

Doğal Seçilimin Genetikle Testi

En gelişmiş genetik araçları kullanarak biyologlar, genlerin evrimleşmesinde doğal seçilimin, çoğu evrim bilimcinin düşündüğünden de büyük bir rol oynadığını gösteriyorlar.



Profesör H. Allen Orr, Rochester Üniversitesi Biyoloji bölüm başkanı ve *Speciation* (Türleşme) adlı kitabın yazarlarındandır. Araştırmalarının odağı, türleşme ve uyumun genetik temelleridir. Orr'a verilen ödüller arasında Londra Linnean Topluluğu tarafından verilen Darwin-Wallace madalyası, Guggenheim Araştırma Bursu, David ve Lucile Packard Araştırma Bursu ve Evrim Çalışmaları Topluluğu'na verilen Dobzhansky ödülü bulunmaktadır. *New Yorker* ve *New York Review of Books* adlı dergilerde pek çok kitap eleştirisi ve edebi makaleleri yayınlanmıştır.

Anahtar Kavramlar

Charles Darwin'in evrimin, hayatta kalmayı kolaylaştıran kalıtsal değişimler ve doğal seçilimin etkisiyle oluştuğuna dair kuramı günümüzde biyolojide kabul görebilmek için diğer rakiplerle mücadele etmek zorunda.

Bir zamanlar, olumlu ya da olumsuz herhangi bir etki taşımayan rastgele genetik mutasyonların moleküler düzeydeki değişimlerin pek çoğunu etkilediği düşünülüyordu. Ancak yakın zamanda yapılan deneyler faydalı genetik mutasyonlara yönelik doğal seçilimin çok yaygın bir olgu olduğunu gösteriyor.

Bitki genetiğinde yapılan çalışmalar tek bir gende oluşan değişimlerin türler arasında uyum farklılığı açısından kimi zaman büyük etkiler yaratabildiğini gösteriyor.

Bilim tarihinde bazı fikirler, ya güç fark edildiklerinden, ya da karmaşık ve kavranması zor olduklarından geç keşfedildiler. Doğal seçim bunlardan biri değildi. Devrim yaratan diğer bilimsel fikirlerle karşılaştırıldığında Charles Darwin ile Alfred Russell Wallace'ın 1858'de çıkan yazıları ve Darwin'in 1859'da çıkan kitabı, *Türlerin Kökeni*'yle ortaya atılan doğal seçim kuramı, aslında her şeyi oldukça basitleştiriyor. Bazı organizmalar belirli ortamlarda hayata daha iyi tutunurlar, daha çok üreyebilirler ve zamanla yaygınlaşırlar. Doğal çevre böylelikle, o günkü şartlara en uygun organizmaları "seçer". Çevresel koşullar değiştiğinde, değişen yeni şartlara en uygun özelliklere sahip olan organizmalar daha baskın olurlar. Darwinizmin devrimsel olmasının nedeni biyoloji hakkında bazı gizli varsayımlarda bulunması değil de, doğanın temelinde yatan mantığın aslında şaşırtıcı biçimde basit olduğunu göstermesidir.

Bu kadar basit olmasına rağmen, doğal seçim kuramının tarihi uzun ve dolambaçlıdır. Darwin'in türlerin evrimleştiği savı biyologlarca hemen kabul edilmiş olsada, değişimin büyük oranda doğal seçimden kaynaklandığı savı aynı şekilde kabul görmemiş, hatta doğal seçilimin, gerçekten de temel evrimsel güç olduğu 20. yüzyıla kadar kabul edilmemiştir.

On yıllar boyunca yapılmış kapsamlı deneysel araştırmalar sonucunda doğal seçilimin statüsü artık güven altında olsa da, bu konudaki çalışmalar hâlâ tamamlanmış sayılmaktan çok uzaktır. Aksine, bundan yirmi yıl öncesine kıyasla, kısmen geliştiri-

len yeni deneysel teknikler, kısmen de doğal seçilimin temellendirildiği genetik mekanizmaların kapsamlı deneysel analizlere tabi tutulması nedeniyle, doğal seçim, biyolojinin daha aktif çalışma yürütülen bir alanıdır. Doğal seçim konusunda yapılan deneysel çalışmaların çoğu üç amaca odaklanmıştır: sıklığını saptamak, doğal seçim sonucunda görülen adaptasyonları üreten genetik değişimi tam olarak belirlemek, evrimsel biyolojinin temel sorunsalı olan, yeni türlerin ortaya çıkışı konusunda doğal seçilimin oynadığı rolü değerlendirmek.

