

# RICHARD DAWKINS

YAŞAMA  
DARWİNCİ  
BİR BAKIŞ

CENNETTEN

AKAN IRMAK

[www.richarddawkins-turkey.blogspot.com](http://www.richarddawkins-turkey.blogspot.com)

Mail: [richarddawkins.net@gmail.com](mailto:richarddawkins.net@gmail.com)



Varlık / Bilim

# CENNETTEN AKAN IRMAK

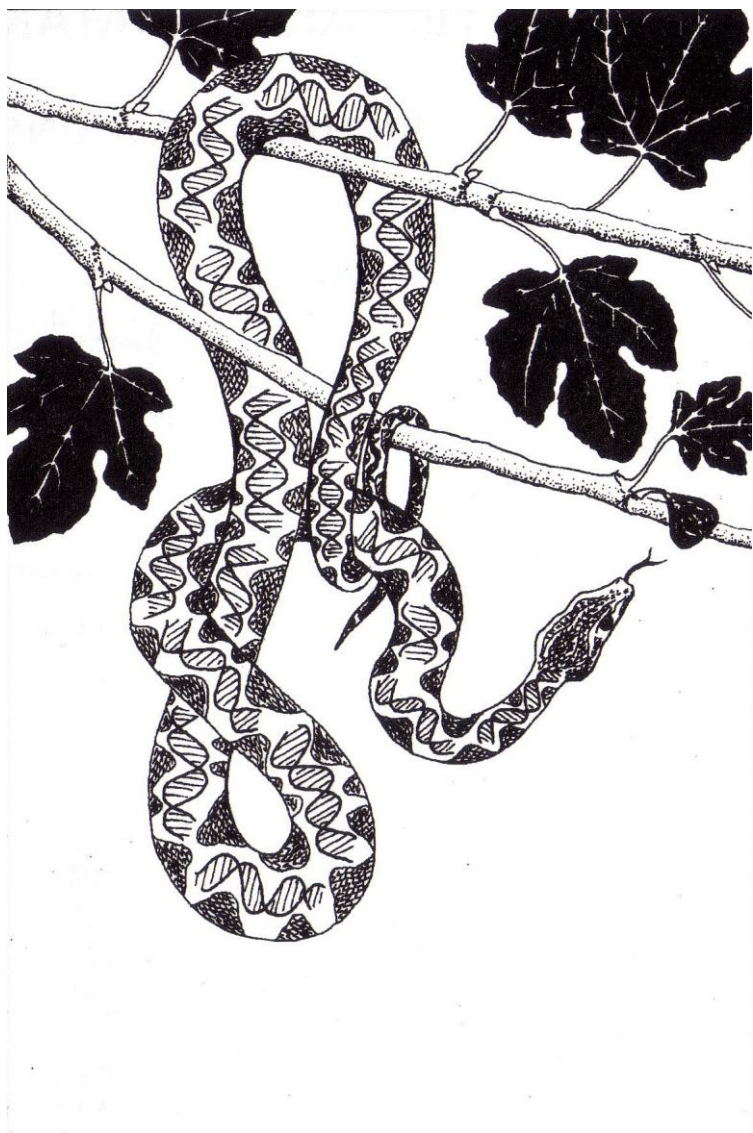
RICHARD DAWKINS



Türkçesi:

SİNEM GÜL

VARLIK/BİLİM



Henry Colyear Dawkins'in (1921-1992) anısına

Ve bahçeyi sulamak için cennetten bir ırmak aktı.

Tekvin 2:10

# İÇİNDEKİLER

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Önsöz                         | 9   |
| 1 Sayısal Irmak               | 13  |
| 2 Tüm Afrika ve Torunları     | 39  |
| 3 Saman Altından Su Yürütmek  | 65  |
| 4 Tanrı'nın Yararlılık İşlevi | 97  |
| 5 Kopyalanma Bombası          | 133 |
| Bibliyografya                 | 157 |

Sonsuza dek süren  
 Bilardo ve bilardo ve bilardolarını oynayan  
 Milyarlarca ve milyarlarca ve milyarlarca  
 Parçacığın popüler adı olmalı, Doğa.

*-Piet Hein*

Piet Hein fiziğin klasik, saf dünyasını bu sözlerle yakalamış. Ama atomik bilardo oyununda topların sekişi rastlantı sonucu, görünüşte masum, belirli bir özelliğe sahip bir nesne oluşturduğunda, evrende çok önemli bir şey gerçekleşiyor. Bu özellik, kendini kopyalama yeteneğidir; yani nesne, etrafındaki malzemeleri kullanarak, kopyalamada zaman zaman olabilen küçük hataların aynen tekrarı da dâhil olmak üzere, kendisinin tıpatıp kopyalarını yapabilmektedir. Evrenin herhangi bir yerinde, bu benzersiz olayın neticesinde olacak şey, Darwinci seçim ve bu gezegende yaşam adını verdiğimiz barok fantezidir. Asla bu kadar çok gerçek, bu kadar az varsayımla açıklanmamıştı. Darwinci kuram yalnızca üstün bir açıklama gücüne sahip değildir; açıklamasındaki ekonomikliğin güç dolu bir zarafeti, dünyanın en unutulmaz başlangıç mitlerine bile üstün gelecek şiirsel bir güzelliği vardır. Bu kitabı yazmaktaki amaçlarımdan biri, Darwinci yaşama dair modern anlayışımızın esinlendirici niteliğini sergilemektir. Mitokondriyal Havva, mitolojik adaşından çok daha şiirseldir.

Yaşamın, David Hume'un sözleriyle, "bunun üzerinde düşünmüş tüm insanları en fazla hayran bırakan" özelliği —Charles Darwin'in "aşın mükemmel ve karmaşık organlar" adını verdiği— mekanizmalarının görünürdeki bir amacı karmaşık ayrıntılarla gerçekleştirmeleridir. Yeryüzündeki yaşamın bizi etkileyen diğer özelliği, bereketli çeşitliliğidir: Tür sayısına dair tahminlerle ölçersek, hayatını sürdürmenin on milyonlarca farklı yolu vardır. Amaçlarımdan bir diğeri de, "hayatını sürdürme yolları"nın, "DNA şifreli metinleri geleceğe geçirme yolları"yla eşanlamı olduğuna okurlarımı ikna etmektir. Benim "ırmağım" jeolojik zaman boyunca akıp kollara ayrılan bir DNA ırmağıdır; ırmağın iki yakasında, tüm türlerin genetik oyunlarını sınırlayan sarp yamaçlar eğrilemesi ise şaşırtıcı derecede güçlü ve yararlı bir açıklama aracı oluyor.

Şu ya da bu şekilde, tüm kitaplarım Darwinci ilkenin neredeyse sınırsız gücünü açıklamaya ve keşfetmeye adanmıştır; ilk kendini kopyalamanın sonuçlarının ortaya çıkması için yeterli zamanın olduğu her yerde ve zamanda beliren bir güçtür bu. *Cennetten Akan Irmak* bu misyonu sürdürüyor ve şimdiye kadar alçakgönüllü kalan atomik bilardo oyununa kopyalayıcılar olgusu dâhil edildiğinde meydana gelebilen tepkilerin öyküsünü dünya dışı bir doruğa ulaştırıyor.

Bu kitabı yazarken Michael Birkett, John Brockman, Steve Davies, Daniel Dennett, John Krebs, Sara Lippincott, Jerry Lyons ve özellikle, çizimleri de yapan eşim Lalla Ward'ın desteklerinden, teşviklerinden, önerilerinden ve yapıcı eleştirilerinden yararlandım. Kimi paragraflar daha önce başka yerlerde yayınlanan makalelerden yararlanılarak yazılmıştır. 1. Bölüm'deki, sayısal (dijital) ve örneksel (analog) şifreler hakkındaki bölümler, 11 Haziran 1994 tarihinde *The Spectator*'da yayınlanan makaleme dayanmaktadır. 3. Bölüm'deki, Dan Nilsson ve Susanne Pelger'in gözün evrimi konusundaki çalış-



malarıyla ilgili anlatım ise kısmen, 21 Nisan 1994'te *Nature'da* yayınlanan "News and Views" (Haberler ve Görüşler) makalemden alındı. Söz konusu makaleleri sipariş eden bu dergilerin editörlerine teşekkür ederim. Son olarak, beni Bilimin Ustaları dizisine katılmaya davet eden John Brockman ve Anthony Cheetham'a teşekkür ederim.

*Oxford, 1994*



## 1. B O L Ü M

### SAYISAL I R M A K

Tüm halkların kabileci atalarına dair epik efsaneleri vardır ve bu efsaneler çoğunlukla, dini kültlere dönüşerek resmileşirler. İnsanlar atalarını sayar, hatta onlara tapınırlar — bunda da haklıdırlar, çünkü yaşamı anlamının anahtarı doğaüstü tanrılarda değil, gerçek atalardadır. Doğan tüm organizmaların çoğu erişkinliğe ulaşmadan ölür. Hayatta kalıp üreyen azınlık arasından daha da küçük bir azınlığın, bin kuşak sonra yaşayan bir torunu olacaktır. Bu küçücük azınlığın azınlığı, bu ata soyu seçkinleri, gelecek kuşaklar tarafından ata olarak adlandırılacak olan tek şeydir. Atalar ender, torunlar ise yaygındır.

Yaşamış olan tüm organizmalar —tüm hayvan ve bitkiler, tüm bakteri ve mantarlar, tüm sürünen şeyler ve bu kitabın tüm okurları— atalarına bakıp, gururla şöyle diyebilirler: Atalarımızdan hiçbiri bebekliği sırasında ölmedi. Hepsi yetişkinliğe erişti ve yine hepsi en azından bir heteroseksüel eş bulup çiftleşmeyi başarabildi.\* Atalarımızdan hiçbiri, dünyaya en azından bir çocuk getirmeden, bir düşman, ya da bir virüs, ya da bir uçurumun kenarında atılan yanlış bir adım yüzünden ölmedi. Atalarımızın çağdaşlarından binlercesi bu açılardan başarısızlığa uğradı, ama bizim atalarımızdan bir tanesi bile bun-

(\*) Aslında, istisnalar var .Kimi hayvanlar, örneğin yaprak bitleri, çiftleşmeden ürerler . Yapay dölleme gibi teknikler modern insanların çiftleşmeden, hatta—bir dişicenininden tüpte dölleme amacıyla yumurta alınabileceğinden— yetişkinliğe erişmeden çocuk sahibi olmalarını mümkün kılar. Ama çoğu bakımdan, vurguladığım noktanın geçerliliği azalmaz.

lardan herhangi birinde başarısız olmadı. Bunlar görünüşte basit sözler belki, ama bu basit sözlerden pek çok sonuç çıkıyor: Tuhaf ve beklenmedik, açıklayıcı ve şaşırtıcı pek çok sonuç. Bütün bu konular, bu kitabın teması olacaktır.

Tüm organizmalar genlerini atalarının başarısız çağdaşlarından değil, atalarından aldıkları için, genellikle, başarılı genlere sahiptirler. Ata olmak —yani, hayatta kalıp üremek— için gerekenlere sahiptirler. Organizmaların genellikle, iyi tasarlanmış bir makine —bir ata olmaya uğraşıyormuş gibi etkin bir biçimde işleyen bir beden— üretmeye eğilimli genleri miras almalarının nedeni budur. Kuşların böylesine iyi uçmalarının, balıklarının böylesine iyi yüzmelerinin, maymunların böylesine iyi tırmanmalarının ve virüslerin böylesine iyi yayılmalarının nedeni budur. Yaşamı, seks ve çocukları sevmemizin nedeni budur. Tek bir istisna olmaksızın, hepimizin tüm genlerimizi, başarılı atalardan oluşan, kesintiye uğramamış bir soy ağacından almamızdır. Dünya, ata olmak için gereken şeylere sahip olan organizmalarla dolar. Bu, tek cümleyle, Darwinciliktir. Elbette Darwin bundan çok daha fazlasını söylemiştir ve günümüzde bizim söyleyebileceğimiz çok daha fazla şey vardır; dolayısıyla, elinizdeki kitap da bu noktada sona ermiyor.

Bir önceki paragraf derinden zarar verecek ve doğal bir şekilde yanlış anlaşılabilir. Atalar başarılı şeyler yaptıklarında, çocuklarına aktaracakları genlerin, sonuç olarak, ebeveynlerinden aldıkları genlere göre daha üstün olduğunu düşünmeye yatkınsızdır. Sanki başarılarıyla ilgili bir şey genlerine bulaşır ve torunlarının uçmakta, yüzmekte, kur yapmakta böylesine iyi olmalarının nedeni de budur. Yanlış, tamamen yanlış! Genler kullanıldıkça değişmez, çok ender hatalar dışında, değişmeden sadece aktarılır. İyi genleri üreten başarı değildir. Başarıyı üreten iyi genlerdir ve bir bireyin yaşam boyu yaptığı hiçbir şey genlerini etkilemez, iyi genlerle doğan bireylerin başarılı

atalar olacak şekilde büyümeleri olasılığı yüksektir; dolayısıyla, iyi genlerin geleceğe aktarılması, kötü genlere göre daha olasıdır. Her kuşak bir filtre, bir süzgeçtir: iyi genler süzgeçten geçip bir sonraki kuşağa aktarılmaya yatkındır; kötü genler ise, genellikle genç yaşta ya da üremeden ölen bedenlerde son bulurlar. Kötü genler, belki de bir bedeni iyi genlerle paylaşma şansına sahip oldukları için, bir ya da iki kuşak boyunca süzgeçten geçebilirler. Ama arka arkaya bin süzgeçten başarıyla geçmek için şanstın çok daha fazlasına ihtiyaç vardır. Art arda bin kuşaktan sonra, hâlâ varlıklarını sürdürenler, büyük olasılıkla iyi genlerdir.

Kuşaklar boyunca varlığını koruyan genlerin, ataları oluşturmakta başarıya ulaşanlar olacağını söyledim. Bu doğrudur, ama kafa karıştırmasına yol açmadan ele almam gereken bir istisna daha var. Kimi bireyler giderilemeyecek şekilde kısırdırlar, ama genlerinin gelecek kuşaklara geçirilmesine yardım edecek şekilde tasarlanmış gibidirler, işçi karıncalar, arılar, yabanarıları ve termitler kısırdır. Ata olmak için değil, doğurgan akrabalarının, çoğunlukla da erkek ve kız kardeşlerinin ata olmalarını sağlamak için uğraş verirler. Burada anlamamız gereken iki nokta var. Birincisi, tüm hayvan türlerinde kız ve erkek kardeşlerin aynı genlerin kopyalarını taşımaları olasılığı yüksektir, ikincisi, sözgelimi bir termitin üretici mi yoksa kısır bir işçi mi olacağını genler değil, çevre belirler. Tüm termitler, bazı çevre koşulları altında kısır işçilere ve başka koşullar altında da üreticilere dönüşmelerini sağlayacak genler taşır. Üreyenler, kısır işçilerin üremelerine yardım etmelerini sağlayan genlerin kopyalarını aynen aktarırlar. Kısır işçiler, kopyaları üreyenlerin bedenlerinde bulunan genlerin etkisiyle, sürekli çalışırlar. Bu genlerin işçi kopyaları, kendi üreyebilen kopyalarının kuşaklar arası süzgeçten geçmesine yardım etmek için çaba harcarlar. İşçi termitler erkek ya da dişi olabilir; ama karın-

calarda, arılarda ve yabanarılannnda işçilerin tamamı dışıdır; bunun dışında, ilke aynıdır. Biraz sulandırılmış biçimde bu durum, ağabey ya da ablaların küçüklere bir derecede baktığı çeşitli kuş türleri, memeliler ve diğçer hayvanlar için de geçerlidir. Özetle, genler süzgeçten yalnızca kendi bedenlerine ata olması için yardım ederek değıl, bir akrabanın bedeninin ata olmasına yardım ederek de geçebilirler.

Başlıkta kullandığım ırmak, bir DNA ırmağıdır ve uzam içinde değıl, zaman içinde akar. Kemik ve dokulardan değıl, bilgiden oluşan bir ırmaktır: katı bedenlerden değıl, beden inşa etmeye ait soyut talimatlardan oluşan bir ırmaktır. Bilgi bedenlerden geçer ve onları etkiler, ama yol boyunca onlardan etkilenmez. İrmağın etkilenmediğı tek şey, içinden aktığı birbirini izleyen bedenlerin deneyimleri ve başarıları değıldir. Çok daha güçlü bir potansiyel kirlenme kaynağından da etkilenmez: Seks.

Hücrelerinizin her birinde annenizin genlerinin yarısı, babanızın genlerinin yarısıyla omuz omuza durur. Annenizden gelen genlerinizle babanızdan gelen genleriniz çok yakın bir işbirliği içinde, sizi şu anda olduğunuz incelikli ve bölünmez bileşime dönüştürürler. Ama genlerin kendileri karışmaz. Yalnızca etkileri karışır. Gen, çakmak taşı gibi bir bütünlüğe sahiptir. Bir sonraki kuşağı geçme zamanı geldiğinde, belli bir çocuğın bedenine ya gider, ya da gitmez. Babadan alınan genlerle anneden alınan genler karışmaz; birbirlerinden bağımsız olarak, yeni bir kombinasyona girerler. Bedeninizdeki belli bir gen ya annenizden gelmiştir, ya da babanızdan. Ayrıca, dört büyük ebeveyninizin yalnızca birisinden; sekiz büyük büyük ebeveyninizin yalnızca birisinden, gelmiştir, vb.

Gen ırmaklarından söz ettim; ama aynı şekilde, jeolojik zaman içinde ilerleyen iyi bir yoldaş topluluğundan da söz edebiliriz. Üreyen bir halkın tüm genleri, uzun vadede, birbirlerinin

yoldaşıdır. Kısa vadede, ayrı bedenlerde barınır ve geçici olarak, o bedeni paylaşan diğer genlerin daha yakın yoldaşları olurlar. Genler ancak, türün seçtiği belirli yaşam tarzı içinde yaşama ve üreme becerisine sahip bedenler inşa etmeyi başarırlarsa çağlar boyunca varlıklarını sürdürebilirler. Ama bundan fazlası da var. Bir gen, varlığını sürdürebilmek için, aynı türdeki —aynı ırmaktaki— diğer genlerle birlikte çalışma hecelisine sahip olmalıdır. Uzun vadede varlığını korumak için, iyi bir yoldaş olmalıdır. Aynı ırmaktaki diğer genlerin yanında ya da arka planında başarılı olmalıdır. Başka bir türün genleri başka bir ırmaktadır. Birbirleriyle —en azından, aynı anlamda— iyi geçinmeleri gerekmez, çünkü aynı bedenleri paylaşmak zorunda değildirler.

Bir türü tanımlayan özellik, herhangi bir türün tüm üyelerinin içlerinden aynı gen ırmağının geçmesi ve bir türdeki tüm genlerin birbirlerine iyi yoldaşlık etmeye hazır olmalarının gerekmesidir. Mevcut bir tür ikiye ayrıldığında, yeni bir tür var olur. Gen ırmağı zamanla çatallanır. Genin bakış açısından *türleşme*, yeni bir türün başlangıcı, "elveda" anlamına gelir. Kısa bir kısmî ayrılma döneminden sonra, iki ırmağın yolları sonsuza dek ya da biri kumda kuruyup yok olana dek, ayrılır. İki ırmaktan birinin kıyıları arasında emniyette olan su, cinsel yeniden birleşmeyle tekrar tekrar karışır. Ama asla kıyılarını aşarak başka bir ırmağı kirletmez. Bir tür bölündükten sonra, iki ayrı gen dizisi artık yoldaş değildir. Artık aynı bedenlerde buluşmazlar ve iyi geçinmelerine gerek yoktur. Aralarında hiçbir ilişki kalmamıştır; burada ilişki, sözlük anlamıyla, geçici taşıtları olan bedenleri arasındaki cinsel ilişki anlamına gelmektedir.

İki tür neden bölünür? Genlerinin ebediyen ayrılmalarını başlatan şey nedir? İrmağın bölünmesine ve iki kolun bir daha asla birleşmeyecek şekilde ayrılmasına yol açan nedir? Ayrıntılar tartışmalıdır, ama en önemli unsurun rastlantısal coğrafi ay-

nlma olduğundan kimsenin kuşkusu yok. Gen ırmağı zaman içinde akar, ama genlerin fiziksel olarak yeniden eşleşmesi sağlam bedenlerde gerçekleşir ve bedenler de uzamda bir yer kaplar. Kuzey Amerika'daki bir gri sincap ingiltere'deki bir gri sincapla karşılaşırsa, çiftleşebilir. Ama karşılaşmaları pek olası değildir. Kuzey Amerika'daki gri sincap genlerinin ırmağı, İngiltere'deki gri sincap genlerinin ırmağından üç bin millik bir okyanusla ayrılmıştır. Fırsat çıkması durumunda iyi yoldaşlar gibi davranmaları mümkünse de, iki gen grubu aslında artık yoldaş değildir. Vedalaşmışlardır, ama bu — henüz— geri dönüşü olmayan bir ayrılık değildir. Ancak iki ırmağın birkaç bin yıl daha ayrı kalması durumunda, sincapların, karşılaşsalar bile artık gen değiş tokuşu yapamayacak kadar, birbirlerinden uzaklaşmaları olasıdır. Burada "uzaklaşma", uzamda değil de bağdaşırlık açısından ayrılma anlamına gelir.

Gri sincaplarla kııl sincaplar arasındaki daha eski tarihli ayrılığın ardında da büyük olasılıkla buna benzer bir şey yatmaktadır. Bu iki tür iftleşemez. Avrupa'nın bazı bölgelerinde coğrafi bakımdan birlikte yaşarlar, ama karşılaşmalarına ve zaman zaman muhtemelen yiyecek yüzünden birbirlerine kafa tutmalarına rağmen, çiftleşerek doğurgan yavrular üretmeleri mümkün değildir. Genetik ırmağları birbirlerinden çok uzağa sürüklenmiştir ve bu da, genlerin bedenlerin içinde birbirleriyle işbirliği yapmaya artık uygun olmadığı anlamına gelir. Pek çok kuşak önce, gri sincaplarla kııl sincapların ataları aynı bireylerdi. Ama birbirlerinden coğrafi olarak ayrıldılar — belki bir silsilesiyle, belki sularla ve sonunda, Atlantik Okyanusu'yla. Ve genetik grupları birbirinden ayrı gelişti. Coğrafi ayrılık bir uyumsuzluk yarattı. İyi yoldaşlar, kötü yoldaşlara dönüştü (ya da eşleşme amacıyla karşılaştıklarında, kötü yoldaşlar oldukları ortaya çıkacaktır). Kötü yoldaşlar giderek daha da kötüleşti ve sonunda, yoldaş olmaktan ıktılar. Vedalaşmaları



nihai oldu. İki ırmak artık birbirinden ayrı akıyor ve giderek daha da ayrılacaklar. Bizim atalarımızla fillerin ataları; ya da, (bizim de atalarımız olan) devekuşu atalarıyla, akreplerin ataları arasındaki, çok daha önceleri yaşanan ayrılmanın ardında da aynı öykü yatıyor.

Şu anda DNA ırmağının belki de otuz milyon kolu var, çünkü yeryüzündeki tür sayısının bu kadar olduğu tahmin ediliyor. Ayrıca, varlığını koruyan türlerin, başlangıçtan şimdiye dek yaşamış olan türlerin yaklaşık % 1'ini oluşturduğu sanılıyor. Demek ki, bütün DNA ırmağından üç milyar kol çıkmış. Günümüzdeki otuz milyon ırmak kolu, geri dönüşü olmayacak şekilde birbirinden ayrı. Bunların pek çoğu kuruyup yok olmaya mahkûmdur, çünkü türlerin çoğunun soyu tükeniyor. Otuz milyon ırmağı (sözü uzatmamak için, ırmak kollarına da ırmak diyeceğim) geçmişe doğru izlerseniz, birer birer başka ırmaklarla birleştiklerini görürsünüz. İnsan genleri ırmağı şempanze genleri ırmağıyla yedi milyon yıl önce, goril genleri ırmağıyla yaklaşık olarak aynı zamanlarda birleşir. Birkaç milyon yıl daha geriye gidildiğinde, Afrikalı insansımaymunlarla paylaştığımız ırmağımıza orangutan genleri ırmağı karışır. Daha da geri gidildiğinde, bir gibbon genleri ırmağıyla birleşiriz; —akıntı yönünde bir dizi farklı gibbon ve siyamang türlerine bölünen bir ırmaktır bu. Daha da eskilerde genetik ırmağımız; tekrar ileriye doğru izlendiğinde Eski Dünya maymunları, Yeni Dünya maymunları ve Madagaskar lemurları kollarına ayrılacak olan ırmaklarla birleşir. Daha da gerilerde, diğer önemli memeli gruplarına giden ırmaklarla birleşir: Kemirgenler, kediler, yarasalar, filler. Bundan sonra, sürüngenlerin, kuşların, ikiyaşayışlıların (hem suda hem karada yaşayanların), balıkların, omurgasızların çeşitli türlerine giden ırmaklarla birleşiriz.

Burada, ırmak eğrilemesi hakkında ihtiyatlı olmamız gereken önemli bir yön var. Tüm memelilere giden yol ayrımını

düşünürken —sözgelimi, yalnızca gri sincaba giden ırmağın tersine— çok büyük, Mississippi-Missouri ırmakları boyutunda bir şey tasavvur etmeye eğilim duyarız. Ne de olsa memeli kolu —cüce sivrifareden file, yeraltındaki köstebeklerden ağaç tepelerindeki maymunlara— tüm memelileri üretene dek sürekli dallanıp budaklanacaktır. İrmağın memeli kolu binlerce önemli ana su yolunu besleyecektir; bu durumda, son derece büyük, çağlayarak akan bir ırmaktan başka ne olabilir? Ama bu imge temelden yanlıştır. Tüm modern memelilerin atalarının memeli olmayanlardan ayrılımları, başka herhangi bir türleşmeden daha önemli değildi. O dönemde yaşamış bir doğa bilimci bunu fark etmeyebilirdi. Gen ırmağının yeni kolu, kırmızı sincap gri sincaptan ne kadar farklıysa, memeli olmayan kuzenlerinden en fazla o kadar farklı olan küçük bir gece yaratığı türünü barındıran bir sızıntı olacaktı. Ata memeliyi ancak sonradan geriye baktığımızda memeli olarak görüyoruz. O günlerde yalnızca, memeli benzeri sürüngen türlerinden biri olarak ve belki de dinazorlara yem olan diğer küçük, uzun burunlu, böcekçillerden pek de farklı görünmemiş olsa gerek.

Tüm büyük hayvan gruplarının ataları arasındaki daha önceki ayrılma da aynı derecede sönük geçmiş olmalı: Omurgalılar, yumuşakçalar, kabuklular, böcekler, halkalı solucanlar, yassı solucanlar, denizanası vb. Yumuşakçalara (ve diğerlerine) gidecek olan ırmak, omurgalılara (ve diğerlerine) gidecek olan ırmaktan ayrıldığında, (muhtemelen solucan benzeri) iki yaratık grubu çiftleşebilecek kadar birbirinin benzeri olmalıydı. Çiftleşmemelerinin tek nedeni, belki de daha önceleri birleşik olan suları ayıran bir toprak parçası gibi bir coğrafi engelle rastlantısal olarak birbirlerinden ayrılımlarıydı. Bir grubun yumuşakçaları, diğerinin de omurgalıları üreteceğini kimse tahmin edemezdi. İki DNA ırmağı birbirinden ancak ayrılabilmiş dereciklerdi ve iki hayvan grubunu ayırt etmek olanaksızdı.

Hayvanbilimciler bunları bilir, ama yumuşakçalar ve omurgalılar gibi gerçekten büyük hayvan grupları üzerinde düşünürken bazen unuturlar. İki büyük grup arasındaki ayrımı çok önemli bir olay olarak görme eğilimindedirler. Hayvanbilimcilerin bu denli yanılabilmelerinin nedeni, hayvanlar krallığında- ki her büyük ayrımın, genellikle Almanca *Bauplan* sözcüğüyle tanımlanan, alabildiğine benzersiz bir şeyle donanmış olduğu inancıyla yetiştirilmeleridir. Bu sözcük sadece "plan taslağı" anlamına gelmekle birlikte, yaygın olarak bilinen bir teknik terim haline gelmiştir ve Oxford İngilizce Sözlüğü'nün mevcut basımında henüz yer almamasına karşın, ben bunu İngilizce bir sözcük gibi kullanacağım. (Bu sözcükten bazı meslektaşlarım kadar hoşlanmadığım için, yokluğunda hafif bir *Schadenf-reude frissonuna*.\* kapıldığımı itiraf etmeliyim; bu iki yabancı sözcük Oxford'da var, demek ki, sözcük ithaline karşı sistematik bir önyargı söz konusu değil.)

Teknik açıdan "bauplan" genellikle "temel yapı planı" olarak çevrilir. Zarar verici olan, "temel" sözcüğünün kullanılmasıdır (ya da aynı şekilde, derinlik göstergesi olarak Almanca'ya başvurulmasıdır). Bu, hayvanbilimcilerin ciddi hatalar yapmalarına yol açabilir.

Örneğin, bir hayvanbilimci, Kambriyen dönemdeki (yaklaşık altı yüz milyon ile beş yüz milyon yıl öncesi arasındaki zaman) evrimin, sonraki dönemlerdeki evrimden tamamen farklı bir süreç olması gerektiğini öne sürmüştü. Ona göre günümüzde yeni türler oluşuyordu; Kambriyen dönemde ise yumuşakçalar ve kabuklular gibi büyük gruplar ortaya çıkmaktaydı. Ne kadar bariz bir mantık hatası! Yumuşakçalar ve kabuklular gibi birbirlerinden tamamen farklı olan yaratıklar bile aslında, aynı türün coğrafi olarak ayrılmış gruplarıydı. Bir süreliğine,

(\*) Schadenfreude (Alın.): Başkasının üzüntüsüne sevinmek. Frisson(Fr.): ani ve geçici heyecan, duygusal olarak titreme, ürperme. (Ç.N)

karşılaştıklarında çiftleşebilirlerdi; ama karşılaşmadılar. Milyonlarca yıl ayrı olarak evrimleştikten sonra, modern hayvanbilimcilerin geriye bakışıyla şimdi yumuşakçalar ve kabuklulara özgü olarak tanıdığımız özellikleri edindiler. Bu özellikler, gösterişli "temel yapı planı" ya da "bauplan" unvanıyla saygınlştırılıyor. Ama hayvanlar krallığının önemli "bauplan"ları ortak kökenlerinden aşamalı olarak uzaklaştılar.

Kuşkusuz, evrimin *ne denli* aşama aşama ya da "sıçrayarak cereyan" ettiği konusunda, çok sözü edilse de aslında önemsiz olan bir uyumsuzluk var. Ama kimse, hiç kimse, evrimin tek bir adımda yepyeni bir "bauplan" yaratacak kadar sıçrayarak cereyan ettiğini düşünmüyor. Sözü ettiğim yazar 1958'de yazıyordu. Günümüzde pek az hayvanbilimci açıkça onun görüşü- nü benimseyecektir; ama bazen büyük hayvan gruplarının, bir ata nüfusunun rastlantısal bir coğrafi yalıtım sırasında birbirinden ayrılmasıyla değil de, Athena'nın Zeus'un başından doğması gibi, sanki kendiliğinden ve mükemmel şekilde ortaya çıkmasından söz ederek bunu dolaylı olarak yapıyorlar.\*

Moleküler biyoloji çalışmaları büyük hayvan gruplarının birbirlerine eskiden sandığımızdan çok daha yakın olduklarını gösterdi. Genetik şifreyi, bir dildeki altmış dört sözcüğün (dört harfli bir alfabenin altmış dört olası üçlemesi) başka bir dildeki yirmi bir sözcüğe (yirmi aminoasit ve bir noktalama işareti) haritalandığı bir sözlük olarak görebilirsiniz. Aynı 64:21 ölçekli haritaya şans eseri iki kez ulaşma olasılığı bir milyon x milyon x milyon x milyon x milyonda birden azdır. Ama şimdiye dek incelenmiş tüm hayvan, bitki ve bakterilerde genetik şifre tamamen aynıdır. Yeryüzünde yaşayan tüm canlılar kesinlikle tek bir atadan gelmişlerdir. Buna kimse karşı çıkmayacaktır, ama yalnızca şifrenin kendisi değil, genetik bilginin ayrıntılı

(\*) Okurların. Stephen J. Gould'un Burgess'in Tortulu Şist Kambriyen faunası hakkındaki güzel anlatısı *Wonderful Life*'a başvururken bu noktaları akıld tutmaları yararlı olabilir.

dizgeleri de incelendiğinde, örneğin böceklerle omurgalılar arasında, şaşırtıcı derecede yakın bazı benzerlikler ortaya çıkıyor. Böceklerin yapı planının bölmeli olmasından hayli karmaşık bir genetik mekanizma sorumludur. Memelilerde de esrarengiz bir şekilde benzer bir genetik mekanizma parçası bulundu. Moleküler bakış açısından, tüm hayvanlar birbirlerinin ve hatta bitkilerin yakın akrabasıdır. Uzak akrabamızı bulmak için bakterilere kadar uzanmak gerekir; onlarda bile genetik şifre bizimkinin aynısıdır. "Bauplan"ların anatomisinde değil de, genetik şifrede böylesine hassas hesaplamalar yapabilmemizin nedeni, genetik şifrenin tamamen sayısal (dijital) olmasıdır ve rakamlar da tam olarak sayabileceğiniz şeylerdir. Gen ırmağı sayısal bir ırmaktır ve şimdi, bu mühendislik teriminin ne anlama geldiğini açıklamalıyım.

Mühendisler sayısal (dijital) ve örneksel (analog) şifreler arasında önemli bir ayrım yaparlar. Pikaplarda ve teyplerde — ve yakın zamanlara dek çoğu telefonda— örneksel şifre kullanılmıştır. Kompakt disklerde, bilgisayarlarda ve çoğu modern telefon sisteminde ise sayısal şifre kullanılır. Örneksel bir telefon isteminde, havadaki sürekli dalgalanan basınç dalgalan (sesler), yine bir telde dalgalanan voltaj dalgalarına aktarılır. Plak da benzer bir şekilde çalışır: Dalgalı plak olukları pikap iğnesinin titreşmesine yol açar ve iğnenin hareketleri mukabil voltaj dalgalanmalarına aktarılır. Hattın diğer ucunda bu voltaj dalgaları, bizim duyabilmemiz için, telefonun kulaklığında ya da pikabın hoparlöründe titreşen bir zarla yeniden hava basıncı dalgalarına dönüştürülür. Şifre basit ve doğrudandır: teldeki elektrik dalgalanmaları havadaki basınç dalgalanmalarıyla orantılıdır. Telden, belli sınırlar içinde, tüm olası voltajlar geçebilir ve aralarındaki farklar önemlidir.

Sayısal bir telefonda yalnızca iki olası voltaj —ya da 8 ve 256 gibi, olası voltajların başka bir kesikli sayısı— telden ge-

çer. Bilgi voltajlarda değil, kesikli sayı düzeylerinin şablonundadır. Buna Darbe Kod Modülasyonu (Pulse Code Modulation) denir. Herhangi bir zamanda gerçek voltaj, sözelimi sekiz nominal değerden birine nadiren tam olarak eşit olacaktır; ama alıcı cihaz bunu saptanmış voltajların en yakınına yuvarlayacak ve böylece, hat boyunca iletim kötü olsa bile, hattın diğer ucunda ortaya çıkan şey hemen hemen mükemmel olacaktır. Yapmanız gereken tek şey, rasgele dalgalanmaların alıcı cihaz tarafından yanlış düzey olarak yorumlanmasını önlemek için kesikli sayı düzeylerini birbirinden yeterince uzak yerleştirmektir. Sayısal şifrelerin büyük erdemi budur ve işitsel ve görsel sistemler —ve genelde bilişim teknolojisi— bu nedenle giderek sayısallaşmaktadır. Tabii ki, bilgisayarlarda yapılan her şeyde sayısal şifreler kullanılır. Kolaylık sağlamak amacıyla, ikili bir şifre kullanılır; yani, 8 ya da 256 yerine, sadece iki voltaj düzeyi vardır.

Sayısal bir telefonda bile, ahizenin ağız kısmından giren ve kulak kısmından çıkan sesler hava basıncındaki Örnekse dalgalanmalardır. Sayısal olan, bir santraldan diğer santrala giden bilgidir. Örnekse değerleri mikrosaniyesi mikrosaniyesine, kesikli darbe dizinlerine —sayısal olarak kodlanmış rakamlara— dönüştürecek bir tür şifre oluşturulması gerekir. Telefonda sevgilerinize yakardığınızda sesinizdeki her ayrıntı, her kısılma, her tutkulu iç geçiş ve her istekli ton telde yalnızca sayılar şeklinde iletilir. Sayılar sizi gözyaşlarına boğabilir —tabii, yeterince hızlı şifrelenip çözülürse. Modern elektronik devre anahtarları öylesine hızlıdır ki, hat zamanı, bir satranç ustasının zamanını sırayla yirmi oyun arasında bölüşürmesi gibi, dilimlere bölünebilir. Böylece, aynı telefon hattına, görünürde eşzamanlı, ama aslında elektronik olarak ayrılmış binlerce kesintisiz konuşma sığdırılabilir. Ana veri hattı —ki günümüzde bunların çoğu tel değil, ya bir tepeden diğerine doğrudan aktarılan, ya

da uydularla yansıtılan radyo yayınlarıdır— büyük bir sayı ırmağıdır. Ama bu ustaca elektronik ayırım sayesinde, aynı ırmak kıyılarını ancak yüzeysel anlamda paylaşan binlerce sayısal ırmak vardır —tıpkı, aynı ağaçları paylaşan ama asla genlerini karıştırmayan kırmızı ve gri sincaplar gibi.

Mühendislerin dünyasında Örneksele sinyallerin kusurları, sürekli kopyalanmadıkça, fazla önem taşımaz. Bir teyp kaydında güçlölle fark edebileceğiniz bir cızırtı olabilir —ama sesi yükseltirseniz cızırtıyı da yükseltir, ayrıca yeni gürültüler de eklersiniz. Ama kaseti başka bir kasete ve ardından bunu da başka bir kasete çekerseniz, yüz "kuşak" sonra geriye sadece tek korkunç bir cızırtı kalır. Tüm telefonların Örneksele olduğu zamanlarda buna benzer bir sorun yaşanırdı. Uzun bir hat boyunca, tüm telefon sinyalleri zayıflar ve yaklaşık her yüz milde (160 km) bir yükseltilmeleri gerekir. Örneksele sistemlerin kullanıldığı günlerde bu önemli bir hata kaynağıydı, çünkü her yükseltme aşamasında arka plandaki cızırtı oranı yükseliyordu. Sayısal sinyallerin de yükseltilmesi gerekir. Ama daha önce gördüğümüz nedenden dolayı, yükseltme hata getirmez: her şey, araya kaç yükseltme istasyonu girerse girsin, bilginin mükemmel şekilde iletilmesini sağlayacak şekilde düzenlenebilir. Yüzlerce milde bile cızırtı artmaz.

Çocukluğumda annem bana sinir hücrelerimizin bedenimizin telefon telleri olduğunu söylemişti. Ama bunlar Örneksele midir, yoksa sayısal mı? Aslında, ikisinin ilginç bir bileşimidir. Sinir hücresi, elektrik teli gibi değildir. Kimyasal değişim dalgalarının, yerde hisırdayarak yanan dinamit fitili gibi geçtiği uzun, ince bir tüptür — yalnızca, fitilin tersine, sinir kısa zamanda toparlanır ve kısa bir dinlenme döneminden sonra yeniden ateşlenerek hisırdayabilir. Dalganın mutlak büyüklüğü — fitilin ısısı— sinir içinde hızla ilerlerken iniş ve çıkışlar gösterebilir, ama şifre bunu göz ardı eder. Sayısal bir telefondaki iki

kesikli voltaj düzeyi gibi, kimyasal darbe ya vardır ya da yoktur. Sinir sistemi bu açıdan sayısaldır. Ama sinir dürtüleri bit'lere dönüştürülmez: Kesik şifre sayıları halinde bir araya gelmezler. Bunun yerine, mesajın gücü (sesin yüksekliği, ışığın parlaklığı, hatta belki duygunun verdiği ıstırap) dürtülerin hızı olarak şifrelenir. Mühendislerin Darbe Frekans Modülasyonu (Pulse Frequency Modulalion) adını verdikleri bu sistem. Darbe Kod Modülasyonunun benimsenmesinden önce yaygındı.

Darbe hızı Örneksel bir niceliktir, ama darbeler sayısaldır: ya vardırlar, ya da yokturlar; ortası olmaz. Sinir sistemi de, herhangi bir sayısal sistem gibi bundan yararlanır. Sinir hücrelerinin çalışma şekli nedeniyle, her yüz milde değil, her milimetrede, yükselticiye eşdeğer olan bir şey —omurilikle parmağınızın ucu arasında sekiz yüz yükseltici istasyon— vardır. Sinir dürtüsünün mutlak yüksekliği —yanan fitil dalgası— önemli olsaydı, mesaj, bırakın bir zürafanın boynunu, insan kolu kadar mesafe alana dek bile tanınmayacak denli bozulurdu. Yükseltmedeki her adım, bir kaset kaydından sekiz yüz kez kaset kaydı çıkarıldığında olacağı gibi, daha çok rasgele hata getirirdi. Ya da, bir fotokopinin fotokopisinden fotokopi çektiğinizde olacağı gibi: Sekiz yüz fotokopi "kuşağından" sonra, geriye yalnızca gri bir leke kalır. Sayısal şifreleme, sinir hücresinin sorununa tek çözümü sunar ve doğal seçim de bunu gereğince benimsemiştir. Aynı şey genler için de geçerlidir.

Genin moleküler yapısını ortaya çıkaran Francis Crick ve James Watson, bence Aristoteles ve Eflatun gibi yüzyıllarca onurlandırılırlardır. Kendilerine "fizyoloji ya da tıp" dalında Nobel Ödülü verilmişti ve bu doğru olmakla birlikte neredeyse önemsiz bir konudur. Sürekli devrimden söz etmek kendi içinde bir çelişki gibi görünebilir, ama bu iki genç adamın 1953'te başlattığı düşünce değişiminin doğrudan sonucu olarak, yalnızca tıp değil, tüm yaşam anlayışımız tekrar tekrar



devrim yaşamayı sürdürecektir. Genler ve genetik hastalıklar, buzdağının ancak ucudur. Watson-Crick sonrası moleküler biyolojinin gerçek devrimci yönü, sayısallaşmış olmasıdır.

Watson ve Crick'ten sonra, genlerin çok küçük iç yapıları içinde saf sayısal bilgidен oluşan uzun diziler olduğunu öğrendik. Dahası, sinir sistemindeki gibi zayıf bir anlamda değil, bilgisayarlardaki ve kompakt disklerdeki gibi, tam ve kuvvetli anlamda sayısaldırlar. Genetik şifre, bilgisayarlardaki gibi ikili ya da bazı telefon sistemlerindeki gibi sekiz düzeyli bir şifre değil, dört simge içeren dörtlü bir şifredir. Genlerin makine şifresi şaşırtıcı şekilde bilgisayara benzer. Jargon farklılıkları bir yana bırakılırsa, bir moleküler biyoloji dergisinin sayfaları, bilgisayar mühendisliği dergisinin sayfalarıyla karıştırılabilir. Yaşamın ta özündeki bu sayısal devrim, diğer pek çok sonucunun yanı sıra, vitalizme de —canlı maddenin cansız maddeden tamamen ayrı olduğu inancına— öldürücü bir darbe vurdu.

1953'e dek, canlı protoplazmada temelden gizemli bir şey ol- duğuna inanmak hâlâ mümkündü. Artık değil. Mekanik bir yaşam görüşüne en baştan yatkın olan felsefeciler bile, en cüretkâr hayallerinin böylesine gerçekleşeceğini ummaya cesaret edememişlerdir.

