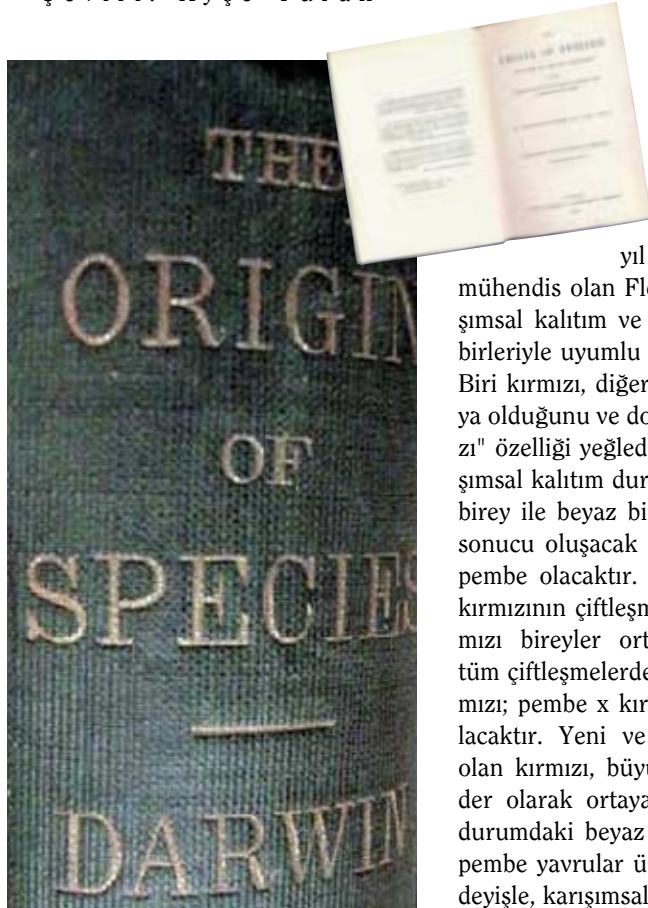


KURAM: AYRINTIDA YANLIŞ OLSA DA
ÖZÜNDE DOĞRU

DARWIN VE MOLEKÜLER DEVİRİM

Dr. Andrew Berry*
Çeviri: Ayşe Turak

Doğal seçim aslında bir genetik kuramı. Çünkü doğal seçim süreci genetik çeşitliliğin varlığını gerektiriyor. Bu çeşitlilik ortamında, Darwin'in deyimiyile "varolma mücadelesi"nde, avantajlı özelliklere sahip bireyler varlıklarını sürdürebiliyor ve bu özelliklerini bir sonraki kuşağa aktarabiliyorlar. Ancak Darwin, genetik süreçlerin nasıl işlediğini -özelliklerin bir kuşaktan diğerine nasıl aktarıldığını- bilmiyordu. Ebeveynler ve yavrular arasındaki genel benzerliğin farkında olsa da, kalıtım sürecinin ayrıntılarını anlamamıştı. Oysa, tam da Darwin'in evrim düşüncesini geliştirmekte olduğu sıralar, Gregor Mendel bu ayrıntıları anlama aşamasındaydı. Darwin, Mendel'in makalesini hiç bir zaman okumadı. Sonuç olarak, o sıralar kalıtımla ilgili geçerli yaklaşım olan "karışimsal kalıtım" düşüncesiyle yetinmek zorunda kaldı. Bu düşünceye göre bir yavru, ebeveynlerinin özelliklerinin bir karışımını taşırdı ve genellikle bir özellik, anne ve babanıninkilerin ortalaması gibiydi.



Ancak, "Türlerin Kökeni"nin yayımlanmasından sekiz yıl sonra (Mendel'in makalesinden bir yıl sonra), 1867'de, bir mühendis olan Fleeming Jenkin, karışimsal kalıtım ve doğal seçilimin birbirleriyle uyumlu olmadığını gösterdi. Biri kırmızı, diğeri beyaz iki kutu boya olduğunu ve doğal seçilimin "kırmızı" özelliği yeğlediğini düşünün. Karışimsal kalıtım durumunda, kırmızı bir birey ile beyaz bir bireyin çiftleşmesi sonucu oluşacak yavrular her zaman pembe olacaktır. Yalnızca kırmızı ile kırmızının çiftleşmesi durumunda kırmızı bireyler ortaya çıkacak, diğere tüm çiftleşmelerdeyse (ör. beyaz x kırmızı; pembe x kırmızı) kırmızılık azalacaktır. Yeni ve yararlı bir özellik olan kırmızı, büyük bir olasılıkla ender olarak ortaya çıkacak ve hakim durumdaki beyaz form ile çiftleşerek pembe yavrular üretecektir. Diğere bir deyişle, karışimsal kalıtım herşeyin or-

ta noktaya yaklaşmasına yol açacak, renk pembeye yaklaştıkça, bir uç noktaya olan kırmızı yok olacaktır. Fleming'in düşüncesi, haklı olarak bunun doğal seçilimin etkisine ters düşen bir süreç olduğuydu.

Darwin, Jenkin'in haklılığını görerek kuramını kurtarmak için bir yol aradı ve "pangenesi" adını verdiği kendi kalıtım kuramını ortaya attı. Bu kuram özünde, Jean-Baptiste de Lamarck adlı Fransız biyoloğun 19. yüzyılda dile getirdiği ve sonradan "Lamarckizm"le tanımlanacak olan kalıtım sürecine benziyordu. Bu süreç, "edinilmiş özelliklerin kalıtımı" içeriyordu. Temelde Lamarck, bir canlının, yaşamı süresince edindiği özellikleri yavrularına geçirebileceğine inanıyordu. Lamarck'ın kendisi tarafından kullanılmamış olmasına karşın, bu konudaki en ünlü örnek zürafanın boynuyla ilgili olanıdır. Lamarckizme göre tek tek her zürafa, en üst dallardaki yapıtlara ulaşabilmek için yaşamı boyunca boynunu gerdiği için, yaşlı bir



Charles Darwin

zürafanın boynu gençlerinkine göre biraz daha uzundur. Lamarck, zürafanın boyun uzunluğundaki bu değişimin yavrularını da etkileyeceğini düşünüyordu; böylece sonraki kuşağın zürafaları, yaşamlarına önceki kuşaktan daha uzun boyunlarla başlayacak-

lardı. Darwin'in pangenesi kuramıysa bu süreç için bir mekanizma öneriyordu: Vücudun değişik parçalarında üretilen "gemül"ler, kana karışarak eşey hücrelerine, yani erkekte sperm, dişide yumurta hücrelerine taşınıyordu. Her bir gemül, anatomik bir parça ya da bir organa ait özellikleri taşılıyordu. Bu durumda bir zürafanın yaşamı boyunca boynunu gemesi, "boyun uzunluğu" gemüllerinin sürekli "daha uzun boyun" sinyalleri göndermesine neden olacaktı.