Doğal Seçim Fikri

Evrimin doğal seçim yoluyla oluşumunu kavramanın en iyi yolu, birçok neslin gözlemlenmesine olanak veren kısa ömürlü organizmaları incelemektir. Bazı bakteriler her yarım saatte bir ürerler. İki ayrı genetik yapıdaki bakterilerden bir popülasyonda eşit miktarda bulunduğu bir ortamı düşünelim. Her iki tipteki bakterinin kendi tipinden bakteri ürettiğini varsayalım: tip1 sadece tip1; tip2 sadece tip2 üretsin. Şimdi çevresel koşullar aniden değişsin: ortama, tip1'in dirençli olduğu, ama tip2'nin olmadığı bir antibiyotik verelim. Yeni koşullarda 1. tipteki bakteriler, 2. tipteki bakterilerden daha rahat uyum sağlarlar, yani ortama daha uygun olduklarından, hayatta kalarak, 2. tipteki bakterilerden daha çok ürerler. Sonuç olarak, tip1 bakterilerinin sayısı, tip2 bakterilerinden daha fazla olur.

Evrim biyolojisinde kullanıldığı şekilde "uygunluk", belirli bir ortamda hayatta kalma ya da üreme olasılığını ifade eden teknik bir terimdir. Değişik bağlamlarda sayısız kere tekrarlanan bu seçim sürecinin sonucunda bitkiler, hayvanlar ve bakteriler ortamlarına karmaşık şekillerde uyum sağlarlar.

Evrim genetikçileri, yukarıda belirtilen savın biyolojik detaylarını zengin biçimde ortaya koyabilirler. Biliyoruz ki, genetik tipler DNA'da oluşan mutasyonlardan, yani genomun dilini oluşturan AGCT harfleriyle simgelenen nükleotid zincirindeki rastlantısal değişikliklerden kaynaklanır. Sıradan bir mutasyonun, yani DNA'daki bir harfin bir diğerine dönüşmesinin, oluşum hızı hakkında oldukça bilgi sahibiyiz. Her nesilde, her bir gamette, her bir nükleotidin bir diğerine değişme olasılığı milyarda birdir. Daha da önemlisi, mutasyonun uygunluk üzerindeki etkilerini kısmen biliyoruz. Rastlantısal mutasyonların çoğu zararlıdır, yani uygunluğu azaltır; sadece az sayıda mutasyon faydalıdır, uygunluğu arttırırlar. Çoğu mutasyon, bilgisayar programlarındaki yazılımlarda karşılaştığımız hatalarla aynı



David Creswell

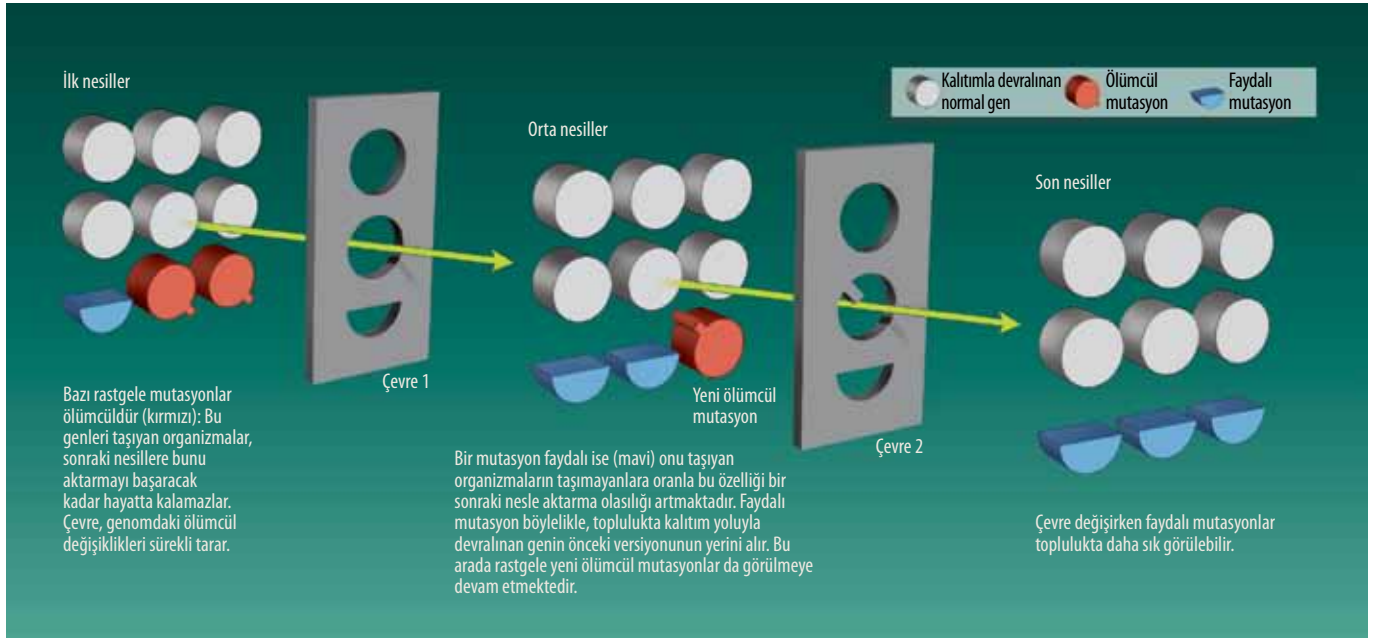
nedenden ötürü zararlıdır; ince ayarı yapılmış sistemlerde, rastlantısal değişikliklerin sistemi iyileştirmekten ziyade, bozmaları daha olasıdır.

