Modern Birds." *Science.* 346 (6215): 1320–1331.

Jessen, Timm-H., Roy E. Weber, Giulio Fermi, ve ark. (1991) "Adaptation of Bird Hemoglobins to High Altitudes: Demonstration of Molecular Mechanism by Protein Engineering." *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 88: 6519–6522.

Johnson, Curtis. (2015) *Darwin's Dice: The Idea of Chance in the Thought of Charles Darwin.* Oxford: Oxford University Press.

Jónsson, Hákon, Patrick Sulem, Birte Kehr, ve ark. (2017) "Parental Influence on Human Germline De Novo Mutations in 1,548 Trios from Iceland." *Nature.* 549: 519–522.

Jungersen, Christian. (2013) *You Disappear.* Translated from Danish by Misha Hoekstra. Anchor Books.

Kaiho, Kunio and Naga Oshima. (2017) "Site of Asteroid Impact Changed the History of Life on Earth: The Low Probability of Mass Extinction." *Scientific Reports.* 7: 14855.

Kennett, J.P. and L.D. Stott. (1991) "Abrupt Deep-Sea Warming, Palaeoceanographic Changes and Benthic Extinctions at the End of the Palaeocene." *Nature.* 353: 225–229.

Kimsey, Isaac J., Katja Petzold, Bharathwaj Sathyamoorthy, ve ark. (2015) "Visu- alizing Transient Watson-Crick-like Mispairs in DNA and RNA Duplexes." *Nature.* 519: 315–320.

Kimsey, Isaac J, Eric S. Szymanski, Walter J. Zahurancik, ve ark. (2018) "Dynamic Basis for dG•dT Misincorporation via Tautomerization and Ionization." 554: 195–201.

King, Philip Parker. (1839) *The Narrative of the Voyages of H.M. Ships* Adventure *and* Beagle. London: Colburn. 1st ed. 3 volumes & appendix: *Proceedings of the First Expedition, 1826–30.* Accessed: darwin-online.org.uk/ content/ frameset?itemID=F10.1&viewtype=text&pageseq=1

Koch, Paul L. and Anthony D. Barnosky. (2006) "Late Quaternary Extinctions: State of the Debate." *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics.* 37: 215–250.

Kumar, Prakash, Xiaohui Yuan, M. Ravi Kumar, ve ark. (2007) "The Rapid Drift of the Indian Tectonic Plate." *Nature.* 449: 894–897.

Lacis, Andrew A, Gavin A. Schmidt, David Rind, and Reto A. Ruedy. (2010) "Atmospheric CO2: Principal Control Knob Governing Earth's Tempera- ture." *Science.* 330: 356–359.

Leakey, L.S.B. (1974) *By the Evidence: Memoirs, 1932–1951.* New York: Harcourt Brace Janovich.

Lederberg, Joshua and Esther M. Lederberg. (1952) "Replica Plating and Indirect Selection of Bacterial Mutants." *Journal of Bacteriology.* 63(3): 399–406.

Lewis, John. (1974) *Beyond Chance and Necessity: A Critical Inquiry into Professor Jacques Monod's Chance and Necessity.* London: The Teilhard Centre for the Future of Man.

Liu, Rong, William A. Paxton, Sunny Shoe, ve ark. (1996) "Homozygous Defect in HIV-1 Coreceptor Accounts for Resistance of Some Multiply-Exposed Individuals to HIV-1 Infection." *Cell.* 86: 367–377.

Lohmann, Johannes and Peter D. Ditlevsen. (2018) "Random and Externally Controlled Occurrences of Dansgaard–Oeschger Events." *Climate of the Past.* 14: 609–617.

Longrich, N.R., J. Scriberas, and M.A. Wills. (2016) "Severe Extinction and Rapid Recovery of Mammals Across the Cretaceous–Palaeogene Bound- ary, and the Effects of Rarity on Patterns of Extinction and Recovery." *Journal of Evolutionary Biology.* 29: 1495–1512.

Lydekker, Richard. (1904) *Library of Natural History, Vol III.* Saalfield Pub- lishing Company: Akron, OH.