Lamarck ve Darwin yanılmışlardı. Darwin'in kurguladığı sistemin yanlışlığını ortaya çıkaran, kendi kuzeni Francis Galton oldu. Galton birkaç kuşak boyunca tavşanlara, başka renk tavşanlardan kan verdi. Darwin haklı olsaydı, kanın içindeki yabancı renk gemülleri nedeniyle alıcı tavşanların en azından birkaç tane 'yanlış renkte' yavru üretmeleri beklenirdi. Oysa Galton, deneyi birçok kuşak boyunca tekrarlamasına karşın, beklenenden farklı bir renk oranı gözlemedi. Jenkin'in

İşlev Değişimi: Çirkin Sineğin Tuhaf Öyküsü

Doğal seçim sürecinin en güzel örneklerini, hastalık etkenleri ve diğer zararlıların, insanların kendilerini kontrol altına alma çabaları karşısında gösterdikleri tepkide gözlüyoruz. Aslında bakterilerin giderek artan düzeylerde sergiledikleri antibiyotik direnci sorunu, işlemekte olan evrimin bir örneği. Antibiyotikler, onları ilk kullanmaya başladığımız zaman mikropları öldürmekte çok etkilidiler. Ancak biz, direncin evrimleşmesi yönünde çok güçlü bir seçim baskısı uyguladık. Rastlantı sonucunda üyelerinin küçük bir bölümü penisiline karşı dirençli olan bir bakteri topluluğu düşünün. Şimdi bu topluluk üzerine çok miktarda penisilin dökerek, rastlantı sonucu dirençli olan birkaç tanesi dışında tüm bakterileri öldürüyoruz. Dirençli bakteriler, başlangıçta topluluk üyelerinin çok küçük bir bölümünü oluştururken, birdenbire topluluğun tek hakimi durumuna geliyorlar. Penisilin aracılığıyla doğal seçim, dirençli bakterilerin lehine işlemiş oluyor.

Avrupa'da antibiyotik direnci düzeylerinin incelendiği bir çalışmadan da görülebileceği gibi, bu olay antibiyotiklerin doğru kullanımı (örneğin az sıklıkla ve yalnızca zorunlu olduğunda kullanılması) yoluyla denetim altına alınabilir. Bu çalışmaya göre, antibiyotiklerin sıkı biçimde denetlendiği Norveç'te septisemiye (kan zehirlenmesine) neden olan bakterilerde, 500 soydan (suş) biri, birden daha fazla ilaca direnç gösterirken, antibiyotiklerin reçetesiz satıldığı Yunanistan'da, 500 soydan 250'si birden fazla ilaca karşı dirençli.

Evrimi işleyiş halinde görebilmemize olanak tanıyan başka bir örnek de, Avustralya'da yaşayan ve böcek öldürücülere (insektisitlere) dirençli bir asalak. Koyun etsineği (*Lucilia cuprina*), Avustralya'da yün endüstrisinin en önemli zararlılarından biri. Dişiler yumurtalarını koyunun sağrısındaki deri kıvrımlarının arasına bırakıyorlar ve larvalar koyunun etine girerek sıklıkla ölümüne neden oluyorlar. Avustralya'nın koyun çiftçileri, elbirliğiyle bu sineğe karşı bir ilaç savaşı başlattırlarsa da, uzun dönemde bu savaşın tek sonucu ilaca karşı direncin gelişmesi oldu. Bugün Avustralya'da etsinekleri bir sorun olmayı sürdürüyorlar.

Etsineği, organofosfat adı verilen (ve DDT'yi de içeren) bu yaygın kullanımlı ilaca karşı direnç geliştirirken evrimsel bir hileye başvurdu: Bir enzimin işlevini başarıyla değiştirdi. İlacın öldürdüğü 'dirençsiz' etsineklerinde, biyokimyasal olarak esteraz etkisi gösteren bir enzim bulunuyor. Oysa ilacın öldürmediği 'dirençli' sineklerde bu enzim yok. İşlevi büyük ölçüde başka enzimlerce yürütülebildiği için, bu eksikliğin fazla bir zararı olmuyor. Öte yandan dirençli sineklerde, dirençsiz olanlarda görülmeyen ve organofosfatları parçalayabilen bir enzim bulunuyor; sinekleri dirençli yapan da bu enzimin varlığı. Araştırmacılar, dirençlilerde bulunmayan esteraz enziminin, bu yeni organofosfat-parçalayıcı enzime dönüştürülmüş olabileceğini düşündüler ve enzimlere ait genlerin dizilimlerini belirlediklerinde haklı olduklarını gördüler. Ancak buradaki kayda değer konu, evrimleşmenin gerçekleşmiş olması değil, evrimleşmenin gerçekleşme biçimi: Orijinal esteraz enzimiyle organofosfat-parçalayıcı yeni enzim arasında, yalnızca tek bir aminoasit açısından fark var. Bu farklılık, enzimin işlevinin bütünüyle değişmesi için yeterli.

Burada gördüğümüz olguların tümü de Darwinizme tam anlamıyla uygun: Bir mütasyon (yukarıdaki örnekte esteraz enzimini, organofosfat-parçalayıcı enzime dönüştüren) oluştu ve doğal seçim tarafından kayırılan bu mütasyonun görülme sıklığı da arttı. Etkileyici olansa, enzimin işlevini bu kadar kolay bir şekilde değiştirebilmesi. Sonuç olarak bu araştırmalar evrim konusundaki düşüncelerimizden çok, mütasyon konusundaki, ve mütasyonun tek bir adıyla büyük ve yararlı değişimlere olanak sağlama yeteneği konusundaki düşüncelerimizi etkiliyor. Proteinlerin aminoasit dizilimleri, üç-boyutlu yapıları ve işlevleri konusunda daha fazla bilgi edindikçe, etsineği örneğinin sıradışı olup olmadığını öğreneceğiz. İlke olarak, bir enzimdeki işlevsel değişikliğin birçok mütasyon gerektirdiği düşünülür; oysa, eğer etsineği örneğindeki gibi yalnızca bir ya da birkaç değişimin, enzimdeki işlevsel değişiklik için yeterli olduğu açıklık kazanırsa, evrim sürecinde gerçek yeniliklerin hangi sıklıkla ortaya çıktığı konusundaki düşüncelerimizi de değiştirmemiz gerekecek.

eleştirilerini yanıtlayabilmek için son çare olarak pangenesise sarılmış olan Darwin'se, Galton'un ortaya koyduğu delilleri kabul etmek istemedi. Sonunda, Darwin'in öldüğü sıralarda Alman biyolog August Weismann, sperm ve yumurta oluşturan eşey hücrelerinin diğer vücut dokularıyla ilişkisi olmadığını ortaya koydu. Yani, bir zürafanın boynuyla sperm/yumurta üreten hücreleri arasında hiç bir iletişim yoktu. Dolayısıyla Lamarkizm ve pangenesis biyolojik olarak olanaksızdı.

Taliksiz Darwin!

Mendel'in çalışmaları konusunda bilgisi olsaydı, Jenkin'i yanıtlayabilmek için son derece ayrıntılı, üstelik de bütünüyle yanlış olan pangenesis kuramını ortaya atması gerekmecekti. Mendel, bezelye bitkilerini üreterek yaptığı gözlemlerine dayanarak, daha sonra "gen" adı verilecek olan kalıtım etkenlerinin, bireyin deneyimlerinden etkilenmedikleri, aksine, kuşaktan kuşağa bir bütün olarak ve de-



Mendel ve Lamarck

ğişmeden aktarıldıkları sonucuna vardı. Ayrıca bazı koşullar altında, bir özellik geçici olarak gizli kalabiliyordu. Kırmızı ve beyaz boya kutularımıza dönecek olursak, ilk çiftleşmenin sonucunda pembe bireyler ortaya çıkarsa bile, bir sonraki kuşakta, örneğin pembe x pembe çiftleşmesinden kırmızı bireyler elde edilebilirdi. Böylece Mendel'in çalışmaları hem doğal seçilimi Jenkin'in eleştirilerinden kurtarıyor, hem de doğal seçilimin işleyebileceği genetik bir temel sağlıyordu.