Aşağıdaki bilimkurgu öyküsü, günümüzdekinden yalnızca biraz daha hızlı bir teknoloji olması şartıyla, gerçeğe dönüşebilir. Profesör Jim Crickson kötü niyetli bir yabancı güç tarafından kaçırılır ve biyolojik savaş laboratuvarlarında çalışmaya zorlanır. Uygarlığı kurtarmak için dış dünyaya çok gizli bir bilgi iletmek zorundadır, ama normal iletişim kanallarına ulaşması mümkün değildir. Bir tek kanal hariç. DNA şifresi, tüm büyük ve küçük harfleriyle İngiliz alfabesi ve ayrıca on rakam, bir aralık karakteri ve bir nokta için yeterli olacak altmış dört adet üçlü "kodon" içerir. Profesör Crickson laboratuvar rafın-

dan öldürücü bir grip virüsü alır ve virüsün genomuna dış dünya ile iletme islediği mesajın tam metnini mükemmel İngilizce cümleler halinde yükler . Kolayca taşıyabilecek bir " bayrak " dizini —diyelim ki , ilk on asal sayıyı — ekleyerek , yüklenmiş genomda mesajın tekrar tekrar yineler. Sonra kendisi ne virüsü bulaştırır ve insanlarla dolu bir odada hapsirir . Tüm dünyaya bir grip dalgası yayılır ve uzak ülkelerdeki tıp laboratuvarlarında, bir aşı tasarlamak amacıyla genomun dizinini çözme çalışmaları başlar . Kısa sürede , genomda sürekli tekrarlanan garip bir model olduğu anlaşılır. Sonunda birisi —kendiliğinden oluşması mümkün olma yanı — asal sayılardan kuşkulularak , şifre çözme tekniklerini uygulamaya karar verir . Bu noktadan sonra , Profesör Crickson' ın tüm dünyaya hapsiriklerle yayılan İngilizce metninin tamamının okunması uzun sürmeyecektir .

Gezegeneimizdeki her türlü yaşamın evrensel sistemi olan genetik sistemimiz, özüne dek sayısaldır, insan genomunun şu anda " çöp " DNA'yla —yani, beden, en azından alışılmış şekilde kullanmadığı DNA'yla — dolu bölümleri ne Yeni Ahit' in tamamını sözcüğü sözcüğüne şifreleyebilirsiniz. Bedeninizdeki her hücrede, kırk altı dev veri kasetinin eş değeri bulunur ve bunlar, eşzamanlı olarak çalışan bir sürü okuma kafasıyla sayısal karakterleri okuyup durur. Tüm hücrelerde bu kasetler — kromozomlar— aynı bilgiyi içerir; ama farklı hücre türlerindeki okuyucu kafalar, kendi uzmanlaşmış amaçları için, veri tabanının farklı parçalarını ararlar. Kas hücreleri bu nedenle karaciğer hücrelerinden farklıdır. Ruh güdümlü bir yaşam gücü, zonklayan, inip kalkan, üreyen, protoplazmik, gizemli bir pelte yoktur. Yaşam yalnızca, bit' ler dolusu sayısal bilgidir.

Genler, saf bilgidir —hiçbir bozulmaya da anlam değişmesi olmadan şifrele ne bilen, yeniden şifrele ne bilen ve çözülebilen bilgi. Saf bilgi kopyalanabilir ve sayısal bilgi olduğu için, kop-

yalama hassasiyeti çok yüksek olabilir. DNA karakterleri, modern mühendislerin yapabilecekleri her şeyle boy ölçüşebilecek bir hassasiyetle kopyalanır. Kuşaklar boyunca, yalnızca arada bir çeşitliliği artıracak kadar hatalarla, sürekli kopyalanırlar. Bu çeşitlilik içinde, bu şifrelenmiş bileşimlerden, dün- yada sayısı artanlar bedenlerin içinde şifreleri çözülüp emirlerine uyulduğunda, bu bedenlerin aynı DNA mesajlarını korumak ve yaymak için etkin adımlar atmalarını sağlayan bileşimler olacaktır. Biz —yani tüm canlılar— programlamayı yapan sayısal veritabanını çoğaltıp yaymaya programlanmış, varkalım amaçlı makineleriz. Darwincilik şimdi, saf, sayısal şifre düzeyinde varlığını sürdürenlerin varkalımını anlamına geliyor.

Geriye bakıldığında, bunun başka türlü olamayacağı görülür. Örneksel bir genetik sistem düşünülebilirdi. Ama art arda kuşaklar boyunca sürekli kopyalanan Örneksel bilgiye ne olduğunu gördük. 'Kulaktan Kulağa' oyunundaki gibi; —Örneksel sistemler— yükseltilmiş telefon sistemleri, yeniden kopyalanmış kasetler, fotokopilerin fotokopileri giderek biriken bozul- maya karşı öylesine savunmasızdır ki, kopyalama, sınırlı bir kuşak sayısının ötesinde sürdürülemez. Genler ise on milyon kuşak boyunca, neredeyse hiç bozulmadan kendilerini kopyalayabilirler. Darwinciliğin işe yaramasının tek nedeni —doğal seçiminin ayıkladığı ya da koruduğu kesikli mutasyonlar bir yana— kopyalama sisteminin mükemmel oluşudur. Yalnızca sayısal bir genetik sistem jeolojik çağlar boyunca Darwinciliği sürdürebilir. Bin dokuz yüz elli üç, yani ikili sarmalın keşfedildiği yıl, yalnızca mistik ve gerici yaşam görüşlerinin sonu olarak görülmeyecek; Darwinciler bunu, konularının en sonunda sayısallaştığı yıl olarak görecekler.

Jeolojik zaman boyunca tüm görkemiyle akan ve üç milyar kola ayrılan saf sayısal bilgi ırmağı, güçlü bir imgedir. Ama yaşamın tanıdık özelliklerinden nerede ayrılır? Bedenleri, elleri

ve ayakları, gözleri ve beyinleri ve kedi bıyıklarını, yaprakları ve gövdeleri ve kökleri nerede bırakır? Bizden ve parçalarımızdan nerede ayrılır? Biz —biz hayvanlar, bitkiler, tekhücreliler, mantarlar ve bakteriler— aralarından sayısal veri dereciklerinin aktığı kıyılar mıyız? Bir açıdan, evet. Ama daha önce de belirttiğim gibi, bundan fazlası da var. Genler yalnızca kendilerinin kuşaklar boyunca akan kopyalarını üretmiyor. Bedenlerin içinde zaman geçiriyor ve kendilerini içinde buldukları, birbirini izleyen bedenlerin şeklini ve davranışını etkiliyorlar. Bedenler de önemlidir.

Örneğin bir kutup ayısının bedeni, sayısal bir akarsu için bir çift dere kıyısından ibaret değildir. Aynı zamanda, ayı boyutunda karmaşıklığı olan bir makinedir. Kutup ayıları nüfusunun tüm genleri, zaman içinde itişip kakışan iyi bir yoldaş topluluğudur. Ama tüm zamanlarını, topluluğun diğer tüm üyelerinin yanında geçirmezler; topluluğu oluşturan küme içinde eş değiştirirler. Topluluk, topluluktaki diğer genlerle karşılaşma olasılığı bulunan genler kümesi olarak tanımlanır (ama dünyadaki diğer otuz milyon topluluğun herhangi birisinin bir üyesiyle karşılaşmayacaktır). Gerçek buluşmalar her zaman, bir kutup ayısının bedenindeki bir hücrede gerçekleşir. Bu beden ise, pasif bir DNA kabı değildir.

Başlangıç olarak, her birinde tam bir genler kümesi bulunan hücrelerin yalnızca sayısı bile hayal gücünü aşıyor: Büyük bir erkek ayıda yaklaşık dokuz yüz milyon kere milyon. Tek bir kutup ayısının hücrelerini sıraya dizerseniz, oluşan kuşak buradan aya kadar rahatça gidip gelebilir. Bu hücrelerin birkaç yüz ayrı türü vardır ve tüm memelilerde temelde aynı birkaç yüz tür görülür: Kas hücreleri, sinir hücreleri, kemik hücreleri, deri hücreleri vb. Bu ayrı türlerin herhangi birisine ait hücreler birleşerek dokuları oluştururlar: Kas dokusu, kemik dokusu vb. Tüm farklı hücre türlerinde, bu türlerin herhangi

birini üretmek için gerekli olan genetik talimatlar vardır. Yalnızca ilgili doku için uygun olan genler devreye sokulur. Farklı dokuların hücrelerinin farklı şekil ve boyutlarda olmalarının nedeni budur. Daha da ilginç olarak, belli bir türün hücrelerinde devreye sokulan genler, bu hücrelerin dokularını belli şekillerde büyütmelemlerini sağlar. Kemikler şekilsiz, sert, katı doku kütleleri değildir. Kemiklerin," içi boş sütunlar, kümeler ve yuvalar, omurgalar, çıkıntılarla değişik şekilleri vardır. İçlerinde devreye sokulan genler, hücreleri, komşu hücrelere göre nerede bulunduklarını biliyormuş gibi davranmaya programlar ve böylece hücreler dokularını kulak memesi ya da kalp kapakçığı, göz merceğı ya da büzgen kas şeklinde geliştirebilirler.

Kutup ayısı gibi bir organizmanın karmaşıklığı çok katmanlıdır. Beden; karaciğer, böbrek ve kemik gibi tamamen şekillenmiş organların karmaşık bir bileşimidir. Her organ, yapı taşları çoğunlukla katmanlar ya da katı kütleler halindeki hücreler olan belli dokulardan oluşmuş karmaşık bir yapıdır. Çok daha küçük bir boyutta, her hücrenin kıvrımlı zarlardan oluşan çok karmaşık bir iç yapısı vardır. Bu zarlar ve aralarındaki su, çok çeşitli türlerde farklı kimyasal tepkimelere sahne olur. ICI'ya da Union Carbide'a ait bir kimya fabrikasında yüzlerce ayrı kimyasal tepkime gerçekleşebilir. Bu kimyasal tepkimeler şişe, tüp vb. cidarlarıyla birbirlerinden ayrı tutulur. Canlı bir hücrede de aynı anda bu kadar çok sayıda kimyasal tepkime gerçekleşebilir. Hücrelerdeki zarlar, bir açıdan laboratuvarı- ki camlar gibidir; ama iki nedenden dolayı bu benzetme pek iyi değildir. Birincisi, pek çok kimyasal tepkimenin zarlar arasında gerçekleşmesine karşın, pek çok tepkime de zar madde- sinin *içinde* gerçekleşir, ikincisi, farklı tepkimeleri birbirinden ayırmanın daha önemli yolu vardır. Her tepkime, kendi özel enzimiyle katalize edilir.

Enzim, belli bir kimyasal tepkime türünü hızlandıran çok

geniş bir moleküldür ve üç boyutlu şekli bu tepkimeyi teşvik eden bir yüzey sunar. Biyolojik moleküllerde önemli olan üç boyutlu şekilleri olduğu için, enzimi, belli bir şekildeki moleküllerin üretileceği bir üretim hattı oluşturacak şekilde özenle ayarlanmış büyük bir imalat aleti olarak görebiliriz. Dolayısıyla, herhangi bir hücrede farklı enzim moleküllerinin yüzeylerinde aynı anda ve birbirinden ayrı olarak yüzlerce ayrı kimyasal tepkime gerçekteşebilir. Belli bir hücrede hangi belirli kimyasal tepkimelerin gerçekteşeceği, hangi enzim molekülü türlerinin bol miktarda bulunduğuna bağlıdır. Her enzim molekülü ve büyük önem taşıyan şekli, belli bir genin belirleyici etkisi al- tında bir araya gelir. Yani, gendeki yüzlerce şifre harfinin kesin dizini, tamamen bilinen bir dizi kurala (genetik şifreye) göre, enzim molekülündeki aminoasitler dizinini belirler. Her enzim molekülü doğrusal bir aminoasit zinciridir; her doğrusal aminoasit zinciri ise kendiliğinden kıvrılarak benzersiz ve belirli bir üç boyutlu düğüm gibi bir yapıya dönüşür ve bu yapıda zincirin bölümleri zincirdeki diğer bölümlerle çapraz bağlantılar oluşturur. Düğümün tam üç boyutlu yapısı, tek boyutlu aminoasit dizini ve dolayısıyla, gendeki tek boyutlu şifre harfleri dizini tarafından belirlenir. Bu nedenle de, bir hücrede gerçekteşen kimyasal tepkimeleri, hangi genlerin devreye sokulduğu belirler.

Öyleyse, belli bir hücrede hangi genlerin devreye sokulduğunu belirleyen nedir? Hücrede zaten mevcut olan kimyasal maddeler. Burada bir yumurta-tavuk paradoksu var; ama bu başa çıkılması olanaksız değildir. Paradoksun çözümü, ayrıntı açısından karmaşık olmakla birlikte, ilke olarak son derece basittir. Bu, bilgisayar mühendislerinin "bootstrapping" olarak bildikleri çözümdür. 1960'larda ilk kez bilgisayar kullanmaya başladığımda tüm programların kâğit bantlar aracılığıyla yüklenmesi gerekiyordu. (Dönemin Amerikan bilgisayarlarında ge-

nellikle delikli kartlar kullanılıyordu, ama ilke aynıydı.) Ciddi bir programın büyük bantını yüklemekten önce, "bootstrap" yükleyicisi denen daha küçük bir programın yüklenmesi gerekirdi. "Bootstrap" yükleyicisinin yaptığı tek bir şey vardı: Bilgisayara, kâğıt bantları nasıl yükleyeceğini söylemek. Ama — tavuk-yumurta paradoksu işte burada— "bootstrap" yükleyicisi bantın kendisi nasıl yükleniyordu? Modern bilgisayarlarda "bootstrap" yükleyicisinin eşdeğeri makinenin devre donanımında yer alır, ama o ilk günlerde, ritüel bir modele göre sıralanmış ardışık devre anahtarlarını açıp kapayarak işe başlamanız gerekirdi. Bu ardışık dizi, bilgisayara "bootstrap" yükleyici bantının ilk kısmını okumaya nasıl başlayacağını söylerdi. Ardından "bootstrap" yükleyici bantın ilk kısmı, bilgisayara, "bootstrap" yükleyici bantın bir sonraki kısmını nasıl okuyacağını hakkında daha fazla bir şeyler söylerdi ve bu böyle devam ederdi. Tüm "bootstrap" yükleyici okunduğunda, bilgisayar herhangi bir kâğıt bantı nasıl okuyacağını bilir ve o andan itibaren kullanılabilir bir bilgisayara dönüşürdü.

Embriyonun başlangıcında tek bir hücre, yani döllenmiş yumurta ikiye bölünür; sonra iki parçanın her biri bölünerek dört olur; sonra dört parça bölünerek sekiz olur, vb. Hücre sayısı yalnızca birkaç kuşak sonra trilyonlara ulaşır; üssel bölünmenin gücü bu kadar büyüktür. Ama her şey bundan ibaret olsaydı, trilyonlarca hücrenin hepsi aynı olurdu. Öyleyse, aynı olmak yerine karaciğer hücrelerine, böbrek hücrelerine, kas hücrelerine vb. nasıl dönüşüyorlar ve her birinde nasıl farklı genler devreye girip, farklı enzimler faaliyete geçiyor? Yöntem, (vakarda anlatılan) "bootstrapping"dir: Yumurta küreye benzese de, iç kimyasında kutuplaşma vardır. Tepesi, dibi ve çoğu durumda önü ve arkası (dolayısıyla, sol ve sağ tarafları) vardır. Bu kutuplaşmalar kendilerini kimyasal maddelerin yoğunluk farklılığı şeklinde gösterirler. Bazı kimyasalların madde yoğun-

taşmaları, önden arkaya doğru ilerledikçe, bazıları da yukarıdan aşağıya ilerledikçe istikrarlı bir şekilde artar. Bu ilk dereceler oldukça basittir, ama bir "bootstrapping" işleminin ilk aşamasını oluşturmaya yeter.

Yumurta, örneğin otuz iki hücreye bölündüğünde —yani, beş bölünmeden sonra— bu otuz iki hücreden bazıları üst taraf kimyasal maddelerinden, diğerleri de alt taraf kimyasal maddelerinden paylarına düşenden fazlasını almış olacaklardır. Bu hücreler ön ve arka derecelerdeki kimyasal maddelere oranla da dengesizlik gösterebilirler. Bu farklılıklar, farklı hücrelerde farklı gen bileşimlerinin devreye girmesi için yeterlidir. Dolayısıyla, erken embriyonun farklı parçalarındaki hücrelerde farklı enzim bileşimleri olur. Bu da, farklı genlerde farklı yeni gen bileşimlerinin devreye girmesini sağlar. Dolayısıyla hücre soyları, embriyon içindeki klon atalarıyla aynı kalmak yerine, ayrı ayrı yollara saparlar.

Bu sapmalar, daha önce sözünü ettiğimiz tür ayrılımlardan çok değişiktir. Bu hücre ayrılımları programlanmıştır ve ayrıntılarıyla tahmin edilebilir, tür ayrılımları ise coğrafi kazaların rastlantısal sonuçlarıydı ve tahmin edilemezdi. Dahası, türler ayrıldığında, genler de benim süslü bir dille son vedalaşma dediğim süreç içinde ayrılırlar. Bir embriyon içindeki hücre soyları ayrı yollara saptığında iki bölüm de aynı genleri —hepsini birden— alır. Ama farklı hücreler farklı kimyasal madde bileşimlerini alır, bu bileşimler farklı gen bileşimlerini devreye sokar ve kimi genler de diğer genleri devreye sokup devreden çıkaracak şekilde çalışır. Böylece, farklı hücre türlerinden tam bir repertuar oluşana dek, "bootstrapping" sürer.

Gelişen embriyon birkaç yüz farklı hücre türüne ayrılmakla kalmaz. İç ve dış şeklinde de zarif dinamik değişimler geçirir. Bunların en çarpıcısı, belki de, geçirdiği ilk değişimlerden biridir: Gastrulasyon olarak bilinen süreç. Saygın embriyolog



(Embriyonbilimci) Lewis Wolpert, "Yaşamımızdaki en önemli olay doğum, evlilik ya da ölüm değil, gastrulasyondur." demiştir. Gastrulasyonda, içi boş bir hücreler küresi bükülerek, iç astarı olan bir çanağa dönüşür. Temelde, hayvan krallığındaki tüm embriyolojiler aynı gastrulasyon sürecinden geçer. Bu, embriyoloji çeşitliliğinin dayandığı bir örnek temeldir. Burada gastrulasyondan, çoğunlukla embriyon gelişiminde görülen tüm hücre tabakalarının duraksız, origamiye\* benzer hareketine yalnızca bir örnek -özellikle çarpıcı bir örnek- olarak söz ediyorum.

Virtüöz bir origami performansından sonra; hücre katmanlarının pek çok kez içe katlanmasından, dışa itilmesinden, şişirilmesinden ve gerilmesinden sonra; embriyon parçalarının diğer parçalar pahasına geçirdikleri, dinamik şekilde düzenlenmiş farklı büyümelerden sonra: kimyasal ve fiziksel olarak uzmanlaşmış yüzlerce hücre türüne farklılaştıktan sonra; toplam hücre sayısı trilyonlara ulaştığında oluşan nihai ürün, bebektir. Hayır, bebek bile nihai değildir, çünkü bireyin -bazı parçalarının diğerlerinden daha hızlı büyüdüğü- tüm büyüme süreci, yetişkinliği geride bırakıp yaşlanması, aynı embriyoloji sürecinin bir uzantısı olarak görülmelidir: Toplam embriyoloji.

Bireyler, toplam embriyolojilerindeki niceliksel ayrıntılardaki farklılıklar nedeniyle birbirlerinden değişiktir. Bir hücre katmanı içe kıvrılmadan önce biraz daha fazla büyür; sonuç ne olur? Hokka bir burun yerine kartal burnu, askerlikten muafiyet sağladığı için belki de hayatınızı kurtaracak düztabanlık, kürek kemiğinde, mızrak (ya da, duruma göre, el bombası, kriket topu) atmada başarılı olmanızı sağlayacak belli bir şekildir. Hücre katmanları origamisindeki bireysel değişiklikler kimi zaman trajik sonuçlar yaratabilir: Örneğin bebek, kollarının yerine güdük çıkıntılarla ve elsiz olarak doğar. Kendini hücre kat-

(\*) Origami: Kağıt bükerek hayvan şekilleri yapma sanatı (Ç.N)

manı origamisinde değil de, yalnızca kimyasal olarak belli eden bireysel farklılıkların sonuçları da çok önemli olabilir: Sütü hazmedememek, eşcinselliğe yatkınlık, yer fıstığı alerjisi ya da mango meyvesinin neftyağı tadında olduğunu düşünmek.

Embriyon gelişimi son derece karmaşık bir fiziksel ve kimyasal icraattır. Güzergâh üzerindeki herhangi bir noktadaki bir ayrıntı değişikliği, ileride önemli sonuçlar yaratabilir. Sürecin ne denli "bootstrap" özelliği gösterdiğini hatırlarsanız, bu o kadar da şaşırtıcı değildir. Bireylerin gelişimlerdeki farklılıkların pek çoğu ortam farklılıklarına bağlıdır —örneğin, oksijen yetersizliği ya da "thalidomide"e\* maruz kalmak. Diğer birçok fark da genlerdeki — yalnızca diğerlerinden soyutlanmış olarak düşünülen genlerde değil, diğer genlerle ve ortam farklılıklarıyla etkileşim içindeki genlerde— farklılıklara bağlıdır. Embriyon gelişimi gibi karmaşık, kaleydoskopik, iç içe ve karşılıklı olarak "bootstrap" edilmiş bir süreç hem dayanıklı, hem de duyarlıdır. Kimi zaman neredeyse baş edilemez görünen risklere karşı canlı bir bebek üretmek amacıyla pek çok potansiyel değişimle savaşıması anlamında dayanıklıdır, aynı zamanda da, iki bireyin, hatta tek yumurta ikizlerinin bile tüm özellikleriyle birbirinin tıpatıp aynısı olmaması anlamında, değişimlere karşı duyarlıdır.

Şimdi, bütün bunların bizi getirdiği nokta şudur: Bireyler arasındaki farklılıkların genlere bağlı olduğu oranda (ki bu büyük oranda da olabilir, küçük oranda da), doğal seçim embriyolojik origami ya da embriyolojik kimyayla ilgili kimi tuhaflıkları destekleyebilir, kimilerini ise desteklemeyebilir. Nesneleri fırlattığınız kolunuzun genlerle etkilendiği oranda, doğal seçim bunu destekleyebilir ya da desteklemeyebilir. İyi atış yapabilme bireyin çocuk yapacak kadar süre hayatta kalmasını az da

(\*) Eskiden sakinleştirici olarak kullanılan, suda çözünür bir madde. Hamilelik döneminde alınırsa ceninin kol ve bacaklarında ciddi anormallikler yaratabilir. (Ç.N)

olsa etkiliyorsa, atış yeteneğinin genlerden etkilendiği oranda, bu genlerin bir sonraki kuşağa geçme şansı da artacaktır. Herhangi bir birey atış yeteneğiyle tamamen ilgisiz nedenlerden dolayı ölebilir. Ama var olduğunda, var olmadığı duruma oranla bireylerin fırlatmada daha başarılı olmasını sağlama eğilimi gösteren bir gen, pek çok kuşak boyunca iyi ve kötü pek çok bedende bulunacaktır. Bu belirli genin bakış açısından, diğer ölüm nedenleri sonuçta belli bir ortalamaya yaklaşacaktır. Genin bakış açısından, kuşaktan kuşağa geçerek akan, belli bedenlerde yalnızca geçici olarak barınan, başarılı ya da başarısız yoldaş genlerle bir bedeni yalnızca geçici olarak paylaşan DNA ırmağının uzun vadeli manzarası vardır yalnızca.

Uzun vadede ırmak, çeşitli nedenlerden dolayı varlığını korumakta başarılı olan genlerle dolar: Mızrak atma yeteneğini, zehrin tadını alma yeteneğini ya da başka bir şeyi biraz geliştirmek gibi. Ortalamada, varlığını sürdürmekte daha az başarılı olan genler — arka arkaya girdikleri bedenlerde astigmatlığa yol açma eğilimi gösterdikleri ve dolayısıyla bedenlerin mızrak atma başarılarını düşürdükleri için; ya da art arda girdikleri bedenlerin daha az çekici görünmesine ve böylece eş bulma şanslarının düşmesine yol açtıkları için— gen ırmağından silinme eğilimi göstereceklerdir. Bütün bunları okurken, daha önce belirttiğimiz noktayı unutmayın: İrmakta varlığını sürdüren genler, türün ortalama çevresinde varlığını sürdürmeyi başaran genler olacaktır. Bu ortalama çevrenin belki de en önemli yönü, türün diğer genleri, yani bir genin, aynı bedeni paylaşma olasılığının yüksek olduğu diğer genler; jeolojik zaman içinde aynı ırmakta yüzen diğer genlerdir.



## 2. BÖLÜM

### TÜM AFRİKA VE TORUNLARI

Çoğu zaman, bilimin modern başlangıç mitimizden başka bir şey olmadığını söylemek akıllıca bir yaklaşım sayılır. **Yahudilerin Adem ve Havvası**, Sümerlerin Marduk ve Gilgameş, Yunanlıların Zeus'u ve Olimposluları, Nordik halkların Valhalla'ları vardı. Kimi akıllı insanlar, evrim, tanrılar ve epik kahramanların ne daha iyi ne daha kötü, ne daha doğru ne daha yanlış olan modern eşdeğerlerinden başka nedir, derler. Kültürel görecelik adı verilen, moda olmuş bir salon felsefesinin en aşırı biçimi, bilimin gerçeği kabile mitlerinden daha fazla bildiğini iddia edemeyeceğini söylüyor; bilim modern Batılı kabilemizin tercih ettiği mitolojiden öte bir şey değildir. Bir keresinde bir antropolog meslektaş beni kışkırtarak, konuyu son derece yalın bir şekilde belirtmeme neden olmuştu: "Ayın, gökyüzüne atılmış, ağaçların üstünde, uzanılmayacak bir yerde asılı eski bir sukabağı olduğuna inanan bir kabile bulunduğunu varsayın. Gerçekten de bizim bilimsel gerçeğimizin — ayın yaklaşık çeyrek milyon mil uzaklıkta bulunduğu ve çapı-nın Yerküre'nin çapının dörtte biri kadar olduğu gerçeğinin — bu kabilenin sukabağından daha doğru olmadığını mı iddia ediyorsunuz?" Antropolog, "Evet," dedi. "Biz yalnızca, dünyayı bilimsel şekilde gören bir kültürde yetiştirildik. Onlar ise, dünyayı başka bir şekilde gören bir kültürde yetiştirildiler. İki sekil de birbirinden daha doğru değil."

Bana yerden 10.000 metre irtifada kültürel göreceliğe inanan birini gösterin, ben de size ikiyüzlü birini göstereyim. Bilimsel ilkelere göre yapılan uçaklar çalışır. Havada kalır ve sizi

seçtiğiniz güzergâha götürürler. Vahşi orman düzlüklerindeki kargo kültürünün uyduruk uçakları ya da Ikarus'un balmumundan kanatları gibi, kabilesel ya da mitolojik spesifikasyonlara göre yapılmış uçaklar ise götürmez.\* Uluslararası bir antropologlar ya da edebiyat eleştirmenleri kongresine uçuyorsanız, oraya ulaşmanızın — sürülü bir tarlaya düşmemenizin— nedeni, Batılı bilimsel eğitim almış pek çok mühendisin toplama-çıkarmalarını doğru yapmalarıdır. Ayın, bir milyon mil ötede, Yerküre'nin etrafında döndüğüne dair sağlam kanıtlara dayanan, Batı'da tasarlanmış bilgisayarları ve roketleri kullanan Batılı bilim, insanları ayın yüzeyine ulaştırmayı başarmıştır. Ayın, ağaçların hemen üstünde olduğuna inanan kabile bilimi ise, aya ancak düşlerinde ulaşabilir.

Halka açık seminerlerimin neredeyse tümünde izleyicilerden biri ayağa kalkıp, antropolog arkadaşımın söylediklerine benzer bir şey söylüyor ve sözleri genellikle onaylayan baş sallamalarla karşılanıyor. Başlarını sallayanlar hiç kuşkusuz kendilerini iyi, liberal ve ırkçılık karşıtı kişiler olarak görüyorlar, insanları başlarını aşağı yukarı sallamaya teşvik edecek bir başka lafla daha karşılaşacağımıza emin olabilirsiniz: "Evrim düşünceniz sonuçta gelip inanca dayanıyor ve dolayısıyla, başka birisinin Cennet'e duyduğu inançtan daha iyi değil."

Her kabilenin kendi başlangıç miti —evrene, yaşama ve in-sanlığa açıklama getiren öyküsü— vardır. Bilim bir açıdan, en

(\*) Bu güçlü savunuyu ilk kez kullanmıyorum ve bunun tam anlamıyla, sukabaklı çalışma arkadaşım gibi düşünen kişileri hedef aldığını vurgulamalıyım. Kendilerine kültürel görecelikçi diyen, ama bakış açıları tamamen farklı ve son derece mantıklı olan başkaları da vardır. Onlar için kültürel görecelik, başka bir kültürü ve inançlarını; kendi kültürünüze göre yorumlamaya çalışırsanız, anlayamayacağınızı z anlamına gelir. Kültürün inançlarının her birini, kültürün diğer inançlarının bağlanımda görmeniz gerekir. Kültürel göreceliğin bu mantıklı biçiminin, özgün; benini eleştirdiğim biçimin ise bunun aşırı, ama tehlikeli derecede yaygın bir sapkınlık olduğunu sanıyorum. Mantıklı görecelikçiler bu ahmakça türden uzaklaşmaya daha fazla çaba göstermelidirler.

azından modern toplumumuzun eğitimli kesimi için, bunun gerçekten de bir eşdeğerini sunuyor. Hatta bilim, bir din olarak tanımlanabilir ve ben de, bilimin din eğitimi dersleri için uygun bir müfredat konusu olabileceği hakkında kısa bir tez yayınlamıştım.\* (İngiltere'de din eğitimi ders müfredatının zorunlu bir parçasıdır; ABD'de ise tam tersine, birbirleriyle uyumsuz çok sayıda inançtan herhangi birini rencide etme korkusuyla, yasaklanmıştır.) Bilimin dinle ortak bir iddiası vardır: Kökenlerle, yaşamın doğasıyla ve evrenle ilgili derin sorulara yanıtlayabilmek. Ama benzerlik burada sona erer. Bilimsel inançlar delillerle desteklenir ve bunlarla bir sonuç elde edilir. Mitler ve inançlar ise delillerle desteklenmez ve bir sonuca götürmez.

Tüm başlangıç mitleri arasında, Yahudilerin Cennet Bahçesi öyküsü kültürümüzde öylesine yer etmiştir ki, atalarımız hakkında önemli bir bilimsel kuram olan, "Afrikalı Havva" kuramına adını vermiştir. Bu bölümü, kısmen DNA ırmağı benzetmesini geliştirmemi sağlayacağı için, ama ayrıca bilimsel bir hipotez olarak Afrikalı Havva'yı Cennet Bahçesi'nin efsanevi ilk kadınıyla karşılaştırmak amacıyla, ona adıyorum. Eğer başarılı olursam, gerçeği efsaneden daha ilginç ve belki de daha şiirsel bulacaksınız, işe, saf bir uslaamlama alıştırmasıyla başlıyoruz. Konuyla ilgisi birazdan anlaşılacak.

İki ebeveyniniz, dört büyük ebeveyniniz, sekiz büyük büyük ebeveyniniz vb. var. Her kuşakta ata sayısı iki katına çıkar.  $G$  kuşak geriye gittiğinizde, ata sayısı  $2$ 'nin  $g$  kez kendisiyle çarpılmasına eşit olur:  $2$  üssü  $g$  ( $2^g$ ). Ancak daha koltuğumuzdan kalkmadan, bunun böyle olamayacağını anlayabiliriz. Kendimizi ikna etmek için biraz geriye —örneğin, neredeyse lam iki bin yıl öncesine, isa'nın zamanına— gitmeliyiz. Yüzyıl başına dört kuşak —yani, insanların ortalama yirmi beş yaşın—

1\*) *The Spectator* (Londra, 6 Ağustos 1994) .

da ürediklerini— varsayarsak, iki bin yıl yalnızca seksen kuşağa denk gelir. Gerçek rakam büyük olasılıkla bundan yüksektir (yakın zamanlara dek, pek çok kadın çok genç yaşta doğum yapıyordu), ama bu yalnızca oturduğumuz yerden yaptığımız bir hesaptır ve belirttiğimiz noktada bu tür ayrıntılar göz önünde bulundurulmamıştır. İki, 80 kez kendisiyle çarpıldığında ürkütücü bir sayı verir: 1 ve ardından 24 sıfır ( $10^{21}$ ), yani bir trilyon kere trilyon, İsa'nın çağdaşı olan milyon kere milyon kere milyon kere milyon atanız vardı; tabii, benim de! Ama o dönemde dünyanın toplam nüfusu, bizim şimdi hesapladığımız ata sayısının çok küçük bir bölümünün bir kesiri kadardı.

Kesinlikle bir hata yaptık, ama nerede? Hesabımız doğru. Tek hatamız, sayının her kuşakta ikiye katlandığını varsaymamızdı. Aslında, kuzenlerin birbirleriyle evlendiklerini unuttuk. Hepimizin sekiz büyük büyükebeveyni olduğunu varsaydım. Ama birinci dereceden kuzenlerin yaptığı evlilikten doğan çocuğun yalnızca altı büyük büyük ebeveyni vardır, çünkü kuzenlerin ortak büyükebeveynleri iki ayrı yoldan çocukların büyük büyük ebeveynleridir. "Ne olmuş yani?" diye sorabilirsiniz, insanlar arada bir kuzenleriyle evlenirler (Charles Darwin'in karısı Emma Wedgwood birinci dereceden kuzeniydi); ama bu kesinlikle fark yaratacak kadar sık olmaz, değil mi? Hayır efendim, o kadar sık oluyor işte; çünkü ele aldığımız açıdan "kuzen" ikinci, beşinci, on altıncı vb. dereceden kuzenleri de kapsıyor. Bu derece uzak kuzenleri de hesaba katarsanız, her evlilik, kuzenler arasında bir evliliktir. Kimi zaman birilerinin Kraliçe'nin uzaktan kuzeni olmakla övündüklerini duyarsınız, ama bu kişiler gereksiz yere övünmektedirler, çünkü *hepimiz*, geriye dönüp izlenmesi mümkün olandan çok daha fazla yoldan, Kraliçe'nin ve diğer herkesin uzak kuzenleriyiz. Kraliyet aileleri ve aristokratların tek özelliği, onların bu geriye dönük izleme işini açıkça yapabilmeleridir. Siyasal muhalifi, un-



vanına sataştığında on dördüncü Home Kontu'nun dediği gibi, "Bence biraz düşünüldüğünde, Mr. Wilson da, on dördüncü Mr. Wilson'dır."

Sözün kısası, birbirimizin sandığımızdan çok daha yakın kuzenleriyiz ve basit hesaplamaların düşündürdüğünden çok daha az atamız var. Bu konudaki fikrini anlamak amacıyla bir öğrencimden, benimle en yakın tarihteki ortak atasının ne zaman yaşamış olabileceğine dair iyi bir tahminde bulunmasını istedim. Yüzüme dik dik bakarak, bir an bile duraksamadan, yavaş bir köylü aksanıyla, "insansı maymunlara dek gider," dedi. Bağışlanabilir bir sezgisel sıçrayış, ama yaklaşık olarak % 10.000 yanlış! Bu yanıt, milyonlarca yılla ölçülen bir ayrılışı düşündürüyor. Aslında en yakın ortak atamız sadece birkaç yüzyıl önce, büyük olasılıkla Fatih William'dan çok sonra yaşamıştı. Dahası, aynı anda pek çok değişik yoldan kuzen olduğumuza hiç kuşku yoktu.

Bizim hatalı şekilde şişirilmiş ata sayısı hesabımıza yol açan sülale modeli sürekli dallanıp budaklanan bir soyağacıydı. Tersine çevrildiğinde, zürriyetimizin yine aynı derecede yanlış bir ağaç modeli ortaya çıkar. Tipik bir bireyin iki çocuğu, dört torunu, sekiz torunun torunu vb. vardır ve böylece, birkaç yüzyıl sonrasında trilyonlarca torun gibi olanaksız bir sayıya ulaşılır. Bir önceki bölümde tanıttığımız gen ırmağı, çok daha gerçekçi bir sülale ve zürriyet modelidir. İrmağın kıyıları arasında genim, zaman içinde sürekli akan bir akarsu oluşturur. Genler ırmak boyunca kesiştikçe, akıntılar ayrılıp birleşir. İrmak boyunca aralıklı olarak çeşitli noktalardan birer kova su alın. Kovadaki molekül çiftleri daha önce, ırmak boyunca ilerlerken belirli aralıklarla yoldaş olmuşlardır ve yeniden olacaklardır. Ayrıca, geçmişte birbirlerinden büyük oranda ayrılmışlardır ve yine ayrılacaklardır. Temas noktalarını bulmak zordur; ama bu temasların olduğuna matematiksel açıdan emin olabiliriz; belli

bir noktada iki gen arasında temas yoksa , ırmağın her iki yönünde de fazla uzağa gitmeden birbirleriyle temas edeceklerin den matematiksel olarak emin olabiliriz .

Kocanızın kuzenlerinden olduğunuzu bilemeyebilirsiniz ama istatistiksel olarak, onun sosuyla birleştığınız yere ulaşmak içi fazla geriye gitmenize gerek kalmayabilir. Ters yöne, geleceğe doğru baktığımızda da, kocanızla ya da karınızla ortak toruna sahip olma şansınız elbette yüksek görünür. Ama burada , çok daha dikkat çekici bir fikir var. Büyük bir insan grubuyla birlikte olduğunuzda —sözelimi bir konser salonunda ya da futbol maçında— izleyicilere bakın ve şöyle düşünün: Uzak gelecekte torunlarınız olacaksa , bu konser salonunda ya da stadyumda , büyük olasılıkla gelecek teki torunlarınızın ortak ataları olarak el sıkışa bileceğiniz insanlar vardır. Aynı çocukların ortak büyük ebeveynleri genellikle, ortak ata olduklarını bilirler ve bu, kişisel olarak pek iyi anlaşılamazlar da, onlara belli bir yakınlık duygusu verir. Bir birlerine bakıp şöyle diye bilirler: "Evet, onu pek sevmiyorum, ama ortak torunumuzda onun DNA'sı benim DNA'mla birleşti ve gelecekte, ikimiz de dünyadan ayrıldıktan çok sonra, ortak zürriyetimiz olacağını umabiliriz . Bu elbette aramızda bir bağ yaratır." Ama benim söylemek istediğim şu: Uzak gelecek te zürriyet ininiz olacaksa, konserdeki ya da maçtaki tamamen ya bancı kişilerden bazıları büyük olasılıkla sizinle ortak atalar olacaktır. Topluluğu gözden geçirip, erkek ya da dişi, hangi bireylerin kaderinde sizinle aynı torunları paylaşmak olduğu ve hangilerinin de olmadığı konusunda spekülasyonlarda buluna bilirsiniz . Siz ve ben, kim olursanız olun, renginiz ve cinsi yetiniz ne olursa olsun, ortak atalar olabiliriz. Sizin DNA'nızın kaderinde, benim DNA'mla birleşmek olabilir. Selamlar!

Şimdi , bir zaman makinesinde geriye , belki Romanın Koliseum denilen arenasındaki bir kalabalığa, ya da daha geriye ,

Ur kentindeki bir pazara, ya da daha da gerilere gittiğimizi varsayalım. Modern konser salonu ya da stadyumu hayal ederken yaptığımız gibi, kalabalığı inceleyin. Çoktan ölmüş olan bu bireyleri yalnızca iki kategoriye ayırabileceğinizi fark edeceksiniz: Atalarınız olanlar ve olmayanlar. Bu yeterince açık görünüyor, ama şimdi çok önemli bir gerçeğe geliyoruz. Zaman makineniz sizi yeterince geriye götürmüştse, karşılaştığınız bireyleri, 1995'te yaşayan tüm insanların atası olanlar ve 1995'te yaşayan hiç kimsenin atası olmayanlar olarak ikiye ayırabilirsiniz. Arası yoktur. Zaman makinenizden çıktığınızda gördüğünüz her birey ya evrensel bir insan atasıdır, ya da kimsenin atası değildir.

Bu şaşırtıcı bir düşünce, ama kanıtlanması son derece kolay. Yapmanız gereken tek şey, zihinsel zaman makinenizi gülünç gelecek kadar uzun bir zaman öncesine götürmek: Örneğin, atalarımızın saçakyüzgeçli ve ciğerli, sudan çıkıp ikiyaşayıslıya dönüşen balıklar olduğu, üç yüz elli milyon yıl öncesine. Belli bir balık benim atamsa, sizin de atanız olmaması mümkün değildir. Eğer olmasaydı, bu, size ulaşan soyla bana ulaşan soyun birbirlerinden habersiz ve bağımsız olarak balıklan ikiyaşayıslıya, sürüngene, memeliye, primata, insansı maymuna ve insangile evrimleşerek, en sonunda birbirimizle konuşabileceğimiz, ve karşı cinsten bireylersek, eşleşebileceğimiz denli benzer hale geldikleri anlamına gelirdi. Sizin ve benim için geçerli olan bir şey, her insan çifti için geçerlidir.

Zamanda yeterince eskiye gittiğimizde karşılaşacağımız her bireyin ya hepimizin atası olması, ya da hiçbirimizin atası olmaması gerektiğini kanıtladık. Ama yeterince eski, ne denli eski bir zamandır ki? Saçakyüzgeçli balıklara dek gitmemize elbette gerek yok, bu *reductio ad absürdum*\* idi ama 1995'te

1\*) Aksinin yalan olduğunu kanıtlama suretiyle bir fikrin doğruluğunu gösterme.  
(Ç.N)

yaşayan her insanın evrensel atasına ulaşmak için ne denli eskilere gitmeliyiz? Bu çok daha zor bir soru ve şimdi bu konuyu ele almak istiyorum. Bu soruya oturduğumuz yerden yanıt bu- lamayız. Gerçek bilgiye, belirli gerçeklerin somut dünyasından ölçümlere ihtiyacımız var.

Darwin'in yirminci yüzyıldaki en büyük halefi ve modern istatistiğin babası olarak görülebilecek, ingiliz genetikbilimci ve matematikçi Sir Ronald Fisher 1930'da şöyle demişti:

Tüm insanlığın, son bin yıl hariç, tamamen aynı atalara sahip olmasını önleyen tek şey, farklı ırklar arasındaki cinsel birleşmenin önündeki coğrafi ve diğer engellerdi. Son 500 yılın ötesinde, aynı ulusun üyelerinin ataları pek az fark gösterebilirler; 200 0 yıldan sonra geriye yalnızca uzak etnografik ırklar arasındaki farklar kalır; bunlar... gerçekten de son derece es- ki olabilir; ama bu ancak, ayrı gruplar arasında uzun dönemler boyunca neredeyse hiç kan yayılması olmaması durumun- da mümkündür.

İrmak benzetmemiz açısından bakacak olursak, Fisher aslında, coğrafi olarak birleşmiş bir ırkın tüm üyelerinin genlerinin aynı ırmakta aktığı gerçeğinden yararlanıyor. Ama iş onun asıl rakamlarına —beş yüz yıl, iki bin yıl, farklı ırkların birbirlerinden ayrıldıkları antik zamana— geldiğinde, Fisher herhalde mantığa dayanarak tahminde bulunmuş olmalıydı. O dönemde konuyla ilgili gerçekler bilinmiyordu. Günümüzdeyse, moleküler biyoloji devrimi sayesinde, bilgi zenginliğinden ne yapacağımızı bilmiyoruz. Karizmatik Afrikalı Havva'yı bize, moleküler biyoloji sundu.

Sayısal ırmak, kullanılan tek eğretileme olmamıştır. Her birimizdeki DNA'yı, ailenin Kutsal Kitabına benzetmek cazip geliyor. DNA, bir önceki bölümde de gördüğümüz gibi, dört harfli bir alfabeyle yazılmış, çok uzun bir metindir. Harfler büyük bir özenle atalarımızdan, yalnızca atalarımızdan ve çok

uzak atalar söz konusu olduğunda bile, olağanüstü bir sadakatle kopyalanmıştır. Değişik insanlarda korunmuş metinleri karşılaştırarak kuzenlik bağlarını yeniden kurmak ve ortak bir ataya ulaşmak mümkün olmalı. DNA'larının ayrılmak için daha fazla zaman bulduğu uzak kuzenlerde —sözelimi, Norveçlilerle Avustralya aborijinlerinde— daha çok sayıda sözcük farkı olmalı. Akademisyenler farklı kutsal metinlerin farklı nüshaları üzerinde bu tür bir çalışma yapıyorlar. Ne yazık ki, DNA arşivleri örneğinde beklenmedik bir tuzak var: Seks.

