LYNN MARGULIS



ORTAKYAŞAM GEZEGENİ

evrime yeni bir bakış

VARLIK / BİLİM

YAZAR HAKKINDA

Amherst'teki Massachusetts Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi'nin seçkin profesörlerinden Lynn Margulis 1983'ten beri Ulusal Bilim Akademisi üyesidir. Hücre organellerinin bakteriyel kökenlerine ilişkin öncü çalışması ve Gaia kuramının geliştirilmesinde James Lovelock ile oluşturduğu işbirliği, adını geniş ölçekte duyurmasını sağlamıştır. Yayınlanmış kitapları arasında *Symbiosis in Cell Evolution: Five Kingdoms* ve Dorion Sagan'la birlikte hazırladıkları *Origin of Sex*, *Garden of Microbial Delights*, *What Is Life?*, *What Is Sex* ve *Slanted Truths: Essays on Gaia* gibi yapıtları sayılabilir.

Bilim dizisi / "Bilimin Ustaları"
Varlık Yayınları A.Ş., Sayı: 564
İlk basım: 2001

SYMBIOTIC PLANET - A New Look At Evolution
© Brockman, Inc. New York, 1998 / Varlık Yayınları, İstanbul

["Bilimin Ustaları" (Science Masters) başlığı ve amblemi, Brockman, Inc'a aittir ve Türkiye'de kullanım hakkı Varlık Yayınları'na verilmiştir.]

ISBN 975-434-222-9

Kapak düzeni: Ekin Nayır
Ofset hazırlık: Reyhan Koçyiğit
Baskı: Mart Matbaası

VARLIK YAYINLARI A.Ş.
Piyerloti Cad. Ayberk Apt. No. 7-9, Çemberlitaş 34400 İstanbul
Tel: (212) 516 20 04 Faks: (0212) 516 20 05
e-posta: varlik@varlik.com.tr
Internet adresi: www.varlik.com.tr

ORTAKYAŞAM GEZEGENİ

Evrime Yeni Bir Bakış

LYNN MARGULIS

BİLİMİN USTALARI

Türkçesi:
Ela Uluhan

VARLIK / BİLİM

İÇİNDEKİLER

Giriş		*7*
1	*Ortakyaşam Her Yerde*	*12*
2	*Katı Görüşe Karşı*	*20*
3	*Birleşme Yoluyla Bireysellik*	*42*
4	*Asmanın Adı*	*61*
5	*Köpükten Doğan Yaşam*	*81*
6	*Hayvan Cinselliği*	*100*
7	*Karada Yaşam*	*119*
8	*GAİA*	*127*
Ek: Canlı Türleri		*146*
Notlar		*147*

ŞEKİL LİSTESİ

1 Prokaryot-Ökaryot hücre karşılaştırması

2 SET (Sıralı İç Ortakyaşam Kuramı) Soyoluşu

3 Undulipodium'a dönüşen Spiroketler

4 Beş alemli el

5 Bir protoktist: *Mixotricha paradoxa*

6 Geç Proterozoik Zaman'da Ediacara canlı topluluğu

7 Çiftleşen protistler

Şekillerin kaynakları: 1, Christei Lyons; 2, 6
Laszlo Meszoly; 3, 5 Kathryn Delisle; 4, 7 Dorion Sagan

Zaman akıp gidiyor
Şimdi acı çekenlere derim ki sevinçle
Hayatta kalacaklar
Bir güneş var
*Bugün inanmadıkları (1121)**

Bir gün işten döndüğünde on yedi yaşındaki oğlum Zach, "Anne, Gaia düşüncesiyle senin ortakyaşam kuramın arasında nasıl bir ilişki var?" diye sordu. Bir zamanlar ülküleri olan bir siyasiyken, şimdi Boston'daki Eyalet Meclisi'nde bir parlamenterin yardımcısı olarak, düş kırıklıkları içinde çalışan Zach, ortalıkta görünmeyen iki patronundan biri için uğraştığı Yaşlıları Konutlandırma yasası tasarısının hazırlık çalışmalarından yorgun argın eve gelmişti.

"Hiç ilişki yok," dedim önce, "ya da bildiğim kadarıyla yok." O zamandan beri Zach'in sorusunu düşünüyorum. Elinizde tuttuğunuz kitap, bu soruyu yanıtlamaya çalışıyor. Bütün meslek yaşamım boyunca üzerinde çalıştığım belli başlı iki bilimsel düşünce olan sıralı iç ortakyaşam kuramı (SET/serial endosymbiosis theory) ile Gaia ve bunların birbirleriyle ilişkileri, kitabın ana izleğini oluşturuyor.

(*) Bölüm başlarındaki şiirler Emily Dickinson'dan (1830-1886) alıntılanmıştır; şiirler, *The Complete Book of Poems of Emily Dickinson*, (Littel Brown and Company, 1955) kitabının editörü T. H. Johnson tarafından numaralandırılmıştır.

Zach'in ortakyaşam ile Gaia'nın nasıl bağdaştığı sorusuna, çok başarılı eski öğrencilerimden biri olan ve bugün Güney Dartmouth'taki Massachusetts Üniversitesi'nde profesörlük yapan Greg Hinkle, şaka yollu kesin bir yanıt getirmişti. Greg doktorasını tamamlamadan önce, ortakyaşamın farklı türlerdeki organizmaların fiziksel temas halinde birlikte yaşaması olduğunu biliyor ve bunu öğretiyordu. Ortakyaşamdaki taraflar, kelimenin tam anlamıyla birbiriyle, hatta birbirinin içiyle temas halinde, aynı zamanda, aynı yerde barınan dost ortakyaşarlardır. Yunanca Toprak Ana anlamına gelen "Gaia" kavramı, Yeryüzü'nün canlı olduğu düşüncesini savunur. İngiliz kimyacı James E. Lovelock'ın ortaya attığı Gaia hipotezi atmosfer gazlarının, yüzey kayalarının ve suyun farklı özelliklerini, canlı organizmalardaki gelişim, ölüm, metabolizma ve öteki etkinlikleri yönettiğini ileri sürer. Greg'in soruya verdiği nükteli cevap şöyledir: "Gaia, uzaydan görüldüğü şekliyle yalnızca ortakyaşamdır": Bütün organizmalar birbirleriyle temas halindedir; çünkü hepsi de aynı havanın, aynı akan suyun içindedir. Greg'in haklı olduğunu düşündüren nedenleri, izleyen sayfalarda ayrıntılarıyla açıklayacağım.