Doğal seçilimin kritik etkeniyle ilgili olarak (önce karışimsal kalıtım, sonra da pangenesis konusunda) Dar-

win'in iki kez yanlışlığı düşünülürse, bu kuramın varlığını sürdürmesi çok olağandışı bir durum. Üstelik, kuruluşundaki hatalara karşın bu kuramın doğruluğu artık kanıtlanmış bulunuyor. Bu olağandışı sonucun nedeni, Darwin'in öncelikli olarak bir 'deneyci' (empiricist) olmasıydı: Onun için önemli olan, gözlemlerini açıklama çabaları değil, gözlemlerin kendisiydi. Evrim biyoloğu Ernst Mayr'ın da yazdığı gibi, "Darwin, genetik çeşitliliği bir 'kara kutu' gibi ele aldı. Hem bir doğabilimci, hem de hayvan yetiştiriciliğiyle ilgili literatürü izleyen bir okuyucu olarak, çeşitliliğin her zaman var olduğunu biliyordu ve bu onun için yeterliydi. Ayrıca, doğal seçilimin hammaddesi olan çeşitliliğin her kuşakta yenilendiğinden ve dolayısıyla her zaman varolacağından da emindi. Diğer bir deyişle, doğal seçim kuramının öncülü olarak doğru bir genetik kurama gereksinimi yoktu." (One Long Argument, s. 82. Harvard Univ. Press, 1991)

Öte yandan, son 50 yıl içinde moleküler genetik alanında kaydedilen ola-

Kafadan Çıkan Bir Bacak: Gelişimi Belirleyen Genler

Küçük genetik değişimlerle ortaya çıkan önemli işlevsel sonuçların bir örneği de gelişim sırasında görülüyor. Döllenmede siz yanyana dizili 3,5 milyar birimlik genetik bilgiyi -genomunuzu- içeren bir hücreden pek fazlası değilken, bugünkü haliniz olan karmaşık çok-hücreli varlığın oluşabilmesi için gerekli tüm bilginin bu dizilimde -DNA molekülünde- bulunması gerekiyor. Bu olay, yani tek boyutlu bir bilgi dizisinden, şaşırtıcı karmaşıklıkta üç-boyutlu bir varlığın oluşumu, gerçekten biyolojik bir mucize.

Her bir hücrede genetik bilginin tümü bulunmasına karşın, farklı organlara ait hücrelerde farklı genler devreye girer: Örneğin bir kas hücresinde kullanılan genler, karaciğer hücresinde kullanılanlardan farklı olsa da, hücre çekirdeklerinin içeriği aynıdır. Yumurta evresinden yetişkinlik evresine olan gelişimse, gen işleyişinin kapsamlı ve uyumlu bir örneğini oluşturuyor. Bu gelişim, hücrelerin vücut içindeki konumlarını "bilmelerini" gerektiriyor. Çünkü, örneğin bir kangurunun kuyruğunun ucundaki bir hücre, kangurunun beyninin bulunacağı bölgedeki bir hücreden çok farklı bir gelişim göstermek durumunda. Bu konumsal bilginin iletiliş şekli çok iyi anlaşılmadığı gibi, bir canlıdan diğerine ve bir gelişim evresinden diğerine farklılık da gösterebiliyor. Yine de gelişim biyologlarının, konumsal bilgiyi belirleyen bu genetik sistem konusunda oldukça fazla bilgi sahibi oldukları bir tür var. Bu tür, genetikçilerin çok sevdiği sirkeseineği *Drosophila melanogaster*.

Sirkeseineği genetikçilerinin, *Drosophila*'nın "mütant" adı verilen genetik varyantlarıyla özellikle ilgilendikleri bilinir. Mütasyonların çoğunda sinek göreceli olarak az etkilenir. Örneğin "beyaz"la tanımlanan mütasyon, sineğin kırmızı yerine beyaz gözlü olmasına yol açar. Öte yandan daha önemli etkileri olabilen bir grup mütasyon da var. Bu "homeotik mütasyonlar"ın en iyi bilinen iki tanesinden biri olan "antennapedia" tipinde, sineğin kafasında antenler (duyargalar) yerine eksiksiz bir çift bacak büyüyor. "Bithorax" adı verilen ikincisi de aynı ölçüde garip: Sineğin vücudunda bir yerine iki tane toraks (orta boğum) bulunuyor. Buysa, orta boğumda içerilen organların tümünden ikişer tane

olması anlamına geliyor. Örneğin, iki kanadı olması gerekirken, sineğin kanat sayısı dört. Tüm bunlar bir bilim kurgu filminden (belki de Jeff Goldblum'un "Sinek" adlı filminden) parçalar gibi görünse de aslında bu garip mütasyonların tek yaptığı, gelişim sırasında sineğin konumsal algılamasını bozmak. Moleküler genetikçilerin antennapedia ve bithorax'a neden olan genleri belirlemeleriyle, uygun yerdeki en basit mütasyonların bile bu garipliklere neden olabileceği ortaya çıkmış oldu.

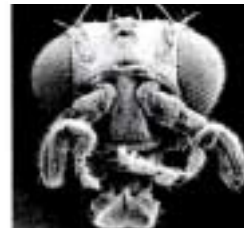
Gelişim sırasında sineğin hücrelerindeki konumsal algılama, büyük ölçüde sözcük konusu genler tarafından denetleniyor. Sinekler, birbirlerine büyük benzerlikler gösteren, ama yine de farklılaşmış bir dizi boğumdan oluşur. Dolayısıyla farklı konumlardaki boğumlar, konumlarına uygun olan organı edinirler: Kafa boğumunda duyargalar, orta boğumdaysa bacaklar ve kanatlar oluşur. İşte homeotik mütasyonlar, boğumun bu konumsal kimliğinde karmaşaya neden oluyorlar. Öyle ki, antennapedia tipi mütasyon durumunda kafa boğumu kendisini orta boğum "saniyor" ve duyarga yerine bacak oluşturuyor. Ancak burada unutulmaması gereken, bacağın, yanlış yerde bulunmasına karşın eksiksiz bir bacak olduğu. Yani konumsal genler, bir bacağı ya da duyargayı kodlayan bir grup genin aynı anda devreye girmesini sağlıyorlar. Buradan da görüleceği gibi gelişim, hiyerarşik bir denetim süreci: Denetim diziliminin üst düzeylerinde bulunan genler, dizilimin alt düzeylerindeki birçok genin kaderini belirliyorlar. Sonuç olarak, denetleyici genlerde oluşması koşulluyla, tek bir gende ki küçük bir değişimin bile canlı üzerinde çok önemli bir etkisi olabiliyor.

Evrime ilgili sonuç açık: Çok miktarda genetik değişim olmaksızın da önemli morfolojik değişimler gerçekleşebilir. Örneğin, bir bithorax mutant doğal seçim tarafından yeğlenseydi, sirkeseineklerinin dört kanatlı akrabaları ortaya çıkabilirdi. Ve işte yeniden kendimizi Darwin'in çerçevesi içinde buluyoruz; sözünün ettiğimiz bu mütasyonlar Darwin'e çok yabancı olsa bile, bu mütasyonların kaderlerini de her zaman olduğu gibi doğal seçim belirliyor.