Seks, arşivcinin kâbusudur. Ataç metinlerin, arada bir görülen kaçınılmaz hatalar hariç bozulmadan kalmasını enerji ve keyfi biçimde engeller, delilleri bulandırır ve yok eder. Bir fil bile züccaciye dükkânında, seksin DNA arşivlerine verdiği denli zarar veremez. Kutsal metin çalışmalarında buna benzer bir şey yoktur. Evet, diyelim ki Hazreti Süleyman'ın Şarkısı'nın kökenlerini bulmaya çalışan bir akademisyen, metnin lam görüldüğü gibi olmadığının farkındadır. Şarkı'da tuhaf şekilde dağılmış pasajlar vardır ve bu da aslında, aralarından yalnızca bazıları erotik olan, pek çok farklı şiir parçalarının bir araya getirildiğini düşündürür. Şarkıda, özellikle de çeviride hatalar —mutasyonlar— vardır. "Bize bağlan bozan tilkileri, küçük tilkileri getir" dizesi, bir ömür boyunca tekrarlanmakla, daha doğru olan "Bizim için meyve yarasalarını, küçük meyve yarasalarını yakala..." dizesinde olmayan kendine özgü unutulmaz bir cazibe kazanmasına karşın, yanlış bir çeviridir:

Çünkü, bakın ki kış geçti, yağmur bitti gitti. Yeryüzünde çiçekler beliriyor; kuşların şakıma zamanı geldi ve topraklarımızda kaplumbağanın sesi duyuluyor.

Şiir öylesine büyüleyici ki, burada da kuşku duyulamayarak bir mutasyon olduğunu belirterek bozmaktan çekmiyorum. Modern çevirilerde doğru ama ağır bir şekilde yapıldığı gibi,

"kaplumbağa"dan sonra araya tekrar "güvercin" konulduğunda ahenk çöküyor. Ama bunlar, metinler binlerce basılmak ya da yüksek teknoloji ürünü bilgisayar disklerine kaydedilmek yerine, ender bulunan ve hassas papirüsten ölümlü yazıcılar tarafından tekrar tekrar kopyalandığında, kaçınılmaz olarak görülen hafif bozulmalar, küçük hatalardır.

Ama şimdi, sahneye seksi de çıkaralım. (Hayır, benim kastettiğim anlamda, Şarkılar Şarkısı'na seks girmiyor.) Benim kastettiğim anlamda seks, bir belgenin yarısının rasgele seçilmiş parçalar halinde yırtılıp, başka bir belgenin tamamlayıcı olarak parçalanmış yarısıyla bunun karıştırılması demek. Ne denli inanılmaz —hatta, barbarca— görünürse görünsün, bir seks hücresi üretildiğinde olan şey budur, örneğin, bir erkek sperma hücresi ürettiğinde, babasından aldığı kromozomlar annesinden aldığı kromozomlarla çiftleşir ve bunların büyük bölümü yer değiştirir. Çocuğun kromozomları, uzak atalarına dek büyük ebeveynlerinin kromozomlarının, geri dönülmez şekilde karıştırılmış bir bileşimdir. Eski metinlerdeki harfler, belki de sözcükler, kuşaklar boyunca bozulmadan varlığını koruyabilir. Ama bölümler, sayfalar, hatta paragraflar yırtılır ve öylesine acımasız bir verimlilikle yeniden biraraya getirilir ki, tarihin izini sürme açısından neredeyse yararsızdırlar. Ataların tarihi söz konusu olduğunda seks büyük bir örtbas etme vakasıdır.

Seksi sahne dışına çıkardığımızda, tarihi yeniden kurmak için DNA arşivlerini kullanabiliriz. Buna iki önemli örnek düşünebiliyorum. Bunlardan biri olan Afrikalı Havva'yı ileride ele alacağım. İkinci örnek ise, türler içindeki ilişkilerden çok, türler arasındaki ilişkilere bakılarak daha uzak ataların saptanmasıdır. Önceki bölümde de gördüğümüz gibi, cinsel karışma yalnızca türler içinde gerçekleşir. Bir ebeveynsel türden bir yavru tür filiz verdiğinde, gen ırmağı iki kola ayrılır. Yeterli bir

süre boyunca birbirlerinden ayrıldıktan sonra her ırmaktaki cinsel karışma genetik arşivciye engel olmak bir yana, aslında türler arasındaki atalık ve kuzenlik ilişkilerinin yeniden kurulmasına yardım eder. Seks yalnızca, tür içi kuzenlikler söz konusu olduğunda delilleri bulandırır. Türler arası kuzenlik söz konusu olduğunda seks bize yardım eder, çünkü otomatik olacak, her bireyin bütün türün iyi bir genetik örneği olmasını sağlama eğilimindedir, iyice karışmış bir ırmaktan hangi kova dolusu suyu çektiğiniz önemli değildir; çektiğiniz su, o ırmağın suyunu temsil edecektir.

Farklı türlerin temsilcilerinden alınan DNA metinleri büyük bir başarıyla, harfi harfine karşılaştırılarak türlerin soyağaçları çıkarılmıştır. Önemli bir düşünce okuluna göre, dallanma noktalarını tarihlendirmek bile mümkündür. Bu fırsat, ne kadar tartışmalı olsa da, bir "moleküler saat" kavramından kaynaklanıyor: Genetik metnin bir bölgesindeki mutasyonların milyon yıl başına sabit bir hızda gerçekleştiği varsayımından. Moleküler saat hipotezine birazdan döneceğiz.

Genlerimizdeki, sitokrom c diye adlandırılan proteini tanımlayan "paragraf," 339 harfliktir, insan sitokrom c'sini uzak sayılabilecek kuzenlerimiz olan atların sitokrom c'sinden on iki harf değişikliği ayırır, insanları (oldukça yakın kuzenlerimiz) maymunlardan yalnızca bir sitokrom c harfi değişikliği, atları (çok yakın kuzenleri) eşeklerden bir harf değişikliği ve atları (daha uzak kuzenleri) domuzlardan üç harf değişikliği ayırır. İnsanları mayadan kırk dört harf değişikliği ayırır ve domuzları mayadan ayıran harf sayısı da aynıdır. Bu sayıların aynı olması şaşırtıcı değildir; geriye doğru izlediğimizde, insanlara ulaşan ırmağın domuzlara ulaşan ırmakla; insan ve domuzların ortak ırmaklarının mayaya ulaşan ırmakla birleşmesinden çok daha yakın bir zamanda birleştikleri görülür. Ancak, bu sayılarda küçük bir sorun vardır. Atları mayadan ayıran sitokrom c'deki

değişen harf sayısı kırk beş değil, kırk altıdır. Bu, domuzların mayayla atlara göre daha yakın akraba oldukları anlamına gelmez. Tüm omurgalılar —ve aslında tüm hayvanlar— gibi, mayaya tamamen eşit yakınlıktadırlar. Belki de domuzlarla paylaştıkları yakın sayılabilecek atanın zamanından bu yana, atlara ulaşan soy çizgisine fazladan bir değişiklik sızmıştır. Bu önemli değildir. Genel olarak, iki canlıyı birbirinden ayıran sitokrom *c* harfi değişikliklerinin sayısı, hemen hemen evrim ağacının dallanma modeliyle ilgili önceki fikirlerden bekleyebileceğimiz kadardır.

Belirtildiği gibi, moleküler saat kuramına göre, belli bir metin parçasının milyon yıl başına değişim hızı sabit sayılır. Atları mayadan ayıran kırk altı sitokrom *c* harfi değişikliğinden, yaklaşık yarısının ortak atadan modern atlara, yaklaşık yarısının da ortak atadan modern mayaya giden evrim sırasında olduğu varsayılır (anlaşılan, iki evrim yolu da tamamen aynı milyon yıllık sürede katedilmiştir). İlk başta bu şaşırtıcı bir varsayım gibi görünüyor. Ne de olsa, ortak atanın attan çok mayaya benzemesi olasılığı yüksektir. Burada, önde gelen Japon genetikçisi Motoo Kimura'nın ilk kez savunduğu günlerden bu yana git- tikçe daha yaygın kabul gören; genetik metinlerin büyük bölümünün metnin anlamı etkilenmeden serbestçe değişebileceği varsayımıyla bir uzlaşmaya varıyoruz.

Basılı bir cümlede karakter tipini değiştirerek iyi bir benzetme yapabiliriz. "**At bir memelidir.**" "**Maya bir mantardır.**" Her sözcük başka bir fontla basılmış olsa da, bu cümlelerin anlamı son derece açıktır. Milyonlarca yıl geçtikçe, moleküler saat, anlamsız font değişikliklerine eşdeğer bir şekilde ilerler. Doğal seçime tâbi olan ve bir atla maya arasındaki farkı — cümlelerin *anlamındaki* değişikliği— tanımlayan değişiklikler buzdağının ucudur.

Kimi moleküllerin saat hızları diğerlerinden daha hızlıdır.



Sitokrom c, görece yavaş evrimlesin Her yirmi beş milyon yılda yaklaşık bir harf değişir. Bunun nedeni büyük olasılıkla, sitokrom c'nin bir organizmanın varkalımı açısından taşıdığı hayati önemin, organizmanın ayrıntılı şekline kritik ölçüde bağlı olmasıdır. Şeklin kritik önem taşıdığı bir molekülde, doğal seçim çoğu değişime izin vermez. Diğer proteinler de, (örneğin fibrinopeptidler) önemli olmakla birlikte, pek çok değişken organizma biçiminde aynı şekilde iyi çalışırlar. Fibrinopeptidler kan pıhtılaşmasında kullanılır ve bunların pıhtılaştırma özelliklerine zarar vermeden neredeyse tüm ayrıntılarını değiştirebilirsiniz. Bu proteinlerde mutasyon hızı yaklaşık olarak her altı yüz bin yılda bir değişiktir; bu, sitokrom c'ninkinin kırk katından daha hızlı bir orandır. Bu nedenle fibrinopeptidler, daha yakın atalık ilişkilerini —örneğin, memeliler içindeki atalık ilişkilerini— yeniden kurmakta yararlı olmakla birlikte, eski atalık ilişkilerini yeniden kurmakta işe yaramazlar. Beher milyon yıl başına kendilerine özgü bir hızda değişen ve her biri bağımsız olarak soyağaçlarının oluşturulmasında kullanılabilen yüzlerce farklı protein vardır. Bunların hepsi yaklaşık olarak aynı soyağacını verir; bu ise, evrim kuramını doğrulamak için delil gerekseydi, oldukça iyi bir delil olurdu.

Bu tartışmaya, cinsel karışmanın tarihsel sicili altüst ettiği görüşünden yola çıkarak girdik. Seksin etkilerinden kaçabilmek için iki yol ayırdettik. Seksin türler arasında genleri karıştırmadığı gerçeğinden hareket ederek, bunlardan birini inceledik. Bu da bize, fark edilir şekilde insan olmamızdan çok uzun süre önce yaşamış atalarımızın uzak soyağaçlarını yeniden kurmak için DNA dizinlerini kullanma olanağını vermektedir. Ancak bu denli geriye gittiğimizde, biz insanların zaten kesinlikle aynı ve tek bireyden geldiğimizi daha önce kabul etmiştik. Diğer tüm insanlarla soydaş olduğumuz iddiasını ne kadar yakınlarla dek sürdürebileceğimizi bulmak istiyorduk. Bunu keşfet-

mek içinse, farklı bir DNA kanıtına başvurmalıyız. Afrikalı Havva, ykmze işte bu noktada katılıyor.

Afrikalı Havva'ya kimi zaman, Mitokondriyal Havva da denir. Mitokondriler her bir hcremizde binlercesi kaynaşan kk, pastil şeklinde gövdelerdir. Temelde ileri boştur, ama zarımsı tabakalardan oluşan karmaşık bir iç yapıları vardır. Bu zarların sunduğu alan, mitokondrinin dış görünüşüne baktığınızda dşneceğinizden çok daha büyüktür ve kullanılır. Zarlar bir kimya fabrikasının —daha doğrusu, bir enerji istasyonunun— retim hatlarıdır. Zarlar boyunca dikkatle kontrol edilen bir zincirleme tepkime sürer; insan elinden çıkma herhangi bir kimya fabrikasındakinden daha fazla aşama içeren zincirleme bir tepkimedir bu. Sonuçta, besin moleküllerinden gelen enerji, kontrollü aşamalarla serbest bırakılır ve daha sonra bedenin herhangi bir yerinde, gerektiğinde yakılmak üzere yeniden kullanılabilir bir biçimde depolanır. Mitokondrilerimiz olmasa, anında lrdk.

Mitokondrilerin işlevi budur; ama biz daha çok, nereden geldikleriyle ilgileneceğiz. Evrimin kadim tarihinde, bunlar başlangıçta bakteriydiler. Bu, Amherst'teki Massachusetts Universitesi'nden Lynn Margulis'in cesurca savunduğu ve başlangıçta kabul edilen doktrinlere aykırı görülüp, sonradan isteksiz bir ilgi uyandıran, günümüzde ise neredeyse evrensel olarak onaylanan önemli bir kuramdır, iki milyar yıl önce, mitokondrilerin uzak ataları serbest yaşayan bakterilerdi. Farklı türlerdeki başka bakterilerle birlikte daha büyük hücrelerin içine yerleştiler. Sonuçta ortaya çıkan ("prokaryotik") bakteri topluluğu, bizim kendimize ait gördüğümüz büyük ("karyotik") hücreye dönüştü. Her birimiz, birbirine bağımlı yüz milyon kere milyon ökaryotik hücreden oluşan bir topluluğuz. Bu hücrelerin her biri, özel olarak evcilleştirilmiş binlerce bakteriden oluşan bir topluluktur. Bu bakteri topluluğu, tamamen hücre-

nin içine hapse dılmış olarak, bakterilere özgü şekil de çoğalır. Tek bir insan bedenindeki mitokondriler uç uca dizildiğinde oluşacak kuşağın dünyanın etrafını bir kez değil , iki bin kez saracağı hesaplanmıştır. Tek bir hayvan ya da bitki , tıpkı bir tropikal yağmur ormanı gibi, etkileşimli katmanlar halinde paketlenmiş büyük bir topluluklar topluluğudur. Yağmur ormanının kendisi de belki on milyon organizma türünün barındığı bir topluluktur; her türün her bireysel üyesi ise, evcilleştirilmiş bakteri topluluklarından oluşan bir topluluktur. Dr. Margulis'in başlangıç kuramının —dışa kapalı bir bakteri bahçesi olarak hücre —tek özelliği, Cennet Bahçesi öyküsünden daha esinlendirici, daha heyecan verici ve daha coşkulu olması değildir. Neredeyse kesinlikle doğru olmak gibi bir üstünlüğü daha vardır.

Çoğu biyolog gibi şimdi ben de Margulis kuramının doğru olduğunu varsayıyor ve belirli bir anlamını izlemek için bu bölümde değiniyorum : Mitokondrilerin , diğer bakteriler deki gibi tek bir halka kromozomla sınırlanmış olan kendi DNA'ları vardır. Şimdi de , bütün bunların vardığı noktaya değin elim : Mitokondriyal D N A hiçbir cinsel karışım a katılmaz, ne bedenın ana "çekirdeksel" DNA'sıyla birleşir, ne de diğer mitokondrilerin DNA'sıyla . Pek çok bakteri gibi mitokondriler de yalnızca bölünerek çoğalır. Bir mitokondri iki yavru mitokondriye bölündüğünde her yavru —arada bir görülen mutasyonlar hariç — ilk kromozomun tam bir kopyasını alır. Şimdi , uzun mesafeli soybilimci açısından bu kuramın güzelliğini görüyorsunuz. Alışılmış DNA metinlerimiz söz konusu olduğunda her kuşakta seksin delilleri bulandırdığını , anne ve babanın soy çizgilerinden gelen katkıları karıştırdığını bulguladık . Mitokondriyal DNA ise, çok şükür bekârdır.

Mitokondrilerimizi yalnızca annemizden alırız . Sperma birkaç taneden fazla mitokondri taşıyamayacak kadar küçüktür;

yumurtaya doğru yüzerken kuyruklarına hareket gücü verecek enerjiyi sağlamaya yetecek kadar mitokondrileri vardır ve bunlar da döllenme sırasında, sperma başı yumurtanın içine çekildiğinde, kuyrukla birlikte atılır. Yumurta ise spermaya kıyasla çok daha büyüktür ve sıvıyla dolu muazzam iç kısmında zengin bir mitokondri kültürü vardır. Bu kültür çocuğun bedenine tohum verir. Yani, erkek de olsanız, kadın da olsanız, tüm mitokondrileriniz annenizin mitokondrilerinin başlangıçta aşılmasından kaynaklanır. Erkek de olsanız, kadın da olsanız, mitokondrilerinizin tamamı anneannenizin mitokondrilerinden gelmiştir. Babanızdan, büyükbabalarınızdan, babaannenizden değil. Mitokondriler, dört büyük ebeveyninizin her birinden, sekiz büyük büyük ebeveyninizin her birinden vb. gelme olasılığı aynı olan ana çekirdek DNA'nın kirlenmediği, geçmişin bağımsız bir kaydını oluşturur.

Mitokondriyal DNA kirlenmemiştir, ama mutasyona — kopyalamadaki rastgele hatalara— karşı bağışıklı değildir. Aslında, (tüm bakterilerde olduğu gibi) bizim hücrelerimizin çağlar boyunca geliştirdiği incelikli hata düzeltme mekanizması olmadığı için, "kendi" DNA'mızdan çok daha yüksek bir hızla mutasyon geçirir. Sizin mitokondriyal DNA'nızla benimki arasında birkaç fark olacaktır ve bu fark sayısı da, atalarımızın ne kadar zaman önce ayrıldığını gösterecektir. Atalarımızın herhangi birini değil, yalnızca dişi dişi dişi... soy çizgisindeki atalarımızın. Anneniz safkan yerli Avustralyalı, ya da safkan Çinli, ya da safkan bir Kalahari'li !Kung San ise, sizin mitokondriyal DNA'nızla benimki arasında oldukça büyük bir fark görülecektir. Babanızın kim olduğu hiç önemli değildir: Mitokondrileriniz açısından, bir İngiliz lordu ya da Siyu şefi olması hiç önem taşımaz. Aynı durum, tüm erkek atalarınız için de geçerlidir.

Demek ki, aile yadigarı Kutsal Kitap cildiyle birlikte kuşaktan kuşağa geçen, ama yalnızca dişi soy çizgisinden gelmek gi-

bi büyük bir erdemi bulunan ayrı bir mitokondriyal Apokrifa\* vardır. Bu cinsiyetçi bir saptama değildir; yalnızca erkek çizgisinden gelse de aynı derecede yararlı olacaktı. Erdemi, bozulmamış, her kuşakta kesilip biçilip yeniden birleştirilmemiş olmasındadır. DNA soybilimcileri olarak bizlerin her iki cinsiyet-ten değil, yalnızca birinden gelen tutarlı bir soy bağlantısına ihtiyacımız var. Soyadı gibi, yalnızca erkek soy çizgisinden gelen Y kromozomu da kuramsal olarak aynı derecede işe yarayabilirdi, ama yararlı olamayacak denli az bilgi taşıyor. Mitokondriyal Apokrifa ise bir türün içindeki ortak ataların tarihlerini saptamak için idealdir.

Berkeley'den (California) müteveffa Allan Wilson'la bağlantılı bir araştırmacılar grubu çalışmalarında mitokondriyal DNA'dan yararlanmıştır. 1980'lerde Wilson ve çalışma arkadaşları dünyanın dört bir yanından 135 yaşayan kadındaki dizinleri örneklediler. Aralarında Avustralya aborijinleri, Yeni Gine dağlıları, yerli Amerikalılar, Avrupalılar, Çinliler ve Afrika'daki çeşitli halkların temsilcileri bulunan kadınların her birini diğer her bir kadından ayıran harf değişikliği sayılarına baktılar. Bu verileri bir bilgisayara yükleyip, bulabileceği en "cimri" soyağacını çıkarmasını istediler. Burada "cimrilik"; rastlantı olasılığını önceden kabul etme gereksinimini mümkün olduğunca ortadan kaldırmak anlamına geliyor. Bu da biraz açıklama gerektiriyor.

Atlar, domuzlar ve maya hakkındaki tartışmamızı ve sitokrom c harf dizinleriyle ilgili analizimizi düşünün. Atların domuzlardan yalnızca üç, domuzların mayadan kırk beş ve atların mayadan kırk altı harfle ayrıldığını hatırlayacaksınız. Kuramsal olarak, atlarla domuzlar birbirlerine görece yakın bir ortak atayla bağlı olduklarından, mayadan tamamen aynı uzak-

(\*) Apocrypha: Eski Ahit'e bağlı olup ıbranice metinleri bulunmadığı için her-kesçe Kutsal Kitap'ın metnine dahil edilmeyen ve bazı kiliselerce kutsal kabul edilen birtakım kitaplar. (Ç.N)

lıkta olmaları gerektiğini söylemiştik. Kırk beşle kırk altı arasındaki fark bir anormallik, ideal bir dünyada olmaması gereken bir şeydir. Atlara giden yolda gerçekleşen fazladan bir mutasyona ya da domuzlara giden yolda gerçekleşen bir ters mutasyona bağlı olabilir.

Şimdi, bu fikir aslında ne denli anlamsız olursa olsun, domuzların atlardan çok mayaya yakın olduklarını düşünmek kuramsal açıdan akla yakındır. Domuzların ve atların birbirlerine yakın benzerliklerini (sitokrom c metinleri yalnızca üç harf değişikliği gösterir ve bedenleri temelde neredeyse aynı memeli modeline göre yapılanmıştır) büyük bir rastlantı sonucu geliştirmiş olmaları kuramsal açıdan mümkündür. Buna inanmayışımızın nedeni, domuzların atlara benzer yönlerinin, mayalara benzer yönlerinden çok daha fazla olmasıdır. Evet, domuzların atlardan çok mayalara yakın görünmelerini sağlayan tek bir DNA harfi vardır, ama ters yöndeki milyonlarca benzerlik bunu bastırır. Burada bir "cimrilik" tezi vardır. Domuzların atlara yakın olduklarını varsaydığımızda yalnızca bir rastlantısal benzerliği kabul etmemiz gerekir. Domuzların mayaya yakın olduğunu varsaymaya kalktığımızda ise, gerçekçi olmayacak derecede çok benzerliğin birbirinden bağımsız ve rastlantısal olarak edinildiğini kabul etmemiz gerekir.

At, domuz ve maya örneklerinde cimrilik tezi kuşku duyulamayacak denli baskındır. Ama farklı insan ırklarının mitokondriyal DNA'sında, benzerlikler konusunda baskın olan bir şey yoktur. Cimrilik tezleri hâlâ geçerlidir, ama bunlar büyük, çürütücü tezler değil, küçük, niceliksel savunulardır. Bilgisayarın kuramsal olarak yapması gereken şudur: 135 kadınla ilgili tüm olası soyağaçlarının bir listesini yapmak. Ardından, bu olası soyağaçları kümesini inceler ve en cimri olanını —yani, rastlantısal benzerlik sayısını asgariye indiren— seçer. En iyi soyağacının bile, bir DNA harfi bakımından mayanın domuzdan

çok atlara yakın olduğu gerçeğini kabul etmek zorunda kalmamız gibi, birkaç küçük rastlantıyı kabul etmeye bizi zorlayabileceğini teslim etmeliyiz. Ancak —en azından kuramsal olarak— bilgisayar bunu göz önüne alabilmeli ve olası ağaçlardan hangisinin en cimri olduğunu, en az rastlantıyı içerdіđini bildirebilmelidir.

Bu, kuramda kalır. Uygulamada ise beklenmedik bir sorun çıkar. Olası soyağaçları sayısı sizin, benim ya da herhangi bir matematikçinin düşünebileceğinden çok daha fazladır. At, domuz ve maya için yalnızca üç olası ağaç vardır. Açıkça doğru olanı, domuz ve atın köşeli iç parantezler arasında yan yana olduğu ve mayanın da ilgisiz "dış grupta" yer aldığı *[[domuz at] maya]* olacaktır. Diğer iki kuramsal ağaç ise *[[domuz maya] at]* ve *[[at maya] domuz]dur*. Buna dördüncü bir yaratık —ömeğin, mürekkepbalığı— eklediğimizde, ağaç sayısı on ikiye çıkar. On iki listeyi de vermeyeceğim, ama doğru (en cimri) olanı *[[[domuz at]mürekkepbalığı]maya]* olacaktır. Burada da yakın akraba olarak at ve domuz, en içteki parantezlerde yan yana yerleştirilmiştir. Kulübe bundan sonra, domuz/at soyuyla mayaya kıyasla daha yakın bir ortak atası olan mürekkepbalığı katılır. Diğer on bir ağacın herhangi biri —sözgelimi, *[[domuz mürekkepbalığı] [at maya]]*— kesinlikle daha az cimridir. Domuzun gerçekten mürekkepbalığının ve atın da gerçekten mayanın daha yakın kuzeni olması durumunda, domuzla atın sayısız benzerliklerini birbirlerinden bağımsız olarak geliştirmiş olmaları pek olası değildir.

Uç yaratık üç olası ağaç ve dört yaratık on iki olası ağaç veriyorsa, yüz otuz beş kadın için kaç olası ağaç oluşturulabilir? Yanıt öylesine büyük bir sayı ki, yazmanın hiçbir anlamı yoktur. Dünyadaki en büyük ve en hızlı bilgisayar tüm olası ağaçları sıralamaya programlansaydı, bilgisayar bu görevinde bir arpa boyu ilerleyemeden göçüp gitmiş olurduk.

Yine de, çaresiz bir sorunla karşı karşıya değiliz. Ele avuca gelmez derecede büyük sayıları mantıklı örnekleme teknikleri kullanarak evcilleşmeye alışkınız. Amazon Havzası'ndaki böcekleri sayamayız, ama ormandan rasgele noktalarda örnekler alarak ve bu noktaların ormanın bütününe temsil ettiğini varsa- yarak sayıyı tahmin edebiliriz. Bilgisayarımız 135 kadını birleştiren tüm olası ağaçları inceleyemez, ama tüm olası ağaçlar kümesinden rasgele örnekler seçebilir. Gigamilyarlarca olası ağaçtan bir örnek seçtiğinizde, örneğin en cimri üyelerinin bazı ortak özellikleri olduğunu fark ederseniz, belki en cimri ağaçta da aynı özelliklerin olduğu sonucuna varabilirsiniz.

Yapılan da bu oldu. Ama bunu yapmanın en iyi yolunun ne olduğu kendiliğinden belli de değildir. Tıpkı böcekbilimcilerin Brezilya yağmur ormanında örnekleme yapmanın en iyi yöntemi konusunda uyuşmamaları gibi; DNA soybilimcileri de farklı örnekleme yöntemleri kullandılar. Ve ne yazık ki, sonuçlar her zaman uyuşmuyor. Yine de, Berkeley grubunun insanın mitokondriyal DNA'sına dair ilk analizlerinde ulaştığı sonuçları vereceğim. Sonuçları son derece ilginç ve kışkırtıcıydı. Onlara göre, en cimri ağacın Afrika'da kök salmış olduğu ortaya çıkıyor. Buysa, kimi Afrikalıların diğer Afrikalılarla akrabalık bağlantılarının, dünyanın geri kalan kısmındaki herhangi biriyle akrabalık bağlantılarından daha uzak olduğu anlamına geliyor. Dünyanın geri kalan kısmı —Avrupalılar, yerli Amerikalılar, Avustralya aborijinleri, Çinliler, Yeni Gineliler, Eskimolar ve diğerleri— görece yakın bir kuzenler grubu oluşturuyor. Kimi Afrikalılar bu yakın grupta yer alıyor. Ama başkaları yer almıyor. Buna göre, en cimri ağaç şöyle bir şey: [kim Afrikalılar [başka Afrikalılar [daha başka Afrikalılar [daha başka Afrikalılar ve diğer herkes]]]]. Dolayısıyla, hepimizin dişi büyük atasının Afrika'da yaşadığı sonucuna vardılar: "Afrikalı Havva." Daha önce de söylediğim gibi, bu sonuç tartışmaya açık. Bazı



kişiler, en dış dalların Afrika dışında olduğu, aynı derecede cimri ağaçlar bulunabileceğini iddia ettiler. Ayrıca, Berkeley grubunun bu sonuçlara ulaşmasına kısmen, bilgisayarların olası ağaçlara bakma sırasının neden olduğunu öne sürdüler. Elbette, bakma sırası önemli olmamalıdır. Büyük olasılıkla uzmanların çoğu hâlâ, Mitokondriyal Havva'nın Afrikalı olması üzerine bahse gireceklerdir, ama bunu büyük bir güvenle yapamayacaklardır.

Berkeley grubunun ikinci sonucu tartışmaya bu denli açık değil. Mitokondriyal Havva nerede yaşamış olursa olsun, ne zaman yaşadığını tahmin edebiliyorlar. Mitokondriyal DNA'nın hangi hızla evrimleştiği biliniyor; dolayısıyla, mitokondriyal DNA'nın dallanma ağacının üzerindeki dal noktalarının her birine yaklaşık bir tarih koyabilirsiniz. Ve tüm kadın türünü birleştiren dal noktası — Mitokondriyal Havva'nın doğum tarihi — 150 bin ile 250 bin yıl öncesi arasındadır.

Mitokondriyal Havva Afrikalı olsa da olmasa da, atalarımızın hiç kuşkusuz Afrika'dan geldikleri gerçeğiyle ilgili olası bir karışıklıktan kaçınmak gerekir. Mitokondriyal Havva, tüm modern insanların yakın bir atasıdır. *Homo sapiens* türünün üyesiydi. Hem Afrika içinde, hem de dışında çok daha erken insangillerin, *Homo erectus*'un fosilleri bulundu. *Homo habilis* ve (dört milyon yaşından fazla, yeni keşfedilmiş bir örnek de dahil olmak üzere) çeşitli *Australopithecus* türleri gibi, *Homo erectus*'tan da uzak atalarımızın fosilleri yalnızca Afrika'da bulundu. Yani, son çeyrek milyon yıl içinde Afrika'dan göç etmiş bir halkın torunlarıysak, bu Afrika'dan gelen ikinci göçtür. Belki de bir buçuk milyon yıl önce, *Homo erectus*'un Afrika'dan dışarı yayılıp Orta Doğu ve Asya'nın bazı bölümlerinde koloni kurduğu, daha erken bir göç olmuştu. Afrikalı Havva kuramında bu daha erken Asyalıların yaşamadıkları değil, yaşayan torunlarının olmadığı öne sürülüyor. Duruma nereden bakarsa-

nız bakın, iki milyon yıl öncesine gidersek, hepimiz Afrikalıyız. Afrikalı Havva kuramında ilaveten, yalnızca birkaç yüz bin yıl öncesine gidildiğinde bile, şu anda yaşayan insanların hepsinin Afrikalı olduğu öne sürülüyor. Yeni delillerle desteklenmesi durumunda, tüm modern mitokondriyal DNA'larımızı Afrika dışında bir dişi ataya (diyelim ki, "Asyalı Havva"ya) dayandırmak ve aynı zamanda, daha uzak atalarımızın yalnızca Afrika'da bulunabileceğini kabul etmek mümkün olabilir.

Şimdilik, Berkeley grubunun haklı olduğunu varsayalım ve sonuçlarının ne anlama geldiğini ve gelmediğini inceleyelim. "Havva" lakabı kimi talihsiz sonuçlara yol açtı. Kimileri onun yalnız bir kadın, Yerküre'deki tek kadın, nihai genetik darboğaz, hatta Tekvin'in doğrulanması anlamına geldiği fikrine kapıldılar! Bu kesinlikle bir yanlış anlamadır. Doğru iddia onun Yerküre'deki tek kadın olduğu değildir, hatta onun zamanında nüfusun görece az olduğu da değildir. Her iki cinsiyetten yoldaşları hem çok sayıda hem de doğurgan olmuş olabilir. Günümüzde hâlâ çok sayıda yaşayan torunları olabilir. Ama mitokondrilerinin tüm torunları yok oldu, çünkü bizimle bağlantıları bir noktada bir erkekten geçiyor. Benzer şekilde, aristokrat bir soyadı (soyadları Y kromozomlarına bağlıdır ve mitokondrilerin tam tersine, yalnızca erkek soyuyla geçer) yok olabilir, ama bu, o soyadına sahip kişilerin hiç torunu olmadığı anlamına gelmez. Salt erkek yolu dışındaki yollardan çok sayıda torunları olabilir. Doğru iddia, Mitokondriyal Havva'nın, tüm modern insanların salt dişi soy çizgisiyle kökeni olduğu söylenebilecek, tarihsel olarak bize en yakın kadın olduğudur. Hakında bu iddianın yapılabileceği *bir kadın olmalı*. Tek tartışma konusu, bu kadının burada mı yoksa şurada mı, bu zamanda mı yoksa şu zamanda mı yaşadığıdır. Yoksa, bir yerde ve bir zamanda yaşadığı kesindir.

Mitokondriyal DNA alanında çalışan önemli bilimadamları-

rında bile gördüğüm, çok daha yaygın ikinci bir yanlış anlama daha var. Bu, Mitokondriyal Havva'nın en yakın ortak atamız olduğu inancıdır. Bu yanlışın nedeni, "en yakın ortak ata" ile "salt dişi soy çizgisindeki en yakın ortak ata" arasındaki karışıklıktır. Mitokondriyal Havva, salt dişi çizgisindeki en yakın ortak atamızdır, ama insan soyundan gelmenin, dişi yolu dışında milyonlarca başka yolu vardır. Ata sayısı hesaplarımıza geri dönün (ve bir önceki tartışmanın konusu olan, kuzen evliliklerinin yarattığı sorunu unutun). Sekiz büyük büyükebeveyniniz var, ama bunlardan yalnızca birisi salt dişi hattında yer alıyor. On altı büyük büyük büyükebeveyniniz var, ama *bunlardan* yalnızca birisi salt dişi hattında yer alıyor. Kuzen evliliğinin belli bir kuşakta ata sayısını azalttığını hesaba katsak bile, salt dişi hattı dışında da ata olmanın pek çok yolu bulunduğu hâlâ doğrudur. Genetik ırmağımızı uzak dönemler boyunca geriye doğru izlersek, büyük olasılıkla pek çok Havva ve pek çok Adem — 1995'te yaşayan herkesin, soyundan geldiğini söyleyebileceğimiz odak noktası bireyler— vardı. Mitokondriyal Havva bunlardan yalnızca biridir. Tüm Havvalar ve Ademler arasında Mitokondriyal Havva'nın bize en yakını olduğunu düşünmek için belli bir neden yok; tam tersine, Mitokondriyal Havva *belli* bir şekilde tanımlanıyor: Soy ırmağı boyunca belli bir yol üzerinden ondan geliyoruz. Salt dişi soyçizgisinin yanı sıra bize uzanabilecek olası yol sayısı öylesine yüksek ki, Mitokondriyal Havva'nın bu pek çok Havva ve Adem arasında bize en yakın tarihlisi olması matematiksel açıdan çok zayıf bir ihtimal. Bu, yollar arasında özel bir yol (salt dişi yolu). Yollar arasında başka bir şekilde de (bize en yakın yol olarak) özel olması kayda değer bir rastlantı olurdu.

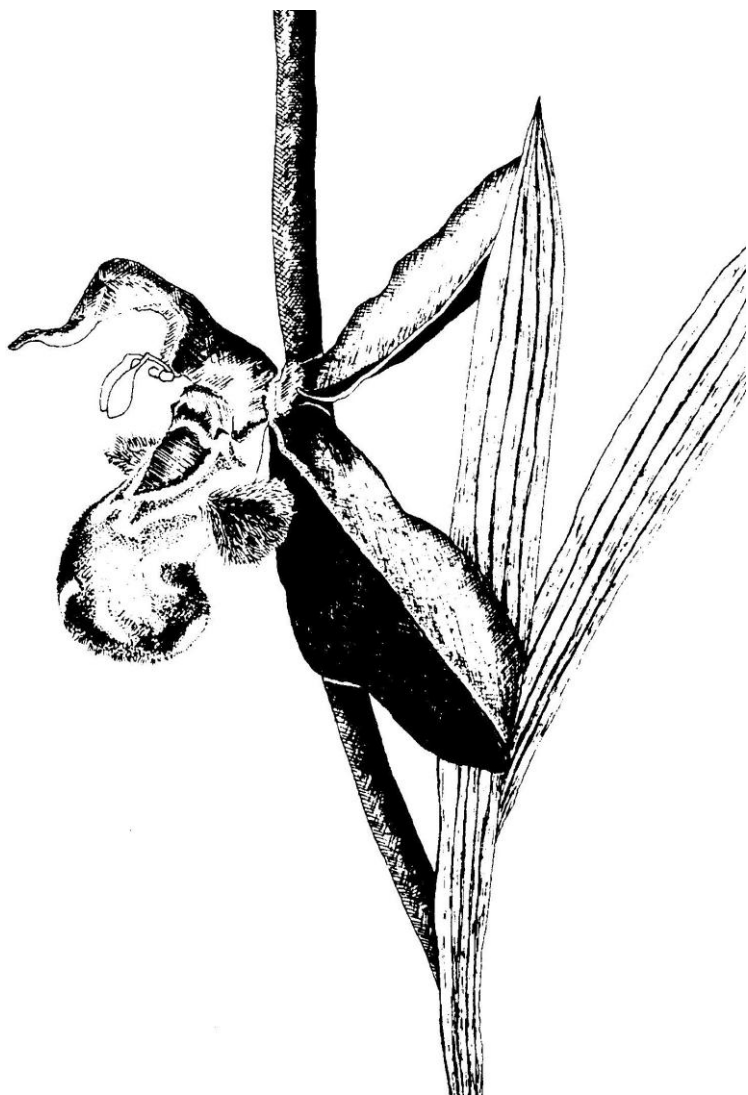
ilgi çekebilecek diğer bir nokta da, en yakın ortak atamızın bir Havva'dan çok Adem olmasının daha olası görünmesidir. Erkek haremlelerinden çok dişi haremlelerinin oluşması daha ola-

sıdır, çünkü erkekler fiziksel açıdan yüzlerce, hatta binlerce çocuk sahibi olabilirler. Guinness Rekorlar Kitabı bu rekoru, binin üzerinde çocukla Kana Susamış Molla İsmail'e ait olduğunu bildiriyor. (Feministler Molla İsmail'i nahoş maçoğun simgesi olarak seçebilirler. Ata binme yönteminin, kılıcını çekip eğere atlamak ve aynı anda yuları tutan kölenin kafasını keserek atın hızla fırlamasını sağlamak olduğu söylenir. Bu ne denli inanılmaz olursa olsun, bu efsanenin bize dek ulaşması ve kendi elleriyle on bin kişiyi öldürdüğü rivayeti belki de, onun türünde erkekler arasında hangi niteliklerin takdir gördüğü konusunda fikir verebilir). Dişiler ise ideal koşullar altında bile bir-iki düzineden fazla çocuk sahibi olamaz. Bir dişinin ortalama sayıda çocuğa sahip olma olasılığı, erkeğe göre daha yüksektir. Birkaç erkek gülünç derecede çok sayıda çocuğa sahip olabilir; bu da, başka erkeklerin hiç çocuğu olmaması anlamına gelir. Hiç çocuğu olmayacak kişi büyük olasılıkla, dişiden çok, erkektir. Ve orantısız derecede çok çocuğa sahip olacak kişi de büyük olasılıkla bir erkek olacaktır. Bu, tüm insanlığın en yakın ortak atası için de geçerlidir ve dolayısıyla bu kişinin bir Havva'dan çok Adem olması ihtimali daha yüksektir. Aşırı bir örnek vermek gerekirse, kimin, günümüzdeki tüm Faslıların atası olması olasılığı daha yüksektir? Molla İsmail'in mi, yoksa talihsiz haremindeki kadınlardan birinin mi?

Tüm bunlardan şu sonuçlara ulaşabiliriz: ilk olarak, bizim Mitokondriyal Havva adını verebileceğimiz, salt dişî yoldan tüm modern insanların en yakın ortak atası olan bir kadın mutlaka var oldu. Ayrıca, Odaksal Ata adını verebileceğimiz, cinsiyeti bilinmeyen, herhangi bir yoldan tüm modern insanların en yakın ortak atası olan bir kişinin yaşamış olduğu da kesin. Üçüncü olarak, Mitokondriyal Havva ile Odaksal Ata'nın aynı kişi olmaları mümkün görünse de, büyük olasılıkla öyle değildirler. Dördüncü olarak, Odaksal Ata'nın dişiden çok erkek ol-

ması bir şekilde daha olası. Beşinci olarak, Mitokondriyal Havva büyük olasılıkla çeyrek milyon yıldan daha az bir süre önce yaşadı. Altıncı olarak, Mitokondriyal Havva'nın nerede yaşadığı konusunda fikir birliği yok, ama bilgili kişiler tarafından sonuçta hâlâ Afrika tercih ediliyor. Yalnızca beşinci ve altıncı sonuçlar bilimsel delillerin incelenmesine dayanıyor. Diğer dördüne genel bilgilerimizle, oturduğumuz yerden akıl yürüterek ulaşabiliriz.

Ataların, yaşamın kendisini anlamanın anahtarı olduğunu söylemişim. Afrikalı Havva öyküsü daha büyük ve karşılaştırmaz derecede daha eski bir destanın dar kapsamlı, insana ait bir mikro kozmosudur. Gen ırmağı eğretilmesine, Cennet'ten akan ırmağa yeniden döneceğiz. Ama bu ırmağı, efsanevi Havva'nın binlerce ve Afrikalı Havva'nın yüz binlerce yılıyla karşılaştırmayacak derecede daha eski bir zaman ölçeğinde geriye doğru izleyeceğiz. DNA ırmağı atalarımızın içinden, en azından üç milyar yılı içine alan kesintisiz bir çizgi boyunca akmaktadır.



## S A M A N A L T I N D A N S U Y Ü R Ü T M E K

Yaratılışçılığın kalıcı bir cazibesi var ve bu cazibenin nedenini çok uzaklarda aramamıza gerek yok. En azından benim karşılaştığım insanların çoğu için neden, Tekvin'in ya da başka bir kabilesel başlangıç öyküsünün kelimesi kelimesine doğru olduğu inancına bağlılık değildir. Daha çok, insanların canlı dünyanın güzelliğini ve karmaşıklığını kendi başlarına keşfederek, bunun "belli ki" tasarlanmış olması gerekliliği sonucuna varmalarıdır. Darwinci evrimin, Kutsal Kitap'a dayalı kuramlarına en azından bir tür alternatif sunduğunu fark eden yaratılışçılar çok kez biraz daha incelikli bir itirazda bulunarak, evrimsel araçlar olasılığını yadsırlar. "X bir Yaratıcı tarafından tasarlanmış olmalı," derler. "Çünkü, yarım bir X hiçbir işe yaramazdı. X 'in bütün parçaları aynı anda bir araya getirilmiş olmalı; aşamalı olarak evrimleşmiş olamazlar." Bu bölümü yazmaya başladığım gün bir mektup aldım. Mektup, eskiden ateist olan ama National Geographic'te yayımlanmış bir makaleyi okuduktan sonra imana gelen Amerikalı bir rahipten geliyordu. İşte, mektuptan bir alıntı:

Makale, orkidelerin başarılı şekilde üremek için çevrelerine şaşırtıcı şekilde uyarlanmalarıyla ilgiliydi. Makaleyi okurken özellikle bir orkide türündeki, erkek yabanasının işbirliğini gerektiren üreme stratejisinden etkilendim. Anlaşılan çiçek bu yabanası türünün dışısına çok benziyordu, uygun yerde bir açıklığı vardı ve böylece erkek yabanası çiçekle çiftleşerek ürettiği çiçektozuna erişebiliyordu. Bir sonraki çiçeğe uçtuğunda süreç yineleniyor ve böylece çapraz tozlaşma gerçekleşiyordu. Ve çiçeğin yabanasına çekici gelmesini sağlayan

şey, o yabanarısı türünün dışisindekine benzer feromonlar [böceklerin cinsiyetleri bir araya getirmek için kullandıkları özel kimyasal çekici maddeleri] yaymasıydı. Makalenin yanındaki resmi birkaç dakika ilgiyle inceledim. Sonra, müthiş bir şok duygusuyla, bu üreme stratejisinin işe yaraması için, ilk seferinde mükemmel olması gerektiğini fark ettim, bunu aşamalı adımlarla açıklayamazdık, çünkü orkide dişi yabanarısına benzemese ve onun gibi kokmasaydı, çiftleşme için uygun ve çiçektozunun erkek yabanarısının üreme organının rahatça ulaşabildiği bir yerde bulunduğu bir açıklık bulunmasaydı, strateji tam bir başarısızlığa uğrardı. İçine çöken duyguyu hiç unutmayacağım, çünkü o anda, bir Tanrı'nın var olması gerektiğini ve maddenin var olmasını sağlayan süreçlerle sürekli bir ilişki halinde bulunduğunu anlamıştım. Kısacası, yaratıcı Tanrı eski bir mit değil, gerçek bilseydi. Ve birdenbire, gönülsüzce de olsa, o Tanrı hakkında daha çok şey öğrenmek için araştırma yapmam gerektiğini gördüm .