Bu kitap size yaşama ilişkin tamamen yeni görüşler çerçevesinde ortakyaşamı ve Gaia'yı öğretiyorsa, bunu dört iyi rastlantıya borçluyuz: birincisi Zach'in sorusu; ikincisi Dorian Sagan'ın düşüncelerimin ve yazılarımın niteliğine sağladığı katkılar[1]; üçüncüsü Lois Byrnes'ın bu kitabın taslağını öngörülü ve kılı kırk yaran bir sanatsal beğeniyle sorgulaması, düzenlemesi ve yapılandırması[2]; sonuncusu da Basic Books Yayınevi'nden William Frucht'un, yazarın kendisinden çok metne odaklanması yönündeki yerinde ısrarı. Böylesine bir entelektüel merak içinde haklı eleştirilerde bulunan bir editörle çalışmanın verdiği keyfi hâlâ yaşıyorum.

Bu kitap gezegen üzerindeki yaşamı, gezegenin evrimini ve bizim bunlara karşı değişen bakışımızı anlatıyor. Bir alt-metin

söz konusuysa bu, metin araştırmaları, özellikle bilimsel araştırmalar ve bunları besleyen ya da engelleyen garip hareketler ve gündemle ilgilidir. Bunların birçoğu, bilimsel buluşların, özellikle de kültürümüzün kutsal normlarını rahatsız eden buluşların önünü kesecek şekilde işler. Bizler, bir canlı türü olarak genel eğilime uygun, bildik, rahatlatıcı şeylere sıkıca tutunuruz. Oysa "gelenek", sandığımızdan çok daha derinlere nüfuz eder. Belirli bir felsefeye ya da düşünce tarzına uygun olan bir addan ve onunla ilgili tarihsel bilgilerden yoksun olsak bile, hepimiz kendi güvenli "gerçekliğimizin" içine yerleşiriz. Bakış açımız gördüklerimizi ve neyi, nasıl bildiğimizi biçimlendirir. Olgu ya da gerçek olarak kabul ettiğimiz her fikir, genellikle varlığının farkında olmadığımız bütün bir düşünce tarzıyla kaynaşır. Kültürel kısıtlamalara "öğrenilmiş yeteneksizlikler", "düşünce ortaklıkları", "gerçekliğin toplumsal yapılanmaları" diyebilirsiniz. Bakış açımızı belirleyen baskın sınırlamaları ise istediğiniz gibi adlandırabilirsiniz. Bunlar, bilim insanları da dahil olmak üzere hepimizi etkiler. Bunların hepsi, algılamamıza ket vuran ciddi dilsel, ulusal, bölgesel ve kuşaksal engellerle yüklüdür. Herkeste olduğu gibi, bilim insanlarında da var olan gizli varsayımlar, fark edilmeksizin düşünceyi kısıtlayarak, onların davranışlarını etkiler.

Dile getirilmeyen en yaygın varsayımlarından biri de büyük varlık zinciridir. Bu varsayım, insanların saygın konumunu Tanrı'nın altında ve kayaların üzerinde yer alacak şekilde, varlık zincirinin ortasındaki evrenin tam merkezine yerleştirerek tanımlar. Bu insanmerkezcil fikir, dinsel düşünceye; hatta dini reddederek bilimsel dünya görüşünü benimsediklerini söyleyenlerin düşüncelerine bile hükmeder. Yunanlılara göre varlık zinciri en tepede bütün tanrılardan başlayarak, aşağı doğru erkekleri, kadınları, köleleri, hayvanları ve bitkileri kapsıyordu. En aşağıdaki bağlantısında ise kaya ve minerallerden oluşan bir alt katman vardı. Bu zincirin Musevi-Hıristiyan yorumunda,

hayvanların üzerinde bulunan insanlar, küçük bir değişiklikle meleklerin biraz altına yerleşti. Burada Tanrı[3], tartışmasız ve kesin olarak İnsan'ın yerine geçmişti.

Bilimsel dünya görüşü, bu fikirleri geçerliliği kalmamış saçmalıklar olarak reddeder. Günümüzde yaşayan tüm canlılar eşit biçimde evrilmiştir. Hepsi de üç milyar yıl boyunca ortak bakteriyel atalarından evrilerek varlığını sürdürmüştür. Daha "üst düzey" varlıklar, daha "alt düzey" hayvanlar, melekler ve tanrılar yoktur. Noel Baba gibi, şeytan da, yararlı bir söylencedir. Daha "üst düzey" canlılar olan primatlar, yani kuyruklu ve kuyruksuz maymunlar bile, taşıdıkları ada karşın (*primat*, Latince "ilk" anlamında, *primus*'tan gelir) daha üst düzey değildirler. *Homo sapiens sapiens* olan bizler ve primat akrabalarımız, o denli özel varlıklar değiliz; daha çok evrim sahnesine yeni çıkmış varlıklarız. İnsanların öteki yaşam biçimlerine olan benzerlikleri, farklılıklarından daha çarpıcıdır. Uçsuz bucaksız jeolojik çağlar boyunca süregelen derin bağlantılarımızın tiksinti değil, hayranlık uyandırması gerekir.

Bir tür olarak bizler, kendimize baktığımızda alışılmamış olandan hâlâ korkuyoruz. Darwin'e karşın ya da belki de Darwin yüzünden, kültür olarak hâlâ evrim bilimini gerçekten anlayabilmiş değiliz. Bilim ve kültür çatıştığında, her zaman kültür kazanır. Evrim bilimi çok daha iyi anlaşılmayı hak ediyor. Evet, insanlar gerçekten de bir evrim geçirdi; ancak yalnızca maymunlardan hatta diğer memeli hayvanlardan türemedi. Bizler, en uzağı ilk bakteriler olan uzun bir atalar soyundan evrildik.

Evrim daha çok bizim "mikrop" deyip geçtiğimiz varlıklarda gerçekleşti. Şu anda bildiğimiz yaşam, tümüyle en küçük yaşam biçimini oluşturan bakterilerden evrildi. Bu gerçeği hoş karşılamak zorunda değiliz. Mikroplar, özellikle de bakteriler düşman olarak tanıtılır ve hastalık tohumları olarak kötülenir. Aslında mikroplar alg, bakteri, maya ve benzerleri, mikroskop

altında tam olarak görülen canlı varlıklardır; bunlar çıplak gözle bakıldığında ancak leke ya da köpük şeklinde görülebilir. Ben, insanların diğer bütün kuyruksuz maymunlar gibi, Tanrı'nın değil, son derece reaktif olan mikroplar arasındaki milyarlarca yıllık etkileşimin eseri olduğunu iddia ediyorum. Bu görüş kimilerini rahatsız edecektir; kimileri içinse reddedilebilir bir bilgi kaynağı olan bilimin ürkütücü haberleri olarak görünecektir. Ben bu görüşü büyüleyici buluyorum, beni daha fazlasını öğrenmeye itiyor.