Normal sirkeseineği başı



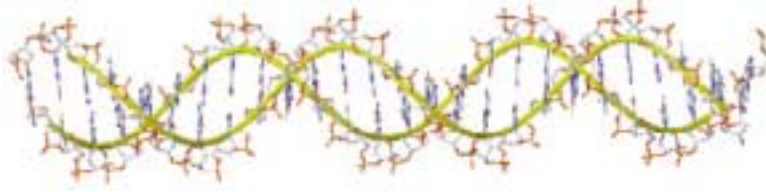
Antennapedia mütasyonlu sirkeseineği



ğanüstü ilerlemeyi gözönüne alırsak, Darwin'in düşüncelerinin varlığını sürdürdürebilmiş olması daha da şaşırtıcı. Jim Watson ve Francis Crick, DNA'nın sarmal yapısını, "Türlerin Kökeni"nin yayınlanmasından neredeyse 100 yıl sonra ortaya çıkardılar. O zamandan beri moleküler biyolojide kaydedilen ilerlemeleri Darwin'in öngörmesine olanak yoktu. Yine de onun basit kuramı, biyolojide kendisini izleyen tüm gelişmelere ters düşmeden yaşadı. Hatta yeni bulgular, kuramı zayıflatmak bir yana, destekledi bile. Moleküler genetiğin en son zaferini, insanın (ve birçok başka türün) genomundaki dizilimin eksiksiz olarak belirlendiği çalışmayı ele alın: Kendisi de genom projelerinin başlatıcılarından olan Jim Watson, projeden bugüne kadar elde edilen en önemli bulgunun ne olduğu konusunda düşüncesi sorulduğunda, "Genom projesi Darwin'in, kendisinin bile inanmaya cesaret edebileceğinden daha haklı olduğunu gösterdi" yanıtını vermişti. Ayrıca Watson, beklenilenin tersine, genom projesinden çıkarılacak tıbbi sonuçlar yerine evrimsel sonuçları vurgulamayı yeğledi. Çünkü genom projesi, genetik organizasyonun temel özelliklerinin tüm canlılar tarafından ne ölçüde paylaşıldığını ortaya çıkarmış bulunuyordu. Watson haklı olarak, genom çalışmalarlarıyla birlikte, canlıların evrimsel bağlantılarıyla ilgili yeni ufukların da açılacağı düşüncesinde.

Yakın zamanda "Türlerin Kökeni"ni yeniden yazma ve güncelleştirme işini üstlenmiş olan İngiliz bilimci Steve Jones da, Darwin'in çalışmasının sağlamlığından etkilenenlerden: "Sonuç olarak bu kitap (benim beklemediğim kadar) aslına benzeyen bir yapıt oldu. Darwin'in tezi, bir asırlık bilimsel gelişmeyi kolayca kaldırılabiliyor." (Almost like a whale, s. XXVII Doubleday 1999)

Bunu izleyen bölümlerde, yüzyılı aşkın süre boyunca bilimde gerçekleştirilen bu ilerlemenin daha ilginç ve daha yeni sonuçlarından bir kısmını kısaca gözden geçireceğiz. Tüm bulgular, Darwin'in düşleyebileceğinin çok ötesinde olmalarına karşın, "Türlerin Köke-



ni"nde çizilen çerçeveye rahatça oturuyorlar. Bu modern çağda Darwin gerçekten de "kendisinin bile inanmaya cesaret edebileceğinden daha doğru".

Yaprak yiyebilmek için moleküler düzeyde ne gerekli?

Doğal seçilimin gücünü en iyi ortaya koyan süreçlerden biri de "benzeştiren evrim"dir. Bu süreç, akrabalıklı olmayan canlı gruplarının, aynı seçim baskısı sonucunda benzer özellikler edinmesini içerir. Bu yakınlaşma farklı düzeylerde olabilir: Örneğin kuşların ve yarasaların kanatları, benzeştiren evrim sonucunda oluşmuştur. Her iki çözüm de, bir uçuş organı yaratmak şeklindeki evrimsel sorunu paylaşır. Kuş ve yarasalar kanatları temelde bütünüyle farklıdır elbette (örneğin, kuş kanadı kuşun yalnızca ön ayağını, yarasalar kanadıysa hem ön hem de arka ayakları içerir). Ayrıca bu iki canlı grubunun, uçuş yeteneğini birbirlerinden bağımsız olarak kazandıkları da çok açıktır. Taksonomistlerin yarasayı kuş olarak sınıflandırma tehlikesi yoktur; çünkü bu canlılar ortak olan sorunlarını çok farklı yollarla çözmüşlerdir.

Ancak, taksonomistler için büyük sorun yaratan doğal seçim örnekleri de var. Bazı durumlarda benzeşim süreci o kadar etkili oluyor ki, ortaya çıkan benzerliğe dayanarak hiç bir akrabalığı olmayan canlılar, yanlışlıkla aynı gruba konulabiliyorlar. Örneğin, soyu tükenmiş olan keselikurdun, görünürde



kurda çok benzemesi, ilk taksonomik değerlendirmeler sonucunda bu iki canlıların yakın evrimsel akrabalar olarak sınıflandırılmasına (diğer bir deyişle

benzerliklerinin, kurt-benzeri ortak bir atadan evrimleşmiş olmalarından kaynaklandığı düşüncesine) neden olmuş. Oysa daha ayrıntılı bir incelemede, temelde çok farklı iki ayrı memeli grubuna ait oldukları ortaya çıkıyor: Keselikurt bir keseli, kurtta bir etenli (plasentalı) memeli. Yani bir kurda benzemesine karşın keselikurt, aslında kanguru gibi keseli hayvanlarla daha yakın akraba. Öyle görünüyor ki, iki ayrı bölgede 'köpek'liği yeğleyen seçim baskısı, biri keseli, diğeri plasentalı olmak üzere iki farklı hayvan çözümünü sonuçlandırmış.

Darwin'in bu örneklerle bir sorunu olmayacağı kesin. Ancak DNA devrimi, seçim sonucu oluşan benzerlikleri çok daha ayrıntılı incelememize olanak tanıyor. Doğal seçim ne kadar duyarlı? Benzer seçim baskıları, farklı gruplar arasında moleküler düzeyde benzeşmeyle sonuçlanabilir mi? Diğer bir deyişle, temel bir işlevi yerine getirmek üzere belli bir proteini kullanan çeşitli canlılar arasında, protein dizilimi açısından benzeştiren evrim gelişmesini bekleyebilir miyiz?

DNA dizilimi, yaşamın aktif molekülleri olan proteinleri kodlar. Proteinlerin kendileriye aminoasit adı verilen yapıtaşlarından oluşurlar. Yani bir genin DNA dizilimi, oluşacak aminoasit zincirini belirler. Dolayısıyla DNA diziliminde oluşan bir mutasyon, üretilen proteinin aminoasit dizilimini etkiler. Öyleyse, belli bir proteinin belli bir biçimde kullanımının yeğlendiği durumlarda, akrabalığı olmayan canlıların aminoasit diziliminde de benzeştiren evrim görmeyi bekleyebilir miyiz?

