
Evrimsel Biyoloji Yazıları
Yayına Hazırlayan
Ergi Deniz Özsoy
BilgeSu
Evrimsel Biyoloji Yazıları
Ergi Deniz Özsoy
BilgeSu

Evrimsel Biyoloji Yazıları

Yayına Hazırlayan
Ergi Deniz Özsoy

ISBN 978–9944–795-42-5

© BilgeSu Yayıncılık

1.Baskı, 2012 (1000 adet)

Ataç 2 Sokak 65/1
Kızılay-Ankara
Tel : 312. 425 93 76
Faks : 312. 425 93 77
e-mail: bilgesu@bilgesuyayincilik.com.tr

Kapak
Ali İmren

Dizgi
Turgut Kaya

Baskı
Özkan Matbaacılık
Tel: 312 395 48 91

Evrimsel Biyoloji Yazıları

Yayına Hazırlayan
Ergi Deniz Özsoy

BilgeSu
Ankara 2012

İÇİNDEKİLER

Önsöz 7

1. Evrimsel Biyolojinin Genel Tarihi 11

2. Doğal Seçilim 39

3. Adaptasyon 55

4. Evrimsel Gelişim Biyolojisi 69

5. Evrim, Irk ve Irkçılık 97

6. Evrim'i Kavramanın Önemi ve Yaratılışçılık 115

ÖNSÖZ

Büyük evrimci Theodozius Dobzhansky'nin, Yirminci yüzyılın ilk çeyreğinin sonuna doğru, genetiğin temel sorunsallarını sonraki on yıllar boyunca belirleyecek çalışmaların yapıldığı, genetiğin büyük ismi Thomas Hunt Morgan'ın Kolombiya Üniversitesi'ndeki "fly room"una gelmesini izleyen on yıl içinde, popülasyonların genetik çeşitliliğinin evrimleşme süreçleri çerçevesinde türleşmeyi modellediği, *Türlerin Kökeni*'nden sonra evrimsel biyolojiyi en çok etkilemiş olan kitabını yayımladığı dönemde, Türkiye'deki evrimsel biyoloji birikimi hangi düzeydeydi?

Bu soruyu yanıtlamadan önce, Dobzhansky'nin durduğu bu tarihsel kırılma noktasında, evrimsel biyolojinin ne durumda olduğuna dikkatimiz çekmemiz gerekmektedir. Charles Darwin'in *Türlerin Kökeni*'nin evrimsel biyolojinin temel çalışma nüvelerinin büyük ölçüde çerçevesini çizdiği herkesçe bilinen bir konudur. Bununla birlikte, biyolojik bir özellik durumundaki kalıtılan çeşitlilik durumlarının kuşaklar boyunca izleyeceği oransal büyüklük yollarını izah eden determistik bir süreci tanımlayan mekanizma olarak doğalseçilimin ortak bir atadan türeyiş ölçüsünde yaygın bir kabule ulaşması ise, ortak kökenin ezici kabulünün altını çizen ve 1859'u izleyen bir kaç on yıldan sonrasına denk gelmektedir. Aslında seçilim, matematiksel öğelerle tanımlanan deterministik bir süreç şeklinde, bir popülasyondaki ölüm ve üreme hızlarının bileşik fonksiyonunun genetik değişkenlikle ilişkilendirilmesiyle, büyük istatistikçi ve genetikçi Ronald Aylmer Fisher tarafından, 1930'da yayımlanan kitabında geleneksel-evrimsel genetikteki- tanımına kavuşmuştur. Aynı yıllarda, Sewall Wright sonlu büyüklükteki popülasyonlardaki rastlantısal durumların seçilim ve genetik sürüklenme ilişkisi temelinde evrimleşmeyi ortaya koymaktaydı. Yine bu iki kurucu babayla aynı dönemde, özellikle Fisher'in çalışmasına önemli bir ek şeklinde, seçilim yoğunluğu katsayıla-

rının hesaplanmasına ilişkin bağıntıları ortaya koymasıyla John Burden Sanderson Haldane öne çıkmaktaydı. Evrimsel biyolojinin genetikleştirilmesindeki bu en önemli üç kurucu babanın çizdiği kuramsal çerçeve, 30'ların sonu ve 40'ların ilk yılları göz önüne alındığında, Theodozius Dobzhansky'nin ve Ernst Mayr'ın biyolojik tür kavramını biçimlendirip olgunlaştırdığı, George Gaylord Simpson'un fosil kayıt üzerine popülasyon genetik açıdan odaklandığı bir sentetik kavrayışa, evrimsel biyolojinin Modern Sentez'ine yol açacaktır. Sentez'in evrimsel biyoloji pratiği açısından ortaya koyduğu en önemli sonuç, hiç şüphesiz ki, Dobzhansky ve Mayr üretiminin altını çizdiği biyolojik tür kavramının biçimlenmesi ve klasik, Platonik ideların özel yaratılış kategorilerine dönüştüğü taksonomik birimlerin ifade ettiği Linneaus sınıflandırmasının, Mayr tarafından, evrimsel süreklilikle tanımlı biyolojik değişkenlik tayfının coğrafi dağılımla anlamlandırıldığı bir evrimsel sınıflandırma şeklinde ortaya konmasıdır. Darwin'den itibaren sentez dönemi olarak adlandırılan büyük sıçrama yıllarına bakıldığında, Dobzhansky'nin " Evrim ışığı altında bakmasızın biyolojideki hiç bir şey anlamlı değildir" meşhur sözünün ifade ettiği, evrimsel biyolojik açıklama biçimleriyle olağanüstü zenginleşen biyoloji biliminin bizatihi evrimini görmemek olanaksızdır. Şimdi, sentezin ortaya koyduğu çerçevenin yarattığı ivme ile, geniş anlamıyla biyolojik çeşitliliği kavramak bahsinde 40'lardan itibaren hayli sağlam bir genel açıklama biçimine hızla dönüşen evrimsel biyolojinin günümüze dek uzanan tarihine de baktığımızda; doğal seçilimin salt açıklama biçimi olmaktan çıkıp, özellikle Motoo Kimura üzerinden gelişen genetik sürüklenme temelli moleküler evrimleşmeyi izah eden nötral teorinin, seçilimci-nötralist dikotomisinin diyalektiğine işaret eden 1960 sonları ve 90'ların sonuna dek devam eden yoğun tartışmalara-ki bu tartışmalar hem protein hem de DNA evrimi üzerinden tanımlanabilir- damgasını vurduğu bir dönem karşımıza çıkar öncelikle. Dönemin tipik özelliği, aralarında seçilimsel açıdan avantaj farkları bulun-

mayan, yani nötr DNA değişimlerinin rastlantısal genetik sürüklenme ile yol açtığı bir evrimleşme kavrayışı ve bu kavrayışa verilen seçilimci bir tepkinin varlığıdır. Bu seçilimci-nötralci kutuplaşmasının evrimsel biyolojiye kazandırdığı yeni bakış açısı, salt nötralizm yani sıfır seçilim modelinin, doğal seçilimin DNA düzeyindeki varlığının ve tipinin tanımlanmasına olanak veren hipotezlerin sınandığı istatistiksel genetik testleri üretmesidir. Böylece, gen ve hatta genom düzeyindeki seçilimin varlığı, şiddeti ve yönünün belirlenmesine ilişkin önemli bir metodolojik gelişme ortaya konmuş bulunmaktadır. İkibinli yıllar ise, genellikle başlangıcından itibaren, genom çağı olarak adlandırılır ve seçilimsel ve seçilimsel şiddeti düşük süreçlerin genomik değişkenlik-biyolojik özellik ilişkisi çerçevesinde ele alındığı bir evrimsel genomiğin ortaya çıkış ve gelişimine karşılık gelmektedir. Artık sayısı günümüzde yüzlerce sayıda, birbirinden son derece farklı türün tüm genom dizisi elde edilmiş durumdadır ve bu diziler yoğun evrimsel çalışmaların konusudurlar. Ayrıca, geçtiğimiz son yirmi yıl içinde, canlıların birbirinden tamamen ayrık belirgin tipler halinde algılanmasının kökeninde yatan çarpıcı morfolojik ve anatomik farklılıkların temelindeki görünürdeki vücut planı farklılıklarının evrimsel süreçlerle açıklanabildiği bir evrimsel gelişim biyolojisi-henüz emekleme dönemlerinde olmakla birlikte, ortak kökenden türeyek evrimleşmenin versiyonlarını açık biçimde gösterebilmesiyle- vaat ettiği heyecan verici bilgi zenginliğiyle ortaya çıkmış durumdadır. Evrimsel biyolojinin kabaca özetini verdiğimiz tarihinin, nihai olarak baktığımızda, biyoloji bilimi açısından ortaya koyduğu etkin sonuç nedir cinsinden bir soru sorabilir miyiz? Bunun yanıtı kesinlikle "evet" şeklinde olacaktır: etkin sonuçlardan ilki ve canlı özelliklerinin derinlikli ve insan- merkezli olmayan bakışla çalışılabilmesine olanak vermesiyle belki de en önemlisi her hangi bir biyolojik özelliğin ya da özellik durumunun (örneğin mitokondrinin "enerji fabrikası", nükleik asitlerin "bilgi içeren nihai şifreler" şeklinde tanımlandığı hücrenin ya da hücre tipinin) ancak tarihsel bir olabilirliğin (*con-*

tingency) ve zorunluluk yaratan süreçlerin ürünü olduğudur. Karmaşıklık algısı artık en yakın nedensel (*proximal cause*) süreçlere ilişkin tarihsiz bir işlevsellik ile tanımlanamayacak ölçüde evrimseldir: Mitokondri endosimbiyotik bir ilişkinin sonucu olarak ortaya çıkmış bir organeldir ve *Escherischia coli*nin de dahil olduğu bir mor bakteriden türemiştir. Bir türün genomu dinamik tarihsel seçlim ve sürüklenme izlerini taşırlar ve yeni işlevler doğuran genler önceki genlerin biçim değiştirmiş türevleridirler. Yaşlanmayı etkileyen genlerin sayısı yüzlercedir ve bu genlerin çevreleriyle ve birbiriyle olan etkileşimlerinin evrimsel sonucu olan genetik ağlar ile yaşlanma durumları ortaya çıkmaktadır. Thomas Hunt Morgan'ın yirminci yüzyılın ilk çeyreği içinde "Fly room"da, kalıtımın kromozom teorisini ortaya koyarken kullandığı model organizma *Drosophila melanogaster*'in genomunun yaklaşık yüzde altmışı insan genomuyla benzerlik gösterir ve bugün kanser ve metabolik sendrom gibi modern çağ hastalıklarına ilişkin çalışmalar Drosophila ile yapılabilmektedir. İnsan haricindeki primatların penisinde eşeysel rekabet sonucu evrimleştiği düşünülen dikenimsi yapılar vardır ve insan penisinin "dikensiz" oluşu androjen reseptörü kodlayan bir gene yakın DNA dizisindeki bir kopmadan kaynaklanmaktadır ve kopuş diğer primatlarda yer almamaktadır. Bu liste sayısız örneklerle çoğaltılabilir ve böylesi örnekler Dobzhansky'nin meşhur sözünü defalarca aksettirecektir. Şimdi baştaki sorumuzu, 30'lara ilişkin çerçevesini genişleterek tekrar soralım: Türkiye'deki evrimsel biyolojinin birikimi hangi düzeydedir ya da, en azından, evrimsel biyolojinin Türkiye'deki algılanma biçimlerinin tarihsel kökleri nerede yatmaktadır?

Biyolojik evrim düşüncesinin memlekete girişine baktığımızda, *Türlerin Kökeni*'nin yayımlanmasının yaklaşık on yıl sonrasında Ahmet Mithat Efendi'karşımıza çıkacaktır. Ahmet Mithat Efendi'nin çıkardığı dergi olan *Dağarcık*'ta evrim konusundaki kendi yazıları ile ilk kez 1870'de biyolojik evrim düşüncesi

Osmanlı dünyasına girmiştir. Ahmet Mithat Efendi, hayli polemikler yaratacak olan, *Dağarcık*'ın 1870-1873 arasında yayınlanan on sayısında, evrimi hayli kaba ve Darwin'in üretimiyle ilgisiz bir bağlamla aktarır Osmanlı entelektüel dünyasına. Ona göre, insan ve orangutan biribirine çok benzemektedir ve Bedevilerin "kuyruklu" dur. Ortak köken kavramı bulanık şekilde verilir ve yazıların tonu kışkırtıcıdır. Sonuç itibarıyla, Ahmet Mithat Efendi'nin evrimi aldığı kaynaklar ikincil nitelikte ve bir tür avam doğa dinciliği yapan kaba pozitivist Alman ve Fransız "bilimci materyalizmi"nin propoganda ve polemik kitapları ya da makaleleridir. Dönemde ingilizce bilen hemen hiç entelektüel olmaması da –Osmanlı aydınlarının neredeyse tamamı Frankofondur– Darwin'in asıl kaynaklarından Osmanlıya girememesinin önemli bir nedeni olarak gözükmektedir. Burada hemen belirtilmesi gereken nokta, "bilimci materyalizm"in diyalektik materyalizmle bir ilgisinin bulunmadığıdır. Bilimci materyalizm tarihten bağımsız, hadiselerin nedenleri açısından yakın nedensellik tonu yüksek bir deterministik doğacılık vurgusu yapan, beşeri alanları da bu tür açıklama biçimlerine dahil eden bir bakış açısıyken, diyalektik materyalizm, başlangıç koşullarının hadiselerin ortaya çıkışları açısından belirleyici olduğu, determinizmin tek açıklama biçimi olmayıp tarihselliği ifade eden rastlantısallığa da başvuran, kategorik "evet" ya da "hayır" yerine "evet ve hayır"ların çelişkisinden tarihsel bağlamın izlerini taşıyan yenilik çıkacağını öngören bir metodolojik bütündür. Diyalektik materyalizm evrimsel biyolojinin tarihselliğine uygun araştırma metodları üretebilirken[13], "bilimci materyalizm", evrimsel biyolojinin ilkelerini "güçlü olan ayakta kalır" karikatürüne indirgeyen ve beşeri alanlara taşıyan avam algının birincil nedendir denebilir. Ancak Osmanlıdaki avam evrim kavrayışının yaygınlığı yanında, özellikle 1908 ertesinde yayımlanan kimi ciddi evrimsel biyoloji kitapları da vardır. Örneğin doğa tarihi öğretmeni Suphi Edhem'in 1911 tarihli, Manastır'da basılan *Darvenizm* adlı kitabı, hem içeriğinin biyolojik evrimle dolu oluşu hem de özellikle Ulema tepkisi karşısındaki

cesareti bakımından dikkati çeken bir ilk kitap olarak karşımıza çıkar. Suphi Edhem, aynı yıl içinde bir de *Lamarkizm* adlı bir küçük kitap da yazacak ve yayınlayacaktır. Yine bir diğer önemli dönem eseri, hekim Ethem Necdet'in yazdığı ve Abdullah Cevdet'in İçtihat Evi yayını olarak çıkan 1912 tarihli *Tekamül ve Kanunları* isimli kitaptır. Bu kitap, sosyal konuları biyolojik evrimimin açıklama biçimlerinin yozlaştırıldığı "güçlü olan ayakta kalır" avamlığına çekmeyen, aksine, fenbiliminin sınırları içinde kalması gereken biyolojik nitelikteki evrim vurgusuyla dikkati çeken önemli bir eserdir.

Ahmet Mithat Efendi'den Cumhuriyet'e dek geçen süredeki evrim algısına baktığımızda, genellikle evrimci bakışın hakim olduğu tartışmalar, makaleler ve kitaplarda değinmelerin ve bunlara karşı Ulema tarafından verilen, materyalizm ve ateizm suçlamalarının altını çizdiği tepkilerin vücut bulduğu bir düşünce iklimi karşımıza çıkar. Öyle ki, 1913'de Kastamonu'daki bir lise biyoloji öğretmeni evrimden ve Darwinden söz etmesi dolayısıyla, ateizm ve materyalizm suçlamasıyla aynı lisenin Arapça öğretmeni tarafından idareye şikayet edilir. Bu şikayeti protesto eden matematik öğretmeni ve öğrencilerin tepkisi gösteriye dönüştüğünde ise kolluk kuvvetleri her üç öğretmeni de tutuklamıştır.

Geçmişin birikimi bu yönde iken Cumhuriyet'ten itibaren durum nasıl şekil almıştır? Öncelikle Cumhuriyetin Türk tarih tezinin ortaya konduğu kitaplarda insanın kültürel değişimlerinin anlatısına ya da uygarlık oluşumu konsundaki yaklaşımların, başlangıç itibarıyla, insanın evrimi temasını işlediklerini belirtmemiz gerekmektedir. Tarih tezinin bütününe ilişkin tartışmaları konumuzun ana ilgisine uzaklığı dolayısıyla bir yana bırakırsak, Paleolitik ve Neolotik değişim ve dönüşümleri insanın tarihsel yüzlerinin parçası saymak yanlış olmasa gerek. Bununla birlikte, Cumhuriyetin erken ve sonraki dönemlerinde, şiddedeti zaman içinde dalgalanmakla birlikte, kaba evrimciliğin yine çeşitli siyasal, hukuki, toplumsal değişim modelleri

bütünü içindeki beşeri üretim tartışmalarına yansıyan güçlü bir damarının bulunduğunu da söylememiz gerekir. Fakat bu kez, büyük oranda Cumhuriyet öncesinde yaratılmış olan evrim bilgi kirliliğinin mirasının sirayet etmesini hem entelektüel hem de popüler zihinler açısından önleyebilme potansiyeline sahip dönüşümlerin varlığı karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan birincisi, Nazizm'den dolayı Türkiye'ye gelen Alman Yahudilerinin, çok daha az olmakla birlikte Yahudi olmayan Nazi karşıtı Almanla birlikte yarattığı büyük kurumsal ve bilimsel katkıdır: dünya ölçülerine yaklaşan üniversite kurulması fikrini hayata geçiren bu bilimciler arasında, evrimsel biyolojinin dönemin doğru kuramsal ve pratik donanımına sahip olanlar vardır ve bunların evrimi de doğru aktaracak öğrencileri yetiştirmesi yoluyla biyoloji bilimini Türkiye'de başlatması mümkün olmuştur. Örneğin, Nazi karşıtı bir Alman genetikçi ve zoolog olan Curt Kosswig'in Türkiyede biyoloji ve evrimin bilimsel inşası için yaptığı katkıların önemi tartışılamaz niteliktedir. İkinci dönüşüm ise, Cumhuriyet öncesi eski kuşaktan gelen ya da Cumhuriyetin ilk kuşağı içinde yer alan ciddi entelektüellerin, biyolojik evrimin doğru bilgilerini içeren kimi katkılarının popüler alandaki yansımalarının sonucunda olmuştur denilebilir. Burada aklımza gelen ilk örnek, Galip Ata'nın yazdığı ve ilk Türkiye'deki ilk Darwin biyografisi olması nedeniyle adını anmamız gereken, küçük hacmine karşın şaşırtıcı bilgi içeriğiyle karşımıza çıkan "Darvin" adlı eserdir. Bu biyografi, 1931'de önce Maarif Vekaleti, hemen yine aynı yıl içinde bu kez "Milli Eğitim bakanlığı yayını olarak iki kez basılmıştır. Ayrıca, tek parti döneminde faalite geçen ve kapatılan muazzamYurt ve Dünya dergisinin kadrosundan da evrime ilişkin bilimsel düzeyi oldukça sağlam makalelerin de üretildiğini hemen belirtelim. Genç yaşta kaybettiğimiz büyük antropolog Muzaffer Şenyürek'in, Yurt ve Dünya'nın Şubat 1944 tarihli, 39 uncu ve Darwin kapaklı sayısındaki yazısı bugün bile parlaklığı ve sağlamlığınıdan bir şey yitirmemiş durumdadır.

Galip Ata'nın seksen yıl önce yayınlanan"*Darvin*" biyografi-

sinden ve Muzaffer Şenyürek'in Yurt ve Dünya'sından günümüze geldiğimizde ise vaziyet nasıl gözükmektedir? Hemen göreceğimiz şey, yaratılışçılığın 12 Eylül 1980 darbesi ile birlikte kurumlaşan bağnazlığın ve totaliterliğin verdiği imkanla hızlı yükselişidir. Özellikle,1985'te Milli Eğitim Bakanlığı'nca yaratılışçılığın resmen ders kitaplarına sokulmaya başlanılması, evrim eğitiminin ülkemizdeki tarihi açısından bir kırılma noktasıdır. Yaratılışçıların, "yaratılış bilimcilerin" her türden biyolojik malzemeyi sistematik bir çarpıtmayla evrimsel biyoloji karşıtlığının malzemesine dönüştürmesinin kitap hali olan "Yaratılış Modeli", Milli Eğitim Bakanlığı tarafından 1985'te çevirtilir ve binlerce kopyasının öğretmenlere dağıtılır. Bu durum, "güçlü olan ayakta kalır" avamlaştırmasının Türkiye"deki popülerliği de hesaba katıldığında, evrimsel biyolojinin, evrimsel genetikle 1930'larda örülmüş ve günümüze dek de hayli gelişip incelmiş kuramsal yapısını ve bu yapının ortaya koyduğu pratik sonuçların kavranmasını hayli güçleştirmektedir.

Elinizdeki kitap, evrim konusunda Türkiye'deki tarihsel bilgi kirliliğinin yarattığı sis perdesini aralama yolundaki mütevazı adımlardan biri olmaya aday bir öğrenci üretimini temel almaktadır. Hacettepe Üniversitesi Biyoloji Bölümü öğrencilerinin 4-5 Mayıs 2011 tarihinde düzenlemiş oldukları Evrimsel Biyoloji Öğrenci Kongresi için hazırlanmış sunumların ayrıntılı bilgilerini içeren derlemelerinden oluşmuştur. Kitabın en önemli özelliği, tamamen öğrenci üretimine dayanan, biyoloji öğrencilerinin evrimsel biyolojiye olan mesleki ilgilerinin yansıması, ideolojik çatışmalara bulaşmamış bir kongrenin ürünü olmasıdır. İçeriğiyle evrimsel biyolojinin genel bilimsel kapsamını özetleyen bir bütün sunmaktadır. Seçilen başlıklar, evrimsel biyolojinin bilim olarak tarihsel gelişiminden ilgili olduğu teknik ana başlıklara dek uzanmaktadır. Dolayısıyla bu kitap evrimsel biyolojiye giriş niteliğindeki temel bir çerçevenin sunumunu yapmaktadır. Kitap, evrimsel biyolojinin tarihinin özetlendiği bir bölümle başlıyor, *Türlerin Kökeni*'nde dile getirilmiş doğal

seçilim algısının tarihsel ve modern yüzlerine değinen ve seçilimin bir sonucu olan adaptasyonu seçilmiş açık örneklerle izah eden iki temel bölümle devam ediyor. Canlının embriyonik gelişiminin, ortak köken ve seçilimle türeme bağlamlarından bağımsız olamayacağını, aslında pek çok evrimsel yeniliğin gelişimsel genetik değişimin sonucu olduğunu vurgulayan evrimsel gelişim biyolojisini güzel örneklerle tanıtan bir bölümle devam ediyor kitap. Ardından, insanlığın ortak köken ilişkisi çerçevesini çok iyi çizen Afrika kıtasından çıkış hipotezinin doğal bir sonucu olarak "ırk" kavramının biyolojik geçersizliğini ortaya koyan bölüm izliyor. Irk kavramıyla yapılan insan sınıflandırmasının geçersiz kılınması ve ırkçılığın bu nedenle temelsiz yapısının ortaya konması evrimsel biyolojinin tipik bir başarısı olarak karşımıza çıkıyor. Kitabın son bölümü ise, biyoljinin bilimsel dilini kullanırmış gibi yapan, aslında bilimsel bilgiyi bağlamından çıkarıp bilgi kirliliği yaratan ve inanç sömürüsünü temel alan yaratıcılık karşısında evrimin yanıtlarını aktarıyor.

Son olarak belirtmeliyim ki, Evrimsel Biyoloji Kongresi için yaptığım danışmanlık beni çok mutlu eden bir sonuca, evrimsel biyolojinin bilimsel kavranışı yolundan ayrılmayan idealist, meslektaş adayı öğrenci arkadaşlarımla birlikte üretmenin heyecanına ulaştırmıştır. Hepimizde oluşan bu ortak üretim heyecanının, evrimsel biyolojinin konularına özelde girebilecek fikirsel ortamları ilgili okurda oluşturacağını umduğumu da eklemek isterim.

Ergi Deniz Özsoy

1. EVRİMSEL BİYOLOJİNİN GENEL TARİHİ

Özge Selin Batur,
Duygu Akdoğanbulut,
Meltem Yorgancı,
Ayşe Cantaş

Evrimsel biyolojinin genel tarihini şu başlıklar altında ele alabiliriz: Evrim düşüncesinin ortaya çıkışı ve gelişimi, Darwin'in teorisi ve sonrasında bilim dünyasındaki tartışmalar, Darwin'den sonraki evrimsel düşünce yaklaşımları, Mendel kalıtımı ve bunun evrimsel biyolojiye katkısı, bilim dünyasının ikiye ayrılması: Mendelciler ve biyometriciler, populasyon genetiği ve modern sentez, populasyon genetiği çalışmaları ve moleküler biyoloji alanındaki gelişmeler, "Modern Bileşim" olarak adlandırılan sentez zamanlarından bugüne evrimsel biyolojinin izlediği yönler. Burada yapmaya çalıştımız şey, evrimsel biyolojinin genel tarihine ışık tutan önemli gelişmelere dikkat çekmek ve biyolojide kırılma noktası oluşturan bilim insanlarını tanımak ve bunların evrimsel biyolojiye katkılarını anlatmaktır.

Evrimsel biyoloji nedir? Çalışma alanları nelerdir?

Evrimsel biyoloji, biyoloji konularını, canlıların evrimini göz önüne alarak inceleyen bilim dalıdır. Son 50 yılda evrimsel biyoloji çok önemli gelişmelere sahne olan araştırma alanlarından biri ve bugün bu alan pek çok başka bilim alanında başvuru kaynağı olarak kullanılan bir kuramsal yapıya sahip. Tıp, eczacılık, tarım, hayvancılık, doğa koruma ve biyoteknoloji bu alanların başında yer alıyor (1).

Evrimsel biyoloji, disiplinlerarası bir alan olmasının yanı

sıra özde hem alan çalışmalarını hem de laboratuar çalışmalarını içine alır. Organizmalarla yürütülen çalışmalar evrimsel bir çerçevede değerlendirilerek, biyologların yanı sıra paleontologlar ve jeologlar da bu alanda çalışmalarını yürütürler. Bu bilim insanları çeşitli fosilleri kullanarak evrimin dinamiklerini anlamaya çalışır (2).

Evrim düşüncesinin ortaya çıkışı ve gelişmesi

Darwin'in görüşünü belli çerçeveye yerleştirebilmek için bu görüşü dünya tarihindeki diğer görüşlerle karşılaştırmamız gerekmektedir. Bir başka deyişle, evrim kuramının şekillendirildiği tarihsel koşullara göz atılmalıdır.

Evrim teorisi fikrinin oluştuğu tarihsel ortam koşulları

Türlerin Kökeni yayınlandığı dönem için gerçekten de köklü değişiklikler öngörmekteydi, o sadece mevcut bilimsel görüşlere meydan okumuyor aynı zamanda, batı düşünsel kültürünün önemli ayaklarından birinin köklerini derinden sarsıyordu. Darwin'in canlılar hakkındaki görüşü, o zamana kadar kabul edilen görüşlere tamamen zıttı. O zamana kadar, dünyanın sadece birkaç bin yıl yaşında olduğuna ve evrendeki tüm canlıların yaratıcı tarafından bir hafta içerisinde tek tek meydana getirildiğine ve değişim göstermeyen bu canlı formlarının dünyaya yerleşerek çoğaldıklarına inanılmaktaydı. Darwin'in kitabı, dünya genelinde asırlardır kabul edilen bu görüşe meydan okudu (3).

Ayrıca, türlerin birbirleriyle etkileşim içinde olduğu, bu etkileşimlerin bir sistematiğe dayandırılması çalışmaları çok uzun zaman bilim insanlarının dikkatini çekmiş, araştırmalarına konu olmuştu.

Darwin öncesinde özellikle fosillerle yapılan çalışmalar evrimin temellerinin atılmasında önemli rol oynamıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar, daha sonrasında Darwin'i de et-

kileyecek olan üç temel akımın doğmasını sağlamıştır:

1. Katastrofizm

Bu yıllarda paleontolojinin temelleri Fransız anatomist George Cuvier tarafından atılmaya başlanmıştır. Cuvier jeolojik katmanlar arasındaki her bir sınırın, zaman olarak, sel baskınları ve kuraklık gibi felaketlere karşılık geldiğini ve o dönemde yaşayan türlerin çoğunun bu sebepler nedeniyle, ortadan kalkmış olduğu savunur. Her bir katman kendine özgü fosil gruplarıyla karakterize edilir ve daha derinlerdeki katmanlar günümüz canlılarıyla daha az benzerlik gösterirler.

2. Gradüalizm:

Katastrofizm teorisine rakip olarak doğan bu akımın öncüsü İskoç bilgin James Hutton'dır. Dünyada işleyen mekanizmalara bakarak, değişik yüzey şekillerinin oluşumlarının açıklanabileceğini söylemiştir. Gradüalizm'de yeryüzünün jeolojik özelliklerini açıklamıştır. Bu teori, "büyük bir değişikliğin, yavaş işleyen; fakat sürekli olan süreçlerin birikimin ürünü olduğunu" kabul eder.

3. Uniformatizm:

Darwin döneminin önde gelen jeologlarından İskoç bilgin Charles Lyell'in teorisidir. Lyell, gradualizm teorisini kendi uniformitarianizm teorisi ile birleştirdi. Bu fikre göre jeolojik süreçler, yeryüzünün tarihi boyunca değişmemiştir. Örnek verecek olursak, yıllar önce dağların oluşmasını sağlayan süreçler o zaman nasılsa, bugünde aynı süreçler hep benzer mekanizmayla oluşmaktadır.

Bu görüşler Darwin'in evrim teorisini oluşturduğu sürece katkı sağlamıştır. Hutton ve Lyell gözlemlerinden sonra öne çıkan şu iki önemli sonuçtan Darwin'in fazlasıyla etkilendiğini söyleyebiliriz:

I. Eğer jeolojik değişimler yavaşsa, dünya çok yaşlı olmalıdır.

II. Uzun zaman boyunca var olan süreçler, önemli bir değişim oluşturuncaya kadar eklemeler (adımlar) halinde ilerler.

Darwin bu iki sonuçtan fazlasıyla etkilenmiştir. Hatta evrim fikrinin temellerini oluştururken uniformatizmi benimsemiştir (4).

18.yüzyılın sonuna doğru: Lamarck'ın katkısı

Onsekizinci yüzyılın sonuna doğru farklı doğa bilimcileri evrimsel süreçlerden bahsetti. Fakat içlerinden sadece Lamarck canlıların bu süreci nasıl yaşadıklarına dair bir model öne sürdü. Bu modele göre, Lamarck iki önemli fikir ileri sürer: *Kullanılma ve kullanılmama fikri* ve *kazanılmış karakterlerin kalıtımı.* Bu fikre göre çevre koşullarıyla başa çıkabilmek için kullanılan karakterler güçlenmekte, kullanılmayanlar ise körelmektedir. Örneğin daha yüksekteki dallardaki yapraklara ulaşabilmek için zürafaların boylarının uzaması ve kazanılan bu karakterlerin de aktarılması gerektiğini söyler.

Darwin'in *Türlerin Kökeni* adlı eseri yayınlanmadan önce, evrimle ilgili en önemli yaklaşım Lamarck'a aittir. *Philosophie Zoologique* adlı kitabıyla önerdiği *"kazanılmış karakterlerin kalıtımı"* ilkesi onsekizinci yüzyılda evrim düşüncesinin en yüksek çıtası olarak kabul edilir. Çünkü Lamarck'ın evrimsel düşünce ile ilgili ileri sürdüğü fikirler yanlış olsa da, kendi içinde tutarlı bir evrimleşme (değişme) kuramının ilk kez Lamarck tarafından öne sürüldüğünü söyleyebiliriz (5).

Lamarck'ın Modeli gelişen evrim teorisinin kapsamına uymamakla beraber o dönemde canlıların evrimine dair, yanlış da olsa bir alternatif oluşturmuştur. Lamarck'ın görüşlerinin çürütülmesi August Weismann'ın yirminci yüzyıl başlarındaki

çalışmalarına atfedilir. Weismann yapmış olduğu deneyde 1500 farenin kuyruklarını 20 nesil boyunca kesmiş ve bunun sonucu olarak hiçbir farenin kuyruksuz doğmadığını bildirmiştir. Yani Lamarck'ın düşüncesinin aksine, sonradan kazanılan özelliklerin yavru döllere aktarılmadığını bir bakıma ispatlamıştır. Yaptığı deneyler sonucunda Weismann *germ-plasma teorisi*'ni ileri sürer. Bu teoriye göre kalıtsal özelliklerin eşey hücrelerinde bulunduğunu, kalıtsal bilgilerin ancak eşey hücrelerinden somatik hücrelere geçebileceğini, ters yönde bir bilgi aktarımı olamayacağını savunmuştur. Bu fikir *Weismann duvarı* olarak adlandırılmıştır. Weismann, eşey hücrelerinde bulunan germ plazmanın devamlılığını öne sürmüştür ki bu da yirminci yüzyılın ilerleyen dönemlerinde, içerilen genetik yapının tamamını ifade eden genom terimine karşılık gelecek bir kavramdır. Germ-plazma gibi bir cismin nesilden nesle aktarımı, kasların güçlenmesi gibi fiziksel bir sürecin nesiller arası devamlılığından daha kolay anlaşılabilen bir kavramdır (6).

Darwin' in evrim teorisini oluşturduğu tarihsel koşullardan kısaca sözettikten sonra, şimdi de fikrin ortaya çıkışı, genel olarak evrim teorisinin kapsamını basitçe özetleyerek teorinin ortaya konmasını izleyen sonraki yıllardaki tartışmalara değinelim.

Darwin, Beagle adlı gemi ile yaptığı kapsamlı gezi sırasında farklı coğrafyaları görme, gözlemleme ve bu kıtalardan koleksiyonu için çeşitli örnekler toplama fırsatı yakalamıştır. Gezi sırasında, kırılma noktası diyebileceğimiz, Galapagos Adaları'nda yaptığı gözlem ve incelemeler Darwin'i hayrete düşürecek ve fikrinin temel taşlarını yerine oturtmasına çok büyük katkıda bulunacaktır. Galapagos Adaları'nda gözlemlediği ispinoz kuşlarında Darwin'in dikkatini çeken çok önemli farklılıklar vardı. Bu kuşların gagaları yaşadıkları adadaki mevcut olan yiyeceklere göre farklılaşmıştır. Yaptığı bu gözlemler sonucu Darwin, evrimin mekanizmalarını anlayabilmek için adaptasyonların nasıl ortaya çıktığını açıklamanın gerekli olduğunu düşündü (7).

Beagle yolculuğundan sonra Darwin çalışmalarını, evrime

yatkın kanıtlar toplamaya ve bunların akla yatkın nedenleri üzerinde düşünmeye yönlendirdi. Eylül 1838'de, Thomas Malthus'un *Nüfusun Prensipleri Üzerine* (An Essay on The Principle of Population) başlıklı makalesini okumuştur ve "varolma mücadelesi" ile "doğal seleksiyon" fikirlerinin oluşumunda bu kitabın etkili olduğunu yaşam öyküsünde belirtmiştir. *Türlerin Kökeni*'nde Malthus'a atıflar yaparak, onun, kendisi üzerindeki etkisini göstermiştir. Ancak Darwin, kendisinin de *Köken*'de açıkça belirttiği üzere, varolma mücadelesi deyişini tamamen mecazi anlamda, karmaşık olan seçilim sürecini kolay biçimde izah etmek için kullanmıştır. Darwin ile aynı dönemde ve ondan bağımsız şekilde, türlerin "doğal seleksiyon" ile evrim geçirdiğini söyleyen Wallace da papaz Malthus'un aynı eserinden derin bir şekilde etkilendiğini söylemiştir.

Türlerin Kökeni ve yarattığı tartışmalar

Darwin'i *Türlerin Kökeni*'ni 1859 yılında yazmaya iten en önemli sebeplerden biri 1855 yılında genç Alfred Russel Wallace'dan (1823-1913) aldığı mektuptur. Wallace, daha önce de irtibatta olduğu Darwin'e bilimsel araştırmalar için gittiği Malezya'dan yazdığı mektupta, gönderdiği makalesini okumasını ve uygun bulması halinde bilimsel bir dergide yayımlamasını ister. Makaleyi okuyan Darwin, kendisiyle aynı fikirleri paylaştığını gördüğü Wallace'ın, kendisinin önüne geçeceğinin telaşına kapılır. Darwin'in arkadaşları, benzer düşüncelere sahip birileri bu teoriyi yayımlamadan önce Darwin'in yayımlaması için onu sürekli teşvik etmişlerdir (8). Öğüt ve yardım için başvurduğu arkadaşları Lyell ve Joseph Hooker, 1858'de Wallace'ın makalesiyle beraber, Darwin'in ilk taslaklarından bazılarını Linnaean Derneği'nin dergisinde yayımlatırlar. Böylece Darwin ve Wallace, doğal seleksiyon yoluyla evrimleşmeyi ilk olarak ortaya koyanlar olma ayrıcalığını paylaşırlar.

1859 yılında Darwin'in, dâhiyane kuramı *doğal seçilim yo-*

luyla evrim'i dünyaya açıkladığı *Türlerin Kökeni*' adlı kitabı, aslında türlerin zaman içerisinde nasıl dönüştüğünü açıklayan basit ama zarif bir modeldir (9). Darwin'in evrimleşme yaklaşımı en önemli mekanizması "doğal seçilim" olan, bütün canlıların, geçmişte yaşamış "ortak bir ata"dan değişerek geldiklerini söyleyen ve onları "ortak bir soy" yoluyla bağlayan bir teoridir. Türlerin birbirinden değişerek türediği kabul edildikten sonra tüm türlerin, cinslerin, familyaların "ortak bir ata"dan geldiği sonucuna varılmıştır. Ancak Lamarck'ın evrim yaklaşımında türlerin ortak bir atayla birbirlerine bağlanmadıklarını da anımsamak gerekir. Bu fikre, ilk olarak, yanlışlığını göstermek için de olsa, Buffon'da rastlanır. Daha sonra Charles Darwin'in dedesinde de benzer fikirler vardır. "Ortak soy" yoluyla türlerin hepsinin birbirine bağlanması görüşü ise sadece Darwin tarafından detaylıca savunulmuş ve yaygınlık kazanmıştır. Darwin'in eserini ve fikirlerini diğer evrimcilere göre başarılı kılan nedenler, evrimin desteklenmesinde topladığı kanıtlar, açık anlatımı ile okuyuculara ulaşabilmesi ve bilimin doğal teolojiden uzaklaşmaya başlamasını sağlamasıdır.