Bu nedenle evrim, mutasyonun ve seçilimin görevlerinin katı olarak birbirinden ayrıldığı iki kademeli bir süreçtir. Mutasyon, her nesilde popülasyonda yeni genetik çeşitliliklerin oluşmasına neden olur. Bundan sonra da, doğal seçim onları tarar: çevresel koşullardaki zorlayıcı şartlar, "kötü" (göreceli olarak uygun olmayan) çeşitliliklerin frekansını azaltır.

Popülasyon genetikçileri, doğal seçilime matematiksel tanımlamalarla açıklık getirdiler. Örneğin, genetikçiler popülasyonda daha uygun olan bir tipin frekansını daha hızlı arttıracağını ve bu artışın da gerçekten hesaplanabileceğini gösterdiler. Popülasyon genetikçileri, doğal seçilimin hayal bile edilemeyecek kadar keskin "gözleriyle" genetik tipler arasındaki çok ufak uygunluk farklılıklarını bile tespit edebildiği gerçeğini şaşkınlıkla keşfettiler. Bir milyon bireyin bulunduğu bir popülasyonda doğal seçim, bir milyonda bir gibi düşük seviyede görülen uygunluk farklılıklarıyla hareket edebiliyordu.

Doğal seçim hakkındaki savda çarpıcı bir nokta da, mantığının genlerden, türlere kadar her seviyedeki biyolojik varlık için geçerli olmasıdır. Darwin'den beri biyologlar bireyler arasındaki uygunluk farklılıklarını ele alsalar da, prensip olarak doğal seçim, diğer varlıkların hayatta kalma ve üreme farklılıklarıyla

Hayvan postu doldurmada hünerli bir sanatçıyla bir bilim insanının yaratıcı uzmanlığı birleştiğinde evrimin hayvan krallığında olanaklı kıldığı muhtelif yaşam biçimleri hakkında ipuçları ortaya konabiliyor. Bu seçki, New York şehrindeki Amerikan Doğa Tarihi Müzesi'ndeki Yaşam Çeşitliliği Salonu'nda yer alan sergiden çekilmiş fotoğraflardan oluşuyor.



Mutasyon ve Doğal Seçim

Doğal seçim yoluyla evrim, iki aşamalı bir süreçtir: ilk olarak toplulukta rastgele genetik mutasyonlar ortaya çıkar; sonra çevre, organizmaları tarayarak bu özellikleri belirler.

EVİRİM: Gelecek 200 Yıl

Steven Pinker
Seçim, genom üzerinde parmak izini nasıl bırakır? Özellikle de protein kodlamayan kısımlar üzerinde nasıl işler ve ardında ne tür değişiklikler bırakır: Sınırlı etkiye sahip birkaç ortak gen mi, yoksa etkileri daha geniş olan, çok sayıda az rastlanan gen mi? Şempanzelerden ve birbirimizden nasıl farklı olduğumuzu ve neden kalıtsal hastalıklarımız olduğunu anlamak açısından bunları bilmek gereklidir.

Steven Pinker, Harvard Üniversitesi'nde Johnstone Family Psikoloji profesörüdür.

rını da yönlendirebilir. Örneğin, daha geniş bir coğrafyada yaşayabilen türlerin bir tür olarak, daha dar bir coğrafyada yaşayanlardan daha uzun süre neslini sürdürebileceğini düşünebiliriz. Ne de olsa, daha geniş alanda yaşayan türler, bir kaç yerel popülasyonun yok olmasını, daha dar alanda yaşayan türlerden daha fazla kaldıracaklardır. Doğal seçim mantığıyla, daha geniş alanda yaşayabilen türün oranının zamanla artacağını tahmin edebiliriz.

Bu sav, biçimsel olarak sağlam olsa da ve evrim bilimciler daha üst seviyede seçilimin ara sıra gerçekleştiğini düşünürler de, çoğu biyolog doğal seçilimin genellikle organizmalar ya da genetik tipler arasında olduğu konusunda hem fikir. Bunun bir nedeni, organizmaların ömürlerinin, türlerinkinden çok daha kısa olması. Böylelikle, organizmaların doğal seçilimi, türlerin doğal seçilimine baskın geliyor.