Doğal proteinlerde 20 farklı aminoasit bulunabiliyor. Proteinin belli bir yerinde bu 20 aminoasitten herhangi biri bulunabileceği için, olası farklı dizilim sayısının çok yüksek olduğunu unutmayın. Örneğin, 200 aminoasit uzunluğundaki bir protein için

20²⁰⁰ farklı aminoasit dizilimi bulunabilir. Doğal seçim, proteinin işlevini en iyi biçimde yerine getirmesini sağlayan dizilimi yeğler. Ama doğal seçim ne kadar kesin sonuç verebilir? Belli bir işlev için ortak seçim baskıları olduğunu varsayarsak, farklı canlı gruplarında bağımsız olarak aynı aminoasit dizilimiyle -bütün olasılıklara karşı yeğlenen dizilimle- sonuçlanabilir mi?

Belli koşullar altında, "evet". Bunun en iyi örneğini yaprak-yiyen hayvanlarda görebiliriz. Yaprak yemek, besin elde etmenin zahmetli bir yolu; çünkü bitkilerde hücre duvarının temel maddesi olan selülozun parçalanması, özellikle zor. Ve selülozu parçalayamazsanız yaprak hücrelerinin içine ulaşıp gerekli besinleri alamazsınız. Bu nedenle, "geviş getirenler" olarak bilinen, ineğin yanısıra başka evcil hayvanları da içeren memeli grubu, mikroplardan yararlanır. Bu hayvanların bağırsaklarında, selülozu ustaca parçalayabilen bakteri toplulukları yaşar. Kısacası inekler, selülozu parçalayıp bitki hücrelerini açmak için bakterileri kullanırlar. Ama bakteriler bu hücrelerin içindeki besini kendileri kullandıkları için, ineklerin bu kez de besini bakterilerden ayırmanın bir yolunu bulmaları gerekir. Bunu yapabilmek için inekler ve diğer geviş getirenler, "lizozim" adı verilen ve bakterilerin hücre duvarını parçalayan bir enzim (aktif bir protein) kullanırlar. Sonuç olarak, bir ineğin yediği otlardan besin elde etme süreci son derece dolaylı: Otu yiyor, bakteriler bitkinin selüloz hücre duvarını parçalıyor ve hücrenin içindekileri kullanıyor; bundan sonra ineğin bağırsaklarındaki lizozim, bakterileri parçalıyor ve sonunda besinler ineğe ulaşabiliyor. Evrimsel açıdan lizozim, yeni bir sindirim işlevi için kullanılmış oluyor. Enzimin tipik işleviyse, memeli vücudunu bakteri saldırılarına karşı korumak; hayvan için sorun yaratmalarına fırsat vermeden, bakterilerin lizozimler tarafından parçalanması gerekiyor. Örneğin, gözyaşındaki lizozim bu yolla bakteriyel enfeksiyon riskini azaltıyor.

Aslında geviş getirenler yaprak yemekte uzmanlaşmış tek memeli grubu değil. Özellikle Asya'da yayılım gösteren ve langur adı verilen bir

grup maymun da bu işi yapabiliyor. Peki ama langurlar selülozu sindirme sorununu nasıl çözüyorlar? Şaşırtıcı bir şekilde (ve geviş getirenlerle hiç de yakın akraba olmadıkları için bağımsız olarak) bu sorun için aynı çözümün evrimleştiğini görüyoruz: Onlar da bağırsaklarında, işlevi selülozu parçalamak olan bir bakteri topluluğu barındırıyorlar. Ve onlar da, bakterilerin bitkilerden aldıkları besini elde etmek için, bakterilerin hücre duvarını parçalamada lizozimden yararlanıyorlar. Bu olgunun kendisi, benzeştiren evrimin, diğer bir deyişle bütünüyle ayrı iki hayvan grubunun ortak bir evrimsel sorunda aynı çözüme ulaşmasının, güzel bir örneğini oluşturuyor. Ancak benzeşim bununla da kalmıyor: Langur maymunlarına ve geviş getirenlerden biri olarak ineğe ait lizozimlerin aminoasit dizilimlerini karşılaştırdığımızda, bu kadar uzak akraba olan gruplar için bekleyebileceğimizden çok daha yüksek bir benzerlik buluyoruz. Daha ayrıntılı bir inceleme yaptığımızdaysa, geviş getirenlerdeki belli aminoasit değişimlerinin (olasılıkla lizozimin sindirime ilişkin bu yeni işle-

vi kazanmasını kolaylaştırmak üzere) langurlarda da gerçekleşmiş olduğunu görüyoruz.

Bu son derece olağanüstü bir sonuç. Bu iki yaprak-yiyen grup, yalnızca selüloz sorununu çözmek için kirli işlerini bakterilere yaptırmakla kalmadılar, lizozimi genel bir bakteriyel savunma enzimi olmaktan, sindirim işlevinin temel ögesi olmaya dönüştüren aminoasit değişimleri açısından da benzeştiler. Doğal seçilimin, aminoasit diziliminde evrimle sonuçlanması gerçekten dikkate değer bir olgu. Bizim gibi (ya da inekler ya da langur maymunları gibi) karmaşık hayvanların vücudunda üretilen yaklaşık 100 000 farklı protein var. Ve bu örnekte, bu proteinlerden yalnızca bir tanesinde, lizozimde oluşan küçük farklılaşmalar, doğal seçilimin gücünü yönlendirmek için yeterli olmuş.

Yakın geçmişte bu öykünün bir başka yanı daha ortaya çıktı. Geviş getirenler ve langur maymunları gibi yaprak yiyen ve dolayısıyla selüloz sorunuyla karşı karşıya olan bir kuş türü incelendiğinde, yalnızca Amazon havzasında bulunan ve son derece ga-

Bacaklardaki Gözler: Benzerliğin (ya da olmayışının) Evrimi

Yakın bir geçmişte araştırmacılar, bacaklarındaki gözler olan sirkesineklere yetiştirmeyi başardılar. Burada söz konusu denetim mekanizmasına göre, belli bir gen, gözün nerede olacağını belirledikten sonra, eksiksiz bir gözün oluşumunda işlevi olan tüm genler o noktada çalışmaya başlar. Sirkesineklere gözler, yanlış yerde olmakla birlikte herşeyleriyle eksiksizdi ve doğru bağlantılar kurulsaydı herhalde normal göz gibi işlev görebileceklerdi. Bu deneysel işlem, tek başına da önemli. Ancak özellikle evrimi kavrayış biçimimize getirdiği yenilik açısından incelenmeli. Bu deneylerde, bir fareye ait göz-konum geni kullanılarak sirkesineğinin yanlış konumunda bir göz geliştirmesi sağlandı. Farenin geni, sirkesineğinkine o kadar çok benziyor ki, genetik mühendisliği kullanılarak bir sirkesineğe yerleştirildiği zaman aynı işlevi yerine getirmeyi sürdürebiliyor.

Bu, kayda değer bir olgu. Sirkesineklere, farelerden evrimsel olarak en az yarım milyar yıldır ayrılmış bulunuyorlar. Diğer bir deyişle, en son yarım milyar yıl önce ortak bir atası vardı. Fare/sirkesineği ortak atasındaki bu göz-konum geni, daha sonra biri fareyi, diğeriye sirkesineğini oluşturacak iki ayrı soyun da kalıtsal mirası

oldu ve en az bir milyar yıllık bir evrim süresince değişmeden kaldı (yarım milyar yıldır bu iki soy ayrı olarak evrimleştikleri için, toplam evrimleşme süresi $2 \times 0.5 = 1$ milyar yıl). Sirkesineği ve farenin gözlerinin yapısal ve optik açıdan çok temel farklılıkları olduğu gözönüne alındığında, bu çok önemli. Herhalde her iki soy da, kendi amaçları doğrultusunda en uygun göz yapısını kusursuzlaştırırken, gözün konumunu belirleyen temel sistemi korudular.