Lyson, T.R., I.M. Miller, A.D. Bercovici, ve ark. (2019) "Exceptional Continental Record of Biotic Recovery After the Cretaceous-Paleogene Mass Extinc- tion." *Science.* 366(6468): 977–983.

Marin, Julie, Giovanni Rapacciuolo, Gabriel C. Costa, ve ark. (2018) "Evolutionary Time Drives Global Tetrapod Diversity." *Proceedings of the Royal Society B.* 285: 20172378.

Martincorena, Iñigo, Amit Roshan, Moritz Gerstung, ve ark. (2015) "High Bur- den and Pervasive Positive Selection of Somatic Mutations in Normal Human Skin." *Science.* 348(6237): 880–886.

Martínez-Botí, M.A., G.L. Foster, T.B. Chalk, ve ark. (2015) "Plio-Pleistocene Climate Sensitivity Evaluated Using High-Resolution CO2 Records." *Na- ture.* 518: 49–54.

Maslin, Mark A., Chris M. Brierley, ve ark. (2014) "East African Climate Pulses and Early Human Evolution." *Quaternary Science Reviews.* 101: 1–17.

Mayewski, P.A., L.D. Meeker, S. Whitlow, ve ark. (1993) "The Atmosphere During the Younger Dryas." *Science.* 261(5118): 195–197.

Mazrouei, Sara, Rebecca R. Ghent, William F. Bottke, ve ark. (2019) "Earth and Moon Impact Flux Increased at the End of the Paleozoic." *Science.* 363 (6424): 253–257.

McInerney, Francesca A. and Scott L. Wing. (2011) "The Paleocene-Eocene Thermal Maximum: A Perturbation of Carbon Cycle, Climate, and Bio- sphere with Implications for the Future." *Annual Review of Earth and Planetary Sciences.* 39: 489–516.

Mohd, Hamzah A., Jaffar A. Al-Tawfiq, and Ziad A. Memish. (2016) "Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV) Origin and Animal Reservoir." *Virology Journal.* 13(87).

Monod, Jacques. (1969) "On Values in the Age of Science." In *The Place of Value in a World of Facts: Proceedings of the Fourteenth Nobel Symposium Stockholm, September 15–20, 1969.* Edited by Arne Tiselius and Sam Nilsson, 19–27. New York: Wiley Interscience Division.

Monod, Jacques. (1971) *Chance and Necessity.* Translated from the French by Austryn Wainhouse. New York: Alfred A. Knopf.

Muchhala, Nathan. (2006) "Nectar Bat Stows Huge Tongue in its Rib Cage." *Nature.* 444: 701–702.

Muchhala, Nathan and James D. Thomson. (2009) "Going to Great Lengths: Selection for Long Corolla Tubes in an Extremely Specialized Bat-Flower Mutualism." *Proceedings of the Royal Society B.* 276: 2147–2152.

Nei, Masatoshi. (2013) *Mutation-Driven Evolution.* Oxford: Oxford University Press.

Nordling, C.O. (1953) "A New Theory on Cancer-Inducing Mechanism." *British Journal of Cancer.* 7(1): 68–72.

Nowell, P.C. (1976) "The Clonal Evolution of Tumor Cell Populations." *Science.* 194(4260): 23–28.

O'Leary, Maureen A., Jonathan I. Bloch, John J. Flynn, ve ark. (2013) "The Placental Mammal Ancestor and the Post-K-Pg Radiation of Placentals." *Science.* 339(6120): 662–667.

Peacocke, Arthur. (1993) *Theology for a Scientific Age: Being and Becoming- Natural, Divine and Human.* Minneapolis: Fortress Press.

Pimiento, Catalina, John N. Griffin, Christopher F. Clements, ve ark. (2017) "The Pliocene Marine Megafauna Extinction and Its Impact on Functional Diversity." *Nature Ecology & Evolution.* 1: 1100–1106.