Başkaları hiç kuşkusuz dine farklı yollardan ulaşıyorlar, ama pek çok insan (nezaket gereği kimliğini saklayacağım) bu rahibin yaşamını değiştiren deneyime benzer bir deneyim yaşamıştır. Bir doğa harikasını görmüş ya da hakkında bir yazı okumuştur. Bu onu hayrete ve meraka sürüklemiş, içinde huşu uyandırmıştır. Daha özgül olarak, benim mektup arkadaşım gibi, bu belirli doğal olgunun —bir örümcek ağının, bir kartalın gözünün ya da kanadının, ya da başka bir şeyin — aşamalı adımlarla evrimleşmiş olamayacağına, çünkü aradaki yarım aşamaların hiçbir işe varamayacağına karar vermiştir. Bu bölümün amacı, karmaşık mekanizmaların işe yaramaları için mükemmel olmaları gerektiği sav unsunu çürütmektir. Bu arada, orkideler Charles Darwin'in en gözde örneklerinden biriydi ve o, bir kitabın tamamını, doğal seçim aracılığıyla aşamalı evrim ilkesinin, "Orkidelerin Böcekler Tarafından Döllenmesini Sağ -



layan çeşitli Mekanizmaları"nı açıklamayı nasıl başardığını göstermeye adanmıştı.

Söz konusu rahibin tezinin kilit noktası, "bu üreme stratejinin işe yaraması için, ilk seferinde mükemmel olması gerekiyordu. Bu, aşamalı adımlarla açıklanamazdı" savıdır. Gözün evrimi için de aynı sav öne sürülebilir —pek çok kez sürülmüş- tür— ve bu konuya ileride yeniden döneceğim.

Bu tür bir savı her duyuşumda beni en çok etkileyen şey, büyük bir güvenle ortaya atılmasıdır. Rahibe sormak isterim, yabanarısını taklit eden orkidenin (ya da gözün ya da başka bir şeyin) tüm parçaları mükemmel ve yerli yerinde olmadıkça işe yaramayacağına nasıl böylesine *emin* olabiliyorsunuz? Bu konuyu gerçekten iyice düşündünüz mü? Orkideler, ya da yabanarıları, ya da yabanarılarının dişilere ya da orkidelere baktıkları gözleri hakkında en temel şeyleri gerçekten biliyor musunuz? Yabanarısının kandırılmasının çok zor olduğunu ve orkidenin benzerliğinin işe yaraması için her açıdan mükemmel olması gerektiğini iddia etme cesaretini size ne veriyor?

Bir düşünün, rastlantısal bir benzerlik sizi en son ne zaman yanılttı? Belki de yolda rastladığınız bir yabancıyı bir tanıdık sanarak şapkanızı çıkarıp selamladınız. Film yıldızlarının, kendilerinin yerine atlardan düşen ya da tepelerden atlayan dublörleri vardır. Dublörün yıldıza benzerliği çoğunlukla son derece yüzeyseldir, ama kısa süreli aksiyon sahnesinde izleyiciyi kandırmaya yeter. Bir dergide yayınlanan fotoğraflar erkeklerde şehvet uyandırır. Resim yalnızca, kâğıt üzerine basılmış matbaa mürekkebidir. Üç değil, iki boyutludur, imge yalnızca birkaç santim boyundadır. Gerçeğe benzer bir temsil yerine, birkaç çizgiden oluşan kaba bir karikatür de olabilir. Yine de, bir erkte ereksiyona yol açabilir. Belki de kısa bir an süren bir dişi görüntüsü, hızla uçan erkek yabanarısının onunla çiftleşmeye girişmesine yetiyordur. Belki de erkek yabanarıları yalnızca birkaç önemli uyararı fark ediyorlardır.

Yabancılarını kandırmanın insanları kandırmaktan daha kolay olabileceğini düşünmek için her türlü neden var. Dikenli balıkların kandırılması hiç kuşkusuz insanlara göre daha kolaydır; üstelik, yabancılarına oranla balıkların beyinleri daha büyük, gözleri ise daha iyidir. Erkek dikenli balıkların karınları kırmızıdır ve yalnızca diğer erkekleri değil, kırmızı "karınlı" kaba taklitleri de tehdit ederler. Eski ustam, Nobel Ödülü sahibi etolog Niko Tinbergen, laboratuvar penceresinin önünden geçen kırmızı bir posta kamyoneti ve tüm erkek dikenli balıkların akvaryumlarının pencere tarafına koşturup kamyoneti nasıl şiddetle tehdit ettikleri hakkında ünlü bir hikâye anlatmıştı. Yumurta taşıyan dişi dikenli balıkların karınları çarpıcı şekilde şişkindir. Tinbergen son derece kaba, belli belirsiz uzatılmış, bize göre dikenli balığa hiç benzemeyen ama şişkin "karnı" olan bir taklidinin, erkeklerde çiftleşme davranışları uyandırdığını bulguladı. Tinbergen'in kurduğu araştırma okulunun gerçekleştirdiği daha yakın tarihli deneyler, sözde bir seks bombasının — amut biçiminde, şişkin, balığa benzetilmiş ama şişkinlikten başka uzantısı olmayan ve (insan) imgelemine göre hiçbir şekilde balığa benzemeyen bir nesnenin— erkek dikenlide şehvet uyandırmakta daha da etkili olduğunu gösterdi. Dikenli "seks bombası", klasik bir normal ötesi uyaran — gerçeğinden daha etkili bir uyaran— örneğidir. Başka bir örnek vermek gerekirse, Tinbergen devekuşu yumurtası büyüklüğünde bir yumurtanın üstüne oturmaya çalışan bir deniz saksığının fotoğrafını yayınlamıştı. Kuşların beyinleri ve görme yetenekleri balıklara —ve yabancılarına— göre daha gelişkindir, ama anlaşılan deniz saksıklarını, devekuşununki kadar büyük bir yumurtanın, üzerinde kuluçkaya yatmak için en iyi nesne olduğunu "düşünmektedirler".

Martılar, kazlar ve yerde yuva kuran diğer kuşlar, yuvadan dışarı yuvarlanan bir yumurtaya klişeleşmiş bir tepki gösterirler. Uzanıp, gagalarının alt tarafıyla onu yeniden yuvaya çeker-

ler. Tinbeigen ve öğrencileri, martıların bunu yalnızca kendi yumurtalarına değil, tavuk yumurtalarına ve hatta kampçıların arkalarında bıraktıkları tahta silindirlere ya da kakao kutularına da yaptığını gösterdiler. Büyük martı yavruları ebeveynlerine yalvararak yiyecek elde ederler; ebeveynin gagasındaki kırmızı noktayı gagalayarak, şişkin kursaklarındaki balıkların birazını kusmalarına yol açarlar. Tinbeigen ile bir çalışma arkadaşı, bir ebeveyn başının kaba mukavva taklitlerinin, yavrularda yalvarma davranışı uyandırmakta son derece etkili olduğunu gösterdiler. Gerçekten gerekli olan tek şey, kırmızı bir noktadır. Martı yavrusu için, ebeveyni kırmızı bir noktadan ibarettir. Ebeveyninin geri kalan kısımlarını da görüyor olabilir, ama bu önemli bir şey gibi görünmemektedir.

Görüş yeteneğinin kısıtlı olması yalnızca martı yavrularına özgü değildir. Yetişkin karabaş martılar, kara yüz maskeleriyle göze çarparlar. Tinbergen'in öğrencisi Robert Mash, tahtadan yapılmış martı başı taklitlerini boyayarak bunun diğer yetişkinler için taşıdığı önemi araştırdı. Her bir baş, bir kutu içindeki elektrik motorlarına bağlanmış tahta bir çubuğun üzerine oturtulmuştu; böylece Mash uzaktan kumandayla başı alçaltıp yükseltebiliyor, sağa ya da sola çevirebiliyordu. Kutuyu bir martı yuvasının yakınlarına gömüyor ve başını kumun altında, görünemeyecek şekilde bırakıyordu. Sonra her gün yuvanın yakınlarındaki bir sipere gizlenerek, yuvadaki martının taklit başın yükseltilmesine ve şu ya da bu yöne çevrilmesine verdiği tepkiyi gözliyordu. Kuşlar, başa ve dönüşlerine, gerçek bir martıymış gibi tepki verdiler; oysa bu yalnızca, tahta bir çubuğun üzerine oturtulmuş, bedeni, bacakları, kanatları ya da kuyruğu olmayan, sessiz, gerçeğe benzemeyen, robotça bir yükselme, dönme ve alçalmadan başka hareket göstermeyen bir taklitti. Karabaş martı için tehditkâr bir komşunun, bedensiz bir kara yüzden pek fazla bir şey olmadığı anlaşıyor. Bedene, kanatlara ya da başka bir şeye gerek yok gibidir.

Kendisinden önceki ve sonraki pek çok kuşbilimci gibi Mash'de sipere gizlenip kuşları gözlemek için, kuşların sinir sistemindeki uzun zamandır bilinen bir kısıt lamadan yararlanmıştı: Kuşlar doğuştan matematikçi değildirler. İki kişi birlikte sipere girin ve sonra, aranızdan yalnızca birisi çıksın. Bu numara olmasa, kuşlar içeri birisinin girdiğini "bilerek" gizlenme yerine karşı tetikte olacaklardır. Ancak bir kişinin çıktığını görürlerse, ikisinin de çıktığını "varsayarlar." Kuş, bir insanla iki insan arasındaki farkı anlayamıyorsa, erkek yabanarısının, dişiye benzerliği mükemmel olmayan bir orkideye kanması o kadar şaşırtıcı mıdır?

Bir kuş öyküsü daha anlatmak istiyorum; ama bu seferki tam bir trajedi. Ana hindiler yavrularını şiddetle korurlar. Yavruların gelincik ya da leş yiyici sıçanlar gibi çapulculara karşı korunmaları gerekir. Anne hindinin, yuva çapulcularını tanımak için başvurduğu yöntem son derece kabadır: Yuva içinde , hareket eden her şeye, yavru hindi gibi bir ses çıkarmıyorsa, saldır. Bu, Avusturyalı zoolog Wolfgang Schleidt tarafından keşfedilmişti. Schleidt'ın, kendi yavrularını vahşice öldüren bir hindisi vardı. Bunun nedeni, ıstırap verecek kadar basitti: Hindi sağırdı. Hindinin sinir sistemi açısından, avcılar, yavru sesi çıkarmayan hareketli nesnelerdir. Bu yavru hindiler, yavru hindi gibi görünmelerine, yavru hindi gibi hareket etmelerine ve yavru hindi gibi güvenle annelerine koşmalarına karşın, annenin kısıtlı "avcı" tanımının k u r b a n ı oluyorlardı. Anne, kendi çocuklarını kendilerine karşı koruyor ve hepsini birden katlediyordu.

Hindinin trajik öyküsünün böcekler dünyasındaki bir yansımasına bakarsak, balansı antenlerindeki belirli duyu sinirleri yalnızca bir kimyasal maddeye karşı duyarlıdır: Oleik asit. (Başka kimyasallara karşı duyarlı olan başka hücreleri de vardır.) Çürüyen arı cesetlerinden oleik asit çıkar ve arılarda "ce -

nazeci davranışı"nı, yani ölü bedenlerin kovandan atılmasını başlatır. Deneyci canlı bir arının üstüne bir damla oleik asit sürdüğünde, zavallı yaratık hâlâ canlı olmasına ve tepinmesine karşın, ölülerle birlikte kovandan atılır.

Böcek beyinleri, hindi ya da insan beyinlerinden çok daha küçüktür. Böcek gözleri, hatta yusufçukların büyük petek gözleri bizim gözlerimizin ya da kuş gözlerinin keskinliğinin ancak çok küçük bir bölümüne sahiptir. Ayrıca, böcek gözlerinin dünyayı bizim gözlerimizden çok daha farklı bir şekilde gördüğü bilinir. Avusturyalı büyük hayvanbilimci Kari von Frisch, gençliğinde, böceklerin kırmızı ışığa karşı kör olduklarını, ama bizim göremediğimiz morötesi ışığı —kendine özgü renk tonuyla— görebildiklerini keşfetmişti. Böcek gözleri daha çok "parıltı" adı verilen bir şeyle meşguldür; anlaşılan bu —en azından hızla hareket eden bir böcek için— kısmen bizim "şekil" dediğimiz şeyin yerini alıyor. Erkek kelebeklerin ağaçlardan dökülen ölü yapraklara "kur" yaptıkları görülmüştür. Biz dişi kelebeği, bir aşağı bir yukarı çırpılan bir çift büyük kanat olarak görürüz. Uçan bir erkek kelebek ise, bir "parıltı" yoğunlaşması olarak görür ve kur yapar. Hareket etmeyen, yalnızca yanıp sönen bir stroboskop lambasıyla onu kandırabilirsiniz. Işığın yanıp sönmeye hızını doğru ayarlayabilirsiniz erkek kelebek lambaya, kanatlarını bu hızla çırpın başka bir kelebekmiş gibi davranacaktır. Bize göre şeritler statik modellerdir. Uçarak geçen bir kelebeğe ise şeritler parıltı olarak görünür ve doğru hızda yanıp sönen stroboskop lambasıyla taklit edilebilirler. Bir böceğin gözleriyle görülen dünya bize öylesine yabancıdır ki, bir orkidenin dişi yabanansı bedenini ne kadar "mükemmel bir şekilde" taklit etmesi gerektiğini tartışırken kendi deneyimimize dayalı yorumlarda bulunmak, insanın haddini aşmasıdır.

Yabanarıları, ilk olarak büyük Fransız doğabilimci Jean Henri Fabre'in gerçekleştirdiği ve sonradan aralarında Tin-

bergeirvin okulunun üyeleri de olmak üzere çeşitli araştırmacıların da yineledikleri klasik bir deneyin konusuydu. Dişi kazıcı yabanarısı, sokup felç ettiği avını taşıyarak inine döner. Avını dışarıda bırakıp inine girer ve avı içeri taşımadan önce her şeyin yolunda gidip gitmediğini kontrol eder. Yabanarısı inindeyken, deneyci avı bırakıldığı yerden birkaç santim geriye çeker. Yabanarısı yüzeye çıktığında avın kaybolduğunu fark eder ve çabucak yerini bulur. Ardından, avı yeniden inin girişine sürükler, ininin içini denetlemesinden beri yalnızca birkaç saniye geçmiştir. Programındaki bir sonraki aşamaya geçip avını içeri sürüklememesi ve işi bitirmemesi için hiçbir neden olmadığını düşünürüz. Ama programı bir önceki aşamaya yeniden ayarlanmıştır. Büyük bir görev duygusuyla avını tekrar inin dışında bırakır ve bir kez daha denetlemek üzere içeri girer. Deneyci bu oyunu sıkılana dek, isterse kırk kez yineleyebilir. Yabanarısı, programının bir önceki devresine ayarlanmış ve giysileri hiç ara vermeden kırk kez yıkadığını "bilmeyen" otomatik çamaşır makinesi gibi davranır. Saygın bilgisayar bilimcisi Douglas Hofstadter böylesine katı, akılsızca bir otomatizmi tanımlamak üzere yeni bir sıfat benimsemişti: "Sfeksçe". (*Sfeks*, kazıcı yabanarısını temsil eden bir cinsin adıdır.) Öyleyse, en azından bazı bakımlardan, yabanarılarını kandırmak kolaydır. Bu, orkidenin tezgâhladığından çok farklı bir kandırma türüdür. Yine de, "bu stratejinin herhangi bir işe yaraması için, daha ilk seferinde mükemmel olması gerekirdi" sonucuna varırken insana özgü sezgilerimizi kullanmaktan sakınmalıyız.

Yabanarılarının kandırılmasının kolay olduğuna sizi ikna etmeyi çok iyi başarmış olabilirim. Sonradan rahip olan mektup arkadaşımın neredeyse tam tersi bir kuşkuya kapılabilirsiniz. Böceklerin görme yetenekleri böylesine zayıf ve yabanarılarının kandırılması böylesine kolaysa, orkide, çiçeğini yabanarısına bu kadar benzetmek için neden zahmete katlanır? Ama ya-

ban arılarının görüş yetenekleri her zaman bu kadar zayıf değildir. Son derece iyi gördükleri durumlar da vardır: Örneğin, uzun bir av uçuşundan sonra kovuklarını bulurken, Tinbergen bunu arı kazıcı yabanarısı *Philanthus* üzerinde araştırmıştı. Yabanarısı kovuğuna inene dek bekliyordu. Tekrar dışarı çıkmadan önce, Tinbergen 'kovuğun girişinin etrafına bazı "sınır işaretleri" — örneğin ince bir dal ve bir çam kozalağı— koyuyordu. Ardından geri çekilip, yabanarısının dışarı uçmasını bekliyordu. Yabanarısı dışarı çıktıktan sonra bölgenin zihinsel bir fotoğrafını çekmiş gibi inin etrafında iki y a da üç daire çizerek uçuyor ve sonra avını aramak üzere uçup gidiyordu. Onun yokluğunda Tinbergen dalı ve çam kozalağını birkaç adım ötede başka bir yere koyuyordu. Yabanarısı geri döndüğünde yuvasını şaşırıyor ve kumda, dalla çam kozalağının yeni konumlarına göre doğru görünen yere dalıyordu. Yaban arısı bir anlamda yine "kandırılmış" olmaktadır; ama bu kez görüş yeteneğiyle saygımızı kazanmıştır. Görünüşe bakılırsa, yuvasının çevresinde daire çizerek yaptığı ilk uçuşunda gerçekte "zihinsel bir fotoğraf çekiyordu." Anlaşılan, dalla çam kozalağı modelini, ya da "gestalt"ını anlıyordu. Tinbergen, çam kozalağı halkaları gibi farklı türlerde sınır işaretleri kullanarak bu deneyi pek çok kez yinelemiş ve tutarlı sonuçlar almıştır.

Şimdi, Tinbergen'in öğrencisi Gerard Baerend'in yaptığı ve Fabre 'in "çamaşır makinesi" deneyiyle çelişen bir deneyden söz etmek istiyorum. Baerend'in kazıcı yabanarısı türü *Ammophila campestris* (bu türü Fabre da incelemiştir ) "sürekli tedarikçi" olması açısından alışılmamış bir türdür. Çoğu kazıcı yaban arıları kovuklarına gerekli besini getirip bir yumurta bırakır, ardından kovuğu mühürleyip genç larvaları kendi başlarına beslenmeye bırakırlar. Fakat *Ammophila* farklıdır. Kuşlar gibi, her gün yuvasına dönüp larvanın durumunu kontrol eder ve ihtiyaç duyduğu kadar yiyecek verir. Ama dişi *Ammophila*-

la\*tun herhangi bir zamanda iki y a da üç kovuğu vardır. Bir yuvada görece büyük, neredeyse büyümüş bir larva, birinde küçük, yeni bırakılmış bir larva ve birinde de belki orta büyüklükle ve yaşta bir larva bulunur. Üç larvanın yiyecek gereksinimleri doğal olarak farklıdır ve anne buna göre davranır. Baerends, yuvalarının içindekileri birbiriyle değiştirdiği zahmetli bir deneyler dizisinden sonra anne yabancılarının her yuvanın farklı besin gereksinimlerini gerçekten göz önüne aldığını gösterebilmiştir. Bu akıllıca gülünüyor, ama Baerends son derece garip , bize yabancı bir bakımdan o denli akıllıca olmadığını da bulguladı. Anne yabancısı sabahları ilk iş olarak, tüm aktif yuvalarını dolaşarak denetler. Her yuvanın şafak vakti durumunu ölçer ve bu ölçüm günün geri kalan kısmında göstereceği tedarik davranışını etkiler. Baerends, şafak denetiminden sonra yuvanın içindekileri istediği sıklıkta değiştiriyor, ama bu, annenin tedarik davranışında hiçbir değişiklik yaratmıyordu. Sanki anne, yuva saptama cihazını yalnızca şafak denetimi sırasında çalıştırıyor ve ardından, günün geri kalan kısmında elektrik tasarrufu için kapatıyordu.

Bu öykü bir bakıma, anne yaban arısının kafasında incelikli bir sayma, ölçme ve hatta hesaplama donanımı olduğunu düşündürüyor. Artık, yabancısı beyninin kandırılabilmesi için orkideyle dişi arasında ayrıntılı bir benzerlik olması gerekliliğine inanmak kolaylaşıyor. Ancak Baerends'in öyküsü aynı zamanda, çamaşır makinesi deneyimine benzer bir seçici körlük ve kandırılabilirlik yetisine işaret ediyor ve orkideyle dişi arı arasındaki kaba bir benzerliğin yeterli olabileceğini inanılır hale getiriyor. Buradan alınacak genel ders, bu tür konularda iddiada bulunurken insan yargısını asla kullanmama gereğidir. Asla, "Şunun ya da bunun aşamalı seçimle evrimleştiğine inanamıyorum," demeyin ve böyle diyenleri ciddiye almayın. Ben bu yanılgıya, "Kişisel Kuşkuculuktan Doğan Argüman" adını verdim.



Ben, şu iddiada bulunan tezlere saldırıyorum: şu ya da bu aşamalı olarak evrimleşmiş olamaz, çünkü şunun ya da bunun işe yaraması için "açıkça" mükemmel ve tam olması gerekir. şu ana dek, bu sava getirdiğim yanıtta, yabancılarının ve diğerk hayvanların dünyaya bizden farklı bir şekilde baktıklarını ve zaten bizim de kandırılmamızın güç olmadığını belirttim. Ama geliştirmek istediğim, daha da ikna edici ve daha genel başka tezler de var. işe yaraması için —örneğin, mektup arkadaşımın yabancıasını taklit eden orkideler için iddia ettiğı gibi— mükemmel olması gereken bir cihaz için "hassas" sözcüğünü kullanalım. Tamamen hassas bir araç bulmanın aslında gerçekten zor olması bence çok önemli bir nokta. Uçak hassas değildir, çünkü, her ne kadar canımızı tüm parçaları mükemmel bir düzen içinde çalışan bir Boeing 707'ye emanet etmeyi yeğlese de, bir ya da iki motoru gibi önemli donanım parçalarını kaybetmiş bir uçak bile uçabilir. Mikroskop hassas değildir, çünkü kötü bir mikroskop bulanık ve belirsiz bir imge verse de, küçük nesneleri bununla, mikroskopsuz bakmaya oranla daha iyi görebilirsiniz. Radyo hassas değildir; bir açıdan yeter sizse, hassasiyetini yitirebilir ve bozuk, çarpıtılmış sesler verebilir, ama yine de sözcüklerden bir anlam çıkarabilirsiniz. On dakikadır pencereden dışarı bakıp, insan yapımı bir hassas araca iyi bir örnek düşünmeye çalışıyorum ve aklıma yalnızca bir tane geliyor: Kemer (ark). İki tarafı bir kez bir araya geldikten sonra büyük bir dengelilik ve güce sahip olması açısından kemer hemen hemen hassastır. Ama bir araya gelene dek iki taraf da tek başına ayakta duramaz. Kemerin bir tür yapı iskelesiyle inşa edilmesi gerekir. İskele, kemer tamamlanana dek geçici bir destek sağlar; sonra kaldırılabilir ve kemer çok uzun süre sağlam kalır.

İnsan teknolojisinde, ilke olarak, bir aracın hassas olmaması için hiçbir neden yoktur. Mühendisler çizim masalarında ta-

mamlanmamış haldeyken çalışmayacak olan araçlar tasarlamakta serbesttirler. Ancak, mühendislik alanında bile gerçekten hassas bir araç bulmakta zorlanıyoruz. Bunun canlı araçlar için daha da geçerli olduğuna inanıyorum. Canlılar dünyasından, yaratılışçı propagandanın yararlandığı sözde hassas araçlardan bazılarına bakalım. Yabanarısı ve orkide örneği, şaşırtıcı taklit olgusunun örneklerinden yalnızca biridir. Çok sayıda hayvan ve bazı bitkiler başka nesnelere, çoğunlukla başka hayvan ya da bitkilere benzerlikleriyle üstünlük kazanır. Yaşamın neredeyse tüm yönlerinin taklitle geliştirildiği ya da yok edildiği başka örnekler de var: Yiyecek yakalamak (kaplanlar ve leopardlar güneşin benekler oluşturduğu ormanlarda avlarını izlerken neredeyse görünmez olurlar; fenerbalıkları üstünde yaşadıkları deniz tabanına benzerler ve avlarını, ucunda solucanı taklit eden bir yemin olduğu uzun bir "olta sopası"yla kendilerine çekerler; *femmes fatales\** ateşböcekleri başka bir türün parıltılı kur yapma modellerini taklit ederek erkekleri çekip yerler; sivri dişli horozbinalar büyük balıkları temizlemekte uzmanlaşmış başka balık türlerini taklit eder ve ulaşmalarına izin verilen müşterilerinin yüzgeçlerinden lokmalar alırlar); yenmekten kaçınmak (avcı hayvanlara yem olabilecek hayvanlar ağaç kabuklarına, ince dallara, taze yeşil yapraklara, kıvrılmış ölü yapraklara, çiçeklere, gül dikenlerine, deniz yosunu yapraklarına, taşlara, kuş dışkılarına benzerler ve bazı hayvanların da zehirli oldukları bilinir); yırtıcı hayvanları yavrulardan hileyle uzaklaştırmak (kılıçgagalar ve yerde yuva kuran pek çok kuş türü, kırık kanatlı bir kuşun davranışlarını ve yürüyüşünü taklit ederler); yumurtalara bakım sağlamak (guguk kuşunun yumurtaları, asalak besleyen özel türün yumurtalarına benzer; yumurtalarını ağızlarında taşıyan bazı kuluçka ağızlı dişi balık türlerinin bedenlerinde yumurta şeklinde desenler vardır, böy-

(\*) (fr.) meşum kadın (ç.n.)

lece erkekleri kendilerine çekip gerçek yumurtaları ağızlarına almalarını ve kuluçkaya yatmalarını sağlarlar.)

Bu örneklerin tümünde, taklidin mükemmel olmadıkça işe yaramayacağını düşünmeye yatkın oluyor insan. Yabanası orkide örneğinde, yabanasıların ve diğer taklit kurbanlarının algı kusurlarını gösterdim. Benim gözümde orkidelerin yabanasılarına, arılara ya da sineklere benzerlikleri hiç de şaşırtıcı değil. Benim gözümde bir yaprak böceğinin yaprağa benzerliği çok daha kusursuz; bunun nedeni belki de, gözlerimin, yaprak taklidinin hedef aldığı avcılar (tahminen kuşların) gözlerine daha çok benzemesi.

Ama taklidin işe yaramak için mükemmel olması gerektiğini öne sürmek daha genel bir açıdan da yanlıştır. Örneğin, bir avcının gözleri ne denli iyi olursa olsun, görüş koşulları her zaman mükemmel değildir. Dahası her zaman, neredeyse kaçınılmaz olarak, çok kötüden çok iyiye uzanan bir görüş koşulları süredurumu olacaktır, iyi tanıdığınız, başka bir şeyle asla karıştırmayacak denli iyi tanıdığınız bir nesne düşünün. Ya da bir insanı düşünün; örneğin, asla başka birisiyle karıştırmayacak kadar sevdiğiniz ve tanıdığınız yakın bir arkadaşınızı. Şimdi de, arkadaşınızın uzak bir mesafeden size doğru yürüdüğünü düşünün. Onu göremeyeceğiniz kadar uzak bir mesafe olmalı. Ayrıca, her özelliğini, her kirpiğini, her gözeneklerini görebileceğiniz kadar yakın bir mesafe düşünün. Ara mesafelerde ani bir dönüşüm yoktur. Tanınabilirlikte aşamalı bir azalma ya da çoğalma vardır. Askeri nişancılık kılavuzlarında bu şöyle anlatılır: "İki yüz yardada beden tüm parçaları açıkça görülür. Üç yüz yardada yüzün ana hatları bulanıklaşır. Dört yüz yardada yüz görünmez. Altı yüz yardada kafa bir noktadan ibarettir ve beden de giderek incilir. Sorunuz var mı?" Yavaş yavaş yaklaşan arkadaş örneğinde gerçekten de, onu birdenbire tanıyabilirsiniz. Ama bu durumda uzaklık, birini aniden tanıma *olasılığım* derecelendirir.

Uzaklık şu ya da bu şekilde bir görünürlük derecesi sunar. Temelde aşamalıdır. Bir modelle taklit arasındaki herhangi bir benzerlik düzeyi açısından, benzerlik ister çok dâhiyane, ister hiçe yakın olsun, avcının gözlerinin yanılacağı bir uzaklık ve yanılma olasılığının azalmış olacağı biraz daha kısa bir mesafe olmalıdır. Evrim ilerledikçe doğal seçim, kritik kandırılma mesafesinin aşamalı olarak azalmasıyla, aşamalı olarak gelişen m kemmellikteki benzerlikleri bu yüzden tercih edebilir. "Avcının gözleri"ni, "kandırılması gereken şeyin gözleri" anlamın- da kullanıyorum. Bu kimi zaman avın gözleri, bakıcı ebeveynin gözleri, dişi balığın gözleri vb. olabilir.

Bu etkiyi çocuklardan oluşan bir izleyici kitlesine verdiğim seminerlerde göstermiştim. Oxford Üniversitesi Müzesi'nden çalışma arkadaşım Dr. George McGavin benim için üzerine dallar,  l  yapraklar ve yosunlar yerleştirilmiş bir "orman zemini" hazırlama nezaketini gösterdi.  zerine özenle, düzinelerce  l  böcek yerleştirdi. Bunlardan bazıları, örneğin metal mavisi bir kinkanatlı oldukça göz alıcıydı; dal böcekleri ve yaprakları taklit eden kelebekler de dahil olmak üzere, bir kısmı çok iyi kamufle edilmişti; kahverengi hamamböceği gibi bazıları ise orta derece g r n rl kteydi. Çocuklardan bu tabloya doğru yavaşça yürüyerek böceklere bakmaları ve her böcek gördüklerinde şarkı söylemeleri istendi. Yeterince uzaktayken göz alıcı böcekleri bile göremediler. Yaklaştıa, önce göz alıcı böcekleri, ardından, hamamböceği gibi, orta g r n rl kteki böcekleri ve sonunda iyi kamufle edilmiş olanları gördüler. En iyi kamufle edilmiş böcekleri yakın mesafeden baktıklarında bile göremediler ve bunları gösterdiğimde çok şaşırdılar.

Uzaklık, hakkında bu tür bir sav ileri sürülebilecek tek derece değildir. Bir diğeri de alacakaranlıktır. Gecenin karanlığında neredeyse hiçbir şey görünmez ve taklidin modele son derece kaba benzerliği bile yeterli olur.  ğle güneşi altında an-

cak çok iyi bir taklit fark edilmekten kurtulabilir. Bu zamanlar arasında, şafakta ve akşam karanlığında, bulutlu bir günde, siste ya da yağmurda, düz ve kesintisiz bir görünürlük durumu geçerlidir. Bir kez daha, doğal seçim aşamalı olarak artan doğruluktaki benzerlikleri tercih eder, çünkü herhangi bir benzerlik düzeyi için, bu belli benzerlik düzeyinin her şeyi belirleyeceği bit görünürlük düzeyi olacaktır. Evrim ilerledikçe giderek gelişen benzerlikler varkalm açısından avantaj sağlar, çünkü canlının kandırılacağı kritik ışık yoğunluğu aşamalı olarak artar.

Görüş açısı da benzer bir derece sunar. Kimi zaman böcek taklidi, ister iyi olsun ister kötü, ancak avcının göz ucuyla görülür. Kimi zamansa amansızca tam karşıdan görülecektir. Olası en kötü taklidin bile saptanmaktan kurtulabileceği derecede dar bir görüş açısı olmalıdır. Aynı şekilde, en iyi taklidin bile tehlikede olacağı derecede merkezî bir görüş de olacaktır. Bu ikisi arasında sabit görüş dereceleri, açların oluşturduğu bir süredurum vardır. Taklit mükemmelliğinin herhangi bir düzeyi için, hafif bir düzelme ya da bozulmanın büyük fark yaratacağı kritik bir açı olacaktır. Evrim ilerledikçe, giderek artan nitelikteki benzerlikler tercih edilir, çünkü kritik kandırılma açısı aşamalı olarak merkezileşir.

Düşmanların gözlerinin ve beyinlerinin niteliği de bir başka derece olarak görülebilir; buna, bu bölümün daha önceki kısımlarında değinmişim. Bir modelle taklidi arasındaki herhangi bir benzerlik düzeyi açısından, kandırılacak bir göz ve kandıramayacak bir göz olabilir. Burada da, evrim sürdükçe, kesintisiz olarak zamanla daha nitelikli hale gelen benzerlikler tercih edilir, çünkü avcının gelişmişlik derecesi giderek artan gözleri kandırılmaktadır. Avcıların taklitçiliğin gelişmesine koşut olarak daha iyi gözler geliştirdiklerini söylemiyorum ki bu da olabilir. Ben, orada bir yerlerde, güçlü gözlü ve zayıf gözlü

avcılar olduğuunu söylüyorum. Bütün bu avcılar bir tehlike oluşturuyor. Zayıf bir taklit ancak, zayıf gözlü avcılar kandırabilir. İyi bir taklit ise neredeyse tüm avcıları kandırır. İkisi arasında pürüzsüz bir süredurum vardır.

Zayıf ve güçlü gözlerden söz edilmesi aklıma, yaratılışçıların en sevdiği bilmeceyi getiriyor. Yarım bir gözün yararı nedir? Doğal seçim mükemmel olmayan bir göz nasıl tercih edebilir? Bu soruyu daha önce de ele aldım ve hayvanlar krallığının çeşitli kollarında var olan orta karar gözlerden bir tayıf çıkardım. Kuramsal derecelerden oluşturduğum bölümlere bura da gözleri yerleştireceğim. Bir gözün kullanılabileceği görevlerin bir süredurumu, bir derecesi vardır. Şu anda gözlerimi, bilgisayar ekranında görünen harfleri tanımak için kullanıyorum. Bunu yapabilmek için iyi, keskin gözlere ihtiyacınız var. Ben gözlük yardımı olmadan okuyamayacağım bir yaşa ulaştım; şimdilik, hafifçe büyüten gözlükler kullanıyorum. Yaşım ilerledikçe gözlüğümün numarası yükselecek. Gözlüğüm olmadan yakın mesafedeki ayrıntıları görmekte giderek zorlanacağım. Burada bir başka süredurum var —yaşlanma süredurumu.

Herhangi bir normal insanın görüş yeteneği, ne kadar yaşlı olursa olsun, herhangi bir böcekten daha iyidir. Neredeyse kör olanlara dek, görüş yetenekleri nispeten kötü olan insanların başarıyla yapabilecekleri işler vardır. Oldukça bulanık bir görüşle tenis oynaya bilirsiniz, çünkü tenis topu odak dışında olsa bile konumu ve hareketi görülebilen büyük bir nesnedir. Yusufçukların gözleri bizim standartlarımıza göre kötü olmakla birlik te, böcek standartlarına göre iyidir ve yusufçuklar uçarken böceklerin üzerine dalış yapabilir; bu ise, neredeyse bir tenis topuna vurmaktan daha zor bir iştir. Çok daha zayıf gözlerle bir duvara çarpmaktan, bir uçuşumdan aşağı yuvarlanmaktan ya da bir ırmağa düşmekten kaçınılabılır. Daha da zayıf gözler,

bir bulut olabilecek, ama aynı zamanda bir avcının habercisi de olabilecek bir gölgenin yukarılarda dolandığını seçebilir. Yine daha da zayıf gözler, geceyle gündüz arasındaki farkı görebilir ve bu da başka şeylerin yanı sıra, üreme mevsiminin eş zamanlanması ve uyuma zamanının belirlenmesinde işe yarar. Gözün üstlenebileceği öyle bir görevler süredurumu vardır ve mükemmel ile berbat arasındaki herhangi bir göz kalitesi için, görüş kabiliyetindeki marjinal bir gelişmenin büyük fark yaratacağı bir görev düzeyi bulunur. Dolayısıyla gözün ilkel ve kaba bir başlangıçtan, kesintisiz bir ara düzeyler süredurumundan geçerek bir atmacada ya da genç bir insanda gördüğümüz mükemmelliğe ulaşana dek aşamalı bir evrim geçirmesini anlamak güç değildir.

Dolayısıyla yaratılışının sorusu — "Yarım bir göz ne işe yarar?"— yanıtlanması çocuk oyuncağı, hafif bir sorudur. Yarım göz, % 49 gözden % 1 daha iyi; % 49 ise % 48'den daha iyidir ve aradaki fark önemlidir. Şu kaçınılmaz eklemenin ardında daha ağır bir gövde gösterisi yatıyor gibidir: "Bir fizikçi olarak\*, göz gibi karmaşık bir organın bir hiçten evrimleşmesi için yeterli zaman olduğuna inanmam. Sizce yeterli zaman olmuş mudur?" Her iki soru da Kişisel Kuşkuculuktan Doğan Argüman'dan kaynaklanır. Yine de, dinleyiciler bir yanıt isterler ve ben de hep jeolojik zamanın büyüklüğüne başvururum. Bir adım bir yüzyılı temsil ediyorsa, İsa'dan sonraki tüm zaman bir kriket atışına sığar. Aynı ölçekte, çokhücreli hayvanla-

(\*) Umarım bu kimseyi kırmaz. Savımı desteklemek için, saygın fizikçi Rahip John Polknightorneun *Science and Christian Belief*e çıkan yazısından bir alıntı yapmak istiyorum (1994 , s. 16): "Richard Dawkins gibi birisi küçük farklılıkların elenmesinin ve birikmesinin nasıl büyük ölçekli gelişmeler üretebileceğine dair ikna edici tablolar sunabilir, ama bir fizik bilimcisi, içgüdüsel olarak, ışığa biraz duyarlı bir hücreden tamamen oluşmuş bir böcek gözüne kaç aşamada geçebileceğimize ve bunun için gerekli mutasyonların yaklaşık olarak kaç kuşakta oluşacağına dair, kabaca da olsa, bir tahmin görmek isteyecektir."

rın kökenine ulaşmak için New York'tan San Francisco'ya dek yürümeniz gerekir.

Şimdi anlaşılıyor ki, jeolojik zamanın şaşırtıcı boyutu, bir fıstığın kabuğunu açmak için kullanılan balyoz gibidir. Gözün evrimi için elverişli olan zamanı, Amerika'nın iki sahili arasında zahmetli bir yürüyüşe benzetebiliriz. Ama İsveçli iki bilimci, D an Nilsson ve Susanne Pelger'in, yakın tarihli bir araştırmaları bu zamanın gülünç derecede kısa bir parçasının bile gereğinden fazla olacağını düşündürüyor. Bu arada, "göz" denildiğinde zımnen omurgalı gözü kastediliyor; ama pek çok farklı omurgasız grubunda kullanışlı imge oluşturan gözler birbirlerinden bağımsız olarak kırk ila altmış kez arası sıfırdan evrimleşmiştir. Bu kırktan fazla bağımsız evrim arasında en azından dokuz ayrı tasarım ilkesi keşfedilmiştir; bunlara iğne deliği göz, iki tür kamera merceği gözü, eğimli yansıtıcı ("uydu çanağı") göz ve çeşitli petekgöz türleri dâhildir. Nilson ve Pelger, omurgalılarda ve ahtapotlarda iyi gelişmiş olan mercekli kamera gözler üzerinde yoğunlaştılar.

Belli bir evrimsel değişim miktarı için gerekli zamanı tahmin etmeye nasıl girişirsiniz? Her evrim aşamasının boyutunu ölçmek için bir birim bulmamız gerekir ve bunu, zaten var olan şeydeki bir yüzde değişimi olarak ifade etmek mantıklıdır. Nilsson ve Pelger anatomik niceliklerdeki değişimleri ölçme birimi olarak, % 1'lik ardışık değişimlerin sayısını aldılar. Bu uygun bir birimdir; tıpkı, belirli bir miktarda işi yapmak için gereken enerji miktarı olarak tanımlanan kalori gibi. Değişimin tamamı tek boyutta olduğunda, en kolayı, % 1'lik birimi kullanmaktır. Sözelimi, doğal seçimin uzunlukları giderek artan cennet kuşu kuyruklarını tercih etmesi gibi pek de olası olmayan bir durumda, kuyruğun bir metreden bir kilometreye uzaması için kaç aşama gerekecektir? Kuyruk uzunluğundaki % 1'lik artış sıradan bir gözlemcinin gözünden kaçacaktır. Yine



de, kuyruğun bir kilometreye dek uzaması şaşırtıcı derecede az aşama gerektirir: Yedi yüzden daha az.

Bir kuyruğu bir metreden bir kilometreye uzatmak pek hoş (ve pek saçma), ama bir gözün evrimini aynı ölçeğe nasıl yerleştirirsiniz? Sorun, göz örneğinde, pek çok parçada pek çok şeyin birbirine paralel olarak gerçekleşmesinin gerekmesidir. Nilsson ve Pelger'a düşen, evrimleşen gözlerin bilgisayar modellerini yaratarak, iki soruya yanıt bulmaktır. İlk soru esasında geçtiğimiz sayfalarda tekrar tekrar sorduğumuz soruydu, ama onlar bu soruyu bilgisayar kullanarak daha sistematik şekilde sordular: Düz deriden tam kamera göze, her ara düzeyin bir ilerleme sayılacağı pürüzsüz bir değişim derecesi var mıydı? (İnsan tasarımcıların tersine, doğal seçim tepe aşağı gidemez: hatla vadinin öteki tarafında çekici, daha yüksek bir tepe olsa bile). İkincisi —bu bölüme başlarken sorduğumuz gibi— gerekli evrimsel değişim miktarına ulaşılması ne kadar zaman alır?

Nilsson ve Pelger bilgisayar modellerinde hücrelerin içsel işleyişlerinin simülasyonunu yaratmayı denemediler. Konuya ışığa duyarlı tek bir hücrenin icat edilmesinden sonraki adımla girdiler; buna ışık hücresi (fotosel) demekte bir sakınca yok. Gelecekte, bu kez hücrenin içi düzeyinde başka bir bilgisayar modeli yaparak ilk canlı ışık hücresinin daha önceki, daha genel amaçlı bir hücresinin adım adım değişimiyle nasıl oluştuğunu göstermek hoş olacaktır. Ama bir yerden başlamak gere- kir ve Nilsson'la Pelger da ışık hücresinin icat edilmesinden sonraki noktadan başladılar. Doku düzeyinde çalıştılar: Bireysel hücreler düzeyi yerine, hücrelerden oluşan madde düzeyinde. Deri bir dokudur; bağırsak zarı, kas ve karaciğer de öyle. Dokular rasgele mutasyon etkisiyle çeşitli şekillerde değişebilirler. Doku yapraklarının alanı büyüyebilir ya da küçülebilir, kalınlaşabilir ya da incebilir. Mercek dokusu gibi saydam

dokuların özel durumunda, dokunun yerel parçalarındaki ışığın kırılma oranını (refraktif indis) değiştirebilirler.

Örneğin, koşan bir çitanın bacağından farklı olarak bir göz simülasyonundaki güzel yön, temel optik yasalarını kullanarak verimliliğinin kolayca ölçülebilmesidir. Göz iki boyutlu bir kesit olarak temsil edilir ve bilgisayar, gözün görsel keskinliğini ya da uzamsal çözölümünü tek bir gerçek sayı olarak kolayca hesaplayabilir. Bir çitanın bacağıнын ya da omurgasının verimliliği için eşdeğer bir sayısal ifade bulmak çok daha zor olacaktır. Nilsson ve Pelger, düz bir pigment tabakanın üstünde yer alan ve üzerine düz, koruyucu bir saydam tabaka yerleştirilmiş düz bir ağtabaka (retina) ile işe başladılar. Saydam katmanın kırılma oranının yerel, rasgele mutasyonlar geçirmesine izin verildi. Ardından, yalnızca değişimlerin küçük ve daha öncekilere göre bir ilerleme olması gereğiyle kısıtlanmış olarak, modelin kendisini rasgele deforme etmesine izin verdiler.