Doğal seçilimin ayıklama gücünün bundan daha iyi bir kanıtı olamaz. Biri fare, diğeri sirkesineği olmak üzere, evrimin iki ayrı kolundan yarım milyar yıl önce yola çıkan bu "ata gen"i düşünün. Hem fare, hem de sirkesineği soylarında milyonlarca mutasyon olmuş ve bunlar doğal seçim tarafından ayıklanmış olmalı. Tüm bu koruyucu doğal seçilimin sonucunda, çok uzun zamandır ayrı olmalarına karşın, bu iki gen aynı işlevi koruyor ve hatta yer değiştirebiliyorlar. Darwin, doğal seçilimin zararlı mutasyonları önleme yeteneğinin farkındaydı elbette. Ama doğal seçilimin, yarım milyar yıl boyunca bir işlevi koruyacak kadar etkili bir ayıklayıcı olduğunu öne sürmeye herhalde cesaret edemezdi.



rip görünümlü olan "hoatzin" adlı bu kuşun da, selüloz sorununu bakterilerin yardımıyla çözdüğü ve bakterileri parçalamak içinse lizozim kullandığı bulundu. Evet, yaprak yiyen iki memeli grubuna ait lizozimin ve hoatzin lizoziminin aminoasit diziliminde de benzeşme oluşmuş. Diğer bir deyişle, moleküler düzeydeki bu benzeştiren evrim örneğinin yalnızca memelileri değil, kuşları da içerdiğini görüyoruz.

Yüksek uçuş: Yüksek irtifa için moleküler uyum

Bir enzimin değişik formları arasındaki işlevsel farklılıklar konusunda yorumlar yapabilmek için, o enzim ve biyolojik etkinliklerinin ayrıntılarıyla ilgili bilgilere gereksinmemiz var. Aminoasit diziliminde, dört aminoasidin wxyz şeklindeki dizilimini de içeren bir protein düşünün. Başka bir türde aynı işlevi gören proteinde aminoasit dizilimi wxtz olursa, diğer bir deyişle bu kısa dizide 'y' aminoasidi yerine 't' geçmişse, bu önemli bir farklılık mıdır? Bu soruyu, ancak proteinin yapısı ve işlevi konusunda fazlaca bilgimiz varsa yanıtlayabiliriz. Eğer, örneğin "bu protein f fonksiyonu için kullanılıyor" şeklinde genel bir düşünceden daha ayrıntılı bilgimiz yoksa, $y \rightarrow t$ değişiminin önemini anlamamız olanaksız. Oysa çok az sayıda protein konusunda gerekli bilgiye sahibiz ve bunun sonucunda moleküler uyumla ilgili çalışmalar zorunlu olarak sınırlı düzeyde kalıyor. Morfolojik düzeydeki

uyumla ilgili çalışmalar içinse durum farklı. Örneğin, elin işlevini tam olarak anlamak ve hayvanlar arasında görülen farklı el tiplerinin uyumsal değerini çıkarsamak çok zor değil.

Kırmızı kan hücrelerinde bulunan ve oksijenin taşınmasından sorumlu molekül olan hemoglobinin, moleküler uyumun evrimsel incelemesi için bulunmaz bir aday. Hemoglobinin, akciğerlerde yoğun olan oksijene bağlanır ve vücudun, örneğin çalışan kaslar gibi, oksijen yoğunluğu az olan bölgelerinde bu oksijeni salar. İnsanlarda rastlanan pek çok hastalıkta hemoglobininle ilgili sorunların varlığı ve oksijen taşınımının hayvan fizyolojisinin temel bir ögesi olması nedeniyle hemoglobinin, üzerinde çok iyi çalışılmış bir protein; hatta X-ışını yayılımı yöntemi kullanılarak üç boyutlu yapısı belirlenen ilk proteinlerden biri (Proteinler doğrusal aminoasit zincirlerinden oluşurlar; ancak bunlar proteinin işlevi için gerekli olan karmaşık üç-boyutlu yapıları oluşturacak şekilde kendi üstlerine katlanırlar.). Hemoglobinin evrimsel inceleme açısından iyi bir aday olmasının başka bir nedeni de, oksijen taşınımı açısından çok farklı ortamlarda yaşasalar da, tüm canlıların oksijen taşıma gereksinimi için aynı temel molekülü kullanmaları. Örneğin bazı kuşlar, deniz düzeyiyle karşılaştırıldığında oksijen miktarının çok daha az olduğu yüksek irtifalarda yaşarlar. Oysa yalnızca uçmak bile, çok enerji gerektiren ve oksijene bağımlı bir etkinlik. Dolayısıyla, bu molekülün

doğal seçim sonucunda -oksijen açısından- aşırı ortamlara uyum sağlayıp sağlamadığını belirlemek amacıyla, tipik olarak yükseklerde uçan bir kuşla alçaktan uçan bir kuşun hemoglobininin birbirleriyle karşılaştırabiliriz.

Kuşların çok yükseklerde uçabildiği, bilinen bir olgu. Şimdiye kadar kaydedilmiş en yüksek kuş uçuşu, Fil-dişi Kıyısı'nda 11.300 m yükseklikteyken bir jet uçağına çarpan Rüppell akbabasına (*Gyps rueppellii*) ait. Bu yükseklik, Everest Tepesi'nin yüksekliğinden 2000 m daha fazla. Yükseklik arttıkça oksijen yoğunluğunun daha hızlı azalmasına bağlı olarak yükseklerde uçan kuşlar oksijen bakımından, alçakta uçan akrabalarından bütünüyle farklı bir ortamda yaşarlar. Göç ederken Himalayalar gibi yüksek dağ sıralarının üzerinden geçen kuşlar da sıklıkla çok yükseklerde uçarlar. Örneğin yazlarını Tibet, kışlarını da Kuzey Hindistan'da geçiren Hint kazı (*Anser indicus*), mevsim aralarında Himalayalar'ın üzerinden uçar. Hint kazının ve alçak bölgelerde yaşayan en yakın akrabası olan bozkazın hemoglobininine bakıldığında, yalnızca 4 aminoasit açısından farklı oldukları, bu farklılıkların, molekülün üç boyutlu yapısı üzerindeki etkisi incelendiğinde de, yalnızca bir tanesinin hemoglobinin oksijen tutma yeteneğini artırdığı görülüyor. Buysa, yükseklerde daha az oksijene çok daha kolay bağlanabilmesi için Hint kazının hemoglobininde bulunması gerekli olan özellik.

Aynı durum, yükseklerde uçan başka bir kaz türü olan And kazı (*Chloepahaga melanoptera*) için de geçerli. Hint kazında olduğu gibi And kazında da, hemoglobinin oksijen tutma yeteneğinin artmasından tek bir aminoasit değişimi sorumlu.