Pincock, Stephen. (2013) "Stephen Lyon Crohn." *The Lancet*. 382(9903): 1480.
Potts, Richard. (2013) "Hominin Evolution in Settings of Strong Environ-mental Variability." *Quaternary Science Reviews*. 73: 1–13.
Potts, Richard, Anna K. Behrensmeyer, J. Tyler Faith, ve ark. (2018) "Environmental Dynamics During the Onset of the Middle Stone Age in Eastern Africa." *Science*. 360: 86–90.
Rehan, Sandra M., Remko Leys, Michael P. Schwarz. (2013) "First Evidence for a Massive Extinction Event Affecting Bees Close to the K-T Boundary." *PLoS ONE*. 8(10): e76683.
Roach, Jared C., Gustavo Glusman, Arian F.A. Smit, ve ark. (2010) "Analysis of Genetic Inheritance in a Family Quartet by Whole-Genome Sequencing." *Science*. 328: 636–639.
Robertson, Douglas S., Malcolm C. McKenna, Owen B. Toon, ve ark. (2004) "Sur- vival in the First Hours of the Cenozoic." *GSA Bulletin*. 116(5–6): 760–768. Robertson, Douglas S., William M. Lewis, Peter M. Sheehan, and Owen B. Toon. (2013) "K-Pg Extinction: Reevaluation of the Heat-Fire Hypothesis." *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 118: 329–336.
Rodgers, Joseph Lee and Debby Doughty. (2001) "Does Having Boys or Girls Run in the Family?" *Chance*. 14(4): 8–13.
Rossiianov, Kirill. (2002) "Beyond Species: Il'ya Ivanov and His Experiments on Cross-Breeding Humans with Anthropoid Apes." *Science in Context*. 15(2): 277–316.
Rozhok and DeGregori (2019). "A Generalized Theory of Age-Dependent Car- cinogenesis." *Cancer Biology*. eLife.39950.
Samet, Jonathan M., Erika Avila-Tang, Paolo Boffetta, ve ark. (2009) "Lung Cancer in Never Smokers: Clinical Epidemiology and Environmental Risk Factors." *Clinical Cancer Research*. 15(18): 5626–5645.
Sandin, S., D. Schendel, P. Magnusson, ve ark. (2016) "Autism Risk Associated with Parental Age and with Increasing Difference in Age Between the Parents." *Molecular Psychiatry*. 21: 693–700.
Schaller, Morgan F., Megan K. Fung, James D. Wright, ve ark. (2016) "Impact Ejecta at the Paleocene-Eocene Boundary." *Science*. 354(6309): 225–229.
Schaller, Morgan F. and Megan K. Fung. (2018) "The Extraterrestrial Impact Evidence at the Palaeocene-Eocene Boundary and Sequence of Environmental Change on the Continental Shelf." *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 376:20170081.
Schoffeniels, Ernest. (1976) *Anti-Chance: A Reply to Monod's Chance and Necessity*. Translated by B.L. Reid. Oxford: Pergamon Press.

Schulte, P., ve ark. (2010) "The Chicxulub Asteroid Impact and Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary." *Science.* 327: 1214–1218.

Secord, James A. (1981) "Nature's Fancy: Charles Darwin and the Breeding of Pigeons." *Isis.* 72(2): 162–186.

Shapiro, Michael D., Zev Kronenberg, Cai Li, ve ark. (2013) "Genomic Diversity and Evolution of the Head Crest in the Rock Pigeon." *Science.* 339(6123): 1063–1067.

Sharp, Paul M. and Beatrice H. Hahn. (2011) "Origins of HIV and the AIDS Pandemic." *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine.* 1: a006841.

Smit, J. (1999) "The Global Stratigraphy of the Cretaceous-Tertiary Boundary Impact Ejecta." *Annual Review of Earth Planet Sciences.* 27: 75–113.

Smit, J. and Hertogen, J. (1980) "An Extraterrestrial Event at the Cretaceous-Tertiary Boundary." *Nature.* 285: 198–200.

Snyder, Carolyn W. (2016) "Evolution of Global Temperature Over the Past Two Million Years." *Nature.* 538: 226–228.

Solloch, Ute V., Kathrin Lang, Vinznez Lange, ve ark. (2017) "Frequencies of Gene Variant Ccr5-Δ32 in 87 Countries Based on Next-Generation Se- quencing of 1.3 Million Individuals Sampled from 3 National DKMS Donor Centers." *Human Immunology.* 78: 710–717.