1. BÖLÜM

ORTAKYAŞAM HER YERDE

Arının biri parıltılı gövdesini
Cesurca bir güle yöneltti –
Onu ışıl ışıl yapan
Birliktelikleriydi (1339)

Farklı türlerin üyelerinin fiziksel temas halinde yaşadıkları bir sistem olan ortakyaşam, esrarengiz bir kavram ve özel bir biyoloji terimi olarak bize çarpıcı geliyor; çünkü ne ölçüde yaygın olduğunun farkında değiliz. Bağırsaklarımızdan kirpiklerimize dek bakteriyel ve hayvansal ortakyaşarlarla donatılmış olmamız bir yana, bahçelerimizde, parklarımızda gözle görülmeyen ama her yeri sarmış ortakyaşarlar vardır. Yonca, burçak gibi yabani otların köklerinde küçük yumrular bulunur. Bunlar, azot bakımından zayıf topraklarda bitkinin sağlıklı yetişmesi için gereken azot tutucu bakterilerdir. Sonra akçaağaç, meşe, ceviz gibi ağaçlara bakın. Bunların köklerine sarılı halde, bizim mantar diye bildiğimiz kökmantarlardan oluşan üç yüz kadar farklı ortakyaşar bulunur. Bağırsağındaki ortakyaşar kurtçukları genellikle fark etmeden yaşayıp giden köpekleri düşünün bir de. Bizler, bir ortakyaşam gezegeni üzerindeki ortakyaşarlarız ve dikkat edecek olursak, ortakyaşamı her yerde görebiliriz. Fi-

ziksel temas, pek çok farklı yaşam türü için tartışılmaz bir koşuldur.

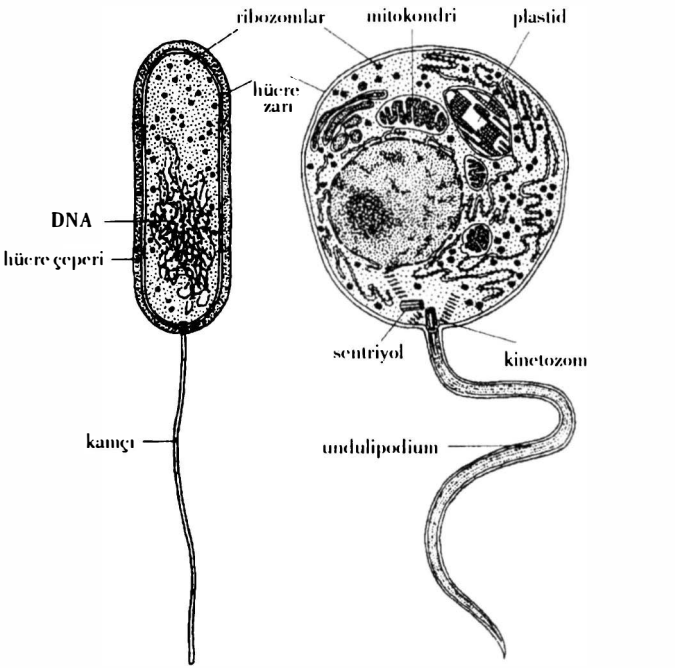
Şu anda üzerinde çalıştığım hemen her şey, adsız bilginler ya da doğabilimciler tarafından öngörülmüştü. Bilim alanındaki en önemli öncüllerimden biri, evrimde ortakyaşamın rolünü tam olarak anlamış ve açıklamıştı. Colorado Üniversitesi'nden anatomici Ivan E. Wallin (1883-1969), yeni türlerin ortakyaşam aracılığıyla doğduğunu ileri süren gayet güzel bir kitap yazmıştı. Evrimle ilgili bir terim olan *sembiyogenez* (ortakyaşam oluşumu), yeni dokuların, organların, organizmaların, hatta türlerin kökenini uzun süreli, kalıcı ortakyaşamın oluşumuyla açıklar. Wallin, *sembiyogenez* sözcüğünü hiç kullanmamış, ancak ana fikrini çok iyi anlamıştı. Özellikle hayvanlarla bakteriler arasındaki ortakyaşam üzerinde durmuş, bu süreci "mikro-ortakyaşam komplekslerinin oluşumu" ya da "ortakyaşarlık" olarak adlandırmıştı. Bu önemlidir. Darwin, başyapıtını *Türlerin Kökeni* diye adlandırdığı halde kitapta yeni türlerin ortaya çıkışına neredeyse hiç değinmemiştir.[1]

Ortakyaşamın, evrimsel yeniliğin ve türlerin kökeninin anlaşılmasında en önemli nokta olduğu konusunda Wallin'e kesinlikle katılıyorum. Aslında ben, ortakyaşamı türlerin kendilerinin istediğine inanıyorum. Bakterilerin türleri yoktur.[2] Bakteriler, bitkilerin ve hayvanların ataları da dahil olmak üzere, daha büyük hücreler oluşturacak şekilde birleşmeden önce tür diye bir şey yoktu. Bu kitapta, çok eskilerden gelen ortakyaşamın önce çekirdekli, karmaşık yapılı hücrelerin, sonra da mantar, bitki, hayvan gibi başka organizmaların evrimine nasıl yol açtığını açıklayacağım.

Hayvan ve bitki hücrelerinin ortakyaşam aracılığıyla türediği, artık herkes tarafından kabul ediliyor. Moleküler biyoloji, hücresel ortakyaşam kuramımın bu yönünü, gen dizilimini de içerecek biçimde doğrulamıştır. Bakterilerin plastid ve mitokondri olarak bitki ve hayvan hücrelerine kalıcı biçimde yer-

leşmesi, artık okul kitaplarına bile girmiş olan sıralı iç ortakyaşam kuramımın bir parçasını oluşturuyor. Ancak evrimde ortakyaşam görüşünün gerçek etkisi henüz ortaya çıkmadı. Yeni türlerin, eski türlerin üyeleri arasındaki ortakyaşamsal kaynaşmalardan doğduğu fikri ise kalburüstü bilimsel çevrelerde daha tartışılmadı bile.