Her iki sonuç da, bu iki kaza ait hemoglobinin proteinlerinin, alçak yerlerde yaşayan bozkaza ait olanlarıyla karşılaştırılması, ardından da oksijen-bağlama yeteneğini etkileyecek aminoasit değişimlerinin kimyasal yapıya ilişkin argümanlarla saptanması yöntemiyle elde edilmişti. Oysa bu, birçok açıdan tartışmalı bir yöntem. Oksijen bağlama yeteneğiyle ilgili yorumlarımızın gerçekten doğru olduğunu nasıl bilebiliriz? Hemoglobinin bu kadar iyi çalışmış bir protein olması nedeniyle bu soru, gerekli deneylerle en iyi şekilde ya-

nitlanmış durumda. Ancak bu, ilk bakışta görüldüğünden çok daha zor bir işlem: Bir insan hemoglobini alınıyor ve oksijen-bağlama yeteneği ölçülüyor; sonra genetik mühendisliği devreye sokularak uygun konumdaki aminoasitin yerine, Hint kazı için kritik olduğu belirlenen aminoasit yerleştiriliyor. Böylece, yeryüzünde olasılıkla daha önce hiç varolmamış, yeni bir hemoglobin molekülü üretilmiş oluyor. Şimdi, yeni üretilen bu molekülün oksijen bağlama yeteneği ölçülebilir.

Bu deney, insan hemoglobini ve hem Hint kazı, hem de And kazının yüksek irtifa aminoasitleri kullanılarak gerçekleştirildi. Her iki durumda da, yeni hibrid hemoglobin molekülünün, normal insan hemoglobinine göre belirgin şekilde yüksek bir oksijen bağlama yeteneğine sahip olduğu görüldü. Kısacası deneysel sonuçlar, yapısal bilgilere dayanılarak yapılan çıkarımları doğruladı.

Deneyler karmaşık olsa da sonuç basit: Moleküller düzeyde doğal seçim son derece etkili bir unsur. Moleküller, uygun koşullarda en iyi performans gösterecek ince bir ayara sahipler. Ruppell akbabasının 11.000 m'de uçabilmesini sağlayan unsur ise, hemoglobin molekülü üzerindeki etkisi aracılığıyla doğal seçim.

Moleküller ve biz: Darwin'in insan evriminde bilmedikleri

DNA devrimi sonucunda ortaya çıkan evrimsel bulgular arasında belki de en dikkate değer olanları, kendi türümüzü ve onun tarihini ilgilendiren bulgular. Moleküler genetik tekniklerin gelişmesinden önce, insanın geçmişi araştırmak için kullanılabileceğimiz fazla malzeme yoktu. Sümer tabletleriyle başlayan yazılı kayıtlar göreceli olarak çok yeniydi; arkeolojik ve fosil kayıtlarsa hem çok az bilgi sağlıyordu, hem de bölük pörçük oldukları için yorumlayanın yaklaşımlarına bağımlıydılar. DNA dizilimi bunların tümünü değiştirdi: Yeryüzünde bugün varolan genetik çeşitliliğe bakarak geçmişle ilgili çıkarımlarda bulunabiliyoruz artık. Kullanılan mantıkta basit: DNA dizilimi zaman içinde yavaş yavaş değişir; dolayısıyla herhangi iki dizilim -ve ait oldukları insanlar-birbirlerinden ne kadar uzun süre ya-

şıtıldıysa, o kadar farklı olurlar. Şu anda varolan farklı grupların, örneğin Avustralya yerlileri, Amazon yerlileri, Japonlar, Türkler, Kalahari buşmanlarının DNA dizilimlerini karşılaştırarak, kimlerin birbirlerine daha yakın olduğunu belirleyebiliriz.

Bu araştırmalardan elde edilen ilk ve en önemli sonuç, basın dünyasında "mitokondriyel Havva" olarak adlandırıldı. Hücrenin içinde, enerji fabrikası işlevini gören ve mitokondri adı verilen küçük bir yapı var. İşte bu yapının içinde bulunan kısa bir DNA molekülünün dizilimini kullanarak tüm insanlar için bir soy ağacı oluşturursak, iki şey buluyoruz: hepimizin ortak atasının yaklaşık 100 000 yıl önce yaşadığı;



ğı; ve bu ortak atanın Afrika'da olduğu. Buradan çıkaracağımız sonuçsa, modern insanın 100 000 yıl önce Afrika'da ortaya çıktığı ve oradan dünyaya yayıldığı.

Bu sonuç, kayda değer bir bulguydu. Uzun zamandır türümüzün 100 000 yıldan çok daha yaşlı olduğu varsayıyordu. Gerçekten de evrim standartlarına göre 100 000 yıl göz açıp kapayıncaya kadar geçer; bizim türümüz çok genç bir tür. Bu noktayı açıklığa kavuşturmak için bu süreyi, orangutanlar için geçerli olanla karşılaştırmakta yarar var. Orangutanlar Güneydoğu Asya'daki iki adada, Borneo ve Sumatra'da bulunurlar. Mitokondriyel Havva çalışmasında kullanılan genetik teknikler orangutanlara uygulandığında, ortak bir atayı en son olarak 3,5 milyon yıl önce paylaştıkları ortaya çıktı. Diğer bir deyişle, bu adaların her

birinden alınacak birer orangutan, birbirlerinden genetik olarak en farklı durumdaki iki insandan ortalama 35 kat daha farklılar. Ve ne ilginçtir ki, büyük bir olasılıkla siz bu iki orangutanı birbirlerinden ayırdedemezsiniz. 3,5 milyon yıllık bir evrimin bile çok önemli farklılaşmalara yol açması gerekmiyor. Yani, ırkçılar tarafından bu kadar sık dile getirilen yüzeysel farklılıklara karşın, bir tür olarak bizler şaşılacak derecede birörneğiz. En siyah Afrikalıyla en beyaz Avrupalı arasındaki genetik farklılık, uzman olmayan birine aynı gibi görünen iki orangutan arasındaki genetik farklılığın yanında çok önemsiz kalıyor.

30.000 yıllık bir iskeletin DNA'sından elde edilen veriler sayesinde artık biliyoruz ki, yakın geçmişimize ait soy ağacının en eski dalı bütünüyle yok oldu. Neandertaller adı verilen bu insanlar 800.000 yıl kadar önce ortaya çıktılar ve yaklaşık 30.000 yıl önce ortadan kayboldular. Neandertallerin bizler, yani modern insanlar tarafından mı yok edildiği, yoksa karışma sonucunda bizim bugün bir ölçüde Neandertal mi olduğumuz sorusu yakın zamana kadar açıklık kazanmamış olan bir konuydu. Oysa şimdi DNA analizlerine bakarak, Neandertal insanının kaderinin, karışma sonucu yokolmak değil, zor kullanılarak soyunun tükenmesi olduğunu açıkça görebiliyoruz. Neandertal DNA'sı tüm modern insanlarınkinden çok farklı; eğer bizimle üremiş olsalardı, bu farklı dizilimlerin modern insan popülasyonlarında da bulunmasını beklerdik. Bulunmaması, Neandertallerin 30.000 yıl önce yok olduklarını ve DNA'larını da beraberlerinde götürdüklerini gösteriyor.

İnsanın tarihiyle ilgili modern yaklaşımlar, yalnızca ırkçılık için biyolojik bir temel olasılığını ortadan kaldırmakla ve Neandertallerin kaderini ortaya çıkarmakla kalmadı. En ilginç sonuçlar çok yakın zamanda bulundu. Bu sonuçlar, cinsiyetler arasındaki farklılıklar, özellikle de göç konusundaki farklılıklarla ilgiliydi.