Song, Huai-Dong, Chang-Chu Tu, Guo-Wei Zhang, ve ark. (2005) "Cross-Host Evolution of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus in Palm Civet and Human." *PNAS.* 102(7): 2430–2435.

Sproul, R.C. (1994) *Not a Chance: The Myth of Chance in Modern Science and Cosmology.* Grand Rapids, Michigan: Baker Academic.

Storz, Jay F. (2016) "Hemoglobin-Oxygen Affinity in High-Altitude Vertebrates: Is There Evidence for an Adaptive Trend?" *Journal of Experimental Biology.* 219: 3190–3203.

Sulloway, Frank J. (1982) "Darwin's Conversion: The Beagle Voyage and Its Aftermath." *Journal of the History of Biology.* 15(3): 325–396.

Tierney, Jessica E., Francesco S.R. Pausata, Peter B. deMenocal. (2017) "Rainfall Regimes of the Green Sahara." *Science Advances.* 3: e1601503.

Twain, Mark. (1935) *Mark Twain's Notebook.* New York: Harper & Bros. USGS. (2015) "The Himalayas: Two Continents Collide." U.S. Geological Survey. pubs.usgs.gov/publications/text/himalaya.html

Vajda, Vivi and Antoine Bercovici. (2014) "The Global Vegetation Pat- tern Across the Cretaceous-Paleogene Mass Extinction Interval: A Template for Other Extinction Events." *Global and Planetary Change.* 122: 29–49.

Van Der Ryst, Elna. (2015) "Maraviroc—a CCR5 antagonist for the treatment of HIV-1 Infection." *Frontiers in Immunology.* 6(277): 1–4.

DİZİN

A
Adenin (A) 98
Agar 96
Ağaçkakan 39, 89
Ağır Zincir Geni 154
AIDS (Edinilmiş Bağışıklık Yetmezlik Sendromu) 130, 131, 146, 147, 148, 149, 201, 211, 219
Akciğer Kanseri 167, 169
Alan Cooper 119
Alaycı Kuşlar 76, 77
Albert Camus 17, 175
Albert Einstein 22
Alfred Russel Wallace 84
Amino Asit 112, 113, 114, 116, 122, 152
Ammonit 29, 34
And Kazı 120, 199
Angræcum Sesquipedalia (Madagaskar Yıldız Orkidesi) 86
Antarktika 51, 60, 61, 121, 123
Antibiyotik 96, 97
Antifriz Geni 123
Antijen 149, 151, 152, 153, 154, 155
Antikor 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 201
Antiloplar 62
Arjin 116
Art Devries 122
Arthur Peacocke 19
Asa Gray 85, 89, 197, 198
Aslanlar 139
asteroit 30, 31, 38, 40, 44, 50
Ateş 33, 139, 146, 155
Atlantik 40, 60, 74

B
Bağımsız Olaylar 125
Bağışıklık Sistemi 146, 149
Bakteri 95, 96, 97, 101, 120, 130, 149
Balina 38, 181
Barbados Walcott 43
Battling Levinsky 43
Bazlar 100
Beagle 72, 73, 74, 75, 76, 80, 196, 212, 216, 219
Bellek Hücreleri 151, 152, 156
Besin Kaynakları 80
Besleme 81
Beyin Boyutu 65
B Hücreleri 150, 151, 152
Bilişsel Ön Yargı 15
Bill Maher 174, 175, 190, 205, 206, 207
Biyokütle 51, 125
Bob Fitzsimmons 41
Burrill Crohn 147
Buzul Çağı 46, 56, 57, 65, 118, 135, 170
Buzullar Arası Dönemler 55, 58
Buzullaşma 46

C
Caddyshack 12
Caravaca 29
Carcharocles Megalodon 46

CCR5 Reseptörü 147, 148
Cezayir 61
Charles Darwin 22, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 110, 111, 117, 128, 129, 196, 197, 198, 199, 209, 210, 212, 215, 219
Charles Lyell 83, 196, 197, 211
Chicxulub 32, 33, 40, 49, 210, 214, 219
Christian Jungerson 173
Christina Cheng 122, 212
Cilt Kanseri 167, 169
Cinsiyet Kromozomları 141
Cody Coots 156
Columba Livia 81
CXCR4 147