Darwin'in kitabının yayımlanmasından hemen sonra teoriye şiddetli saldırılar başlamıştır. Bu teori sosyal tartışmalar açısından da oldukça etkili olmuştur. Bilim dünyasında yarattığı tartışmalar zaten çok farklı boyutlara taşınmıştır. Bu yıllarda Darwin'in görüşünü şiddetlice savunanlar arasında yakın arkadaşları vardı. Thomas Henry Huxley başta olmak üzere teorinin savunucuları her ne kadar Darwin'i saldırılardan korumaya çalışsa da, ses getiren bu teori bilim dünyasında yol ayrımlarına neden olmuştur. Darwin'e yapılan saldırıların çoğunun merkezinde doğal seçilim konusu vardı. Çünkü Darwin kalıtsal çeşitliliğin tam olarak hangi faktörden kaynaklandığını açıklayamamıştı. Doğada muazzam bir çeşitlilik olduğunu çok iyi gözlemlemiş ama bu çeşitliliğin temelinde yatan mekanizmaları açıklamada eksik kalmıştı. *Türlerin Kökeni* aslında pek çok biyoloğu özellikle ortak kökenden değişerek evrimleşme konusunda ikna etmiştir. Ancak Darwin, doğal seçilimin evri-

min temel mekanizması olduğuna dair düşüncesine yandaş bulmakta aynı ölçüde başarılı olamamıştır. Doğal seçilim Darwin'in açıklayamayacağı oranda kalıtımsal bir işlemler dizisine ihtiyaç duymaktadır. Darwin'in açıklamalarında bulunmayan konu, bir populasyonda bir takım varyasyonların nasıl ortaya çıktığı ve ayrıca yavrulardan ebeveynlere bunların nasıl aktarıldığını açıklayabilen kalıtım kavramıydı. *Türlerin Kökeni* muazzam bir tartışma yaratsa da 1870'lere gelindiğinde birçok bilim insanı ortak atadan evrimin tarihsel gerçekliğini kabul etti. Fakat Darwin'i savunan birkaç taraftar dışında hemen tüm bilim insanları doğal seçilimi reddetti. Bu duruma bağlı olarak da araştırmacılar evrimi (ortak atayı) kabul ederek ama doğal seçilim mekanizmasına yeni alternatifler üreterek araştırmalarına devam ettiler. Doğal seçilime alternatif olarak önerilen bu yaklaşımlara bakacak olursak:

- **Ortogenezcilik:** Ortogenez kuramları, ortaya çıkan çeşitlerin belirgin amaçlara yönelik oldukları görüşünü savunur. Bu nedenle bir tür, doğal seçilimin yardımı olmaksızın önceden belirlenmiş bir yönde evrimleşir.

- **Yeni-Lamarckçılık:** Bir canlının yaşam süresi boyunca edindiği değişimlerin kalıtımıyla ilgili eski düşünceye dayanan birkaç yaklaşımdan oluşur. Bu değişimlerin, gelişim sırasındaki çevresel faktörlerin doğrudan etkisi nedeniyle ortaya çıktığı görüşünü savunur.

- **Mutasyonculuk:** Bu kuramlar, mutasyonla ortaya çıkan tamamen farklı fenotipe sahip canlıları gözlemlemiş genetikçiler tarafından ortaya konmuştur. Bu genetikçiler mutant formların yeni türler oluşturduğunu varsaydılar ve bu nedenle doğal seçilimin tür kökenini açıklamak için gerekli olmadığını savundular [10].

Mendel'in kalıtım modelinin yeniden keşfi: boşluklar doluyor

Darwin doğal seçilim ile ilgili görüşünde haklı olsa da, kalıtım mekanizmasının nasıl işlediği konusunda o günlerde pek bilgi olmadığı için, evrim teorisindeki oldukça büyük bir boşluğu dolduramamıştır. Bu problem önemliydi çünkü o zamanlar kabul gören karışımsal kalıtım inancına göre çeşitlilik gitgide azalmalı, artmamalıydı. Darwin'in teorisindeki en önemli eksiklik olan varyasyonların kalıtım ile ilişkili açıklamaları aslında büyük ölçüde Mendel yapmıştır (11).

Gregor Mendel ve Darwin her ne kadar aynı çağda yaşamış olsalar da Mendel'in buluşları o dönemde tam olarak anlaşılamamıştı ve öyle görünüyordu ki hiç kimse onun Darwin'in paradoksunu çözebilecek ve doğal seçilime güç sağlayabilecek olan kalıtımın temel prensiplerini açıklamış olduğunu fark etmemişti. Mendel, bezelyelerle ilgili yaptığı deneylerini 1865 yılında yayımladı. Kendi döneminde yeterli ilgi görmeyen bu çalışmalar yirminci yüzyılın ilk yıllarından itibaren yeniden keşfedildi.

Mendel, *Pisum sativum* (bezelye) soyları arasında melezleme çalışmaları yapmıştır. Bezelyeleri ilgili yedi görülebilir özelliği izlemek üzere seçmiştir (tohum şekli ve rengi, çiçek rengi, gövde uzunluğu vs.). Bu özelliklerin her biri, birbirinin zıttı olan iki karakterle temsil edilmektedir. Mendel, birbirinden farklı bezelyeleri çiftleştirdi ve yeni oluşan melez bezelyelerin, çiftleştirilen bezelyelere ne kadar benzediğini gözlemledi. Melezleşen bezelyelerde kısalığa karşı uzunluğun, buruşukluğa karşı yuvarlaklığın, beyaza karşı mor rengin daha çok gözlendiğini tespit etti. Daha çok gözlenen bu özelliklere *dominant* (baskın), daha az gözlenen özelliklere ise *resesif* (çekinik) denir.

Mendel, melezleştirdiği bezelyeleri birbirleriyle de çiftleştirince dominant özelliğin yeni oluşan melez bezelyelerde üçe bir oranına yakın bir şekilde ortaya çıktığını belirledi. Bu çalışma, canlının genotipi ile (genetik özellikleriyle) fenotipinin

(dış görünüşünün) tamamen aynı olmadığını gösterir. Bireylerde, atalarından aldıkları bazı özellikler resesif olarak bulunup sonra ortaya çıkıyorsa; bu, genetikte var olan ve bireyin genetiğinde taşıyıp ilettiği bazı özelliklerin, dış görünüşünden belli olmadığı anlamını taşır. Mendel'in çalışmaları -o dönemde Darwin ve daha başka birçok biyologun düşündüğü şekilde- atalardan gelen özelliklerin, kan yoluyla ve birbirine karışarak yeni oluşan yavruya geçmediğini gösterdi. Özellikler, atadan yavruya birbirinden ayrı, karışmayan bir şekilde geçer.

Mendel bezelyelerle yaptığı monohibrit çaprazlamaları sonucu kalıtımın temel prensiblerini ortaya koymuştur. Bu prensipler:

1. Çiftler halindeki birim faktörler
2. Baskınlık/çekiniklik
3. Ayrılma(segresyon)

Mendelin çalışmaları karışımsal kalıtım fikrinin çürütülmesine ve "parçacıklı kalıtım"ın kabul edilmesine neden olmuştur.

Daha sonraki yıllarda Johanssen, kalıtımı sağlayan ve atalardan yavruya geçen bu parçacıklara 1911 yılında 'gen' adını vermiştir. İlerleyen zamanlarda Mendel'in çalışmaları populasyon genetiğine katkı sağladı. Mendel'in *parçacıklı kalıtımı*, kalıtımın karışan sıvılar gibi olmadığını fakat dölden döle değişmeden geçen maddeler şeklindeki etkenlere bağlı olduğunu öneriyordu, böylece çeşitlilik sürdürülebilirdi (12).

Mendel'den sonra bilim dünyasındaki ayrılma

Bu yıllarda varyasyona sebep olan mutasyon kavramı fark edilemedi ve döllerin değişmediği öne sürüldü. Mutasyon kavramı 1900'lü yıllardan sonra gelişti. Buna ileriki bölümlerde daha ayrıntılı olarak değineceğiz.

Bulunan her yeni fikir ve bilgi, bilim dünyasında kaçınılmaz

bölünmelere sebep oluyordu. Bu bölünmelerden biri de Mendel'in kalıtım ilkelerini açıklamasından sonra gerçekleşti. Bilim dünyası bir kısmı *Biyometriciler* diye adlandırdığımız, temelde Darwin'in ilkelerinden vazgeçmeyen; bir kısmı da *Mendelciler* dediğimiz ve Mendel'in kalıtımla ilgili fikirlerinin destekçisi olarak, neredeyse tamamen ikiye ayrılmıştı. Aslında bilim insanlarını ayrıma götüren nokta evrimsel sürecin işleyiş mekanizması olmuştur. Darwin'in destekçileri -biyometriciler- (Karl Pearson, W.F.R Weldon, William Bateson), evrimsel süreçte küçük varyasyonların birikiminin etkilerinin görüldüğünü savunurken; Mendelciler (örneğin Francis Galton) ise bu süreçte sürekli olmayan büyük sıçramaların olduğunu ve varyasyonun böyle sağlanabileceğini öne sürdüler. Tüm bu tartışmalar aslında bilim dünyasındaki ilerlemeyi sekteye uğratmıştır. Eğer Mendelciler ve Biyometriciler beraber bir çalışma yürütmüş olsalardı evrim ve kalıtımın temelleri daha önce atılabilirdi [13].

Bu karmaşaya son veren çalışmalar şüphesiz ki populasyon genetiği alanındaki ilerlemeler sonucu meydana gelmiştir. Darwin'in teorisindeki eksikleri tamamlayacak, bilim dünyasını tekrar bir çatı altında toplayacak çalışmaların çoğu populasyon genetiği çalışmalarında meydana gelen ilerlemeler sonucu başarıya ulaşmıştır. Popülasyon genetiği çalışmaları bilim insanları arasındaki uzlaşmayı, çeşitli genetik temelli evrimsel mekanizmaların açıklamasını matematiksel yollarla yaparak sağlamıştır.

Populasyon genetiği çalışmaların başlamasını sağlayan bilim insanlarından olan Hugo De Vries'in adının tarihsel çerçevede öne çıktığını söyleyebiliriz. Vries 1900'de Mendel'in unutulmuş makalesini yeniden keşfeden biyologlardan birisidir ve bu doğrultuda yaptığı çalışmalarla mutasyoncu fikirleri ilk önce geliştiren kişidir. Vries gerçek anlamda varyasyonların kaynağının mutasyonlar olduğunu modern bir teori (Mutasyon Teorisi) ile 1901 yılında yayımladığı kitabında ayrıntılı bir şekilde açıklayan ilk bilgindir [14].

Lamarkçılar ve Darwinciler arasındaki tartışmadan yorgun düşmüş olan doğa bilimciler için artık Mutasyon Teorisi tüm cevapları içeriyordu. Bu teori yeni karakterlerin kökenini ve izolasyon olmadan gerçekleşen yeni varyasyonların ve türlerin dağılımını açıklıyordu. Mutasyonizm izolasyon olmaksızın türleşmeyi açıklayan en ideal açıklamaydı. Bu dönemde Vries'in teorisi Darwinizme alternatif olarak popülarite kazandı. Vries, Darwin'in teorisinin tamamını değiştirmediğini, sadece yeni bir çalışmayla bu teoriyi farklı bir forma dönüştürdüğünü ve sadece mutasyonların yeni kalıtsal değişimler yapabileceğini ve bireysel varyasyonların doğal seçiliminin güçsüz olduğunu ifade ediyordu. Hugo DeVries Darwinist düşüncenin yanında durarak, doğal selçilimin mutant formlar arasında da işlediğini savunmuştur.

Birçok kişi evrimsel süreçte mutasyonla yeni türlerin oluşabileceğini, "doğal seçilim" mekanizmasına ihtiyaç olmadığını benimsedi. Bu yaklaşım, Darwin için çok önemli olan, "çevrenin türlerin oluşumu üzerinde etkisi olduğu" fikrini önemsemiyordu.

Zamanla ilerleyen genetik çalışmalar, oluşan mutasyonların bireylerde değişikliklere yol açacak çeşitliliğin kaynağı olan hammaddeyi sağladığını ortaya koydu. Doğal seçilim mekanizmasının, temeli genetik olan fenotip çeşitliliği üzerinden işlediği, çevreye uyum sağlayamayan fenotiplere sahip bireyleri eleyip uyum sağlayanlara yaşama imkânı tanıdığı ifade edildi. Böylece, genetik ile Darwinizm arasında bir sentez oluşturulmaktaydı. Bu sentez yıllar alan, genetik bilimindeki ilerlemeler ile gerçekleştirilebilmiştir [15].

Genetiğin gelişim aşamasındaki en önemli figürlerden olan Thomas Hunt Morgan, ilerleyen yıllarda, *Drosophila* genetiğinin kurucusu olarak mutasyon fikirlerinin gelişimine katkı yaptı. Morgan kariyerine sıçramacı-evrimci olarak başladı ve mutasyonların yeni türler üretebileceği konusunu meyve sineklerinde çalıştı. Morgan genlerin kromozomlar üzerinde taşındığı ve ka-

lıtımın temelini oluşturduğunu ispatladı. Bu keşifleri modern genetik biliminin temelleri arasındadır. Ayrıca tek adımda yeni türlerin oluşmasından ziyade, populasyonlarda genetik varyasyonu artıran etmenlerin mutasyon olduğunu da ispatlamış oldu. Thomas Hunt Morgan, Mendel kurallarından yola çıkarak karakterlerin -fenotiplerin- aktarımı ile kromozomun davranışı arasındaki bağlantıyı buldu.

Tüm bu genetik çalışmalar, Hugo De Vries'in Mutasyon Teorisi'ni açıklamasıyla modern bir yaklaşıma kavuşmuştur.

Mutasyonların mekanizmalarının anlaşılmaya başlanmasından sonra, mutasyonların türlerde büyük sıçramalara mı yoksa daha ufak değişikliklere mi sebep olduğu tartışılmaya başlandı. 1920'lerde, genetikçiler doğal seçilimin -temeli genetik çeşitlilik olan fenotip çeşitliliği üzerinden- gerçekten de genler üzerine etki edebildiğini fark etmeye başladılar. Açık olarak bilinen bir şeyse, ortaya çıkan herhangi bir kalıtsal özelliğin genellikle birden fazla genin ürünü olduğuydu. Bu kalıtsal özelliği meydana getiren genlerden herhangi birinde gerçekleşecek bir mutasyon, karakterde çok şiddetli dönüşümler yerine küçük değişimler şeklinde de ortaya çıkabilmekteydi.

Önemli diğer bir gelişme ise, önde gelenleri Ronald Fisher, J.B.S Haldane ve Sewall Wright olmak üzere bazı bilim insanlarının, doğal seçilimin Mendel dünyasında nasıl işlediğine ilişkin ayrıntılı çalışmalar ortaya koymalarıydı. Onlar da diğer genetikçiler gibi üreme deneylerini yürüttüler, fakat ayrıca yeni bir şey daha yaptılar: matematiksel ve istatistiksel dilin olanaklarının oldukça üst düzey kullanımıyla *karmaşık matematiksel evrim modelleri inşa ettiler* (16).

Populasyon Genetiği: Evrime matematiksel bir model getiriyor

Evrimsel teorinin önemli bir dönüm noktası, populasyon içerisinde yaygın genetik varyasyonu vurgulayan *populasyon genetiğ*inin gelişmesidir [17].

Populasyon genetiği olarak bilinen yaklaşım, mutasyonların hangi hızlarla oluştuklarını ve doğal seçilim tarafından tercih edilen mutasyonların populasyonun tümüne nasıl yayıldıklarını ortaya çıkardı. Getireceği en ufak yarar bile, bir alelin tüm bir hayvan ya da bitki topluluğunda hızlı bir şekilde yayılmasını ve diğer toplulukların yok olmasını sağlayabilir. Şiddetli mutasyonların genellikle yararlı olmasından çok zararlı oluşunu göz önünde bulunduran populasyon genetikçileri, evrimin temelde bu küçük mutasyonlar tarafından gerçekleştiğini ortaya koydular [18].

1930'larda populasyon genetiğindeki ilerlemeler ile birlikte Mendelizm ve Darwinizim yeniden güç kazanarak varyasyon ve doğal seçilimin genetik temelleri araştırılmaya başlandı. Daha sonra "Modern Sentez" diye bahsedeceğimiz kapsamlı bir evrim teorisi 1940'ların başında şekillenmeye başlamıştır [19].

Evrimsel biyoloji, tarihsel süreç boyunca birçok problemle karşılaşmıştı, bu durumdan daha önce de söz etmiştik. Bu problemlerin temelinde Biyometriciler ile Mendelcilerin arasında ortak bir noktaya gidilememesi vardı. Çeşitli çalışmalar ile bu anlaşmazlık aslında birçok alanda farklı bilim insanları tarafından halledilebiliyordu. Ancak 1918'de Ronald Aylmer Fisher tarafından yazılan makalenin bu konunun çözümüne katkısı oldukça fazlaydı. Fisher bu makalesinde, Biyometriciler tarafından bulunan sonuçların aslında Mendel'in prensiplerinden türediğini açıkladı.

Aslında o dönemlerde R.A Fisher, J.B.S Haldane ve Sewall Wright Darwinizim ve Mendelizim sentezini gerçekleştirilmesindeki öncü bilim insanlarıydılar. Populasyon genetiği çalışmaları yapılmadan önce yani 1920'li yıllardan önceki süreçte, genetikçiler evrimde mutasyonun yeni karakterler çıkartacak tek kaynak olduğunu iddia ettiler. Adaptasyon göstermiş özelliklerdeki farklılıkların canlının doğadaki dağılımını etkilemediğini söylediler. Laboratuvar biyologları çeşitli baskıların vahşi doğada yaşayan canlıların yaşamını etkileyeceğini reddetmek-

teydiler. Adaptasyonun evrimdeki önemini küçümsemekteydiler. Fakat daha sonra yapılan çalışmalarla fark edildi ki, bir populasyonun genetik yapısı düşünüldüğünden çok daha karmaşıktır. Bu da aslında Darwinizmi dirilten bir adım olmuştur. Adaptasyon sağlayan avantajların seçilimi, bazı genlerin frekansının populasyon içerisinde artacağının öngörülmesini sağladı. Bu görüşler çeşitli matematiksel modeller ile analiz edilmeye çalışılmıştır. Bu önemli çalışmaları gerçekleştiren bilim insanlarının başında daha öncede bahsettiğimiz üç büyük kurucuyu görüyoruz: R. A. Fisher, J. B. S. Haldane, Sewall Wright.

Fisher *Genetical Theory of Natural Selection* (1930) adlı kitabında doğal seçilimin evrimsel genetikteki tanımını yapmıştır. Aynı zamanda Fisher populasyonlar üzerinde ölüm ve üreme fonksiyonlarını kullanarak ilk defa sayısal bir çerçeveden doğal seleksiyonu tanımlamıştır.

Haldane ise *The Causes of Evolution* (1932) adıyla yayımlanan çalışmasında seçilim yoğunluğu katsayılarının hesaplanmasına ilişkin bağlantıları ortaya koymuştur. Doğal seçilimin yoğunluğuna ilişkin hesaplamalar yapılabilecek diferansiyel denklemleri kurgulamıştır.

Sewall Wright, yaptığı çalışmalar ile 1930'lu yıllarda genetik sürüklenme kuramının büyük bir kısmını geliştirdi. Wright, "Evolution in Mendelian Population" başlıklı makalesinde populasyonlardaki rastlantısal durumların seçilim ve genetik sürüklenme ilişkisi temelindeki evrimleşmeyi ortaya koymaktadır. Sewal Wright, Fisher'ın ele aldığı savları rastgelelik çerçevesinde değerlendirerek farklı bir bakış açısı geliştirmiştir

Populasyon genetiği, Modern Sentez olarak adlandırılan kavramın anahtar öğelerinden biri haline gelmiş ve doğal seçilimin, hayali Lamarckı etkileri olmaksızın, evrimsel değişimi üretebildiğini göstermiştir. Bilim insanları, Fisher, Wright ve Haldane tarafından geliştirilen matematiksel araçları, doğadaki evrimsel değişimi tam bir doğrulukla ölçebilmek için kullandılar. Elde ettikleri bulgular tıbbi araştırmaların, bazı kalıtsal hastalıkların şifrelerini çözmesine olanak tanıdı. Örneğin, orak

hücre anemisi hastalığında, hemoglobin yapımında görevli genin, anne ve babadan gelen kopyalarının ikisinin de hatalı olması söz konusudur. Fakat bu hatalı alelin tek bir kopyasının taşınması, sıtmaya karşı bir koruma sağlayabilir. Doğal seçilim, alelin iki kopyasını taşıyarak doğmakla oluşacak kayıplar ve tek bir kopyasını taşıyarak doğmakla oluşacak faydalar arasındaki dengenin bulunmasını sağlar. Orak hücre anemisi gibi genetik hastalıklar, aslında doğal seçilimin atalarımız üzerinde oynadığı rolün acı verici yan ürünleridir.

Bu insanların yaptıkları en önemli şey şüphesiz evrimin karmaşık matematiksel modelini inşa etmeleridir. Yaptıkları birçok çalışmayla oluşumuna yol açtıkları bilimsel sentez *Neodarwinizm, Sentetik Evrim* ya da *Modern Sentez* adlarıyla bilinir (20).

Modern Sentez

Populasyon genetiği çalışmalarındaki ilerleme sonucunda, Mendelizm ve Darwinizmin yeniden güç kazanması sonrası yapılan genetik temelli araştırmalar sonucu yeni geliştirilmiş olan kapsamlı evrim teorisine Modern Sentez denmiştir; çünkü bu yeni kavram paleontoloji, taksonomi, genetik, biyocoğrafya gibi pek çok farklı alandan gelen gelişme ve düşünceleri birleştirmektedir.

Modern Sentez populasyonları evrimin birimleri olarak benimsemekte, doğal seçilimi evrimin en önemli mekanizması olarak görmekte ve gradüalizm düşüncesini, küçük değişimlerin birikmesi sonucu nasıl büyük değişikliklerin uzun zaman süreci boyunca oluştuğunu açıklamada kullanmaktadır. Genetikçi Theodosius Dobzhansky, taksonomist Ernst Mayer, paleontolog George Gaylord Simpson ve botanikçi G. Ledyard Stebbins gibi bilim adamlarını yukarıda isimleri anılan üç büyük popülasyon genetikçisinin ortaya koyduğu evrim genetiği ışığında gerçekleşen Modern Sentez'in başlıca aktörleri ara-

sında sayabiliriz. Bu bilim insanları yaptıkları çalışmalar ile evrimsel biyolojinin gelişmesine önemli katkılar sağlamışlardır (21).

Theodosius Dobzhansky yirminci yüzyılın en önemli evrimsel biyologlarından birisidir. Evrimin çağdaş sentezini şekillendirerek evrimsel biyoloji konusunda merkezi bir rol oynamıştır. *Genetics and the Origins of Species* adlı, 1937'de yayımladığı büyük eseri, genetik ve evrimsel biyolojinin birleşiminde büyük rol oynamış ve biyolojik tür kavramının ilk nüveleri bu kitapta ortaya konmuştur.

Paleontolog George Gaylord Simpson'ın *Tempo and Mode in Evolution* (1944) adlı yapıtı ile botanikçi G. Ledyard Stebbins'in *Variation and Evolution in Plants* (1950) adlı yapıtı Modern Sentez'e katkı sağlayan önemli çalışmalar arasında sayılabilir (22).

Modern Sentez başlığı altında yer vermemiz gereken önemli bilim adamlarından biri de yirminci yüzyılın Darwin'i olarak da anılan Ernst Mayr'dir. Mayr, Dobzhansky'nin *Genetics and the Origins of Species* adlı kitabından etkilenmiş olan pek çok biyologtan biridir. Zamanının pek çok doğa bilimcisi gibi Mayr de, evrimde Lamarkçı bir kalıtımın varolabileceğini düşündü. Ancak Dobzhansky'i ve diğer Modern Sentez mimarlarını okuduğunda türlerin kökeninin genetik ile açıklanabileceğini fark etti. Mayr, türler arası etkileşimler ve türleşme mekanizmaları ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Böylece, 1942'de yayımladığı *Systematics and the Origin of Species* adlı büyük eserinde, bir türün komşularından biyolojik olarak yalıtılmasının en etkili yolunun coğrafi yalıtım olduğunu öne sürmüştür. Ayrıca *biyolojik tür kavramı*, 1942 yılında-Dobzhansky'den aldığı çerçeveyi genişletip açık hale getirmesiyle Ernst Mayr tarafından tanımlanmıştır (23).

Modern Sentez'den bugüne evrimsel biyoloji

Modern Sentez düşüncesinden beri, pek çok araştırma evrim kuramının temel ilkelerini dikkatle incelemiş ve sınamıştır. 1950'li yıllardan başlayan ve o günden beri hızlanarak devam

eden genetik ve moleküler biyoloji alanlarındaki gelişmeler evrimsel çalışmalara temel oluşturdu ve evrim araştırmalarında devrim yaptı. Bu alanlara örnek olarak modern genetik, moleküler biyoloji, gelişim biyolojisi, yaşamın filogenetik tarihi alanları verilebilir (24).

Mendel'in çalışmasının yeniden keşfinin ve popüler hale gelişinin ardından, DNA moleküler temelini gün ışığına çıkarmaya yönelik birçok deney yapılmıştır. Drosophila (meyve sineği) üzerindeki gözlemlerinden yola çıkan Thomas Hunt Morgan genlerin kromozomlarda yer aldığını ileri sürmüş ve mutasyonların varlığını ortaya koymuştur. Bu önemli gelişmelerden biriydi; çünkü önceleri kromozomların genleri içerdikleri ve protein ile DNA'dan oluştukları bilinmekteyse de, kalıtımdan hangisinin sorumlu olduğu bilinmiyordu. 1944'e kadar yapılan gözlemler, genetik materyalin protein olduğunu düşündürüyordu. Ancak yapılan transformasyon çalışmalarında (Griffith'in transformasyon deneyi, Avery/ McLeod/McCarty deneyi, Hershey/Chase deneyi) bu sorumlu molekülün DNA olduğu gösterildi.

DNA'nın genetik materyalin taşınmasından sorumlu molekül olduğunun kanıtlanmasından sonra, araştırmacılar bu anahtar molekülün yapısını ortaya çıkaracak çalışmalar üzerinde yoğunlaşmaya başlamışlardır. Erwin Chargaff, Maurice Wilkins, Rosalind Franklin, Linus Pauling, Francis Crick ve James Watson gibi araştırmacılar biyoloji tarihinin en merak uyandıran sorularından birine yanıt aramışlardır. 1953 yılında *Nature* dergisinde yayınlanan makalelerinde ileri sürdükleri 'The Double Helix' ('ikili sarmal') modeli ile Watson ve Crick, DNA molekülünün yapısını aydınlatan araştırmacılar olmuştur. DNA'nın yapısı ile ilgili bu fikirler, genetik ve biyoloji alanındaki sonraki çalışmalar için son derece önemli olmuştur. Artık genlerin yapısı ve genetik mekanizmalardaki rolleri araştırılmaktadır. Ayrıca DNA molekülünün yapısının keşfi ile mutasyonların bu molekül üzerindeki bazlarda gerçekleştiği de anlaşılmış-

tır. Bu nedenle bu molekülün keşfinin tüm diğer biyoloji alanlarına olduğu gibi evrimsel biyoloji açısından önemli bir gelişme yarattığını söyleyebiliriz.

1960'ların ortalarından itibaren evrim kuramı ekoloji, hayvan davranışları, üreme biyolojisi gibi konular açısından iyice detaylandı. Daha ileriki yıllarda geliştirilen moleküler yöntemlerle beraber tümüyle yeni evrimsel biyoloji alanları gelişti. Bu yeni alanlar içerisinde moleküler evrim önemli bir yer edinmiştir. Moleküler evrimin kavrayışının ilk hali, DNA dizilerindeki evrimin ağırlıkla doğal seçilimden çok genetik sürüklenme ile olmasına dayanır.

1960'lı yıllarda, iki tip moleküler verinin elde edilmesi ile seçilim açısından nötr –seçilimsel açıdan avantaj ya da zarar sağlamayan– alellerin rastgele, genetik sürüklenme yoluyla evrime yol açması görüşü önem kazandı.

Lewontin ve Hubby, 1966 yılında, enzim lokuslarının büyük oranının polimorfik olduğunu gösterdi. Lewontin'in jel elektorofez yöntemini bir türün taşıdığı genetik varyasyonu protein varyasyonu üzerinden saptamak için kullanmasıyla, moleküler evrimsel genetik devrimsel bir yenilik olarak evrimsel biyoloji çalışmalarına girmiştir.

Yaklaşık aynı yıllarda Motoo Kimura, çeşitli proteinlerin amino asit dizilerinin evrimleşme hızını hesaplamaktaydı. Kimura, belirli bir proteinin farklı soy hatlarında benzer hızlarda evrimleştiği sonucunu çıkardı. Bu araştırmacılar ve diğerleri (King ve Jukes 1969) moleküler polimorfizm ve evrim hakkında *nötralist-seçilimci* olarak bilinen bir tartışma başlattılar. Bu tartışma bugün tam olarak çözüme kavuşmasa da, tamamen nötr olan DNA bölgelerinin varlığı kuşkuludur. Günümüzde herkes bazı moleküler çeşitliliklerin ve evrimin nötr alelerin sıklıklarında değişimiyle gerçekleştiği fikrinde olmasına karşın, önemli moleküler evrimsel değişimlerin büyük bir bölümünün seçilimden kaynaklandığının işaretleri bulunmaktadır.

Moleküler evrim alanındaki çalışmalarda özellikle Motoo Kimura tarafından geliştirilmiş olan *Moleküler Evrimin Nötr Alel*

Kuramı önemli bir yer tutar. Bu kuram, sabitlenen mutasyonların büyük çoğunluğunun uyum açısından nötr olduğunu ve genetik sürüklenme ile sabitlendiğini kabul eder. Kimura *The Neutral Theory of Molecular Evolution* adlı çalışmasında yukarıda kısaca bahsettiğimiz konuları *nötralist evrim teorisi* altında incelemektedir.

İlerleyen yıllarda hızlı bir şekilde moleküler alanda artan bilgiler ve çalışmalar ile çok farklı alanlarda paralel olarak çalışmalar yürütülerek evrimsel biyolojiyi anlamaya yönelik çeşitli yaklaşımlar getirilmiştir. Örneğin genomik çalışmalarının başlaması ve hızlı bir şekilde artması ile biz şu an birçok canlının genom yapısını bilerek, karşılaştırmalı genomik çalışmaları ile evrimsel süreçleri anlamada daha ayağı yere basan yaklaşımlar türetebiliyoruz.

Evrimsel biyoloji öğrendikçe, araştırıldıkça heyecanı bitmez tükenmez bir bilim dalı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dobzansky'in de dediği gibi "evrimin ışığı olmaksızın biyolojide hiçbir şeyin anlamı yoktur".

KAYNAKLAR

(1)http://evrimcalismagrubu.org/haberler/76-evrimsel-biyoloji- dil-bilim-ve-arkeoloji.html
(2) http://tr.wikipedia.org/wiki/Evrimsel_biyoloji
(3) Campbell N.A. ve Reece J.B., (2006) *Biyoloji*, Palme Yayıncılık, Ankara, Altıncı Baskı: Bölüm 22, sayfa 429
(4) Campbell N.A. ve Reece J.B., (2006) *Biyoloji*, Palme Yayıncılık, Ankara, Altıncı Baskı: Bölüm 22, sayfa 430-431
(5) Futuyma D.J. , (2008) *Evrim*, Palme Yayıncılık, Ankara, Bölüm 1, sayfa 5
(6)http://tr.wikipedia.org/wiki/Edinilmiş_-özelliklerin-kalıtımı_
(7) Campbell N.A. ve Reece J.B., (2006) *Biyoloji*, Palme Yayıncı-

lık, Ankara, Altıncı Baskı: Bölüm 22, sayfa 432-433
(8) Palmer D., Barrett P., *Evrim Atlası*, 2010, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, 1.baskı, sayfa 18-21
(9) Futuyma D.J., 2008, *Evrim*, Palme Yayıncılık, Ankara, Bölüm 1, sayfa 8-9
(10) Klug W.S. , Cummings M.R. ve Spencer C.A., (2009) *Genetik Kavramlar*, Palme Yayıncılık, Ankara, Bölüm 3
(11) Provine B.W., 1971, *The Origins of The Theoretical Population Genetics*, University of Chicago Press, Bölüm 2.
(12) Futuyma D.J., (2008) Evrim, Palme Yayıncılık, Ankara, Bölüm 1, sayfa 9
(13) Provine B.W., 1971, *The Origins of The Theoretical Population Genetics*, Chicago Press, Bölüm 1.
(14)http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/history_19
(15) Campbell N.A. ve Reece J.B., (2006) *Biyoloji*, Palme Yayıncılık, Ankara, Altıncı Baskı: Bölüm 23, sayfa 446
(16)http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/history_19
(17) Campbell N.A. ve Reece J.B., (2006) *Biyoloji*, Palme Yayıncılık, Ankara, Altıncı Baskı: Bölüm 23, sayfa 446
(18)http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/history_19
(19) Campbell N.A. ve Reece J.B., (2006) *Biyoloji*, Palme Yayıncılık, Ankara, Altıncı Baskı: Bölüm 23, sayfa 446
(20) http://www.evrimianlamak.org/e/P1:evrim_tarihi_4_3
(21) Futuyma D.J., (2008) *Evrim*, Palme Yayıncılık, Ankara, Bölüm 1, sayfa 9
(22) Futuyma D.J., (2008) *Evrim*, Palme Yayıncılık, Ankara, Bölüm 1, sayfa 11
(23) Klug W.S., Cummings M.R. ve Spencer C.A., (2009) *Genetik Kavramlar*, Palme Yayıncılık, Ankara, Bölüm 10
(24) Futuyma D.J., (2008) *Evrim*, Palme Yayıncılık, Ankara, Bölüm 10, sayfa 235-236

2. DOĞAL SEÇİLİM

Pınar Güler,
Can Koşukçu,
Dilara Şimşek
Duygu Pempe Öksüz

Doğal seçilim, çevreye uyum konusunda daha elverişli özelliklere sahip organizmaların bu elverişli özelliklere sahip olmayan diğer bireylere göre yaşama ve üreme şanslarının daha yüksek olması ve bunun sonucu olarak genlerini yeni kuşaklara aktarabilmeleri yoluyla işleyen evrimsel bir mekanizmadır. Mutasyon, göç ve genetik sürüklenmeyle birlikte evrimin nasıl işlediğini anlatır.

Doğal seçilim aslında sadece üreme ve ölüm oranlarını belirten bir ifade olmasına rağmen evrimin işleyişini anlamak açısından önemli sorulara yanıt verir. Canlıların farklı özelliklerini, adaptasyonlarını, türlerin ortak atalardan ayrılmasını ve böylece oluşan çeşitliliği anlatan temel mekanizmadır. Seçilim söz konusuysa en az iki özellik durumunun –aynı özelliğin iki fenotip durumunun– varlığından söz edebiliriz. Bu da bize bir varyasyon (çeşitlilik) olduğunu gösterir.

Varyasyonlar, geleneksel olarak tür-içi şeklinde tanımlanırlar ve bu tür-içi varyasyonun türler-arası varyasyon haline --çeşitli evrimsel süreçlerle– gelmesiyle türler oluşur. Böylece türe ait popülasyonlar içinde ve popülasyonlar arasında birçok özellik farklılık gösterir. İşte bu varyasyonlar işlemekte olan evrim basamaklarını ortaya koyar. Varyasyonların temelinde mutasyonlar ve genetik rekombinasyonlar yatar.

Mutasyonların çeşitlilik oluşturabileceğine değinecek olursak, etkileyici sonuçlarla karşılaşırız. Her bir genom ve her bir baz çifti için kendiliğinden oluşan mutasyon hızlarının tahmini

bize çeşitlilik konusunda oldukça somut veriler sunar. Mutasyonlar çok küçük değişimler gibi görünse de çeşitlilik açısından katkıları yadsınamaz. Eğer haploit insan genomunda $3.2x10^9$ b.ç. (baz çifti) varsa ve mutasyon hızı her kuşakta baz başına $4.8x10^{-9}$ ise bir zigot ortalama 317 yeni mutasyon taşır (1). Bu sayıyı görece büyük bir insan populasyonuna oranlayacak olursak her kuşakta çıkabilecek olan potansiyel değişim oldukça etkili olacaktır. Ve bu mutasyonun yararlı olması durumunda seçilme ihtimalini de düşünürsek elimizdeki mevcut hammadde değişimi oldukça büyük bir çeşitlilik meydana getirir. Bu bağlamda yapılan klasik çalışmalarda Drosophila'nın eşeysel hücreleri için mutasyon hızının oldukça yüksek olduğu bulgulandı (2). Yine, mevcut transpozonlarla (hareketli genetik elementler) organizmanın genom profilinin ne kadar değiştiği ve değişikliklerin yarattığı mutasyonların ne ölçüde varyasyon yarattığını algılayabiliriz. Kendiliğinden oluşan mutasyonlar zamanla kromozomlar arasında görece farklılıklar yaratır ve bu farklılıklar kromozomların farklı varyans profillerinde olmasına neden olur. Biriken mutasyonlar yararlı olabileceği gibi çoğunlukla zararlı olup yaşayabilirliği düşürür. Bu değişimlerin yeni bir varyasyon oluşturmaları oldukça zaman alır. Ama dış etmenlerle sürekli ilişki hali göz önüne alınırsa, oldukça yüksek etkili ve farklı çevresel etkenler söz konusu olduğunda, mutasyonların frekansı ve fenotipik etkileri oldukça artabilir. *Diptera* familyasına uygulanan yüksek radyasyon sonucu oluşan homeotik mutasyonlar, sineklerin anten segmentlerinden bacak gelişimine neden olurlar. Bu da bize mutasyonların aslında ciddi bir varyans-çeşitlilik- yarattığı yargısını doğrular (3). Bir mutasyon ya da herhangi bir varyans yaratan etmenin, morfolojik bir yansımasının mutlaka olması gerekmez. Mevcut değişim fenotipik olarak değil de genotipik olarak gözleniyor olabilir. Örneğin bir balık türü olan *Fundulus zebrinus*'da fosfoglukomutaz enzimine ait beş farklı alel gözlenir ve oluşan çeşitlilik bu enzim örneklerinin herhangi bir elektroforez jelinde yürütülmesiyle meydana

gelecek farklı bantlanmalarla gözlenebilir (4).