İşte bir örnek. Etkileyici ve cana yakın bir kişiliği olan fosilbilimci Niles Eldredge'a, yeni bir tür oluşumunun belgelendiği herhangi bir örnek bilip bilmediğini sormuştum. Kendisine, vereceği örnek laboratuvara, saha çalışmalarına ya da fosil ka-



ŞEKİL 1.
Prokaryot ve ökaryot hücrelerinin karşılaştırılması

yıtlarıyla ilgili gözlemlere dayalı olursa sevineceğimi söylemiştim. Doğru dürüst tek bir örnek gösterebildi; o da Theodosius Dobzhansky'nin sirke sineği *Drosophila* ile yaptığı deneylerdi. Bu büyüleyici deneyde, gitgide artan sıcaklık derecelerinde üreyen sirke sineği toplulukları, genetik olarak birbirinden ayrılmıştı. İki yıl kadar sonra yüksek sıcaklık altında üretilen sinekler, soğuk yöntemlerle üretilen hemcinsleriyle verimli döl oluşturamaz duruma geldi. Eldredge hemen ekledi: "Ancak bunun parazitlerle ilgili bir durum olduğu ortaya çıktı!" Gerçekten de sonraları, soğukta üreyen sineklerde bulunan bir hücre içi ortakyaşam bakterisinin, sıcakta üreyenlerde bulunmadığı keşfedildi. Eldredge bu durumu türleşmeye dair bir gözlem olarak dikkate almadı; çünkü mikrobik bir ortakyaşam gerektiriyordu! Hepimiz gibi, ona da mikropların hastalık tohumları olduğu, mikrop kaptığımızda yeni bir tür kazanmayıp, hastalandığımız öğretilmişti. Eldredge'e doğal ayıklama yoluyla evrimin, tek bir gendeki mütasyonların çağlar boyunca üst üste birikimiyle gerçekleştiği de öğretilmişti.

Tuhaftır ki, Niles Eldredge, Stephen Jay Gould'la birlikte "kesintili denge" kuramının yaratıcısı olmuştur. Eldredge ve Gould'a göre fosil kayıtları evrimin çoğu zaman durağan olup birdenbire hareketlendiğini göstermektedir: Kısa zaman aralıklarında fosil topluluklarında hızlı değişiklikler olur, sonra uzun süre durağanlık yaşanır. Uzun jeolojik süreler açısından bakıldığında, ortakyaşamlar evrim şimşeğinin çakışı gibidir. Bana göre, evrimsel bir yenilik kaynağı olarak ortakyaşam, fosil kayıtlarında gözlenen "kesintili denge"nin, duraklamaların açıklanmasına yardımcı olur.

Sirke sinekleri dışında, türleri laboratuvar ortamında üretilen yegâne organizmalar, *Amoeba* cinsinin üyeleridir ve burada da ortakyaşam söz konusudur. Ortakyaşam bildiğimiz anlamda olmasa da, bir tür Lamarkçılıktır. Adını, Fransızlara göre ilk evrimci olan Jean Baptiste Lamarck'tan alan Lamarkçılık, "kazanılmış özelliklerin kalıtımı" olarak hafifsenir. Basit

Lamarkçılıkta organizmalar, çevre koşullarının anne-babalarında yarattıkları bireysel özellikleri edinirler; oysa sembiyogenez sonucu organizmalar yalnızca bireysel özellikleri değil, bütün olarak diğer organizmaları ve kuşkusuz bunların bütün gen dizilerini de edinirler. Fransız meslektaşlarımın sık sık belirttiği gibi, ben de sembiyogenezin bir yeni-Lamarkçılık şekli olduğunu söyleyebilirim. Sembiyogenez, kazanılmış gen dizilerinin kalıtımıyla oluşan evrimsel değişimdir.[3]

Canlı varlıklar yalın tanımlamaya meydan okurlar. Savaşırlar, beslenirler, dans ederler, çiftleşirler, ölürler. Bildiğimiz bütün büyük yaşam biçimlerinin yaratıcılığının temelinde yer alan ortakyaşam, yenilik üretir. Her zaman bir nedene dayalı olarak farklı yaşam biçimlerini bir araya getirir. Açlık, genellikle av ile avcıyı, ağız ile fotosentez yapan bakterileri ya da av durumundaki algleri birleştirir. Sembiyogenez de farklı bireyleri daha büyük, daha karmaşık varlıklar yaratmak üzere biraraya getirir. Sembiyogenetik yaşam biçimleri, olası atalardan bile daha farklıdır. "Bireyler" durmadan birleşirler ve üremelerini düzene sokarlar. Çok birimli yeni ortakyaşar bireyler haline gelen yeni topluluklar üretirler. Bu bireyler daha geniş, daha kapsamlı bütünleşme düzeylerinde "yeni bireyler" haline gelirler. Ortakyaşam marjinal ya da ender bir olgu değildir. Doğaldır ve sık rastlanır. Bizler ortakyaşamın hüküm sürdüğü bir dünyada yaşıyoruz.

Fransa'nın kuzeybatı kıyısındaki Brötanya'da ve Manş Denizi'ne bakan kıyılarında, gerçekte deniz yosunu olmayan, tuhaf bir "deniz yosunu" yaşar. Uzaktan bakıldığında, kumlar üzerinde parlak, yeşil bir leke görünümündedir. Bu lekeler sığ sularda parıldayarak, çevrelerine su sıçratırlar. Bu yeşil suyu avcunuza alıp parmaklarınızın arasından kayışına bakarken, içinde yosuna çok benzeyen yapış yapış şeritler bulunduğunu fark edersiniz. Küçük bir büyüteçle ya da basit bir mikroskopla bakıldığında, bu yosun gibi görünen şeylerin aslında yeşil

kurtçuklar olduğu anlaşılır. Güneş banyosu yapan bu yeşil kurtçuk kitleleri, deniz yosunlarından farklı olarak kumların içine gömülüp ortadan kaybolurlar. Bunlar ilk kez 1920'li yıllarda, yazlarını Roscoff'ta geçiren J. Keeble adlı bir İngiliz tarafından tanımlandı. Keeble bu canlılara "bitki-hayvanlar" adını taktı ve şekillerini kusursuz biçimde çizerek *Plant-Animals* (Bitki-Hayvanlar) adlı kitabının başındaki renkli sayfaya koydu. *Convoluta roscoffensis* türüne ait olan yassı kurtçukların hepsi de yeşil renktedir, çünkü dokuları *Platymonas* hücreleriyle kaplıdır; kurtçuklar yarı saydam oldukları için *Platymonas*'ın, yani fotosentez yapan alglerin yeşil rengini ortaya çıkarırlar.