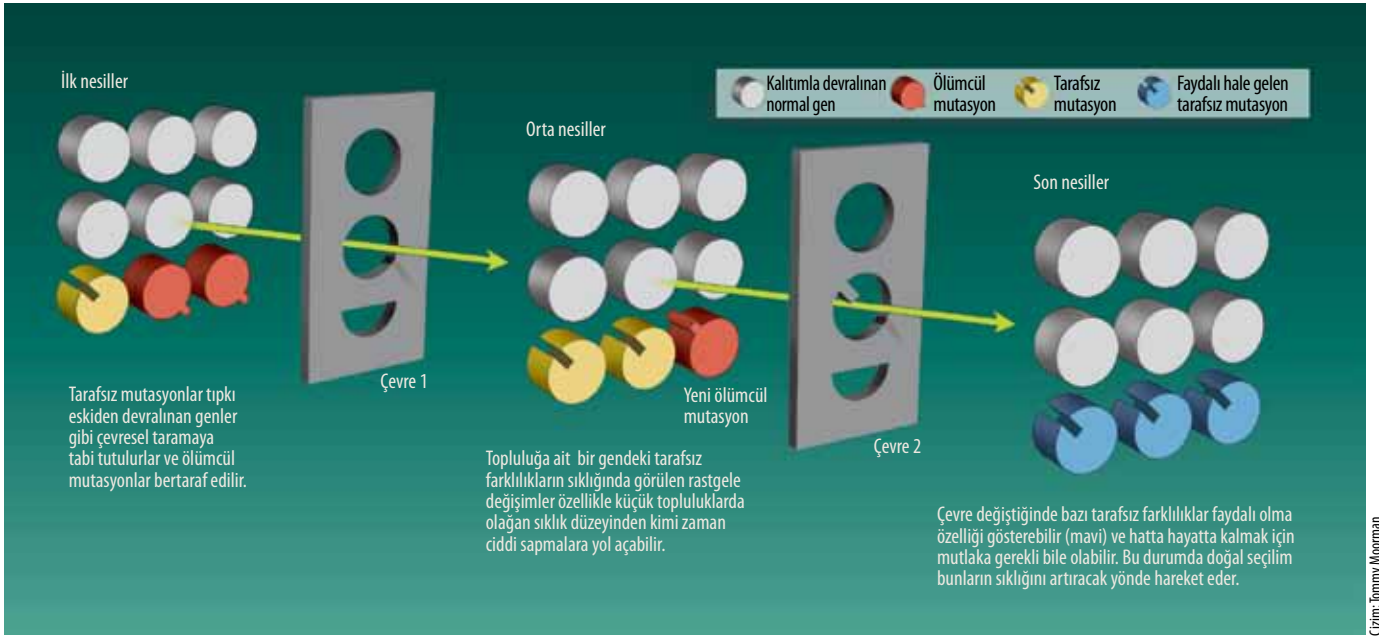
Doğal Seçim Ne Kadar Yaygın?

Doğal seçim hakkında biyologların sorabilecekleri en basit sorulardan biri, şartıtcı biçimde yanıtlanması en zor sorulardan biri olmuştur: Bir popülasyonun genel genetik yapısındaki değişikliklerinden doğal seçim ne ölçüde sorumludur? Doğal seçilimin, canlılarda çoğu fiziksel özelliklerin evrimini yönlendiği konusunda hiç kimsenin ciddi bir şüphesi yok. Gagalar, kaslar ve beyinler gibi büyük boyuttaki özellikleri açıklamanın bir başka mantıklı yolu yok. Buna karşın, moleküler düzeyde gerçekleşen doğal seçilimin, değişimde ne derece rol oynadığı konusunda ciddi kuşku-

lar bulunmakta. Milyonlarca yıl boyunca DNA'daki evrimsel değişim, ne oranda doğal seçim yoluyla, ne oranda bir başka süreçle olmuştur?

1960'lara kadar biyologlar yanıtın "neredeyse tümü" olduğunu varsayıyorlardı. Japon araştırmacı Motoo Kimura liderliğindeki popülasyon genetikçileri bu görüşü ciddi şekilde sorguladılar. Kimura, moleküler evrimin genellikle başlangıçta nadir görülen faydalı bir özelliğin frekansının çevresel koşullarla arttırıldığı, "pozitif" doğal seçimle yürütülmediğini savundu. Aksine, popülasyonda kalıcı olan ya da yüksek frekanslara erişen genetik mutasyonların neredeyse tümünde seçici nötralite olduğunu, yani uygunluk üzerinde öyle ya da böyle, belirgin bir etkisinin olmadığını belirtti. (Tabii ki zararlı mutasyonlar yüksek oranda görülseler de, popülasyonda hiçbir zaman yüksek frekanslara erişemediklerinden evrimsel açıdan çıkmaz sokaktalar.) Nötral mutasyonlar esasen var olan ortamda görünmez olduklarından, bu değişiklikler popülasyonda sessizce var olmaya devam etmekte, genetik yapısını zaman içinde belirgin şekilde değiştirmektedir. Rastlantısal genetik kayma denen bu süreç, nötral moleküler evrim kuramının özünü oluşturmaktadır.