Sonuçlar hızla ve kesin olarak ortaya çıktı. Model göz şekli, bilgisayar ekranında kendini deforme ettikçe, giderek artan bir keskinlik eğrisi, hiç duraksamadan, düz bir başlangıçtan sığ bir çukurlaşmaya ve giderek derinleşen bir çanağa ulaştı. Saydam katman kalınlaşarak çanağı doldurdu ve dış yüzeyini şişirerek pürüzsüz bir eğriye dönüştürdü. Ve ardından, tıpkı bir hokkabazlık numarası gibi, bu saydam dolgunun bir kısmı kırılma oranı daha yüksek olan bir yerel, küresel altbölgeye yoğunlaştı. Kırılma oranı tekdüze bir şekilde yükselmemişti; küresel bölgenin mükemmel bir dereceli indis merceği işlevi gördüğü bir kırılma oranı derecesi oluşmuştu. Dereceli indis mercekleri, mercek üreticilerince bilinmemekle beraber, canlı gözlerde yaygındır, insanlar camı belli bir şekle sokarak mercek yaparlar. Çok sayıda merceği üst üste yerleştirerek, modern kameraların mor renkli pahalı mercekleri gibi, bileşik bir mercek yaparız, ama bu bireysel merceklerin her biri düz camdan

yapılmıştı)'. Dereceli indis merceklerinin kırılma oranı ise kendi maddesi içinde sürekli değişir. Tipik olarak, merceğin merkezinin yakınlarında kırılma oranı yüksektir. Balık gözlerinin dereceli indis mercekleri vardır. Dereceli endeks merceklerinde en az sapmalı sonuçların, merceğin odaksal uzunluğu ile yarıçapı arasındaki orantı için belli bir kuramsal optimum değere ulaştığınızda elde edildiği uzun zamandır bilinir. Buna Mattiessen orantısı denir. Nilson ve Pelger'ın bilgisayar modeli, hiç yanılmadan Mattiessen orantısına ulaştı.

Ve şimdi, tüm bu evrimsel değişimin ne kadar sürmüş olabileceği sorusuna gelelim. Nilsson ve Pelger buna yanıt vermek için doğal nüfuslardaki kalıtım hakkında bazı varsayımlarda bulunmak zorunda kaldılar. Modellerini "kalıtsallık" gibi niceliklerin akla yakın değerleriyle beslemeleri gerekti. Kalıtsallık, kalıtımın değişkenliği ne derece belirlediğinin bir ölçümüdür. Bunu ölçmenin tercih edilen yöntemi monozigot (yani, "tekyumurla") ikizlerinin sıradan ikizlerle karşılaştırıldığında birbirlerine ne kadar benzediklerine bakmaktır. Bir araştırmada insan erkeklerinde bacak uzunluğu kalıtsallığının % 77 olduğu bulundu. % 100 oranında bir kalıtsallık; ikizler birbirlerinden ayrı yetiştirilseler bile, bir tek yumurta ikizinin bacağına ölçtüğünüzde diğer ikizin bacak uzunluğu hakkında mükemmel bir bilgiye ulaşabileceğiniz anlamına gelir. % 10 oranında bir kalıtsallık ise monozigot ikizlerin bacaklarının birbirlerine, belli bir ortamdaki belirli bir nüfusun rasgele seçilmiş üyelerinin bacaklarından daha çok benzemeyeceği anlamına gelecektir. İnsanlarda ölçülmüş başka kalıtsallıklar; kafa genişliği için % 95, oturuş halindeki boy için % 85, kol uzunluğu için % 80 ve boy-pos için % 79'dur.

Kalıtsallıklar çoğunlukla % 50'den fazladır; dolayısıyla Nilsson ve Pelger göz modellerine % 50'lik bir kalıtsallığı güvenle girdiler. Bu muhafazakâr, ya da "kötümser" bir varsayımdı.

Örneğin, % 70 gibi daha gerçekçi bir varsayımla karşılaştırıldığında, kötümser bir varsayım, gözün evrimi için gerekli zamana dair nihai tahminleri yükseltme eğilimi gösterir. Nilsson ve Pelger, yanılma olacaksa, yüksek tahmin yönünde yanılmak istiyorlardı, çünkü göz gibi karmaşık bir şeyin evrimleşmesi için gerekli süre konusunda düşük tahminlerden sezgisel olarak kuşku duyarız.

Aynı nedenle, değişme katsayısı (yani, nüfusta tipik olarak ne kadar değişkenlik görüldüğü) ve seçim yoğunluğu (göz keskinliğinin gelişmesinin ne kadar varkalım avantajı sağladığı) için de kötümser değerler seçtiler. Herhangi bir yeni kuşağın bir seferde gözün yalnızca bir parçasında farklılık gösterdiğini varsayacak denli ileri gittiler: Gözün farklı parçalarındaki, evrimi büyük oranda hızlandıracak olan eşzamanlı değişimler kapsam dışı bırakıldı. Ama bu muhafazakâr varsayımlarla bile, düz bir deri tabakasından bir balıkgözü'nün evrimleşmesi için gerekli zaman, çok kısa bir süre olan dört yüz bin kuşaktan daha azdı. Bizim sözünü ettiğimiz küçük hayvanlar için, her yıla karşılık bir kuşak düştüğünü varsayabiliriz; yani, iyi bir kamera gözünün evrimleşmesi için gerekli zaman yarım milyon yıldan az gibi görünüyor.

Nilsson'la Pelger'in sonuçlarının ışığı altında, hayvanlar krallığında gözün en az kırk kez bağımsız olarak evrimleşmiş olması hiç de şaşırtıcı değil. Herhangi bir soy çizgisi içinde sıfır noktasından art arda bin beş yüz kez evrimleşmesi için yeterli zaman olmuştur. Küçük hayvanların bir kuşağının ömrü ortalama değerlerde kabul edildiğinde, gözün evrimi için gerekli zaman, yerbilimcilerin ölçemeyeceği denli kısa görünüyordu! Jeolojik zamanda bir göz kırpmaya süresi kadar.

Saman altından su yürüt, hayrın olsun. Evrimin temel bir özelliği, gizliden gizliye derece derece ilerleyişidir. Bu bir gerçek değil, bir ilke sorundur. Evrimin kimi safhalarının ani bir

dönüş gösterdiği doğru da olabilir, yanlış da. Hızlı evrim dönemleri, hatta ani makromutasyonlar —bir çocuğu her iki ebeveyninden de ayıran büyük değişimler olabilir. Kuyruklu yıldızların yeryüzüne çarpması gibi büyük doğal felaketler nedeniyle ani soy tükenişleri olduğu kesindir ve bunlar, memelilerin dinazorların yerini alması gibi, hızla gelişen yedek aktörlerin dolduracağı boşluklar bırakır. Büyük olasılıkla evrim, gerçekte her zaman aşamalı değildir. Ama gözler gibi, tasarlanmışa benzeyen karmaşık nesnelerin ortaya çıkışını açıklamakta kullanıldığında, aşamalı olmalıdır. Çünkü bu vakalarda evrim aşamalı olmazsa, açıklama gücünü yitirir; olguları yine mucizelerle açıklamaya çalışırız. Buysa hiçbir açıklama yapamamanın eşanlamlısıdır.

Gözlerin ve yabanarılarıyla tozlaşan orkidelerin bizi böylesine etkilemesinin nedeni, olası görünmemeleridir. Şans eseri kendiliğinden birikerek ortaya çıkma olasılıkları gerçek dünyada kabul edilemeyecek denli düşüktür. Bilmecenin çözümü, her adımı talihli olan, ama *çok* talihli olmayan, küçük adımlarla ilerleyen evrim sürecidir. Ama aşamalı değilse, bilmeceye çözüm getirmez: Bu yalnızca, bilmecenin yeni bir ifadesi olur.

Kimi zaman, aradaki aşamaların ne olabileceğini bulmak zor olacaktır. Bunlar zekâmızı zorlayacaktır; ama zekâmız başarısız olursa, bu zekâmızın sorunudur, ara aşamalar olmadığına dair kanıt oluşturmaz. Ara aşamaları düşünürken zekâmızın karşılaşacağı en büyük zorluklardan birini, arıların, Kari von Frisch'e ün kazandıran klasik çalışmasında keşfedilmiş ünlü "dans dili" çıkartır. Burada evrimin nihai ürünü öylesine karmaşık, ustaca ve bizim bir böcekten normalde bekleyeceğimizden öylesine farklı görünür ki, aradaki aşamaları hayal etmek güçtür.

Balardan çiçeklerin yerlerini birbirlerine özenle şifrelenmiş bir dansla anlatırlar. Besin kovana çok yakınsa "çember dansı

veya ront" yaparlar. Bu diğ er arıları heyecanlandırır ve hızla dışarı çıkıp kovanın yakınlarında besin aramaya başlarlar. Özellikle kayda değ er bir şey değildir bu. Ama besin kovandan uzakta bulunduğunda olanlar *çok* kayda değ erdir. Besini bulan yiyecek arayıcısı "sallanma dansı" yapar ve bu dansın biçimiyle zamanlaması diğ er arılara besinin kovana g ore hem pusula yönünü hem de uzaklığını anlatır. Sallanma dansı kovanın içinde, peteğ in dikey yüzeyinde yapılır. Kovanın içi karanlık olduğundan, diğ er arılar dansı g oremez ama hisseder ve duyarlar; çünkü dans eden arı, gösterisine k  k  ritmik ısıklık sesleri katar. Dans sekiz biçimindedir ve ortasında düz bir uçuş vardır. Besinin yönü kurnazca bir şifreyle, düz uçuşun yönüyle gösterilir.

Dansın düz uçuşu doğrudan besini işaret etmez. Edemez, çünkü dans peteğ in dikey yüzeyinde yapılır ve peteğ in yönü besinin nerede olabileceğine bağlı olmaksızın belirlenmiştir. Besinin yeri ise yatay coğrafiyada saptanmak zorundadır. Dikey petek duvara asılmış bir harita gibidir. Duvar haritasına çizilmiş bir çizgi, belli bir yönü doğrudan işaret etmez; ama yönü, herkesin anla tığı herhangi bir alı ılagelmi  kurala göre okuyabilirsiniz.

Arıların kullandıkları kuralı anlamak için, öncelikle, pek çok böcek gibi arıların da güneşi pusula gibi kullanarak yönlerini bulduklarını bilmek gerekir. Biz de bunu yaklaşık olarak yaparız. Bu yöntemin iki kusuru vardır. Birincisi, güneş  oğ nlukla bulutların arkasına gizlenir. Arılar bu sorunu, bizim sahip olmadığımız bir duyuyla   zerler. Arıların ışık kutupla masının yönünü görebildiklerini keşfeden yine von Frisch'tir; bu yetenek, güneşin görünmediği zamanlarda bile nerede olduğunu arıların anlamalarını sağlar. G ne  pusulasının ikinci sorunuyorsa, saatler ilerledikçe güneşin gökyüzünde "hareket etmesi"dir. Arılar bu sorunu da içsel bir saat kullanarak   zerler.

VonKrisoh neredeyse inanılmaz bir şekilde, besin seferberliğinden sonra saatlerce kovanda kalan dansçı arıların, dansın düz uçuş yönünü, sanki bu uçuş hattı yirmi dört dilimli bir saatin yelkovaniymış gibi, yavaşça döndürdüklerini keşfetti. Kovanın içinde güneşi göremiyor, ama içsel saatlerinin belirttiği gibi, güneşin dışarıda gerçekleşen hareketine ayak uydurmak için danslarının yönünü yavaşça ayarlıyorlardı. İlginç bir şekilde, Güney Yarıküre'deki arı ırkları da aynı şeyi, gerek tiği gibi, ters yönde yapmaktadırlar.

Şimdi de, dans şifresine geelim. Doğrudan peteğin üstünü işaret eden bir dans uçuşu besinin güneşle aynı yönde olduğunu gösterir. Peteğin tam alt yönüyse, besinin güneşin tam ters yönünde olduğunu gösterir. Tüm ara açılar da tahmin edeceğiniz şeyi işaret ederler. Dikey açının soluna elli derece, yatay düzlemde güneş yönünün 50° solu demektir. Ancak dans, açığı tam olarak göstermez. Pusulayı 360 dereceye bölmek biz insanların keyfi kuralı olduğuna göre, neden gösterebilir ki? Arılar pusulayı yaklaşık sekiz arı derecesine bölerler. Aslında, profesyonel kaplan ya da pilot değilsek, biz de yaklaşık olarak aynı şeyi yaparız. Gayri resmi pusulamızı sekize böleriz: Kuzey, Kuzeydoğu, Doğu, Güneydoğu, Güney, Güneybatı, Batı, Kuzeybatı.

Arı dansı besinin uzaklığını da işaretler. Daha doğrusu, dansın çeşitli yönleri —dönme hızı, sallanma hızı, ses çıkarma hızı— besinin uzaklığıyla bağlantılıdır ve dolayısıyla diğer arılar bunların herhangi birinden ya da bir bileşiminden yararlanarak uzaklığı okuyabilirler. Besin ne kadar yakınsa, dans da o kadar hızlıdır. Kovanın yakınlığında besin bulmuş bir arının, çok uzak mesafede besin bulmuş bir arıya göre daha heyecanlı ve daha az yorgun olmasının beklenebileceğini düşünerek, bunu aklınızda tutabilirsiniz. Bu, yalnızca belleğiniz için bir yarar -

dımcı *not* değildir; ileride göreceğimiz gibi, dansın nasıl evrildiği konusunda da bir ipucu sunmaktadır.

Özetle, besin arayan arı iyi bir besin kaynağı bulur. Balözü ve çiçek tozuyla yüklenmiş olarak kovana döner ve yükünü alıcı işçilere verir. Ardından, dansına başlar. Dikey bir peteğin herhangi bir yerinde, neresinde olduğu hiç önem taşımaksızın, dar bir sekiz şekli çizerek hızla dönmeye başlar. Diğer işçi arılar etrafında toplanarak hisseder ve dinlerler. Isık hızını ve belki de dönme hızını hesaplarlar. Arı karnını sallarken, dansın dikeye göre düz uçuş açısını ölçerler. Sonra kovanın kapısı na gidip, karanlıktan güneş ışığına fırlarlar. Güneşin konumunu — dikey yüksekliğini değil, yatay düzlemdeki pusula yönünü — gözlerler ve güneşe göre açısı, ilk besin arayıcısının dansının petekteki dikeyle oluşturduğu açıya uyan düz bir çizgide uçarlar. Bu kerterizde belirsiz bir uzaklık boyunca değil, ilk dansçı nın ses çıkarma hızına orantılı (hızın logaritmasına ters orantılı) bir uzaklık boyunca uçmayı sürdürürler. Üstelik, ilk dansçı besini bulmak için dolambaçlı bir yoldan uçmuşsa, dansıyla bu dolambaçlı yolun yönünü değil, besinin yeniden ayarlanmış pusula yönünü gösterir.

Dans eden arıların öyküsüne inanmak güçtür ve bazıları inanmaz. Kuşkuçulara ve sonunda kanıtları perçinleyen yakın tarihli deneylere bir sonraki bölümde döneceğim. Bu bölümde, arı dansının aşamalı evrimini tartışmak istiyorum. Bu evrimdeki ara evreler acaba neye benziyordu ve dans henüz mükemmel hale gelmemişken nasıl işe yapıyorlardı?

Bu arada, sorunun ifade şekli pek de doğru değil. Hiçbir yaratık "tamamlanmamış" bir "ara aşamada" yaşamını sürdürmez. Geriye dönüp bakıldığında, danslarını modern balarısı dansı yolunda araçlar olarak yorumlayabileceğimiz eski, çoktan ölmüş arılar yaşamlarını gayet iyi sürdürüyorlardı. Tam bir arı yaşamı sürüyor ve "daha iyi" bir şeye giden "yolda" ol-



duldarını düşünmüyorlardı. Dahası, "modern" arı dansımız da belki de son söz değildir ve hem bizler, hem de arılarımız yok olduğunda evrimleşip daha da hayranlık verici bir şeye dönüşebilir. Yine de, şu andaki arı dansının aşamalı olarak nasıl evrimleşmiş olabileceği konusu bizim için bir bilmecedir. Acaba bu aşamalı araçlar neye benliyordu ve nasıl işe yarıyordu?

Von Frisch bu soruyu soyağacına, balansının modern uzak kuzenlerine bakarak ele aldı. Bunlar, çağdaşı olduklarına göre, modern balansının ataları değildirler. Ama ataların bazı özelliklerini koruyor olabilirler. Balansı, korunmak için içi boş ağaçlara ya da mağaralara yuva yapan bir ılıman iklim böceğidir. En yakın akrabaları açıkta yuva kurabilen, peteklerini ağaç dallarına ya da kayalık çıkıntılara asan tropik arılardır. Dolayısıyla, dans ederken güneşi görebilirler ve dikeyin, güneşin yönünü "temsil etmesi"ni kuralına başvurmak zorunda değildirler. Güneş kendi kendini temsil edebilir.

Bu tropik akrabalarından biri olan cüce arı *Apis florea*, peteğin üstündeki yatay yüzeyde dans eder. Dansın düz uçuşu doğrudan besine işaret eder. Bir harita okuma kuralına gerek yoktur; doğrudan işaret yeterlidir. Balansına giden yolda makul bir geçiş evresidir bu elbette, ama yine de, bu evreden önceki ve sonraki diğer ara evreleri düşünmeliyiz. Cüce arı dansının öncülleri ne olabilirdi? Biraz önce besin bulmuş bir arının neden bir sekiz rakamı şeklinde dönüp dururken düz bir uçuş hattıyla besin yönünü işaret etmesi gerekiyordu? Bu, pistten havalanma hareketinin ritüelleştirilmiş bir şekli olabilir. Dansın evrimleşmesinden önce, von Frisch'e göre, besin yükünü yeni boşaltmış bir arı besin kaynağına tekrar uçmak üzere, aynı yöne doğru havalanacaktır. Havalanmaya hazırlık olarak yüzünü doğru yöne çevirecek ve belki birkaç adım atacaktır. Diğer arıları takip etmeye teşvik eden her türlü havalanma hareketini abartma ya da uzatma eğilimini doğal seçim desteklemiş olma-

lıdır. Belki de dans, ritüel şeklinde yinelenen bir tür havalanma hareketidir. Bu akla yakındır, çünkü arılar, dansı kullansalar da kullanmasalar da, birbirlerini besin kaynağına kadar takip etme taktiğini sık sık kullanırlar. Bu fikre aklımızın yatmasını sağlayan bir diğer gerçek de, dans eden arıların havalanmaya hazırlanır gibi kanatlarını biraz uzattıkları ve kanat kaslarını havalanacak kadar şiddetle değil de, dans sinyalinin önemli bir parçası olan gürültüyü çıkarmaya yetecek oranda titreştirmeleridir.

Havalanma hareketini daha da uzatıp abartmanın bariz bir yolu ise, yinelemektir. Yinelemek, başlangıca dönmek ve besin yönünde yine birkaç adım atmak demektir. Başlangıca geri dönmenin iki yolu vardır: Havalanma yolunun sonunda sağa ya da sola dönebilirsiniz. Sürekli sağa ya da sürekli sola dönerseniz, hangi yönün gerçek havalanma yönü ve hangisinin havalanma yolunun başlangıcına dönüş yönü olduğu belirsizleşir. Belirsizliği yok etmenin en iyi yolu, sırayla bir sola, bir sağa dönmektir. Buradan da, sekiz şeklindeki modelin doğal seçimi çıkar.

Peki ama, besin kaynağınızın uzaklığıyla dans hızı arasında- ki ilişki nasıl gelişti? Dans hızı besin uzaklığıyla düz orantılı olsaydı, açıklanması güç olurdu. Ama tam tersinin geçerli olduğunu hatırlayacaksınız: Besin ne kadar yakınsa, dans o kadar hızlıdır. Bu hemen, aşamalı evrimin akla yakın bir yolunu gösteriyor. Dansın ortaya çıkmasından önce, besin arayıcıları belki de havalanma hareketini ritüel şeklinde yineliyorlardı, ama belli bir hız yoktu. Dans hızı tamamen kendi isteklerine bağlı olmalıydı. Şimdi, tepeden tırnağa balözü ve çiçek tozuyla yüklenmiş olarak millerce uçuşaydınız, peteğin etrafında yüksek hızla hareket etmek ister miydiniz? Hayır, büyük olasılıkla bitkin düşmüş olurdunuz. Diğer taraftan, kovana yakın bir yerde zengin bir besin kaynağı keşfetmişseniz, kısa dönüş yolculuğu-

nuzdan sonra kendinizi hâlâ zinde ve enerjik hissederdiniz. Besinin uzaklığıyla dansın yavaşlığı arasındaki rastlantısal bir ilk ilişkinin formel, güvenilir bir şifre şeklinde nasıl ritüelleştiğini hayal etmek hiç de zor değildir.

Şimdi de, açıklaması en zor olan ara evreye gelelim. Düz uçuş yönünün doğruca besine işaret ettiği eski bir dans, dikeye göre uçuş açısının besin kaynağının bulunduğu yerin güneşe göre açısının şifresi olduğu bir dansa nasıl dönüşlü? Hu tür bir dönüşüm, kısmen balansı kovanının içi karanlık olduğu ve güneş görülemediği için, kısmen de dikey bir petekte dans ederken yüzeyin kendisi de besinin yerini işaret etmedikçe doğrudan besin kaynağının yerini göstermek mümkün olmadığı için gerekliydi. Ama bu tür bir dönüşümün gerekli olduğunu göstermek yeterli değil. Ayrıca bir dizi akla yakın, adım adım ilerleyen ara evreyle bu zorlu dönüşümün nasıl gerçekleştiğini de açıklamalıyız.

Bu kafa karıştırıcı bir soru, ama böceklerin sinir sistemiyle ilgili bir gerçek yardımımıza koşuyor. Şimdi sözünü edeceğimiz ilginç deney, kınkanatlılardan karıncalara dek çeşitli böcekler üzerinde gerçekleştirildi, işe, bir elektrik ışığının altında, yatay bir tahta zeminin üzerinde yürüyen bir kınkanatlıyla başlayın. İlk olarak, böceğin bir ışık pusulası kullandığını kanıtlayacağız. Ampulün konumu değiştirildiğinde, böcek de yönünü buna göre değiştirecektir. Örneğin, ışığa 30 derecelik bir kerteriz almışsa, yolunu, ışığın yeni konumuna 30 derecelik bir kerterizi koruyacak şekilde değiştirecektir. Aslında, ışık huzmesini dümen olarak kullanarak kınkanatlıyı istediğiniz yere yönlendirebilirsiniz. Böcekler hakkındaki bu gerçek uzun zamandır biliniyor: Güneşi (ya da ayı, yıldızları) pusula olarak kullanıyorlar ve bir ampulle onları kolayca kandırabiliyoruz. Buraya kadar, her şey tamam. Şimdi sıra ilginç deneye geliyor. Işığı söndürün ve aynı anda zemini dikey konuma getirin. Kınkanatlı yılmadan

yürümeyi sürdürüyor. Ve, *mirabile dictu*,\* yürüyüşünün yönünü, dikeye göre açısı, ışığa göre önceki açısıyla aynı olacak şekilde değiştiriyor: Bizim örneğimizde, 30 dereceye. Bunun neden olduğunu kimse bilmiyor, ama oluyor. Deney, böcek sinir sisteminin rastlantısal bir tuhaflığını gözler önüne seriyor sanki — belki de biraz, başımızı çarptığımızda bir kıvılcım görmemize benzeyen bir duyu kargaşası, yerçekimi duyusuyla görüş duyusu arasındaki devrelerin karışması. Her halükârda, bu tuhaf özellik balansı dansının "dikey güneşi temsil eder" şifresinin evrimi için gerekli köprüyü sağlamış olsa gerek.

Kovanın içinde bir ışık yakarsanız, halanları yerçekimi duyularını terk edip ışığın yönünü doğrudan, şifrelerindeki güneşin yerine koyarlar. Uzun zamandır bilinen bu gerçek şimdiye dek yapılmış en dâhiyane deneylerden birinde, balansı dansının gerçekten işe yaradığına dair nihai delilleri en sonunda ortaya koyan deneyde kullanıldı. Buna bir sonraki bölümde döneceğim. Bu arada, modern arı dansının daha basit başlangıçlardan evrimleşmiş olabileceği, akla yakın bir dereceli ara evreler dizisi bulduk. Von Frisch'in fikirlerini temel alarak anlattığım öykü belki de doğru öykü değildir. Ama buna benzer bir şeyin olduğu kesin. Öyküyü, gerçekten dâhiyane ya da karmaşık bir doğal olguyla karşılaşan insanlarda oluşan doğal kuşkuculuğa — Kişisel Kuşkuculuktan Doğan Argüman— bir yanıt olarak anlattım. Kuşkucular, "Ben akla yakın bir ara evreler dizisi düşünemiyorum, öyleyse böyle bir dizi hiç olmadı ve olgu ani bir mucizeyle meydana çıktı," diyorlar. Von Frisch akla yakın bir araçlar dizisi sundu. Bu tam anlamıyla doğru dizi olmasa bile, akla yakın olduğu gerçeği, Kişisel Kuşkuculuktan Doğan Argüman'ı çöktürmeye yeter. Yabancılarımı taklit eden orkidelerden kamera göze dek, baktığımız diğer tüm örnekler için de aynı şey geçerlidir.

Aşamacı Darwincilikten kuşkulanan kişiler pek çok ilginç ve

(\*) (Lat.) *hayreti* (Ç.N)

Şaşırtıcı doğa gerçeği bulabilirler. Örneğin benden, Pasifik Okyanusu'nun, hiç ışık olmayan ve su basıncının 1000 atmosferi aştığı derinliklerinde yaşayan yaratıkların aşamalı evrimini açıklamam istenmişti. Pasifik derinliklerindeki sıcak, volkanik ağzaların etrafında tam bir hayvanlar topluluğu oluşmuştur. Bakteriler, volkan ağzlarından gelen ısıyı kullanıp oksijen yerine kükürtü metabolize ederek tamamen alternatif bir biyokimyasal süreci çalıştırmışlardır. Olağan yaşamın güneşten enerji alan yeşil bitkilere bağımlı olması gibi, okyanus dibindeki daha büyük hayvanların toplulukları da sonuçta bu kükürt bakterilerine bağımlıdır.

Kükürt topluluğundaki hayvanların hepsi başka yerlerde görülen daha geleneksel hayvanların akrabalarıdır. Bunlar nasıl ve hangi ara evrelerden geçerek evrimleştiler? Burada da tezimiz aynı biçimde olacaktır. Açıklamamız için gereken tek şey, en azından bir doğal derecedir ve denizde aşağı doğru indikçe bol bol derece vardır. Bin atmosfer korkutucu bir basınçtır, ama 999 atmosferden yalnızca nicesel olarak büyüktür; 999 atmosfer de, 998 atmosferden, vb. Deniz dibi 0 metreden, tüm ara düzeylerden geçerek, 10.000 metreye dek derinlik dereceleri sunar. Basınç, 1 atmosferle 1000 atmosfer arasında yavaşça değişir. Işık yoğunlukları yüzey yakınlarında parlak güneş ışığından, derinliklerde tam bir karanlığa dek değişir ve o derinlikte yalnızca balıkların parlak organlarındaki ender parlak bakteri kümeleri karanlığı biraz hafifletir. Ani geçişler yoktur. Önceden adapte olunan her basınç ve karanlık düzeyine karşılık, bir kulaç daha derinde, bir ışık birimi daha karanlıkta yaşayabilen, mevcut hayvanlardan yalnızca biraz farklı bir hayvan tasarımı olacaktır. Her bilmemne için... ama bu bölüm gereğinden fazla uzadı. Yöntemlerimi biliyorsun, Watson. Uygula onları.



## TANRI'NIN YARARLILIK İŞLEVİ

Bir önceki bölümdeki mektup arkadaşım rahip, bir yabanarısı sayesinde inançlı olmuştı. Charles Darwin ise inancını, bir başka yabanarısı yüzünden yitirmişti. Darwin şöyle yazmıştı: **"Lütufkâr ve her şeye kadir Tanrı'nın *Ichneumonidae*\*'yi açıkça canlı tırtılların bedenleri içinde beslenmesi niyetiyle yarattığına ikna olamıyorum."** Darwin'in dindar karısı Emma'yı üzmemek amacıyla açığa vurmadığı derece derece inanç kaybının nedenleri aslında daha karmaşıktı. *Ichneumonidae*'ye değinmesi bir vecize kabilindendi. Darwin'in sözünü ettiği meşum alışkanlıklar bir önceki bölümde karşılaştığımız kazıcı yabanarılarda da görülür. Dişi kazıcı yabanarısı, larvasının beslenmesi için yumurtalarını bir tırtılın (ya da çekirgenin, arının) içine bırakmaktan öte, Fabre ve diğerlerine göre, iğnesini avının merkezî sinir sisteminin her sinir düğümüne dikkatle sokarak onu felçeder, ama öldürmez. Böylece et taze kalır. Bu felcin genel bir anestezi mi sağladığı, yoksa yalnızca kurbanın hareket etme yeteneğini donduran ok zehiri gibi bir şey mi olduğu bilinmiyor, ikinci seçenek doğruysa, kurban içinden canlı olarak yendiğini biliyor, ama bunu engellemek için bir kasını bile kıpırdatamıyor olabilir. Bu vahşice bir zalimlik gibi görünebilir, ama ileride de göreceğimiz gibi, doğa zalim değil, yalnızca acımasızca kayıtsızdır. Bu, insanların öğrenmesi gereken en zor derslerden biridir; doğadaki şeylerin ne iyi ne kötü, ne zalim ne duyarlı; yalnızca duygusuz olduklarını —her türlü ısı-

(\*) Özellikle tırtılların içinde yaşayarak beslenen patazitik bir sinek türü (Ç.N)

raba kayıtsız, her amaçlan yoksun olduklarını — kabullenemeyiz.

İnsanların beyninde amaç vardır. "Neye" yaradığını, ne denini ya da ardındaki amacı merak etmeden bir şeye bakmakta zorlanırız. Amaç saplantısı patolojik duruma geldiğinde buna paranoya denir: Aslında gerçekten tesadüfi bir talihsizlik olan şeylerin ardında kötü niyet aramak. Ancak bu, neredeyse evrensel bir sanrının yalnızca bartılı bir şeklidir. Herhangi bir nesneye ya da sürece baktığımızda, "Neden?" sorusunu — "Niçin? " sorusunu — sormaktan kendimizi alıkoymamız zordur.

Her yerde bir amaç görme isteği makinelerle, sanat yapıtlarıyla, araçlarla ve diğer tasarlanmış insan ürünleriyle kuşatılmış olarak yaşayan; dahası, uyanıkken düşüncelerine kendi kişisel hedefleri hâkim olan bir hayvan için son derece doğal bir istektir. Bir araba, bir konserve açacağı, bir tornavida ve bir saman tırımı aklımıza tamamen meşru olarak, " Neye yarar?" sorusunu getirir. Putperest atalarımız da fırtınalar, ay ve güneş tutulmaları, kayalar ve akarsular için aynı soruları sormuşlardır. Günümüzde böylesi bir ilkel animizmden kurtulduğumuz için gurur duyuyoruz. Bir akarsudaki kaya tesadüfen uygun bir basamak işlevi görüyorsa, bunun elverişliliğini gerçekten amaçlanmış bir durum olarak değil, bir şans eseri olarak görürüz. Ama başımıza bir trajedi geldiğinde, eski zafiyetimiz tüm hışmıyla geri döner; aslında, "başına gelmek" sözcüğü bile animistik bir yankıdır: "Neden, ama neden, kanser/deprem/kasırğa benim çocuğumun başına geldi?" Herşeyin kökeni ya da temel fizik yasaları sözkonusu olduğunda ise aynı zaaf çoğunlukla olumlu bir zevk verir ve şu boş varoluşçu soruda son bulur: "Hiçlik yerine neden bir şeyler var?"

Verdiğim seminerlerden sonra bir dinleyicinin ayağa kalkıp şu tür bir şey söyle diğini o kadar sık duydum ki: "Siz bilimci -



ler 'Nasil' sorularını yanıtlamakta çok başarılısınız. Ama sıra 'Neden' sorularına geldiğinde güçsüz kaldığınızı itiraf etmelisiniz." Çalışma arkadaşım Dr. Peter Atkins'in Windsor'da hitap ettiği izleyicilerin arasında bulunan Edinburgh Dükü Prens Philip de bu noktayı vurgulamıştı. Bu sorunun ardında her zaman, bilim "Neden?" sorusunu yanıtlayamadığına göre, bunu yanıtlama yetkinliğine sahip başka bir disiplin olması gerektiğine dair, dillendirilmeyen, ama asla haklı gösterilemeyecek bir ima vardır. Bu ima, doğal olarak, mantıksızdır.

Korkarım Dr. Atkins Kraliyet'in "Niçin'ini hayli kısa sürede halletti. Bir soruyu dile getirmenin mümkün olması, soruyu dile getirmeyi meşru ya da mantıklı yapmaz. Hakkında "Sıcaklığı nedir?" ya da "Rengi nedir?" gibi sorular sorabileceğiniz pek çok şey var, ama örneğin, kıskançlık ya da dua için sıcaklık sorusunu ya da renk sorusunu soramazsınız. Benzer şekilde, bir bisikletin çamurlukları ya da Kariba Barajı için "Neden" sorusunu sorabilirsiniz, ama büyük bir kaya, bir talihsizlik, Everest Tepesi ya da evren hakkında sorulduğunda "Neden" sorusunun bir yanıtı gerektirdiğini en azından *varsaymaya* hakkınız yoktur. Ne denli içten bir ifade içinde sorulursa sorulsun, bazı sorular uygunsuz kaçabilir işte.

Bir yandan otocam silecekleri ve konserve açacakları, bir yandan da kayalar ve evren arasında bir yerlerde canlı yaratıklar bulunur. Canlı bedenler ve organları, kayaların tersine, her taraflarına amaç yazılmış gibi görünürler. Canlı bedenlerin görünüşte amaç dolu olmaları, Aquinas'tan William Paley'e ve modern "bilimsel" yaratılışçılara dek, tanrıbilimcilerin başvurdukları klasik Tasarımdan Doğan Argüman'a hâkim olmuştur.

Kanatlara ve gözlere, gagalara, yuvalanma içgüdülerine ve yaşamla ilgili her şeye belli bir gayeyle tasarlandığı yanılsamasını bahşeden gerçek süreç artık gayet iyi anlaşılmaktadır. Bu, Darwinci doğal seçim sürecidir. Bunu şaşılacak kadar geç, son

bir buçuk yüzyılda anlayabildik. Darwin'den önce, kayalar, akarsular, ay ve güneş tutulmaları için "Neden" sorularından vazgeçmiş eğitilmiş insanlar bile, canlı yaratıklar söz konusu olduğunda, "Neden" sorusunun meşruluğunu kabul ediyorlardı. Şimdiyse yalnızca bilimsel açıdan cahil olanlar bunu yapıyor. Ne var ki, "yalnızca" sözcüğü, hâlâ mutlak bir çoğunluktan söz ettiğimiz gerçeğini gizliyor.

Darwinciler aslında, canlılar hakkında bir tür "Neden" sorusunu ifade ediyorlar, ama bunu özel, mecazi bir anlamda yapıyorlar. Kuşlar neden cıvıldar, kanatlar ne işe yarar? Modern Darwinciler bu tür sorulan bir tür stenografi olarak kabul edecek ve kuşların atalarının doğal seçimine dayanarak mantıklı yanıtlar vereceklerdir. Amaçlılık yanılması öylesine güçlüdür ki, biyologlar iyi tasarım varsayımını bir çalışma aracı olarak kullanırlar. Bir önceki bölümde de gördüğümüz gibi, Kari von Frisch arı dansı hakkındaki çığır açan çalışmasından çok önce, ters yöndeki ortodoks fikirlerle karşı, kimi böceklerin gerçek renk görüşüne sahip olduklarını keşfetmişti. Nihai sonuca vardığı deneylerini esinlendiren, arılar aracılığıyla döllen çiçeklerin renkli pigmentler üretmek için büyük zahmete girdiklerine dair basit gözlemdi. Arılar renk körüyse, bunu neden yapıyorlardı? Amaç eğretilmesi —daha doğrusu, Darwinci seçimin bu işte parmağının olduğu varsayımı— burada dünya hakkında güçlü bir çıkarsama yapmak için kullanılmaktadır.

Von Frisch'in, "Çiçekler renkli, öyleyse arılar renk görebilir," demesi yanlış olurdu. Ama, "Çiçekler renkli, öyleyse en azından arıların renk gördükleri hipotezini sınayacak bazı yeni deneyler üzerinde sıkı bir çalışma yapmaya değer," demesi doğru olurdu ve bunu söyledi. Konuyu ayrıntılı olarak incelediğinde arılarda iyi bir renk görüş yeteneği olduğunu, ama gördükleri tayfın bizimkinden farklı olduğunu bulguladı. Arılar kırmızı ışığı göremezler (bizim kırmızı dediğimiz şeye "sarı ötesi" adını ve-

rehabilirlir). Ama bizim morötesi adını verdiğimiz daha kısa dalga boylarını görebilirler ve bazen "arı moru" diye adlandırılan morötesini de ayrı bir renk olarak görürler.

Von Frisch arıların tayfın morötesi kısmını görebildiklerini fark ettiğinde, yine amaç eğretilmesini kullanarak akıl yürüttü. Kendi kendine, arılar morötesi duyusunu ne amaçla kullanır, diye sordu. Düşünceleri 360 derecelik bir dönüşle, çiçeklere ulaştı. Biz morötesi ışığı görememekle birlikte, buna duyarlı olan fotoğraf filmleri ve ayrıca, morötesi ışığı geçiren, ama "görünür" ışığı kesen filtreler yapabiliriz. Onsezileriyle hareket eden von Frisch çiçeklerin morötesi fotoğraflarını çekti. Ve büyük bir sevinçle, daha önce hiçbir insan gözünün göremediğı benek ve çizgi modelleri gördü. Bize beyaz ya da sarı görünen çiçekler, aslında morötesi modellerlebezeldir. Bu modeller genellikle, arıları balözüne yönlendiren iniş pisti işaretleri işlevi görür. Görünürdeki amaç varsayımı, bir kez daha işe yaramıştı: Çiçekler, iyi tasarlanmışlarsa, arıların morötesi dalga boylarını görebilmelerinden yararlanacaklardı.

Von Frisch'in ileri yaşlarında, bir önceki bölümde tartıştığımız arıların dansı hakkındaki en ünlü çalışması, Adrian Wenner adında Amerikalı bir biyolog tarafından sorgulandı. Neyse ki Von Frisch, çalışmasının halen Princeton'da bulunan James L. Gould adlı bir başka Amerikalı tarafından, tüm biyolojinin en parlak deneylerinden birisiyle doğrulandığını görecektir kadar yaşadı. "Önceden tasarlanmış gibi" varsayımının gücü konusunda söylediklerimle ilgili olduğu için, öyküyü kısaca anlatacağım.

Wenner ve çalışma arkadaşları dansın yapıldığını yadsııyorlardı. Hatta von Frisch'in söylediğı gibi tüm bilgileri içerdiğini de yadsııyorlardı. Yadsıdıkları şey, diğer arıların dansı okuduklarıydı. Wenner'e göre, sallanma dansını da düz uçuş yönünün dikeye göre açısının, besin kaynağının güneşe göre

yönüyle bağlantılı olduğu doğrudur. Ama diğer arılar bu bilgiyi danstan almıyorlardı. Evet, danstaki çeşitli şeylerin hızının besinin uzaklığıyla ilgili bir bilgi olarak okunabileceği doğrudur. Ama diğer arıların bilgiyi okuduklarına dair yeterli delil yoktu. Buna aldırıyor olabilirlerdi. Kuşkuculara göre von Frisch'in delilleri hatalıydı ve deneylerini uygun "kontrollerle" (yani, arıların besini bulmalarını sağlayacak alternatif yollar sağlayarak) yinelediklerinde, deneyler artık von Frisch'in dans dili hipotezini desteklemiyordu.

Could, dâhice deneyleriyle öyküye bu noktada katıldı. Bir önceki bölümden hatırlayacağınız, balalıları hakkında uzun süredir bilinen bir gerçeği kullandı. Genellikle balalıları karanlıkta, dikey düzlemin yukarıya doğru yönünü, güneşin yatay düzlemdeki yönünün süreli göstergesi olarak kullanarak dans etseler de, kovanın içinde ışık yaktığınızda, atalarına özgü olabilecek bir davranış tarzına kolayca geçiverirler. Sonra yerçekimiyle ilgili her şeyi unuturlar ve ampulü güneşin yerine kullanılarak, dansın açısını doğrudan belirlemesine izin verirler. Dansçı, yerçekimi yerine ampule bağıllık gösterdiğinde, neyse ki yanlış anlama olmaz. Dansı "okuyan" diğer arılarda bağıllıklarının yönünü aynı şekilde değiştirirler, böylece dans hâlâ aynı anlamı taşır: Diğer arılar besin aramak için, yine dansçının göstermek istediği yöne giderler.

Şimdi sıra, Jim Gould'un dâhiyane buluşunda: Gould, ampulü görmemesi için, dans eden arının gözlerini siyah gomalakla boyadı. Dolayısıyla arı, normal yerçekimi geleneğinden yararlanarak dans etti. Ama dansı izleyen ve gözleri boyanmamış olan diğer arılar ampulü görebiliyorlardı. Dansı, yerçekimi geleneği terk edilip yerini "güneş" ampulü geleneği almış gibi yorumladılar. Dansı izleyenler dans açısını ışığa göre ölçtüler; dansçı ise yerçekimine göre dans ediyordu. Gould aslında, dans eden arıyı besinin yönü konusunda yalan söylemeye zor-

lamıştı. Genel anlamda yalan söylemeye değil, Gould'un tam olarak belirleyebileceği belli bir yönde yalan söylemeye. Deneyi elbette yalnızca gözleri boyanmış olan tek bir arıyla değil, uygun sayıda arı örneğiyle ve çeşitli şekillerde yönlendirilmiş açılarla yaptı. Ve yöntemi işe yaradı. Von Frisch'in özgün dans dili hipotezi büyük bir zaferle doğrulanmıştı.

Bu öyküyü eğlence amacıyla anlatmadım. İyi tasarım varsayımının hem olumlu, hem de olumsuz yönleri hakkında bir şey göstermek istiyordum. Wenner'la çalışma arkadaşlarının kuşkucu bildirimlerini ilk okuduğumda açıkça istihzayla karşıladım. Sonuçta Wenner haksız çıkmış olsa da, bu doğru bir yaklaşım değildi, istihzam temelde tamamen, "iyi tasarım" varsayımına dayalıydı. Wenner ne de olsa, dansın yapıldığını ya da von Frisch'in besinin uzaklığı ve yönü hakkında öne sürdüğü tüm bilgilen içerdiğini yadsımıyordu. O yalnızca, diğer arıların bilgiyi okuduklarını yadsıyordu. Bu ne benim ve ne de başka birçok Darwinci biyologun sindirebileceği bir şeydi. Dans o derece karmaşık, o derece zengin bir şekilde tasarlanmış ve diğer arıları besinin uzaklığıyla yönü hakkında bilgilendirme amacına o derece iyi uyarlanmıştı ki. Bize göre, bu uyarlanmanın doğal seçimden başka bir nedeni olamazdı. Bir açıdan, yaratılışçıların yaşamın yarattığı harikalar hakkında düşünürken düştükleri tuzığa düşmüştük. Dansın yararlı bir işlevi olmalıydı ve bunun da, besin arayıcılarının besin bulmasına yardım etmek olduğu tahmin ediliyordu. Dahası, dansın böylesine incelikle uyarlanmış yönleri de —açısının ve hızının besinin uzaklığı ve yönüyle bağlantısı— bir işe yarıyor olmalıydı. Dolayısıyla, bize göre, Wenner haksız olmalıydı. Öylesine emindim ki, Gould'un gözleri boyanmış arı deneyini düşünecek denli yaratıcı olsaydım bile (ki değildim), deneyi yapmaya zahmet etmezdim.

Gould bu deneyi düşünecek denli yaratıcı olmaktan öte, deneyi yapma zahmetine de katlandı, çünkü iyi tasarım varsayı-

Minin cazibesine kendini kaptırmamıştı. Ancak cambaz gibi ip üstünde yürüyoruz, çünkü Gould'un —ve ondan önce, renk araştırması sırasında von Frisch'in— kafasında yeterli bir iyi tasarım varsayımı olduğundan ve deneyinin başarı şansının yüksek olduğuna, dolayısıyla da buna zaman ve çaba harcama- ya değeceğine inandığından kuşkuluyum.