Güzel olmakla birlikte, yeşil alglerin tek özellikleri göze hoş görünmeleri değildir; bunlar kurtçukların gövdeleri içinde yaşar, büyür, ölür ve çoğalırlar. Aslında kurtçukların "yediği" besinleri üretirler. Larvaların yumurtadan çıkmasından sonra kurtçukların ağzı gereksiz ve işlevsiz hale gelir. Güneş ışığı hareketli seralarının içindeki alglere ulaşır ve bu algler, fotosentez ürünlerini dışarı sızdırırken kendilerinin yanı sıra, konaklarının da içeriden beslenmelerini sağlar. Ortakyaşar algler, kurtçuğun ürik asit atığını kendileri için besin maddesine dönüştürerek, ona bir de atık yönetimi yardımında bulunurlar. Algler ve kurtçuk, güneş altında yüzen küçücük bir ekosistem oluştururlar. Aslında bu iki varlık birbiriyle öylesine iç içedir ki, çok güçlü bir mikroskop olmaksızın hayvanın nerede bitip alglerin nerede başladığını söyleyebilmek çok zordur.

Bu tür ortaklıklar çok yaygındır. *Plachobranchus*'un, yani salyangozların gövdelerine yerleşen yeşil ortakyaşarlar öylesine düzgün sıralar halinde büyürler ki sanki oraya dikilmiş izlenimi uyandırırlar. Dev deniz tarakları gövdelerinde bulunan algleri ışığa doğru çevirerek canlı bir bahçe gibi hareket ederler. *Mastigias*, Büyük Okyanus'ta görülen Portekiz savaşçısı tipi bir medüzoiddir. Sayısız küçük yeşil şemsiye gibi, *Mastigias*[1] me-

düzoidlerinin binlercesi suyun ışık alan yüzeyine yakın yerlerde yüzer.

Benzer biçimde, tentaküllü tatlısu hidraları da, fotosentez yapan yeşil renkli ortakların gövdelerinde bulunup bulunmamasına bağlı olarak beyaz ya da yeşil olabilirler. Hidralar hayvan mıdır, bitki midir? Besin üreten ortakları (*Chlorella*) yeşil hidranın içine yerleşmiş olduğunda, bunu yanıtlamak kolay değildir. Yeşil renkli hidralar ortakyaşarlardır. Fotosentez yapabilir, yüzebilir, bir yerden bir yere gidebilir ve hareketsiz kalabilirler. Yaşam oyunundan elenmemelerinin nedeni, birleşme yoluyla birey olabilmeleridir.

Otuz milyon tür içeren biz hayvanlar, mikrokozmostan doğduk. Toprağın ve havanın kaynağı olan mikroplar dünyası, bize kendi varlığımızın sürdüğünü bildirir. Mikrobik oyunların belli başlı temalarından biri de, bir zamanlar bağımsız olan oyuncuların topluluk içindeki etkileşimlerinden doğan bireysellikliktir.

Gezegenimizdeki insan olmayan dostlarımızın günlük yaşam mücadelesini izlemek bana keyif verir. Halen Connecticut Üniversitesi'nde görev yapan eski öğrencim Lorraine Olendzenski'yle birlikte yıllarca, mikrokozmos içindeki yaşamı videoya çektik. Daha yakın bir tarihte Massachusetts, Worcester'daki New England Bilim Merkezi'nin eski yöneticilerinden, yaşam dolu bir kişiliği olan Lois Byrnes'la birlikte çalıştık. Massachusetts Üniversitesi öğrencilerinden oluşan iyi bir grupla birlikte, insanları mikrobik dostlarımızla tanıştıran film ve video çekimleri yaptık.

Durgun su yüzeyinde oluşan, yakından incelendiğinde tane tane yeşil 'jölemsi toplara' benzeyen *Ophrydium*, yakınlarda Massachusetts'te keşfedip tekrar tanımladığımız, gelişen bir bireysellik örneğidir. Çektiğimiz filmler bu su toplarını apaçık biçimde gösteriyor. Daha büyük olan yeşil jöle topu "bireyi", daha küçük, çan şeklindeki, etkin biçimde kasılıp gevşeyebilen

"bireylerden" oluşur. Bu bireyler de birleşiktir; dizi dizi sıralanmış silliler* ve içlerinde yaşayan yeşil *Chlorella*'lardan oluşurlar. Her ters çanın içinde yüzlerce küre biçiminde ortakyaşar vardır; bunlar *Chlorella* hücreleridir. *Chlorella*, bildiğimiz yeşil algdir; *Ophrydium*'dakiler, jöle toplarının oluşturduğu topluluğa hizmet verirler. Bu "türün" her "ayrı organizması" tek bir bireye benzeyen, birey gibi davranan ve birbirine zarla bağlı mikroplar paketi halinde, gerçek anlamıyla bir gruptur.

Kafkas Dağları'nda besleyici bir içecek olarak tüketilen kefir de ortakyaşamsal bir yapıya sahiptir. Kefir, Gürcülerin "Peygamber Darısı" dedikleri kesilmiş süt topaklarını içerir. Kesilmiş süt topağı, sayısı yirmi beşi geçen farklı maya ve bakteri türünden oluşan bütüncül bir pakettir. Her topak milyonlarca bireyden meydana gelir. Bu tür kaynaşmış organizmalardan oluşan etkileşimli kütlelerden kimi zaman yeni varlıklar doğar. "Bağımsız" yaşamın doğal eğilimi hep birlikte kaynaşarak daha yüksek, daha büyük bir örgütlenme düzeyinde yeni bir bütünsellik içinde yeniden ortaya çıkmaktır. Sanırım, bir tür olarak *Homo sapiens*'in yakın geleceği, mikrokozmosta bizden önceki gezegendaşlarımızın kaynaşma ve birleşmelerine yeniden yönelmemizi gerektirecektir. En büyük hayallerimden biri de, ünlü bir yönetmeni, IMAX ya da OMNIMAX teknolojisiyle canlı ilişkilerin oluşumunu ve dağılmasını gösteren mikrokozmik görüntü olarak, evrim tarihini filme çekmesi için ikna etmektir.

Yeryüzü'nün bütün tarihi boyunca olduğu gibi, hem kalıcı hem de geçici ortakyaşamlar bugün de hüküm sürmektedir. Bu tür evrim öykülerinin mutlaka görsel olarak yayınlanması gerekir.