Genetik varyans oluşumunda etkili asıl mekanizma, alellerin ayrılması ve yeniden birleşmeleridir. Yani mayoz bölünme sürecinin kendisidir bir bakıma. Eşeyli üreyen canlılarda gametlerin birleşmesi ve bağımsız ayrılmaları, aynı zamanda meydana gelen kross-over ile farklı alellerin birleşmesi, kısa zamanlı olarak büyük varyasyonlar yaratır. Haliyle meydana gelen çeşitlilik kalıtsaldır ve bir sonraki yeniden birleşimler de farklı varyasyonlardan türeyecektir. Her kuşaktan bireylerin varyasyon ortalaması atalarının varyasyon ortalaması ile çakışacak ve yaklaşık aynı ortalamayı verecektir. Yani kalıtsallık var ise çeşitlenme gelişecek ve farklı varyantlar ortaya çıkacaktır. Bu durumu herhangi bir organizma üzerinden anlatmak istersek, *Nicotiana longiflora* bitkisi oldukça iyi bir örnek olacaktır. Çünkü bu bitki doğada oldukça zengin bir çeşitlilik gösterir. Aynı tarlada bile çok farklı yaprak, gövde uzunluğu ve çiçek durumu gözlenebilir. Zaten bitkinin türleşme tablolarına baktığımızda çok fazla *Nicotiana* türü göze çarpar. Melezlenen iki *Nicotiana* bitkisinin F1 dölü, iki bitkinin gen havuzunun kesişiminde ve ikisinin görece değer olarak ortalarında bir çeşitlilik gösterir. Çeşitliliği ne kadar çoksa, stresli koşullarda hayatta kalma ihtimali de o kadar fazla olur. Varyasyonla doğru orantılı olarak uyum başarısı artar. Sözünü ettiğimiz yeniden birleşimleri elle tutulur sayısal değerlerle ifade edecek olursak, potansiyel genetik çeşitliliğin ne kadar büyük olduğu anlaşılır. Sadece 5 kromozomlu bir canlıda, birey her bir kromozom için sadece bir lokusta heterezigot ise,

2^5=32 ---her kromozom çiftinin bir lokusunda heterozigotluk var ise eşey hücresinde bağımsız ayrılma ile üretilecek yeni alel potansiyeli (formül...2^n)

3^5=243---böyle iki birey arası çiftleşme ile oluşacak genotip sayısı (formül...3^n)

Eğer her bir lokus farklı bir özelliği etkiliyorsa mevcut çeşitlilik çok daha fazla artacaktır. Yine *Nicotiana longiflora* üzerinden gidecek olursak, sürekli değişim gösteren –kantitatif– bir özelliğin kalıtımının meydana getirdiği varyasyon, bu varyasyon üzerinden oluşacak uyum başarısı açısından oldukça önemlidir. Örneğin bitkideki farklı taç yaprak uzunluklarını ele alalım. Çaprazlamalar sonucu birçok gene bağlı (poligenik) olduğu bilinen bu çeşitlilik varyansı hem genetik hem de dış faktörlere bağlıdır. Öncelikle homozigot olan ana ve babadan meydana gelen F1 dölü farklı alelli heterozigottur ve yeniden birleşimlerle daha geniş bir varyans gösterir. F1 dölünden meydana gelen F2 dölleri de yine bağımsız bir yeniden birleşimle aynı gen havuzuna ait farklı allelleri taşır ve böylece çeşitlilik giderek artmış olur. Özelliklerin kalıtlanabilir olması ve yeniden birleşmeler sayesinde oluşan yeni kuşaklar atalarıyla yaklaşık aynı ortalamalarda ama farklı varyans düzeylerindedirler.

Sonuç itibarıyla, doğal seçilim varyasyon üzerinden işler. Canlıların yaşama ve üremeleri için onları donatan sayısız özelliklerini, adaptasyonlarını açıklar. Türlerin ortak atalarından ayrılmasını ve böylece yaşamın sonsuz çeşitliliği ile ilgili soruları yanıtlar. Mekanizmanın nasıl işlediğine bakacak olursak; öncelikle bahsettiğimiz gibi çeşitli varyasyonlar söz konusudur. Bir populasyonun bireyleri kendi genetik havuzlarının içinde oldukça çeşitli fenotip ve genotipte olabilirler. Örneğin elimizde bir böcek populasyonu olsun. Bireyler siyah ve yeşil olmak üzere iki farklı fenotiple temsil ediliyor olsunlar. Bu fenotiplerden biri bir şekilde diğerinden daha çok uyumludur ve yaşayabilirlik oranı daha yüksektir. Siyah renkli bireyler bir kuş türü tarafından besin olarak tercih ediliyorsa bu koşulumuz sağlanmış olacak; haliyle de yeşil sineklerin yaşayabilirlik oranı daha yüksek olacaktır. Populasyonda yeşil sineklerin oranı yükselirken bu fenotipi oluşturan genetik materyal kalıtlanacak ve dölden döle başarılı aktarım gerçekleşirse, yani özelliğin kalıtımı sağlanırsa, bu özelliğin gen frekansı giderek artacaktır.

Haliyle siyah bireyler populasyondan ayıklanmış, yeşil bireyler ise görece bir seçilime uğramıştır. Bu mekanizma Darwinci seçilim olarak adlandırılır. Aslında bu bir birey seçilimidir. Bireyler ve sahip oldukları genler üzerinden farklı uyum ve üreme başarıları sonucu genel olarak bu seçilim mekanizması işler.

Elimizde bir bakteri populasyonunu olsun. Bunun bir yabanıl tipi ve beslendiği maddeyi metabolize eden enzim aktivitesini yok eden bir mutasyona sahip bir mutantı olsun. Ortama koyulan besin maddesinin ne olduğuna göre ya mutantların ya da yabanıl tiplerin frekansı artacaktır. Yani ortama konan besine uyumu yüksek olanlar seçilecektir. Bu tipik ve basit bir seçilim örneğidir. Ancak burada ayırdına varmamız gereken bir konu var: Bir şey için seçilim mi yoksa bir şeyin seçilimi mi önemli? *E.coli*'de yabanıl tip alel his^+ histidin sentezleyen bir enzimi kodlar. Ancak his^- işlevsizdir. Bu aleller histidin ilaveli bir ortamda seçilim açısından nötr olacaktırlar. Ancak başka bir lokustaki yararlı bir mutasyonla bağlı olan his^- alellerinin sayısının giderek artmış olması, his^- alellerinin seçilmiş olduğunu gösterir. Ancak bu durum tamamen diğer mutasyonun şeçilimiyle ilgilidir. Aynı zamanda doğal seçilimin planlı ve akıllı bir mekanizma olmadığının da kanıtıdır (5).

İmmun sistemimizde CCR5 kemokinlerinin varyant formları bulunmaktadır. Bu kemokinler HIV'e karşı direnç oluşturan reseptör proteinlerdir. Ancak varyantlar AIDS virüsünün enfekte olması ve hastalığın başlaması arasında geçen süre (kuluçka zamanı) açısından farklılık gösterir. Yani CCR5 mutantları farklı genotip oluşumu ve HIV'e karşı farklı direnç oluşumunu meydana getirir. Çok uzun zamanda direnç oluşturan genotiplerin seçilim sürecinde elenme frekansları daha yüksektir, doğal seçilimin işlemesi farklı varyantların bireye kazandıracağı uyum ve hayatta kalma başarısını etkiler (6).

Frigida (FRE) geni *Arabidopsis thaliana*'da çiçeklenme zamanını düzenleyen bir gendir. Batı Avrupa'da 25 ekotip bölgesin-

den toplanan örneklerin FRE gen dizilimi çalışıldı. Ve bu gen bölgesinde var olan polimorfizm -varyasyonun bir ölçüsü- nedeniyle farklı bölgelerdeki bitkilerin çiçeklenme zamanlarının farklı olduğu gözlemlendi. Bitkide farklı sıcaklık, ısı, nem, bakı gibi çevresel etmenlere karşı uygun genotiplerin var olması doğal seçilim sonucu gelişmiş ve uyumla sonuçlanmış bir durumdur. Ancak her seçilmiş özellik bir uyum yaratamayabilir ama uyumsal bir özellik varsa onun temeli mutlaka doğal seçilimdir (7).

Doğal seçilimin bir sonucu olan uyarlanmaların çoğu karmaşık bir tasarım görünümündedir. Aslında tamamen üreme ve hayatta kalma amacıyla oluşmuş yapılar sanki bir amaca hizmet ediyormuş gibi görünürler. Ama sadece *öyleymiş gibi* görünürler. Gerçekte durum böyle değildir. Bir kuşun kanadı uçmak için tasarlanmamıştır. Sadece sonuç olarak uçmaya yarar. Bu durumun cansız doğadaki oluşumlardan, yani doğal süreçlerin cansızlar için de işleyiş biçimlerinden temelde hiçbir farkı yoktur.

Yüzyıllar boyunca her uyarlanma ,"Tasarım Görüşü" penceresinden akıllı bir tasarımcının kanıtları olarak düşünülmüştür. Canlılarla birlikte doğanın mükemmel ve amaçlı olarak işleyen bir mekanizma olduğuna inanılmıştır. Oysa canlıların işlev ve karmaşıklığı bir amaç uğruna rasgele kuvvetlerle ortaya çıkmaz.

Zaten doğaüstü süreçler bilimin konusu olamaz. Darwin çok konuşulan doğal süreçleri temel alan fikirlerini ortaya koyduktan sonra, amacından sapmış ilahiyat ve felsefenin temellerini sarsmış ve canlıların farklı açılardan da -doğal teoloijinin öngördüğünün çok dışında- incelenmesi gerektiği perspektifini bilime kazandırmıştır. Akıllı tasarıma tezat bu süreç, doğal seçilim sürecinden başkası değildir. Yaşayabilirliği ve üreyebilirliği daha fazla olan canlıların bu bakımlardan daha az uyumluların yerini aldığı bu süreçte hiçbir amaç söz konusu olamaz; çünkü gelecek, şimdiki zamandaki nesnel oluşumlara neden olmaz. Biyolojide amaç söz konusu olamaz, öyle gibi görünen davranış ya da özellikler bir amaç güttüğünden değil, yaşabi-

lirlik ya da üremeye katkı sağladığından vardır. Özellikle uyumsal biyolojik süreçler bir hedef içeriyor gibi görünebilir. Örneğin dokumacı karıncaların(*Oecophylla*) bir yuva yapma amacındaymış gibi görünmeleri tamamen teleolojik -erekselci- bir bakıştır (8). Canlıların davranışlarında bilinçsel sezgiler olamaz. Aksine bir amaca yönlendirilmişlik, DNA dizilerindeki şifrenin çalışmasıdır. DNA'daki bilgi doğal seçilimin tarihsel bir süreci ile şekillendirilmiştir. Canlının gelişimini bu şifre ve çevresel komutlar yani tamamen mekanik olgular belirler.

Doğal seçilim biyolojik varlıkların farklı fenotipik grupları arasında kararlı herhangi bir uyum başarısı farklılığı olarak tanımlanabilir (9).

Uyum başarısı, üreme başarısı olarak da değerlendirilebilir. Bu tanımlamada elde olan somut veri aslında birey başına ortalama sayısal artış hızıdır. Canlıların ya da genotiplerin seçiliminden söz ederken uyum başarısı öğelerini de ele almak gerekirse bunlar: I- üreme çağına kadar yaşama olasılığı; II- erkek işlevi yoluyla üretilen ortalama yavru döl sayısı; III- dişi bireyin ürettiği ortalama yavru sayısıdır. Yaşayabilirlik üreme için bir ön koşul olduğundan bu uyum başarısı bileşenleri aynı zamanda üreme başarısı bileşenleridir.

Eş bulmak için çekişmenin sonucu olarak yavru sayısında çeşitlilik gözlenir. Haliyle bu durum bir eşeysel seçilim olduğunu gösterir. Doğal seçilimin bir alt başlığı olarak inceleyebileceğimiz eşeysel seçilim doğada yaygın olarak gözlenebilir. Pek çok memeli erkeği dişisini etkileyebilmek için rakipleriyle kavga eder. Bunun için kızıl geyiklerin (*Ceropus elephus*) boynuzları, Asyalı domuzların (*Babyrousa babyrussa*) köpek dişleri, dişileri için rakipleriyle mücadele ederken kullanılan yapılardır. Erkek dulkuşlarında ise kuyruk uzunluğu dişiyi etkileme açısından oldukça önemlidir. Erkeğin savunduğu alandaki yuva sayısıyla ölçülen ve kuyruk uzunluğundaki değişikliklerle eşleşme başarısının değiştiği sonucuna varılan çalışmalar, kuyruğu kesilen erkeklerin eşleşme başarısı oldukça azalırken kuyruğu uzatılan bireylerinki de arttığını göstermiştir (10).

Seçilim açısından anlamamız gereken kritik nokta, genotiplerin üreme başarılarının **ortalamaları arasında bir fark varsa** doğal seçilimden söz edebileceğimizdir. Üreme ve yaşayabilirlik bir birey için şansa bağlı olarak değişebileceği için bir **bireyin tek başına uyumundan söz edemeyiz.**

Farklı biyolojik varlıklar uyum başarısı bakımından çeşitlilik gösterirler; bu nedenle farklı seçilim düzeyleri ortaya çıkar. Bir bireyin seçiliminden bahsedebileceğimiz gibi birey altı organizasyon olarak genlerin seçiliminden ya da bireyüstü olarak populasyonların seçiliminden sözedebiliriz. Bu gruplar arasında belirgin bir uyum başarısı farklılığı varsa doğal seçilim süreci işleyecektir. Ve bu değişiklikler kalıtımsal olarak genotipik ya da fenotipik olarak ileriki kuşaklara aktarılacak ve zamanla varyasyonlar yaratacaktır. **Kısacası doğal seçilim amaçsız olarak işleyen ve istatiksel olarak uyum başarısı farklılığı tanımından başka bir şey değildir.**

Doğal seçilim ve şans

Bir toplumda bir alel diğerinin yerini rastgele alıyor olsun (rastgele genetik sürüklenme.) Genotipler kararlı bir uyum farkı gözlemediklerinden doğal seçilim gerçekleşmemiştir. Aleller arasında ön yargı yoktur, ortalama farklılık yoktur.

Ancak uyum başarısı farklılıkları, tersine, ortalama farklılıklardır, yanlılardır, üreme başarısındaki olasılık farklılıklardır. Dolayısıyla doğal seçilim şansın karşıtıdır. Aynı genotipe sahip iki bireyden birinin şansa bağlı olarak yok olması onun diğerine göre daha uyumsuz olduğunu göstermez (11).

Nesnenin seçilimi ve özellik için seçilim

Doğal seçilim herhangi bir biyolojik özellik için seçilim anlamına gelir; ancak bu özellikle bağlantılı bir diğer özelliğin seçilimi rastgele olabilir. Bir özelliğin işlevinden söz ettiğimiz zaman, özelliğin kendisi için değil, o özelliğe sahip canlıların ve

bunu etkileyen genlerin doğal seçilime uğramış olduğunu ima ediyoruz; fakat o özelliğin başka etkileri ya da onun işlevinden bağımsız sonuçları olabilir ve bunlar için seçilim olmamıştır. Bunu bir oyuncak modelle açıklayacak olursak, dört katlı bir kutu düşünelim ve her katında farklı büyüklükte delikler olsun. Delikler en üst rafta en büyük ve en alt rafta da en küçük olacak şekilde giderek azalan boyutlara sahip olsun. Ve aynı zamanda elimizde dört farklı boyutta bilyeler olsun ve her boyutun kendine özel bir rengi temsil ettiğini düşünelim. Tüm bilyeler karıştırılıp kutuya üstten bırakıldığında istemli olarak her rafta büyüklüğe göre bir ayrım yapmış oluyoruz. Ancak bunun yanında istemsiz olarak renk ayrımı da yapmış oluruz çünkü aynı boyuttaki bilyelerin ortak bir rengi vardı. Böylece her rafta farklı boyut ve renkte bilye ayrılmış oldu. Yani biz en küçük bilyeleri ayırt etmek isterken bunun yanında en küçük bilyelerin rengindeki bilyeleri de ayırt etmiş olduk.

Bencil kalıtsal öğeler

Pek çok canlı türünde, bireyin geri kalan genomundan daha yüksek bir hızla aktarılan ve canlıya zararlı "bencil" kalıtsal öğeler vardır. Bu öğelerin çoğu, ayrılma çarpıklığı (*segregation distortion*) ve mayotik kayma (*meiotic drive*) sergilerler. Bu durum öğelerin, bir heterozigotun yarısından fazlasında taşındığını gösterir. Asalak yaban arılarında (*Nasonia vitripennis*) *psr* adını alan küçük bir kromozom vardır. Yumurtadan ziyade sperm ile kalıtlanır. Bir yumurta, bu kalıtsal öğeyi taşıyan bir spermle döllendiği zaman babasal kromozomlar yıkıma uğrar. Haliyle bu durumun bu canlı toplumundaki eşey dengesini bozması populasyonun hatta türün yaşayabilirliğini tehdit eder (12). Yani bencil kalıtsal öğeler popülasyonların zararına çalışır.

Bencil kalıtsal öğeler bir bakıma doğal seçilimin doğasını anlamamıza yardımcıdır. Seçilimin yönsüz olduğunu, bu öğelerle seçilen ve uyarlanmayla sonuçlanmayan özelliklerden anlayabiliriz. Ayrıca gen düzeyinde işleyen bu seçilim, birey seçi-

limine karşı işlemektedir ve popülasyonların ya da türlerin kısa sürede yok olmasına neden olabilir.

Bunun yanında bireyden çok popülasyonu koruyan davranışlar da var gibi görünebilir. Örneğin sürü kurtulsun diye kendini avcının önüne atan fedakar (özgeci) bireylere nasıl bir açıklama getirmek gerekir? Bu durumu grup seçilimi ifadesini kullanarak açıklayabiliriz. Grup seçilimi hiçbir amaç gütmeksizin canlıların genetik kodlarında bulunduğu için gerçekleşen bir durumdur. Bilinçli bir durum olmamakla birlikte, popülasyonun yararına işleyen bir mekanizmadır. Diğer yandan uyumlu bireylerin diğerlerinin yerini alması birey seçilimiyle gerçekleştiğinden, popülasyonun yararı için kendini hiçe sayan özgeci bireylerin bireysel seçilimle yaşayabilir kalması mümkün değildir. Çünkü bencil bireyler birey seçilimi gösterdiğinden uyumları daha yüksektir. Zaten özgeci popülasyonda bencil bir birey varsa eninde sonunda onun genotipi %100 frekansa erişecektir. Bu durumda bencil öğelerin bulunduğu bir popülasyon özgeci bireylerden oluşan bir popülasyona göre daha yüksek yok olma hızına sahiptir. Ancak grup seçiliminin bireysel seçilim kadar bilimsel bir şekilde açıklanması gerekir. Grup seçilimiyle gelişen özellik ya bir uyarlanma değildir ya da bireyin genlerine gerçekten yararlı bir yanı vardır. Örneğin birçok dişi popülasyon büyüklüğü arttığında daha az yumurtlar. Bu durum dişinin fedakarlığından ziyade fizyolojik zorunluluktan dolayı, azalan besine bağlı olarak, yumurta verememesindendir. Ayrıca az yumurta ile yavru başına düşen besini arttırıp yavrunun yaşayabilirliğini arttırır. Aslında kendi genetik kodunun devamlılığını garantiler. Yani grup seçilimi diye bahsedilen olgu bir yerde bireysel seçilime dayanır.

George C. Williams tarafından grup seçilimi hipotezi şöyle açıklanmıştır: Canlı bireyler oluşturdukları popülasyonlardan sayıca daha fazladır. Popülasyonlardan daha hızlı doğar, yaşar ve ölürler. Bu durumda daha uyumlu bireylerin diğerlerinin yerinin alma hızı daha uyumlu popülasyonların uyumsuz olanların yerini alma hızından daha yüksektir. Bu durumda bi-

rey seçilimi grup seçilimine baskın gelir. Ve doğada pek az özellik popülasyon veya türün yararına evrimleşir. Yani bir bireyin kendini tamamen grubu için feda etmesi söz konusu değildir. Öyleymiş gibi görünür ancak temelinde yakın akraba seçilimi olarak tanımlanan bir olgu söz konusudur. Bu seçilimi gen seçilimi olarak düşünmekte yarar vardır. Çünkü birey kendi genlerini taşıyan yakın akrabaları için kendini tehlikeye atar. O bu davranışı yapmazsa, tüm toplum zarar görebilecek ve taşıdığı genlerin tümü (ki bir kısmı akrabalarında mevcut) bir anda ortadan kalkma tehlikesiyle karşı karşıya kalabilecektir. Bu özgeci davranışla yaşayabilirliğini kaybetme bedeline karşın kendi alellerini toplumda yüksek frekansa sahip kılmak tercih edilmiştir. Bu durumda akraba seçilimini de bir seçilim düzeyi olarak tanımlayabiliriz (13).

Canlı grupları arasındaki seçilime türler ya da daha yüksek taksonomik birimler katıldığı zaman tür ya da takson seçilimi söz konusu olur. Örnek olarak orkide (*Orchidaceae*)ve irisleri (*Iridaceae*) ele alalım. Orkideler böcekleri çekebilecek koku ve çiçek durumlarına sahiptirler. İrisler ise daha az değişmiş çiçek durumuna sahiptirler ve daha az özelleşmiş bir böcek grubuyla çiftleşebilirler. Orkide çiçeğindeki her bir yapısal farklılık, farklı böcek gruplarını çektiği için daha çok tozlaşma yapılmış ve orkideler daha büyük varyasyonlarla daha geniş alanlara yayılmışlardır. Bundan dolayıdır ki orkideler 19.500 tür ile temsil edilirken irislerin 1.750 türü vardır. Orkidelerin bir üreme yalıtımına sahip olmaları türleşme ve seçilim hızını arttırmıştır. Farklı türler için bir seçilim mekanizması gelişmiştir (14).

Doğal seçilimden ne beklememeliyiz?

Uyarlanmanın gerekliliği

Değişen çevre koşullarına karşı canlı mutlaka uyarlanmak zorunda değildir. Bu yok olmaya neden olmayan değişimler popülasyon üzerinde hiçbir etki yaratmayabilir ya da başka özellikler için doğal seçilim başlatabilir. Kutup ayılarının beyaz

kürkü yaşamsal bir özellik değildir. Beyaz kürkleri olmadan da hayatta kalabilen bu canlılar için bu değişim sadece yararlı olabilir. Değişen çevrenin uyarlanmayla sonuçlanma gibi bir zorunluluğu olmadığı gibi bir seçilimi harekete geçirmek için de mutlaka bir çevresel değişim olmak zorunda değildir. Bir popülasyonun ya da türün yok olma olasılığı başlı başına bireysel canlılarda seçilimi oluşturmaz ve her uyarlanma evrime yol açmaz. Ayrıca meydana gelen her seçilim bir uyarlanmayla sonuçlanır diyemeyiz ama her mevcut uyarlanma bir seçilim sonucu oluşur.

Yetkinlik

Darwin, doğal seçilim mutlak yetkinliği oluşturmaz, değerlendirebildiğimiz kadarıyla her zaman doğada bu yüksek standardı görebiliriz (*Türlerin Kökeni* 6. Bölüm) der. Belli zaman ve koşulda ortaya çıkabilecek uygun yaşayabilirlik ve üreyebilirlikteki özellikler seçilime uğrar. Aksine en mükemmel özelliğin seçilimi söz konusu değildir. Doğa ve canlılarda böyle bir bilinç olamayacağı gibi seçilim süreci de mükemmeliyetçi değildir.

İlerleme

'İlerleme' sözcüğü bir hedefi çağrıştırmaktadır; ancak evrimin hedefi yoktur. 'İyileşme' sözcüğünü kullanacak olursak "daha iyi" ölçütü canlının tipine bağlıdır ve ekolojik konuma uygun olmak zorundadır. Söz konusu durumda her türün ekolojik niş ve özelliği oldukça önemlidir. Mesela bir yılan için gelişmiş çene, zehir ve tükrük bezleri "daha iyi" anlamı taşıyor olabilir ancak bu özellikler bir insan için uyumsal bir değer ifade etmez. Belki bu durumda "uyumsal eğilim" söylemi durumu anlamaya çok daha yardımcı olacaktır. Bu ifadeyi nesnel olarak zaman içinde oluşan yönlü bir kayma olarak tanımlayabiliriz. At familyasından (*Equidae*) örnek verecek olursak, taksonlar var oldukları zamanlarda koşut eğilimler sergilerler. Atların vücut büyüklüğünde sürekli bir artma söz konusudur (15).

Bu bir derecelendirme doğurur. Atlar için bu bir ilerlemedir ancak amacı yoktur. İlerlemeden kasıt sadece seçilen yönün kademeli olarak birbirine eklenip kantitatif bir veri açığa çıkarmasıdır. Bir başka örnek: Kretase'de sekiz plakası olan bir deniz hayvanı, senozoikte dört plakaya sahipse bu durumu plaka sayısı azalmasında bir ilerleme olmuş diye açıklamak doğru olacaktır.

Ayrıca bir özellik, bir dalın diğer daldan daha zengin duruma gelmesine neden oluyorsa, bu durum bu dalın diğer özelliklerden daha yüksek sıklığa doğru eğilimini gösterir. Lepidopterlerin (kelebeklerin) ağız parçaları ve bu beslenme şekliyle yüksek çeşitlenme hızıyla bu durumu örnekleyebiliriz (16).

Uyum ve doğanın dengesi

Genler ve tek tek canlılar düzeyinde seçilim doğal olarak "bencil"dir. Alan savunması, parazitizm, kanibalizm (yavru, kardeş öldürme) gibi birçok örneğini açıkça görebiliriz. Bunun yanında canlılar arasında yardımlaşma da söz konusudur. Bir annenin tehlikeleri göze alarak yavrusunu beslemesi, akrabaları için bir bireyin kendini feda etmesi gibi. Ancak bu özgecilik de dahil diğer genlerini taşıyan bireylere yapılan yatırım fedakarlık değil de bir nevi kendi alellerini güvence altına almaktır. Doğal seçilimin bir türde yalnızca başka bir türün yararı için herhangi bir değişiklik yapabilme olanağı yoktur. Bir türün davranışı başka bir türün yararınaysa, burada ya davranışı sergileyenin bir yararı vardır ya da diğer tür tarafından kandırılıyordur (böcekler orkideleri kendi eşleri sanarak çiftleşirler çünkü çiçek durumu böcekleri kendisine bu yolla çeker).

Haliyle tüm bu canlı –canlı ve canlı- doğa birliktelikleri bir denge değildir. "Doğanın dengesi" denilen denge durumu herhangi bir uyum başarısı yansıtmaz. Ve hiçbir ekosistem denge ve uyuma doğru evrimleşmez. Bu tezin bilimsel bir dayanağı yoktur.

Erdem ve etik

Doğal seçilim üreme başarısında genler ya da canlılar arasındaki farklılıklar için sadece bir isimdir. Rüzgar, entropi ne kadar amaçsızsa doğal seçilim de o kadar amaçsızdır. Hiçbir yönü amacı ve değer yargısı yoktur. Etik açıdan değerlendirilemez. Aynı zamanda sosyal olaylar için bir gerekçe olarak da görülemez. Tıpkı sosyal Darwincilerin yaptığı gibi, evrim kuramının savaşlara, sömürülere ve diğer tüm emperyalist politikalara gerekçe olması kabul edilemez bir durumdur. Kaldı ki "sosyal Darwinizm" ne Darwin'in orijinal üretiminde ne de evrimsel biyolojinin bilimsel yapısında yeri olan bir algılama biçimidir. Ancak bu politikalar sürekli kullanılmakta, sosyal hayatta hiçbir haklı tarafı bulunmayan olguların doğruluğuna kanıt olarak gösterilmektedir. Nazilerin insan ıslah çalışmaları aslında bilimsel mekanizmaların kötü bir taklidi olduğu görülebilmeli ve biyoloji dahil tüm bilimlerin ahlak ya da ahlaksızlığa kanıt olamayacağı algılanabilmelidir. Çünkü bu ahlaki kurallar sadece insan için vardır. Onun dışındaki doğada böyle olgular işlemez. Ve bilim "ne olmalıdır"ı değil "nedir"i tanımlar. Doğal olan her şey iyi değildir. Zaten bilimin böyle bir amacı da yoktur.

KAYNAKLAR

(1) Drake, J. W., B. Charlesworth, D. Charlesworth and J. F. Crow, (1998) "Rates of Spontaneous Mutation.", *Genetics* 148: 1667-1686.

(2) Mukai, T., S. I. Chigusa, ve diğerleri (1972), "Mutation rate and dominance of genes affecting viability in drosophila melanogaster." *Genetics* **72**(2): 335-355.

(3) Wakimoto, B. T. ve T. C. Kaufman (1981), "Analysis of larval segmentation in lethal genotypes associated with the Antennapedia gene complex in Drosophila melanogaster." *Developmental Biology* **81**(1): 51-64.

(4) Mitton, Jeffry. (1993), "Enzyme Heterozygosity, Metabolism, and Developmental Stability." *Genetica* 89: 47-65.
(5) Atwood, K. C., Lillian K. Schneider and Francis J. Ryan, (1951), "Periodic selection in Escherichia Coli." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 37: 146-55.
(6) Kazmierski, W., N. Bifulco, ve diğerleri (2003), "Recent progress in discovery of small-molecule CCR5 chemokine receptor ligands as HIV-1 inhibitors." *Bioorganic & Medicinal Chemistry* **11**(13): 2663-2676.
(7) Balasubramanian, S., S. Sureshkumar, ve diğerleri (2006), "The phytochrome C photoreceptor gene mediates natural variation in flowering and growth responses of Arabidopsis thaliana." *Nat Genet* **38**(6): 711-715.
(8) Ross H. Crozier, Philip S Newey. Ellen, A. Schluns and Simon K A Robson, (2010) "A masterpiece of evolution - Oecophylla weaver ants (Hymenoptera: Formicidae)." *Myrmecological News* 13: 57-71.
(9) John A. Endler, Natural Selection in the Wild, (1976), Princeton Universtiy Press
(10) Savalli, U. M. (1995), "The evolution of tail-length in widowbirds (Ploceidae): tests of alternatives to sexual selection." *Ibis* **137**(3): 389-395.
(11) Sober, Elliott. (1984) "Sets, Species, and Evolution: Comments on Philip Kitcher's 'Species'." *Philosophy of Science* 51: 334-41.
(12) Beukeboom, L. W. ve J. H. Werren (1993), "Deletion Analysis of the Selfish B Chromosome, Paternal Sex Ratio (PSR), in the Parasitic Wasp Nasonia vitripennis." *Genetics* **133**: 637-648.
(13) Axelrod, R, ve WD Hamilton, (1981) "The Evolution of Cooperation." *Science* 211: 1390-96.
(14) Johnson, S. D. ve K. E. Steiner (1997), "Long-tongued fly pollination and evolution of floral spur length in the Disa draconis complex (Orchidaceae)." *Evolution* **51**: 45-53.

(15) Damuth, J. (1993), Cope's rule, the island rule and the scaling of mammalian population density. *Nature* **365**: 748-750.
(16) Shields, O. (1976), *Fossil Butterflies And the Evolution of Lepidoptera*, Journal of Research on the Lepidoptera 15: 132-143.

3. ADAPTASYON

Duygu Pembe Öksüz
Pınar Güler
Can Koşukçu
Dilara Şimşek

Evrimsel biyolog Ernst Mayr, Charles Darwin'in doğal seçilim teorisinin mantığından yaptığı gözlemler üzerine dayanarak bazı sonuçlar çıkarmıştır. Bu gözlemler ve sonuçların bir kısmı şunlardır:

1. Gözlem: Bir populasyonda yer alan bireylerin özelliklerinde büyük ölçüde değişiklikler vardır, hiçbir birey birbirinin aynısı değildir.
2. Gözlem: Bu varyasyonların çoğu kalıtsaldır.

Sonuç: Hayatta kalma kısmen bireylerin kalıtsal yapısına bağlıdır. Çevrelerine en iyi şekilde uyum göstermelerini sağlayan kalıtsal özelliklere sahip olan bireylerin daha az uyum gösteren bireylere göre daha fazla döl vermesi olasıdır (1).

Bu sonuç cümlesinde yer alan -çevrelerine en iyi şekilde uyum göstermeleri- ifadesi adaptasyon/uyarlanım/uyarlanma kavramını tanımlar. Adaptasyon bir organizmanın yapısında ya da işleyişinde onu çevresine daha uyumlu hale getiren her türlü değişikliktir. Bir uyarlanma canlıların yaşamasını ve üremesini diğer özellik seçeneklerine, bilhassa uyarlanmanın evrimleştiği populasyondaki atasal duruma göre artıran bir özelliktir (2). Adaptasyon ya da uyarlanım ile ilgili öncelikle bilinmesi gereken şey doğal seçilim yoluyla evrimleşmiş özellikler için kullanılan bir terim olmasıdır (3). Adaptasyonun bilinen tek mekanizması doğal seçilimdir. Diğer bir deyişle, seçilim her

zaman adaptasyonla sonuçlanmasa da doğal seçilim sonucu populasyonlar çevrelerine adapte olurlar (1), (2).

Adaptasyon evrimsel bir süreçte meydana gelir. Evrimsel süreç ifadesi, adaptif olarak tanımlanan özelliğin bir bireyin hayatı boyunca değil, kuşaklar boyunca gelişebilen bir özellik olduğunu anlatır (2).

Bir organizma kendi yaşamı boyunca değişiklikler geçirmiş olabilir hatta bu şekilde sonradan kazanılan karakterler organizmayı kendi çevresine adapte edebilir, fakat yaşam boyunca sonradan elde edilen karakterlerin kalıtılabildiğine ilişkin herhangi bir kanıt yoktur. Bir organizmanın kendi faaliyetleri sonucu sonradan kazanmış olduğu özelliklerle ortamına adapte olması ile doğal seçilim yoluyla kuşaklar boyunca populasyonlarda meydana gelen adaptasyonlar arasındaki farka dikkat edilmelidir (1).

Hayatta kalabilme yeteneği tek başına üreme başarısını garanti etmez. Kısır bir bitki ya da hayvanın görece uyumu, bu birey diğer tüm bireylere göre en uzun ömürlü olsa dahi sıfırdır. Daha uzun süre hayatta kalma durumu daha fazla döl verebilme durumu ile sonuçlanıyorsa ömür uzunluğu uyumluluğu artırıcı bir etkiye sahiptir denebilir. Hem hayatta kalma hem de üreme potansiyelini etkileyen pek çok faktör bir bireyin evrimsel uyumluluğunu belirler (1).

Adaptasyon bir organizmanın habitatında daha iyi bir şekilde yaşamasını sağlar; bir kabuklu türüne ait bir populasyonda bazı bireyler sudan daha fazla besin süzebildiği için populasyondaki diğer bireylere göre daha fazla yavru meydana getirebilir. Bir güve populasyonunda bazı bireylerin vücut ve kanat renkleri onların predatörlerden daha başarılı bir şekilde saklanmalarını sağladığı için diğerlerine göre ortalama olarak daha fazla sayıda döl verebilirler. Tüm adaptasyonlar canlıların ekolojik nişlerinin bir parçasıdır (1). Adaptasyonun bir diğer önemli yönü ise, statik bir durum olmayıp dinamik bir süreç olmasıdır (4).

Uyarlanımlar pek çok farklı biçimde görülebilir. Yapısal, davranışsal ya da fiziksel özellikte olabilir; yırtıcılardan daha iyi saklanmayı sağlayan bir davranış, vücut sıcaklığında daha iyi çalışan bir protein ya da organizmanın yeni bir kaynağa ulaşmasını sağlayan anatomik bir özellik. Bir çöl çalısı türü çevresinde diğer bitkilerin gelişmesini engelleyen toksinler üretir, böylece su ve besin için rekabeti azaltır. Yarasalardaki yankı-konumlama böcek yakalama için bir uyarlanımdır (5). Charles R. Darwin, 1862'de Madagaskar yıldız orkidesinin (*Angraecum sesquipedale*) çiçek yapısını incelediğinde, dibinde nektar bulunduran oldukça uzun bir tüp yapısının (yaklaşık 28 cm) olduğunu görmüştür. Bu gözlem Darwin'in, çiçeğin nektarına ulaşmayı sağlayan hemen hemen aynı uzunlukta bir hortuma sahip tozlaştırıcı bir böcek türünün de aynı ortamda bulunması olasılığını düşünmesine sebep olmuştur. Bundan yaklaşık 50 yıl sonra, ağız yapısında 30 cm'lik bir hortum bulunduran atmaca güvesinin, (*Xanthopan morganii praedicta*) varlığı keşfedilmiştir. Bu durum bir bitki ve hayvan türünün karşılıklı etkileşimiyle gerçekleşen bir adaptasyon örneğidir (6).

Hava sıcaklığının 0 °C ile -60 °C arasında değiştiği Antarktika'da, kral penguenlerde (*Aptenodytes patagonicus*) ve imparator penguenlerde (*Aptenodytes forsteri*) belli zamanlarda bir araya toplanıp, kümelendikleri ve yavru bireylerin ebeveynlerin ayakları üzerinde taşındıkları gözlemlenmiştir. Bu durumlar ısı yalıtımını sağlayan davranışsal adaptasyonlardır. Galapagos penguenleri (*Spheniscus mendiculus*) ise yüksek hava sıcaklığından dolayı vücutlarında oluşan fazla ısıyı uzaklaştıran fiziksel adaptasyonlar geliştirmişlerdir –ters akım sistemi. Bu fiziksel uyarlanım, penguenlerin vücutlarındaki fazla ısının kan ile ekstremitelerine hızlı bir şeklide taşınıp uzaklaştırılmasına dayanır (7).

Kamuflaj (kriptik renklenme) canlılarda pasif savunma stratejilerinden olup potansiyel bir av durumunda olan organizmanın predatörü tarafından fark edilmesini zorlaştırır. Güney Amerika'da bulunan kanyon ağaç kurbağaları (*Hyla areni-*

color) bulundukları zemin ile hemen hemen aynı renkte görülür. Bu durum uyumsal renklenme olarak adlandırılır (1). Böceklerin yaprakları taklit etmesi yırtıcılardan gizlenmeye yönelik bir adaptasyondur. Costa Rica'da yaşayan bir çalı çekirgesi türünün vücudunun, yaşadığı habitatta bulunan yaprak yapısına benzeyen bir şekil alması da benzer bir durumdur (5).