1980'lere geldiğinde, moleküler genetikçilerin çoğu nötralite kuramını kabul etseler de, bu konuda eldeki verilerin çoğu dolaylı göstergelerdi; kuramı doğrudan ispatlayan önemli testler yapılmamıştı. İki gelişme bu sorunun giderilmesini sağladı. Birinci gelişme, popülasyon genetikçilerinin genomdaki nötral değişimleri, adaptif değişimlerden ayırt eden basit istatistiksel testleri geliştirmeleri-



di. İkinci gelişme, yeni teknolojiyle birçok türden elde edilen tüm genomun sekansının yapılarak, istatistiksel testlerin uygulanabileceği büyük verilerin elde edilebilmesiydi. Yeni veriler, nötrallite teorisinin, doğal seçilimin önemini ve büyüklüğünü doğru tahmin edemediğini gösteriyor.

California Üniversitesi, Davis'ten David J. Begun ve Charles H. Langley başkanlığındaki bir grup, meyve sineği *Drosophila*'nın iki türünün DNA frekanslarını karşılaştırdı. Her iki türde yaklaşık 6000 genin analizini yaparak ortak atadan ayrıldıklarından beri hangi genlerin farklılaştığını belirlediler. İstatistiksel bir test uygulayarak, 6000 genin en az %19'unda nötral evrimin söz konusu olmadığını, yani incelenen genlerin beşte birinde doğal seçilimin evrimsel farklılaşmayı yönettiğini belirttiler. Bu sonuç, nötral evrim kuramının önemli olmadığını ima etmiyor; sonuçta genlerin kalan %81'i genetik kayma nedeniyle farklılaşmış olabilir. Buna rağmen, doğal seçilimin türlerin farklılaşmasında çoğu nötrallite kuramcısının tahmin ettiğinden daha büyük rol oynadığını ispatlıyor. Benzer çalışmalar, evrim genetikçilerinin doğal seçilimin DNA sekanslarında bile evrimsel değişimi yönlendirdiği sonucunu çıkarmalarına neden olmuştur.

Doğal Seçilimin Genetiği

Biyologlar gagalar, kaslar ve beyinler gibi sıradan fiziksel özelliklere bakarak, doğal seçilimin evrimsel değişimi yönlendirdiğinden emin olsalar bi-

le, bunun nasıl olduğu konusuna hâlâ açıklık getirememektedirler. Yakın zamana kadar, örneğin adaptif evrimin altında yatan genetik değişimler hakkında pek fazla şey bilinmiyordu. Genetik alandaki yeni gelişmelerden sonra, biyologlar bu soruya doğrudan eğilebiliyor ve seçim konusunda bir kaç temel soruyu yanıtlamaya çalışıyorlar. Organizmalar yeni çevreye doğal seçilimle ne zaman adapte oluyorlar? Bunu bir kaç gende mi, yoksa birçok gende olan değişimle mi yapıyorlar? Bu genler tanımlanabilir mi? Aynı çevreye farklı organizmaların uyumu sırasında yine aynı genler mi rol oynuyor?

Bu sorular kolay yanıtlanamaz. Esas zorluk, faydalı bir mutasyondan kaynaklanan uygunluk artışının küçüklüğünün evrimsel değişimi oldukça yavaşlatmasıdır. Evrim biyologlarının bu sorunun üstesinden gelmek için kullandıkları bir yol da, hızla üreyen organizmaların büyük popülasyonlarını uygunluk farklılıklarının daha büyük olduğu, bu nedenle evrimin daha hızlı olduğu suni ortamlara koymak oldu. Popülasyonlarının büyük olması, sabit miktarda mutasyon oluşturmalarını sağlayacağından faydalı olacaktır. Mikrobiyal deneysel evrim çalışmalarında, aynı genetik yapıda olan mikroorganizma popülasyonları, uyum sağlamaları gereken yepyeni bir ortama konulurlar. Tüm bireyler aynı DNA sekansına sahip olduklarından, doğal seçim deney sırasında oluşan yeni mutasyonlarla gerçekleşmektedir. Araştırmacı böylelikle yeni koşullardaki üreme hızını ölçerek popülasyonun uygunluğunun zamana karşı değişimini gösterebilir.

"Tarafsız" Evrim ve Genetik Sürüklenme

Yakın zamana kadar biyologlar DNA'daki, birçok nesil boyunca varlığını sürdüren çoğu değişimin tarafsız olduğuna (sarı), yani hayatta kalma veya üreme üzerinde herhangi bir etkisi olmadığına inanıyorlardı. Bir toplulukta bu tür değişikliklerin karşımı nesilden nesile rastgele değişebilir ve bu süreç, genetik sürüklenme diye adlandırılır. Bol miktarda tarafsız mutasyon olduğu varsayımı bazı genetikçileri doğal seçimden çok genetik sürüklenmenin DNA'daki değişimlerin itici gücü olduğu görüşüne yönlendiriyor. Yeni deneysel bulgular da doğal seçilimin bu tür bir değişimde önemli bir etken olduğunu gösteriyor.