Şimdi iki teknik terimden, "ters yönde mühendislik" ve "yararlılık işlevi"nden söz etmek istiyorum. Bu bölümde, Daniel Dennett'in *Darvin's Dangerous Idea* (Danvin'in Tehlikeli Fikri) başlıklı olağanüstü kitabından etkilendim. Tersinermühendislik bir usamlama tekniğidir ve şu şekilde çalışır: Bulduğunuz ve anlamadığınız bir insan ürünüyle karşı karşıya kalmış bir mühendis olduğunuzu düşünün. Bunun bir amaçla tasarlandığını varsayarsınız. Hangi sorunu çözmekte yararlı olduğunu anlamak için nesneyi parçalarına ayırıp incelersiniz: "Filanca işi yapmak için bir makine üretmek isteseydim, buna benzer bir şekilde mi yapardım? Yoksa bu nesnenin, falanca işi yapmak için tasarlanmış olduğu kabul edilirse, daha iyi mi açıklanmış olur?"

Yakın zamanlara dek saygın mühendislik mesleğinin tılsımı olan sürgülü hesap cetveli, elektronik çağında herhangi bir Bronz Çağı kalıntısı kadar eskimiştir. Geleceğin arkeologu bir sürgülü hesap cetveli bulup ne olduğunu merak ederse, bunun düz çizgiler çizmeye ya da ekmeğe yağ sürmeye elverişli olduğunu düşünebilir. Ama asıl amacının bu ikisinden biri olduğunu varsaymak, ekonomi varsayımını ihlal eder. Bir cetvelin ya da bıçağın ortasında sürgülü bir parça olmasına gerek yoktur. Dahası, sürgülü hesap cetvelinin aralıklarını incelerseniz, rastlantısal olamayacak denli özenle düzenlenmiş logaritma ölçekleri görürsünüz. Arkeolog, elektronik hesap makinelerinden Önceki bir çağda bu modelin hızlı bölme ve çarpma işlemleri yapmak için kullanılan ustaca bir alet olduğunu anlayacaktır.

Sürgülü hesap cetvelinin gizemi, akıllıca ve ekonomik tasarım varsayımı kullanılarak, ters yönde mühendislikle çözülecektir.

"Yararlık işlevi" mühendislerin değil, ekonomistlerin kullandıkları teknik bir terimdir. "Maksimize edilmiş (mümkün olan en üst düzeye çıkarılmış) şey" anlamına gelir. Ekonomi planlamacıları ve sosyal mühendisler, bir şeyi azami düzeye çıkarmaya çalışmaları açısından mimarlara ve gerçek mühendislere benzerler. Yararcılar "en büyük sayı için en büyük mutluluğu" azamiye çıkarmaya uğraşırlar (laf aramızda, bu gerçekte olduğundan daha akıllıca görünen bir tümcedir). Yararcı, kısa vadeli mutluluk pahasına uzun vadeli istikrara daha az ya da daha fazla öncelik verebilir ve yararcılar "mutluluğu" parasal zenginlik, iş tatmini, kültürel doyum ya da kişisel ilişkilere göre ölçme açısından birbirlerinden farklıdır. Kimileri açıkça, ortak refah pahasına kendi mutluluklarını azamiye çıkarırlar ve genel mutluluğun, kişinin kendi başının çaresine bakmasıyla azamiye çıkacağını belirten bir felsefeyle bencilliklerine saygınlık kazandırabilirler. Bireylerin davranışlarını yaşamları boyunca gözlemleyerek yararlık işlevlerini ters yönde bir mühendislikle yürüte bilirsiniz. Bir ülke hükümetinin davranışına ters yönde mühendisliği uygularsanız, azamiye çıkarılan şeyin istihdam ve evrensel refah olduğu sonucuna varabilirsiniz. Başka bir ülke için, yararlılık işlevi başkanın iktidarının sürmesi, ya da hüküm süren belli bir ailenin serveti, sultanın haremının boyutu, OrtaDoğu'da istikrar ya da petrol fiyatlarının korunması olabilir.

Yani, birden fazla yararlılık işlevi düşünülebilir. Bireylerin, şirketlerin ya da hükümetlerin neyi maksimize etmeye çalıştıkları her zaman açıkça belli değildir. Ama bir şeyi azamiye çıkarmaya çalış tıklarını varsaymakla herhalde bir sakınca yoktur. Bunun nedeni Homo sapiens'in temelinde amaçlarla güdülen bir tür olmasıdır. Yararlılık işlevi pek çok girdinin ağırlıklı toplamı ya da başka bir karmaşık fonksiyonu olsa bile, ilke geçerlidir.

Şimdi canlı bedenlere dönelim ve yararlılık işlevlerini çıkarmaya çalışalım. Pek çok yararlık işlevi olabilir, ama sonuçta hepsinin yalnızca bire indirgene bileceği görülür. Görevimizi dramatize etmenin iyi bir yöntemi, canlıların bir ilahi Mühendis tarafından yaratıldıklarını düşünmek ve ters yönde bir mühendislikle, yüce Mühendis'in neyi azamiye çıkarmaya çalıştığını bulmaya çalışmaktır: Tanrı'nın Yararlılık işlevi neydi?

Çıtalar bir şey için mükemmel şekilde tasarlanmış olmanın tüm belirtilerini gösterirler ve onlara ters yönde mühendislik uygulayarak yararlık işlevlerini bulmak kolay olacaktır. Çıtalar, antilopları öldürmek için iyi tasarlanmış gibi görünürler. Bir çıtanın dişleri, pençeleri, gözleri, burnu, bacak kasları, belkemiği ve beyni, Tanrı'nın çıtaları tasarlamadaki amacının, öldürecekleri antilopların sayısını azamiye çıkarmak olması durumunda tam bekleyeceğimiz şekildedir. Oysa bir antiloba ters mühendislik uygularsak, tamamen karşıt amaçlı bir tasarımın aynı derece de etkileyici delillerini buluruz: Antilopların hayatta kalması ve çıtaların aklıktan ölmesi. Sanki çıtalar bir tanrı, antiloplar ise rakip bir tanrı tarafından tasarlanmışlardır. Ya da, kurtla kuzuyu, çıtayla ceylanı yaratmış tek bir Yaratıcı varsa, nereye varmaya çalışıyor? Kanlı spor gösterilerinden hoşlanan bir sadist midir? Afrika'daki memeli nüfuslarının aşırı derecede artmasını mı önlemeye çalışmaktadır? (Belgesel film yapımcısı ) David Attenborough'un televizyon "raling"lerini azamiye çıkarmak için manevra mı yapmaktır? Bunların hepsi, doğru çıkabilecek, aklın alabileceği yararlılık işlevleridir. Aslında tabii ki hepsi tamamen yanlıştır. Yaşamın tek yararlık işlevini artık ayrıntılı olarak anlıyoruz ve bu işlev yukarıdakilerden hiçbirine benzemiyor.

Birinci Bölümde, yaşamın doğal dünyada azamiye çıkarılan gerçek yararlılık işlevinin, DNA'nın varlığını sürdürmesi olduğu görüşüne okurumu hazırlamış olmam gerekir. Ama DNA



serbestçe uçuşan bir şey değildir; canlı bedenlerde hapsolmuştur ve emrindeki güç manivelalarından en iyi şekilde yararlanmak zorundadır. Kendilerini çita bedenlerinde bulan DNA dizileri, bu bedenlerin ceylanları öldürmelerine yol açarak varkalımlarını azamiye çıkarırlar. Kendilerini ceylan bedenlerinde bulan diziler ise, karşıt amacı teşvik ederek varkalımlarını azamiye çıkarırlar. Ama her iki durumda da azamiye çıkarılan şey, aslında DNA'nın varkalımıdır. Bu bölümde birkaç pratik örnek üzerinde tersine mühendislik yöntemini uygulayarak, azamiye çıkarılan şeyin DNA'nın varkalımı olduğunu varsaydığımızda, herşeyin nasıl yerli yerine oturduğunu göstereceğim.

Vahşi topluluklarda cinsiyetlerin orantısı —erkeklerin dişilere oranı— genellikle 50:50'dir. Erkek azınlığının dişiler üzerinde adaletsiz bir tekel kurdukları pek çok türdeki harem sisteminde, bu ekonomik açıdan anlam ifade etmez. İyi incelenmiş bir ayıbalığı topluluğunda tüm çiftleşmelerin % 88'ini erkeklerin % 4'ü gerçekleştirmekteydi. Bu örnekte Tann'nın Yararlılık İşlevi'nin bekâr çoğunluk için böylesine adaletsiz görünmesini bir yana bıraksak da, daha kötüsü, maliyetleri düşüren, verimliliği ön planda tutan bir ilahi gücün, nüfusun besin kaynaklarının yarısını seksten yoksun bırakılan % 96'nın tükettiğini fark etmek zorunda kalacaktır (aslında yarıdan da fazlasını, çünkü yetişkin erkek ayıbalıkları dişilerden çok daha büyüktür). Fazlalık bekârlar, % 4'lük şanslı harem efendisinden birinin yerini alacakları günü beklemekten başka bir şey yap- mazlar. Bu mantığa aykırı bekâr sürülerinin varlığına nasıl bir açıklama getirilebilir? Topluluğun ekonomik verimliliğine az da olsa önem veren herhangi bir yararlılık işlevi, bekârlardan vazgececektir. Bunun yerine, yalnızca dişileri dölemeye yetecek kadar erkek doğacaktır. Bu belirgin anormallik yine, gerçek Darwinci Yararlılık işlevi anlaşıldığında son derece zarif bir

yalınlıkla açıklanabilir: DNA'nın varkalımını azamiye çıkarmak.

Cinsiyetlerin orantısı örneğini biraz ayrıntılı olarak ele alacağım, çünkü bunun yararlılık işlevi ekonomik açıdan ele almaya uygundur. Charles Darwin, bu konuda kafasının karıştığını itiraf etmişti: "Eskiden, iki cinsiyeti eşit sayılarda üretme eğilimi tür için avantajlı olduğunda bunun doğal seçim den kaynaklandığını düşünürdüm, ama şimdi sorunun son derece karmaşık olduğunu ve çözümünü geleceğe bırakmanın daha emniyetli olacağını görüyorum. " Sık sık olduğu gibi, Darwin'in geleceğinde yine Sir lionald Fisher ortaya çıktı. Fisher'in yürüttüğü mantık şöyledi:

Doğan tüm bireylerin, tam olarak bir anne ve bir babaları vardır. Dolayısıyla yaşayan tüm erkeklerin, uzak torunların sayısıyla ölçülen toplam üreme başarıları, yaşayan tüm dişilerin toplam üreme başarılarına eşit olmalıdır. Her erkek ve dişi demek islemiyorum, çünkü kimi bireylerin diğerlerinden daha başarılı oldukları açıkça görülmektedir ve bu önemlidir. Dişilerin toplamının erkeklerin toplamıyla kıyasından söz ediyorum. Bu toplam zürriyet, dişi ve erkek bireyler arasında bölünmelidir; eşit olarak değil, ama bölünmelidir. Tüm erkekler arasında bölünmesi gereken üreme pastası tüm dişiler arasında bölünmesi gereken pastaya eşittir. Dolayısıyla bir toplulukta, örneğin dişiden çok erkek varsa, erkek başına düşen ortalama dilim, dişi başına düşen ortalama dilimden küçük olmalıdır. Bu durumda bir erkeğin, bir dişininkine kıyasla ortalama üreme başarısı (yani, beklenen torun sayısı), yalnızca erkek-dişi orantısıyla belirlenir. Azınlık cinsiyetin ortalama bir üyesinin üreme başarısı, çoğunluk cinsiyetin ortalama bir üyesine göre daha fazladır. Her iki cinsiyetin üreme başarısı ancak, cinsiyet oranlısının birbirine denk olması ve azınlık bulunmaması durumunda eşit olur. Bu son derece basit sonuç oturduğumuz yer -

den yürütebileceğimiz bir mantıkla ortaya çıkar. Tüm çocukların bir anne ve bir babası olduğu temel gerçeği bir yana, hiçbir deneysel veriye dayanmaz.

Cinsiyet genellikle döllenme anında belirlenir, dolayısıyla, bir bireyin kendi cinsiyetini belirleme gücü olmadığını varsayabiliriz. Fisher'le birlikte, bir ebeveynin yavrusunun cinsiyetini belirleme gücünün olabileceğini varsayacağız. "Güç" sözcüğüyle elbette, bilinçli ve kasıtlı olarak kullanılan gücü kastetmiyoruz. Ama bir annenin oğul üreten spermalara karşı biraz düşmanca olan, ama kız üreten spermalar üzerinde böyle bir etki göstermeyen vajinal bir kimyasal madde üretmeye genetik eğilimi olabilir. Ya da bir babanın erkek çocuk üreten spermadan çok, kız çocuk üreten sperma üretmesine yol açacak genetik bir eğilimi olabilir. Uygulamada nasıl yapılabilirse yapılsın, kendinizi, erkek ya da kız çocuk sahibi olmaya karar vermeye çalışan bir ebeveyn olarak düşünün. Burada da bilinçli kararlardan değil, çocuklarının cinsiyetini belirlemek için bedenleri etkileyen gen kuşaklarının seçiminden söz ediyoruz.

Torun sayınızı azamiye çıkarmaya çalışıyorsunuz; bu durumda kızınız mı olmalı, yoksa oğlunuz mu? Nüfusta azınlıkta kalan cinsiyete mensup bir çocuk sahibi olmanız gerektiğini daha önce gördük. Böylece çocuğunuz üreme faaliyetinin görece yüksek olmasını bekleyebilir ve siz de görece yüksek bir torun sayısı bekleyebilirsiniz. Her iki cinsiyet de azınlıkta değilse — yani, orantı zaten 50:50 ise, bir cinsiyeti diğerine tercih etmek size yarar sağlamaz. Oğlunuz ya da kızınız olması bir şeyi değiştirmez. Yarı yarıya olan bir cinsiyet orantısı, büyük İngiliz evrim bilimcisi John Maynard Smith'in ürettiği terim kullanılarak, evrimsel bakımdan istikrarlı kabul edilir. Seçiminizde önyargılı olmanız ancak, mevcut cinsiyet orantısı 50:50'den farklıysa işe yarar. Bireylerin neden torun ve daha sonraki zürriyetlerini azamiye çıkarmaya çalışmaları gerektiği sorusunu sor-

maya hile gerek yok. Bireylerin zürriyetlerini azamiye çıkarmalarına yol açan genler, dünyada görmemiz olasılığı bulunan genlerdir. İncelemekte olduğumuz hayvanlar başarılı ataların genlerini miras alırlar.

Fisher'in kuramını, 50:50'nin "optimum" cinsiyet oranlısı olduğunu söyleyerek ifade etme eğilimi büyük, ama kesinlikle yanlıştır. Erkekler azınlıktaysa çocuk için seçilecek optimal cinsiyet erkek, dişiler azınlıktaysa dişidir, iki cinsiyet de azınlıkta değilse optimum yoktur: İyi tasarlanmış bir ebeveyn, erkek ya da kız çocuk sahibi olmaya karşı tamamen kayıtsızdır. 50:50 orantısının evrimsel açıdan istikrarlı cinsiyet orantısı olduğu söylenir, çünkü doğal seçim bundan sapma eğilimini tercih etmez ve bir sapma olması durumunda da dengeyi düzeltme eğilimini tercih eder.

Dahası, Fisher doğal seçimin yalnızca dişi ve erkek sayısını değil, oğullara ve kızlara yapılan "ebeveynsel harcama" adını verdiği şeyi de yarı yarıya bir düzeyde tuttuğunu fark etti. Ebeveynsel harcama, bir çocuğun ağzına akıtılan, zorlukla kazanılmış tüm besinler ve çocuğa bakmaya harcanan, oysa başka bir çocuğa bakmak gibi, başka bir işe de ayrılabilen tüm zaman ve enerji demektir. Sözelimi, belli bir ayıbalığı türündeki ebeveynlerin erkek yavru yetiştirmeye, dişi yavru yetiştirmeye oranla iki kat fazla enerji ve zaman harcadıklarını varsayalım. Erkek ayıbalıkları dişilere oranla öylesine büyüktür ki, bunun doğru olduğuna inanmak (aslında büyük olasılıkla hatalı olsa da) kolaydır. Bunun ne anlama geleceğini düşünün. Ebeveynin karışındaki gerçek seçenek "Bir kızım mı olmalı, yoksa oğlum mu?" değil, "Bir oğlum mu olmalı, yoksa *iki* kızım mı?" olacaktır. Bunu nedeni, bir oğul yetiştirmek için gereken besin ve diğer kaynaklarla iki kız yetiştirebilecek olmanızdır. Beden sayısı ile ölçülen evrimsel açıdan istikrarlı cinsiyet orantısı, bu durumda, beher erkeğe iki dişi olmalıdır. Ama (birey sayısına

karşı) *ebeveynsel harcama miktarıyla ölçülen*, evrimsel açıdan istikrarlı cinsiyet orantısı hâlâ yarı yarıya olacaktır. Fisher'ın kuramı, iki cinsiyete yapılan harcamanın dengelenmesi sonucuna ulaşır. Bu da çoğunlukla, iki cinsiyetin sayılarını dengelemekle aynı anlama gelir.

Söylediğim gibi, ayıbalıklarında bile erkek yavrular için yapılan ebeveynsel harcama miktarı dişi yavrulara yapılan harcamadan açıkça farklı görünmektedir. Beden ağırlığındaki büyük eşitsizlik sanki ebeveynsel harcama dönemi bittikten sonra gelmektedir. Yani, ebeveynin karşısındaki soru hâlâ "Bir oğlum mu olmalı, yoksa bir kızım mı?"dır. Bir oğlun yetişkinliğe dek büyümesinin toplam maliyeti bir kızın büyümesinin toplam maliyetinden çok daha yüksek olabilse de, bu fazladan maliyeti karar veren taraf (ebeveyn) üstlenmiyorsa, Fisher'ın kuramında önemli olan tek şey budur.

Fisher'ın harcamayı dengeleme konusundaki kuralı, bir cinsiyetin ölüm oranının diğerine göre yüksek olduğu örneklerde de geçerlidir. Sözelimi, erkek bebeklerin ölme olasılıklarının dişi bebeklere göre daha yüksek olduğunu varsayalım. Döllenmedeki cinsiyet orantısı tam olarak yarı yarıya ise, yetişkinliğe erişen erkek sayısı dişi sayısından az olacaktır. Dolayısıyla, azınlık cinsiyet durumuna düşerler ve biz de safça, doğal seçimin erkek çocuk üretiminde uzmanlaşan ebeveynleri teşvik etmesini bekleriz. Fisher de bunu beklerdi, ama yalnızca bir noktaya dek; ve kesinlikle sınırlı bir noktaya dek. Ebeveynlerin, bebeklerde daha yüksek bir ölüm oranının tam olarak telafi edilecek ve böylece üreme nüfusunda bir eşitliğe yol açacak kadar çok sayıda oğul üretmelerini beklemezdi. Hayır, döllenmedeki cinsiyet orantısı bir şekilde erkek ağırlıklı olmalıdır, ama yalnızca oğullara yapılan toplam harcamanın kızlara yapı- lan toplam harcamaya eşit olmasının beklendiği noktaya dek.

Bunu anlamanın en kolay yolu, kendinizi karar veren ebe-

veynin yerine koyup "Büyük olasılıkla hayatta kalacak bir kızım mı olmalı, yoksa bebekliği sırasında ölebilecek bir oğlum mu?" sorusunu sormanızdır. Oğullar aracılığıyla torun sahibi olma kararı, ölenlerin yerini alacak fazladan oğullara daha çok kaynak harcamanızı gerektirebilir. Hayatta kalan her bir oğlunuzun, sırtında ölü ağabeylerinin hayaletlerini taşıdığını düşünebilirsiniz. Torunlara oğullar yoluyla ulaşma kararının ebeveyne fazladan bir harcama —ölü erkek bebeklere yapılmış bir israf— yüklemesi açısından, onları sırtında taşır. Fisher'ın temel kuralı hâlâ geçerlidir. Oğullara yatırılan (erkek bebeklerin öldükleri ana dek beslenmelerini de içeren) toplam kaynak ve enerji, kızlara yatırılan toplam miktara eşit olacaktır.

Ya erkek bebeklerde yüksek bir ölüm oranı yerine, ebeveyn harcamasının sona ermesinden sonra yetişkin erkeklerde yüksek bir ölüm oranı varsa? Aslında bu sık sık olacaktır, çünkü yetişkin erkekler sık sık dövüşüp birbirini yaralar. Bu durum da üreme yaşındaki nüfusta dişi fazlasına yol açacaktır. Dolayısıyla, yüzeyden bakıldığında, üreyen nüfustaki erkeklerin azlığından yararlanarak oğul üretiminde uzmanlaşan ebeveynleri teşvik ediyormuş gibi görünecektir. Ancak biraz daha dikkatli düşünürseniz, bu mantığın hatalı olduğunu göreceksiniz. Ebeveynin yapması gereken seçim şudur: "Yetiştirdikten sonra bir savaşta öldürülmesi olası; ama hayatta kalırsa bana daha fazla torun verecek bir oğlum mu olmalı? Yoksa bana ortalama sayıda torun vereceği kesin gibi görünen bir kızım mı?" Bir oğul aracılığıyla sahip olmayı bekleyebileceğiniz torun sayısı, bir kız aracılığıyla bekleyeceğiniz ortalama sayıyla hâlâ aynıdır. Bir oğul yetiştirme maliyeti ise; hâlâ, yuvayı terk edeceği ana dek onu besleme ve koruma maliyetidir. Yuvayı terk ettikten sonra öldürülmesi olası, hesabı değiştirmez.

Bütün bu uslamamada Fisher, "karar veren"in ebeveyn olduğunu varsayımıştır. Karar veren başka birisi olduğunda he-

saplama değişir. Sözelimi, bir bireyin kendi cinsiyetini etkileyebileceğini varsayalım. Burada da bilinçli olarak yapılan bir etkiden söz etmiyorum. Çevreden gelen işaretlere bağlı olarak bireyin gelişimini dişi ya da erkek yoluna döndüren genler olduğunu farz ediyorum. Sözü uzatmamak için yine, bireyin bilinçli seçimi — bu örnekte, kendi cinsiyetinin bilinçli seçimi söylemini kullanacağım. Ayıbalıklan gibi harem kuran hayvanlara bu esnek seçim gücü verilseydi, etkisi çarpıcı olurdu. Bireyler harem sahibi birer erkek olmak isterlerdi, bir harem kurmayı başaramamaları durumunda ise bekâr erkek yerine dişi olmayı tercih ederlerdi. Böylece, bu topluluktaki cinsiyet orantısı büyük oranda dişi ağırlıklı olurdu. Ne yazık ki, ayıbalıklan döllenmede kendilerine verilen cinsiyeti değiştiremezler, ama bazı balıklar bunu yapabilir. Mavi başlı erkek lapinalar büyük, parlak renklidir ve donuk renkli dişilerden oluşan harem kurarlar. Kimi dişiler diğerlerinden daha büyüktür ve bir baskınlık hiyerarşisi oluştururlar. Bir erkek ölürse, yerini hemen en büyük dişi alır ve kısa bir süre sonra parlak renkli bir erkeğe dönüşür. Bu balıklar iki yönden de avantajlıdır. Baskın, harem sahibi bir erkeğin ölümünü bekleyen bekâr erkekler olarak yaşayıp hayatlarını boşa harcamak yerine, bekleme zamanlarını üreyebilen dişiler olarak geçirirler. Mavi başlı lapinaların cinsiyet orantısı sistemi ender görülen bir sistemdir ve burada Tanrı'nın Yararlılık İşlevi, bir sosyal ekonomistin basiretli sayabileceği bir şeyle örtüşür.

Bireyin hem ebeveynini hem de kendisini karar veren taraf olarak inceledik. Karar veren başka kim olabilir? Sosyal böceklerde yatırım kararlarını büyük oranda, yetiştirilen yavruların normalde ablaları (ve termitlerde ayrıca ağabeyleri) olarak kısır işçiler verir. Sosyal böceklerin bir türü de daha tanıdık olan balarılardır. Okurlarım arasındaki arı yetiştiricileri, kovadaki cinsiyet orantısının yüzeysel açıdan Fisher'in beklenti-

lerine uymadığını fark etmiş olabilirler. Burada belirtilecek ilk şey, işçilerin dışı sayılmaması gerektiğidir. Teknik olarak dışidirler, ama inemezler; yani Fisher'in kuramına göre düzenlenen cinsiyet orantısı, erkek arıların, kovanın ürettiği yeni kraliçelere göre orantısındır. Arı ve karınca örneklerinde, cinsiyet orantısının dişiler lehine üçe bir olmasını beklememiz için, *The Selfish Gene*'de (Gen Bencildir) tartıştığım ve burada yinelemeyeceğim özel teknik nedenler vardır. Oysa her arı yetiştiricinin bildiği gibi, gerçek cinsiyet orantısı büyük oranda erkek ağırlıklıdır. Gelişmekte olan bir kovan, bir mevsimde yalnızca altı yeni kraliçe, ama yüzlerce, hatta binlerce erkek arı üretebilir.

Burada ne oluyor? Modern evrim kuramında sık sık olduğu gibi, bu sorunun yanıtını da, halen Oxford Üniversitesi'nde olan W. D. Hamilton'a borçluyuz. Bu yanıt, tamamen Fisher'den esinlenen cinsiyet orantıları kuramına somut bir örnek oluşturur. Arıların cinsiyet orantıları bilmececinin anahtarı, sürü yaratma olgusunda yatıyor. Arı kovanı pek çok açıdan tek bir birey gibidir. Büyüyüp olgunluğa ulaşır, ürer ve sonunda ölür. Arı kovanının ürünü, sürüdür. Yaz ortasında, kovanın gerçekten geliştiği dönemde, bir yavru koloni —bir sürü— üretilir. Sürü üretme işi, kovan açısından üremenin eşdeğeridir. Kovan bir fabrikaysa, sürüler de koloninin değerli genlerini taşıyan nihai üründür. Sürü, bir kraliçe arıyla binlerce işçiden oluşur. Hepsi tek beden halinde ebeveyn kovanı terk eder ve yoğun bir küme halinde toplanarak bir ağaç dalına ya da kayaya asılırlar. Burası, yeni bir sabit yuva bulana dek kalacakları geçici kamp olacaktır. Birkaç gün içinde bir mağara da ya içi boş bir ağaç bulurlar (ya da, günümüzde daha sık görüldüğü gibi, bir arı yetiştiricisi veya belki de ayrıldıkları kovanın sahibi tarafından yakalanıp yeni bir kovana yerleştirilirler).

Başarılı bir kovanın işi yavru sürüler üretmektir. Bunun ilk adımı da yeni bir kraliçe yapmaktır. Genellikle yarım düzineye



yakın yeni kraliçe yapılır, ama bunlardan yalnızca biri yaşayacaktır. Yumurtadan çıkan ilk kraliçe diğerlerini sokarak öldürür. (Anlaşılan, fazladan kraliçeler yalnızca yedek olarak üretilmektedir). Genetik olarak kraliçelerin işçi arılara dönüşmesi mümkündür, ama bunlar peteğin altında asılı duran özel kraliçe hücrelerinde yetiştirilir ve özellikle zengin, kraliçelere layık bir diyetle beslenirler. Bu yemek rejimi, roman yazarı Barbara Cartland Hanımefendi'nin uzun yaşamının ve kraliçeleri andıran tavırlarının gerekçesi olarak gösterdiği, kraliyet jölesini içerir. İşçi arılar daha küçük hücrelerde yetiştirilir; bu hücreler daha sonra, bal depolamak için kullanılır. Erkek arılar genetik olarak farklıdır. Döllenmemiş yumurtalardan oluşurlar. Bir yumurtanın erkek ya da dişiye (kraliçe/işçi) dönüşmesinin kraliçeye bağlı olması dikkat çekicidir. Kraliçe arı yalnızca, yetişkin yaşamının başındaki tek bir çiftleşme uçuşunda çiftleşir ve spermayı yaşamının geri kalan kısmı boyunca bedeninde depolar. Yumurta tüpünden geçen yumurtayı dölemek için deposundan küçük bir sperma paketi salabilir, ya da salmayabilir. Dolayısıyla, yumurtalar arasındaki cinsiyet orantısı kraliçenin denetimindedir. Ancak hemen ardından, sanki bütün güç işçilere geçmektedir, çünkü larvalara besin ikmalini onlar denetler. Örneğin (kendi bakış açılarına göre) kraliçe çok fazla erkek yumurtası bıraktıysa, erkek larvaları aç bırakabilirler. Her halükârda, bir dişi yumurtasının işçiye ya da kraliçeye dönüşmesi işçilerin kontrolündedir, çünkü bu yalnızca yetiştirme koşullarına, özellikle de beslenme rejimine bağlıdır.

Şimdi cinsiyet orantısı sorununa dönelim ve işçilerin karşılarındaki seçenekleri inceleyelim. Daha önce de gördüğümüz gibi, kraliçenin tersine, işçi arılar kız ya da erkek yavru üretmeyi değil, erkek kardeş (erkek arılar) ya da kız kardeş (genç kraliçeler) üretmeyi seçeceklerdir, işle bilmecemize geri döndük şimdi. Çünkü hâlihazırdaki cinsiyet orantısı büyük oranda

erkek ağırlıklı görünmekte, bu ise Fisher'in bakış açısından bir anlam ifade etmemektedir. İşçilerin yapmak zorunda oldukları seçimi daha dikkatli inceleyelim. Bunun, erkek ve kız kardeşler arasında bir seçim olduğunu söylemiştim. Ama biraz bekleyin. Bir erkek kardeş yetiştirme kararı, kovana, erkek arı yetiştirmek için gerekli besin ve diğer kaynakları taahhüt eder. Ama yeni bir kraliçe yetiştirme kararı, kovayı; sadece bir kraliçenin bedenini beslemek için gerekli kaynakların temininden çok daha büyük bir taahhüt altına sokacaktır. Yeni bir kraliçe yetiştirme kararı, bir sürü oluşturma taahhüdüyle eş anlamlıdır. Yeni kraliçenin gerçek maliyetinde, yiyeceği kraliyet jölesi ve diğer besinler gözardı edilebilecek kadar küçük bir yer tutar. En önemlisi, sürü ayrıldığında kovanın yitirmiş olacağı binlerce işçiyi üretmenin maliyetidir.

Bu, cinsiyet orantısında görülen anormal erkek ağırlığının, hemen hemen kesin olarak doğru açıklamasıdır. Benim daha önce sözünü ettiğim şeyin uç bir örneği gibi görünüyor. Fisher'in kuralına göre, erkek ve dişi bireylerin sayısı değil, erkeklere ve dişilere yapılan harcama aynı olmalıdır. Yeni kraliçeye yapılan harcama, aksi takdirde kovanın yitirmeyecek olduğu işçilere yapılan büyük harcamayı içerir. Bu, bir cinsiyetin yetiştirilmesinin diğerine göre iki kat maliyetli olduğu ve sonuçta o cinsiyetin nüfusunun ötekinin yarısı kadar olduğu, farazi ayıbalığı topluluğumuz gibidir. Arı örneğinde bir kraliçe, erkek arıdan yüzlerce, hatta binlerce kez daha maliyetlidir, çünkü sırtında, sürü için gereken tüm fazladan işçilerin maliyetini taşır. Dolayısıyla, kraliçe sayısı, erkek arı sayısından yüzlerce kat daha azdır. Bu garip öykünün insanı arı sokması gibi irkiltten ek bir yanı daha var: Sürü kovandan ayrıldığında beraberinde nedense yeni kraliçeyi değil, eski kraliçeyi götürür. Yine de, işin ekonomisi aynıdır. Yeni bir kraliçe yapma kararı hâlâ, eski kraliçeye yeni evine giderken eşlik edecek olan sürünün masrafını içerir.

Cinsiyet orantıları konumuzu tamamlamak için, başlangıçtaki haremler bilmecemize: Büyük bir bekâr erkek sürüsünün nüfusun besin kaynaklarının yarısını (hatta yarıdan fazlasını) tükettiği, ama asla üremediği ya da yararlı bir şey yapmadığı şu savurganca düzenlemeye geri dönelim. Burada nüfusun ekonomik refahının azamiye çıkarılmadığı açıkça görülüyor. Peki ama, ne oluyor? Bir kez daha, kendinizi karar verenin — örneğin, torunlarının sayısını azamiye çıkarmak için oğlu mu yoksa kızı mı olması gerektiğine "karar vermeye" çalışan bir annenin— yerine koyun, ilk bakışta bu, naif ve adaletsiz bir karardır: "Büyük olasılıkla bekâr kalacak ve bana torun vermeyecek bir oğlum mu olmalı, yoksa büyük olasılıkla bir hareme girecek ve bana makul miktarda torun verecek bir kızım mı?" Bu anne adayına verilecek uygun cevap şöyledir: "Ama bir oğlun olursa, bir harem sahibi *olabilir* ve bu durumda sana, bir kız aracılığıyla elde etmeyi umabileceğinden çok daha fazla torun verebilir." İşi basitleştirmek için, tüm dişilerin ortalama oranda ürediklerini ve her on erkekten biri dişiler üzerinde tekel kurarken, dokuzunun asla üreyemediğini varsayalım. Bir kızınız varsa, ortalama sayıda torununuz olacağına güvenebilirsiniz. Bir oğlunuz varsa, hiç torun sahibi olmama olasılığınız % 90, ortalamanın on katı torun sahibi olma olasılığınız ise % 10'dur. Oğullarınız aracılığıyla bekleyebileceğiniz ortalama torun sayısı, kızlarınız aracılığıyla bekleyebileceğiniz ortalama torun sayısına eşittir. Tür düzeyindeki ekonomik mantık, dişilerin daha fazla olması gerektiğini haykırsa da, doğal seçim hâlâ 50:50 bir cinsiyet orantısını teşvik etmektedir. Fisher'in kuralı hâlâ geçerlidir.

Bütün bu uslamlamaları hayvan bireylerinin "kararları" olarak ifade ettim, ama yinelemek gerekirse, bu sadece bir kısaltmadır. Aslında, gen havuzunda, torunları azamiye çıkarma "amaçlı" genlerin sayısı artmaktadır. Dünya, çağlar boyunca

başarıyla aktarılmış genlerle dolmaktadır. Bir gen çağlar boyunca kuşaktan kuşağa aktarılmayı, bireylerin kararlarını torun sayılarını azamiye çıkaracakları şekilde etkilemekten başka nasıl başarabilirdi? Fisher'in cinsiyet orantısı kuramı bize, bu maksimizasyonun nasıl yapılacağını söylüyor ve bu, bir türün ya da topluluğun ekonomik refahını azamiye çıkarmaktan çok farklı bir şeydir. Burada bir yararlılık işlevi var, ama bu, biz insanların ekonomik akıllarına gelecek yararlık işlevinden çok farklı.

Harem ekonomisinin israfçılığı şöyle özetlenebilir: Erkekler kendilerini yararlı işlere adanmak yerine, enerji ve güçlerini birbirlerine karşı verdikleri beyhude mücadeleye harcarlar. "Yararlı"yı çocuk yetiştirmekle ilgili olarak Darwinci tarzda kullansak bile bu geçerlidir. Erkekler birbirleriyle rekabet ederek harcadıkları enerjiyi yararlı kanallara yönlendirselerdi, bir bütün olarak tür daha az çaba ve daha az yiyecek karşılığında da- ha çok çocuk yetiştirdi.

Bir iş etüd uzmanı ayıbalığının dünyası karşısında dehşete düşecektir. Bunun yaklaşık bir benzetmesi şöyle olabilir: Bir atölyede yalnızca on torna tezgâhı olduğundan, on adamdan fazlasına gerek yoktur. Ancak yönetim on adam çalıştırmak yerine yüz adam çalıştırmaya karar verir. Her gün, adamların yüzü de işe gelip ücretlerini alırlar. Sonra bütün günü, on tezgâhtan birini ele geçirmek için kavga ederek harcarlar. Tezgâhlarda birkaç iş yapılır, ama bu on adamla yapılacak işten daha fazla değildir; hatta büyük olasılıkla daha azdır, çünkü yüz adam birbirleriyle kavga ettikleri için, tezgâhlar verimli bir şekilde kullanılmaz. İş etüd uzmanı hiç kuşku duymadan kararını verecektir. Adamların yüzde doksanı fuzulidir ve bu durum kendilerine resmen bildirilip işten çıkarılmaları gerekir.

Erkek hayvanlar enerjilerini yalnızca fiziksel savaşlarda israf etmezler; bir kez daha burada "israf", ekonomistin ya da iş

etüdü uzmanının bakış açısından tanımlanıyor. Pek çok türde ayrıca bir de güzellik yarışması vardır. Bu da bizi, salt ekonomik açıdan anlamlı olmasa bile, biz insanların takdir edebileceği bir başka yararlılık işlevi olan, estetik güzelliğe getiriyor. Yüzeyden bakıldığında, Tanrı'nın Yararlılık İşlevi kimi zaman (çok şükür artık modası geçmiş olan) dünya güzellik kraliçesi seçiminin kurallarına göre düzenlenmiş gibidir, ama bu kez sahnede geçit yapan erkeklerdir. Bu durum, ormantavuşu ve dövüşkenkuş gibi kuşların lek diye adlandırılan gösterilerinde açıkça görülür. "Lek" erkek kuşların geleneksel olarak dişilerin önünde geçit yapmak için kullandıkları mırıltıdır. Dişiler lek'i ziyaret eder ve erkeklerin kasıtlı teşhirlerini izledikten sonra içlerinden birini seçip onunla çiftleşirler. Lek'te kendini sergileyen türlerin erkeklerinin çoğunlukla tuhaf süslemeleri vardır ve bunları aynı derecede gösterişli reverans ya da sallanma hareketleriyle ve garip seslerle gösterirler. "Tuhaf" sözcüğü elbette öznel bir değer yargısıdır; anlaşılan lek'te teşhircilik yapan erkek çalı tavuğu, abartılı dansları ve kulak tırmalayan haykırışlarıyla kendi türünün dişilerine tuhaf görünmemektedir ve önemli olan da budur. Kimi durumlarda dişi kuşların güzellik anlayışı bizimkiyle örtüşür ve sonuçta ortaya bir tavuskuşu ya da cennetkuşu çıkar.

Bülbüllerin şakımaları, sülünlerin kuyrukları, ateşböceklerinin pırıltıları ve tropikal mercan balıklarının gökkuşağı pulları, estetik güzelliği azamiye çıkarır, ama bu insanın haz duymasını amaçlayan bir güzellik değildir; ya da sadece tesadüfen öyledir. Hayvanların bu tür gösterilerinden hoşlanmamız havadan bir nimet, bir yan üründür. Erkeklerin dişilere çekici görünmesini sağlayan genler otomatik olarak sayısal ırmak yoluyla geleceğe geçer. Bu güzelliklere bir anlam veren tek bir yararlılık işlevi vardır; ayıbalıklarının cinsiyet orantılarını, çitaların ve antilopların birbirlerine karşı anlamsız yarışlara girmelerini,

guguk kuşlarını ve bitleri, gözleri ve kulakları, soluk borularını, kısır işçi arıları ve olağanüstü doğurgan kraliçe arıları açıklayan aynı yararlılık işlevidir. Büyük evrensel Yararlılık işlevi, yaşayan dünyanın her köşesinde büyük bir gayretle azamiye çıkarılan nicelik, her örnekte, açıklamaya çalıştığınız özellikten sorumlu olan DNA'nın varkalımıdır.

Tavuskuşları öylesine ağır ve hantal bir yük taşırlar ki, yararlı işler yapma eğiliminde olsalar bile —genelde böyle bir eğilimleri yoktur— bu süslemeler, yararlı iş yapma çabalarını ciddi oranda engelleyecektir. Erkek ötücü kuşlar şakımaya tehlikeli miktarda zaman ve enerji harcarlar. Bu onları muhakkak tehlikeye sokar; nedeni ise yalnızca avcılar çekmesi değil, aynı zamanda enerjilerini tüketmesi ve bu enerjiyi yenilemeye ayrılacak zamanı kullanmasıdır. Çıtkuşlarının biyolojisini inceleyen bir araştırmacı, çılgın erkek kuşlarından birinin şakımdan öldüğünü iddia etmişti. Türün uzun vadeli refahını, hatta o belirli erkeğin uzun süreli varkalımını özünde taşıyan herhangi bir yararlılık işlevi, şakıma miktarını, teşhir miktarını, erkekler arasındaki kavgaya miktarını azaltacaktır. Ancak asıl azamiye çıkarılan şey DNA'nın varkalımı olduğundan, erkeklerin dişilere güzel görünmesini sağlamaktan başka hiçbir yararlı etkisi olmayan DNA'nın yayılmasını hiçbir şey durduramaz. Güzellik kendi başına mutlak bir erdem değildir. Ama kimi genler erkeklere türün dişilerinin çekici bulunduğu nitelikler kazandırıyor, bu genler kaçınılmaz olarak varlığını sürdürecektir.

Ormandaki ağaçlar neden böylesine uzundur? Yalnızca, rakip ağaçların üstüne çıkmak için. "Mantıklı" bir yararlılık işlevi hepsinin kısa olmasını sağlardı. Bu şekilde, kalın gövdelere ve kütleli destekleyici payandalara yapılan harcamayı azaltır ve tam olarak aynı miktarda güneş ışığı alırlardı. Ama hepsi kısa olsaydı, doğal seçimi biraz daha uzamış olan değişik birini tercih etmeden duramazdı. Çıta bir kez yükseltildiğinde diğerleri-

nin de onu izlemesi gerekildi. Bütün bu oyunun tüm ağaçlar gülünç ve savurganca bir uzunluğa ulaşana dek tırmanmasını hiçbir şey önleyemezdi. Bu yalnızca, verimliliği azamiye çıkarına açısından düşünüen akılcı bir ekonomik planlamacının bakış açısından gülünç ve savurgancadır. Ama gerçek yararlılık işlevini anladığınızda, her şey yerli yerine oturur —genler kendi varkalımlarını azamiye çıkarmaktadırlar. Bu konuda pek çok basit benzetme yapılabilir. Bir partide sesiniz kısılana dek bağıra bağıra konuşursunuz. Bunun nedeni herkesin en yüksek sesiyle konuşmasıdır. Konuklar fısıldaşmak üzere bir anlaşma yapıverseler, seslerini daha az zorlayarak ve daha az enerji harcayarak birbirlerini tamamen aynı derecede iyi duyabilirlerdi. Ama bu tür anlaşmalar dışarıdan denetim olmadan yürümez. Her zaman birisi biraz daha yüksek sesle konuşarak anlaşmayı bencilce bozar ve birer birer herkesin onu izlemesi gerekir, istikrarlı bir dengeye ancak, herkes fiziksel açıdan mümkün olduğu kadar yüksek sesle bağırmaya başladığında ulaşılır ve bu da "akılcı" bir bakış açısının gerektirdiğinden çok daha yüksek bir sestir. İşbirlikçi sınırlama pek çok kez, kendi iç istikrarsızlığı tarafından engellenir. Tanrı'nın Yararlılık İşlevi'nin en çok kişiye en iyisini sunması nadirdir. Tanrı'nın Yararlılık işlevi, eşgüdümsüz, bencilce bir kazanç dalaşında kendi kökenlerine ihanet eder.

İnsanların, refahın grubun refahı anlamına geldiğini, "iyi"nin toplumun, türün ve hatta ekosistemin gelecekteki iyiliği anlamına geldiğini varsaymak gibi hayli sevimli bir eğilimleri vardır. Doğal seçimin temelindeki mekanizmaların üzerinde düşünülmesinden türemiş olan Tanrı'nın Yararlılık İşlevi'nin, böylesi ütöpik vizyonlarla ne yazık ki çeliştiği görülmektedir. Genlerin kendi düzeylerindeki bencilce refahlarını, organizmayı kendi düzeyinde bencilce olmayan bir işbirliğine, hatta kendini feda etmeye programlayarak azamiye çıkardıkları durumlar elbette vardır. Ama grup refahı her zaman birincil bir güdü değil, rastlantısal bir sonuçtur. "Bencil gen"nin anlamı budur.

Şimdi bir benzetmeyle başlayarak, Tanrı'nın Yararlılık İşlevi'nin başka bir yanına bakalım. Darwinci psikolog Nicholas Humphrey, Henry Ford hakkında aydınlatıcı bir öykü uydurmuştu. "Söylentiye göre", üretimde verimliliğin kutsal babası Ford, bir zamanlar;

T Model'inde asla bozulmayan parçaların olup olmadığının bulunması için Amerika'nın araba mezarlıklarında bir inceleme yaptırmış. Müfettişler geri döndüklerinde, neredeyse hertürlü arızanın görüldüğünü bildirmişler: akslar, frenler, pistonlar; hepsi bozulmaya yatknmış. Ama önemli bir istisnaya dikkat çekmişler: hurda arabalardaki ana civataların lamamı sağlamış. Ford insafsız bir mantıkla, T Modelindeki ana civataların bu iş için fazlasıyla iyi olduğuna karar vermiş ve gelecekte daha düşük spesifikasyonlarla üretilmelerini emretmiş.