Erkek tungara kurbağaları (*Physalaemus pustulosus*) türünün dişi bireylerine sinyal vermek için özel bir ses çıkarma özelliğine sahiplerdir. Bu özellik eşlerin birbirini bulmasını sağlar, yani üremeyi artırıcı bir adaptasyondur. Bir durum erkek kurbağa için aynı zamanda bir dezavantajdır çünkü predatörü olan yarasa türüne (*Trachops cirrhosus*) yerini belli etmiş olur. Bu örnek bir adaptasyonun mükemmeleştirici olmadığına dikkat çekmesi bakımından önemlidir (2).

Gelişimsel süreç uyumsaldır. Bireyler farklı aşamalarda, farklı koşullara uyabilen, farklı fenotipler üreterek çevreye yanıt verir. Bu durum bir anlamda adaptasyonun dinamik bir süreç olduğunun altını çizer. Bir sarmaşık bitkisinin, *Monstrea tenuis* (Araceae), ağaç gövdesine yapışmış olan yaprakları küçük ve çok ince yapıdadır. Bu yaprak yapısını yerden daha yüksek kısımlarda büyük ve parçalı yapıda olan ve uzun saplara sahip yapraklar takip eder. Bu daha büyük ve parçalı yapıda olan yapraklar görece daha aydınlık bir bölgede bulunurlar ve yapıları da daha çok ışık almaya yönelik olarak uyum sağlamıştır (2).

Yaşamayı değil sadece üremeyi artıran uyarlanmalar da vardır. Orkide türleri yaprak şekli açısından oldukça fazla çeşitlilik gösterir ve çok farklı tozlaşma mekanizmalarına sahiplerdir. Bu durumlardan bir tanesini üremeyi artıran bir adaptasyon örneği sunar; Avustralya orkidesinde, *Chiloglottis formicifera*, yaprağın bir kısmı bu bitki türünün polinatörü olan yaban arısı türünün dişi bireyine benzer. Ayrıca bu orkide türü dişi yaban arısının eşey feromonunu taklit eden bir koku yayar. Hem görüntü hem de koku benzerliği, yaban arısının erkek bi-

reyini bitkiye yöneltir ve orkidenin çiçeği tozlaşmış olur. Bu, bitki türünün hayatta kalmayı değil de sadece üremeyi arttırmak üzerine çevresine gösterdiği uyarlanımdır. Ayrıca dikkat edilmelidir ki yaban arısı bitkiden besin alma açısından yararlanmamaktadır, böcek türü bu durumdan hiçbir şey kazanmaz (2).

Stres Proteininin Adaptif Evrimi

Isı-şok proteinleri/moleküler şaperonlar olarak adlandırılan proteinler, genel olarak protein işlevlerini yönlendiren ya da hücre hasarlarını tamir eden mekanizmalarda işlev gören proteinlerdir. Bu tip proteinlere stres-response (stres oluşturan durumlara karşı cevap veren) proteinleri de dahildir. Memelilerde yassı epitelyum hücrelerde ifade edilen stres-response geni olarak adlandırılan SEP53 (Squamous Epithelial induced stres Protein, 53kDa) geni EDC (The epidermal differentiation complex) gen ailesine ait bir gendir ve insan epidermisinde işlev görür. Kanseri baskılayıcı rolü olan gen gruplarından biridir. İnsan ve primat grupları ile yapılan bir çalışma SEP53 geninin DNA diziliminde amino asit değişikliği ile sonuçlanan nükleotid yer değiştirmeleri açısından pozitif bir seçilim olduğunu gösterdi. Çalışma sonucuna göre SEP53 geni, tümör baskılayıcı özelliğinde olan bir başka gen grubu olan p53 proteininin tersine hızlı adaptif evrim geçiriyor. Bu durumun sebebini anlamak için epitelyum hücrelerinin çevresel koşullarını düşünmeliyiz. Virüs, bakteri girişi gibi organizmada stres oluşturan durumlara maruz kalan yassı epitelyum hücreleri genel olarak patojenlerle sürekli karşı karşıyadır. Araştırıcılar, patojenlerinin epitelyum hücrelerinde ifade edilen SEP53 stres response geni ile karşılıklı evrimsel silahlanma yarışına (*arms race*) girmesi sonucu böyle hızlı bir adaptif evrimsel sürecin gözlendiğini düşünüyorlar (8).

Barofilik bakterilerin membran lipidlerinde görülen adaptif değişiklikler

Barofilik bakteri soylarındaki lipid içeriğinin değişen çevresel koşullara göre değişiminin incelendiği bir araştırmada, bakterilerin atmosferik basınç artışına karşı adaptasyon geliştirdikleri görülmüştür. Fakültatif barofilik bir bakteri olan, 16C1 soyunda ve zorunlu barofilik bir bakteri olan 2D2 soyunda fosfatidil etanolamin (PE) temel fosfogliseritlerden biridir ve dokosahekzaenoik asit (DHA) içerir. 16C1 soyunda normal koşullarda PE içeriğinde DHA sadece % 3.7 oranında bulunur. Basınç artırıldığında PE bileşeninde, doymuş yağ asitleri oranının düştüğü, DHA içeren doymamış yağ asitleri oranını arttığı görülmüştür. Aynı sonuç zorunlu barofilik bir bakteri olan 2D2 soyunda da görülmüştür. Yüksek basıç ve düşük sıcaklık koşullarında akışkanlık özelliğini artırmak için bakteriler membran lipidlerinin bileşenlerinin oranını değiştirerek çevrelerine adaptasyon göstermektedirler. Aynı araştırmacılar daha önceki çalışmalarında, derin deniz balıklarının bağırsaklarında, yüzeye yakın yaşayan türlere kıyasla DHA içeriğine sahip bakteri soylarının çok daha fazla oranda bulduklarını tespit etmişlerdir. Bu araştırmalar çerçevesinde, DHA içermenin derin deniz çevresinde görülen yüksek basınç koşuluna karşı geliştirilen bir adaptasyon olduğu önerilmektedir (9).

Polen sınırlaması/kısıtlanması durumunda görülen uyumsal özellikler

Angiospermlerde polen kısıtlanmasına karşı verilen adaptif evrimsel cevapların incelendiği bir çalışma bitkilerde adaptasyonu anlatan bir örnektir. Polen kısıtlanması bitki üretkenliğini, dolayısıyla populasyon dinamiklerini ve yaşayabilirliğini etkileyen bir durumdur. Polen kısıtlanması, bitki türünün polinatörü olan türün populasyon büyüklüğündeki azalma, bitkide

polen üretiminin yetersiz oluşu ya da polenin çevresel koşullar nedeniyle (şiddetli rüzgar ya da yağmur gibi iklim koşulları) bitkiye ulaşımının az olduğu durumlar gibi çeşitli şekillerde görülebilir. Bitkiler polen kısıtlanmasına populasyonlarında kendileşme çökünütüsünün eşik değerini düşürerek, eşleşme sistemlerini kendileşme şeklinde değiştirme yoluna gidebilirler. Bitki türünü daha etkin bir şekilde tozlaştırabilecek başka bir polinatöre uyum sağlayarak pollinator türünü değiştirme ya da pollinator türün populasyon büyüklüğündeki dalgalanmalara uyacak şekilde çiçek açma zamanlamasını değiştirme de verilen uyumsal cevaplardandır (10).

İnsan bipedalizminin başlangıcının adaptif yönü

İnsan evriminde iki ayak üzerinde dik yürümenin (bipedalizm) kökeni hakkındaki hipotezler oldukça çeşitlidir. Bu hipotezler arasında çevreyi daha iyi gözetleyebilmek, ellerin boş kalmasını sağlayabilmek, dişi bireylerin yavrularını sırt üzerinde daha etkin bir şekilde taşıyabilmeleri, yiyeceğe uzanabilme, daha etkin bir şekilde yiyecek taşıyabilme gibi insanın yaşabilmesini daha uyumlu bir hale getiren fikirler öne sürülmüştür.

Bir diğer hipotez dik yürümenin güneş ışınlarına karşı korunmak için bir avantaj sağladığı üzerinedir. İki ayak üzerindeki bireye güneş ışınları sadece başın saçlarla korunan yüzeyine yansıyacağı için iki ayak üzerinde yürüyen bireyin dört ayak üzerinde yürüyen bireye göre güneş ışınlarına maruz kalan yüzey alanı daha azdır. Hipotez bu durumu iki ayak üzerinde yürümenin başlangıç aşaması olarak görür (11).

2007 yılına ait bir çalışmada, orangutanların, oldukça dar olan ağaç dallarına ulaşabilmek için ön üyeleri ile ağaç dallarına tutunarak iki ayak üzerinde (*hand-assisted bipedalism*) durdukları ve böylece yiyeceğe daha etkin bir şekilde ulaştıkları ortaya çıkarılmıştır. Çalışma aynı durumun şempanzelerde de gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Araştırmacılar bu hareket

tarzının (*hand-assisted bipedalism*) yiyeceğe ulaşmak için geliştirilmiş bir adaptasyon olarak görmektedirler (12).

2009 yılında *Science* dergisinin Ekim özel sayısında duyurulan *Ardipithecus ramidus* türünün dik yürümesinin bireylere daha etkin yiyecek taşıma ve sağlama olanağı sunduğu ve bu durumun özellikle erkek bireyler için eşeysel seçilimde rol aldığı belirtilmiştir. Sadece aileye yeterli miktarda yiyecek taşıyabilen ve sağlayabilen erkek bireylerin dişiler tarafından çiftleşmek için seçilmesi, bu bireylerin pozitif seçilime uğradığı ve gen havuzunda frekanslarının arttığı tahmin edilmektedir (11, 13).

Predatör baskısına maruz bırakılan dişi kuşlar daha uzun kanatlara sahip yavrular meydana getiriyorlar

Büyük baştankaralar (*Parus major*) üzerinde çalışan bir grup, ovulasyon boyunca predatör stresine maruz bırakılan dişi bireylerin daha küçük vücutlu ve daha uzun kanatlı yavrular oluşturduklarını gözledi. Küçük vücut ve uzun kanatlara sahip olmanın uçuş performansı açısından daha avantajlı bir durum olabileceğini belirten grup, bu durumun oluşmasına sebep olarak dişi bireyin geçirdiği hormonal değişiklikleri öne sürüyor. Yayınlanan bu çalışmada, araştırmacılar bunun bir adaptif durum olup olmadığını anlamak için populasyonu jenerasyonlar boyunca izlemenin ve ileri sürülen hormonal değişiklikleri analiz etmenin gerekli olduğunu belirtiyorlar (14).

Ekzaptasyon/ardıl uyarlanım

Adaptasyon/uyarlanım doğal seçilim tarafından mevcut işlevi için üretilmiş bir özellik iken, ekzaptasyon/ardıl uyarlanım, belli bir işlevi olan fakat doğal seçilim tarafından mevcut kullanımı için üretilmemiş olan özelliktir. Muhtemelen bu özellik, başlangıçta doğal seçilim tarafından mevcut işlevinden farklı bir işlev için üretilmiştir, fakat daha sonra yeni bir işlev

yüklenerek bugünkü işlevini göstermeye başlamıştır. Ekzaptasyon, uyumluluğu artırıcı ancak adaptasyon olarak düşünülemeyecek karakteristiklerdir (5).

Kuşların tüylerinin oluşumu bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Archaeopteryx fosilinin incelenmesi sonucu, yaşadığı dönemde oldukça yoğun bir şekilde uzun tüylere sahip olduğu anlaşılmıştır. Buna rağmen fosilin iskelet yapısına bakıldığında uçma hareketlerinin oldukça basit düzeyde kaldığı sonucuna varılmıştır. Bu durum akıllara tüylerin uçma işlevi için gelişen bir özellik olmayabileceği fikrini getirmiştir. Tüylerin canlıya yaptığı ısı yalıtımı katkısı düşünüldüğünde tüylerin öncelikle bu işlev için seçildiği düşünülebilir. Bu konu üzerine ayrıca Archaeopteryx'in ön üyelerindeki yoğun tüylenmenin, ön üyelerinin yüzey genişliğini artırıcı etkisi olduğu ileri sürülmüştür. Daha geniş yüzeye sahip ön üyelerin böcek avlamada avantaj oluşturabileceği fikri, tüylerin başlangıçta bu işlev için seçildiğini öneren bir başka durumdur. Kısaca, kuşların tüy yapısı başlangıçta ısı yalıtımı ya da besin bulma işlevleri için doğal seçilimle oluşarak bir adaptasyon olarak gelişmiş, daha sonraki süreç içinde uçma işlevi için de uyarlanmıştır. Uçma işlevi için olan bu sonraki uyarlanım doğrudan doğal seçilim etkisiyle oluşmadığı için kuşlarda tüy oluşumu uçma işlevi için bir ekzaptasyondur (15, 16).

Bir balıkçıl türü olan *Egretta ardesiaca* kanatlarını başının üzerinde birleştirerek suya gölge yapar ve bu davranış şekli kuşun balık avlamasını kolaylaştırır. Bu karakteristik davranış örneği de kanat ve tüy yapısının uçma işlevi dışında kullanıldığını gösterir (15).

Benzer bir durum karasal hayata geçilmeden önceki dönemlerde de canlılarda kemiklerin var olmasıdır. Sucul ortamda iken, yani henüz vücuda destek sağlamak gibi yapısal bir sorun mevcut değilken organizmaların kemiklere sahip olmaları kemiklerin ilkin vücuda destek sağlamak üzere uyarlanmadıklarını ifade eder. Kemiğin bir işlevi de fosfat iyonlarını depo etmektir; örneğin insanda fosforun %90'nı kemiklerde

bulunur. Bu durumda kemik oluşumu metabolik aktivite için gerekli iyonları depo etme işlevi bakımından bir adaptasyon, sonradan kazanılan vücuda destek sağlama işlevi açısında ise bir ekzaptasyondur (15, 16).

Adaptasyon olmayan özellikler

Filogenetik geçmişin bir sonucu

Canlılara belirli işlevleri için avantaj sağlayan özellikler, bazı durumlarda o canlının sadece filogenetik geçmişinin sonucuyla oluşmuş olabilir. Bu tür özellikleri adaptasyon olarak tanımlamak yanlış olacaktır. Örneğin memeli kafatasındaki suturların gelişimi doğum olayını mümkün kılacak düzeydedir. Sadece bu gözleme bakarak sutur yapısının gelişimi, doğumun gerçekleşebilmesi için oluşmuş bir adaptasyon gibi düşünülebilir fakat sutur gelişiminin doğum olayının gerçekleşmediği kuşlar ve sürüngenlerde de olması, sutur gelişiminin memelilerde bir adaptif özellik taşımadığını sadece memelilerin filogenetik tarihinin bir sonucu olarak bu taksonda varolduğunu fark etmemizi sağlar (1).

Fiziksel ve kimyasal özelliklerin sonuçları

Kan neden kırmızıdır? Kanın kırmızı renkte olmasının sebebi kanın kimyasal bileşiminden kaynaklanır. Kanın kimyasal yapısı bir uyarlanım sonucu oluşmuş olsa da rengin oluşumu sadece bir yan ürün olarak açıklanır. Kanın renginin oluşumu ile kimyasal bileşimi arasında uyumsal bir ilişki yoktur[1].

Başka bir özellik ile korelasyon gösterme

Bir özellik kendisi bir adaptasyon olmasa da uyumsal olan başka bir özellik ile korelasyon göstererek bu özellik ile bağlantılı olabilir. Bu durumda adaptasyon olan özellik doğal seçilim ile canlıda sürekli seçileceği için bağlantılı olan diğer özellik de seçilecektir. Örneğin E.coli soylarında (his-) aleli, seçilim açısından yansız bir aleldir; fakat (his-) frekansı organizmada yararlı

olan bir başka mutasyon ile bağlantılı olduğu için bu mutasyon ile aynı frekansta dalgalanır[1].

Genetik sürüklenmenin etkisi

Nötral moleküler evrimin kuramı, populasyon içindeki çoğu genetik çeşitliliğin doğal seçilimin değil, mutasyon ve genetik sürüklenmenin bir sonucu olduğunu söyler. Nötral kuramın temel noktası basitçe, bir popülasyonda bir genin birkaç çeşidini görüyorsak bunların sıklıklarının sadece rastgele sürükleniyor olabildiğidir[2].

Genetik sürüklenme rastlantının önemini vurgular ve şuanda gördüğümüz uyumsal gibi görünen bazı özelliklerin şans eseri oluşmuş olabileceğini ifade eder.

Uyarlanım olmayan özelliklere örnek olarak körelmiş yapılar verilebilir. Körelmiş bir yapı, organizmanın ataları için uyarlanım olan bir özellikken, organizmanın yaşadığı çevrenin koşullarının değişmesiyle evrim sürecinin bir sonucu olarak işlevsizliğe doğru evrilmiş bir yapıdır. Tamamen karanlık mağaralarda yaşayan balık türleri, körelmiş ve işlevsiz gözlere sahiptir. Bu balıkların görebilen ataları mağaralarda yaşamaya başlayınca gözlerin işlevini korumaya yönelik hiçbir doğal seçilim baskısı kalmamıştır. Bu yüzden, iyi görüşe sahip balıklar daha kötü görüşe sahip balıklarla rekabetteki üstünlüklerini kaybetmiştir. Günümüzde bu balıklar hala gözlere sahiptir – ancak gözlerin artık işlevleri yoktur ve bu bir uyarlanım değildir yanlızca bu balık türünün evrimsel tarihinin bir yan ürünüdür[2].

Sonuç olarak, bir özelliğin adaptasyon olarak tanımlanabilmesi için doğal seçilimin ürünü olup olmadığı test edilmelidir. Yapılacak moleküler analizler, sözkonusu özelliğin genetik alt yapısını ortaya çıkaracaktır. Bir özelliğin tarihsel sürecini bilmek o özelliğin hangi işlev/işlevler için adaptasyon, hangi işlev/işlevler için ekzaptasyon olduğunu anlamamız için gereklidir. Türlerin tarihsel sürecini bilmek aynı zamanda söz konusu özelliğin bir yan ürün ya da filogenetik geçmişin sonucu

olup olmadığını anlamamızı da sağlar.

Şu anda gördüğümüz adaptasyonların, bazı işlevlerin üzerinden gelmek için olduğu zannedilebilir. Canlıların hedefleri varmış gibi bir görünebilir. Fakat önemle ayırt edilmelidir ki bu durumu kontrol eden DNA'daki bilgidir ve bu bilgi doğal seçilimin tarihsel süreci içinde şekillenmiştir (2).

KAYNAKLAR

(1) Campbell N.A., Reece J.B., *Biyoloji*, 2006, Palme Yayıncılık.
(2) Futuyma J. D., *Evrim*, (2008) Palme Yayıncılık.
(3) The Oxford Dictionary of Science.
(4) Mayr, Ernst (1982). *The growth of biological thought: diversity, evolution, and inheritance* (1st ed.). Cambridge, Mass: Belknap Press.
(5) http://evrimianlamak.org/e/Ana_Sayfa.
(6) http://www.britishcouncil.org/science-darwinnow.htm.
(7) http://www.visionlearning.com/about_us.php National Science Foundation, Saxer,I. Rosenberg, L. A. , Adaptation, The case of penguins.
(8) Little TJ, Nelson L, Hupp T (2007) Adaptive Evolution of a Stress Response Protein. *PLoS ONE* 2(10): e1003. doi: 10.1371/journal.pone.0001003.
(9) Yano, Y., Nakayama A., Ishihara K., Saito H., (1997) Adaptive Changes in Membrane Lipids of Barophilic Bacteria in Response to Changes in Growth Pressure. *Applied And Environmental Microbiology*, Vol .64 No.2Feb. 1998, p. 479–485.
(10) Harder D. L., Aizen M. A., (2010) Floral adaptation and diversification under pollen limitation . Phil. Trans. R. Soc. B (2010) 365, 529–543 doi:10. 1098/rstb.2009.0226.
(11) http://evrimcaliskanlari.org/blog/
(12) Thorpe S. K. S. , Holder R. L., Crompton, R. H., (2007) Origin of Human Bipedalism As an Adaptation for Locomotion on Flexible Branches. *Science* 316: 1328

(13) http://www.sciencemag.org/site/feature/misc/webfeat/ardipithecus/

(14) Coslovsky, M and Richer, H. (2011) Predation risk affects offspring growth via materrnal effects, *Functional Ecology* 25: 878-879.

(15) Gould S.J., Vrba S. E., (1982) Exaptation - A Missing Term in the Science of Form. *Paleobiology*, Vol. 8, No. 1 (Winter, 1982), pp. 4-15.

(16) http://www.stephenjaygould.org

4. EVRİMSEL GELİŞİM BİYOLOJİSİ

Başak Şentürk, Burcu Daşer,
Nazlı Ayhan, Yiğit Şener

Evrimsel Gelişim Biyolojisi, evrim sürecinde, canlıların vücut planlarının ve belli vücut bölgelerinin nasıl oluştuğu sorusuna organizmanın gelişim sürecinde meydana gelen genetik mekanizmaları inceleyerek cevap arar.

Tek bir hücreden milyonlarca hücreli bir canlıya gelişim süreci yüzyıllar boyunca merak konusu olmuş ve bu konu ile ilgili birçok hipotez ortaya atılmıştır.

Evrim ise bilindiği üzere bilim dünyasını oldukça derinden etkileyen bir devrim niteliğindedir.

Canlıların şekil, organizasyon, renk, vücut planı olarak bu denli çeşitlenmesini ve farklı formlarının ortaya çıkışını açıklamak için bugün gelişim ve evrim temelinde embriyoloji, morfoloji, moleküler genetik, hücre fizyolojisi, biyokimya gibi birçok alanın birlikteliğinden oluşmuş evrimsel gelişim biyolojisi (Evo-Devo) kullanılmaktadır.

Gelişim üzerine yapılan çalışmalar son yirmi yılda yüksek bir ivme kazanmış ve evrimsel süreçlerin ipuçları gelişim döneminde aranmaya başlanmıştır. Bu bağlamda genetik analizler ve moleküler biyoloji, ergin döneminde görülen boyut ve şekil çeşitliliğine rağmen temelde embriyonal dönemde paylaşılan birçok ortak gen, genetik yol ve moleküler sinyal mekanizmalarına işaret etmiştir.

Bunun öncesinde kimse, aynı genin hem bir böceğin vücut planını ve organlarını hem de bizim vücut planımızı etkileyebileceğini düşünemezdi. Biz bugün evrimsel gelişim biyolojisi çalışmaları sayesinde, canlı gruplarının temel vücut planı, üye oluşumu, polarizasyon gibi birçok yapının oluşumunda görevli genlerin, sirke sineğinden (*Drosophila melanogaster*) kertenkeleye, yılandan, hipopotama kadar aynı gen grupları tarafından

kontrol edildiğini biliyoruz.

Bu çalışmalar beraberinde bilim adamlarını, paylaşılan bu kadar ortak gen olmasına rağmen çeşitliliği meydana getiren mekanizmaların ne olduğunu araştırmaya yöneltmiştir. Bugün biyolojide eskide beri sorulagelen "canlılardaki şekil, organizasyon nasıl oluyor da bu kadar çeşitli olabiliyor? Farklı türler nasıl ortaya çıktı? Çeşitlilik nasıl evrimleşti?" gibi soruları günümüzde Evrimsel Gelişim Biyoloji'si ile daha iyi açıklayabiliyoruz.

Doğa bilimleri ile uğraşanlar ilk olarak canlıları sınıflandırma eğiliminde olmuşlar ve farklı kategoriler ile canlı gruplarını birbirlerinden ayırmışlardır. Omurgalılar, arthropodlar, kuşlar, molluscalar v.d. Bir böceği bir örümcekten ya da bir balığı bir semenderden, bizi şempanze kuzenlerimizden farklı yapan ne diye soracak olursak karşımıza bu kilit sorunun cevabı olarak iki temel süreç çıkmaktadır: Bunlardan biri gelişim diğeri ise evrimdir.

Çok hücreli organizmalarda evrim, gelişimde görev alan genleri, bu genlerin ifadesinde görevli farklı transkripsiyon profillerini ve ardından gelen gelişimsel mekanizmaları korumuştur ve böylece, gelişimi izlemek için genetik olarak iyi karakterize edilen model organizmaların kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Maya (*Saccharomyces cerevisiae*), sirke sineği (*Drosophila melanogaster*), fare (*Mus musculus*) gibi genetik çalışmalarda kullanılan model organizmalardaki gelişimsel genetik analizleri, evrimsel süreçte belli gen bölgelerinin ve sinyal sistemlerinin korunduğunu ortaya çıkarmıştır. Örneğin Drosophila'daki ve insandaki göz oluşumu, aynı gen seti ve düzenleyici sinyal seti ile gerçekleşmektedir. Bu gibi birçok örnek evrimsel gelişim biyolojisi bölümünün ilerleyen kısımlarında verilecektir.

Model organizmaların genom dizilerinin çıkarılması ile belli gen bölgelerinin çok çeşitli organizmalarda korunduğu ortaya çıkmıştır.

Günümüzde yapılan DNA dizi analizleri şempanze ve insanın %98 oranında ortak genlere sahip olduğunu göstermektedir.

Peki bu kadar çok ortak ve korunmuş gen bölgesi varsa, biyoçeşitliliği meydana getiren nedir?

Tüm çok hücreli canlılar arasında bir çok gelişimsel mekanizma benzer olmasına rağmen, evrimsel süreçte zigottan ergin bireye dönüşüm sırasında, genlerde meydana gelen mutasyonlar, duplikasyonlar –bir genin sayıca iki katına çıkması– ifade düzeylerinde farklılıklar meydana getirerek aynı genlere farklı görevler yüklenmesine ve yeni gelişim yollarının oluşmasına neden olmuşlardır. Benzer şekilde, genlerin ifade zamanları ve ifade yerleri de farklı mekanizmaların gelişmesi ile sonuçlanabilmektedir.

Formlardaki farklılık özellikle şekil, sayı ve yapı anlamında, temelde evrimsel süreçte genlerin nerede ve ne zaman kullanıldığına, ayrıca ifade farklılıklarına göre değişmektedir. Örneğin sürüngenler arasında sadece kaplumbağaya özgü olan kabuk yapısı, bir sinyal yolunda meydana gelen değişim ile ortaya çıkmıştır.

DNA'mızın sadece %1.5'lik kısmı protein kodlamakta, yaklaşık %3'lük kısmı ise 100 milyon kontrol bölgesi içermektedir. Bu kontrol bölgeleri genlerin ne zaman nerede ve ne kadar ifade olacağını denetlemektedir. Genlerin kontrolü hücre bölünmesinin en aktif olarak gerçekleştiği embriyonun gelişimi sırasında büyük önem kazanmaktadır.

Bugün çeşitliliği anlayabilmek için, 1970'lerde Stephan Jay Gould'un *Ontogeny and Phylogeny* adlı kitabında gelişim sırasındaki modifikasyonların evrimi etkileyebileceğini söyleyerek temelini attığı gelişim ile evrim süreci ve birbiri ile olan ilişkileri açıklamaya çalışıyoruz.

Gelişim alanında çalışan genetikçiler şu temel sorulara cevap aramaktadırlar: Gelişim esnasında hangi genler, ne zaman, hangi hücrede ve ne seviyede ifade oluyorlar? Bu ifadeyi hangi indüksiyon, hücre-hücre iletişimi ve hücresel farklılaşmalar iz-

lemektedir?

Embriyonal dönemde hücrelerin birbirlerinden farklılaşması, farklı zamanlarda farklı hücre tiplerinde genlerin aktivasyon ve inaktivasyonu ile gerçekleşir. Her hücre aynı gen dizilimine sahiptir ancak gelişim sırasında farklılaşmayı kontrol eden genlerin farklı transkripsiyonu sonucu fenotipik çeşitlilikler meydana gelir (1, 2).

Transkripsiyon, özgül DNA bölgelerinin RNA polimeraz tarafından mRNA'a aktarılmasıdır. Ökaryotlarda tüm mRNA'ların transkripsiyonundan sorumlu olan RNA polimeraz 2 (RNPII)'dir. RNPII'nin aktif bir şekilde transkripsiyona başlamasına yardımcı olan *cis*-acting (Kor-promotor elementleri) bulunur. İlki, RNPII'nin DNA'ya nereden bağlanacağını tayin eder. Promotor ve enhancer elementleri (etki arttırıcı) olarak adlandırılan diğer iki tip düzenleyici DNA dizileri, RNPII tarafından devam ettirilen transkripsiyonun oranını ya da verimini etkiler.

Bütün ökaryotik genlerde bulunan **TATA kutusu** (*core promotor*) transkripsiyonun başlama noktasından 30 nükleotid çifti kadar yukarıda (-30) bulunur ve RNPII'nin bağlanacağı bölgeyi yani transkripsiyonun tam başladığı nükleotit pozisyonunu tayin eder. Bu bölge transkripsiyon başlama bölgesi olarak adlandırılır.

Ökaryotik promotorun bir parçasını oluşturan diğer bir "*cis*-acting" DNA dizisi **CAAT kutusu**dur. Tipik olarak transkripsiyonun başlama bölgesinden 100 nükleotit yukarıda yer alır. CAAT kutusu gibi regülatör elementler promotorun aktif çalışmasını yani transkripsiyonun verimli çalışmasını etkiler.

Üçüncü tip *cis*-akting düzenleyici DNA elementleri **enhensır**lardır. Konumları oldukça değişken olmasına rağmen transkripsiyonu uzaktan kontrol edebilirler. Enhensırlar, birçok düzenleyici proteinle ve transkripsiyon faktörleri ile etkileşerek, transkripsiyonun başlama kapasitesini arttırabilirler. Enhensır dizileri içinde negatif regülatörlerin bağlanma bölgesi olabildiği

gibi bir çok pozitif regülatörün bağlanma bölgesini de içerir.

Aynı zamanda *cis*-acting elementlerle etkileşime girerek RNPII'nin bağlanması ve transkripsiyonun verimliliğini etkileyen transkripsiyon faktörleri (*trans*-acting) de bulunmaktadır.

TATA kutusu ile yapılan genetik çalışmalar, bu bölgede meydana gelen mutasyonların transkripsiyon etkinliğini düşürdüğünü, aynı şekilde, bu bölgede meydana gelen delesyonların transkripsiyonun başlama noktasını değiştirebileceğini göstermiştir. Bu da o gen bölgesinin ifade olamaması yani protein yapısının değişmesi ya da proteinin hiç sentezlenememesi demeye gelmektedir.

Aynı şekilde CAAT kutusu mutasyon analizleri göstermiştir ki bu elementin her iki yanında oluşan mutasyonların hiçbir etkisi olmazken, CAAT dizisi içindeki mutasyonlar kritik bir şekilde transkripsiyonu etkilemekte ve transkripsiyon hızını önemli oranda azaltmaktadır.

Enhansırlar ile yapılan deneysel çalışmalar ise bu kontrol noktalarının çoğunlukla kendisinden sonra gelen genin ifadesini arttırdığını, başka bir bölgeye taşınmaları durumunda da normalde kendisi ile ilgili olmayan bir genin transkripsiyonunu artırabildiğini ortaya koymuştur.

Özet olarak, ökaryotik genlerin promotor dizileri, yerleşimi ve organizasyonu gen bölgesinin ifadesi üzerinde anahtar rol oynamaktadır. Bu bölgelere *gene switch* bölgeleri de denmektedir (3).

Bu çerçevede temel olarak gelişimdeki üç genel süreç ele alınacaktır. Bunlar: temel vücut ekseni ve vücut ekseninin özgülleşmesi, paylaşılan genler ve ifade farklılıkları, evrimsel süreçte gen bölge farklılaşmaları ve gelişimde hücre-hücre etkileşiminin rolüdür.

Vücut planı

1800'lerin ortalarında yaşayan anatomi uzmanı Sir Richard Owen düzensiz görünen canlı çeşitliğinde, kurbağadan insana

kadar birbirinden farklı canlılar arasında önemli benzerliklerin olduğuna dair örüntüler tespit etti. Tespit ettiği örüntü, üyeli canlıların benzer vücut planlarına sahip olduğuydu –bir bacak, kanat, yüzgeç ya da el– hepsinde ortak bir model söz konusuydu. Kolda bir humerus kemiği, onun bağlandığı radius ve ulna kemikleri, bir dizi minik yuvarlak kemik (tarsal- metatarsal) ve parmaklar (falange). Bu model üyelerin temel planını oluşturmaktaydı. Peki aralarındaki farklılık neye dayanmaktaydı? Yarasa kanadında parmakların boyları uzamış, at toynağında bazı kemikler uzayıp kalınlaşırken bazıları körelmiştir, yani bu farklılıklar kemiklerin şekil ve büyüklük farkından ileri gelmekteydi. Üyerin işlev ve görünüşleri tamamen farklı da olsa, hepsinin temelinde bu plan yer almaktadır.

Owen tek tek kafatasını omurgayı incelediğinde hatta vücut planının tamamına baktığında yine aynı sonuca ulaştı: Canlılar ortak bir vücut planının varyasyonlarını taşımaktaydılar.

Sadece plan olarak değil yapısal olarak da vücut tekrar eden parçalardan oluşmaktadır. Kemikler tek tek ele alındığında -aslında şekil ve boyut farklılığının dışında-aynı yapıda olduğu görülebilir. Birçok canlı bu tekrar eden yapıları taşımaktadır.

Bazı vücut bölümleri küçük olurken, dinozor gibi büyük canlıların devasa vücut parçaları olabilmektedir. Dinozor gibi 150 milyon yıl önce yok olmuş canlılarda da olsa günümüz semenderlerinde de olsa benzer tekrar eden vücut planları omurgalı vucüt mimarisini oluşturmaktadır.

Bu sadece omurgalılarlada sınırlı değildir, 500 milyon yıl önce Kambriyen patlamasında ortaya çıkan canlıların da benzer şekilde tekrar eden vücut planlarına sahip olduğunu, günümüze gelen örneklerinden ve fosil kayıtlardan bilmekteyiz. Günümüzde yaşayan Artropodların (eklembacaklılar) vücut planı incelendiğinde tekrar eden segmentlerin birbirine eklenmesinden oluştuğu görülür. Bu segmentler birbirinden ölçü, biçim ve eklenmiş uzuvları bakımından ayrılmaktadır.

Tekrar eden yapılar ilk bakışta görülemeyebilir; örneğin ke-

lebeğin kanadı için ne kadar karmaşık bir yapıya sahip diye düşünülebilir: Ancak kanadın, her ne kadar karmaşık yapıda görünse de, yakından incelendiğinde, tekrar eden parçalardan oluştuğu görülebilmektedir. Bir kuşun sahip olduğu tüyler özünde yapısal olarak birbirinin aynısıdır.

Seri homolog yapılar evrimsel süreçte işlevlerine göre farklılaşmışlardır. Örneğin adaptif süreçte sürüngenler aynı tekrar eden diş yapısına sahipken, insanın dişleri farklılaşmış, kesici diş, azı dişi şeklinde özelleşmişlerdir. Benzer şekilde tetrapodlarda tekrar eden yapı olan parmaklar, insan sözkonusu olduğunda biri diğerinden farklıdır.

Yakın gruplar arasında bile bu farklılık oldukça büyük olabilmektedir. Örneğin memeli olan at ve koyun gibi canlıların parmak yapısı, dıştaki parmakların körelmesi ile 3 parmaklı toynak yapısına dönüşmüştür.

Simetri ve polarite

Tekrar eden parçalara ek olarak hayvan vücudunun iki temel özelliği vardır: simetri ve polarite.

Çoğu hayvan bilateral simetri gösterir, yani baştan kuyruğa doğru bir eksen ile ikiye ayrıldığında, bu iki parça birbirinin ayna görüntüsüdür. Simetri gösteren eksenler canlıların evrim süreci hakkında ipuçları vermektedir. Kurbağadan böceklere, balıktan kuşlara kadar canlılar bilateral simetri göstermektedir. Bu bir anlamda evrimsel süreçte paylaşılan ortak özellik olarak karşımıza çıkmaktadır.

Buna ek olarak her hayvanın bir baş gövde ve kuyruk bölgesi vardır, yani kendi içinde bir polariteye sahiptir. Bu kutuplaşma evrimsel süreçte korunmuş gen bölgelerince kontrol edilmektedir.

Çoğu canlının paylaştığı simetri ve polariteyi meydana getiren temel kurallar nelerdir? Çeşitlilik nasıl evrimleşmiştir? Türe özgü yapısal bilgiler nasıl kodlanır? Bu gibi soruların cevaplarını günümüzde evrimsel gelişim biyolojisi ile verebiliyoruz (1, 2).

Embriyonik haritalama

Bir embriyo gelişim sürecinde gözlerini, kollarını nereye koyacağını ya da hangi parçasının baş, hangi parçasının kuyruk olacağını veya hangi bölgesinin alt kısmını, hangi bölgesinin üst kısmını oluşturacağını nereden biliyor? Bu sorulara cevap bulmak için "Embriyonik Haritalama" yöntemi kullanılmaktadır. Küre (embriyo) üzerinde enlem ve boylam çizgileriyle embriyonun koordinatları tanımlanır ve gelecek pozisyonlardaki dokuların, organların ve diğer yapıların yerleri belirlenir. Embriyo küresindeki enlem, boylam, derinlik (tabaka) ve uzunluk olarak bölgesel farklılıklarla; hücrelerin, dokuların ve organların spesifik pozisyonları belirlenir (2).

Tool kit genleri-pair rule genleri

100 hücreli bir böcek embriyosu düşündüğümüzde 15-20 hücresi embriyonun doğusunu, orta bölgesini ve batısını belirler, bunlar tool kit genlerinin işlevine işaret eder. Tool kit genleri 7 şerit oluşturarak embriyonun 2/3 ünde dizilim gösterir, bu genlere ise pair rule genleri denir. Bir başka grup hücre 14 şerit oluşturur ve bu da embriyonun 14 ana segmentidir. Bu segmentler düzenli aralıklarla yerleşmiş ve birbirleriyle iletişim içerisindedir. Bazı segmentler sınırları belirler. Hücre pozisyonunu ve kimliğini tool kit genlerinin birlikte çalışması belirlemektedir. Doğu-batı boyunca farklı boylamda bulunan 4. grup genler modüllerin kimliklerinin belirlenmesinde görev alır, bu genlerse Hox genleridir. Büyümesi devam eden 2 ila 7 segmentte bulunur (2).

Bir böceğe baktığımızda üç çift bacağa ve iki çift kanada (Diptera hariç) sahip olduğunu görürüz. Böceklerde bulunan bu üç çift bacağın sadece thorax (göğüs) segmentlerinde, kanadın ise thoraxın ikinci ve üçüncü segmentlerinde bulunduğunu görürüz. Neden bacaklar sadece üç çift ve thorax bölgesinde

yer alıyor ya da neden kanatlar başka segmentlerde yer almıyor?