EVRİM İŞ BAŞINDA

Bazı hayvanlarda uyum değişimleri gözlemlenebilecek düzeyde hızlı gerçekleşmektedir:



Yaban Tavşanı (Avustralya) Avrupa'dan getirilen bu hayvanlarda Avustralya'nın kuru, sıcak iklimine uyum sağlayacak biçimde vücut ölçüsü, ağırlık ve kulak büyüklüğünde değişimler oluşmuştur.



Kızıl Tırnaşık Kuşu (Hawaii) En önemli meyve özü kaynağı yok olmaya başlayınca kuş, meyve özünü başka yerlerde aramaya yönelmiş ve gagası da daha kısalmıştır.



Deniz Salyangozu (New England) Muhtemelen yengeçlerce avlanmaya bir yanıt olarak salyangozun kabuğu biçim değiştirmiş ve kalınlaşmıştır.

Deneysel evrim konusunda en ilginç araştırmalar bakteriofajlarla, bakterileri enfekte edecek kadar küçük virüslerle yapılmıştır. Bakteriofajların genomlarının oldukça kısa olması nedeniyle, biyologların deneyin başında, sonunda ya da deney ortasında genomlarının sekansını tespit etmeleri çok kolaydır. Doğal seçilimin “yakalayıp” zamanla sürdürdüğü her bir genetik değişimi izleyebilmek mümkün olmaktadır.

Tekساس Üniversitesi, Austin'den K. Kichler Holder ve James J. Bull, birbirleriyle yakından ilintili iki bakteriofaj türü olan *OX174* ve *G4* üzerinde bir deney yaptılar. Her iki virüs de bağırsak bakterisi olan *Escherichia Coli*'yi enfekte ederler. Araştırmacılar, bakteriofajları çok yüksek sıcaklıkta tutarak bu yeni sıcak ortama uyum göstermelerini sağladılar. Her iki türde de yeni ortama uygunluk, deney süresinde belirgin şekilde arttı. Dahası, her iki türde de araştırmacılar aynı eğilimi gördüler: deneyin başlarında uygunluk hızla artıp, daha sonra, zamanla kesiliyordu. Holder ve Bull uygunluktaki artışa neden olan DNA mutasyonlarını harfiyen tespit edebilmişlerdi.

Yabani Hayatta Doğal Seçim

Deneysel evrim araştırmaları, doğal seçilimin oluşum sırasındaki emsalsiz görüntüsünü vermekteyse de, bu araştırmalar, tüm genom sekanslarının yenilenerek yapılabildiği basit organizmalarla sınırlıdır. Kimileri, deneysel evrim çalışmalarının doğal olmayan şekilde sert, belki de yabani hayatta karşılaşıldan çok daha sert olan seçim baskıları içerdiğini belirtmekte. Bu nedenle, seçim daha yüksek organizmalarda ve doğal şartlar altında incelenmek istendiğinden, evrimsel değişimin ağır hızını araştırmak için bir başka yol bulmalıyız.

Bunun için, evrim bilimciler, aralarında hali hazırda doğal seçim tarafından oluşturulmuş adaptif farklılıklar olan popülasyonlar veya türleri ele alıp, aralarındaki genetik farklılıkları incelerler. Örneğin, Michigan Eyalet Üniversitesi'nden Douglas W. Schemske ve Washington Üniversitesi'nden H.D. Bradshaw, iki misk otu türünü, yaban arısı tarafından polenlenen (tozaklanan) *Mimilus lewisii* ve arı kuşu tarafından polenlenen *M. Cardinalis*'i incelediler. Diğer türlerden elde edilen verilere göre, *Mimilus Genusu*'nda kuşlar tarafından polenlenme, arı polenlemesinden evrimleşmiştir.

M. Lewisii'nin pembe çiçekleri, *M. Cardinalis*'in de kırmızı çiçekleri olduğundan sırf çiçek rengi bile, polenleyenin farklı tercihte bulunmasını açık-

layabilir. Schemske ve Bradshaw iki türü çaprazladıklarında, renk farklılıklarının Yellow Upper ya da YUP diye adlandırılan tek bir genden kaynaklandığını gösterdiler. Bu bulgular ışığında, araştırmacılar iki tür kırma geliştirdiler. Birincisinde, YUP geni *M. Cardinalis*'ten, genomun kalanıysa *M. Lewisii*'den gelmekteydi. Kırmanın çiçeği turuncuydu. İkinci kırma ise birincisinin tam tersiydi: YUP geni *M. Lewisii*'den, genomun kalanı da *M. Cardinalis*'ten geliyordu. Bu kırmanın çiçekleri pembeydi.

Kırmalar doğada yetiştirildiklerinde, araştırmacılar YUP geninin, çiçeğin ziyaretçisinin üzerinde büyük etkisi olduğunu gösterdiler. *M. Cardinalis*'in YUP genini taşıyan *M. Lewisii* bitkilerini ziyaret eden arı kuşu sayısı, saf *M. Lewisii* bitkilerininkinden 68 kat fazlaydı. *M. Lewisii*'nin YUP genini taşıyan *M. Cardinalis* bitkilerindeyse, yaban arısı ziyaretleri 74 kat artmıştı. Bu nedenle artık, *M. Cardinalis*'in kuşlar tarafından polenlenmesinin evrimleşmesinde YUP'un önemli rol oynadığı konusunda hiçbir şüphe bulunmamaktadır. Schemske ve Bradshaw'ın çalışması doğal seçilimin bazen görünürde oldukça basit genetik değişikliklerden uyumluluklar oluşturabildiğini göstermektedir.