Ç
Çad 61
Çiçek Hastalığı 131, 200

D
Dağ Aslanları 139
Dalak 150
Danny Brower 139
Değişken Bölge 153
Delta32 Mutasyonu 148, 201
Denizayıları 38
Deniz Kuşları 46
Deniz Seviyesi 120
Develer 46, 47
Dinozorlar 38, 40
Dixie Kid 43
DNA 17, 18, 37, 94, 95, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 122, 124, 125, 129, 141, 144, 147, 148, 153, 155, 161, 163, 164, 167, 168, 169, 173, 190, 194, 198, 201, 202, 213, 215
Doğal Seçilim 80, 87, 88, 110, 117, 126, 127
Down Sendromu 145
Döllenme 140, 141
Dugonlar 38

E
Eddie Izzard 174, 175, 189, 205, 206
Efrin B2 117
Eğrelti Otları 35
Enzim 101, 122
Eosen 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 55, 194, 195
Erimiş Su 60
Esther Lederberg 96, 198, 216
Etoburlar 37
Evrim 77, 126, 129

F
Fırsatçı Enfeksiyonlar 149
Fibrilasyon 57, 103
Filler 61
Foraminifer 27
Francis Crick 17, 98

G
Galapagos Adaları 76
Genç Dryas 59
Genetik Bozukluklar 144
Genetik Rekombinasyon 142
Genler 103, 112, 113, 122, 123, 129, 152, 159, 163, 164
Genom 102, 143, 168, 203
Gergedan 46, 47
Geyik 47
Golf 11, 12, 191
Goriller 130
Grip 146
Grönland 57, 58, 61, 177
Guanin 98, 105
Gulf Stream 60
Güneş 49, 57, 140, 167, 169
Güveler 86, 87
Güvercinler 84, 87, 89, 111

H
Hafif Zincir Genleri 154
Hastalık Kontrol Merkezleri (CDC) 146
Hemofili A 144
Hemoglobin 119, 120
Herschel 76, 77, 196, 211
HIV/AIDS 131, 201

Hidrojen Bağları 104
Hint Kazı 120
Hint Levhası 52
Hipermutasyon 151, 155, 156
Hipoksi 120
Hipotez 18
HMS Bounty 72
Holosen 45, 48
Hominidler 64, 195

I
Ichneumonidæ 85

İ
İkili Sarmal 99, 100
İklim Değişikliği 60, 195
İlya İvanov 108, 109, 128, 129, 130, 131, 199
İnsan İmmün Yetmezlik Virüsü (HIV) 131, 146, 147, 148, 200, 201, 215, 216, 219
İnsan Papilloma Virüsü (HPV) 169
İnsanze 108, 128, 129
İridyum 30, 31
İspinozlar 82, 84

J
Jack Blackburn 43, 194
Jack Johnson 44
Jack O'Brien 43
Jacques Monod 16, 176, 177, 178, 186, 190, 216
James Watson 17, 98, 192
Jamie Coots 137, 138, 156, 200
Jan Smit 29, 30
Joe Grim 41, 42, 43, 44, 194
Johnny Kilbane 43
John Scopes 199
Joseph Hooker 86
Joshua Lederberg 96

K
Kalsiyum 51
Kan Hücresi 150
Kanser 146, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 168, 170, 173, 202, 203
Kaplumbağalar 36, 46, 193
Kaposi sarkomu 146
Karbondioksit (CO_2) 33, 34, 51, 52, 57
Karbonhidrat 149
Karbonik Asit 51
Karıncayiyen 118
Kaya Güvercini 82
Kemirgenler 37, 78
Kemoterapi 149
Kenya 61, 62, 63, 195
Kenya Ulusal Müzesi 62
Keseli 37, 76
Keto Form 104, 105
Kevin Campbell 118
Kıyı Kuşları 36
Kızamık 131, 200
Kim Jong-Il 11, 12, 125, 191
Kimyasal Ayrışma 51
Klonal Seçim ve Yayılma 150
Klonlama 153, 163
Koli Basili 101
Kolorektal Kanser 165
Köpekbalıkları 46, 139
K-Pg 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 45, 46, 49, 69, 135, 217, 218
Kral I. Charles 94
Kretase 28, 29, 30, 35, 37, 38, 193
Kromozomlar 112, 141, 142
Ku Klux Klan (KKK) 109
Kumarbaz Yanılgısı 15
Kumarhane 14, 192
Kuraklık 61
Kurbağalar 38
Kurt Vonnegut 169, 171, 172, 174, 176, 189, 191, 203, 206, 207, 214
Kuşlar 35, 38
Kümülatif Doğal Seçilim 127