Distal-less (*Dll*) geni bacak oluşumunda rol oynar (4). Embriyonun birçok bölgesinde aktive olur, orta kısmında, güney bölgesinden kuzey bölgesinin ortasına kadar. *Dll* embriyonun doğusunda aktive olmaz. Çünkü burada Hox proteinleri hangi segmentte *Dll*'nin durdurulacağını yönetir (bu da bize abdominal segmentlerde neden bacak gelişmediğini açıklar).

Ultrabithorax (*Ubx*) geni böceklerde sadece thoraxın ikinci ve üçüncü segmentlerinde ifade edilir ve bu segmentlerde kanat gelişimi gözlenir (5). Peki, bir çift kanadı bulunan sinekler? Sineklerde (Diptera) ön kanatlar daha büyük, düz ve güçlüdür. Arka kanatlar (halter organı) ise küçük, balon şeklinde damarsızdır. Embriyonik gelişim sürecinde arka kanatlar da ön kanatlar gibi gelişmeye başlar fakat ön kanattan şekil, büyüklük ve damarlanma açısından farklılık gösterir. Bunun nedeni arka kanatta tüm hücrelerin aktif olması fakat ön kanatta hepsinin aktif olmamasıdır. Sineklerdeki kanat gelişiminden de anlaşılacağı gibi genin sadece kendisinin değil ürünü olan proteinlerin de bu gelişim sürecinde büyük bir role sahip oldukları Evo-Devo araştırmalarıyla gösterilmiştir.

Embriyo, gelişim sürecinde ilk olarak eksenini oluşturur. Eksen oluşumuyla organları, uzuvları oluşturacak olan hücre grupları bölgelerine göç ederek kendi alanlarında gelişim gösterirler. Birçok anahtar molekülden bir tanesi tool kit proteini *Chordin*'dir. Blastoporun dorsal dudağının çevresindeki hücreler tarafından sentezlenir. Diğer proteinler baş-kuyruk eksenini örn Frzb proteini, gelecekte başı oluşturacak olan hücreler tarafından sentezlenir. Eksen oluşumunda etkili olan Chordin ve Frzb proteinleridir.

Uzun kemikler, parmaklar, eklemler, kaslar ve tendonlar olgun ekstremitelerde bulunur. *Sox9* ekstremitelerin ilkin figürlerini oluşturur. Eklemler bu figürlerin arasına yerleşir. *GDF5* geni gelecekte ön ekstremitelerde omuz, dirsek, bilek ve eklemlerin pozisyonunu ve arka ekstremitelerde de dizin, ayak bileği-

nin, ayağın ve parmakların pozisyonunu belirler. Tendonların gelecekte ki pozisyonlarını da *Scleraxis*' in ekspresyonu sağlar (6).

Ekstermitelere bakıldığında yapı içeriğinin aynı olduğu görülür – kemik, tendon, kas, eklem vs. Fakat bütün bu yapılar boy, şekil ve eklem sayısı bakımından farklılık göstermektedir. Kolun üst kısmı uzun bir kemik, alt kısmında iki uzun kemik ve devamında beş parmaktan oluşur. Eklemlerin boylarını, şekillerini ve eklemlerin sayısını Hox genleri belirler (ilk olarak Hoxa9-13 ve Hoxd9-13) (2).

Lokal inhibisyon

Embriyonik dönemde birçok genin vücut planını belirlediği, yapılan embriyonik haritalama yöntemi ile aydınlatılmıştır. Ancak, bazı yapıların oluşumunda bu yöntem yetersiz kalmaktadır. Örneğin, desenlerin oluşumuna bakıldığında, ilk oluşan hücreler temelde aynı renge sahiptirler fakat, hücreler belirli tiplere dönüşerek çevrelerinde lokal inhibisyon yaratırlar ve bunun sonucu olarak farklı desen ve motifler gözlenir. Düzenli motiflerin net etkisi; böcek vücudunda kıllar; kuşlarda tüyler; reptillerde pullar; memelilerde kürk; artropodlarda bileşik gözler olarak örneklendirilebilir. Bu yapıların hepsi küredeki spesifik koordinatlarla değil, lokal inhibisyonla oluşur.

Gen anahtarları

Çok hücreli canlıların vücudundaki tüm hücreler aynı DNA içeriğine sahiptirler, fakat her hücrede her gen ifade edilmediğinden her hücrenin protein içeriği farklıdır. Bir genin bir bölgede (spesifik koordinatlarda) bulunması o genin orada etki göstereceği anlamına gelmez. Önemli olan bir genin o bölgede ifade edilip edilmemesi ve ekspresyon düzeyidir. Bu ekspresyon düzeyini de belirleyen anahtar bölgelerdir.

Anahtarlar hem gelişimde hem de evrimde başrol oynarlar. Örneğin ortamda laktoz bulunmadığı zaman lac reseptörü spesifik DNA dizisine bağlanır ve laktaz enziminin transkripsiyo-

nunu engeller. Laktoz ortamda bulunduğunda ise reseptör spesifik DNA bölgesinden ayrılır ve DNA transkripsiyon yaparak laktaz enzimini sentezler.

İnsan vücudunda birçok gen anahtarı farklı vücut bölgelerinde işlev görürür –kalbin, gözlerin ve parmakların gelişimi vb. *BMP5* (*Bone morphogenetic protein 5*) kaburga, uzuvlar, parmak uçları, dış kulak, iç kulak, omurga, tiroid kıkırdağı, nazal sinüs, sternum gibi vücudun şeklinin belirlenmesinde önemli olan bölgelerde aynı proteini eksprese ederek işlev görür (2, 7).

Gen mutasyonları

Üye oluşumunu sağlayan *Dll* genindeki mutasyonlar, meyve sineklerinde bacakların kafadan çıkmasına veya insanlarda beşten fazla parmak oluşmasına neden olur. Göz oluşumunda rol oynayan bir Hox geni olan *Pax6* geni omurgasız ve omurgalılarda işlevsel olarak günümüzde ki canlılara kadar korunmuştur. *Pax6* mutasyonları omurgalı ve omurgasızlarda ektopik (işlevsel yerinin dışında örneğin bacakta) göz oluşumuna neden olur (2, 8, 9).

Birçok canlı organizma benzer tool kit genlerini kullanıyorlar. Peki, benzer tool kit genlerinin kullanımıyla farklı iki canlı nasıl gelişiyor? Tool kit genleri bir hayvanda tekrar tekrar kullanılır, bu kullanım birçok farklı yoldan olur fakat bu, paradoksu çözmektedir. Anahtarlar aynı tool kit genlerinin farklı canlılarda farklı kullanımına olanak sağlar. Bir tool kit geni veya proteini değişime uğrayabilir, fakat bu değişim gelişmekte olan bir diğer bölgenin değişmeden ve düzenini etkilemeden gerçekleşir. Bu modüler etki vücut ve vücut parçasının evriminin anahtarıdır.

Ediacara faunası

Ediacara faunasında denizanası, mercanlar ve süngerler baskın olan canlılardır. Bu canlıların vücut yapıları yumuşak dokudan oluştuğundan fosil bırakmazlar. Peki, fosil yoksa ne

yapılmalıdır?

Elimizde yeterince fosil kaydı olmadığından evo-devo yeni bir çözüm bulup canlıların embriyolarını ve gelişim süreçlerini izleyerek, ortak nokta bulmaya çalışmıştır. Protostome ve deuterostome canlıların, ortak atalarının, hayatlarının belli evrelerinde bilateral simetriye sahip oldukları görülmüştür. Kambriyen döneminde görülen protostome ve deuterostomeların, hem yapısal hem de aynı özelliklere sahip olmalarını sağlayan ortak tool kit genlerine sahip oldukları bulunmuştur. Eddy de Robertis ilkin bilateral simetri gösteren canlı olan urbilateriayı araştırmıştır. Bu canlıda en az 6-7 Hox geni varlığı ve *Pax6 – Dll – Tinman* genleri ve birkaç yüz tane vücut yapısını belirleyici genleri içerdiği bulunmuştur.

Urbilateria'da bulunan *Pax6* Hox geni bu canlıda gözün olup olamayacağı sorusunu gündeme getiriyor. Fakat ilk göz benzeri yapılar Kambriyen döneminde Trilobitler'de görüldüğü için bu canlılarda kompleks bir göz yapısının değil de ışığa duyarlı reseptörlerin bulunduğu söylenebilir. *Tinman* geninin varlığı, bu sefer kalp olup olmayacağı sorusunu sorduruyor. Bu canlılarda her ne kadar bizdeki gibi daha gelişmiş bir kalp olmasa da, kasılabilir özellikteki hücre topluluğunun mevcut olduğu *Tinman* geninin varlığından anlaşılabiliyor (10). Urbilateria'da bir ağızla başlayan ve anüsle sonlanan sindirim sisteminin olduğu kesindir. Diğer atalarda olduğu gibi Urbilateria'da kas, sinir, sindirim, fotoreseptör yapıları bulunur. Fakat bu yapıların karmaşıklığını bilmemiz için daha fazla fosil kaydının olması gerekir.

Kambriyen döneminde muazzam bir şekilde çeşitlenme ortaya çıkmıştır (baskın canlılar Artropodlardır). Ediacara faunasındaki canlılarda bulunan genler Kambriyen dönemindeki canlıları oluşturmak için yeterli değildir. Peki bu canlıların bu kadar çeşitlenmesini etkileyen etmen nedir? Bu canlıların oluşumu için yeni gen araştırmalarına girişilmiştir. Edwar B. Lewis (1995 Nobel Ödülü almış bilim insanıdır) *Drosophila* ile çalış-

malar yapmış ve *Drosophila*'daki Hox genlerinin ilkin böcekler ve artropod atalarındaki bazı Hox genlerinin evrim geçirmesiyle oluştuğu sonucuna varmıştır. Kambriyen döneminden bugüne kadar yaşayan Lobopodlar incelendiğinde *Onychophora* (Lobopod), *Drosophila* ve diğer artropodlarda ortak olan birçok Hox geni bulunmuştur. Bu sonuç birçok paleontolog tarafından kabul edilse de deney sonuçlarının netleştirilmesi için değişik artropod türlerinde embriyonik haritalandırma yapılması gerekmektedir (2).

Uzuv farklılaşmasında Hox genleri

Tuzlu su karidesi ve çiyanda yapılan çalışmalarda Hox 8 ve 9 proteinlerinin segment ve dudak oluşumunu sağladığı, thorax segmentinin biraz ilerisindeki segmentlerde ifade edilen 7 ve 5/6/7 Hox proteinlerinin her iki canlıda farklı tip uzuvları oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu proteinler karidesde beslenmeyi sağlayan uzantıları, çiyanda ise zehir kıskaçlarını oluşturarak, aynı genlerin aynı proteinlerinin sadece segment kaymasıyla farklı işleve sahip uzuvlar oluşturduğu görülmektedir. Bu durum, Hox proteinlerinin, farklı segmentlerdeki ifadelerinin yol açtığı uzuv farklılaşmasını gösteren bir evrimleşme örneğidir. Beslenme uzuvu olan maxiliped, tuzlusu karidesinde oluşup, çiyanda ise oluşmamaktadır (ilkin Crustacea'lerde de yoktur fakat diğer Crustacea'lerde iki veya üç çift maxiliped vardır). Hox 8 ve 9 gen proteinlerini oluşturan genlerin maxilipedi olmayan Crustacea'lerde 1-3 segment geriye doğru kaydığı gözlemlenmiştir. Hox gen bölgelerinin kayması örümcekler, Crustacea'ler ve böcekler gibi yaşayan artropod gruplarında ortaya çıkarılmıştır. İfade edilen Hox genlerinin embriyonik dönemde benzersiz bir şekilde bölgeleşmesi artropodlardaki segment ve uzuv farklılaşmasının artmasına neden olmaktadır (2).

Bilindiği gibi günümüz arthropodlarında birçok çeşit ve şekilde uzuv vardır. Kiminde çekirgelerde olduğu gibi daha atletik, zıplamaya yönelik uzuvlar evrimleşmişken, kiminde ıs-

kozlardaki gibi tehlikeli kıskaçlar evrilmiştir. Peki bu hep böyle miydi?

Arthropod uzuvları, onların evrimini anlamamızda önemli bir rol oynamaktadır. Arthropodların atalarında, "Lobopod" diye adlandırdığımız çok basit uzantılar mevcuttu ve bu uzantılar zaman içerisinde "Biramous" çatallı uzuv olarak evrildi. Bu çatallı uzantı, adından da anlaşılabileceği gibi (bi-ramous), iki ana daldan oluşur. "Lower" ya da "Inner" olarak geçen, aşağıya uzanan kısmı, genellikle yürüme, sıçrama gibi formları oluştururken, "Upper" ya da "Outer" olarak geçen, yukarıda kalan kısım ise çeşitli solungaç yapılarına, kanatlara, örümceklerin iplik üreten organına kadar çeşitli formları oluşturabilmektedir.

Arthropodların, kanat ve solungaç gibi yapılara nasıl sahip olduğunun yanıtı, böceklerin sucul olan atalarına bakılarak bulunmaya çalışılmıştır. Bazı bilim adamlarının teorisi, kanatların, kanatsız böceklerin toraks bölgesi duvarının (*Thoracic body wall*) aşırı büyümesi sonucu olabileceğini üzerineyken, ikinci teori ise böceklerin sucul atalarının solungaçlarından gelişebileceği üzerine ortaya konmuştur.

Böceklerin kanat gelişimi üzerine yapılmış bazı çalışmalarda, kanat gelişimi için gerekli olan birkaç protein tanımlanmıştır. Bu iki tool kit proteinlerinden "Apterous" olarak adlandırılan protein –ki bu genin mutasyonunda kanatsız bireyin meydana gelmesi söz konusu– bir diğeri ise "Nubbin" olarak adlandırılıyor– ki bu gende oluşacak bir mutasyonda küçük ve/veya kanatsız bir bireyin olmasına yol açmaktadır.

Kanatların, sucul arthropodlardan türediği teorisini test etmek amacıyla Crustacea solungaçları incelenmiş ve biraz önce bahsettiğimizi arthropodlarda kanat oluşumunda rol oynayan bu "Abterous" ve "Nubbin" proteinlerinin aynı zamanda crustacea'lerde solungaç oluşumunda da rol oynadığı görülmüştür. Aynı proteinlerin farklı canlılarda farklı yapıları oluşturabilmesi, Hox ve toolkit genleriyle gerçekleşiyor.

Son zamanlarda yapılan çalışmalar ile Crustacea'lerin solungaçları, böceklerin kanadı, Atnalı yengeçlerinin kitapsı solungaçları, örümceklerin iplik üreten organı ve kitapsı akciğerlerinin bu atasal arthropod kökenli olduğu görülüyor. Bunların hepsi atasal biramous (çatallı) uzuv yapısının bir parçasıdır.

Ortak kökenin sucul arthropod atalarda aranmasının temeli fosillere dayanmaktadır. 300 milyon yıl önce yaşamış ilkel sucul nimf fosilleriyle yapılan çalışmalar bu fosillerdeki kanatsı yapıların, günümüz yusufçukların sudaki larval formlarındaki solungaçlarla oldukça benzer olduğunu göstermiştir.

Onca çeşit uzuv yapısı coğrafi koşullara göre değişiklik göstermektedir. Farklı kanat yapılarında böcekler, çiçek nektarına ulaşabilmek için gelişmiş yapılar, çekirgelerin bacakları bunların hepsi farklı uzuv yapılarına örnek olarak verilebilmektedir. Bütün bu farklılıkların hepsinin anahtarı, yine, Hox genlerinin, proteinleri farklı kombinasyonlarda bir araya getirmesidir.

Çevre koşullarına göre değişiklik gösteren uzuvlara en önemli ve can alıcı örneklerden biri kelebeklerdir. Kanatlarındaki desenlerin nasıl, neden ve neye göre oluştuğu hep merak edilen bir soru olmuştur.

Böceklerle yapılan çalışmalarda, özellikle kelebeklerde, bir tür, başka bir türün rengini taklit ederek koruma sağlayabildiği görülmüştür. Kuşlara göre zararlı ve/veya tatsız olan kelebeklerin, kanat desenlerinin, başka kelebeklerce taklit edilmesi, predatörlere karşı oldukça etkili bir koruma sağlamaktadır. Peki ya kelebek kanatlarındaki benekler (gözler)?

Daha önce bahsettiğimiz *distalless* geni, kelebeklerde, diğer canlılardan farklı olarak, sadece uzuvların oluşmasında değil, kanatlardaki gözlerin oluşumunda da rol oynamaktadır. Günümüzde yapılan çalışmalarda ise "spalt" ve "engrailed" adlandırılan tool kit proteinlerinin bulunmasıyla, *distalless* geninin sadece kanatlardaki gözlerin merkezini oluşturduğu merkezin dışarısındaki renkli halkaların ise yeni bulunan tool kit proteinlerince düzenlendiği ortaya konmuştur.

Bicyclus anynana gibi bazı kelebek türlerinde, mevsimsel değişikliklere göre kanatlardaki gözlerin sayısı, büyüklüğünün ve canlılığının da değişebildiği gözlenmiştir. Eğer tırtıl, nemli ve sıcak havada gelişiyorsa, büyük, çok sayıda ve canlı renklere sahip kanat desenli kelebek meydana gelirken, kuru ve soğuk havalarda, dökülmüş yaprakların olduğu bir ortamda dikkat çekmemek için solgun, küçük az sayıda gözlere ya da hiç göz deseni olmayan kanatlara sahip kelebekler meydana gelmektedir. Bu olay, kelebekteki hormonların, bu gözlerin oluşumunda rol oynayan distalless, spalt ve engrailed-tool kit proteinlerinin çalışmasını denetlemesiyle olmaktadır. Böylelikle mevsimine göre farklı şekillerde ve büyüklükte gözlere sahip olarak, hayatta kalma şanslarını arttırmaktadırlar (1, 2).

Memelilerde evo-devo

Zürafa, leopar, zebra gibi hayvanlar için koruma renklenmesine sahip oldukları söylenmektedir. Kimi bilim adamları bunun doğada bir avantaj olduğunu söylerken kimileri de ne bir dezavantaj ne de bir avantaj sağladığını söylemektedir. Avlanma, avcıdan kaçma, aynı türdeki bireylerin birbirlerini tanıması gibi etkiler yarattığı düşünülebilir. Tek bir açıdan bakıldığında, desenli ve melanik bireyler arasında pek bir fark olmadığı gözlenebilmektedir. Öyle ya da böyle, hayvanların renklenmesi, onların başka türlerle ve kendi türlerindeki diğer bireylerle olan ilişkilerinde kritik bir rol oynadığı kesindir. Renklenme, seksüel seçilim ve doğal seçilim gibi evrimsel biyolojinin çeşitli alanlarında önemli bir yerdedir. Son dönemlere kadar bu konularda genetiğin ve gelişimsel sürecin etkileri göz ardı edilmiş olsa da, moleküler biyoloji ve evo devo sayesinde bu tip durumların altında yatan temel sebepler ve süreçler konusunda pek çok bilgi edinilmiştir. Pek çok durumda ise evrimin bu basamağında, DNA değişikliklerinin sorumluluğu su götürmez bir gerçektir.

Bu noktada, evo-devonun da devreye girmesiyle yanıtlanması daha da kolaylaşan birkaç sorunun izi sürülecektir: Evrim, kendini hiç tekrarladı mı? Aynı genetik değişiklik, birbirinden bağımsız türlerde hiç ortaya çıktı mı? Ya da benzer evrimsel adaptasyonların oluşması için birden fazla yol var mıdır?

Memelilerin derilerindeki pigment hücrelerinde, eumelanin ve phaeomelanin adlı temel iki tip melanin üretilmektedir. Her birinin yapımı, çeşitli birkaç protein tarafından kontrol edilen bu pigmentler, kürke siyah-kahverengi ve kırmızımsı turuncu renkleri vermektedir. MC1R (melanocortin–1 receptor) adlı protein, bunların içinde temel olandır. MC1R proteini, bir kısmı hücrenin dışına bir kısmı içine denk gelecek şekilde pigment hücre membranında yerleşmiştir. MSH adlı hormon, MC1R proteinine bağlanırken, bu bağlanma, eumelanin sentezleyici enzimlerin üretimini başlatarak pigment hücrelerinin içinde basamaklı birtakım olayları tetiklemektedir. Reseptörleri bloklayan Agouti adlı proteinin varlığında ise phaeomelanin sentezlenmektedir. Böylece pigment tipi, MC1R proteinin aktivite durumuna göre değişip belirlenir.

Doğada iki farklı renk formunda bulunan (turuncu yoğunlukta form ve melanik form) jaguarların MC1R geni kodlaması incelendiğinde, sadece bütün siyah jaguarlarda bu MC1R geninde belli bir mutasyon olduğu tespit edilmiştir. Bu mutasyon, beş aminoasidi silip, MC1R 'deki bir başka aminoasidi de değiştirmektedir.

Evo devo konusunun başından beri ilk defa hayvanların görünüş farklılığına sebep olarak protein amino asit dizi değişikliği tanımlanmıştır. MC1R proteini, tamamen pigment senteziyle ilgili olduğu için proteindeki bir değişiklik vücuttaki diğer fonksiyonları etkilememektedir.

Jaguarlarda kürk rengi değişikliğine sebep olan MC1R proteini mutasyonları, jaguarundi adlı başka bir kedigil türünde de kürk rengi değişikliğine sebep olmaktadır. Böylece, aynı tek bir proteindeki çarpıcı bir değişiklik bu renk değişikliklerine sebep olmaktadır denebilir.

MC1R mutasyonlarının, aynı zamanda kuşlarda da melanik tüylenmeye yol açabileceği ortaya çıkarılmıştır. Sarı şekerkuşu'nun (*Coereba flaveola*) göğsü parlak sarı, gözüstü boyunca beyaz çizgisi olan ve melanik olan iki formu bulunmaktadır. Bu kuştaki melanizm, MC1R proteinindeki tek bir aminoasit değişikliğinden kaynaklanmaktadır. İlginç bir şekilde bu, evcil tavuk ve farelerde değişikliği izlenen aminoasidin aynısıdır. Böylece, vahşi kedi ve kuşlarda aynı proteindeki bağımsız mutasyonların benzer evrimsel değişimlere ve bu değişimlerin ayrıca bazı evcil türlerde de ortaya çıkabileceği görülmektedir. Bu açıklamanın ardından sorulardan birine cevap verebilmiş oluyoruz; evrim, belli bir gen seviyesinde hatta bir proteindeki aynı tek bir aminoasit seviyesinde kendini tekrar edebilmektedir.

Amerika'nın güneybatısındaki çöller, evrimsel adaptasyonları anlamak için oldukça güzel bir laboratuvar niteliğindedir. Bir kemirgen türü, *Chaetodipus intermedius*, Arizona'nın güneybatısındaki koyu renkli kayalık bölgede melanik populasyonlara sahipken, bu bölgenin etrafındaki açık renkli kumul alanlarda açık renkli populasyonlar oluşturmaktadır. Alan seçimi ve kürk rengi arasındaki bağıntının avcılara, özellikle baykuşlara, karşı bir adaptasyon olduğu düşünülmektedir. Bölgedeki baykuşlar özellikle bu tür üzerinden beslenmektedir ve deneyler göstermiştir ki baykuşlar gece bile koyu ve açık renkli fareleri birbirinden ayırt edebilmektedir. Bu farelerdeki melanizmin genetik temelini anlayabilmek için Arizona Üniversitesi'nden Michael Nachman ve meslektaşları, açık ve koyu formdaki farelerin MC1R gen sekanslarını incelemişlerdir (11). İncelemenin sonucunda, koyu formlarda açık formlardan farklı olarak dört aminoasit değişikliğine yol açacak şekilde, MC1R geninde dört mutasyon tespit edilmiştir. Bu fare populasyonlarında, jaguarlar, jaguarundiler ve sarı şekerkuşları gibi koyu renk tüylenme/kürklenmenin MC1R'deki ufak farklılıklardan kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu farelerin renk dağılımına yönelik gözlemler, moleküler ve genetik kanıtlar, bir hay-

vanın görünüşünün doğal düzenlemenin seçilim etkisi altında nasıl evrildiğinin güzel bir resmidir.

Chaetodipus intermedius türü farelerde melanik görünüme sebep olarak MC1R'nin yanı sıra *Agouti* geninde de mutasyonlara rastlanmıştır. Bu da, "benzer evrimsel adaptasyonların oluşması için birden fazla yol var mıdır?" sorusuna, evrimin aynı tür için bile her zaman aynı genetik yolu izleyerek benzer sonuçlar ortaya çıkarmayabileceği cevabını vermektedir.

İnsandaki MC1R geninde de mutasyonlar, çeşitli etkiler oluşturmaktadır. Kızıl saç, çilli olma, açık tenli olma, güneşe duyarlı olma bu MC1R mutasyonu sonuçlarından bazılarıdır.

Konunun bu noktasına kadar anlatılanlar, genellikle vücuttaki kürkün/tüyün bütününün renklenmesine dairdi. Ancak doğada, hayvanların kürk ve tüylerinin birkaç renkten oluşan desenlerine daha sık rastlanır. Bu durum, pigment genleri ekspresyonunun, vücudun belli bölgelerinde anahtarlarla kontrol edilerek değiştiği ve bunun da desenlenmeyi oluşturduğu şeklinde açıklanabilir.

Enteresan desenli memeli hayvanlar denince akla ilk gelenlerden biri, Afrika'nın sevimli hayvanları zebralar olacaktır. "Zebralar siyah çizgili beyaz hayvanlar mıdır yoksa beyaz çizgili siyah hayvanlar mıdır?"(12) sorusuna cevap ararken evo devo'nun pek çok yardımcı dalından bilgiler kullanılarak çeşitli fikirler öne sürülebilmektedir. Sean B. Carrol, hücrelerin melanini embriyo döneminde nasıl geliştirdiğiyle ilgili, kürk rengi mutasyonlar taşıyan diğer memelilerle ilgili ve farklı zebra türleri ile aynı zebra türlerinin kendi içinde gösterdiği değişik çizgilenmeler ile ilgili bilgileri toplayıp derleyerek bu soruya cevap aramıştır (2).

Çizgilenmeyle ilgili soruyu yanıtlayabilecek eldeki en önemli bilgi melanosit adlı pigment hücreleridir. Spinal kordun yanından kökenlenen ve melanoblast adı verilen hücreler, spinal kord'dan başlayarak dikey şekilde aşağı doğru göç ederler. Göç yolu, sırtın tepesinden başlayıp, göğüs veya gövdedeki alt duraklarına kadar devam eder. Yavaşlayan veya azalan melanosit

göçü zebralarda bu bölgelerde beyaz alanlar oluşturmaktadır. Bu noktada, beyaz alanların sebebinin melanosit eksikliği mi olduğu (melanositlerin göç sırasında ölmesi veya o alanlarda göç hareketi yapmaması) yoksa üretici pigmentlerin bu alanlarda melanositleri baskılamış mı olduğu bilinmemektedir. Siyah ve beyaz çizgi halindeki bu alanların sebebi bu bahsedilenlerden hangisi olursa olsun, çizgilenme deseni için özel bir düzenleme gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Jonathan Bard, zebralarda çizgilenmeyi embriyonal evrelerde inceleyerek çeşitli sonuçlara ulaşmıştır (13). Farklı zebra türlerinde gözlenen, farklı sayıda ve kalınlıktaki çizgilerin, embriyonal dönemde melanositlerin göçlerine başlama zamanlarından kaynaklandığını kaydetmiştir. Melanosit göçü ne kadar erken başlarsa, bireydeki çizgi sayısı o kadar az ve çizgiler o kadar geniş olmaktadır. Melanosit göçünün başlama süresi uzadıkça çizgi sayısı artıp kalınlığı azalmaktadır. Türler arası kaynaklanan bu göç zamanlamasının nedeni olarak ise, melanoblast göçünü aktive eden genlerdeki düzenleme değişiklikleri gösterilmektedir. Bu da yine gen anahtarlarındaki evrimsel değişikliklere bağlanmaktadır.

Zebradaki beyaz çizgi bölgelerinin sebebi melanositlerin olmaması (göç etmedikleri veya öldükleri) veya bu bölgelerin pigment üretiminin inhibe olduğu bölgeler olması diye düşünülmektedir. Koyu renk pigmentlenme; U. V. ışınlarının zararlarından korunma, termal düzenleme, kamuflaj, eş seçimi gibi pek çok konuda rol oynayabilmektedir.

Zebralarda bu durum, gölge ve ışığın birbirini takip ederek arka plandan vücut şeklinin konturlarını gizlemek şeklinde gözlenmektedir. Bunun yanı sıra zebranın dikey çizgili olması hali farklı şekillerde de yorumlanabilmektedir; avcıların kafasını karıştırmaya yarayan bir adaptasyon olması, anne ve yavrunun veya karşılıklı olarak bireylerin birbirini tanıması için işe yarar olması gibi. Yine de bu şekildeki renklenmenin, hayvanın kendi türü içindeki ve diğer türlerdeki bireylerle ilişkilerinde

hayati bir önem taşımaktadır denebilir.

Evo-devo ve moleküler biyoloji biliminin gelişimi sayesinde daha önce genel bilgilere sahip olunan konulara şimdi ekstra bakış açıları katarak daha yoğun bilimsel temelli açıklamalar yapılabilmektedir. Doğada yapılan gözlemlere dayanarak bazı vücut renklenmelerinin bireylere bir avantaj sağladığı konusunda hemfikir olunmaktadır. Peki ne kadar miktarda bir avantaj, doğal seçilim sürecinin bu özelliklere sahip bireylerin lehine işlemesine yeterlidir? İki form arasındaki ne kadarlık bir farklılık, doğal seçilimin şaşırtıcı bir sonuç ortaya koyması için gereklidir? Bu sorunun cevabına, populasyon genetikçilerinin geliştirdiği seleksiyon katsayısı formülünden yararlanarak belli bir mutasyonun populasyon veya tür içinde avantaj-dezavantaj ilişkisi incelenerek ulaşılabilmektedir. Bu formülle belli bir allelin populasyon içinde ne kadar sürede anlamlı bir şekilde yer alabileceği de hesaplanabilir. Bireylerin hayatta kalma süreleri ve kaç döl verdikleri bilgileri önemlidir.

Bir örnek üzerinden giderek bu formül ışığında süreci inceleyelim. *Chaetodipus intermedius* adlı fare türündeki yeni melanizm mutasyonunun yayılmasına bakalım:

101 birey içerisinde 100 adet normal, 1 adet mutasyonlu birey olsun. Bu, göreli uyumda %1'lik bir fark; seleksiyon katsayısı 0.01 demektir. Bu populasyonda seleksiyon katsayısı formülde (2/s ln(2N)) yerine konup hesaplandığında, bu mutasyonun populasyonda anlamlı şekilde var olması 1980 jenerasyon yani yaklaşık 2000 yıla karşılık gelmektedir.

Burdan da görülebileceği gibi, çok çok düşük oranlı bir mutasyon bile uzun süre içerisinde de olsa populasyon içinde anlamlı şekilde görülmeye başlanabilmektedir. Elbette bu süreç içerisinde doğal seçilim sürecinin de etkisi büyüktür. Süreç içinde pek çok benzer mutasyon ortaya çıkmış ancak bunlar bireylere doğada dezavantaj sağladığı için populasyonlardan elenmiş olabilir.

Peki ya insanı inceleyecek olursak? Evrimsel gelişim çerçevesinden bakacak olursak burada işler nasıl ilerlemiş olabilir?

"Şempanze ve insan arasında %98.8'lik DNA benzerliği varken fark nerden kaynaklanmaktadır?" Bu soru ile sık sık karşılaşılmaktadır. Paleontoloji gibi geleneksel alan çalışmalarının ve karşılaştırmalı nöroanatomi, karşılaştırmalı genetik, tıbbi insan genetiği ve evrimsel gelişim gibi pek çok bilim dalı insanın bilişsel yeteneklerinin biyolojik temelini ve tarihini açığa kavuşturmak için birlikte çalışmaktadır. Ancak şu da göz önünde bulundurulmalıdır ki aradaki %1.2'lik farklılık, okunacak 36 milyon baz çiftine karşılık gelmektedir. Yani fark, yüzde olarak küçük görünse de aslında ciddi değişiklikler oluşturabilecek düzeydedir.

İnsan ile diğer primatlar arası son kesişim noktasının, yani ortak atanın bundan altı milyon yıl kadar öncesinde kaldığı ortaya çıkarılmıştır. İnsan yapısı ve formu da bu altı milyon yıllık süreç içerisindeki gen ve gelişimsel düzeydeki evrimin sonucu olarak ortaya konmuştur.

Evrimsel sürecin sonucu olarak insanın, diğer primatlardan farklı olarak edindiği morfolojik ve gelişimsel özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Üye uzunluklarının oransal farklılaşması
- Kafatasının şekli ve büyüklüğü
- Gövde ve boyun şekli
- Küçük köpek dişleri
- İndirgenmiş çiğneme yapısı
- Uzun hamilelik süreci ve yaşam süresi
- Kafatası ve omurganın dik konumu
- İndirgenmiş vücut kılları
- Çenenin duruşu
- Kalça kemerinin boyutu ve şekli
- S şekilli omurga
- Beynin topolojisi
- Göreli beyin büyüklüğü

Son madde olarak belirtilen göreli beyin büyüklüğü, en çok tartışılan ve insan evrimiyle ilgili en çok konuşulan durumlardan biridir. Burada bu maddeyi eklerken kavram hakkında biraz daha bilgi vermeye gerek vardır. Bir canlı türü için beyninin büyük veya küçük olmasından bahsederken direkt bir boyut niceliği kastedilmez. Bir türün beyin büyüklüğü derken kastedilen, beyin hacminin vücuda oranıdır. Örneğin insan beyni ortalama 1300-1400 gram, filin beyni ise 5000 gram iken fillerin göreceli beyin büyüklüklerinin(ensefalizasyon katsayılarının) daha fazla olduğu söylenemez.

İnsanın evriminde, şimdiki modern insan haline dönüşmeyi yürüten temel model ve yol nedir? İnsan evrimi, diğer memelilerin evriminden farklı bir yol mu izlemiştir?

Fiziksel evrimimiz, diğer türlerden farklı bir yol izlememiştir. Dik duruş, büyük beyin, karşılıklı parmak, konuşma ve lisan gibi insani özelliklerin evrimi primat veya büyük maymun yapılarındaki gelişimsel değişimlerle bunların milyonlarca yıl ve pek çok türleşme basamağından geçilmesiyle ortaya çıkmıştır. Ayrıca unutmamak gereken şey türümüzün, canlılık tarihinde çok kısa bir süredir varlığını sürdürmekte olduğudur (yaklaşık yüzde 3'lük bir dilim kadar).

Bu bilgilere, bulunan insan ve insana yakın fosillerle, belirtilen özelliklerin yok olmasına sebep olan mutasyonlara sahip bireylerin nörolojik ve genetik incelemeleriyle ulaşılmaktadır.

İnsanın kökeninin herhangi bir aşamasını anlayabilmek için atalarımızın ve bize yakın diğer türlerden bizi ayıran özelliklerin ayrıntılı olarak bilinmesi gerekmektedir. 1856 yılında Almanyada'ki Neanderthal Vadisi'nde Neanderthal kafatası fosili bulunmasıyla (Thomas Huxley tarafından bulunmasından birkaç yıl sonra tanımlanmıştır) insan evriminin araştırılması tarihi başlamıştır denebilir. Bu kemik ve kafatası fosillerinin bulunuşu daha iyi bir zamana denk gelemezdi çünkü 1859'da Darwin'in *Türlerin Kökeni* kitabının çıkmasıyla zamansal bir paralellik yakalamıştır.

Beynimizin, ortak atadan ayrıldıktan sonra neden bu kadar

fazla bir büyüme gösterdiğine dair pek çok teoriden biri şu noktadan yola çıkmaktadır: iklimsel değişikliklere uyum göstermek. 2.3 milyon yıl kadar önce, daha soğuk ve kuru bir iklime doğru küresel bir iklim değişikliği oluşmuştur. Bu da Afrika ormanlarının küçülüp daha kurak savanlarla yer değiştirmesine sebep olmuştur. Büyük maymunlar yağmur ormanları habitatlarında kalırken insansılar daha değişik habitatlara uyum sağlamıştır. Nispeten sabit bir dönemden sonra, son 700.000 yılda Dünya iklimi dinozorların yok olduğu 65 milyon yıl öncesinden daha soğuk bir hale gelmiştir. Kısa süreler içerisinde sıcaklıkta ani dalgalanmalar ve temel bazı değişiklikler meydana gelmiştir. Değişen iklim ve yiyecek ulaşılabilirliği, su, avlanma ve göçler, insansıları değişen koşullara daha iyi uyum sağlar hale getirmiştir. Bu değişikliklerin çerçevesinde beyin büyüklüğü keskin bir şekilde 1 milyon yıl içerisinde (yaklaşık 50.000 jenerasyon) ikiye katlanmıştır. Bu süre etkileyici şekilde kısadır ancak birdenbire diye tanımlanamayacak kadar uzundur.

Modern insanlar, erken insansılar ve büyük maymunlar arasındaki fiziksel farklılıklar, gelişimdeki evrimsel değişikliklerin birer ürünüdür. İnsanın günümüzdeki yakın akrabalarından biri olan şempanze ile insanın kafatasının büyümesi ve olgunlaşmalarının gelişimsel süreçleri izlendiğinde, beyin büyüklüğü farkına dair çeşitli sonuçlara ulaşılmıştır. Bebek yaşlarda insan kafatası, şempanzeninkinden daha az olgunlaşmıştır. İnsanlarda kafatası olgunlaşmasının, şempanzelere oranla ciddi oranda yavaşlamış olması, daha büyük bir boyuta erişmesine izin vermektedir. Bunun sonucunda, şempanze ve insan kafatası yaklaşık aynı boyuta ulaşır ancak oldukça farklı bir beyin hacmi ve yüz şekli oluşur. Kafatası olgunlaşmasındaki ilgili değişikliklerin, benzer gelişimsel süreçlerde gen anahtarı zamanlamasının ne kadar değişiklik oluşturduğu gözlenebilmektedir.