Türlerin Kökeni

Darwin'in doğal seçim konusunda ortaya attığı en cesur savlardan biri de, türlerin nasıl ortaya çıktığını açıklamasıydı. Ne de olsa başyapıtının başlığı *Türlerin Kökeni*'dir. Gerçekten de açıklamakta mıydı? Türlerin oluşumunda, yani tek genetik kökenin ikiye ayrılmasında doğal seçilimin rolü nedir? Bugüne değin, bu sorular, evrim biyolojisi araştırmalarının önemli bir alanını temsil etmektedir.

Bu soruların yanıtlarını anlamak için, evrim bilimcilerin “türlerden” ne kastettikleri konusunda net olmak gerekir. Darwin'in aksine, biyologların çoğu genellikle biyolojik türler kavramını benimserler. Burada kritik nokta, türler arasında yeniden üretici izolasyon olduğudur, yani genetik özellikleri onların birbirlerinden gen alıp vermelerini engeller. Bir başka deyişle, farklı türlerin farklı genetik havuzları vardır. Bu izolasyonun oluşması için, Darwin'in *Türlerin Kökeni* adlı eserinde çok iyi betimlediği gibi, iki popülasyon arasında coğrafik izolasyon olması gerektiği düşünülmektedir. Açık ki, Galapagos Takımadaları'ndaki farklı adalarda yaşayan ispinozlar, ancak coğrafik izolasyondan sonra, bugün gözlemlediğimiz farklı türlere ayrıştılar.

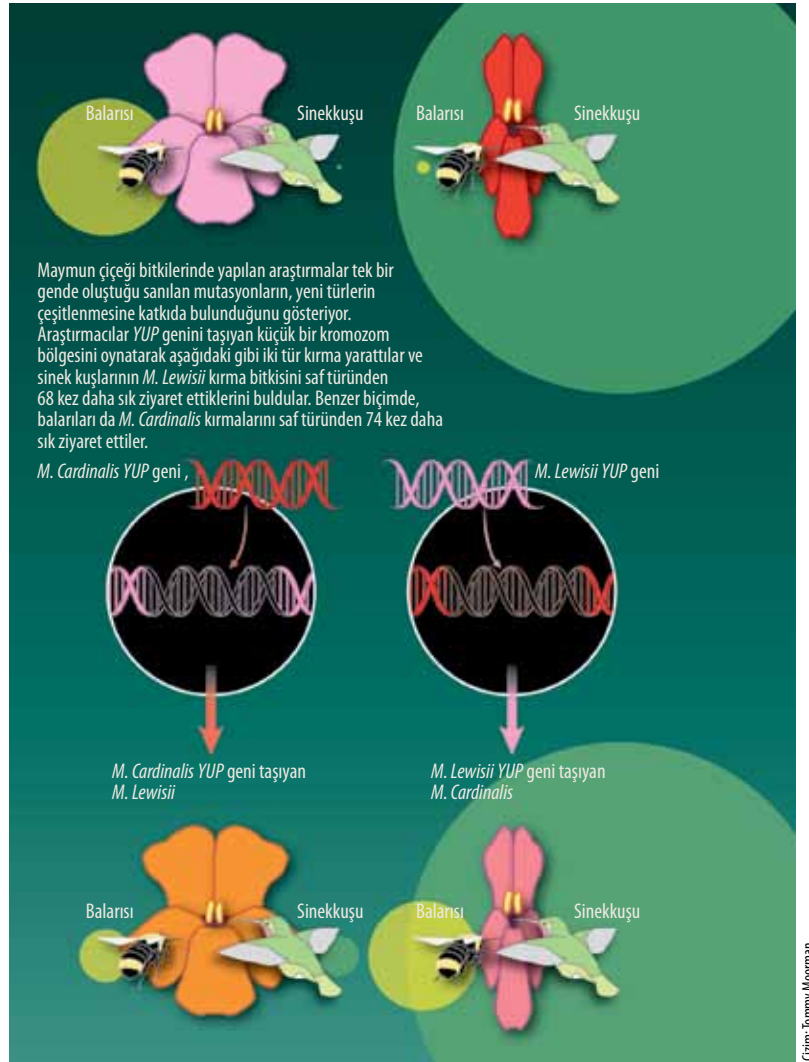
Bir kere oluştuktan sonra, izolasyon bir kaç şekli alabilir. Örneğin bu iki tür, coğrafik olarak aynı