Yeryüzündeki herkes için, incelemekte olduğumuz DNA parçasında dizilimin aynı olduğunu ve bu dizilimde, örneğin Güney Afrika'da bir mütasyon oluştuğunu düşünün. Eğer yoğun bir göç hareketi yaşanıyorsa, bu mütasyon hızla yayılır ve belki birkaç kuşak

sonra, örneğin İstanbul'da görülebilir. Ancak eğer göç hareketleri çok azsa - insanlar oldukları yerlerde kalıyorlar -sa- mütasyon Güney Afrika'yla sınırlı kalır ya da çok çok yavaş yayılır. Yani, DNA varyantlarının -mütasyonların- yayılım miktarı, göç hareketinin büyüklüğünü belirlemek için dolaylı bir ölçüt olarak kullanılabilir.

İnsanlık tarihini (ve göç hareketlerini) kadınlar ve erkekler için ayrı ayrı incelememiz mümkün. Bazı DNA parçaları kuşaktan kuşağa yalnızca kadınlar arasında aktarıldıkları için dişi tarihinin, başka parçalarsa yalnızca erkekten erkeğe aktarıldıkları için erkek tarihinin "işaretleri" olarak kullanılabilirler. Kadınlara özgü olan ve mitokondride bulunan DNA'dan daha önce söz etmiştik. Yalnızca dişinin üretebildiği döllenenmiş bir insan yumurtası mitokondri (ve dolayısıyla mitokondriyel DNA) içerirken, erkeğin sperm hücresiyle yeni bireye yaptığı katkı mitokondri içermez. Yani mitokondriyel DNA yalnızca kadınlar tarafından aktarılır. Öte yandan, yalnızca erkekler tarafından aktarılan küçük bir insan kromozomu var. Erkekleri erkek yapan, bu "Y" kromozomu olduğu için, tanımı gereği "Y" kromozomunu taşıyan tüm insanlar erkek. Yani "Y" kromozomu erkeklere özgü ve yalnızca erkek soyunda aktarılıyor.

İnsan popülasyonları arasındaki mitokondriyel DNA çeşitliliğini yapısal olarak incelediğimiz zaman, mütasyonların çoğunluğunun tüm popülasyonlar arasında büyük ölçüde yayılmış olduğunu görüyoruz. Diğer bir deyişle, yalnızca yerel olarak görülen varyantlara hemen hemen hiç rastlamıyoruz; yani popülasyonlar büyük ölçüde karışmış gibi görünüyor. Ve elbette bu karışma, göç hareketinin sonucu. Oysa "Y" kromozomundaki farklılıklarla ilgili olarak yakınlarda yapılan çalışmalar, bunun tam tersi olan sonuçlar ortaya çıkarıyor. Bu sonuçlar, yayılım miktarının aslında çok düşük olduğunu, ve örneğin Güney Afrika'da ortaya çıkan bir mütasyonun genellikle pek uzağa gitmediğini gösteriyor.

Acaba neler oluyor? Tek bir tür için, kendi türümüz için nasıl bu kadar çelişkili iki ayrı sonuç elde edilebilir? Aslında bunun açıklaması basit: Erkekler ve kadınlar farklı hızlarda göç ediyorlar ve bunu beklenmedik

bir şekilde yapıyorlar. Çok dolaşan erkekler ve evde duran kadınlarla ilgili tüm önyargılarımıza karşın, aslında kadınlar erkeklerden çok daha fazla yer değiştiriyorlar. Hatta birçok kuşak gözönüne alınarak yapılan hesaplamalarda, kadınların erkeklerden ortalama olarak 8 defa daha fazla göç ettiği ortaya çıkıyor.

Bu, sezgilerimize bütünüyle aykırı bir sonuç. Büyük İskender'in dizginsiz dolaşan orduları ya da Cengiz Han'ın Orta Asya'da savaşan atlılarıyla ilgili öyküleri dinleyerek büyümüş olsak da, erkekleri hareketli avcılar ve gezginler olarak gören önyargılarımızın bütünüyle yanlış olduğu ortaya çıkıyor. Aslında antropologlar bu olguyu kolayca



açıklayabilirler. Tüm toplumlarda antropologların "atakonumu" (patrilocality) adını verdikleri bir uygulama görülür: İki ayrı köyden bir çift evlendikleri zaman, kadın erkeğin köyüne taşınır. A köyünden bir kadının B köyünden bir adamla evlendiğini ve B köyüne taşındığını varsayın. Bir kızları ve bir oğulları oluyor. Kızları C köyünden bir adamla evlenerek C köyüne taşınır; oğulları da D köyünden bir kadınla evleniyor ve bu kadın B köyüne geliyor. Böylece erkek soyu B köyünde kalırken dişi soyu iki kuşakta A'dan B'ye, sonra da C'ye taşınmış oluyor. Bu sürecin kuşaklar boyunca sürmesi, dişi göçünün çok yaygın, erkek göçününse sınırlı olmasıyla sonuçlanıyor. Erkekler gerçekten de bazen uzak ülkeleri fethetmek için yola çıksalar da, bunlar insan göçünün bütünü içinde önemsiz kalıyor; insanlığın tarihini şe-

killendiren, kadınların adım adım köyden köye yaptıkları göçler.

Darwin'e dönüş: "Darwin'in bile inanmaya cesaret edebileceğinden daha doğru"

Darwin'in zamanından bu yana biyolojide olağanüstü ilerlemeler kaydedildi. Bunların birçoğu evrimle doğru- dan ilgili ve Darwin'in kuramına ışık tutuyor. Ama Darwin mezarında rahat yatabilir: Evrimsel değişimin mekanizmasını şimdi artık çok daha iyi anlıyoruz ve bu yeni bulgular karşısında Darwin'in görüşlerinin özü hâlâ sağlamlığını koruyor.

Daha önce de gördüğümüz gibi, kalıtım, ve mekanizması olan genetik konusundaki bilgisizliğine karşın kuramının yaşayabilmesi, Darwin'in öncelikle bir deneyci olmasından kaynaklanıyor. Doğadaki çeşitliliğin ve bunun bir kuşaktan diğerine -bir şekilde- aktarıldığının farkında olması onun için yeterliydi. Ayrıntılı bir kalıtım kuramına gereksinimi yoktu. Aynı durum çalışmalarının başka yönleri için de geçerli. Örneğin, "Türlerin Kökeni"ninde, hayvan ve bitkilerin coğrafi dağılımını inceleyen biyocoğrafyaya yalnızca iki bölüm ayırmıştı. Darwin kitabını, kıtaların coğrafi tarihini şekillendiren en önemli gücün levha tektoniği olduğunun bulunmasından çok önce yazmış olmasına karşın, gözlemleri bugün hâlâ güncelliğini ve doğruluğunu koruyor. Levha tektoniği konusundaki bilgisizliği, biyocoğrafyaya yaptığı katkıları engellemedi. Hiç bir zaman bildiğinden ayrılmadı ve bir deneyci olarak kaldı. Farklı anlamları olabilecek veriler konusunda spekülasyon yapmak yerine, çok miktarda veriye sahip olduğu ve basit yorumlarla üzerinde çok şey söyleyebileceği konulara ağırlık verdi. Böylece, biyocoğrafya gibi iddialı konulara sapmak yerine, adaların yanısıra üzerlerinde yaşayan hayvan ve bitkiler konusunda da çok ayrıntılı yazılar yazabildi.

Darwin'in bu deneyciliği hepimize örnek olmalı. Bu güzel kuramının olağanüstü verimliliği, deneyciliğin, olgulardan sapmamanın gücünü ustaca ortaya koyuyor.

* Harvard Üniversitesi

Bu yazı Mayıs 2000'de Sabancı Üniversitesi'nde misafir öğretim üyesi iken İstanbul'da verdiği bir popüler konferansa dayanmaktadır.