Gelişimsel süreçteki zamanlama sapmaları sonucu gözlenen bir diğer durum ise Australopithecus ve diğer Homo türlerinde dişlerin oluşum sürecinin, modern insandakinden çok daha kı-

sa sürmesidir. Bu iki grubun çene gelişimi sırasındaki bir diğer değişim de çene kasında gözlenmektedir. Çene kası oluşumda hayati önemi olan "Miyozin ağır zinciri 16(MYH16)" ile ilgili gendeki bir mutasyon sonucu proteinin inaktif olmasıyla insan çene kasının diğer gruplara göre boyut olarak bir küçülme ve güç kaybı gözlenmektedir. MYH16 geninde ortaya çıkan bu mutasyonun tarihi, fosil kayıtlara göre Homo cinsinin ortaya çıktığı dönem olan 2.1- 2.7 milyon yıl öncesine denk gelmektedir. Deneysel çalışmaların gösterdiği üzere, çene kası gelişimi kafatası iskeletinin boyutu ve şekli üzerine oldukça etkilidir. Çene kasında gözlenen bu bahsedilen indirgenme ve alt çeneye binen kuvvetin azalması, kafatası kemiklerine yüklenen stresin de azalmasına sebep olmaktadır. Bu değişiklikler de kafatası kemiklerinin daha ince ve kafatası hacminin daha geniş olmasına izin vermektedir. Bunun da sonucunda kafatasının aldığı şekil, konuşma için gerekli olan yapılanmanın altyapısını oluşturmaktadır.

Elbette birbirine bağlı bu kadar olayın anlatılmasına rağmen, insan ve diğer primatlar arasındaki tüm farklılaşmayı çarpıcı tek bir MYH16 genine indirgemek mümkün değildir. MYH16'daki mutasyonlara paralel olarak ilerleyen pek çok gende mutasyon, anahtar değişimi, zamanlama kaymaları meydana gelmiştir.

İnsan ve diğer primatlar ayrımında, son dönem insansılarda beynin büyümesinin bilişsel yeteneklerin artması şeklinde olduğu bilgisiyle, incelenen bir diğer gene biraz bakalım.

Çok nadiren görülen bazı klinik mutasyonlara sahip bireyler, mutasyon sonucu hasara uğramış bu özelliklerin tanımlanması ve evrimsel süreçte nereye nasıl oturtulacağının belirlenmesi sürecinde incelenmektedir.

Bir ailede üç kuşaktan beri görülen çeşitli konuşma, kendini ifade etme, öğrenme, planlama ve ortaya bir konuşma çıkarma ile ilgili bozukluklar görülmüştür. Bu aile incelendiğinde beyinde konuşmayla ilgili bölgelerde rol oynayan FOXP2 geni ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. FOXP2 proteini, DNA'ya bağlanıp

diğer gen okunmalarını düzenleyen bir tool kit proteini, bir transkripsiyon faktörüdür. Ailede tespit edilen mutasyon, FOXP2'de sadece tek bir amino asidi değiştirmekte ve bu değişim, protein işlevinin tamamen devre dışı kalmasına sebep olmaktadır. İki alelli olan genlerden sadece birinde mutasyon varsa tamamen bir işlev kaybı görülmeyip ilgili işlevde azalma gözlenmesi durumu söz konusu olduğu için, ailenin bireyleri hala bazı FOXP2 işlevlerini yerine getirebilmektedirler.

FOXP2 geninin sadece insana has bir gen olup olmadığı sorusu akla gelecek olursa cevap hayırdır. FOXP2 geni, kemirgenlerde ve pek çok primatta bulunmaktadır. Gendeki 716 dizilimden farede 4, orangutanda 3, şempanzelerde 2 tanesi insandan farklıdır. Bu çok küçük oranlardaki farklılık, FOXP2 geninin korunması için memeli evrimi sürecinde sıkı bir baskı olduğunu göstermektedir. Bu da, bu genin bu varyantının, toplam varyasyonu azaltan bir sürüklenme sonucu olduğunu gösterebilmektedir. Şempanze ve insan arasında FOXP2 geninde sadece 2 kod farkı varken, kodlanmayan FOXP2 geninin DNA' da kodlanmayan kısmında, anahtarlarda ve FOXP2 geninin ifadesini etkileyen pek çok bölgede daha yüzlerce fark vardır.

Temel olarak bahsedilen bu iki gen (MYH16 ve FOXP2), modern insana dönüşüm sürecini açıklamakta özellikle evo-devo açısından bir yapbozun anlamlı ancak küçük parçalarıdır. Bu genler üzerinden çalışmalara dayanarak açıklamalar yapmak, olay örüntülerini göz önüne getirmekte faydalı olmaktadır.

Evrimsel gelişim biyolojisi şu dört ana cümleyle özetlenmektedir (2):

I. Evo-devo sadece evrimin modern sentezinde eksik bir parça olan embriyolojinin devreye girmesini sağlamakla kalmamış aynı zamanda onu moleküler genetik ve paleontoloji gibi geleneksel çalışmalarla da bütünleştirmiştir.

II. Formların evrimindeki olay işleyişi üzerinde odaklanarak ve gelişimdeki ve genlerdeki değişikliklerin evrimin teme-

linde olduğunu göstererek benzerlik ve çeşitliliklerin altında yatan prensipleri ortaya çıkarmaktadır.

III. Evo- devo, evrimsel süreci ve ilkelerini elle tutulur bir şekilde ortaya koyup açıklayabildiği için evrimsel biyoloji öğretilen alanlarda önemli bir rol oynamaktadır.

IV. Evrimsel biyolojinin önemi, sadece felsefi olmaktan çok ötedir.

KAYNAKLAR

(1) Carroll Sean B., Grenier, J. K., Weatherbee, S. D. (2005).*From DNA to Diversity-Molecular Genetics and the Evolution of Animal Design*, Howard Hughes Medical Institute and University of Wisconsin Sloan Kettering Institute, New York.

(2) Carroll Sean B. (2005) *Endless Forms Most Beautiful- The New Science of Evo-Devo*, W. W. Northon Company.

(3) Klug William S., Cummings Michael R., Spencer Charlotte A. (2011) *Concepts of Genetics*,

(4) Cohen, S. M. and Jurgens, G. (1989). Proximal-distal pattern formation in *Drosophila*: cell autonomous requirement for *Disal-less* gene activity in limb development. *EMBO J.* 8: 2045-2055.

(5) Kerridge, S., Morata, E., G., (1982), Developmental effects of some newly induced Ultrabithorax alleles of Drosophila. *Embryol. exp. Morph.* Vol. 68, pp. 211-234

(6) Cserjesi, P., Brown, D., Ligon, K.L., Lyons, G.E., Copeland, N.G., Gilbert, D.J., Jenkins, N.A., Olson, E.N., (1995). Scleraxis: a basic helix–loop–helix protein that prefigures skeletal formation during mouse embryogenesis. *Development* 121: 1099–1110.

(7) Ducy, P., Karsenty, G., (2000). The family of bone morphogenetic proteins. *Kidney International 57: 2207–2214*

(8) Callaerts, P., Halder G., Gehring W. J. (1997). PAX-6 in

development and evolution. *Annu Rev Neurosci.* 20:483-532.

(9) Chow, R., L., Altmann, C., R., Lang R., Hemmati-Brivanlou, A., (1999). Pax6 induces ectopic eyes in a vertebrate. *Development* 126: 4213-4222.

(10) Bodmer, R., (1993). The gene tinman is required for specification of the heart and visceral muscles in Drosophila. *Development* 118: 719–729.

(11) M. Nachman et al.(2003). The genetic basis of adoptive melanism in pocket mice. *PNAS* 100: 5268-52783.

(12) Gould S. J. (1994). *Hen's Teeth and Horse's Toes: Further Reflections in Natural History*, W. W. Norton and Company.

(13) Bard, J. B. L. (1977). A unity underlying the different zebra striping patterns. *J. Zool.* (London) 183: 527 - 539.

5. EVRİM, IRK VE IRKÇILIK

Özgül Yahyaoğlu, A.Bengisu Gelmez,
Ece Köken, Ezgi Köse,
Eylül Dizdaroğlu, Pınar Uğurcan,
Egemen Budak

Irkçı ideolojinin gelişimi

Irkçı ideoloji etnosantrik kökenlidir. Yani kendi toplumunu merkeze koyup onu diğerlerinden üstün görür. Etnosantrizmin kökeniyse avcı-toplayıcı kabilelere kadar geri götürülebilir. Bu kabilelerde üretim kolektif olduğundan, bireyden çok "biz" bilinci hakimdir (1). Üstelik doğal kaynaklar sınırlı olduğu için, her kabile diğerleriyle rekabet halindedir. Bu yüzden etnosantrizmin içinde, "yabancı düşmanlığı" da söz konusudur.

Avcı-toplayıcı yaşam şeklinden, önce tarıma sonra hayvancılığa geçildi. Hayvancılıkla birlikte de göçebe yaşam şekli geldi. Toprağa bağlı yaşamayan göçebe insanlar, bir şekilde aralarındaki ilişkileri korumak zorundaydı. Bu yüzden "kan bağı" olgusu gelişti (1).

Zaman ilerleyip sınıflı toplumlar ortaya çıkınca, güç sahibi insanlar, soylarını tanrılara dayandırmaya başladı. Bu da "saf soy", "saf kan" kavramının gelişmesine zemin hazırladı ve etnosantrizmin içine soy olgusunu da kattı. Zaman ilerleyip feodalite güç kazanınca, feodalitenin egemenleri, bu "saf kan" kavramını kendilerini halktan ayırmak için kullandılar. Ve aristokrat-soylu sınıf ortaya çıktı. Burjuvazinin güç kazanmasıyla birlikte aristokratlar kendilerini savunmak için bu "saf soy" kavramını kullandı. Yani ırkçılık öğretisi ilk başta, "burjuvaziye karşı aristokrasiyi" savunmaya çalışan bir "sınıfsal ideolojik silah" olarak doğdu. Fark edileceği üzere bu öğreti, daha

doğuşunda ırk ile soyu karıştırdığı için bilimsel dayanaktan yoksundu [1].

Bir süre sonra bu söylem, ekonomik gücü ele geçiren burjuvazinin sömürü aracı haline geldi. Denizciliğin ve deniz ticaretinin gelişmesiyle Avrupalılar, diğer kıtalardaki yerli halkla karşılaştılar. Bu halkların kendilerinden fiziksel ve kültürel açıdan kendilerinden farklı olması Avrupalılarda şok etkisi yarattı. Kilise uzun süre, bu "ilkel" toplulukların "insan" sayılıp sayılamayacağını tartıştı (2).

İspanyollar denizcilikte ilk gelişen ülkelerdendi, yağmacı bir politika benimsediler. Güney Amerika topraklarında, 1400-1500'lü yıllarda, tarihin en büyük soykırımlarından birini gerçekleştirdiler. Birçok halk, dil ve kültür bu dönemde yok oldu. İspanyollar gelmeden önce bölgede 30 ile 50 milyonu bulan yerli nüfusunun, 40 yıl içinde 4 milyona düştüğü tahmin ediliyor. İspanyolların amacı basitti: Kendilerinden aşağı gördükleri bu insanları emirleri altında çalıştırmak ve bölgenin doğal kaynaklarına el koymak.

Bu dönemde Avrupa'da sermaye birikimi başladı. Özellikle İngiliz ve Fransızlar, bölüşümden pay almak için diğer kıtalara fetih hareketlerine başladılar. Bu fetihler asimilasyon ve soykırımlarla sonuçlandı. İngilizler İspanyol yağmacılığının aksine koloniciliği benimsemişti. Fethettikleri yerlerden Avrupa'ya köle taşımak yerine kendi tüccar ve din adamlarını bölgeye göndererek, yerlileri asimilie edip kendileri için çalıştırıyorlardı.

Avrupa'da birçok düşünürü etkileyen bu düşünce akımını bir kenara koyup ondokuzuncu yüzyılda Amerika'nın durumuna bakalım. Amerika'nın kuzeyine yerleşen İngilizler, bölgedeki yerliler katledildiği için iş gücü sıkıntısı çektiler ve tarlalarda çalıştırmak için Afrika'dan siyahi insanlar getirerek onları köle olarak kullandılar. Zaman içinde Amerika'da siyah insan populasyonu artış gösterdi ve bu insanlar haklarını aramaya başladı. Bunu bir tehdit olarak gören Amerikalı beyazlar

başta Ku Klux Klan olmak üzere çeşitli örgütler kurarak zenci halka karşı ırkçı saldırılarda bulundular.

Ulus bilincinin gelişmesi ve ulusal kapitalizmlerle birlikte ırkçılık, beyazlar arasında da ayrımcı bir politika olarak kendini gösterdi. Temelinde tabi ki ekonomik kaygılar yatıyordu. Bunun en bilinen örneği, Almanya'da Nazilerin Yahudilere uyguladığı soykırımdır.

Şimdi, bu kısa tarihsel perspektif ardından, konumuzun temeline ilişkin önemi dolayısıyla şu yer alan can alıcı soruyu soralım: Neden James Watson gibi Nobel almış bir genetikçi, genetiğin insan ırkları kavramını boşa çıkaran bilgisine karşın ırkçı çıkarımlarda bulunmaktadır? (3). Watson'un ırkçı dünya görüşüne sahip olmasının nedenleri arasında genetiğin, özellikle evrimsel genetiğin son 40 yıllık gelişiminden haberdar olmaması ya da bu gelişmeleri umursamaması, belki de kişisel geçmişinin ırkçı yaklaşıma uygun olması türünden ihtimaller bulunabilir mi? Aslında konu Watson gibi popüler bir bilim insanına özgü bir durum olmanın çok ötesindeki bir olguya işaret etmektedir: Irkçılık kavramı ve ideolojisi yakın tarihte ve günümüzde de, elde edilen genetik ve evrimsel kanıtların tersine, eylem ve söylem tarzını pek değiştirmedi. Yalnızca emperyalizmin çıkarları doğrultusunda rolüne ayak uydurdu. Bugün dünyanın pek çok yerinde çıkan savaşlar, iç savaşlar, "demokratikleştirme" adı altında yapılan soykırımlar, teknolojiye paralel olarak silahların geliştiğini ama ideolojinin siyaset biçiminin değişmediğini gösteriyor.

Irkların sınıflandırılması

İlk sınıflandırma, M.Ö. 14.-15. yüzyılda Mısırlılar tarafından yapıldı. Bu sınıflandırma deri rengini baz alınmıştır. Bununla birlikte sahip olduğu deri rengine göre insanlar üstün ve aşağı olarak da ayrılmıştır. Bu ırk grupları:

Rot: Mısırlı kızıl deri rengine sahip, diğerlerinden üstün.

Namu: Sarı renkli, burnu kemerli, gür sakallı, Asyalı.

Naşu: Siyah, yapağı saçlı, mısırın güneyindeki Afrikalı.

Temahu: Beyaz, uzun boylu, uzun burunlu, açık göz renkli Avrupalı.

Bu sınıflandırma insanlar arasında hiyerarşik bir ayırım yaptığı için etnosantrik sınıflandırmaya bir örnek teşkil etmektedir.

M.Ö. 4. yüzyılda da Aristoteles insanları üç gruba ayırır:

Kuzey Avrupalılar: soğuk iklimde yaşar, kıt zekalı.

Asyalılar: zeki ama ruhsuz.

Yunanlar: dünyaya hakimiyet kurmak için yaratılmış.

Bu sınıflandırmayı yaparken Aristoteles'in insanların yaşadıkları bölgeye göre karakterlerini ve zekalarını ayırdığını görüyoruz. Kendisinin de içinde bulunduğu Yunan halkına bu sınıflandırma altında en ihtişamlı yeri vermeyi ihmal etmemiştir.

1707 ve 1778 yılları arasında yaşamış olan Carl Von Linné canlıların sınıflandırılmasında kullanılmak üzere geliştirdiği metot ile biyoloji bilimi tarihinde saygın bir yere sahiptir. Linné, insan populasyonlarını sınıflandırmak istediği zaman, döneminin Avrupa merkezci düşünce ikliminden etkilenmiştir. Bunun sonucunda ortaya koyduğu çalışmada, insan populasyonlarını yaşadıkları coğrafi bölgelerden yola çıkarak, aynı bölgede yaşayan insanların paylaştıklarını düşündüğü karakter özelliklerini belirtmiştir.

Homo sapiens africanus negrus: kurnaz, tembel, keyfine göre hareket eden insanlar.

Homo sapiens americanus rubesces: inatçı ancak özgür bir karaktere sahip, alışkanlıklarına göre hareket eden insanlar.

Homo sapiens asiaticus fuscusens: kibirli, sert, hırslı insanlar.

Homo sapiens europeaus albescens: uysal, zeki, yaratıcı ve becerikli insanlar.

Ondokuzuncu yüzyılda insan populasyonlarının sınıflandırılmasında deri renginden başka morfolojik özellikler kullanılmaya başlandı. D. Blumenbach'ın insanları, kafataslarında belli ölçümler yaparak onları Kafkasoid, Malayalı, Amerikalı, Mon-

goloid ve Etiyopyalı olarak 5 gruba ayırdığını görüyoruz. Kafatası ölçümleri günümüzde de antropometrik bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Ancak bu ölçünün genetik çeşitliliği ortaya koymaktan çok uzak olduğu bugün kesin olarak bilinmektedir. Kafatası ve boy uzunluğu arasında pozitif bağıntı vardır. Ayrıca Boas'ın çalışmasına göre, Amerika'da doğan göçmen aile çocukları besine ulaşabilmelerine bağlı olarak ailelerinden daha iri ve ağır; kafaları da daha uzun ve dar olabilmektedirler. Yani, sefalik indeks ırk gruplandırmalarında pek güvenilir değildir. Bununla birlikte yapılan çalışmalar günümüz populasyonlarında, kraniyal kapasitenin, dolayısıyla beyin kapasitesinin, küçük olmasının zihinsel yeteneği hiçbir şekilde etkilemediğini ortaya koymuştur.

Prognotizma, vücut şekli, dudak biçimi, burun şekli, kan grupları, parmak izleri, göz rengi, göz biçimi, saç tipi gibi pek çok özellik de insan populasyonları arasında sınıflandırmada birer ölçüt olarak ele alınmıştır. Ancak bu ölçütlerin hiç biri genetik çeşitlilik temelinde yapılması gereken akrabalık belirlemeleri için uygun değildirler.

Afrika'dan çıkış

İnsanın atasının çıkış yeri olarak yıllar süren tartışmalardan sonra, sonunda üzerinde anlaşılan, bilimsel verilere en uygun coğrafi bölge Afrika'dır. Böylece tek bölgeden türediğimiz konusunda da uzlaşmış durumdayız. Ve bu durum "ırk" kavramının biyolojik geçersizliğine ilişkin en önemli tarihsel olgu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Erken miyosenin ortalarında Afrika günümüzden daha iyi bir iklime sahipti. Tropikal yağmur ormanları ekvatorun yakınlarına erişmiş ve bu daha ayrılmamış toprak parçasını aşıp Atlantik'ten Hint Okyanusu'na kadar uzanmıştı. 8 milyon yıl önce tektonik hareketler Afrika'nın batı kısmının parçalanarak yükselmesine sebep oldu; bu yarık yağmur taşıyan bulutların doğusal kısma geçmesini engelledi. Sonuç olarak iklim değişti

ve buna bağlı olarak küresel soğuma ve kuraklık başladı. Doğu Afrika kurumaya başladı.

Bu jeolojik olaylar yaygınlaşarak modern şempanzelerin ataları ve bizimde içinde bulunduğumuz popülasyonu coğrafik olarak ikiye ayırdı. Birinci popülasyon Batı Afrika'da tropikal yağmur ormanlarının olduğu tarafta kalarak varlığını sürdürdü ve modern şempanzeleri, yüksek maymunları ve gorilleri oluşturdu. Öbür popülasyon Kuzey Doğu Afrika'daki kuru ve açık habitata yavaşça adapte olmaya başladı, sayısını artırdı ve nihayetinde modern insanları oluşturdu. İnsan evriminin hikayesi değişen iklimle beraber karmaşık bir tarih izledi ve değişen iklimi takiben Doğu Afrika Hominidlerinin evrimsel adaptasyonu ve ısınma izledi. Bu hominidlerden birinde beyin önemli ölçüde gelişmeye başladı ve hominidlerin bu türünden homo cinsine ati türler evrildi (3-2 milyon yıl önce). Üst Yontma Taş Çağı'nda (Paleolitik) Avrupa'da insanın ayak basmadığı yer kalmadı (4).

Modern insanın anavatanı hangi kıta olabilirdi? Afrika'yı medeni insanın beşiği olarak görenler arkaik yapıdan modern yapıya dönüşümü mitokondriyal DNA (MtDNA)'daki mutasyon hızına dayanarak açıklamaya çalışırlar (5). Bazı bilim adamları, dünyada yaşayan tüm insanların ortak atasının Afrika'da doğduğunu öne sürerler. Kaliforniya Berkeley Üniversitesi'nden Alan Wilson ve Mark Stoneking bu kuramın sahipleridir. Söz konusu araştırıcılar, yaşayan birçok ırk gruplarında mitokondriyal DNA'nın (mtDNA) varyasyon hızını incelediler ve modern insan türünün ilk ne zaman arkaik insan türünden ayrıldığını saptamak amacıyla hücrelerin mitokondriyumlarında bulunan mtDNA'yı dikkate aldılar. Bilindiği gibi, mtDNA hücre çekirdeğinde yer almaz ve sadece anne tarafından kalıtımı sürdürülür. Hiçbir zaman baba tarafından gelen DNA ile karışmaz. Dolayısıyla cinsel üreme sürecinden bağımsızdır. Ayrıca, mtDNA doğal seçilim baskısından da etkilenmez. MtDNA'daki mutasyon hızının her 1 milyon yılda ancak %2-4 oranında

olduğu kabul edilir. Böylece, bu ilkeden hareket eden araştırmacılar modern insan türünde moleküler saati geriye doğru işleterek zamanımızdan 200 bin yıl öncesine kadar inerler. 1997 yılında Etiyopya'da gün ışığına çıkarılan ve 160.000 yıl öncesine yaşlandırılan çok iyi korunmuş kafatasları da *Homo Sapiens*'in Afrika kökenli olduğunu ve buradan diğer kıtalara yayıldığını kanıtlayan fosil belgelerdir (6).

Modern insanın kökenini açıklamaya çalışan başka hipotezler de mevcuttur; fakat bugün genel olarak kabul gören ve genetik kanıtlarla doğrulanmış bulunan Afrika'dan çıkış hipotezidir (7).

Irk kavramının biyolojideki yeri

Coğrafi ırk, memeli, kuş ve böceklerle çalışan taksonomistler tarafından alt türün alternatifi olarak kullanılır. Hayvanlar arasındaki ekolojik ırkların doğası bugün de tartışmalıdır. İki bölgenin çevre koşulları asla birebir olmadığı için her alttür, en azından teorik olarak bir ırktır. Dolayısıyla ırk kavramını anlamak için alt tür kavramının ne olduğuna bakmak gerekir.

Alt tür terimi ondokuzuncu yüzyılda kullanılmaya başlandığında "coğrafi ırk" anlamına gelen "varyete"nin yerini aldı. Türün bir alt taksonomik seviyesi olarak görülüyordu. Bu terim uzun süre dikkatsizce kullanıldı. Alt tür modern biçimiyle şöyle tanımlanabilir: "Bir alt tür, coğrafi bir alt bölgede yaşayan, bir türün sınırları içinde olan, fakat türün diğer popülasyonlarından taksonomik açıdan farklılık gösteren, fenotipleri aynı olan bir araya gelmiş popülasyonlardır. Bir alt tür birçok lokal popülasyondan oluşabilir ve bunların hepsi birbirine çok benzese de, genetik ve fenotipik olarak aralarında çok az bir fark vardır" (8). Dolayısıyla biyolojik anlamdaki ırk (alt tür) kavramı, aralarında keskin farklar olan kategorik gruplamaları değil, tersine, çok yakın benzerliği ifade eden popülasyonları ifade eder. Dahası, altür adı verilen gruplama, otomatik olarak türleşmenin gerçekleşeceği anlamına da gelmez: popülasyonların sahip ol-

duğu genetik değişkenliğin yansıması olan fenotip çeşitliliğinin belli bir andaki tanımıdır sadece. Dolayısıyla, Afrika'dan küçük bir grup halinde yaklaşık 200 bin yıl önce çıkan ve yeryüzüne dağılan insan türü, bu dağılım genetik farklılaşmayı engelleyen bir genetik sürüklenme ile homojenleşme sonucu olduğundan, alt tür (ırk) düzeyinde görülemeyecek bir oldukça düşük tür içi farklılaşma sergilemektedir.

Genetik çeşitliliğin doğası ve insandaki genetik çeşitlilik

Bildiğimiz gibi, kalıtımdaki çeşitlilik mutasyonlardan ve genlerin popülasyonlar içinde bir kuşaktan diğerine rastgele karışık aktarılmasından kaynaklanır. Kalıtımdaki çeşitliliği çalışmak, evrimsel güçlerin modern insan popülasyonlarının nasıl oluşturduğunu anlamamız açısından önemlidir.

İnsan biyolojik çeşitliliğinin önemli kalıpları vardır. Tür içindeki bireyler arasında eşit bir çeşitlilik mevcut değildir. Çeşitliliğin coğrafi bileşenleri vardır - bir bölgede yaşayan bireyler coğrafi olarak çok farklı bir bölgeye sürüklendiğinde, hala aynı zoolojik tür ya da alt tür içinde sınıflandırılsalar bile aralarında belli derecede fark olacaktır. Kural olarak çeşitliliğin miktarı uzaklığa paralel olarak artar.

Coğrafi izolasyon süreci

Coğrafi izolasyon alt tür oluşumuna yol açabilir. Alt tür ya da ırk, gen frekanslarında değişim olan coğrafi popülasyonları temsil eder ve coğrafi izolasyonlarla oluşur. Alt tür oluşumu belirli ilkelere dayanır:

I. Herhangi bir zamanda popülasyonlar arasında kısmi coğrafi ve kısmi genetik izolasyona;

II. İki popülasyon arasında gen akışının azalma süresine - yani zamana;

III. Bir popülasyonda olan, fakat diğerine aktarılamayan mu-

tasyonlara.

Popülasyonları yalnızca morfolojik ve genetik özelliklerinin frekansına göre karakterize edebiliriz, ki bu da popülasyonun, bulunduğu coğrafi konum içindeki kökenleriyle bağlıdır.

Genetik çalışmaların ışığında 'insan ırkları'

Popülasyonları ancak morfolojik ve genetik özelliklerinin **frekansına** göre karakterize edebiliriz. Bu da, popülasyonun, bulunduğu coğrafi konum içindeki kökenleriyle bağlıdır. Genetik çalışmalar ve DNA haplotip analizleri gösteriyor ki insan ırkları ayrı hatlarda değildir. Üstelik bu ırklar saf değildir ve hiçbir zaman saf olmamıştır. Yalnızca çok sayıda lokus (genetik bölge), popülasyonlar arasındaki genetik ilişkiyi açıklamada kullanılabilir.

Yirminci yüzyılda elektroforez yönteminin keşfi ile birlikte pek çok protein polimorfizmi keşfedildi. Bu keşifler genetik çalışmaların insan popülasyonları üzerine çalışmalar yapılmasını da olanaklı kıldı. Bu çalışmanın iki önemi bulunmaktaydı:

I. Gen frekansı ölçümü yapılarak popülasyonlar arasındaki genetik farklılıklar çalışılabilecekti.

II. Popülasyon içinde ve popülasyonlar arasındaki protein polimorfizmi profilleri genetik varyasyonların kodon düzeyinde ayrımını belli bir düzeyde yapabilmemizi sağlayacaktı. Çünkü, proteinlerdeki çeşitlilik, DNA düzeyindeki çeşitliğinin tamamını olmasa da önemli bir bölümünü yansıtır.

Bu ilkeler doğrultusunda, Richard Lewontin 1972 yılında yayınlanan "Apportionment of human diversity" adlı makalesinde (9), yedi klasik "ırk" grubunu ve bu gruplara dahil edilen insan popülasyonlarını 16 genetik sistemin protein polimorfizmi temelinde incelemesi sonucunda elde ettiği sonuçları sunmaktadır. Çalışmanın ortaya koyduğu çarpıcı durum şöyledir:

Popülasyon içi değişkenlik: %85
Popülasyonlar arası değişkenlik: %8
"Irklar" arası değişkenlik: %6.

Özetle söylemek gerekirse, insan toplumlarının genetik çeşitliliğinin büyük bir bölümü popülasyon içindedir (% 85). Klasik "ırk" grupları arasındaki çeşitlilik miktarı ise, morfolojik farklılıkların ima ettiğinin tersine, son derece düşüktür. Yani insan türü aralarında büyük genetik farklar olan "ırklara" ayrılamaz. Burada, %6'lık farkın "ırk" farkı yaratacak denli büyük olup olmadığı sorulabilir. Ancak bu %6 değeri, genlerin her bir "ırk"taki orfolojik ve bilişsel fark yaratan işlevsel farklılığına değil, incelenen genler açısından söz konusu olan alel frekansı farklarına işaret etmektedir. Bir başka deyişle, örneğin bir **A** geninin A_1 kodlu alelinin bolluğu toplumdan topluma değiştiği için, gruplama farklı toplumları içeren daha üst ve keyfi bir sınıflama birimi ("ırk") şeklinde kümelendirilse ve hatta bu kümeler siyah-beyaz tenli türünden gözümüze sınırları çok keskin ve net gözüken kategoriler ifade etse bile, bu frekansı farkı en fazla yüzde altı olmaktadır. Yani tüm ırklarda var olan ortak genlerimiz için aradaki frekans farklılığı en çok %6 olmaktadır. Frekans ve yüzdeler bireylerin taşıdığı alel sayısı üzerinden hesaplanan ortalama hesaplar olup herhangi bir işlevsel gen farkına işaret etmezler. Lewontin'in ve sonraki çalışmaların kullandığı genler "ırkları" tanımladığı düşünülen morfolojik ve bilişsel özelliklere ilişkin genler değildir elbet. Ancak insanda morfolojik ve bilişsel işlevleri etkilediği düşünülen gen sayısı yüzlercedir ve bu genlerin toplumdan topluma farklı alel sabitlenmesi içerdiğini gösteren kanıtlar bulunmamaktadır. Bir başka deyişle, "ırk"ları tarihsel olarak tanımladığı iddia edilen zeka ve kavrayış yani bilişsel yetenek profilleri, popülasyon içi genetik çeşitliliğin çevre ile olan etkileşiminin bir sonucudurlar. Bu bulgunun üzerine, insanın Afrika'dan genetik çeşitlilik düzeyi oldukça düşük olarak çıktığını ve bu çeşitliliğin sonraki

yayılım süresince de daha da düştüğü koyduğumuzda, insanı ırk şeklinde sınıflandırmaya yetecek biyolojik farkın olmadığı çok açıktır.

Daha sonra yapılan benzeri genetik çalışmalarda, örneğin 1982 yılında Nei ve Roychoudhury adlı iki bilim insanının, insan ırkları üzerine yaptıkları genetik çalışmalarda, Lewontin'in çalışmasıyla benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada, insan türündeki genetik çeşitliliğin % 85'inin toplum içindeki bireyler arasında ve sadece %8 kadarının büyük ırk grupları arasında olduğu saptanmıştır (10, 11).

Günümüze, 2000'li yıllara gelindiğinde, gelişen araştırma yöntemleri ile yapılan genetik çalışmalar aynı sonuçları vermektedir. Örneğin 52 toplumda, 377 mikrosatellit lokusu üzerinde yapılan analizler sonucunda aynı toplumun üyeleri arasındaki farklılıkların genetik çeşitliliğin %93-95'ini oluşturduğu, toplumlar arasındaki farklılıkların ise sadece %5 kadar olduğu anlaşılmıştır (12).

Populasyonlar ve çeşitliliğin bazı nedenleri

Irklar –ya da alt türler– popülasyon topluluklarıdır ve her popülasyon daimi olarak değişime uğrayan birkaç nesil aileden meydana gelir. Bu, insan grupları içinde dinamik bir durum yaratır - yaş gruplarının ve cinsiyet oranlarının kompozisyonu sürekli değişir. Bu büyümekte olan popülasyonlar bölgesel olarak tanımlandığında, karakteristik özellikleri bir araya gelecek şekilde gruplandırılır. Bu gruplar ise ten rengi, vücut formu, sahip oldukları bir takım genler olur ve bunlar kimi ırksal tipolojilerin temeli olarak kullanılır.

Bu birikimin, karakteristik özellik yoğunluğunun nedeni, günümüzdeki ya da geçmişteki çevre içinde genetik olarak seçilen güçlerdir. Ölümcül hastalıklar, beslenme ve iklim, hayatta kalmak ve üremek için uyum gösterilmesi gereken etkenlerdir. Popülasyonun değişken dinamik doğası da, yani popülasyonun kendisi de biyolojik çeşitliliğin belirleyicisidir. İç ve dış göçler de bu değişimi etkiler.

Popülasyon genetiği, insan çeşitliliğiyle ilgili çalışmalarda çok önemlidir çünkü alellerin şans eseri ortadan kaybolma durumu vardır. Gen frekanslarındaki değişim şans eseri yani genetik sürüklenme yoluyla değişebilir.

Kompleks kalıtımın özellikleri

Kendimizi tanımlamada önemli etiketler olarak kullandığımız vücut büyüklüğümüz, biçimimiz, rengimiz, çok sayıdaki genin ürünleriyle etkileşimde olan bir dizi faktörle belirlenir. Bu tip özellikler poligeniktir ve çevresel etmenlere bağlı olarak, sürekli değişen fenotipler üretilir. İklim ve beslenme, büyüme ve gelişmeyi doğrudan etkiler. Örneğin kişi, uzun boylu ve iri olmasını sağlayacak gen gruplarını kalıtsal olarak aldıysa bile, yetersiz beslenme ya da hastalıklar, özellikle de kritik büyüme dönemlerinde olduğunda, kişinin potansiyel boyutunu sınırlandıracaktır. Bu durum popülasyonlara da yansır.

Vücut büyüklüğü ve biçimi

Türümüzün yetişkinlerinin normal boy yüksekliği 150 cm ile 185 cm arasında değişir. İklim büyümeyi etkiler. Soğuk iklimlerde, diyetten alınan kalorinin bir bölümü vücut ısısını sabit tutmak için metabolik enerjiye dönüştürülür. Bu yüzden büyüme daha yavaş olur ve ileri yaşlara kadar devam eder.

Ekvator'dan uzaklaştıkça uzun boya olan eğilim artar. Ekvator'a yaklaştıkça bunun tam tersi olur gibi görünse de, pek çok istisnai durum söz konusudur. Çok kısa insan gruplarına, hatta pigmelere çok yakın bölgelerde yaşayan uzun boylu insan grupları vardır. Örneğin, Kongo'daki Ituru Ormanı'nda yaşayan Mbuti Pigmeleri, yeryüzündeki en uzun boylu insanlar olan Watusi'lerden yalnızca birkaç yüz kilometre uzakta yaşarlar (13).

Pigmelerin kısa boylu olmasının nedeni, büyüme hormonu reseptörü (GHR) ve somatomedin denen proteinlerin düşük se-

viyesidir. Bunların seviyesi düşük olduğundan, Pigmeler büyüme hormonuna cevap veremez. Ancak bu genetik farklılıklar Pigmelerde zeka farklılıkları yaratmaz. Aslında bir Pigme ile normal büyüklükteki herhangi bir insan arasında bilişsel fark olduğuna dair kanıt da yoktur.

Popülasyonların kendi içinde de, boyutlarda farklılık vardır – kardeşler arasında olduğu gibi. Bu farklar, çevresel etkileşimlerin genetik (poligenik) bileşenlere yansımasıyla olur.

Kafa büyüklüğü, şekli ve bunlarla ilgili modern çalışmalar

Osborne ve De George'un 1959'da yayınladığı, daha sonra Bergman ve Bielicki'nin de benzer sonuçlar elde ettiği çalışmalarda, kafa şeklinin tek bir gen tarafından kontrol edilmediği ve çevresel etkilere güçlü şekilde bağlı olduğu bulundu. Büyüme oranı ve vücut şekli kafa şeklini de belirlemektedir, çünkü boy ve kafa uzunluğu arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır (13).

Boaz ve arkadaşları (13) Amerika'daki göçmen çocukların vücut şekli ve boyutlarını ebeveynleriyle karşılaştırmış, Amerika'da doğan göçmen aile çocuklarının ailelerinden daha iri ve ağır olduğunu görmüşlerdir. Amerika'da doğanların kafalarının daha uzun ve dar oldukları da gözlenmiştir. Buradan yol çıkarsak, sefalik indeksin ırk gruplandırmalarında işe yaramadığını görebiliriz.

Soğuk iklimlerde yaşayanların kafatası sıcak iklimlerdekine göre daha yuvarlaktır. Bu, yüzey alanının küçültülmesine yönelik bir adaptasyondur ve Allen kurallarıyla açıklanır. Yapı küresel şekle yaklaştıkça yüzey/hacim oranı düşer ve ısı kaybı azalır. Vücut sıcaklığının % 80 kadarı, soğuk günlerde kafa bölümünden kaybedilebileceği için bu önemli bir adaptasyondur.

Kafatası çalışmaları atasal kökenlerin, göç rotalarının ve etnik kökenlerin anlaşılmasında kullanılmaktadır. Ancak "ırk" gruplandırmalarında tek başına işe yaramazlar.

Deri renginin yapısı ve işlevi

İnsanlar, diğer primatlar gibi, görsel öncelikli bir duyu algı-

sına sahiptir; bu yüzden de dünyayı renklerle ifade etmeye eğilimlidirler. Bunu, kendimizi kategorize ederken de yaparız. Düşünce sistemimizde renk konsepti öylesine köklenmiştir ki, insanların renklerine göre bir ayrım yapılamayacağı fikri, bunun biyokimya ve optik indüklenmelerin sonucu olduğu gerçeği bizi şaşırtıyor.

Derinin çok çeşitli işlevleri vardır. Deri renginin uyumsal öneme sahip olduğu işlevler ise D vitamini sentezi ve ultraviyole ışınlarının zararlı etkilerine karşı koruma sağlamasıdır.

Deriye rengini veren melanin pigmenti, melanositlerde sentezlenir. Deri rengimiz, bu pigmentin sentezlenme oranına ve deriye ne kadar dağıldığına bağlıdır. Melanositlerin sayısı her insanda hemen hemen aynıdır (albinolarda bile); farklı olan, melanin yoğunlunun derecesidir. Dolayısıyla renk farkı melanositlerin aktivitesiyle ilgilidir. Koyu tenli insanlarda hücrelerin işlevi yüksek düzeydedir; büyük miktarda melanin üretirler. Bu hücresel aktivite, birkaç genle kontrol edilir. Ayrıca, melanin pigmentinin sentezlenme mekanizmasının başlangıcında tirozinaz enzimi rol oynar. Bazı insanlarda tirozinaz inhibitörleri diğerlerine göre daha fazladır. Bu inhibitörler, insan grupları arasında değişen birkaç genle ilişkilidir.