L
Lenf Düğümleri 150
Levha Tektoniği 46
Libya 61
Louis Leakey 61
Lösemi 165
Luis Alvarez 31

M
Madagaskar Yıldız Orkidesi 86
Magnezyum 51
Mamutlar 118
Mantar Enfeksiyonları 146
Maraviroc 148
Mark Twain 174, 219
Mark Wahlberg 26
Mary Leakey 61, 195, 216
Maymun 109, 130, 170
Melanom 167, 168
Melez 108, 128, 129, 130
Memeliler Çağı 29, 38, 50
MERS 131, 217
Metan 50
Meteor 33
Mısır 61, 185
Michael Hofreiter 119
Mike Shapiro 114
Mikrobiyota 149
misk öküzü 119
Miyosen 45
Monte Carlo Yanılgısı 14, 15
Morslar 38
Mosasaurlar 29
Mutasyonlar 95, 97, 103, 117, 120, 124, 125, 126, 127, 143, 151, 163, 164, 167, 168

N
Nautilus 29
Nüfus Artışı Hakkında Araştırma 80

O
Obsidiyen 63
Oksijen 47, 112, 119, 120, 125, 127
Okyanus 27, 47, 49, 52, 195
Oldonyo Esakut 61
Oligosen 45, 46, 48, 51, 194
Olorgesailie Dağı 61
Olorgesailie Havzası 61
Onkogenler 164
Orkide 85, 88
Ornitorenk 75, 76
Ortak Dua Kitabı (1789) 71
Otizm Spektrum Bozukluğu (ASD) 144
Otozom 141

Ö
Özgüllük 21

P
Paleojen 28, 29, 30
Paleosen 45, 46, 47, 48, 50
Paleosen-Eosen Maksimum Isıl Değerleri (PETM) 50
Pangolinler 132
Parazitler 149
Pasteur Enstitüsü 108, 190
Pediatrik Tümörler 165, 169
Penisilin 185
Piyango 16
Plankton 27, 35
Pleistosen 45, 48, 49, 56
Pliyosen 45, 46, 48, 49, 56, 195
Pnömoni 146
Polimerazlar 101, 102, 106, 198
Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR) 119
Primatlar 46
Pringle Stokes 72
Proteinler 17
Pterosaurlar 29
Pullu Karıncayiyenler 132

R
Radyometrik Tarihleme 47
Rahim Ağzı Kanseri 169
Rastlantı Eseri Değil 19
Rastlantı ve Zorunluluk 18, 19, 20, 149, 176, 190, 192
R.C. Sproul 19, 20, 192, 193, 219
Ren Geyiği 119
Renk Körlüğü 144
Retinoblastoma 165
Ricky Gervais 174, 175, 190, 205, 206, 207
Rift Vadisi 61
Robert FitzRoy 73, 196
Rosalind Franklin 98
Roy Sullivan 157

S
Sabit Bölgeler (C) 153
Sahra 61
Salgınlar 20, 132, 146

Sarah Silverman 174, 176, 190, 204
SARS-CoV-2 132, 149, 200, 209
S. Blair Hedges 129
Seth MacFarlane 25, 174, 175, 189, 203, 206
Sığır Vebası Virüsü 131
Sialik Asit Sentaz 122
Sigara İçmek 169, 203
Sinek Kuşları 37
Sistein 116
Sitozin (C) 98
Slapstick 171, 203
Smithsonian Enstitüsü 62, 63
Somatik Hipermutasyon 155
Sperm 103, 141, 142, 143, 144, 154, 155, 173
Stella Pajunas 101
Stephen Colbert 11
Stephen Crohn 145
Stephen Quake 103, 198
Sudan 61
Sudhir Kumar 129
Susumu Tonegawa 154
Süpernovalar 46
Sürücü Mutasyonları 165, 167, 170
Sürüngenler Çağı 25, 29, 193