(*) Ciliata sınıfından, üzeri titrek tüylerle örtülü tek hücreli organizma (çn).

2. BÖLÜM

KATI GÖRÜŞE KARŞI

Tepeler yükseltiyor mor başlarını
Irmaklar eğiliyor görmek için
Bu mahşer kalabalığında sadece insan kalmış
Merak duymayan (1688)

On üç yaşındayken yaşadığım duygusal acıdan daha şiddetlisini hatırlamıyorum. Mesleki düş kırıklıkları ya da karşılıksız aşkların hiçbirinde kendimi o kadar kötü hissetmedim. Özgür iradeye sahip bir insan olarak farkına vardığım haklarımı gizlice kullanıp, Chicago Üniversitesi'ne bağlı, erkeklerle arkadaşlık bakımından umut vaat etmeyen sekiz yıllık uygulama okulundan kaçtım ve ait olduğuma inandığım heybetli devlet lisesine döndüm. Her şeyin çok bildik, cebirin ise çok zor olduğu o uygulama okulunda bir gün daha kalamazdım.

O sıralar ailemle birlikte South Shore Drive'daki sevimli dairede yaşıyorduk ve ben evden kaçmanın tek çözüm olduğuna karar vermiştim. Kuşkusuz param ve gidebileceğim bir yer yoktu. Sadece dersler ve görevlerden oluşan ağır bir program vardı. Kaçmanın yarar getirmeyeceği çok açıktı; günler uzadı, hava birden soğudu ve ben bir plan yaptım. Chicago Üniversitesi'nin uygulama okulunda dördüncü sınıfa Eylül döneminde

girdiğimden (ellerindeki tek açık sınıf buydu), bir dönem kaybedeceğimi elbette biliyordum. Devlet okulundaki arkadaşlarım benden yarım yıl ilerideydiler. Sekizinci sınıfın birinci dönemi sona ererken, Kasım ve Aralık aylarında çektiğim sıkıntılar dayanılmaz hale geldiğinde, planımı kesinleştirdim. Karmaşık cebir işlemlerine sonsuza dek veda edip eski okul arkadaşlarımla birlikte olacağım Hyde Park'taki beş bin kişilik liseye dokuzuncu sınıftan kaydolacaktım. Yaptığımız korkunç görüşmede babam böyle bir şeyi kesinlikle yapamayacağımı bildirdi, bunun üzerine planımı artık gizlice yürütmem gerektiğini anladım. Şubat ayının başlarında güneşli bir günde sorumluluk kıskaçlarından kurtulmanın verdiği harika bir duygu içinde okulu kırdım. Bir otobüse binip Altmış Üçüncü caddedeki karmakarışık ve asayişin polis marifetiyle sağlandığı lisenin dev binasına girdim. Bana basit geleceğine inandığım dokuzuncu sınıfa kaydoldum ve kayıt memurlarının sorularına karşılık Chicago Üniversitesi'nin ilköğretim okuluna gittiğimi, ancak güz dönemini kaçırdığımı, sonunda ailemle birlikte buraya geldiğimizi söyledim.

On iki hafta boyunca aldığım bütün derslere devam ettim. En çok, olağanüstü bir öğretmen olan İspanyolcacı Bayan Kniazza'yı sevdim. Ortada annemle babamın uygulama okuluna gitmediğimi düşünmelerine yol açacak bir neden yoktu, benim de onların gözünü açmaya hiç niyetim yoktu. Bahar ayının sonlarına doğru okuldan bir yazı aldım. Hyde Park Lisesi, ilköğretim okulu notlarımı istediğinde, Chicago Üniversitesi uygulama okulunda sekizinci sınıfı bitirmediğimi öğrenmişler ve bu durumda Hyde Park'a devam edemeyeceğime karar vermişlerdi. Beni sorgulamak üzere müdürün odasına çağırdılar. Karşı çıktım. Evet, Chicago Üniversitesi'nde sekizinci sınıfı bitirmemiştim; ancak bunda ne vardı ki? O'Keefe İlkokulu'nun anaokuluna gittiğim günlerden itibaren Şubat (dönemi) girişli olmuştum ve şimdi de artık Hyde Park Lisesi'nde okuyan O'Keefe mezu-

nu arkadaşlarımın yanına dönmüştüm. Eski okul arkadaşlarımın arasına katılarak eski durumuma geri dönüyordum. Okul idaresi ailemin uygulama okulunu bıraktığımdan haberi olmadığını öğrendiğinde kızılca kıyamet koptu; uygulama okulundan ayrılırken, ailemin durumu bilmediğini saklamıştım. Tabii annemle babam eski okulumdan fatura gelmediğini fark etmemişlerdi.

Okulda ve okul dışında gözyaşlarıyla dolu pek çok görüşme yapıldı. Duruma çözüm getiren babam mıydı yoksa ben mi, hatırlamıyorum. Ama sonuçta oturup değerlendirme sistemleri aynı olmayan yabancı okullardan gelen gençlerin ABD ortaokul sistemine nasıl yerleştirildiklerini düşündüğümüzde yanıtı bulduk. Okuldan yabancı lise öğrencilerine tanınan matematik, İngilizce, tarih ve beşeri bilimler sınavlarına alınmamı istedik. Kolayca dokuzuncu sınıfa kabul edildim. Çarpışmayı kazanmıştım. Dokuzuncu sınıfı, daha fazla erkek arkadaş seçeneğinin bulunduğu Hyde Park'ta bitirmeme izin verdiler.

Oysa savaşı kaybettim. Devlet lisesinde iki yıl okuduktan sonra "erken girişli" bir kolej öğrencisi olarak yeniden döndüğüm Chicago Üniversitesi'ndeki danışman öğretmenlerim bana matematik becerimin zayıfladığını, sözcük dağarcığımın daraldığını ve onuncu sınıfın sonunda genel olarak, sekizinci sınıfı yarılamış olduğum zamankinden daha zayıf bir öğrenci olduğumu söylediler. 1954'in ilkbaharında, Koleje (çok küçük yaşta öğrenci kabul etseler de Chicago Üniversitesi'ne Kolej denirdi) devam etmek üzere Hyde Park'ın kent usulü ırk ayrımcılığını ardımda bıraktığımda, iki yıllık bir aradan sonra yeniden iyi öğrenciliğe aday olmuştum. Anne ve babama göre ait olduğum yere döndüğümde, en yakışıklı, en akıllı ve bana en uygun gençle karşılaşmaya hazırdım artık. Ardından Sagan'lı yıllar başladı.