İnsanların doğrudan güneş ışığına maruz kalmaya dayanma süresi de melanin konsantrasyonuyla ilişkilidir. Melanin, güneşten gelen ışınların epidermisten dermise geçişinde bir filtre görevi görür. Araştırmalar göstermiştir ki, koyu renkli deri ultraviyolenin geçişini %95 engellerken, açık renkli deri ancak %50 engelleyebiliyor. Koyu tenli Afrikalılarda korneada bile melanin granülleri bulunuyor ve koruma sağlıyorlar (13).

Deri rengi ve evrim

Homo Sapiens ilk başta koyu tenli miydi? Eğer böyleyse Avrupa ve Asyalıların pigment kaybı nasıl oldu? En kabul gören teoriye göre bu popülasyonlar koyu tenliydi ve kuzeye göç ettiler.

Ekvatordan uzaklaştıkça melanin miktarının azalma nedenlerine ilişkin teorilerden biri, pigmentin azalmasının yeterli UV girişini sağlaması şeklindedir. Bu sayede deri, yeterli D vitaminini sentezleyebilmektedir. Yoğun pigmentleşme kuzeye yakın bölgelerde büyüme çağında D vitamini eksikliğine yol açar. Bu uyumun binyıllar sürdüğüne dair kanıtlar var. Fosil kayıtlar gösteriyor ki, Mezolitik'te bile, insanlar zayıf mineralleşmeden dolayı sorun yaşıyordu. İsveç'te ve Kuzey Avrupa'nın başka yerlerinde bulunan iskelet kalıntıları, bu insanların diş ve kemiklerinde kalsiyum eksikliği olduğunu gösteriyor. Zaman içinde tropiklerden en uzun süre uzakta kalmış olan popülasyonlarda (örneğin İskandinavlarda) depigmentasyon maksimum düzeydedir. Doğu Asyalıların ten renginin hala koyu olmasının nedeninin ise (bunlar ırksal olarak siyah kategorisinde değerlendirilmese de), bunların bulundukları bölgede yalnız birkaç bin yıldır yerleşik olmalarından kaynaklandığı düşünülüyor.

Göz rengi ve evrim

Göz rengi de, ırk sınıflandırmalarında kullanılmıştır. Kuzeydeki bölgelerde açık renk gözün görülme sıklığı daha fazla, tropiklere yakın bölgelerde ise koyu renk gözün sıklığı daha fazladır. Ancak gözdeki pigmentasyon birden fazla gen bölgesi tarafından kontrol edilir ve bu özellik ırksal tipolojide tek başına kullanılamaz.

Diş boyutu

Afrikalıların dişlerinin Avrupalılardan daha büyük olduğu söylenir. Deri rengindeki adaptasyonların gelişimi 200.000 yıl aldı, dişlerin modern şeklini almasıysa yaklaşık 100.000 yıl. Şu an kimse, 130.000 yıl öncesindeki insan ataları kadar büyük dişlere sahip değil. Bu, insanın ateşi kullanmaya başladığı zamanla ilişkilidir. Kuzey bölgelerde, avlanan hayvanlar kısa sürede donup sertleşiyordu. Ateşin kontrolüyle birlikte, insanlar eti pişirmeye başladı. Etin, çiğ et kadar uzun süre çiğnenmesi

gerekmiyordu - bu da evrimsel süreçte diş boyutunda küçülme anlamına geldi. Çünkü büyük dişe yönelik seçilim baskısı ortadan kalkmıştı.

Zamanla ateşin kullanımı ve yemeklerin pişirilmesi, tropiklere kadar yayıldı. Bunun nedeni pişmiş yiyeceklerin daha geç bozulması ve bu sayede bazı tahılların yenmesinin kolaylaşmasıydı. Dünyada en küçük dişlere sahip insanlar "Yakın Doğu" olarak adlandırılan bölgede yaşıyor – burası çömlekçiliğin icat edildiği, dolayısıyla en uzun süredir kullanıldığı yerdir.

Farklılıkların dağılımı

Genetik bilgi, bütün insan popülasyonları arasında paylaşılıyor ve birkaç istisna dışında hiçbiri bir gruba özgül değil. Bu, popülasyonlar arasında farka yol açan alellerin frekansıyla ilgili bir konu. Gen çeşitliliği konusundaki bilgileri arttıkça, insan hakkında çalışan biyologlar "ırk" terimini kullanmaktan kaçındılar. Hala popülasyon gruplandırması ve bunun terminolojisinde kafa karışıklığı olsa da, insan varyasyonlarının dağılımının, insan adaptasyonunu anlamanın temeli olduğuna dair genel bir kabul var.

İnsan çeşitliliği ve davranış

Davranış, din, aile ve ulus gibi kültürel etkilerden inanılmaz ölçüde etkilenir. Problem, böyle özelliklerin miktarını belirlediğimizde ve bunlardan yola çıkarak bireylerin niteliği ve yetenekleriyle ilgili yargılar geliştirdiğimizde ortaya çıkar. Bu yöntemi kullanarak bireylere değer biçmek çok kolaydır. Tıpkı kalıtım ve sınıflandırmayla ilgili hastalıklı varsayımlarda kullanılan renk, boyut ve şekil konusunda olduğu gibi. Amerika'da suç, alkolizm, fahişelik gibi sosyal sapma davranışlarının bazı ailelerde daha sık olduğu gözlendi (13). Bu aileler ulus ve kökenlerine göre gruplara ayrıldı. Bu aileler, yeni gelişen "davra-

nış genetiği" çalışmalarına kaynak sağladı; bir başka deyişle, göçmenlere yapılan ayrımcılığa "bilimsel" bir temel sağladı.

Unutmamalıyız ki davranışsal ayrımlar kültürel etmenler, sosyoekonomik durum ya da fiziksel çevreyle belirlenir. Geçtiğimiz yüzyıl boyunca antropologlar, gözlemcinin kültürel geçmişinin, bu kişinin algı ve yargılarını etkileyeceğini vurgulamışlardır, özellikle de bu kişiler geleneksel (ilkel) toplumlar hakkında çalışıyorlarsa.

Genetik çalışmalarla birlikte, eski antropologların insanları sınıflandırmak için yaptığı çalışmalar çöpe atıldı. Türümüzün genetik kompozisyonuna dair genişleyen bilgimiz ve sosyal-çevresel etmenlerin etkilerinin anlaşılması, coğrafi ırk sınıflandırmalarını zorlaştırdı. Örneğin Kuzey İrlanda'da Katolikler ve Protestanlar arasında evlenmeyi önleyen kurallar var. Hindistan'da Kast sistemi, farklı kastlardan bireylerin evlenmesini yasaklıyor. Çok uzağa gitmeye gerek yok, ülkemizde de Sünniler ve Aleviler arasında benzer bir durum görüyoruz.

Coğrafi izolasyon yıllar boyunca gen akışını sınırlandırdı. Bu durum günümüzde de sürüyor ama alt tür oluşturmaya yetecek kadar değil (14). Popülasyon dağılımı üzerindeki sosyal etkenleri göz önüne aldığımızda, insanları bir birim halinde gruplandırmak, adına ne dediğimizin önemi yok, insan varyasyonu çalışmalarında yapılabilecek bir şeydir. İnsan popülasyonlarını gruplandırırken seçtiğimiz yol tabi ki amacımıza bağlıdır ve bu grupları çalışırken amacımızı aklımızdan çıkarmamalıyız. Örneğin ırklar –ya da etnik gruplar– sosyopolitik ve dini temeller üzerine kurulup sonra da varlıkları biyolojik temellerle açıklanmamalı, yorumlanmamalıdır. Aynı yoruma coğrafi bağlar konusunda da başvuruluyor. Bu doğal bağlar, popülasyonlar arası iletişimi engellemiyor, her ne kadar uzaklık buna bir miktar yol açsa da (popülasyonlar arası çiftleşme sıklığı, dolayısıyla gen akışı azalıyor). Bunun gibi, sosyopolitik ya da dini farklar da sonraki kuşakların kompozisyonunu etkileyebilir.

KAYNAKLAR

1. Şenel. A., (1993) *Irk ve Irkçılık Düşüncesi*, Bilim ve Sanat Yayınları; Sistemler ve Öğretiler; Ankara.
2. Arkel, D. V., ROSS, R., *Racism and colonialism: essays on ideology and social structure*, (1982) M. Nijhoff Publishers for the Leiden University Press.
3. Özsoy, E. D., "Genetik bilimi 'ırk' kavramını reddediyor. DNA'mızın deri rengi yok!", Bilim ve Gelecek, sayı: 52.
4. Alles, D. L. ve Stevenson, J. C., (2003) Teaching Human Evolution.The American Biology, Teacher, Vol. 65, No.5 (May), 333-339
5. http://www.jeffdonofrio.net/DNA/DNA_Analysis.html
6. http://readingevolution.com/hominid_evolution.html
7. Özbek. M., (2007) *Dünden Bugüne İnsan.*
8. Ernst Mayr, (1942) *Systematics And The Origin Of Species.* Columbia University Press.
9. Lewontin, R., (1972) *The Apportionment of Human Diversity, Evolutionary Biology* 6 : 391–398.
10. Nei, M., Roychoudhury, A. K., (1982) Genetic Relationships and Evolution of Human Races. *Evolutionary Biology* vol.14
11. Cavalli-Sforza, L. L., A. Piazza, P. Menozzi ve J. Mountain. (1988) Reconstruction of human evolution: bringing together genetic, archaeological, and linguisticdata, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 85: 6002-6006.
12. Rosenberg, N., A., Pritchard, J., K., Weber, J., L., Cann, H., M., Kidd, K., K., Zhivotovsky, L. ,A., Feldman, M., W., (2002) *Genetic Structure of Human Populations Science.* 298: 2381-2385.
13. BOAZ., N., T., Almquist., A. J., (2002) Biological Anthropology: Synthetic Approach to Human Evolution, Prentice Ha ll.
14. MOLNAR., S., (2002) *Human Variation: Races, Types and Ethnic Groups*, Prenticehall.

EVRİM'İ KAVRAMANIN ÖNEMİ VE YARATILIŞÇILIK[1]

Ergi Deniz Özsoy

Genetik, moleküler biyoloji, gelişim biyolojisi, ekoloji, paelontoloji gibi pek çok bilimsel disiplinin kavramlarını bağlamından uzak biçimde, dinsel inancın kimi algı çerçeveleriyle karıştırarak bir tür sahtecilik ve inanç sömürüsü anlamına gelen "yaratılışçılık", evrimden bahsediliyorsa inanç reddediliyor türünden bir avamlık temeline kurulmuştur. Bu avam ve evrimsel biyolojinin içeriğine sözde bilimsel eleştiri niteliğindeki tuhaf argümanlar yığını, dünyanın ciddi üniversite ve araştırma merkezlerinde dikkate alınmayan, haklı biçimde tutkulu bir fanatizm anlamına gelse de, popüler algıyı meşgul etmeye devam etmektedir. Evrim-karşıtlığının bu "bilimsel" argümanları, hemen her durumda, çeşitli biyoloji alanlardaki bilimsel yaklaşımların sonucunda üretilen bulguları bilimin uygun dilinin haricinde, bilgi kirliliğini kasten yaratacak şekilde ortaya koymaktadır. Aşağıda özetlediğimiz başlıklar ise, soru-yanıt biçiminde bu "yaratılışçı argümanların" nasıl bir bilgi kirliliğinden kök aldığını göstermeye çalışmaktadır. Ayrıca temel evrimsel biyolojik yaklaşımlara ilişkin örnekler, yaratılışçılık akımının neden bilimsel düşünce karşıtlığı olduğunu gösterecek şekilde yanıtların içerisinde sunulmaktadır.

1. Bilimsel yöntemin ilkeleri düşünüldüğünde, Evrim Kuramı için bilimsel bir kuram diyebilir miyiz?

Kesinlikle söyleyebiliriz, uzun zamandır böyle. Çünkü "kuram/teori" sözcüğünün tanımı, bilim felsefesi açısından ve bilimsel bir yöntemi içermesi veya onunla ilişkili olması açısın-

[1] Bilim ve Gelecek dergisinin Eylül 2009 tarihli sayısında yayımlanan yazının kısaltılıp değiştirilmiş halidir.

dan, gündelik hayattaki tanımından çok farklıdır. Teori denildiği zaman insanların anladığı şey, ayakları yere basmayan, olgularla desteklenmeyen ve her an için değişebilen bir yapı. Ama bu algı bilim felsefesi açısından kullanılabilecek doğru bir algı değildir. Bilimsel bir kuramın tanımı bilim insanları tarafından şu şekilde yapılır: Bir disiplin bilimsel bir kuram olmuş ise, o disiplin çok sayıda ilgili hipotezlerin kurulduğu ve kurulan hipotezlerin olgularla ilişkisi araştırılırken bağlama ilişkin yasaların kullanıldığı (örneğin Mendel ilkeleri), kanıtlanmış hipotezler içeren bir bütündür. Kuram aslında bir araştırma yöntemi öneren, üretim yapmayı sağlayan genel bir açıklama biçimidir. "Bir teori yanlışlanabilir" denirken aslında teorinin olgularla ilişkisi kurulabilecek hipotezler içerip içermemesinden söz edilir.

"Teorinin yanlışlanması" Karl Popper'in ortaya koyduğu bir çerçevedir ama, örnek verecek olursak, canlılar arasında birbirine yakın olduğunu düşündüğümüz herhangi iki türü seçip genetik açıdan bir akrabalık araştırıyorsak, ortak köken ilişkisini açıklayacağımız genetik ve istatistik yöntemler bulunur. Bu yöntemleri kullandığınızda ortak köken çıkmıyorsa ortak kökeni reddedersiniz, çıkıyorsa kabul edersiniz. Maddi olarak türler orada durmaktadır, onların genleri elde edilebilmektedir, gendeki dizi farklılıklarına bakılarak bir yakınlık ya da uzaklık ölçüsü ortaya konabilmektedir. Dolayısıyla sınanabilir bir hipotez olarak içerilebildiği için ortak köken ilişkileri bakımından bunu hangi canlı grupları için yaparsanız yapın, isterseniz bunu belli bir grup canlı için yapın veya isterseniz tüm canlı gruplarının ortak ağacı bakımından tek bir ortak kökene kadar indirgenebilmesi ve çakıştırılabilmesi açısından bakın, bunu ilgili türlerin DNA'larını kullanarak test edebilirsiniz elinizdeki imkanlarla. DNA diye bir şey var, türler maddi varlık olarak orada, DNA'daki farklılık diye bir şey var ve bu farklılık düzeyinden ortak kökenin çıkarılması mümkün. Bu bakımdan ortak köken sınanabildiği için evrim kuramı da sınanabilir bir yapıya sahiptir Popperyen çerçeveden baktığımız zaman.

Evrimsel biyoloji, genel bir açıklama biçimine sahip ve çalışma programı üretebilen, yani olgularla ilişkisini kurabileceğimiz hipotezleri üretip test ettiğimiz bir program ortaya koyabilen çok önemli, parlak bir bilim dalıdır. Zaten bir bilimsel disiplinin kuram olması demek, herkesin yanlış anladığı gibi ayakları yere basmayan bir şey olması değil, bilimsel açıdan en üst noktaya geldiğinin ifadesidir. Bilimde evrensel açıklama biçiminin genel adı kuramdır zaten.

Gündelik hayattaki kuram sözcüğünün ifade ettiği belirsizlik halinin nasıl araştırma programı haline geleceğini basit bir örnekle ele alalım. Örneğin, "bugün teorim var, kuşlar kanatlarını çırparak güneye doğru uçacak" gibi temelsizlik ifade eden bir duruma bakalım. Burada, eğer kuşbilimci iseniz ve bölgeyi, genel iklim koşullarını ve ilgili kuş türünün ekoloji ve etiyolojisini tanıyorsanız hipotezler kuracak hale gelirsiniz, onları sınarsınız ve hipotezin temel önermesi doğrulanabiliyorsa o zaman bu zaten gündelik hayattaki anlamından çıkmış olacaktır. Tıpkı evrimsel biyolojide, canlı çeşitliliğini anlamak için, canlıların bugünkü durumunu anlamak için, geçmişteki yok oluşlarını anlamak için ortak köken ilişkilerinin ve bununla ilgili süreçler olarak doğal seçilimi ve doğal seçilimle ilişkili yan süreçleri kabul etmemiz ve gösterebilmemiz gibi. Teorinin içerdiği kanıtlanmış hipotezlerin olgularla ilişkisinin açıklanmasında kanunlar veya yasalar kullanılır. Dolayısıyla "teori bir üst düzeye geçtiğinde kanun olur" sözü son derece yanlış bir tanımdır. Bu algı yanlıştır. Evrimsel Biyoloji bir kuramdır ve genel, evrensel bir açıklama biçimi olduğu için de bilimsel açıdan şu an bir disiplinin gelebileceği en üst düzeydedir.

2. Yaratılışçılar "Evrim Kuramı da Yaratılış da felsefi görüşlerdir; bilim insanı istediğini savunmakta özgürdür" diyorlar. Evrim kuramı felsefi bir görüş müdür?

Evrim Kuramı felsefi bir görüş değildir, kaba anlamıyla felsefeden söz edildiğinde. Verileri ele alarak, olgulardan yola çı-

karak temel süreçlere gitme işi bir felsefe pratiği ise, ki öyledir, evrimin bu anlamda elbette felsefi bir tarafı olduğu söylenebilir. Burada çok kritik bir tanım var; "olgular üzerinden ve olgularla kurulabilecek, sınanabilecek hipotezler" üzerinden genel açıklama biçimlerine yöneliriz. Evrime bu anlamıyla felsefe yapıyor diyecek olursak, "yaratılış bilimi" dedikleri felsefi bir yaklaşım olmaktan çıkar.

Canlıya mükemmel ve anında ortaya çıkmış, yaratılmış diyerek bilimle ilişkisiz şekilde bakmanın olgularla sınanabilecek ve hipotezler kurulabilecek bir tarafı yoktur. Bunu yapamazsınız. "Mükemmel canlı" ne demektir? Mükemmellik herhangi bir şekilde maddi olgularla veya maddi olguları yorumlayacak, test edecek araçlarla tanımlanabilir mi? Ne demektir "mükemmellik"? Mükemmellik insani bir terim aslında, insanın atfettiği bir terim. "Canlılar ortak kökenden gelmemiştir, bir anda ortaya çıkmıştır" diyorsunuz, ama evrimsel biyologlar genetiği kullanarak ortak kökeni gösterebiliyorlar. Dolayısıyla Yaratılışçılar da genetiği kullanarak bütün canlıların birbiriyle ilişkisizliğini göstersinler. Gösteremedikleri için Yaratılışçılık, Evrimin karşısına konulamaz. Dolayısıyla "o da bir görüştür" diyemeyiz, çünkü bilimsel veya felsefi bir görüşün sınanabilir, olgularla ilişkisi bulunabilen bir yapıya dayanması lazım. Yaratılışçılığa Evrimsel Biyolojinin içerdiği sınanabilirlik çerçevesinden kolaylıkla yanıt verilebilir, ancak yaratılışçılık bunun tersini yapamaz.

"Benim görüşüme göre canlılar bir anda yaratılmıştır" diyorlar. Bunu ispat etmek için ne yapmaları gerekir? Türler arasında ilişkilerin hiç bulunmadığını göstermeleri gerekir, çeşitli biyolojik ölçekleri kullanarak ve bilimin kendi dilini kullanarak. Bugüne kadar böyle bir duruma rastlamadık. Evrimsel biyolojik açıdan binlerce ve binlerce kere yapılan çalışmalar tüm canlı taksonları için ortak kökenlere, tüm yaşamın kendisi için de tek bir ortak kökene işaret etmektedir. Dolayısıyla birbiriyle hiç alakası olmayan canlı olamaz. Bakteriyle insanın, solucanla me-

şe ağacının mutlaka ve mutlaka tek bir genetik ortak ataya kadar götürebileceğiniz uzaklıkları vardır. Sadece, insanla bakteri karşılaştırması söz konusu olduğunda, en yakın ortak ata çok daha derin, uzak geçmiştedir. Bu, kesinlikle ikisinin alakasız olduğu anlamına gelmez, sadece ortak atanın çok daha derinlerde olduğunu gösterir bize. Bizim evrimsel biyolojik açıdan ele aldığımız şey, ortak atanın ne kadar yakın bir zamanda tarihlenebildiğidir. Yakın ortak ataya sahip olanlar birbirine daha çok benzerler, ortak ataları birbirine en uzak olanlar birbirlerine o denli az benzerler. Ama hiçbir zaman en uzak iki form arasında dahi net bir alakasızlık, net bir benzemezlik kurulamaz.

Bu nedenle, yaratılışçılığın ortak kökenin olmadığına dair bulguları ortaya koyabilecek araçlarının olmaması, dinsel bir görüş olması, bir inanç meselesi olması, bilimin pratiğinden ve anlayışından alakasız olması nedeniyle evrimsel bakış ile aynı kefeye konulmaması gerektiğini, eğitim müfredatında biri anlatılırken diğerinin anlatılmaması gerektiğini güçlü biçimde vurgulamamız gerekiyor. Bilimsel eğitim söz konusu olduğunda, ikisini yan yana getiremeyiz, eşit ağırlıklı göremeyiz. Biri bilimin kendi dilinden baktığınızda sınanabilir hipotezler üretmeyen, olgulara karşılık gelmeyen ve inanç çerçevesinde temellenen bir yaklaşım olduğu için; diğeri ise, bilimin tamamen kendi alanına ait bir yaklaşım olduğu için. Tıpkı Newton mekaniği gibi, tıpkı termodinamik gibi, tıpkı hücre teorisi gibi...

3. Biyoloji eğitiminde Evrim kuramını, genel olarak eğitimde evrim anlayışını öğretmenin önemi nedir? Evrim kuramsız biyoloji, evrimsiz bilim olabilir mi?

Biz madem dünyadaki olguları anlamak açısından bilimi kullanıyoruz, hem bir kuram olması hem genel bir açıklama olması itibariyle hem de içinde bu açıklamayı her düzeyde sağlayabilecek yöntemler içermesi bağlamında evrimsel biyolojiyi, orta öğretimde de üniversite eğitiminde de, doğayı anlama işinin, bilimin bir parçası olarak, bütün kademelerde uygun

ağırlıklarla gösteriyor olmamız gerekir. İnsanlar çok uzun süre kendilerini merkeze oturtarak dünyayı açıklamaya çalıştılar, fakat bilim insan merkezli bakışı, algıyı mümkün olduğunca bir kenara bırakarak doğayı anlamaya çalışmakla meşgul son 300 yıldır. Dolayısıyla nasıl gezegenlerin hareketini, dünyadaki cisimlerin hareketini, hareket, zaman ve hız arasındaki ilişkileri fizik bilimi ile ele alıp açıklıyorsak, dünyadaki çeşitliliği açıklamak, doğayı anlamak için de evrimi kullanmak gerekir. Eğer fen derslerinde fizik, kimya, biyoloji gösteriliyorsa orada mutlaka evrim olmalı. Şu anki biyo-çeşitliliği ve geçmişteki durumu çok rahatlıkla izah eden ve karşısında alternatif bir hipotezin artık oluşturulamadığı düzeye gelmiş olan bir çerçevedir evrim. Dolayısıyla evrimi orta öğretimde de göstermenin bir sakıncası yok. "Ancak lise 3'te evrim gösterilsin, çünkü bir sürü şeyi bilmek lazım" talebi diyelim ki masum ve teknik bir talep olsun. Bence bu talepte bile teknik açıdan yanlışlık vardır. Zaten ben bunun masum bir talep olduğuna da inanmıyorum, çünkü bu talepte de evrimi başka bir şeyle karşı karşıya getirme kaygısı var.

Örneğin İran'da 5. sınıf, 8. sınıf ve lise 3 öğrencilerine farklı ağırlıklarda dünyanın oluşumu, canlıların oluşumu ve aradaki ilişkilere ilişkin bilimsel temelleri sağlam ve çok güzel bir şekilde ortaya konulmuş evrim bilgileri verildiğini görüyoruz. 5. sınıf çocuğu bunu görüyor ama popülasyon genetiği görmüyor, bunu görmesine gerek yok. Ama canlılar arasında belirli ilişkiler olduğunu dünyanın yaşam tarihi açısından ele alınması gerektiğini veya canlıların çeşitliliğinin belli bir tarihsel yapısı olduğunu algılamış oluyor çocuk. Yani kendi maddi algısından, gündelik yaşamının ağaç algısından, hayvan algısından bağımsız hale gelerek bilimin çerçevesiyle canlı çeşitliliğini bir süreç içerisinde ortaya çıkmış bir bütünlük olarak algılamak şansına sahip oluyor. Bunda problem olan nedir ki? Büyük evrimci Theodosius Dobzhansky'nin meşhur sözüdür: "Evrim ışığı altında bakılmaksızın hiçbir şeyin anlamı yoktur".

Biyolojide baktığınız zaman oldukça heterojen bir yapı görüyoruz. Çok sayıda veri vardır, hücreye baktığınızda açıklamanız gereken çok şey görürsünüz, biyokimya diye koskoca bir alan var, fizyoloji, genetik, sınıflandırma diye alanlar var... Dolayısıyla, biyolojik ilişkileri ve hücrenin durumunu, bir biyokimyasal metabolik yol ağının oluşumunu, niye öyle olduğunu, niye enerjinin kompartımanlar şeklinde bir akış içerisinde dönüştürüldüğünü anlamak istiyorsanız, herhangi bir işlevsel yapının veya işlevin kendisinin ilişkili olduğu geçmiş durumlara bakmanız gerekir. Bir şeyin niye öyle olduğunu anlamak için tanımlanamaz bir bilinç değil, evrimsel süreç algısı gerekiyor. Fizyolojiyi evrimsel olarak algıladığınızda çok heyecan verici olabilir, ki öyledir. Karşılaştırmalı fizyoloji diye bir şey var. Karşılaştırmalı fizyoloji, insan fizyolojisiyle kurbağa fizyolojisini, kuş, sürüngen fizyolojisini vb. ortak bir potada ele almak ve ortak çerçeveyi görmek demektir.

Şimdi daha basit bir şeyden başlayalım... Tıp nedir aslında? Biyolojinin bir alt disiplinidir. Modern biçimiyle bakılması gereken nokta burasıdır. Evrimsel tıp diye bir alan var. Hastalıkları anlamak için, her şeyden önce eğer genetik bir hastalıksa bize en yakın olan primatların genlerindeki durumunu görmek çok elverişli olabilir. Örneğin Türkiye'den Mehmet Somel adlı evrimsel biyolog arkadaşımızın bir çalışması gösteriyor ki, primatlardaki şizofreni ile ilgili gen ekspresyonlarına baktığımızda, insanla şempanze arasındaki genetik fark bize şizofreniyle ilgili bir gen ekspresyonu profili verebilecekse, bu, insan soy hattındaki bir evrimleşme durumuyla mümkün olabilecektir. Örneğin bazı genetik hastalıklarda, hastalıkla ilişkili olan genler açısından bakıldığında, o genlerin şempanzelerde hastalık yapıcı özellikte olmadığını görüyoruz. Hastalık yapıcı genlerin işlevsel olarak o hale nasıl geldiğini anlamak istiyorsak, sadece insanlardaki durumlarını değil, şempanzedeki durumlarını da bilmemiz gerekir her şeyden önce.

Yine genel evrimsel olgulara dönecek olursak; örneğin fotosentez, ki bakıldığında çok kompleks bir sistemdir, ama biz bu-

gün biliyoruz ki sülfür metabolizması yapan bakterilerden köken alıyor. I ve II olarak ikiye ayrılan bu büyük sistemin de kökenlerinde tek tek aslında farklı bakteri gruplarına rastlıyoruz. Dolayısıyla herhangi karmaşık bir sistemi anlamak istiyorsak geçmişe dönmemiz lazım. Geçmişe dönmek derken, çalışılan türlerin aralarındaki ortak köken ilişkisinin aynı zamanda yapısal ve işlevsel bir ortaklık ve bir uzaklık-yakınlık ilişkisi olduğunu anlamamız lazım. Dolayısıyla bütün biyolojiye bu şekilde bakmanız gerekiyor.

Sınıflandırma bilimini evrimsel olarak yapmanız lazım. Klasik (Linneaus) sınıflandırmayla taksonları birbirinden bağımsız kategoriler şeklinde tasniflediğinizde, size yaşamın tarihi hakkında, yapısal ve işlevsel farklılıklar hakkında bilgi vermiyor. Evrimsel olarak baktığınızda, evrimsel ekolojik bağlamda ele aldığınızda, türün değişkenliğini anlıyorsunuz. Sistematik kategorileri evrimsel ilişkiler bağlamında açıkladığınız zaman çok daha anlaşılabilir hale getirmiş oluyorsunuz. Dolayısıyla biyoloji eğitimini evrimsiz yapamazsınız. Aslında bana kalırsa, temel biyoloji eğitiminin tüm cepheleri evrimsel perspektifle ele alınmalı. Öbür türlü son derece kısıtlı, mühendisvari bir yaklaşımla belli bir süreci, belli bir türü, değişkenliğinin ifade ettiği tarihsel durumları bilmeksizin çok kendilerine has bir çerçevede algılıyoruz. Böyle bir algı, biyolojik açıdan veya onun uygulaması olan alanlar açısından var olan sorunları aşmamızı ve o sorunlar için aslında geçerli bir üretim programı, çözüm programı oluşturmamızı engelliyor.

Madem bilim doğayı anlamak ve uygulamalı alanlar açısından pratik sonuçlar üretmekse, bizim evrimsel ilişkileri kullanarak her sorunu çözmemiz lazım. Çok mümkün görünüyor aslında baktığımız zaman. Evrimsel tıp bahsine tekrar dönersek: *The Lancet* dergisi, çok meşhur bir tıp dergisidir, 2008'in son ayında özel bir Darwin sayısı çıkardı. Ve sayının ismi "Darwin's Gift", Darwin'in hediyesi. Ve bölümlerden bir tanesinin başlığı "Evolution: Medicine's Most Basic Science" yani

tıptaki en temel bilimsel çerçeve evrim diyor. Sadece insana odaklanmasını beklediğimiz, sadece bir parça mühendislik algısıyla algılanan onarma, iyileştirme, kesip atma vb. pratiğinin kuramsal yapısı, evrimsel biyolojik çerçeveye oturtululuyor son 10 yıldır. Dolayısıyla hem biyolojinin hem de biyolojinin uygulama alanlarının evrimsel biyolojiden bağışık olmasını bekleyemeyiz.

4. Yaratılışçılar Evrim kuramını "tesadüfçü" olarak niteliyorlar ve "böyle kompleks yapılar tesadüf sonucu oluşamaz" diyorlar. Evrimciler canlılığın evriminin ve türlerin gelişiminin tesadüfler sonucu oluştuğunu mu söylüyor? Evrim kuramında tesadüfün ve nedenselliğin yerleri nedir? Doğal seçilim tesadüfi bir süreç midir?

Evrim karşıtlarının ve yaratılışçıların anladığı tesadüfle evrimsel biyologların kuramsal yapı içerisinde kullandıkları tesadüf arasında, tıpkı kuramın sokaktaki algısıyla bilim açısından algısı arasında olduğu kadar büyük bir fark var. Biz evrimsel biyologlar olarak tesadüften söz ettiğimiz zaman, daha doğrusu rastlantıdan, rastlantısal süreçlerden söz ettiğimiz zaman aslında üç şeyi kastederiz.

Birincisi; **mutasyon**un rastlantısal olmasıdır. Bunun anlamı, genomda oluşan mutasyonların, herhangi bir işlevsel değişimi oluşturmak üzere, önceden belirlenmiş bir biçimde ortaya çıkıyor olmamasıdır. Mutasyonlar, büyük oranda, genomun her tarafında içsel (Örneğin DNA kopyalama hataları) ya da dışsal (çeşitli mutasyon yaratıcılar) etkenlerle ortaya çıkan görece nadir olaylardır. Genomdaki mutasyon dağılımlarını ve frekanslarını anlamak için, bu nedenle, Poisson dağılımı adı verilen, rastlantısallığı ölçen bir istatistiksel dağılımdan yararlanılır. Çeşitli türlerin genomlarında "sıcak noktalar (*hot spots*)" denen ve mutasyonların diğer bölgelere oranla daha yüksek sıklıkla gerçekleştiği bölgeler vardır. Ancak bu bölgelerin hem sayısı çok fazla değildir hem de yine burada oluşan mutasyonlarla oluşa-

cak fenotipik değişimler arasında yönlü (doğrusal) bir ilişki kurmak mümkün değildir. Herhangi bir mutasyon oluştuğu zaman, o mutasyonun üreteceği son ürünle arasında nedensel ya da "bilinçli" bir ilişki bulunmadığı için, mutasyon rastlantısaldır deriz.

Evrimde rastlantıyı teknik açıdan (evrimleşen formların izlediği değişim yönü açısından) en belirgin olarak vurgulayan şey, **genetik sürüklenme** denen, sağlam bir kuramsal yapı ve ilişkin olgulara karşılık gelen bir durumdur. Genetik sürüklenme tıpkı istatistikte tanımlanan örneklem hatasına benzer bir süreci ifade eder. En basit haliyle şöyle bir örnek düşünelim: Diyelim ki elimizde büyük bir kova var ve kovanın içinde de bilyeler var ve bu bilyeler için üç renk kategorisi söz konusu olsun: kırmızı, mavi ve yeşil mesela. 1000 tane bilye var diyelim ve kırmızıların sayısı 100 olsun, mavilerin sayısı 750 olsun, yeşiller de otomatik olarak 150 olur. Şimdi, eğer bu 1000 tane bilyenin içinden herhangi bir rengi özellikle seçmeyerek, karıştırarak ve rastgele bir şekilde 20 tane bilye alırsak ve bir diğer kutuya koyarsak ne olur? Frekans olarak bakarsak kırmızının başlangıç frekansı 0,10, mavinin 0,75, yeşilin 0,15. Bu aldığımız 20 tane bilyenin renk açısından dağılımına baktığımız zaman kovanın içindeki 1000 tane bilyeye ait renk oranlarını bekleyemeyiz. Bu çok net bir istatistiksel sonuçtur, örneklem hatası yapılmıştır aslında. Çünkü görece büyük bir kümeden rastgele küçük bir küme çektiğiniz zaman o kümedeki kategorilerin oransal temsillerinin aynılarını bulmayı beklemezsiniz. Belki mavi bilyeleri yüzde 50 bulacaksınızdır, yüzde 30 bulacaksınızdır bir diğerini, hatta belki bir renkten hiç bulamayacaksınızdır. Ve bu süreci sürekli devam ettirirseniz, yani her defasında 1000 bilyelik kutulardan rastgele ve az sayıda bilye alırsanız, her bir durumda bir önceki durumdan farklı frekanslar ile karşılaşırsınız. Bir başka deyişle; elimizde kaç tane 1000 bilyelik kutu olursa olsun, her defasında az sayıda bilye örneklendiğinden, yaptığımız bu basit deney sonucunda -diyelim ki 1000 bilyelik

50 kutuyu kullandığımız bir deney sonucunda- herhangi bir renk kategorisinin frekansının yönlü (deterministik) biçimde artışını ya da azalışını göremeyiz. Kategori frekanslarının dalgalandığını görürüz; kimi kategorilerin frekansı 0 olurken ya da 0'a yaklaşırken, kimileri de 1 olacak ya da 1'e yaklaşacaktır.

Şimdi bu renk kategorilerini bir türün popülasyonlarındaki çeşitlilik durumları olarak saptayalım ve bu çeşitlilik durumlarının genlerle ilişkisi bağlamında her birini genetik bir formun frekansı olarak kabul edelim. Dolayısıyla ne olacaktır? Bu üç kategori üç farklı genetik duruma ilişkin olarak rastgele bir şekilde yeniden değişecektir. Ve nihai olarak biz, bir türün popülasyonlarına baktığımızda, genetik temeli olan canlı özelliklerinin bir kuşaktan diğerine rastgele değiştiklerini (özelliklerin önceden kestirilemeyen frekanslara ulaştıklarını) görürüz. Belirli bir özellikteki değişkenliğin belirli bir bölümünün yönlü bir değişimini ifade eden ve doğal seçilimin tersi olan bu süreç genetik sürüklenme olarak tanımlanır ve içerdiği yönsüzlük nedeniyle rastlantısaldır. Bu durumun doğada hissedilir sayıda örneği bulunmaktadır. Örneğin Arjantin karıncaları (*Linepithema humile*) koloniler halinde yaşarlar ve yerlisi oldukları Arjantin'de, koloniler arasında koruma amaçlı çatışma-agresiflik bulunur. Bu türün insan eliyle kazara Kaliforniya'ya taşındığı ve orada hızla çoğalarak koloniler oluşturduğu bilinmektedir. Kaliforniya kolonileri arasında koloniyi-koruma amaçlı çatışma ve agresiflik, Arjantin kolonilerine göre oldukça düşüktür. Yapılan çalışmalar, Kaliforniya kolonileri arasındaki genetik farkın Arjantin'dekilere oranla düşük olduğunu göstermektedir. Bu durum, Arjantin'den gelen az sayıda karıncanın Kaliforniya'da kurucu koloniler oluşturmasıyla, genetik sürüklenmeye örnek teşkil eder. Bir başka deyişle; Arjantin'deki kolonilerin türiçi çatışma davranışı değişkenliğinin (ki bu değişkenlik belirli genlerdeki değişkenlikle ilişkilidir) zayıf çatışma ifade eden bölümü, bilinçli olmayan (yani rastlantısal) bir örnekleme ile Kaliforniya'ya taşınmıştır. Bu durum genetik sürüklenmenin çarpıcı bir örneğini göstermektedir. Kaliforniya kolonilerinin

genetik benzerliğinin yüksek oluşu yine genetik çeşitliliği az aynı küçük bir populasyondan türeyen özdeş gruplara işaret ettiği için, genetik sürüklenme etkilerini ifade etmektedir.