Ş
Şempanzeler 108, 109, 128, 130

T
Tembel Hayvanlar 78
Thomas Malthus 80
T Hücreleri 147, 150
Timin (T) 98
Timothy McDaniel 16, 192
Timsahlar 36, 193
Titan'ın Sirenleri 174, 176
toynaklılar 37, 47
Tozlaşma 86
Trizomi 145, 201
Tümörler 162, 163, 165, 167, 168
Türlerin Kökeni 84, 85, 88, 197
Türleşme 129, 130
Tyrannosaurus Rex 35

U
Ultraviyole Radyasyon 167
Uyum 22, 38, 60, 63

V
Virüsler 131, 149
Volkanlar 46

W
Wallace 84, 85
Walter Alvarez 27, 28, 30, 31
Will Cuppy 25
William Bligh 72
William Paxton 147

X
Xanthopan Morganii Praedicta 87, 88, 209
X Kromozomu 141, 144

Y
Yağmur Suyu 51
Yarasa 38, 132
Yarış Güvercini 111
Yatkınlık (Afinite) Olgunlaşması 151
Yılanlar 36, 158, 194
Yılan Tutma 138
Yıldırım Çarpması 158
Yıldız Orkide 88
Yolcu Mutasyonlar 165
Yörüngesel Döngüler 57
Yucatan Yarımadası 32
Yumuşakçalar 47
Yunuslar 38
Yünlü Mamut 46, 127, 199

Z
Zebralar 62
Zebrat 108
Zehir 138
Zubron 108
Zürafalar 61, 62, 87

Ünlü yazar ve biyolog Sean B. Carroll'dan yaşamlarımız ve üzerinde yaşadığımız şu dünyada şansın şaşırtıcı gücüne dair heyecan verici, hayranlık uyandıran bir öykü bu.

Dünya neden bu şekilde? Bizler buraya nasıl geldik? Her şeyin bir nedeni var mıdır, yoksa kimi şeyler şansa mı bırakılmıştır? Filozoflar ve teologlar bu sorulara binlerce yıldır kafa yoruyor, ancak son yarım yüzyıldaki şaşırtıcı bilimsel keşifler, şansın yön verdiği bir dünyada yaşadığımızı ortaya koyuyor. Şanlı Olaylar Dizisi, şansın müthiş gücünü ve canlılar dünyasındaki tüm güzellik ve çeşitliliğin şaşırtıcı kaynağını anlatıyor.

Diğer tüm türler gibi biz insanlar da tesadüfen buradayız. Ancak herhangi birimizin var olabilmesi için ne kadar çok şeyin belirli koşullarla gerçekleşmiş olması gerektiği şaşırtıcıdır. Son derece olasılık dışı bir asteroid çarpmasından, Buzul Çağı'ndaki keskin değişimlere, ebeveynlerimizin gonadlarındaki görünmez kazalara kadar, hepimiz şaşırtıcı bir dizi şanslı olay sayesinde buradayız. Şans, yaşamla ölüm arasındaki o kıldan ince çizgide her gün hüküm sürmeye devam ediyor.

Elinizdeki bu eser, gerçekten bu büyük olguya ilişkin nispeten küçük hacimli bir kitap, fakat aynı zamanda coşkulu bir öyküdür. Monty Python, Kurt Vonnegut ve diğer büyük düşünürlerden esinlenen, günümüzün en başarılı bilim öykücülerinden biri tarafından kaleme alınan Şanslı Olaylar Dizisi, hayatın en önemli ama en az takdir edilen gerçeklerinden birinin karşı konulmaz derecede eğlenceli ve düşündürücü bir anlatımı.

Orenda

Şanslı Olaylar Dizisi
Sean B. Carroll

orendakitap.com

@orendakitap

ISBN: 978-605-71641-4-8