verde bulunsalar, eşleşme döneminde bir türün dişileri, diğer türün erkekleriyle eşleşmek istemeyebilirler. Bir kelebek türü olan *Pieris Occidentalis*'in dişileri, büyük ihtimalle her iki türün farklı kanat desenleri olması nedeniyle, ilişkili tür olan *P. Protodice*'in erkekleriyle eşleşmeyeceklerdir. Şayet iki tür eşleşse ve döllenme gerçekleşse de kırmaların yaşayamaması ya da kısırılığı izolasyonun bir başka şeklini oluşturacaktır. Oluşan kırmaların ölmesi ya da kısırılığı sonucunda bir türün genleri diğer türe geçemeyecektir. Bu durumda, çağdaş biyologlar için, doğal seçilimin türlerin kökenini yönlendirip, yönlendiremediği sorusu, doğal seçilimin izolasyonun kökenini yönlendirip yönlendirmediğine indirgenmiştir.

20. yüzyılın büyük bölümünde çoğu evrim bilimci bunun yanıtının "hayır," olduğunu düşünmekteydi. Aksine, genetik kaymanın türlerin oluşumunda kritik bir unsur olduğuna inanıyorlardı. Türlerin kökeni üzerine yakın zamanda yapılan araştırmalardan elde edilen en ilginç bulguların biri, türlerin oluşumunu genetik kaymanın yönlendirdiği savının belki de yanlış olduğu, aksine, doğal seçilimin türlerin oluşumunda büyük rol oynadığıdır.

Buna iyi bir örnek de, yukarıda söz edilen iki misk otu türünün evrim tarihidir. Polenleyen nadiren yanlış misk otu türünü ziyaret ettiklerinden, her iki tür arasında neredeyse tamamıyla izolasyon oluşmuştur. Her iki tür Kuzey Amerika'da aynı yerde bulunsalar da, *M. Lewisii*'yi ziyaret eden yaban arısı neredeyse hiçbir zaman *M. Cardinalis*'e uğramaz. Aynı şekilde *M. Cardinalis*'e uğrayan bir arı kuşu ise neredeyse hiçbir zaman *M. Lewisii*'yi ziyaret etmez. Böylelikle bu iki türün arasında nadiren polen nakli olur. Gerçekten de Schemske ve arkadaşları her iki tür arasındaki gen akışındaki engelin %98'inin polenleyen farklılıklarından kaynaklandığını gösterdiler. Bu durumda, doğal seçilimin, polenleyen farklılıklarındaki adaptasyonu şekillendirdiği ve güçlü bir izolasyona neden olduğu konusunda hiçbir şüphe yoktur.

Doğal seçilimin, türlerin oluşumundaki rolünü doğrulayan bir başka delil de hiç beklenmedik bir alandan gelmiştir. Geçtiğimiz on yıl boyunca, ben de dâhil olmak üzere, bazı evrim genetikçileri kırma kısırılığı ya da ölümüne neden olan yarım düzine gen tespit ettiler. Çoğunlukla meyve sineği *Drosophila* türlerinde araştırılan genler, tür içinde bir takım normal işlevlere sahiptirler: Bazıları enzimleri, diğerleri yapısal proteinleri ve diğerleri de DNA'ya bağlanan proteinleri kodlar. Bu genlerin



Sarı ve yeşil dairelerin alanları çiçek tozu taşıyıcılarının gezinti sıklığını göstermektedir.

iki çarpıcı özelliği bulunmaktadır. Birincisi, kırmada sorun yaratan genlerin büyük bölümünün çok hızlı farklılaştığı görülmüştür. İkincisi, popülasyon genetikçilerinin testleri, bunların hızlı evrimleşmesinin nedeninin doğal seçilim olduğunu göstermiştir.

Misk otu ve meyve sineği kırma kısırılığı üzerine yapılan çalışmalar, doğal seçilimin türlerin oluşmasındaki rolünü sergileyen ve artmaya devam eden literatür dağarcığının ancak en üstteki tabakasını daha yeni yeni kaldırmaya başlamıştır. Gerçekten de, biyologların çoğu, doğal seçilimin sadece türler içindeki evrimsel değişimi değil, yeni türlerin oluşumunu da yönlendiren temel evrimsel güç olduğu konusunda hemfikirler. Bazıları doğal seçilimin ikna ediciliğini ya da uygunluğunu sorgulasalar da, geçtiğimiz birkaç on yıl boyunca, evrim biyologları arasındaki statüsü, ironik de olsa, daha da güçlenmiştir.

Türleşme ve Tek Gen

Vahşi ortamda nadiren melezlenebilen Maymun çiçeğinin iki türü yalnızcakt üremelerini çiçek tozu taşıyıcıların farklı olmasına borçludurlar: balarıları hemen her zaman *Mimulus lewisii* bitkisini polenlerken kuşlar bu bitkiyi neredeyse hiç polenlemez. *M. cardinalis* için bu durum tam tersidir. Çiçek rengi büyük ölçüde farkları açıklamakta ve bu renk farkı hemen hemen *YUP* adı verilen tek bir gen tarafından denetlenmektedir.