Evrimsel biyolojide, deterministik olmakla birlikte, rastlantı bileşeni içeren üçüncü süreç **doğal seçilim**dir. Doğal seçilim deterministik bir süreçtir. Seçilimin olduğu bir popülasyonda eğer kategoriler arasında bu kategorilerin sahip olduğu özellikleri gösteren bireylerin yaşamda kalması ve dolayısıyla da bir sonraki kuşağa yavrularını bırakması açısından farklar var ise -ki biz bunlara uyum başarısı farkları diyoruz- etkileşilen ve oluşturulan çevre koşulları, daha doğrusu o farkı yaratan koşullar görece stabil kaldığı sürece, belli sayıda kuşak geçtikten sonra, giderek görece en yüksek hayatta kalmaya ve dolayısıyla en çok yavru döl bırakabilme olanağına -uyum başarısı- sahip olanlar o popülasyonda en yüksek frekansı oluşturacaklardır. Bu öngörülebilir bir durumdur. Kritik nokta, uyum başarısını ölçtüğünüz zaman aslında aşağı yukarı uyum başarısı farklarını yaratan koşulların da görece değişmez kaldıklarını veya çok küçük oranlarda değiştiklerini varsayabilmenizdir. Böylece, birinci kuşaktan yola çıkarak 20 kuşak sonra, ortalama azalma ve artış hızlarını kullanarak hangi formun dominant form haline geleceği öngörülebilir. Bununla birlikte, formlar arasındaki uyum başarısı farklarını tetikleyen faktörler değişmeye başlarsa, örneğin sıcaklığın stabil olduğu gözlenen bir durumda sıcaklık önemli değişikliklere uğrarsa, belirli bir sabit sıcaklıkta uyum başarısı yüksek olan, örneğin diyelim ki 25^{0}C'de yumurtaları daha hızlı açılabilen bireylerin frekansları sıcaklık değerleri dalgalanmaya başladığında, dalgalanacaktır. Geçen kuşaklar boyunca, yine yumurta açılma hızı ile sıcaklık arasındaki ilişkiye bakacak olursak, farklı açılma hızları farklı sıcaklık değerlerinin hakim olduğu kuşaklarda ortaya çıkacağından; belirli bir yumurta açılma hızının geçen uzun kuşaklar (zaman) boyunca popülasyona egemen olduğu, dereceli bir yaygınlık kazanımından söz etmek olanaksızdır. Bu nedenle doğal seçilim,

belirgin bir çevresel koşulun devam ettiği lokal optimumlar süresince deterministik bir istatistiksel artış ya da azalışı ifade etmesine karşın, çok uzun vadede –çevresel değişim söz konusu olacağı için- yönü kolay kestirilemeyen bir değişimi ifade eder. Uzun evrimsel değişim dönemleri boyunca, canlı yaşamına baktığımızda, evrimleşmenin yönünün kestirilememesinin, dolayısıyla evrimcilerin evrimi "ilerlemeci" bir yaklaşımla ele almamasının önemli nedenlerinden biri de budur.

Bunun çok çarpıcı bir örneği var. Darwin'in ispinozları gaga biçimleri açısından çeşitli, örneğin adaya özgü belli gaga biçimlerine sahip ve farklı türler olarak adlandırılır. Peter ve Rosemary Grant 1970'ten beri ispinozların evrimsel biyolojisi ve ekolojisi üzerinde çalışıyorlar. 1970'ten 2004'e kadar olan 35 yıllık sürece 5'er yıllık süreçler halinde baktığınız zaman belli popülasyona hakim olan gaga biçimlerinin ve frekanslarının dalgalandığını görüyorsunuz. Kısa dönemler için belli bir formun frekansında artış ya da azalış varken, bütün uzun döneme baktığınızda aslında kestiremiyorsunuz. Gaga biçiminin geçen zaman içinde farklı form yönlerine belirli bir örüntü vermeksizin dalgalandığı 35 yıl içerisinde gidip gelen kuraklık dönemleri var. Her çevre koşulu değiştiğinde çevre koşuluyla en iyi etkileşime geçmiş dolayısıyla uyum sağlayabilmiş bireyler hayatta kalıyor ve onların oluşturacakları yavrular gelecek kuşağa aktarıldığı için onlar dominant faktör haline geliyor popülasyonda. Ama o koşul değiştiği zaman, örneğin kuraklığın arkasından bir bolluk dönemi oluştuğunda frekansların pek de değişmediğini veya azaldığını görüyorsunuz. Dolayısıyla doğal seçilim, tamamen ilerlemeci, progresif, mutlak olarak belli bir formun zaman ve çevre koşullarından bağımsız olarak dominant olmasına sebep olan bir süreç olarak tanımlanamaz. Çok uzun vadede belli bir formun yönünü belirleyemeyeceğimiz için doğal seçilim de rastlantısal bir bileşen içermektedir. Aslında Jack Monod'un 40 yıl kadar önce yazdığı kitabın başlığını –ifade ettiği içeriğin belirli bir ilgisiyle– kullanacak olursak, evrimleşme maddi koşullara ilişkin olmanın ortaya koyduğu bir

rastlantı ve zorunluluğun sonucu olmaktan öte değildir.

Dolayısıyla, yaratılışçıların anladığı biçimiyle rastlantısallık, "pat diye" oluvermedir ve bunun evrimsel biyologların kullandığı terim olan rastlantısallıkla uzaktan yakından ilgisi yoktur. Evrimleşme zaten daha önceki bir yapının değişimi üzerinden yeni özelliklerin ortaya çıkması şeklinde gerçekleşir. Hiçbir zaman, hiç olmayan bir maddi koşuldan "hop diye" ortaya çıkmaz. Tamamen tesadüfe dayanan, nedensellikten bağımsız olan akli çerçeve Yaratılışın çerçevesidir. Başı yok, sonu yok, "hop diye" oldu, dayandığı maddi bir çerçeve yok. O zaman Yaratılışçıların evrime yapıştırmaya çalıştıkları yafta tam da kendilerini tanımlamaktadır aslında, yani "öncesiz ve sonrasız ortaya çıkış-meydana gelme" ve daha önceki maddi koşullardan ilişkisiz bir şekilde oluşma, salt tesadüf... Her bir evrimsel değişim hiçbir zaman diğer yapılardan ve diğer evrimsel süreçlerden bağımsız değildir, hep önceki yapılar üzerine kurulur. "Salt rastlantı" yaratılışçıların temel düşüncesidir.

5. Canlı türleri ve canlı organları mükemmel midir? Örneğin ilk hücrenin, insanın veya gözün mükemmelliğinden söz edebilir miyiz?

Böyle bir şey söyleyemeyiz. Örnek vermek gerekirse, kristalin proteini göz merceğinin çok temel bir bileşenidir. Kristalin proteinini kodlayan genlere baktığınızda, bu genlerin aslında geçmişte değişik değişik organizma gruplarında yer alan ve kristalin proteiniyle alakası olmayan ama genetik olarak bazı genlerin kesilip biçilmesiyle, bazı genlerdeki değişimin daha büyük olmasıyla ortaya çıkmış kombine bir gen olduğunu görürüz. Yani kristalin proteininin ortaya çıkışı mükemmel bir göz yaratmak için bir akıllı tasarımla o merceğin yapılması değil, dolayısıyla o merceğin aslında ortak köken ilişkisi çerçevesinde daha önce var olan genetik üzerinden yaratılmasına dayanır. Ayrıca, son yıllarda işlevi net biçimde ortaya konan

homeotik bir gen olan *Pax6* geninin, birbirinden son derece farklı göz biçimlerini-farklı zamansal ve lokal ifadelere göre-birbirinden son derece farklı gözüken canlılarda oluşturan süreci kontrol ettiği saptanmıştır. Dolayısıyla, ışığa duyarlı basit hücreden kamera tipi "karmaşık" göze dek tüm morfolojik ve anatomik göz çeşitliliğinin temelinde, hepsinde ortak olan *Pax6* geninin ifade değişkenliği yatmaktadır. Mükemmelik vb. nitelemeler sınanabilir hipotezler oluşturmaya yarayan ve olgusal karşılıkları bilimsel yöntemlerle saptanabilecek olan kavramlar değildirler. İnsanın maddi olguları kendi kültürel ve ahlaki normları üzerinden tanımlama gayretinin avamlaşmış, karikatürize halleridirler.

6. Bazı Yaratılışçılar "tür içi değişim olabilir, ama bir tür başka bir türe dönüşmez" diyorlar. Türleşme nasıl oluyor? Bunun mekanizmaları nelerdir?

Son derece saçma bir iddia. Tür içi varyasyon varsa, neden bunun türler arasındaki varyasyon şeklinde iki türün farklılığını yaratacak olan, türleşmeyi sağlayacak olan bir varyasyon biçimi olduğu düşünülemesin? Eğer bir şey kendi içinde değişiyorsa o değişim profillerinden bir tanesinin, örneğin o türe ait bir popülasyonun neden başka bir türe dönüşebileceği düşünülmüyor? Çünkü türleşme olursa ne olacak? Mutlak ve birbirinden bağımsız olarak yaratılan kategorik ideaların, tiplerin değil türler arasında geçiş ima edileceği için Yaratılışçılar kendi temel tezleriyle çelişmiş olacak. O yüzden bilimselmiş gibi sunmaya çalışıyorlar iddialarını.

Evrimsel biyoloji, tür içi genetik varyasyonun türler arası genetik varyasyona dönüşmesiyle türleşmenin olacağını bize söylemektedir. Türler, davranışsal, ekolojik ihtiyaç durumları, biyocoğrafi dağılım, genetik kompozisyon açısından birbirinden farklılaşmış popülasyonların oluşturduğu birliklerdir. Bir türün popülasyonları içinde ve arasında sayılan bu durumlar açısından farklar vardır. Bu farkların büyüklüğü popülasyonlar

arasında daha yüksektir. Bununla birlikte, bir türün hem bir popülasyonundaki bireyler arasında üreme engelsiz gerçekleşir hem de popülasyonları arasında üreme büyük oranda engelsiz, yüksek verimle gerçekleşir. Ne zaman ki bir popülasyon diğer popülasyonlardan yukarıda belirtilen ve birbirlerine bağımlı olan etkenler açısından üreme yalıtımı (kendi aralarında üreyememe) bakımından ileri derecede farklılaşır, o zaman bu popülasyonun yeni bir tür haline geldiği görülebilir. Doğada bu durumun gözlenen sayısız örneği vardır. Laboratuvarda da türleşmenin gerçekleştirildiği çok sayıda deney bulunmaktadır.

Bir popülasyon düşünün; birbirinden farklı genetik yapılara sahip türün popülasyonlarını düşünün; eğer coğrafi bir izolasyon araya girerse, aralarındaki gen akışı yani bir bireyin diğeriyle karışması engellenirse, bunlar gittiği bölgedeki şartlarla interaktif bir ilişkiye geçerek adaptasyon sağlayacaklardır. Bu, ciddi anlamda farklı genetik profillerin oluşması anlamına gelir ki, bütünsel olarak organizmayı değiştiren bir süreç olduğu için, türleşme açısından önemi olan genlerin de ciddi olarak farklılaşmasını sağladığı için, popülasyonları farklı türler haline getirecektir. *Drosophila* türleri kullanılarak, laboratuvarda farklı çevresel koşullar yaratıp gen akışını keserek kısa bir sürede ciddi anlamda birbirlerinden farklı türler oluşturulmaktadır. Türleşmeyi bu şekilde farklı genetik varyasyona sahip bireylerin izolasyonu ve bu izolasyonun kontrollü bir şekilde devam ettirilmesiyle sağlayabiliyoruz.

Zaten yaratılışçılar, tür içi varyasyon var ama türleşme yok demekle anormal bir mantık hatası yapmaktadırlar. Tür içi varyasyon varsa, bu mutlaka farklı türler şeklinde -popülasyonları oluşturan bireyler farklı coğrafyalar şeklinde dağıldığı ya da aynı coğrafyada olsalar da farklı seçilim geçirdiklerinden- yeni formlar ortaya çıkarabilecektir ve bunun böyle olduğunu hem doğadan hem de laboratuvar çalışmalarından biliyoruz. Bugün örneğin bir iki gen üzerinde yapılan değişiklerle açıklanabilen türleşme modelleri vardır. Çok sayıda genin interaktif kombi-

nasyonlar halinde etkileşmesiyle ortaya çıkan türleşmeleri ele alan modeller ve bunları gösteren olgular vardır. Türleşme mekanizmalarını bilmesek dahi, iki tür arasında genetik olarak veya başka biyolojik ölçeklerden baktığımızda bir yakınlık-uzaklık ilişkisi kurulabildiğinden türlerin birbiriyle ilişkili olduklarını, bir şekilde birinin diğerinden köken aldığını söyleyebilirdik.

Türleşme genetiği denen bir alan var. Bu alanda yapılan bütün çalışmalar, içeriği ne olursa olsun, bu işin genetik temelinin olduğunu gösteriyor. Genetik temel ne kadar karmaşık olursa olsun, ya da bazı türler ve bazı türleşme durumları için yalın açıklamalar yapılıyor bazıları için yapılamıyor olsun, genetik varyasyon profillerini kullanarak türleşme mekanizmaları öngörülmekte ve laboratuvarda dahi türleşme gerçekleştirilmektedir. İlke olarak, bir tane bile türü laboratuvarda oluşturuyor ya da oluşma aşamasında gösteriyorsanız "doğada türleşme yoktur" demenin çanına ot tıkamış oluyorsunuz. Bu, türleşmeye ilişkin kuramsal yapıdan da bihaber olarak rasgele ortaya atılmış bir laf.

7. Mutasyonlar hep zararlı mıdır?

Genomda herhangi bir yerde meydana gelen, ister tek bir nükleotit değişikliğini ifade etsin, ister çok sayıda nükleotit yer değişmesini veya kopmasını ifade etsin, bir değişim olarak algılamak gerekiyor mutasyonu. Mutasyonu genik düzeyde, yani farklı alternatif genetik varyantları verebilecek olan bir olay şeklinde tanımlayabiliriz. Kromozom düzeyinde ise, örneğin kromozom sayılarının değişimini farklı türlerde, sahip olduğu kromozom takımlarının sayısının değişimi olarak tanımlayabiliriz mutasyonları. Yani temelde aslında genetik değişim anlamına gelir mutasyon, genlerdeki veya genetik sistemlerdeki değişim veya alternatif durumların ortaya çıkması anlamına gelir.

Bir mutasyonu, mutasyonun oluştuğu bölge açısından tanımlarken ve buradan işlevsel bir sonuç çıkarırken, o bölgedeki

dönüştürücü bir durum olarak açıklarken çok dikkat etmemiz gerekir. Bir mutasyon genin protein kodlayan bölgesi içerisinde, zaten evrimsel olarak korunmuşluk içeren bir bölgesinde meydana gelirse genellikle o mutasyonun doğal seçilimle eleneceğini biz biliriz. Ama eğer bir mutasyon görece daha nötr bir bölgede meydana gelirse, yani işlev değiştirmeyecek bir bölgede meydana gelirse -ki böylesi mutasyonlar çok vardır- herhangi bir şekilde doğal seçilimin elimine edici etkisine maruz kalmaksızın orada bulunurlar ya da elenmeleri oldukça uzun zaman alır.

Özellikle intergenik bölgelerde, genin, şöyle söyleyelim, birincil olarak ürününün, örneğin primer proteinlerin primer aminoasit dizisinin yerini veya sırasını değiştirmeyecek olan kısımlarında meydana gelen mutasyonlar daha tolere edilebilir mutasyonlardır, değişimlerdir. Bununla birlikte genomun pek çok bölgesinde meydana gelen bir mutasyon, örneğin bir aminoasitin işlevsel açıdan aynısını verecek ama dizi açısından farklı olan bir kodon yaratabilir. Dolayısıyla protein düzeyinde değişim meydana getirmeyen ancak DNA düzeyinde değişim anlamına gelen, bir türün doğal genetik varyasyonunun önemli bir bölümünü ifade eden binlerce mutasyon söz konusudur.

Ayrıca hiç kodlamayan bölgelerdeki mutasyonlar vardır; onlar daha da tolere edilebilir mutasyonlardır. Bu bölgelerdeki mutasyonlar, bununla birlikte, evrimleştirici etki yaratan değişimlere de hiç de az olmayan bir biçimde yol açarlar. Örneğin insan ve şempanze arasındaki toplam genetik yakınlık istatistiksel bir ortalama olarak yüzde 96 civarındadır. Ancak insan ve şempanze anatomik, morfolojik ve bilişsel açıdan neden bu denli farklıdır? Yanıt, genlerin düzenleyici bölgelerindeki çarpıcı gen ifadesi farkı yaratan mutasyonlarda yatmaktadır. İfade düzenleyici bölgeler olarak adlandırılan DNA bölgeleri açısından insan ve şempanze karşılaştırıldığında, aralarındaki benzerlik oranı hayli düşmektedir. Ancak düzenleyici bölgeler açısından yapılan ortak köken ağaçlarında, insan ve şempanze

tüm primatlar ve diğer canlılar arasında birbirine en yakın grup olarak yine karşımıza çıkarlar. Düzenleyici bölgelerdeki mutasyonların evrimsel yenilik ortaya koyduğuna ilişkin çok sayıda yayın bulunmaktadır ve canlılar arasındaki vücut planı farklarının dahi ortaklığı derin evrimsel geçmişe dayanan belirli bir gen kümesindeki mutasyonlarla ortaya çıktığı saptanmaktadır.

Mutasyonun genellikle düzen bozucu, patoloji yaratıcı bir olay olarak algılanmasının aslında modern genetikle çok fazla ilişkisi yok. Yaratılışçıların söyledikleri aslında 1900'lü yılların başlarındaki özellikle radyasyonla vesaire ile yapılan deneylerde meyve sineği kullanılarak, *Drosophila* kastediliyor aslında burada ve diğer canlılar kullanılarak ortaya çıkarılan böyle anormal patolojik durumlardır. Ama biz biliyoruz ki doğal süreçlerde oluşan mutasyonların tamamı böyle patolojik durumları ortaya çıkarmaz, aslında biz herhangi bir canlının genomuna baktığımız zaman çok yüksek genetik varyasyon buluruz. Herhangi bir türün bir popülasyonuna baktığımız zaman bile büyük bir genetik varyasyon buluruz. Bu şu anlama gelir: bir türün içindeki bir bireyin DNA dizisini aynı bölgede yaşayan o türe ait diğer bireyin DNA dizisiyle karşılaştırdığımız zaman farklılıklar görürüz; dolayısıyla bunların her biri bir diğerine göre "mutant" bir durumdur aslında. İşte mutasyonu bu şekilde algılamak gerekiyor.

Patolojik bir durum, bir değişiklik, bir canavar yaratma durumu olarak mutasyonun algılandığı dönem çok çok geride kalmıştır artık. Böyle algılamaları yaratılışçıların bilgisizliğini ortaya koyan şeydir. Biz genoma baktığımız zaman inanılmaz yüksek bir genetik varyasyon görüyorsak bu varyasyonu neye göre ölçeriz? O türün bir bireyindeki genomu veya genlerini aynı türe ya da farklı türe ait bireylerle karşılaştırdığımız zaman görmüş oluruz. Yani bir mutasyon olup olmadığını anlamak için ne yapmamız lazım? Bir başka bireyle karşılaştırmamız lazım ki farklılıklar bulalım. Dolayısıyla bütün bireyleri çift çift karşılaştırdığımız zaman belli bir mutasyon profili elde ederiz. Zaten onu genetik çeşitlilik olarak tanımlarız. Bunların kimi

korunan profilleri yansıtmaktalar; kimi genlere ya da genetik bölgelere baktığımız zaman mutasyon hızlarının, mutasyon olma ihtimallerinin çok düşük olduğunu görürüz. Çünkü o bölgeler doğal seçilimle korunmaktadırlar. Niye korunuyorlar? Çünkü oradaki değişimler, işlevsel değişimler hayati sonuçlar doğurabilir. Dolayısıyla zararlı mutasyon bu şekilde oluşur, doğal seçilimle korunmuş olan, yani genetik varyasyonun en az olduğu bölgelerde mutasyon gerçekleştiğinde patolojik bir durum ortaya çıkabilir.

Ayrıca, genik düzeyin dışına çıktığımız zaman karşılaştığımız mutasyonlar da vardır. Örneğin, poliploidi denen olgu bitkilerde çok yaygın görülür ama hayvanlarda da vardır. Görece birbirine yakın olan iki tür düşünün; bazen iki türün bireyleri hibrit meydana getiriyor, bitkiler dünyasında çok sıktır bu, melezler meydana geliyor ve o melezlerin yavruları kısır. Neden? Kromozom takım sayıları iki katına çıktığı için. Fakat o kısır bireyler içerisinde biz görüyoruz ki, belli bir sıklıkla, o iki kat kromozomun –mayoz denen bir süreç var ya, eşeysel hücrelerin yaratıldığı– gametlere uygun dağılabildiği bir durum ortaya çıkıyor. Dolayısıyla zaten o poliploidilerin ikinci kuşaktaki farklı gametlere dağılan ama artık birbiriyle eşleşebilen kromozomları söz konusu olduğu zaman, onun yavrularına baktığımız zaman, ortaya çıkan şey farklı bir tür olmuş oluyor. Bitkiler dünyasındaki türleşmenin çok büyük bir bölümü poliploidi ile yani kromozom mutasyonlarıyla meydana gelir. Dolayısıyla mutasyon aslında, poliploidi açısından baktığımız zaman, doğrudan tür yaratıcı etkisi de olan da bir şeydir, çok kısa süre içerisinde. Örneğin, bildiğimiz ekmeklik buğday, aslında iki yabani türün birleşmesiyle ortaya çıkan bir buğday türüdür. Ama ikisi de farklı kromozom mutasyonlarının bir araya gelmesiyle veya sayısının artışıyla oluşmuştur.

Yeniden genden söz edecek olursak, genin işlevsel olmayan sınırlarını çizmek de çok zordur. Geni bir bilgisayar, tekil bir şey olarak algılamak yanlıştır. Bir canlı özelliğini, bir çipin kar-

şılık geldiği fenotipik durum olarak algılamak yanlış. Genin sınırları çok kolay olarak çizilemez. Protein kodlarını biliriz ama, o genden sentezlenecek olan proteinlerin miktarını, sentez hızını ve gelişim genetiği açısından da ekspresyon ve ifade zamanlamasını etkileyen bir sürü mutasyon vardır. Bunların kimi doku farklılaşmasını yaratan evrimsel süreçler açısından önemlidir, kimi ise bir bireyin gelişimi sırasındaki fizyolojik işlevlerin farklılığını, dolayısıyla gelişim farklılıklarını doğurur; ama bunlar patolojik değildir süreçler açısından. Mutasyon meydana gelir, zararlı olan kısımları vardır; ama onun türünü çok iyi bilmek lazım. Özellikle gendeki işlevsel bölgelere, iyi korunan bölgelere denk geldiğinde, bunlara patolojik olarak bakabiliriz.

Bir de tabii başka bir bağlam var. Artık geni birden çok işlevi etkileyen bir birim olarak tanımlıyoruz. Son çalışmalar bunu gösteriyor, buna pleiotropi adını veriyoruz. Genin bir yerinde meydana gelen bir mutasyon genin ikincil veya üçüncül işlevlerini etkilememişse, nötr veya sessiz mutasyon olarak adlandırılabilir. Dolayısıyla modern genetiğin çerçevesinden bakarsak, mutasyon patolojik durum yaratan bir olay değil, tam tersine hem genetik çeşitliliği tetikleyen hem de bu çeşitliliği artırıcı bir neden olmasıyla da bunun üzerinden doğal seçilimin, genetik sürüklenmenin işlemesiyle, evrimleşmeyi gerçekleştiren bir şeydir temelde. Çok klasik bir laftır ama söylemek istiyorum, mutasyonlar doğal seçilimin, evrimin hammaddesidir.

8. Çeşitli canlı türlerinin genomlarının deşifre edilmesinin Evrim kuramına katkıları neler oldu?

Örneğin, insan genom projesiyle şempanze genom projesinden yola çıkarak hem ortaklığın ne kadar olduğunu rafine ettik, yüzde 96'ya çektik, hem de ortak atadan çıktıktan sonra, hem şempanzede hem de insanda bulunan 80-90 tane genin insandaki hızlandırılmış doğal seçilimle farklılaşmasıyla, insanın anatomik olarak ciddi bir şekilde şempanzeye giden hattan ay-

rıldığını keşfettik. Genom projelerini kullanarak bütün canlılar arasındaki geçişleri, fonksiyonel ilişkileri, genom ölçeğinde görmeye başladık. Dolayısıyla evrimsel genomiks diye bir alan var. Adaptasyon örneğin şimdi genomik düzeyde araştırılıyor. Yine, bu bağlamda, türleşme genomiğinden söz edebiliyoruz.

9. Kambriyen patlamasında çok hücreli canlıların birdenbire ortaya çıktığı iddia ediliyor. Böyle bir durum söz konusu mu?

Kambriyen patlaması denilen şey 540 milyon yıl önceki ve yaklaşık olarak 15 milyon yıl devam etmiş -ilgili 15 milyon yıllık fosil kaydında yoğun olarak gördüğümüz- bir olaya işaret eder. Bir kere o döneme baktığımız zaman çok düzgün fosiller görmeyiz; sadece sıkıştırılmış, ezilmiş, ama formlarını da iyi bir şekilde korumuş, yani ana hatlarını, çizgilerini korumuş fosiller görürüz. Bunlar birkaç milyon yıl öncesine ait olan fosillerde gördüğümüz korunmuşluğu veya netliği sağlamazlar. Çünkü çok eski bir döneme aittirler. Yine de çok rahatlıkla ana hatlarını ve çok temel organ yapılarının izlerini görebileceğimiz bir fosil durumu sergilerler.

Patlama denmesinin nedeni, çok sayıda daha önceki fosil kaydında bulunmayan çeşitlilikteki hayvan gruplarının ortaya çıkmasındandır. Kritik nokta burasıdır, daha önceki fosil kayıtlarında bulunmayan çeşitliliğe sahip hayvan gruplarının temsil edilmesi. Dolayısıyla bu patlama da, bir anda oluşmayı ifade eden bir şey değildir. Temel tür ve tür üstü taksonlar açısından gördüğümüz büyük bir çeşitlenmeyi bize işaret eder bu 15 milyon yıllık dönem. Daha önceki döneme göre çok net bir çeşitlenme farkı olduğunu bize gösterir. İlk önceleri, bildiğimiz bütün canlıların, hayvanların vs. genel vücut yapıları bu 15 milyon yıllık süreç içerisinde evrimleşti deniliyordu. Çünkü daha önceki dönemin fosil kaydına baktığınız zaman vücut yapısı açısından birbirinden bu kadar farklı organizmalar yoktu. Bugün böcekler, böcek olmayan gruplar, omurgalılar vb. diye

ayırıyorsak canlıları, bu ayırmanın temelini söz konusu 15 milyon yıllık süreç içerisinde görüyoruz. Daha öncesinde bu kadar net bir ayrım yok. Bu yüzden de kambriyen patlaması olarak adlandırıldı ve üzerindeki vurgu biraz da fazlaydı doğrusu.

Fakat 1990'ların ortalarında çok sayıda canlıyı, hayvanı kullanarak yapılan bir çalışma –moleküler saat denilen, DNA'daki evrimleşme hızlarının belirgin bir durumunu kullanarak geriye doğru tahminlerin yapılabildiği bir çalışma– bu temel vücut yapılarının 540 milyon yıl öncesinden çok daha önceye, belki 1,5 milyar yıl önceye kadar dayandığını gösteriyor. Şunu biliyoruz ki, kambriyen öncesinde, pre-kambriyen dediğimiz bir dönemde –bu dönem 600 milyon yıl öncesine kadar tarihlendirilebilir– yine fosiller var. Ediakaran fosiller adı veriliyor onlara; Avustralya'da ilk kez bulgulandığı yere atfen. Bu fosillerin çoğu, çok düz, genellikle deniz tabanında sabit denizel ve egemen formlardır. Ancak o dönemden sonra, böyle tek düze vücut yapılarından çok farklı bir çeşitlenme olduğunu görüyoruz. Buradan şu sonuç ortaya çıkıyor: bu temel formlar kambriyende ortaya çıkmış gözüken temel formların ilkin halleridir. Demek ki Kambriyen patlamasından önce de canlılık var. Ancak bunların belirli bir dönem yaşayıp ortadan kalktıklarını görüyoruz. Kısacası "Kambriyen patlaması", takson rekabetinin kitlesel yok oluşla ortadan kalkmasının ve düzenleyici genetik bölgelerdeki mutasyonla oluşan net değişimlerin ifade ettiği 15 milyon yıllık yoğun bir çeşitlenme sürecidir.

Ayrıca, bugünkü canlılarla yapılan çalışmalar farklı vücut planlarını belirginleştirecek düzenleyici genetik bölge değişikliklerinin de çok derin geçmişte söz konusu olduğunu göstermekte.

10. Darwin geçiş formları konusunda ne söylüyordu? Geçiş form fosili bulmuş muydu?

Darwin var olan canlılar üzerinden ilişkileri kurar, çok iyi bir şekilde kurar, ama geçmişteki dönüşümler açısından bunları

ilişkilendirmek için fosil gerektiğini ama bunların henüz bulunamadığını söyler, 1859 senesinde. Darwin'in gözlemleri 1832-1836 arasındaki dönemdedir. Dolayısıyla daha paleontoloji emekleme seviyesinde. Burada çok kritik bir şey vardır: Darwin benzerlik ilişkilerini kurarken bugünkü canlıları kullanıyor ama geçmişe ilişkin de bir sorusu var. Değişimi, evrimi geçmişten bu yana gelen bir olgu olarak kabul ettiği için, şu an bulunamıyor diyor. Yakınlıkları, dönemindeki organizmalar üzerinden zaten kurmuş durumda. Ama geçmişe ilişkin bir şeyler söylemek için fosil gerektiği için henüz bulunamadığından söz ediyor. Bir kere böyle bir teknik sınırlılık olduğunu bilmek gerek.

İkincisi ara fosil denilen şey, yaratılışçıların iddia ettiği gibi, yarısı bir canlı yarısı başka bir canlı değildir; çünkü böyle bir durum bütün fizyoloji, anatomi, gelişim biyolojisi kurallarına aykırı bir şeydir. Böyle şeyler ya mitolojide ya da sirklerde olur. Yaratılışçılar bir kavramı, bir olguyu kendi anlayışlarına göre tarif edip ondan sonra onun varlığını veya yokluğunu araştırmaya kalkıyorlar. "Bana sekiz kafalı kedi getirin" diyor, olmayan bir şeyi nasıl getireceksin? "Sekiz kafalı kediyi bulduğunuz zaman ben 10 trilyon vereceğim" diyor örneğin.

Evrimsel biyolojinin yıllarca süren çalışmalarıyla bulduğu en temel olgulardan biri, organizmanın bir bütün olarak dönüşmediği, parça parça evrimleştiğidir. Yaklaşık 80 yıldır bilinen ve mozaik evrim adı verilen bu olgu evrimi anlamak için çok önemlidir. Nereye bakarsak bakalım organizmaların farklı organlarının veya organ parçalarının farklı evrimleşme hızlarından yola çıkarak bir geçiş formu tanımlayabiliriz. Örneğin memeliyle sürüngen arasındaki ilişkiyi ortaya koyarken baktığımız noktalar şunlardır: Seri homoloji adını verdiğimiz, bütün dişlerin birbirine benzediği bir dizilime sahiptir sürüngenler. Hem etobur hem otobur özelliği gösteren memeli dahil pek çok canlıya baktığınız zaman dişlerin azı, ön azı, arka azı, köpek dişi şeklinde farklılaştığını görürüz. Fosil kaydında, sürüngenlerden memelilere ya da kuşlara ilişkin geçiş formları tanımlar-

ken bu diş yapıları, yani seri homolojinin kaybolma derecesi (bireyselleşme) büyük önem taşır.

Yine aynı şekilde, sürüngenle kuş arasındaki geçiş formunu tanımlarken yarı dinozor yarı kuş şeklinde acayip bir varlık tanımlamayız. Örneğin meşhur *Archeopteryx*, içi boş kemiklerinin ve tüylerinin varlığı ile kuşlara olan yakınlığı temsil eder. Ancak onun kuşlara olan net yakınlığının ölçüsü, sadece kuşlarda bulunan, arka ayak parmaklarının karşı karşıya pozisyonlanabilir olmasıdır. İçi boş kemikler ve tüy, *Microraptor gui* gibi küçük yapılı, tüylü dinozorlardan kalma bir özelliktir. Dolayısıyla, dinozorlardan kuşa giden bir tarihsel kaydı izlediğimizde, bir dinozor taksonundaki diğerlerinden farklı olan içi boş kemik ve tüy evrimleşmesinin, yalnızca kuşlara özgü olan arka ayak parmağı çakışması evriminin milyonlarca yıl sonra ortaya çıkışıyla birleşmesiyle tanımlanan bir geçiş formundan söz edebilmekteyiz.

Dahası, yalnızca fosiller değil, genler de geçiş formu olarak tanımlanabilirler. Bugün biliyoruz ki, genin farklı hızlarda değişen bölgelerinin sonucu olarak farklı işlev gösteren yeni genler ortaya çıkmıştır. Bu şekilde bakıldığı zaman binlerce, yüz binlerce geçiş formu var. Dolayısıyla "transitional form" vardır, ara form diye bir şey olmaz, "intermediate form" denilen şey yarısı ondan yarısı bundan durumunu temsil ettiği için sakat bir kavramdır, bilime ait bir kavram değildir. Yaratılışçılar önce bir mitolojik varlık tanımlıyorlar, sonra bu varlığı niye bulamadınız diye ortaya çıkıyorlar.

Bu yalnızca Darwin sonrası dönemde kullanılan paleontoloji çalışma biçimi değildir. Ondan önceki 200 yıllık, daha ortada ortak köken ilişkisi filan kurulmadan önceki 200 yıllık dönem içerisinde de yine organizmalar arasındaki karşılaştırmalar veya ilişkilendirmeler mozaik değişim anlayışıyla yapılmıştır. Deniliyor ki bir diş parçasından yola çıkarak nasıl çene kemiği yapılıyor? İşte bu yüzden yapılıyor. Çünkü ben bir dişe bakarak, çenedeki veya kafatasındaki belli oluşumlara bakarak ve onun memelilerdeki durumuna bakarak "geçiş formu" tanım-

layabilirim. Bu yüzden çok başarılıdır paleontologlar.

Şu an yaşayan canlılar arasındaki farkları nasıl tanımlıyoruz? Örneğin genetik olarak tanımlarken her şeyden önce birbirinden farklı hızlarda değişmiş olan DNA sekansları çerçevesinde tanımlıyoruz. En yakın ortak ataya sahip olanlar genetik olarak birbirine en yakınken, en uzak ortak ataya sahip olanlar genetik olarak birbirine en uzak olarak ortaya çıkıyor. O yüzden ortak ağaçları oluşturmak istediğimiz zaman genleri kullanıyoruz. Çünkü genler birbirinden farklı hızlarda evrimleşiyorlar; ama aynı genleri kullanırsanız ne yaparsınız? Bir sürü canlıyı, o geni kullanarak ortak atada ifade edebilirsiniz. Örneğin kalbin kaç odacıklı olduğunu araştırıyoruz; ilişkiler kurmak için kalp yapısına bakıyoruz. Kalp yapısı bu anlamda önemli değil mi, neden organizmanın bütünsel yapısı üzerinden dolaşıma ilişkin bir fikir çıkarmıyoruz da kalbi inceleyerek bu fikri edinmeye çalışıyoruz? Çünkü biliyoruz ki, temel morfolojiye göre dolaşım açısından kalp, geri kalan organlara göre farklı hızlarda evrimleşecektir. O yüzden, tabiri caizse, canlıları parçalara ayırarak farklı farklı evrimleşme profilleri çıkarıyoruz. Zaten yaratılışçıların söylediği gibi bir karşılaştırma skalası olsaydı, herhangi bir canlının belli işlevsel açıdan farklılaşmış organlara sahip olması şeklinde bir yapı değil, tıpkı tereyağı gibi veya somun ekmek gibi homojen bir yapıdan meydana gelip, yarısının tereyağı, yarısının kaymak olduğu bir ürün şeklinde canlıyı algılamamız gerekirdi. Öyle bir şey yok ki. Biz heterojen yapıya sahibiz. Çizgi romanlarda o kahramanların midesini, böbreğini veya dalağını merak etmeyiz aslında değil mi? Hiç tuvalete falan gitmezler örneğin. Onlar dışgörünümsel çizimlerdir, hayaldir onlar. Evrim karşıtları da böyle bir hayal üzerinden düşünüyorlar. Yani canlının bir organı yok onlar için, canlı bir heykel, bir mermer. Yarı sürüngen yarı kuş aramaları da bu yüzden. Ama organsal farklılıkları bilseler, yarı sürüngen yarı kuş olamayacağını da bilirler. Transitional form denilen, geçiş durumu denilen şey mutlaka ölçek olarak paleontolojik

olmak zorunda değildir. O zaman ben niye bugün fareyi çalışıyorum insan genetiğini anlamak için? Ortak bir tarafları olduğu için. Aynı şekilde fareyi insan yapmaya çalışmıyorum değil mi? Ne yapıyorum, farenin kan dolaşım sistemine bakıyorum, farenin hemoglobinine bakıyorum, farenin endokrin sistemine bakıyorum; yani parça parça ele alıyorum. Dolayısıyla benim geçişleri, ortaklıkları bulmam için de fosil düzeyinde, böyle parça parça bakmam lazım. Organizmaların en önemli özelliği parçalı olarak ve farklı hızlarda evrimleşmesidir. Bu evrimsel biyolojinin 150 yıldır ortaya koyduğu ve geçmişten beri bilinen bir bilgidir.



Evrimsel Biyoloji Yazıları

Evrimsel Biyoloji Yazıları, içeriğiyle evrimsel biyolojinin bilimsel kapsamını özetleyen bir bütün sunmaktadır. Kitapta sözü edilen konular evrimsel biyolojinin tarihsel gelişiminden, ilgili olduğu teknik ana başlıklara kadar uzandığı için kitap evrimsel biyolojiye bir giriş niteliğindedir.

Kitap, evrimsel biyolojinin tarihinin özetlendiği bir bölümle başlayıp, **Türlerin Kökeni**'nde dile getirilmiş doğal seçilim algısının tarihsel ve modern yüzlerine değinen ve seçilimin bir sonucu olan adaptasyonu seçilmiş açık örneklerle izah eden iki temel bölümle devam ediyor. Ardından canlının embriyonik gelişiminin, ortak köken ve seçilimle türeme bağlamlarından bağımsız olamayacağını, aslında pek çok evrimsel yeniliğin gelişimsel genetik değişimin sonucu olduğunu vurgulayan evrimsel gelişim biyolojisini örneklerle tanıtan bir bölüm geliyor. Bunu, insanlığın ortak köken ilişkisinin çerçevesini çizen Afrika kıtasından çıkış hipotezinin doğal bir sonucu olarak "ırk" kavramının biyolojik geçersizliğini ortaya koyan bölüm izliyor. Irk kavramıyla yapılan insan sınıflandırmasının geçersiz kılınması ve ırkçılığın bu nedenle temelsiz yapısının ortaya konması evrimsel biyolojinin tipik bir başarısı olarak karşımıza çıkıyor. Kitap, temel evrimsel biyolojik yaklaşımlar ile "yaratılışçı savları" karşılaştıran bir bölümle de sona ermektedir.



ISBN 978-9944-795-42-5



BilgeSu