Siz de benim gibi arabamın ön aksıyla tekerleklerini diğer aksına bağlayan bu ana civatanın ne olduğunu pek bilemeye bilirsiniz, ama bu önemli değil. Motorlu bir araç için gerekli bir parçadır ve Ford 'un sözde zalimliği aslında tamamen mantıklıydı. Bunun alternatifi arabanın diğer tüm parçalarını geliştirerek ana civataların kalite düzeyine getirmek olurdu. Ama bu durumda Henry Ford T Modeli değil, Rolls Royce üretiyor olurdu; oysa çalışmanın hedefi bu değildi. Hem Rolls Royce, hem de T Modeli saygın arabalardır, ama fiyatları farklıdır. Önemli olan, tüm arabanın ya Rolls Royce ya da T Modeli spesifikasyonlarına göre üretilmesidir. T Modeli kalitesinin bazı parçalarıyla Rolls Royce kalitesinin bazı parçalarını birleştiren melez bir araba yaparsanız, her iki bakımdan da zararlı çıkarsınız, çünkü en zayıf parçalar yıprandığında araba bir kenara atılır ve asla yıpranmaya zaman bul amamış olan yüksek kaliteli parçalara harcanan para da israf edilmiş olur.



Ford'un verdiği ders canlı bedenler için arabalar için olduğundan daha geçerlidir, çünkü bir arabanın parçaları belli sınırlar içinde yedek parçalarla değiştirilebilir. Maymunlar ve gibonlar yaşamlarını ağaç tepelerinde geçirir ve her zaman düşüp kemiklerini kırma riski vardır. Bedenin her önemli kemiğindeki kırılma sıklığını hesaplamak için maymun cesetleri üzerinde bir inceleme yaptırdığımızı düşünelim. Bir tek istisna hariç, tüm kemiklerin şu ya da bu zamanda kırıldığını anlaşıldığını varsayalım: hiçbir maymunda kemiş kemiğın (kaval kemiğine paralel kemik) kırıldığını gözlenmemiş olsun. Henry Ford hiç duraksamadan, kemiş kemiğının daha düşük spesifikasyonlarla yeniden tasarlanmasını salık verirdi; zaten doğal seçimin yapacağı şey de tam olarak bu olurdu. Kemiş kemikleri daha zayıf olan, mutasyona uğramış bireyler —büyüme kurallarına göre, değerli kalsiyumun kemiş kemiğine verilmediğı, mutasyo- na uğramış bireyler— tasarruf ettikleri malzemeyi bedendeki diğer kemikleri kalınlaştırmak için kullanabilir ve böylece tüm kemiklerin kırılma olasılığının aynı olduğı bir ideal duruma ulaşabilirler. Ya da, mutasyona uğramış bireyler tasarruf ettikleri kalsiyumla daha çok süt üreterek daha fazla yavru yetiştirebilirler. En azından kırılma olasılığı bir sonraki en dayanıklı kemiğın düzeyine gelene dek, kemiş kemiğının dayanıklılığı azaltılabilir. Diğer seçeneğın —diğer tüm parçaların kemiş kemiğı standartlarına getirilmesi anlamına gelen "'Rolls Royce"'çözümünün— gerçekleşmesi daha zordur.

Hesap aslında bu kadar basit değil, çünkü bazı kemikler diğerlerinden daha önemlidir. Bir örümcek maymununun kırılmış bir topuk kemiğıyle hayatta kalmasının, kırılmış bir kol kemiğıyle hayatta kalmasından daha kolay olduğunu sanıyorum; yani doğal seçimin tüm kemiklerinin kırılma olasılığını eşit düzeye getirmesini bekleyemeyiz. Ama Henry Ford efsanesinden aldığımız ana ders hiç kuşkusuz doğrudur. Bir hayvanın belli

bir parçasının gereğinden iyi olması mümkündür ve doğal seçimin bedenın bir parçasının kalitesini, bedenın diğerk parçalarının kalitesiyle dengelendiğı noktaya dek —ötesine geçmemek koşuluyla— düşürmesini beklemeliyiz. Yani, doğal seçim bir niteliğın hem düşürölmesini hem yükseltölmesini, tüm beden parçaları arasında uygun bir dengeye ulaşıłana dek tercih edecektir.

Yaşamın hayli iki farklı yanı arasında kurulduğunda, bu dengenin değeri anlamamız özellikle kolaylaşıyor: Örneğın, dışı tavuskuşlarının gözünde, erkek tavuskuşunun güzelliğıyle varkalımı arasındaki denge gibi. Darwinci kuram bize, varlığını sürdürmenin, genlerini yayma amacı için sadece bir araç olduğunu söylüyor: ama bu durum, bedeni, temelde bireysel varlığını sürdürmeyle ilgili olan bacak gibi ve üremeyle ilgili olan penis gibi parçalara ayırmamızı engellemez. Ya da geyiğın rakip bireylerle rekabet etmeye adanmış boynuzları gibi parçalara karşı, bacakları ve penisi gibi, önemi rakip bireylerin varlığına bağılı olmayan parçalara ayırmamızı da engellemez. Pek çok böceğın yaşam öyküsünde, temelden farklı aşamalar arasında katı bir ayırım vardır. Tırtıllar kendilerini yiyecek toplamaya ve büyümeye adarlar. Kelebekler de tıpkı ziyaret ettikleri çiçekler gibi kendilerini üremeye adanmışlardır. Büyümezler ve yalnızca hemen uçuş yakıtı olarak yakmak için balözü emerler. Kelebek başarıyla ürediğinde, yalnızca etkili şekilde uçan ve çiftleşen bir kelebek olmaya yarayan genlerini değil, bir zamanlar olduğu gibi etkili şekilde beslenen bir tırtıl olmaya yarayan genlerini de yayar. Mayıs sinekleri üç yıl süreyle sualtı perileri olarak beslenip büyürler. Ardından, uçabilen yetişkinler olarak ortaya çıkar ve yalnızca birkaç saat yaşarlar. Çoğunu balıklar yer, ama onlar yemese de ölürler, çünkü beslenemezler, hatta bağırsakları bile yoktur (herhalde Henry Ford bunlara bayılırdı). İşleri, bir eş bulana dek uçmaktır. Ardından,

genlerini —üç yıl boyunca sn altında verimli olarak beslenebilen bir su perisi olmaya yarayan genleri de dahil— aktardıktan sonra ölürler. Mayıssineği, büyümesi yıllar süren ve ardından, tek bir görkemli gününde çiçek verip, sonra ölen bir ağaç gibidir. Yetişkin mayıssineği, yaşamın sonunda ve yeni yaşamın başlangıcında kısa süreliğine açan bir çiçektir.

Genç bir som balığı, doğduğu akarsıda aşağıya doğru göç eder ve yaşamının büyük bölümünü denizde beslenip büyüyerek geçirir. Olgunluğa eriştiğinde, büyük olasılıkla koklama duyusuyla, doğduğu akarsuyun ağzını arar. Destansı ve çok ünlenen bir yolculuk yaparak yukarı doğru yüzer, çağlayanları ve akıntıları aşar ve bir ömür önce geldiği ırmak kaynağına ulaşır. Burada yumurta döker ve döngü yinelenir. Bu noktada Atlantik somuyla Pasifik somu arasında tipik bir laik vardır. Atlantik somu yumurta döktükten sonra denize dönebilir ve döngüyü ikinci kez yineleme şansı vardır. Pasifik somu ise yumurta döktükten birkaç gün sonra tükenir ve ölür.

Tipik bir Pasifik somu mayıssineğine benzer, ama yaşam öyküsünde su perisi ve yetişkin evreleri arasındaki keskin anatomik ayırım yoktur. Akarsıda yukarı doğru yüzmeye harcanan çaba öylesine büyüktür ki, ikinci kez uğraşmaya değmez. Bu nedenle doğal seçim, kaynaklarının tamamını bir "büyük patlama"lı üreme çabasına harcayan bireyleri teşvik eder. Üremeden sonra geride kalan her türlü kaynak —Henry Ford'un aşırı dayanıklı ana cıvataları gibi— israf sayılacaktır. Pasifik somları, üreme sonrası varkalım sürelerinin sifıra ulaşana dek azar azar eksilmesi ve tasarruf edilen kaynakların yumurtalara ve spermaya ayrılması yönünde evrimleşmiştir. Atlantik somları ise diğer yöne çekilmiştir. Belki de tırmanmaları gereken ırmaklar genellikle daha kısa olduğundan ve daha az meyilli tepelerden döküldüğünden, ikinci bir üreme döngüsü için biraz kaynak ayırabilen bireyler kimi zaman bundan avantajlı çıkabi-

lirler. Atlantik somlarının ödediği bedel, yumurtalarına çok (azla bağıllık gösterememeleridir. Uzun ömür ile üreme arasında bir değiştokuş vardır ve farklı som çeşitleri farklı dengeleri seçmişlerdir. Som balığının yaşam döngüsünün özelliği, zorlu göç yolculuğunun süresizlik getirmesidir. İki üreme mevsimi arasında yumuşak bir geçiş yoktur, ikinci bir üreme mevsimine bağıllık, ilk döngünün verimliliğini ciddi oranda azaltır. Pasifik somu ilk üreme mevsimine tam bir bağıllık yönünde evrimleşmiştir ve sonuçta, tipik bir birey, yumurtaların dökmek için tek bir muazzam çabadan hemen sonra mutlaka ölür.

Aynı türde bir değiştokuştım yaşamlarda görülür, ama genellikle bu denli çarpıcı değildir. Bizim ölümümüz de büyük olasılıkla somunkiyle aynı anlamda programlanmıştır, ama bu denli doğrudan ve kesin belirlenmiş değildir. Hiç kuşkusuz insan ırkının kalıtım yoluyla ıslahıyla uğraşan biri, eşsiz derecede uzun yaşayan bir insan ırkı üretebilir. Üretim için, kaynaklarının çoğunu, çocukları pahasına kendi bedenlerine yatıran bireyleri seçersiniz: örneğin, kemikleri çok dayanıklı ve kırılması güç olan, ama süt yapmak için geriye çok az kalsiyumu kalmış olan bireyleri. Bir sonraki kuşak pahasına koltuklanarak biraz daha fazla yaşamak kolaydır. Gen ıslahatçısı bu koltuklamayı yapabilir ve istendiği gibi uzun ömür yönünde değiştokuşlar yaratabilir. Ama gelecek kuşak pahasına tasarruf yapılmasına yol açan genler geleceğe ulaşmayacağı için, doğa bireyi bu şekilde desteklemeyecektir.

Doğanın Yararlılık işlevi, uzun ömre asla kendi adına değil, sadece gelecekteki üreme adına değer verir. Bizim gibi, ama Pasifik somunun tersine, birden fazla kez üreyen hayvanlar hâlihazırdaki çocukla (ya da batınla) gelecekteki çocuklar arasında değiştokuşlarla karşılaşılır. Tüm enerjisini ve kaynaklarını ilk batınına adayan bir tavşanın ilk batını büyük olasılıkla daha üstün olacaktır. Ama ikinci batına yetecek kaynağı kalmayacaktır. Depoda bir şeyler bırakmayı sağlayan genler ikinci ve

üçüncü batın yavruların bedenlerinde taşınarak tavşan nüfusuna yayılma eğilimi gösterecektir. Bu tür genler Pasifik somu nüfusuna yayılmamıştır, çünkü iki üreme mevsimi arasında müthiş bir süreksizlik vardır.

Yaşımız ilerledikçe, bir sonraki yılda ölme olasılığımız, başlangıçta azalıp ardından bir süre sabitlendikten sonra, uzun bir tırmanışa geçer. Ölümlülük olasılığının bu uzun tırmanışında ne olmaktadır? Bu, temelde Pasifik somu için geçerli olan ilkedir, ama yumurta dökme orjisinden sonra kısa bir aceleci ölüm orjisinde yoğunlaşmak yerine, daha uzun bir döneme yayılmıştır. Yaşlılığın evrimleşmesine ilişkin ilkeyi Nobel Ödülü sahibi, tıp bilimci Sir Peter Medawar 1950'lerin başlarında incelemiş ve G.C. Williams ve W.D. Hamilton adındaki seçkin Darwinciler bu temel fikirde bazı değişiklikler yapmışlardır.

Temel sav şöyledir: İlk olarak, 1. Bölüm'de de gördüğümüz gibi, organizmanın yaşamı sırasında belli bir dönemde herhangi bir genetik etki normal olarak devreye girecektir. Erken embriyonda pek çok gen devreye girer, ama —halk ozanı ve şarkıcı Woody Guthrie'nin trajik ölümüne yol açan Huntington koresi geni gibi— bazıları orta yaşa dek devreye girmez, ikinci olarak, bir genetik etkinin, devreye girme zamanı da dâhil olmak üzere ayrıntıları, başka genler tarafından değiştirilebilir. Huntington koresi genini taşıyan bir insan bu hastalıktan ölmesi beklenebilir, ama hastalığın onu kırk yaşında ya da (Woody Guthrie gibi) elli beş yaşında öldürmesi olasılığı diğer genlerden etkilenebilir. Bu durumda, "değiştirici"genler seçilerek belli bir genin faaliyete geçme zamanı evrimsel zamanda geciktirilebilir ya da öne alınabilir.

Otuz beşle elli beş yaşları arasında devreye giren Huntington koresi geni gibi bir gen, taşıyıcısını öldürmeden önce, sonraki kuşağa geçmek için bol bol fırsat bulur. Ancak yirmi yaşında devreye girseydi, yalnızca genç yaşlarda üreyen bireyler tarafından aktarılabilirdi ve bu nedenle aleyhine güçlü bir se-

çim olurdu. On yaşında devreye girmesi durumunda ise, temelde hiçbir zaman aktarılamazdı. Doğal seçim, Huntington koresi geninin devreye girme yaşını erteleme etkisini gösteren değiştirici genleri teşvik ederdi. Medawar/Williams kuramına göre bu da, normalde orta yaşa dek devreye girmemesinin nedenidir. Belki de bir zamanlar erken olgunlaşan bir hastalıktı, ama doğal seçim, ölümcül etkisinin orta yaşa dek ertelenmesini teşvik etmiştir. Hiç kuşkusuz, bunu daha da ileri yaşlara itmek için doğal seçimin hafif bir baskısı vardır, ama üreyip geni aktarmadan ölen kurban sayısı çok az olduğu için, bu baskı zayıf kalır.

Huntington koresi geni, özellikle belirgin bir ölümcül gen örneğidir. Kendi içlerinde ölümcül olmayan, ama yine de başka bir nedenden ölme olasılığını yükselten ve altölümcül adı verilen pek çok gen vardır. Bir kez daha, devreye girme zamanları değiştirici genlerden etkilenebilir ve dolayısıyla, doğal seçim tarafından ertelenebilir ya da hızlandırılabilir. Medawar, yaşlılıktaki güçsüzleşmenin yaşam döngüsünde gitgide daha ileriye itilmiş ve yalnızca geç faaliyete geçtikleri için üreme süzgecini aşarak gelecek kuşaklara aktarılabilmiş ölümcül ve altölümcül genetik etkilerin bir birikimi olabileceğini fark etmiştir.

Modern Amerikan Darwincilerinin duayeni G.C. Williams, 1957'de öykünün akışını önemli bir biçimde değiştirdi. Bu, ekonomik değiştokuşlar konusunda daha önce söylediklerimize gönderme yapıyor ve anlamak için önce, arka plandaki birkaç gerçeği işe katmalıyız. Bir gen, beden, yüzeyel olarak birbirinden hayli ayrı gözükken parçaları üzerinde çoğu kez birden fazla etki gösterir. Bu "pleiotropi", bir gerçek olmaktan öte, genlerin embriyon gelişimini etkiledikleri ve embriyon gelişiminin karmaşık bir süreç olduğu göz önüne alındığında, beklenen bir durumdur. Yani, herhangi bir yeni mutasyonun yalnızca bir değil, pek çok etki göstermesi olasılığı yüksektir. Etkile-

rinden biri yararlı olabilir, ama birden fazlasının yararlı olması pek olası değildir. Bunun nedeni, çoğu mutasyon etkisinin kötü olmasıdır. Bu bir gerçek olmanın ötesinde, ilkesel olarak beklenen bir durumdur: İşe —bir radyo gibi— karmaşık bir mekanizmayla başladığınızda, onu kötüleştirmenin yolları, iyileştirmenin yollarından daha fazladır.

Doğal seçim bir geni, gençlikteki —örneğin, genç bir erkekte cinsel çekicilik üzerindeki— yararlı etkisi nedeniyle teşvik ettiğinde büyük olasılıkla bir dezavantaj da görülür: Orta yaşta ya da yaşlılıkta belli bir hastalık gibi. Kuramsal olarak, yaşlanma süreci içindeki etkileri öbür yönde de olabilir, ama Medawar'ın mantığı izlenirse, doğal seçimin gençlik döneminde bir hastalığı, aynı genin ileri yaştaki yararlı bir etkisi nedeniyle tercih etmesi beklenemez. Dahası, değiştirici genler hakkındaki saptamaya yeniden dönebiliriz. Genin pek çok etkisinin, iyi ve kötü etkilerinin her birinin devreye girme zamanları, sonraki evrimlerle değişebilir. Medawar ilkesine göre, iyi etkiler yaşamın erken dönemlerine taşınmaya, kötü etkiler ise geç dönemlere ertelenmeye yatkın olacaktır, üstelik kimi durumlarda erken ve geç etkiler arasında doğrudan bir değiş tokuş olacaktır. Som balığı hakkındaki tartışmamızda bundan söz etmiştik. Bir hayvanın, örneğin fiziksel açıdan güçlü olmak ve tehlikeden kurtulabilmek için kısıtlı bir kaynağı varsa, bu kaynakları erkenden harcama eğilimi, geç harcama eğilimine yeğlenecektir. Daha geç harcayanların kaynaklarını tüketmeden önce başka bir nedenden dolayı ölmeleri daha olasıdır. Medawar'ın genel fikrini 1. Bölümde tanıttığımız söylemin ters-yüz edilmiş bir çeşitlemesine uygularsak, herkes, yaşamının bir döneminde genç olmuş, ama pek çoğu asla yaşlanmamış ataların kesintisiz bir zincirinden gelmiştir. Yani, genç olmak için gereken her şeyi miras alırız, ama yaşlı olmak için gereken her şeyi miras aldığımız söylenemez. Genellikle doğduktan kısa bir süre sonra de-

ğil, uzun bir süre sonra ölmek üzere etki yapan genleri miras alırız.

Bu bölümün kötümser başlangıcına dönersek, yararlılık işlevi — azamiye çıkarılan— DNA'nın varkalımı olduğunda, bu bir mutluluk reçetesi değildir. DNA'nın aktarılması şartıyla, bu süreçte kimin ya da neyin zarar gördüğü önem taşımaz. Darwin'in yabanarısı genleri için tırtılın yenirken canlı, dolayısıyla taze olması daha iyidir ve bunun ne kadar acıya mal olacağı bir önem taşımaz. Genler acıyı takmazlar, çünkü hiçbir şeyi umursamazlar.

Doğa nazik olsaydı, en azından tırtılları canlı canlı içlerinden yenmelerinden önce uyuşturmak gibi küçük bir ödün verirdi. Ama Doğa ne naziktir, ne de kaba. Ne acıya karşıdır, ne de acıdan yanadır. Doğa, DNA'nın varkalımını etkilemedikçe, acıya hiçbir şekilde önem vermez. Örneğin, öldürücü bir ısığa maruz kalmadan önce ceylanları uyuşturan bir gen düşünmek kolaydır. Doğal seçim böyle bir geni tercih eder miydi? Ceylanı uyuşturma eylemi genin sonraki kuşaklara aktarılma şansını artırmadıkça, hayır. Neden böyle olması gerektiğini anlamak zordur; dolayısıyla, ceylanların ölümüne kovalanırken korkunç bir acı ve korku çektiklerini tahmin edebiliriz; önünde sonunda çoğu böyle bir kovalamacayla karşılaşır. Doğal dünyada her yıl yaşanan ıstırabın toplam miktarını havsalamız almaz. Benim bu cümleyi yazdığım bir dakika içinde binlerce hayvan canlı canlı yeniyor; diğerleri hayatlarını kurtarmak için korkudan inleyerek koşuyor; bazıları korkunç parazitler tarafından yavaş yavaş içten kemiriliyor; her türden binlercesi açlıktan, susuzluktan ya da hastalıktan ölüyor. Böyle olmak zorunda. Bir bolluk zamanı yaşansa, bu gerçek, doğal açlık ve sefalet hali yeniden yerine gelene dek, nüfusun otomatik olarak artmasına yol açar.

Tanrıbilimciler "kötülük sorunu" ve bununla ilgili bir "ıstı-



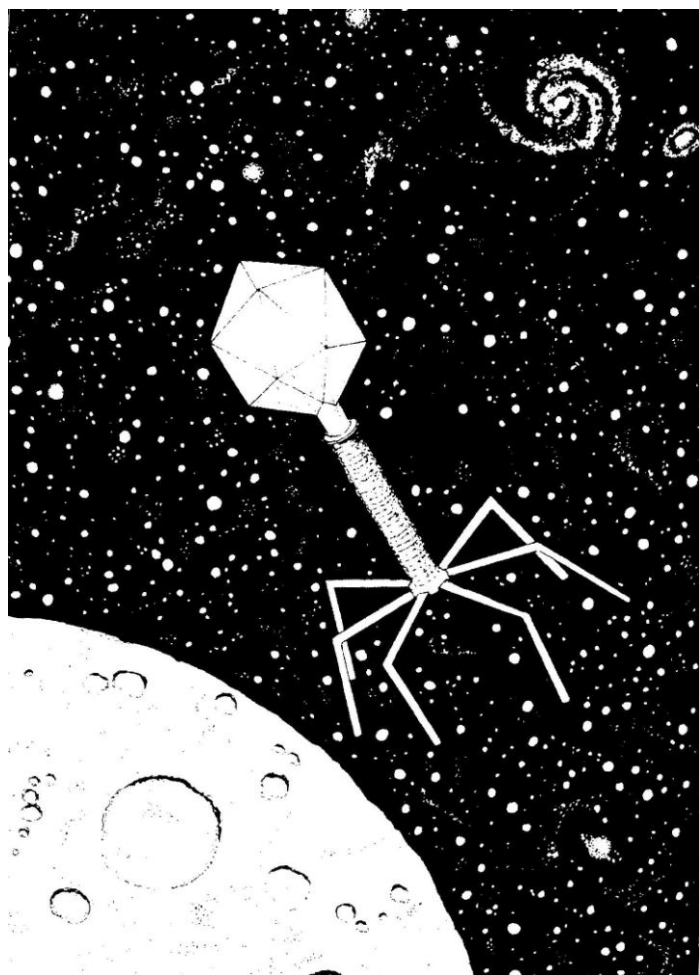
rap sorunu" için kaygılanmazlar. Bu paragrafı ilk yazdığım gün tüm ingiliz gazetelerinde bir Roma Katolik okulunun öğrencileriyle dolu bir otobüsün görünürde hiçbir neden olmaksızın kaza yapıp çocukların toptan ölümüne neden yol açmasıyla ilgili korkunç bir haber vardı. Din adamları bir kez daha, bir yazarın bir Londra gazetesinde (The Sunday Telegraph) şu şekilde ifade ettiği tanrıbilimsel soru yüzünden feveran içindeydi: "Böylesine bir trajediye izin veren sevgi dolu, her şeye kadir bir Tanrı'ya nasıl inanabilirsiniz?" Makalede bir rahibin verdiği karşılık da alıntılanmıştı: "Buna verilecek basit yanıt, bu korkunç şeylerin olmasına izin veren bir Tann'nın neden olması gerektiğini bilmediğimizdir. Ama bu korkunç kaza bir Hristiyan için, olumlu ve olumsuz, gerçek değerlerle dolu bir dünyada yaşadığımızın doğrulanması anlamına geliyor. Evren yalnızca elektronlardan ibaret olsaydı, kötülük ya da ıstırap sorunları olmazdı."

Tam tersine, evren yalnızca elektronlardan ve bencil genlerden ibaret olsaydı, bu otobüs kazası gibi anlamsız trajediler, aynı derecede anlamsız iyi şans eserleriyle birlikte, tam da bekleyeceğimiz şeyler olurdu. Bu tür bir evrenin niyeti iyi ya da kötü olamaz. Hiçbir türden niyet göstermez. Kör fiziksel kuvvetlerden ve genetik kopyalanmadan oluşan bir evrende ki- mi insanlar zarar görür, kimileri şanslı olur ve bunda ne ahenk ya da anlam bulunabilir, ne de adalet. Gözlediğimiz evren tam da, temelde hiçbir tasarımın, hiçbir amacın, iyilik ya da kötülüğün olmaması, kör, acımasızca bir kayıtsızlıktan başka hiçbir şeyin bulunmaması durumunda beklememiz gereken özellikleri gösteriyor. Şu mutsuz şair A.E. Housman'ın dediği gibi:

Çünkü Doğa, o kalpsiz, düşüncesiz Doğa

Ne bilecek, ne de umursayacaktır.

DNA bilmez de, umursamaz da. DNA yalnızca vardır. Ve biz, onun müziğiyle dans ederiz



## KOPYALANMA BOMBASI

Yıldızların çoğu —bizim güneşimiz de tipik bir yıldızdır— yüz milyonlarca yıl boyunca istikrarlı bir şekilde yanar. Pek ender olarak, gökadanın bir yerinde bir yıldız birdenbire, bariz bir uyarı olmaksızın, patlayarak süpernovaya dönüşür. Birkaç haftalık bir dönem içinde parlaklığı milyarlarca kat artar ve ardından, soluklaşarak, eski halinin karanlık bir kalıntısına dönüşür. Yıldız, süpernova olarak geçirdiği birkaç şaşaalı günde, sıradan bir yıldız olarak geçirdiği yüz milyonlarca yılda yaydığından daha fazla enerji yayabilir. Bizim güneşimiz "süpernovalaşsaydı" tüm güneş sistemi anında buharlaşırdı. Şansımıza, bu pek olası değil. Gökbilimciler yüz milyar yıldızdan oluşan gökadamızda yalnızca üç süpernova saptadılar: 1054'te, 1572'de ve 1604'te. Yengeç Bulutsu (Crab Nebula), Çinli gökbilimcilerin kayda geçirdiği 1054 olayının kalıntısıdır. ("1054" olayı dediğimde elbette, haberi Yerküre'ye 1054'te erişen olayı kastediyorum. Olayın kendisi altı bin yıl önce ger- çekleşmişti. Bundan gelen ışığın öndalgası bize 1054'te erişti.) 1604'ten bu yana görülen süpernovalar, diğer gökadalardaydı.

Bir yıldızda görülebilecek başka bir patlama türü daha var. Yıldız "süpernovalaşmak" yerine "bilgileşir." Patlama süpernovadan daha yavaş başlar ve gelişmesi de kıyaslanamayacak kadar uzun sürer. Biz buna bilgi bombası, ya da ileride açıkça görülecek nedenlerden ötürü, kopyalanma bombası diyebiliriz. Gelişiminin ilk birkaç milyar yılı boyunca, kopyalanma bombasını ancak çok yakınındaysanız fark edebilirsiniz. Zamanla, patlamanın belirtileri uzayın daha uzak bölgelerine sızmaya

başlar ve en azından potansiyel olarak, çok uzaklardan saptanabilecek hale gelir. Bu tür bir patlamanın nasıl sona erdiğini bilmiyoruz. Tahminlere göre, sonunda bir süpernova gibi so-luklaşmaktadır, ama tipik bir patlamanın ilk başta nereye dek geliştiğini bilmiyoruz. Belki şiddetli ve kendi kendini mahvedecek bir felakete varıncaya dek. Belki de, basit bir balistik yörüngeden çok, güdümlü bir yörüngeyle yıldızdan uzaklaşarak, aynı patlama eğilimini diğer yıldız sistemlerine bulaştırabileceği uzayın uzak bölgelerine doğru, daha yumuşak ve yinelenen bir nesne yayımına varıncaya dek.

Evrendeki kopyalanma bombaları hakkında bu denli az şey bilmemizin nedeni, yalnızca bir tek örnek görmüş olmamızdır ve bir olgunun tek bir örneği genelleme yapmak için yeterli değildir. Bizim örnek vakamız hâlâ gelişmekte. Uç ila dört milyar yıl arası bir süredir geliyor ve yıldızın yakınlarından etrafa yayılma eşiğine henüz ulaştı. Söz konusu yıldız, gökadamızın kenarına doğru, sarmal kollarından birinde bulunan sarı bir cüce yıldız olan Sol'dur. Biz buna güneş diyoruz. Patlama aslında güneşe yakın yörüngedeki uydulardan birinde başladı, ama patlamanın enerjisinin tamamı güneşten geliyor. Bu uydu elbette Yerküre'dir ve dört milyar yaşındaki patlama, ya da kopyalanma bombasına da yaşam deniyor. Biz insanlar kopyalanma bombasının son derece önemli bir göstergesiyiz, çünkü patlama bizimle —beyinlerimiz, simgesel kültürümüz ve teknolojimizle— bir sonraki aşamaya geçip uzayın derinliklerinde yankılanabilir.

Daha önce de belirttiğim gibi, bizim kopyalanma bombamız şu ana dek evrende bildiğimiz tek örnektir, ama bu durum, bu tür olayların süpernovalardan daha ender olduğu anlamına gelmez. Gökadamızda üç kez daha sık süpernova saptandığı doğrudur, ama serbest bıraktıkları büyük enerji miktarları nedeniyle, süpernovaların uzak mesafelerden görülmesi daha ko-

laydır. İnsan yapımı radyo dalgalarının gezegenimizden dışarı yayılmaya başladığı birkaç on yıl öncesine dek, bizim yaşam patlamamız yakın gezegenlerdeki gözlemciler tarafından bile saptanamazdı. Yakın zamanlara dek, yaşam patlamamızın göze çarpacak tek belirtisi, herhalde okyanustaki Büyük Baiyer Denizaltı Kayalığı olmuştur.

Süpernova, muazzam ve ani bir patlamadır. Herhangi bir patlamanın tetiğini çeken olay, bir niceliğin kritik bir değeri aşmasıdır; bundan sonra her şey kontrolden çıkıp hızlı bir tırmanış göstererek, tetiği çeken ilk olaydan çok daha büyük bir sonuç yaratır. Bir kopyalanma bombasının tetiğini çeken olay, kendini kopyalayabilen, ama yine de değişken olan varlıkların kendiliğinden oluşmasıdır. Kendini kopyalamanın potansiyel olarak patlayıcı bir olgu olmasının nedeni herhangi bir patlamanınkiyle aynıdır: Üssel büyüme; elinizdeki ne kadar çoksa, o kadar daha fazlasını elde edersiniz. Bir kez, kendini kopyalayan bir nesneniz olduğunda, kısa sürede iki tane olur. Ardından, her ikisi de kendi kopyasını yapar ve sayı dörde ulaşır. Sonra sekiz, on altı, otuz iki, altmış dört... Yalnızca otuz kuşak sonra elinizde bir milyar kopyalanan nesne olur. Elli kuşak sonra, sayı milyon kere milyarı bulur. İki yüz kuşak sonra ise, bir milyon milyon milyon milyon milyon milyon (106 °) katı olur; kuramsal olarak. Uygulamada ise bunun olması asla mümkün değildir, çünkü bu, evrendeki tüm atomların sayısından daha yüksek bir sayıdır. Patlayıcı kendini kopyalama sürecinin, kesintisiz olarak kopyalanan iki yüz kuşağa ulaşmadan çok önce sınırlanmış olması gerekir.

Elimizde, bu gezegendeki süreçleri başlatan kopyalama olayıyla ilgili hiçbir doğrudan delil yok. Yalnızca, bizim de bir parçası olduğumuz patlama birikiminden dolayı, bunun gerçekleşmiş olduğu sonucunu çıkarabiliyoruz. Başlangıçtaki kritik olayın, kendini kopyalamanın başlangıcının tam olarak neye

benzediğini bilmiyoruz, ama ne tür bir olay olması gerektiğini çıkarsayabiliyoruz. Kopyalanma, kimyasal bir olay olarak başlamıştır.

Kimya tüm yıldızlarda ve tüm gezegenlerde sürüp giden bir oyundur. Oyuncuları atomlar ve moleküllerdir. En ender atomlar bile, bizim alışkın olduğumuz sayma ölçülerine göre, inanılmayacak derecede çoktur. Isaac Asimov, ender görülen bir element olan astalin-215'in toplam sayısının, tüm Kuzey ve Güney Amerika'da on mil (16 km) derinliğe dek "yalnızca bir trilyon" olduğunu hesaplamıştır. Kimyanın temel birimleri sonsuza dek eş değiştirerek; değişen, ama her zaman nüfusu çok büyük olan daha büyük birimleri —molekülleri— üretirler. Sayıları ne kadar çok olursa olsun, belli bir tipteki moleküller —örneğin, belli bir türden hayvanların ya da Stradivarius kemanlarının tersine— her zaman aynıdır. Kimyanın atomik dans rutini, dünyada bazı moleküllerin sayılarının artarken, bazılarının azalmasına yol açar. Bir biyolog doğal olarak, nüfusları artan molekülleri "başarılı" olarak tanımlama eğilimindedir. Ama bu eğilime kapılmanın yaran yoktur. Başarı, sözcüğün aydınlatıcı anlamıyla, öykümüzün ancak daha sonraki aşamasında ortaya çıkan bir özelliktir.

Öyleyse, yaşam patlamasını başlatan bu önemli kritik olay neydi? Kendini kopyalayan varlıkların oluşması olduğunu söylemiştim, ama buna kalıtsallık olgusunun ortaya çıkması da diyebiliriz; "benzer, benzerini üretir" olarak adlandırabileceğimiz bir süreçtir bu. Bu, moleküllerin normalde sergiledikleri bir özellik değildir. Su molekülleri devasa sayılarda kümelenmelerine karşın, gerçek kalıtsallığa benzer bir özellik göstermezler. Yüzeysel bir bakışla, böyle bir özellik gösterdiklerini düşünebilirsiniz. Hidrojen (H) oksijen (O) ile birlikte yandığında su molekülleri (H<sub>2</sub>O) nüfusu artar. Su, elektrolizle hidrojen ve oksijen kabarcıklarına ayrıldığında su molekülü nüfusu dü-

şer. Ama su moleküllerinin bir tür nüfus dinamiği olmasına karşın, kalıtsallığı yoktur. Gerçek kalıtsallık için asgari şart, her ikisi de kendileri gibi ("yumurta") kopyalar üretebilecek en azından iki farklı H<sub>2</sub>O molekülü türünün olmasıdır.

Moleküller kimi zaman, birbirinin ayna görüntüsü olan iki çeşit halindedir. Birbirlerine benzer şekilde birleştirilmiş aynı atomlardan oluşan, ama moleküller birbirlerinin ayna görüntüsü şeklinde olan iki tür glükoz molekülü vardır. Aynı durum diğer şeker molekülleri ve en önemlisi amino asitler de dahil olmak üzere pek çok başka molekül için de geçerlidir. Belki de burada "benzer, benzerini üretir" için —yani, kimyasal kalıtsallık için— bir fırsat vardır. Sağlak moleküller sağlak yavru moleküller ve solaklar da solak yavru moleküller üretebilirler mi? ilk olarak, birbirinin ayna görüntüsü moleküller hakkında biraz bilgi verelim. Olguyu ilk kez, şaraptaki önemli bir maddeye, tartarik asidin tuzu olan tartarat kristallerine bakan 19. yüzyılın büyük Fransız bilimci Louis Pasteur keşfetmişti. Kristal, çıplak gözle görülebilecek ve kimi zaman boyuna takılabilecek denli büyük, katı bir yapıdır. Aynı tipte atomların ya da moleküllerin birbirlerinin üstüne yığılarak katı bir yapı yaratmalarıyla oluşur. Gelişigüzel şekilde değil, kusursuz talim görmüş aynı boyda muhafızlar gibi, düzenli bir geometrik düzende kümelenir. Kristalin parçası olan moleküller, sulu bir çözeltiden gelen ve kristale mükemmel şekilde uyan yeni moleküller için kalıp oluştururlar ve böylece tüm kristal kusursuz, geometrik bir kafes şeklinde büyür. Tuz kristallerinin yüzeylerinin kare, elmas kristallerinin ise dört satırlı (elmas şeklinde) olmasının nedeni budur. Herhangi bir şekil, kendisi gibi başka bir şeklin oluşması için bir kalıp işlevi gördüğünde, kendini kopyalama olasılığı gelir aklımıza.

Şimdi, Pasteur'ün tartarat kristallerine dönelim. Pasteur suda bir tartarat çözeltisi bıraktığında, birbirlerinin ayna görün-

tüleri olmaları dışında, tamamen aynı olan iki ayrı kristal çeşidinin oluştuğunu fark etti. Zahmetli bir çalışmayla iki kristal çeşidini iki ayrı kümede topladı. Bunları ayrı olarak yeniden erittiğinde iki farklı çözelti, çözelti halinde iki tartarat çeşidi elde etti. Pasteur, iki çözeltinin pek çok açıdan benzer olmalarına karşın, polarılmış ışığı zıt yönlerde döndürdüklerini gördü, iki molekül çeşidi geleneksel sağlak ve solak nitelemelerini bu nedenle alırlar, çünkü kutuplaşmış ışığı sırasıyla saat yönünün tersine ve saat yönünde döndürürler. Tahmin edeceğimiz gibi, iki çözeltinin yeniden kristalleşmelerine izin verildiğinde her biri, diğerinin saf kristalinin ayna görüntüsünü veren saf kristaller üretti.

Ayna görüntüsü moleküller, ne denli uğraşırsanız uğraşın, birisi diğerinin yerine kullanılacak şekilde döndürülemeyecek sol ve sağ ayakkabı gibi, birbirlerinden gerçekten farklıdır. Pasteur'un ilk çözeltisi, iki molekül çeşidinden oluşan karma bir nüfustu ve her iki çeşit de kristalleşirken kendi çeşitleriyle birlikte dizilmekte ısrar ediyorlardı. Bir varlığın iki (ya da daha fazla) farklı çeşidinin olması, gerçek kalıtsallık için gerekli bir şarttır, ama yeterli değildir. Kristaller arasında gerçek kalıtsallık olması için sağlak ve solak kristallerin kritik bir boyuta eriştiklerinde yarıya ayrılmalrı ve her yarının yeniden tam boyuta büyümek için bir kalıp işlevi görmesi gerekirdi. Bu koşullar altında gerçekten, iki rakip kristal çeşidinden oluşan, büyüyen bir nüfus elde etmiş olurduk. Nüfusta gerçekten "başarı"dan söz edebiliriz, çünkü —iki çeşit, aynı atomları içermek için rekabet ettiklerinden— bir çeşit, kendi kopyalarını "iyi" üretebilmesi sayesinde, diğeri pahasına sayısını artırabilir. Ne yazık ki, bilinen moleküllerin büyük çoğunluğunda kalıtsallığın bu tekil özelliğı yoktur.

"Ne yazık ki" diyorum, çünkü tıbbi amaçlarla, hepsi sözelimi solak olan moleküller yapmaya çalışan kimyacılar bunları



"üretebilmeyi" gerçekten çok isteyeceklerdi. Ancak moleküller diğer moleküllerin oluşumu için kalıp işlevi gördükçe, normalde bunu kendi benzeri biçimler için değil, ayna görüntüleri için yaparlar. Bu da işi zorlaştırır, çünkü işe solak bir biçimle başladığınızda, solak ve sağlak moleküllerden eşit bir karışım oluşur. Bu alanda çalışan kimyacılar molekülleri kandırarak aynı eli kullanan yavru moleküller "üretmeye" çalışıyorlar. Ama bu gerçekleşmesi çok zor bir numaradır.

Aslında, büyük olasılıkla sağlaklık ya da solaklık özelliğini içermemesine karşın, bu numaranın bir çeşitlemesi dört milyar yıl önce, dünyanın henüz çok genç olduğu ve patlamanın yaşama dönüşüp bilginin başladığı dönemde, doğal olarak ve kendiliğinden gerçekleşmiştir. Ancak patlamanın uygun şekilde ilerlemesi için, basit kalıtsallıktan daha fazlasına ihtiyaç vardı. Bir molekül solak ve sağlak biçimler arasında gerçek bir kalıtsallık gösterse bile, aralarındaki herhangi bir rekabet pek de ilginç sonuçlar yaratmayacaktır, çünkü yalnızca iki çeşit vardır. Rekabeti sözgelimi solak moleküller kazandığında, konu kapanır. Daha fazla ilerleme olmaz.

Daha büyük moleküllerin farklı parçalarında sağlaklık ya da solaklık görülebilir. Örneğin, monensin-antibiyotiğinin on yedi asimetri merkezi vardır. Bu on yedi merkezin her birinde bir solak ve bir sağlak biçim vardır, iki kendisiyle 17 kez çarpıldığında 131.072 sayısını verir ve dolayısıyla, molekülün 131.072 ayrı biçimi vardır. Bu 131.072 biçim gerçek kalıtsallık özelliğini taşısaydı ve her biri yalnızca kendi türünü üretseydi, 131.072 kümesinin en başarılı üyelerinin sonraki nüfus sayımlarında aşamalı olarak sayılarını artırmalarıyla birlikte karmaşık bir rekabet oluşabilirdi. Ama bu bile kısıtlı bir kalıtsallık türü olurdu, çünkü 131.072 büyük bir rakam olmakla birlikte, sonludur. Adına layık bir yaşam patlaması için kalıtsallığa ihtiyaç vardır, ama aynı zamanda sonsuz, açık uçlu bir çeşitlilik de gereklidir.

Monensin örneğiyle, ayna görüntülü kalıtsallık konusunda yolun sonuna geldik. Ama solaklığa karşı sağlaklık, kalıtsallığa yol açabilecek tek farklılık türü değildir. Massachusetts Institute of Technology'den Julius Rebek ve çalışma arkadaşları, kendi kendini kopyalayan moleküller üretmekle ciddi olarak uğraşan kimyacılar. Kullandıkları molekül şekiller ayna görüntüleri değildir. Rebek ve çalışma arkadaşları iki küçük molekül aldılar — moleküllerin ayrıntılı adlarının önemi olmadığından, bunlara yalnızca A ve B diyelim— A ve B çözeltide karıştırıldığında, birleşerek —tahmin edeceğiniz gibi— C adı verilen üçüncü bir bileşik oluşturdular. Her C molekülü bir kalıp, ya da şablon işlevi görür. Çözeltide serbest halde yüzen A'lar ve B'ler kalıba girerler. Bir A ve bir B kalıpta yerlerini alırlar ve dolayısıyla doğru şekilde dizilerek tıpkı bir önceki gibi yeni bir C yaratırlar. C'ler birlikte kalarak bir kristal oluşturmak yerine, birbirlerinden ayrılırlar. Artık her iki C de, yeni C'ler yaratmak için kalıp işlevi görebilir ve böylece C nüfusu üssel olarak artar.

Şu ana dek anlatıldığı kadarıyla, sistem gerçek kalıtsallık sergilemiyor, ama işin devamı da var. Çeşitli biçimlerde ortaya çıkan B moleküllerinin her biri A'yla birleşerek kendi C molekülü çeşitlemesini yaratır. Böylece C1, C2, C3 vb. oluşur. Bu C molekülü çeşitlemelerinin her biri kendi tipinde başka C'ler üretilmesi için bir kalıp işlevi görür. Dolayısıyla, C'ler nüfusu heterojendir. Dahası, farklı C çeşitleri yavru üretmekte eşit derecede verimli değildirler. Yani, C molekülleri nüfusunda rakip C çeşitlemeleri arasında bir rekabet vardır. Daha da iyisi, C molekülleri, morötesi ışınım, "kendiliğinden mutasyona" yönlendirilebilir. Tıpkı kendisi gibi yavru moleküller üreten yeni mutant tipin "aslına sadık kalarak" ürediği görülmüştür. Üstelik yeni varyant, ebeveyn tipe baskın çıktı ve bu protoyaratıkların üretildiği test tüpü dünyasını hızla ele geçirdi. A/B/C

kompleksi bu şekilde davranan tek moleküller dizisi değildir. Buna benzer üçlü örnekleri arasında D, E ve F de var. Rebek'in grubu hatta, A/B/C kompleksi ile D/E/F kompleksinin elementlerinin kendini kopyalayabilen melezlerini de üretti.