On dört yaşımda Chicago Üniversitesi'nin erken girişli özel öğrenci programına kabul edilmem benim için gerçekten de

bir şanstı. Üç buçuk yıl sonra doğal bilimler diploması ve bir koca da dahil olmak üzere pek çok kazanımla mezun olmama karşın, bunlardan en kalıcı olanı, eksiksiz, incelikle geliştirilmiş eleştirel kuşkuculuk oldu. Chicago Üniversitesi'ndeki öğrenimimi, bana verdiği en büyük ders için sevgiyle anıyorum: insan sahte olanla sahici olanı birbirinden ayırmak için her zaman çaba göstermelidir.

Aynı okulda okuduğumuz geleceğin gökbilimcisi Carl Sagan, benden neredeyse beş sınıf büyüktü. Uzun boylu, yakışıklı, koyu kahverengi gür saçları olan, fazlasıyla konuşkan, daha o zamanlar bile sürekli yeni fikirler üreten biriydi. Bir gün matematik bölümünün binası Eckhart Hall'ün merdivenlerini hızla çıkarken kelimenin tam anlamıyla onunla çarpıştım. O zamanlar on dokuz yaşında olan Sagan, gökbilim kariyerine başlamak üzereydi. Fizik ihtisası yapıyordu, bense hızlı hareket eden, coşkulu, bilgisiz bir kızdım.

Bilim konusunda tam bir cahildim. Carl, özellikle de konuşma yeteneğiyle beni büyülemişti. Şimdiden mesleğinde yükselmiş biri gibi görünüyordu. Daha ilk buluşmamızdan itibaren bana ve kendisini dinleyen herkese zamanın ve uzayın sonsuzluğu konusundaki etkileyici görüşlerini anlattı. Gökbilim kulübünün başkanı, yazıları yayınlanmış bir gazeteci ve konuşmacı olarak çevresindeki herkese, biz zavallı cahillerin de istekle bilimsel çalışmalara katılabileceğimizi gösterdi. Bilim sevgisi bulaşıcıydı.

Ne var ki bizim aşk diyarına yaptığımız tutkulu yolculuk çok hızlı başlayıp çok yıpratıcı şekilde sona erdi. Babam Carl'ın kibirli halinden hiç hoşlanmadı, annem de benmerkezci kişiliğinden hep kuşku duydu. Güneyde Meksika'ya, doğuda ise New Jersey'e uzanan yolculuklar yaptık. Birlikte pek çok yeri dolaştık, birkaç kez bozuştuk. Hatta onunla evlenmemin ne denli akılsızca, beni mahvedecek bir hareket olacağını bir bir anlattığım bir bant kaydı bile yaptım. Gene de 6 Haziran 1957'de, on dokuzumdayken muhteşem bir düğünle evlendik. Bir zara-

fet ustası olan annem tören için her şeyin en iyisini seçti. Carl'ın annesi Rachel Sagan bütün hazırlıklara bizzat katılmasına karşın o gün bana bir telgraf gönderdi. Şöyle diyordu: "Bir hafta içinde kolej diplomasından evlilik cüzdanına". Robert M. Hutchins'ten bana kalan görkemli miras olan ana branşsız, seçmeli derssiz, Chicago Üniversitesi "liberal artı" diplomasını aldığım mezuniyet töreni, düğünümüzden bir hafta önce yapılmıştı. Yüksek öğrenimin özgürleştirilmesine yönelik yenilikler getiren Hutchins (1899-1977), otuz yaşından itibaren yirmi iki yıl boyunca çalıştığı Chicago Üniversitesi'nin başkanlığına dek yükselmişti. Ben okula girdiğimde kendisi ülkenin batısına taşınmış olsa da, eğitimimi onun dehasına ve reform yaptığı öğrenim programına borçluyum.

Biraz da Carl'ın katkısıyla, kalıtım olgusunun üstesinden en sonunda benzersiz bir kimyasal açıklamayla gelineceğine inandığımdan, evrimin nasıl işlediğine dair en iyi ipuçlarını genetik biliminin sağlayacağını düşünüyordum. On dokuz yaşında, bilmeden George Gaylord Simpson'ın yolundan gitmeye başladım[1]. Simpson bir yazısında, evrimin o üzerinde çalıştığı için en önemli konu olmadığını, tersine en önemli konu evrim olduğu için üzerinde çalışma yaptığını söylüyordu.

O yılın Eylül ayında, Sovyet uydusu *Sputnik*'in uzaya fırlatılmasından birkaç gün önce Carl'la birlikte Wisconsin'deki Williams Körfezi'nde bulunan Yerkes Gözlemevi'ne gittim. Chicago Üniversitesi'nin gökbilim (astronomi) bölümü olan Yerkes, göl kıyısındaki büyük kentten 154 kilometre kadar uzaktaydı. Carl orada lisansüstü öğrencisi olarak bulunuyordu ve o sıralarda bir bilim dalı olarak adı bile neredeyse duyulmamış olan gezegenbilim üzerinde çalışan dört kişiden biriydi. Üzerinde yaşam olabilecek gezegenlere yönelik araştırmalarına çoktan başlamıştı.

Ben de bir lisansüstü programına başvurdum. Ana branşı olmayan "liberal artı" diplomamı gerçek bir diploma olarak kabul etmelerinin yarattığı şaşkınlıkla, yaklaşık 145 kilometre

kuzeybatıdaki Wisconsin Üniversitesi Madison kampusunda yüksek lisans öğrenimime başladım. Yıl 1958'di. Hamileydim ve derslerde uyuklayarak hücre biyolojisi ve genetik okudum. Bana en çok gereksinim duyulan yerde, yani Doğal Bilimler Yüksek Okulu'nun hayvanbilim bölümünde öğrenci-asistan olarak çalışmaya başladım. Diğer çalışmalarımı Ziraat Fakültesi'nin genetik bölümünde yürütüyordum. Yüksek lisans öğretmenim James F. Crow'dan genel genetik, daha sonra da popülasyon genetiği derslerini aldım. Crow'un genel genetik dersine hayran kaldım; bu ders yaşamımı değiştirdi. Chicago Üniversitesi'nden çıktığımda genetik okumak istediğimi biliyordum; ama Crow'un derslerinden sonra *yalnızca* genetik okumak istediğimi anladım.