Doğada bildiğimiz, kendini gerçekten kopyalayan moleküller — DNA ve RNA nükleik asitleri— çok daha zengin bir varyant potansiyeli taşıyorlar. Bir Rebek kopyalayıcısının yalnızca iki halkalı bir zincir olmasına karşın, bir DNA molekülü sonsuz uzunlukta bir zincirdir; zincirdeki yüzlerce halkanın her biri dört çeşitten biri olabilir ve belli bir DNA zinciri yeni bir DNA molekülü için kalıp işlevi gördüğünde, dört çeşidin her biri dörtlünün farklı bir üyesi için kalıp işlevi görür. Bazılar olarak bilinen dört birim geleneksel olarak A, T, C ve G olarak adlandırılan adenin, timin, sitozin ve guanin bileşikleridir. A her zaman T için ve T de A için kalıp işlevi görür ve tam tersi de geçerlidir. G her zaman C için ve C de G için kalıp işlevi görür. Akla gelebilecek herhangi bir A, T, C ve G düzeni oluşabilir ve aslına sadık bir şekilde kopyalanacaktır. Üstelik DNA zincirleri sınırsız uzunlukta olduğundan, mevcut çeşitlemenin yayılma alanı da sınırsızdır. Bu, yankıları ana gezegenden yayılıp sonunda yıldızlara tikişabilecek bir bilgisel patlamanın potansiyel bir reçetesidir.

Güneş sistemimizin kopyalayıcı patlamasının yankıları, gerçekleştiğinden bu yana geçen dört milyar yılın büyük bölümü boyunca ana gezegenle sınırlı kaldı. Bir radyo teknolojisi icat edebilen bir sinir sistemi, ancak son milyon yıllarda ortaya çıktı. Ve bu sinir sistemi radyo teknolojisini ancak son on yıllarda geliştirdi. Şimdi, bilgi zengini radyo dalgalarından oluşan bir kabuk genişleyerek gezegenden dışarı ışık hızıyla yayılıyor.

"Bilgi zengini" diyorum, çünkü evrende sekerek yayılan pek çok radyo dalgası zaten vardı. Yıldızlar görünür ışık olarak bildiğimiz frekansların yanı sıra, radyo frekanslarında yayın

yaparlar. Zamanın ve evrenin doğumuna vaftiz babalığı yapan ilk büyük patlamadan kalma bir arka alan gürültüsü bile vardır. Ama bu, anlamlı şekilde modellenmemişler; bilgi zengini değildir. Proxima Cenlauri'nin yörüngesindeki bir gezegenden bir radyoastrom bizim radyoastromlarımızla aynı arka alan gürültüsünü saptayacak, ama ayrıca Sol yıldızı yönünden gelen, çok daha karmaşık bir radyo dalgaları modelini de fark edecektir. Bu model dört yıl öncesinin televizyon programlarının bir karışımı olarak değil de, alışılmış arka alan gürültüsüne göre daha bilgi zengini bir dokuya sahip olarak görülecektir. Centauri'li radyoastromlar büyük bir heyecanla, Sol adlı yıldızın, bir süpernovanın bilgisel eşdeğeri halinde patladığını rapor edeceklerdir (bunun aslında Sol'un yörüngesindeki bir gezegen olduğunu tahmin edecek, ama emin olamayacaklarda).

Gördüğümüz gibi kopyalama bombaları süpernovalardan daha yavaş bir zaman yolunu izlerler. Bizim kopyalama bombamızın radyo eşığıne —bilginin bir bölümünün ebeveyn dünyadan taşıp komşu yıldız sistemlerine anlamlı radyo sinyalleri yağdırmaya başladığı ana— ulaşması birkaç milyar yıl almıştır. Bizim patlamamız tipik bir örnekse, bilgi patlamalarının aşamalı bir eşikler dizisinden geçtiğini tahmin edebiliriz. Radyo eşığı ve bundan da önce dil eşığı, kopyalama bombası tarihinin oldukça ileri dönemlerinde ortaya çıkar. Bunlardan önce —en azından bu gezegende— sinir sistemleri eşığı adı verilebilecek eşik ve ondan da önce çok-hücre eşığı vardı. Hepsinin dedesi, bir numaralı eşik, tüm patlamayı mümkün kılan tetikçi, kopyalayıcı eşikti.

Kopyalayıcılarda bu denli önemli olan nedir? Tıpkı kendisine benzer bir diğer molekülün sentezi için kalıp işlevi görme gibi, görünürde masum bir özelliğe sahip bir molekülün şans eseri ortaya çıkışı, nihai yankıları gezegenlerin ötesine ulaşabilecek bir patlamanın ateşleyicisi nasıl olabilir? Gördüğümüz gi-

bi; kopyalayıcıların gücü, kısmen, üssel büyümeye bağlıdır. Kopyalayıcılar belirli bir biçimde üssel büyüme gösterirler. Bunun basit bir örneği, mektup zinciri denen şeydir. Bir gün posta kutusunda bir mektup bulursunuz: "Bu mektubun altı kopyasını çıkar ve bir hafta içinde altı arkadaşına yolla. Bunu yapmazsan lanetlenirsin ve bir ay içinde korkunç acılar çekerek ölürsün." Mantıklı bir insansanız, mektubu çöpe atarsınız. Ama insanların büyük bir yüzdesi mantıklı değildir; tehdit onları etkiler ya da korkutur ve altı kopya gönderirler. Bu altı kişiden belki de ikisi altı kişiye daha mektup göndermeye ikna olur. Mektubu alan insanların ortalama olarak üçte biri emre uyarsa, dolaşımdaki mektup sayısı her hafta ikiye katlanır. Bu, kuramsal olarak, dolaşımdaki mektup sayısının bir yıl sonra 2 üssü 52, ya da yaklaşık dört trilyon olacağı anlamına gelir. Yani, dünyadaki tüm erkekleri, kadınları ve çocukları boğmaya yetecek kadar çok mektup.

Üssel büyüme, kaynak yetersizliğiyle kontrol altına alınmazsa, şaşırtıcı derecede kısa bir süre içinde şaşırtıcı derecede büyük ölçekli sonuçlara yol açar. Uygulamada, kaynaklar sınırlıdır ve üssel büyümeyi sınırlayacak başka etkenler de vardır. Bizim farazi örneğimizde, bireyler aynı zincir mektup kendilerine ikinci kez geldiğinde büyük olasılıkla duraksamaya başlayacaklardır. Kaynak rekabetinde, kopyalayıcının, kendilerini kopyalamakta daha verimli olan varyantları ortaya çıkabilir. Daha verimli olan bu kopyalayıcılar, genellikle daha az verimli olan rakiplerinin yerini alırlar. Bu kopyalanan varlıkların hiçbirinin kendini kopyalatmakla bilinçli olarak ilgilenmediğini anlamamız önemlidir. Ancak olaylar geliştikçe, dünya daha verimli kopyalayıcılarla dolacaktır.

Zincir mektup örneğinde verimli olmak, kâğıt üzerinde daha iyi bir sözcük bileşimi yaratmak anlamına gelebilir. " Karttaki emirlere uymazsan bir ay içinde korkunç acılar çekerek

ölürsün" gibi pek de inandırıcı olmayan bir ifade kullanmak yerine, şöyle yazılabilir: "Lütfen, size yalvarıyorum, kendi ruhunuzu ve benimkini kurtarmak uğruna, riske girmekten kaçının; en ufak bir kuşkunuz varsa, emre uyun ve mektubu altı kişiye yollayın. "Bu tür "mutasyonlar" tekrar tekrar oluşabilir ve sonuç, hepsi dolaşımda olan, hepsi aynı ilk atadan gelen ama ayrıntılı anlatım biçiminin ayrıntıları ve süslemeler bakımından farklılık gösteren, dolaşımdaki heterojen bir mesaj topluluğu olacaktır. Daha başarılı olan varyantların görülme sıklığı, daha başarısız rakipler pahasına artar. Başarı, dolaşım sıklığıyla eşanlamlıdır. "Aziz Jude Mektubu" böylesi bir başarının bilinen bir örneğidir; dünyayı birkaç kez dolaşmış ve büyük olasılıkla bu süreç içinde daha da büyümüştür. Bu kitabı yazdığım sırada, Vermont Üniversitesi'nden Dr.Oliver Goodenough bana aşağıdaki sureti gönderdi ve Nature dergisi için, "bir zihin virüsü" olarak bu mektup hakkında ortak bir bildiri yazdık.

### "SEVGİYLE HERŞEY MÜMKÜNDÜR"

Bu kâğıt size şans getirmesi için yollandı. Orijinali New England'dadır. Dünyayı 9 kez dolaştı. Şimdi Şans size yollandı. Mektubu aldıktan sonra dört gün içinde, sizin de bunu göndermeniz koşuluyla, şansla karşılaşacaksınız. Bu şaka değil. Postadan şans elde edeceksiniz. Para yollamayım Şansa ihtiyacı olduğunu düşündüğünüz kimselere bu mektubun kopyalanın yollayın. Para yollamayın, çünkü inancın fiyatı yoktur. Bu mektubu saklamayın. 96 saat içinde elinizden çıkmalı. A.R.P subayı Joe Elliott 40.000.000 dolar aldı. Geo. Welch bu mektuptan 5 gün sonra karısını kaybetti. Mektubun dolaşımını sağlamayı ihmal etmişti. Ama karısının ölümünden önce 75.000 dolar aldı. Lütfen mektubun kopyalarını gönderin ve 4 gün sonra ne olacağını görün. Zincir Venezuela'dan geliyor ve Güney Amerikalı misyoner Saul Anthony Degnas tarafından yazılmıştır. Mektubun kopyası dünyayı dolaşmak zorunda olduğundan, 20 kopya çıkarıp dostlarınıza ve iş arkadaşlarınıza yollayın; birkaç gün için-

de bir sürprizle karşılaşacaksınız. Batıl inançlarınız olmasa bile, bu, sevgidir. Unutmayın: Cantonare Dias bu mektubu 1903'te aldı. Sek- reterinden kopya çıkartıp yollamasını istedi. Birkaç gün sonra piyangodan 20 milyon dolar kazandı. Bir büro elemanı olan Cari Dobbit mektubu aldı ve 96 saat içinde elinden çıkması gerektiğini unuttu, işini kaybetti. Mektubu yeniden bulup kopyalarını çıkardı ve 20 kişiye yolladı. Birkaç gün sonra daha iyi bir iş buldu. Dolan Fairchild mektubu aldı ve inanmayarak çöpe attı. 9 gün sonra öldü. Mektup 1987' de Californialı genç bir kadının eline geçti. Solmuştu ve zor okunuyordu. Mektubu daktiloya çekip göndereceğine kendi kendine söz verdi, ama daha sonra yapmak için bir kenara koydu. Arabasında pahalıya patlayan arıza sorunları gibi, çeşitli sorunlarla karşılaştı. Bu mektup 96 saat içinde elinden çıkmamıştı. Sonunda söz verdiği gibi mektubu yazdı ve yeni bir araba aldı. Unutmayın, para yollamayacaksınız. Bunu göz ardı etmeyin; işe yarıyor.

**Aziz Jude**

Bu gülünç metin bir dizi mutasyonla evrimleşmiş olmanın tüm belirtilerini gösteriyor. Pek çok hata taşıyor ve dolaşımda başka kopyalar da olduğu biliniyor. Yazımızın Nature'da yayınlanmasından bu yana bana dünyanın her yerinden pek çok farklı nüshaları gönderildi. Bu alternatif metinlerden birinde "A.R.P. subayı" "R.A.F. subayı" olmuştu. ABD Posta Hizmetleri Aziz Jude mektubunu gayet iyi biliyor ve resmi kayıtlarının başlamasından çok öncesine gittiğini, zaman zaman salgın halinde ortaya çıktığını söylüyorlar.

Mektubun direktiflerine uyanların karşılaştığı iddia edilen şanslı olayların ve güya reddedenlerin karşılaştıkları felaketlerin zarar/yarar görenler tarafından yazılmış olamayacağını fark edeceksiniz. Yararlanan kişilerin sözde şansları ancak mektup ellerinden çıktıktan sonra onları buluyordu. Kurbanlar ise mektubu göndermemiş oluyordu. Bu öyküler —içeriklerinin saçmalığından da tahmin edilebileceği gibi— uydurulmuş olmalıydı. Bu da bizi, zincirleme mektuplarla, yaşam patlamasını

başlatan doğal kopyalayıcılar arasındaki en önemli farka getiriyor. Mektup zincirlerini insanlar başlatır ve anlatım biçimlerindeki değişiklikler insanların beyinde oluşur. Yaşamın patlamasının başlangıcında ise ne zihin vardı, ne yaratıcılık, ne de niyet. Yalnızca, kimya vardı. Yine de, kendi kendini kopyalayan kimyasal maddeler bir kez oluştuğunda, daha başarılı varyantların daha başarısız varyantlar pahasına sıklaşması eğilimi kendiliğinden artacaktır.

Mektup zinciri örneğinde olduğu gibi, kimyasal kopyalayıcı- lar arasında da başarı, dolaşım şıklığıyla eşanlamlıdır. Ama bu yalnızca bir tanımlamadır: Neredeyse tanımlı gereği doğru olması gereken bir şeydir. Başarı pratik yeterlilikle kazanılır; yeterlilikse somut ve tanımlı gereği doğru olmakla hiç ilgisi olmayan bir şeydir. Başarılı bir kopyalayıcı molekül, ayrıntılı kimyasal teknik özellikleri sayesinde, kopyalanmak için gerekli olan şeylere sahiptir. Bunun pratikte anlamı, kopyalayıcıların doğası şaşırtıcı derecede tekdüze görünse de, neredeyse sonsuz derecede değişken olabilmeleridir.

DNA öylesine tekdüzedir ki, tamamen aynı dört "harfin — A, T, C ve G— değişken dizinlerinden oluşur: Buna karşılık, daha önceki bölümlerde de gördüğümüz gibi, DNA dizilerinin kendilerini kopyalamak için kullandıkları araçlarsa, şaşırtıcı derecede değişkendir: Bunlar, suaygırları için daha verimli kalpler, pireler için daha yay gibi bacaklar; kırlangıçlar için aerodinamik açıdan daha biçimli kanatlar, balıklar için daha batmaz hava keseleri geliştirmeyi içerir. Hayvanların tüm organları, kolları ve bacakları; bitkilerin kökleri, yaprakları ve çi- çekleri; tüm gözler, beyinler ve zihinler, hatta korkular ve umutlar, başarılı DNA dizilerinin geleceğe aktarılacak için kullandıkları araçlardır. Araçlar neredeyse sonsuz değişkendir, arna bu araçları geliştirmeye yarayan reçeteler gülünç derecede tekdüzedir. Yalnızca, A, T, C ve G'nin tekrar tekrar permutasyonundan (sıra değişikliklerinden) ibarettir.



Belki de bu her zaman böyle olmamıştır. Bilgi patlaması başladığında, tohum şifrenin DNA harfleriyle yazıldığına dair elimizde hiçbir delil yoktur. Gerçekten de, tüm DNA/protein temelli bilgi teknolojisi öylesine karmaşık —kimyacı Graham Cairns-Smith'in deyiimiyle, yüksek teknoloji ürünü— ki, başka bir kendini kopyalayan sistemin öncülüğü olmadan, şans eseri ortaya çıktığını hayal etmekte bile zorlanabilirsiniz. Öncü, RNA olabilirdi; ya da, Julius Rebek'in kendini kopyalayan basit molekülleri gibi bir şey de olabilirdi; ya da, çok farklı bir şey olabilirdi: The Blind Watchmaker'da (Kör Saatçi) ayrıntılı olarak tartıştığım bir olasılık, Cairns-Smiths'in önerdiği gibi, inorganik kil kristallerinin ilk kopyalayıcılar olmasıdır. (Bkz. Cairns-Smith'in Seven Clues to the Origin Of Life adlı kitabı). Asla tam olarak bilemeyebiliriz de.

Bizim yapabileceğimiz, yalnızca, evrenin herhangi bir yerindeki herhangi bir gezegendeki bir yaşam patlamasının genel kronolojisi hakkında tahmin yürütmek olabilir. Neyin işe yarayacağıyla ilgili ayrıntılar yerel koşullara bağlı olmalıdır. DNA/protein sistemi soğumuş sıvı amonyak dünyasında işe yaramayacaktır, ama başka bir kalıtsallık ve embriyoloji sistemi belki de işe yarayabilir. Ne var ki, bunlar tam da benim göz ardı etmek istediğim türde özelliklerdir, çünkü genel reçetenin, gezegene bağlı olmayan ilkeleri üzerinde yoğunlaşmak istiyorum. Şimdi, herhangi bir gezegende kopyalanma bombasının geçmesi beklenebilecek eşikler listesini daha sistematik olarak inceleyeceğim. Bunların bazılarının gerçekten evrensel olması mümkün. Bazıları da bizim gezegenimize özgü olabilir. Hangilerinin evrensel ve hangilerinin yerel olduğuna karar vermek her zaman kolay olmayabilir ve bu kendi başına ilgi çekici bir sorudur.

1. Eşik elbette, Kopyalayıcı Eşik'in kendisidir: En azından bir ilkel kalıtsal çeşitlenme biçiminin olduğu ve arada bir kop-

yalamada rasgele hataların görüldüğü, bir tür kendini kopyalayan sistemin ortaya çıkmasıdır. 1. Eşiğin geçilmesinin sonucu, gezegenin, varyantların kaynaklar için rekabet ettikleri, karmaşık bir nüfus içermeye başlamasıdır. Kaynaklar kıt olacaktır — ya da, rekabet kızıştığında kitleleşmeye başlayacaktır. Kimi değişken kopyalar bu sınırlı kaynaklar için rekabette görece başarılı, diğerleri ise görece başarısız olacaktır. Böylece, temel bir doğal seçim şekli oluşur.

Bir kere, rakip kopyalayıcılar arasında başarı yalnızca kopyalayıcıların doğrudan özellikleriyle —örneğin, şekillerinin bir kalıba ne ölçüde uyduyla— ölçülecektir. Ancak şimdi, pek çok evrim kuşağından sonra, 2. Eşik'e, Fenotip Eşiğine geçiyoruz. Kopyalayıcılar yalnızca kendi özellikleri sayesinde değil, fenotip adını verdiğimiz başka bir şey üzerindeki nedensel etkileri sayesinde varlıklarını sürdürürler. Bizim gezegenimizde fenotipler, hayvan ve bitki gövdelerinin, genlerin etkileyebileceği bölümleri olarak kolayca tanınabilir. Bu da hemen hemen tüm beden parçaları anlamına gelir. Fenotipleri, başarılı kopyalayıcıların sonraki kuşağa geçmek için kullandıkları manivelalar olarak düşünün. Fenotipler daha genel olarak, kopyalayıcıların, başarılarını etkileyen, ama kendileri kopyalanmayan sonuçları olarak tanımlanabilir. Sözelimi, Pasifik'te ada salyangozu türünün kabuğundaki kıvrımların sağa ya da sola doğru dönmesini, belli bir gen belirler. DNA molekülünün kendisi değil, fenotip sonucu sağlıklı ya da solaktır. Sağlıklı ya da solak kabuklar salyangoz bedenleri için dış koruma sağlama işinde eşit derecede başarılı olamayabilirler. Salyangoz genleri, şekillerinin etkilenmesine katkıda bulundukları kabukların içinde bulunduklarından, başarılı kabuklar yapan genlerin sayısı, başarısız kabuklar yapan genlerden daha fazla olacaktır. Kabuklar, fenotip oldukları için, yavru kabuklar üretmezler. Her kabuğu DNA yapar ve DNA'yı üreten de DNA'dır.

DNA dizinleri, (kabukların kıvrım yönü gibi) fenoliplerini; tümü "embriyoloji" genel başlığı altında sınıflandırılan, az ya da çok karmaşık ara-olaylar zinciri yoluyla etkiler. Bizim gezegenimizde zincirin ilk halkası her zaman, bir protein molekülünün sentezidir. Protein molekülünün her ayrıntısı, şu ünlü genetik şifre aracılığıyla, dört harf çeşidinin DNA'da sıralanmasıyla tam olarak belirlenir. Ama bu ayrıntılar, büyük olasılıkla, yalnızca yerel önem taşımaktadır. Daha genelde, bir gezegen, sonuçları (fenotipleri) kopyalayıcıların kopyalanma başarısı üzerinde herhangi bir şekilde yararlı etki yapan kopyalayıcılar içermeye başlayacaktır. Fenotip Eşiği aşıldığında, kopyalayıcılar vekilleri, yani dünya üzerindeki etkileri sayesinde varlıklarını sürdürürler. Bizim gezegenimizde, bu etkiler genellikle genin fiziksel olarak içinde bulunduğu bedenle sınırlanmıştır. Ama bunun mutlaka böyle olması gerekmez. Genişletilmiş Fenotip doktrini (bu doktrine, aynı başlığı taşıyan bir kitap adadım) kopyalayıcıların uzun vadeli varkalımlarını sağlayan fenolipik manivelaların, kopyalayıcıların"kendi" bedenleriyle sınırlı olmasının gerekmediğini belirtir. Genler belirli bedenlerin ötesine erişip, diğer bedenler de dâhil olmak üzere, genel olarak dünyayı etkileyebilirler.

Fenotip Eşiğinin ne kadar evrenselleşebileceğini bilmiyorum. Yaşam patlamasının son derece ilkel bir aşamanın ötesine geçtiği tüm gezegenlerde, bu eşiğin aşılmış olduğunu sanıyorum. Listemdeki bir sonraki eşik için de aynı şeyin geçerli olduğunu sanıyorum. Bu, bazı gezegenlerde Fenotip Eşiği 'nden önce, ya da aynı zamanda aşılmış olabilecek 3. Eşik, yani Kopyalayıcı Ekip Eşiği'dir. Kopyalayıcılar ilk zamanlarda, büyük olasılıkla genetik ırmağın kaynağında rakip çıplak kopyalayıcılarla birlikte oraya buraya salınan Özerk varlıklardı. Ancak Yerküre'deki modern DNA/protein bilgi teknolojisi sistemimizin özelliği gereği, hiçbir gen tek başına çalışamaz. Bir

genin içinde çalıştığı kimyasal dünya, dış çevrenin yardım görme yen, bağımsız kimyası değildir. Bu elbette arka planı oluşlunur, ama oldukça uzak bir arka plandır. DNA kopyalayıcısının içinde var olduğu yakın ve mutlaka gerekli kimyasal dünya çok daha küçük, daha yoğun bir kimyasal madde torbasıdır: Hücre. Hücreyi bir kimyasal madde torbası olarak tanımlamak bir açıdan yanıltıcıdır, çünkü pek çok hücrenin, üstünde, içinde ve arasında hayali kimyasal tepkimelerin sürdüğü, katlanmış zarlardan oluşan ayrıntılı bir içyapısı vardır. Hücre adını verdiğimiz kimyasal mikrokozmos, yüzlerce —gelişmiş hücrelerde, yüz binlerce — genden oluşan bir konsorsiyum tarafından oluşturulur. Her gen çevreye katkı da bulunur ve ardından, varlığını sürdürmek için bütün genler bu çevreyi kullanır. Genler ekip halinde çalışırlar. Bunu biraz faklı bir açıdan 1. bölümde görmüşük.

Gezegemizdeki en basit özerk DNA-kopyalama sistemleri bakteri hücreleridir ve bunların gereksinim duydukları bileşenleri yaratmaları için en az birkaç yüz gen gerekir. Bakteri olmayan hücrelere ökaryotik hücreler denir. Bizimkilerle hayvanların, bitkilerin, mantarların ve tek hücrelilerin hücreleri, ökaryotik hücrelerdir. Bunlar da ekip halinde çalışan on binlerce ya da yüz binlerce gen vardır. 2. Bölümde de gördüğümüz gibi, ökaryotik hücrenin kendisinin bir araya gelmiş yaklaşık yarım düzine bakteri hücresinden oluşan bir ekip olarak başlamış olması artık olası görünüyor. Ama bu üst düzey bir ekip çalışması biçimidir ve burada sözünü ettiğim şey bu değildir. Sözünü ettiğim, tüm genlerin işlerini, hücredeki genlerden oluşan bir konsorsiyumun yarattığı bir kimyasal çevrede yaptıklarıdır.

Genlerin ekipler halinde çalıştıkları fikrini bir kez anladıktan sonra, Darwinci seçimin günümüzde rakip gen ekipleri arasında seçim yaptığı varsayımına atlama —doğal seçimin daha

yüksek örgütlenme düzeylerine geçtiğini varsayma— eğilimi açıkça güçleniyor. Güçlü bir eğilim, ama bence son derece yanlış. Darwinci seçimin hâlâ rakip genler arasında seçim yaptığını, ama tercih edilen genlerin, yine birbirlerinin yanında eşzamanlı olarak tercih edilen diğer *genlerin varlığında* gelişen genler olduğunu söylemek daha aydınlatıcı olacaktır. Bu, aynı sayısal ırmak kolunu paylaşan genlerin genellikle "iyi yoldaşlar" olduğunu gördüğümüz 1. Bölüm'de de değindiğimiz bir noktadır.

Kopyalanma bombası bir gezegende hız kazanırken geçilen bir sonraki önemli eşik belki de Çok-Hücre Eşiği'dir; ben buna 4. Eşik diyeceğim. Daha önce de gördüğümüz gibi, bizim yaşam biçimimizdeki herhangi bir hücre, bir gen ekibinin içinde yüzdüğü küçük bir yerel kimyasal madde denizidir. Tüm ekibi içermesine karşın, ekibin bir altkütmesi tarafından yaratılmıştır. Şimdi, hücreler ikiye ayrılarak çoğalır ve bunların her biri büyüyüp tam boyuta ulaşır. Bu olduğunda, gen ekibinin tüm üyeleri kopyalanmıştır, iki hücre tam olarak ayrılmayıp birbirlerine bağlı kalırlarsa, hücrelerin tuğla işlevi görmesiyle, büyük yapılar oluşabilir. Çok hücreli yapılar üretme yeteneği, bizim dünyamız gibi, diğer dünyalarda da önemli olabilir. Çok-Hücre Eşiği aşıldığında, şekilleri ve işlevleri ancak tek hücre boyutundan çok daha geniş bir boyutta değerlendirilebilecek fenotipler ortaya çıkabilir. Bir geyik boynuzu ya da bir yaprak, bir göz merceği ya da bir salyangoz kabuğu —bütün bu şekilleri hücreler oluşturur, ama hücreler büyük şeklin minyatür çeşitlemeleri değildir. Diğer bir deyişle, çokhücreli organlar kristaller gibi büyümmezler. En azından bizim gezegenimizde, aşırı büyümüş tuğlalar şeklinde olmayan binalar gibi büyürler. Elin kendine özgü bir şekli vardır, ama fenotiplerin kristaller gibi büyümesi durumunda olacağı gibi, el şeklinde hücrelerden yapılmamıştır. Yine binalar gibi, çokhücreli organlar da kendilerine

özgü şekil ve boyutlarını, hücre katmanları (tuğlalar) ne zaman büyümeyi kesecekleri konusundaki kurallara uydukları için alırlar. Hücrelerin ayrıca, bir açıdan, diğer hücrelere göre nerede durduklarını bilmeleri gerekir. Karaciğer hücreleri karaciğer hücreleri olduklarını ve dahası, karaciğerin ucunda mı, yoksa ortasında mı durduklarını biliyormuş gibi davranırlar. Bunu nasıl yaptıkları, çok araştırılmış çetin bir sorudur. Yanıtlar büyük olasılıkla bizim gezegenimize özgüdür ve burada daha fazla sözünü etmeyeceğim. Bunlara 1. Bölümde zaten değinmiştim. Ayrıntıları ne olursa olsun, yöntemler, yaşamdaki diğer tüm gelişmelerde görülen aynı genel süreçle mükemmelleşmiştir: Etkileri açısından başarılı bulunan genlerin rasgele olmayan bir şekilde varkalımları; bu örnekte, komşu hücrelerle ilintili olarak, genlerin hücre davranışı üzerindeki etkilerine bakılarak karar verilir.

Yine yerel gezegenden öte bir önemi olduğunu sandığım için ele almak istediğim bir sonraki önemli eşik, Yüksek Hızda Bilgi İşleme Eşiği'dir. Bizim gezegenimizde bu 5. Eşiğe nöronlar, ya da sinir hücreleri adını verdiğimiz özel bir hücre sınıfı erişir ve buna yerel olarak Sinir Sistemi Eşiği diyebiliriz. Bu eşiğe bir gezegende nasıl ulaşılsa ulaşılsın, eşik aşıldıktan sonra, genlerin kimyasal manivelalarıyla doğrudan ulaşabileceklerinden çok daha hızlı bir zaman ölçeğinde harekete geçilebildiği için, önemlidir. Genlerin en başta mekanizmayı kurdukları, embriyolojik origami hızından çok daha yüksek hızlarda harekete geçen ve tepki gösteren kas ve sinir cihazlarını kullanan avcılar akşam yemeklerinin üstüne atılabilirler ve avlar da yaşamlarını kurtarmak için kaçabilirler. Mutlak hızlar ve tepki zamanları diğer gezegenlerde çok farklı olabilir. Ancak herhangi bir gezegende; kopyalayıcıların yaptığı cihazlar, kopyalayıcıların kendilerinin embriyolojik işleyişinden çok daha büyük tepki hızlarına ulaştıklarında, önemli bir eşik aşılmış demektir. Cihazların bizim bu gezegende nöronlar ve kas hücre-

leri adını verdiğimiz nesnelere benzeyip benzemeyeceği o kadar kesin değildir. Ancak Sinir Sistemi Eşiği'ne denk bir şeyin aşıldığı gezegenlerde, büyük olasılıkla yeni önemli sonuçlar oluşacak ve kopyalanma bombası dışarıya doğru yolculuğunu sürdürecektir.

Bu sonuçlardan biri de, "duyu organlarının" algıladığı karmaşık veri modellerini işleyebilen ve bunların kayıtlarını "bellek"te depolayabilen veri işlem birimlerinin büyük toplulukları, yani "beyinler" olabilir. Nöron eşiğinin aşılmasının daha ayrıntılı ve gizemli bir sonucu da bilinçli farkındalıktır ve ben 6. Eşiğe, Bilinç Eşiği diyeceğim. Gezegenimizde buna ne sıklıkla erişildiğini bilmiyoruz. Kimi felseficiler bunun, yalnızca bir kez, iki ayaklı kuyruksuz maymun türü Homo sapiens tarafından ulaşılmış gibi görünen dille yakından bağlantılı olduğuna inanıyorlar. Bilinç için dil gerekse de, gerekmeseyse de, herhangi bir gezegende geçilmiş ya da geçilmemiş olabilecek Dil Eşiği'ni önemli bir eşik, 7. Eşik olarak kabul edelim. Dilin, sesle ya da başka bir fiziksel ortamla aktarılması gibi ayrıntıları yine yerel önem taşır.

Bu bakış açısına göre dil, (bu gezegendeki adlarıyla) beyinlerin işbirlikçi bir teknolojinin gelişimine izin verecek kadar bir yakınlıkla bilgi değiş tokuşu yaptıkları ağ-ilişki (networking) sistemidir. Taş aletlerin taklitçi gelişimiyle başlayan ve maden eritme, tekerlekli taşıtlar, buhar gücü ve şimdi elektronik çağları boyunca ilerleyen işbirlikçi teknoloji, kendi içinde bir patlamanın pek çok niteliğine sahiptir ve dolayısıyla, bir unvan almayı hak eder: işbirlikçi Teknoloji Eşiği, ya da 8. Eşik. Gerçekten de insan kültürünün; yeni bir kendini kopyalayan varlık türünün — The Selfish Gene'de\* verdiğim adla, "mem"in— bir kültür ırmağında çoğalıp Darwinleşmesiyle yepyeni bir kopyalama bombası geliştirmiş olması mümkündür. İleri doğru hare-

(\*) Gen Bencildir. Tübitak Yayınları. Ankara 1997

kete geçmeyi mümkün kılan beyin/kültür şartlarını daha önceleri hazırlamış olan gen bombasına koşturarak, şimdi harekete geçmekte olan bir mem bombası olabilir. Ama bu da, bu bölüm için çok geniş bir konu. Ana konumuz olan gezegensel patlamaya geri dönmeli ve işbirlikçi teknoloji aşamasına erişildikten sonra, yolda bir yerlerde ana gezegenin dışında bir etki yaratma gücüne erişilmesinin olası görüldüğünü belirtmeliyim. 9. Eşik olan Radyo Eşiği aşılmış ve artık dış gözlemcilerin, bir yıldız sisteminin bir kopyalama bombası olarak yakın zamanlarda patlamış olduğunu fark etmeleri mümkün hale gelmiştir.

Dış gözlemcilerin alabilecekleri ilk ipucu büyük olasılıkla, daha önce de gördüğümüz gibi, ana gezegen içindeki iletişimin yan ürünü olarak dışarıya doğru yayılan radyo dalgaları olacaktır. Daha sonra, kopyalama bombasının teknolojik mirasçıları da dikkatlerini dışarıya, yıldızlara çevirebilirler. Bizim bu yönde attığımız ilk adımlar arasında, uzaya, dünya dışı zekâlar için özel hazırlanmış mesajların gönderilmesi var. Doğalarına dair hiçbir fikriniz olmayan zekâlar için nasıl mesaj hazırlayabilirsiniz? Bunun zor olduğu meydandadır; ve çabalarımız yanlış anlaşılmış da olabilir.

Yabancı gözlemcilerin önemli içerikleri olan mesajları almasından çok, var olduğumuza ikna edilmeleri üzerinde durulmaktadır. Bu, 1. Bölüm'deki hayalî Profesör Crickson'ın karşılaştığına benzer bir iştir. Crickson asal sayıları DNA şifresine dönüştürmüştü ve radyo dalgasından yararlanan buna koştur bir politika, varlığımızı diğer dünyalara duyurmak için akla yakın bir yol olacaktır. Müzik bizim türümüz için daha iyi bir reklam olabilir ve dinleyicilerin kulakları olmasa bile, müziği kendi yöntemleriyle algılayabilirler. Ünlü bilimci ve yazar Lewis Thomas, böbürlenme olarak algılanmasından çekinmesine karşın, yalnızca ve yalnızca Bach'ın eserlerini iletmemizi önermişti. Ama yeterince yabancı bir zihin, müziği de bir atarcayıldızın (pulsar) ritmik yayınlarıyla karıştırabilir. Atarcayıldızlar



birkaç saniye ya da daha az sürelik aralıklarla ritmik radyo dalgaları çıkaran yıldızlardır. 1967'de Cambridgeli bir radyo astronom grubu tarafından ilk kez keşfedildiklerinde, sinyallerin uzaydan gelen bir mesaj olabileceği düşünüldü ve geçici bir heyecan yaşandı. Ama kısa sürede, küçük bir yıldızın aşırı derecede hızlı dönmesinin ve bir fener gibi etrafına radyo dalgaları ışını yaymasının daha "hesaplı" bir açıklama olduğu fark edildi. Günümüze dek, bizim gezegenimiz dışından gerçek bir iletişim sinyali alınamamıştır. Radyo dalgalarından sonra, patlamamızın dışarıya doğru ilerleyişinde hayal edebildiğimiz tek yeni adım, fiziksel uzay yolculuğu olan 10. Eşik, yani Uzay Yolculuğu Eşiği'dir. Bilim- kurgu yazarları, insanların yavru kolonilerinin ya da robot yaratımlarının yıldızlara yayılmasını hayal etmişlerdir. Bu yavru koloniler, kendini kopyalayan yeni bilgi torbalarının tohumlamaları ya da enfeksiyonları olarak görülebilir; ileride kendileri de hem gen hem "mem" yayan uydu kopyalama bombalarıyla patlayarak dışarıya doğru genişleyebilecek torbalar. Bu hayal günün birinde gerçekleştirilirse, gelecekteki bir Christopher Marlowe'un sayısal ırmak imgelemine başvurması belki de artık saygısızlık olarak görülmeyecektir: "Bakin, bakın, yaşam selinin gökyüzünde aktığı yere!"

Şu ana dek, dışarıya doğru ilk adımı attığımız söylenemez. Ay'a gittik; ama bu başarı ne denli görkemli olursa olsun, ay bir sukabağı değilse de, ileride iletişim kurabileceğimiz yabancıların bakış açısından yolculuk sayılamayacak denli yereldir. Derin uzaya, düşünülebilecek bir sonu olmayan yörüngelerde bir avuç dolusu insansız kapsül fırlattık. Bunlardan biri, hayalperest Amerikalı gökbilimci Carl Sagan'ın esinlendirmesinin sonucu olarak, rastlantı eseri ulaşabileceği yabancı bir zekânın çözmesi için tasarlanmış bir mesaj taşıyor. Mesaj, kendisini yaratan türün bir levha üzerine kazanmış resmiyle, çıplak bir kadın ve erkek görüntüsüyle düzenlenmiştir.

Bu bizi 360 derecelik bir dönüşle, başlangıçtaki ata mitlerine ulaştırıyor gibi görünebilir. Ama bu çift Âdem'le Havva değildir ve zarif bedenlerinin altına kazınmış mesaj da yaşam patlamamızın, Tekvin'deki herhangi bir şeyden çok daha değerli bir tanıdır. Levha evrensel olarak anlaşılabilir şekilde tasarlanmış ikonların diliyle, galaksideki koordinatları tam doğrulukla kaydedilmiş bir yıldızın üçüncü gezegenindeki kendi tekvinini (kökenini) kaydediyor. Temel kimya ve matematik ilkelerinin ikon simgeleriyle, uygarlığımızın kanıtları sunuluyor. Zeki varlıklar bu kapsülü bulurlarsa, bunu yaratan uygarlığın ilkel kabilesel batıl inançlardan daha fazlasına sahip olduğunu anlayacaklardır. Uzun boşluğunun bir yerinde uzun zaman önce, hakkında konuşmaya değer bir uygarlık yaratan bir başka yaşam patlamasının var olduğunu bileceklerdir.

Ne yazık ki bu kapsülün başka bir kopyalanma bombasının yakınlarından geçme şansı üzücü derecede düşük. Kimi yorumcular, kapsüle daha çok ana yurdundaki nüfusu esinlendirmesi açısından değer veriyorlar. Elleri bir barış hareketiyle yukarı kaldırılmış, yıldızlar arasında sonsuz bir yolculuğa gönderilmiş bir çıplak kadın ve erkek heykeli, yaşam patlamamızla ilgili bilginin dışarıya ihraç edilen ilk meyvesi üzerinde düşünülmesi, normalde sınırlı küçük bilinçlerimiz üzerinde birtakım yararlı etkiler yaratabilir; bu, Newton'ın Cambridge'de, Trinity College'daki heykelinin, William Wordsworth'ün dev bilinci üzerinde yarattığı şiirsel etkinin bir yankısı olabilir:

Ve yastığımdan, ayın ve parlak yıldızların  
İşığında, ileriye baktığımda, Kilise girişinde prizması ve  
sessiz yüzüyle duran Newton'un heykelini,  
Garip düşünce denizlerinde sonsuza dek tek başına  
Dolaşan bir zihnin mermer göstergesini, görebiliyordum.

## BİBLİYOGRAFYA

Bu listeyi, birkaç istisna hariç, yalnızca üniversitelerde bulunabilecek teknik çalışmalardan çok, kolayca ulaşılabilecek kitaplarla sınırladım.

Bodmer, Walter ve Robin McKie, *The Book of Man: The Human Genome Project and the Quest to Discover Our Genetic Heritage* (New York: Scribners, 1995).

Bonner, John Tyler, *Life Cycles: Reflections of an Evolutionary Biologist* (Princeton: Princeton University Press, 1993).

Cain, Arthur J., *Animal Species and Their Evolution* (New York: Harper Torchbooks, 1960).

Cairns-Smith, A. C., *Seven Clues to the Origin of Life* (Cambridge: Cambridge University Press, 1985).

Cherfas, Jeremy ve John Gribbin, *The Redundant Male: Is Sex Irrelevant in the Modern World?* (New York: Pantheon, 1984).

Clarke, Arthur C., *Profiles of the Future: An Inquiry into the Limits of the Possible* (New York: Holt, Rinehart & Winston, 1984).

Crick, Francis, *What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery* (New York: Basic Books, 1988).

Cronin, Helena, *The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today* (New York: Cambridge University Press, 1991).

Darwin, Charles, *The Origin of Species* (New York: Penguin, 1985).

—, *The Various Contrivances by Which Orchids are Fertilised by Insects* (Londra: John Murray, 1882).

Davkins, Richard, *The Extended Phenotype* (New York: Oxford University Press, 1989).

—, *The Blind Watchmaker* (New York: W.W. Norton, 1986).

—, *The Selfish Gene*, yeni basımı (New York: Oxford University Press, 1989).

- Dennett, Daniel C, *Darvin's Dangerous Idea* (New York: Simon & Schuster, 1995).
- Drexler, K. Eric, *Engines of Creation* (Garden City, N.Y.: Anchor Press/Doubleday, 1986).
- Durant, John R., yay. haz., *Human Origins* (Oxford: Oxford University Press, 1989).
- Fabre, Jean-Henri, *Insects*, David Black, yay. haz. (New York: Scribners, 1979).
- Fisher, Ronald A., *The Genetical Theory of Natural Selection*, gözden geçirilmiş 2. basım (New York: Dover, 1958).
- Frisch, Kari von, *The Dance Language and Orientation of Bees*, Leigh E. Chadwick, çev. (Cambridge: Harvard University Press, 1967).
- Gould, James L. ve Carol G. Gould, *The Honey Bee* (New York: Scientific American Library, 1988).
- Gould, Stephen J., *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History* (New York: W.W. Norton, 1989).
- Gribbin, John ve Jeremy Cherfas, *The Monkey Puzzle: Reshaping the Evolutionary Tree* (New York: Pantheon, 1982).
- Hein, Piet, Jens Arup'la birlikte, *Grooks* (Garden City, N.Y.: Doubleday, 1969).
- Hippel, Arndt von, *Human Evolutionary Biology* (Anchorage: Stone Age Press, 1994).
- Humphrey, Nicholas K., *Consciousness Regained* (Oxford: Oxford University Press, 1983).
- Jones, Steve, Robert Martin ve David Pilbeam, yay. haz., *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution* (New York: Cambridge University Press, 1992).
- Kingdon, Jonathan, *Self-made Man: Human Evolution from Eden to Extinction?* (New York: Wiley, 1993).
- Macdonald, Ken C. ve Bruce P. Luyendyk, "The Crest of the East Pacific Rise," *Scientific American*, Mayıs 1981, ss. 100-116.
- Manning, Aubrey ve Marian S. Dawkins, *An Introduction to Animal Behaviour*, 4. basım (New York: Cambridge University Press, 1992).
- Margulis, Lynn ve Dorion Sağan, *Microcosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution* (New York: Simon & Schuster, 1986).
- Maynard Smith, John, *The Theory of Evolution* (Cambridge: Cambridge University Press, 1993).
- Meeuse, Bastiaan ve Sean Morris, *The Short Life of Plants* (Londra: Faber & Faber, 1984).

- Monod, Jacques, *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*, Austryn Wainhouse, çev. (New York: Knopf, 1971).
- Nesse, Randolph ve George C. Williams, *Why We Get Sick: The New Theory of Darwinian Medicine* (New York: Random House, 1995).
- Nilsson, Daniel E. ve Susanne Pelger, "A Pessimistic Estimate of the Time Required for an Eye to Evolve," *Proceedings of the Royal Society of London, B* (1994) .
- Owen, Dermiş, *Camouflage and Mimicry* (Chicago: University of Chicago Press, 1982).
- Pinker, Steven, *The Language Instinct: The New Science of Language and the Mind* (New York: Morrow, 1994).
- Ridley, Mark, *Evolution* (Boston: Blackwell Scientific, 1993).
- Ridley, Matt., *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature* (New York: Macmillan, 1994).
- Sağın, Cari, *Cosmos* (New York: Random House, 1980).
- , ve Ann Drüyan, *Shadows of Forgotten Ancestors* (New York: Random House, 1992).
- Tinbergen, Niko, *The Herring Gull's World* (New York: Harper & Row, 1960).
- , *Curious Naturalists* (Londra: Penguin, 1974).
- Trivers, Robert, *Social Evolution* (Menlo Park, Calif.: Benjamin-Cummings, 1985).
- Watson, James D., *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA* (New York: Atheneum, 1968).
- Weiner, Jonathan, *The Beak of the Finch: A Story of Evolution in Our Time* (New York: Knopf, 1994) .
- Wickler, Wolfgang, *Mimicry in Plants and Animals*, R.D. Martin, çev. (New York: McGraw-Hill, 1968) .
- Williams, George C , *Natural Selection: Domains, Levels, and Challenges* (New York: Oxford University Press, 1992) .
- Wilson, Edvard O., *The Diversity of Life* (Cambridge: Harvard University Press, 1992).
- Wolpert, Lewis, *The Triumph of the Embryo* (New York: Oxford University Press, 1992).