Evrimi, Yeryüzü'nde insanlardan önceki ilk yaşam öyküsünü, yeniden kurgulamanın tek yolunun genetik çalışmaları olduğuna karar verdim. Büyük oğlum Dorion'la birlikte "*Microcosmos*"* adlı kitabımızı yazarken, Dorion'ın isteği üzerine, bir yeraltı geçidindeki eski harita üzerine karalanmış duvar yazısını görmek için Boston MBTA Auditorium-Massachusetts Avenue istasyonuna gidişimizi anımsıyorum. Çok büyük, kalın harflerle şu soru yazılıydı: "Amipler Kaosa Nerden Geldi?" Bu yazıyı görür görmez yüksek sesle bir kahkaha attım; üzerinde durduğum, yaşamım boyunca sorduğum soru, pis bir metro istasyonunun yarı karanlık duvarlarında duruyordu.

Hâlâ bu uzak geçmişin başlangıcını düşünüyorum. Yeryüzünde yaşamın ilk günlerinde neler olmuştu? Aldığım ilk dersten sonra, 'mütasyon yükü', 'uygunluk' ve 'seçme katsayıları' gibi aşırı soyut yeni-Darwinci kavramların üzerinde ısrarla duran popülasyon genetiği alanının, gerçek organizmaların genlerini aktarma ve evrilme kurallarına ilişkin açıklamalardan çok, bir dini öğrettiğini hissettim.

(*) Bkz.: sayfa 148.

Genlerin merkezi, o zamanlar bilindiği kadarıyla, her bitki ya da hayvan hücresinin çekirdeğiydi ve buradan, genellikle değişime uğramaksızın, yavru hücrelere aktarılıyordu. Ayrıntılı problem dizileri ve Crow'un harika konferansları sayesinde, bu genlerin sonraki kuşakların bireysel özelliklerini belirlediğini, hatta denetlediğini kolaylıkla öğrendik.

Yapım gereği hücre çekirdeği üzerinde saplantılı bir biçimde odaklanma eğilimim, artık çekirdek ailede uydu eş olmaktan daha güçlü değildi; dikkatim pek çok kadında olduğu gibi bölünmüş durumdaydı. Dostum Catherine Bateson, çağdaş kadını "çevre vizyoneri" olarak tanımlıyor. Kadın, yaşamak istiyorsa, dikkat bakımından ahtapot gibi olmalıdır. Bateson, kadının bir kolunda bebeğini tutarken, diğeriyle yemeği karıştırdığına, bir yandan da yerde emekleyen çocuğuna göz kulak olduğuna dikkat çekiyor. Siyasal irade ve feminist söylemler bu çok yönlü baskıları o zamanlar yok edemediği gibi şimdi de edemiyor.

Çalışmalarım merkez dışında başladı. Başkalarının üzerinde durmadığı, çekirdeğin dışındaki hücre yapılarının (organeller) içinde yer alan genetik sistemleri inceledim. "Sitoplazma genleri"yle ilgili veriler, onları ilk öğrendiğim andan itibaren beni büyüledi. Sitoplazma, hücrenin sıvı kısmıdır ve içinde mitokondriler, kloroplastlar ve öteki organeller bulunur.[2] Bugün olduğu gibi, o zamanlar da genlerin hücre çekirdeği içinde toplaşmış olduğu düşünülürdü. Sitoplazma genleri çok karmaşık olduğundan, bunların varlığını kanıtlayan deneylerle ilgili açıklamalar genellikle yetersiz kalmıştır. Sitoplazma genlerine ilk dikkat çeken ben değildim. Aslında hücre genetiği ya da o zamanlar dendiği gibi "sitoplazmik kalıtım" üzerinde benden önce ilk çalışmaları yapan birçok kişi bu genleri biliyordu.

Halen Toronto yakınlarındaki York Üniversitesi'nde profesör olan Jan Sapp, *Evolution by Association* (Birliktelik Yoluyla Evrim) adlı kitabında, genetiğin bu alt dalının entelektüel geç-

mişini çok güzel açıklıyor[3]. Sitoplazma genetiği araştırmaları yirminci yüzyılın başlarında, çekirdek genetiği çalışmalarıyla aynı zamanlarda başladı. Her iki araştırma alanı da, Gregor Mendel'in yalnızca çekirdek genlerini saptayan yapıtının yeniden gündeme gelmesiyle ivme kazandı. Bohemyalı bahçıvan rahip Mendel, bahçesindeki bezelyelerin almaşık özelliklerine ilişkin kalıtım kuralları aracılığıyla, "faktörler" dediği genlerin varlığına işaret etmişti. 1860'lı yıllarda yazdığı kitabı, ölümünden çok sonra, 1990'da üç ayrı bilim adamı tarafından yeniden keşfedildi. "Genetiğin babası" olmakla suçlanırken, Mendel basmakalıp sözlerle göklere çıkarıldı. Mendel'in çekirdek faktörlerini (sonradan çekirdek genleri adını aldı) ilk keşfettiklerinde sevinçten havalara uçan genetik araştırmacıları, çekirdek dışı (ya da sitoplazmik) genetik sistemler karşısında şaşkınlığa düştüler. Maya genetiği uzmanı olan ve Fransa'da yaşayan Rus göçmeni Boris Ephrussi, "İki tür genetik sistem var; çekirdek genetiği (nuclear) ve anlaşılmaz genetik (unclear)." demişti. Kuşkusuz "anlaşılmaz genetik"le sitoplazma genetiğini kastetmişti.[4]

Hücrenin mikroskop altındaki görüntüsünün sınırlarında başlayan şey, artık iyice gözler önünde. Ortakyaşamın evrim içindeki önemini gösteren bulgular bizi, evrime hayvanların kanlı mücadelesi olarak bakan çekirdek-merkezci görüşü gözden geçirmeye itti. Doğa, "gözünü kan bürümüş" olsa da, bireysel acılara kimi zaman kayıtsız kalsa da, birbirinden çok farklı yaşam biçimlerinin tedirgin dayanışması olarak başlayan ortakyaşamın, en büyük evrimsel yeniliğin kökenini gösterebileceği gerçeğini örtbas edemez. İnsanın ve öteki hayvanların bilinci ile diğer biyolojik güzellik ve karmaşıklık türleri, birlikte evrildiğimiz bakteriyel atalarımızın özellikleridir. İnsan cinselliğinin herhangi bir özelliğine göre çok daha büyük bir sızma ve özümleme işlemi olan hücresel içyaşam, yemyeşil bitkilerden sıcak, ıslak memeli bedenlere ve Dünya'nın küresel bağlarına

dek her şeyi üretmişti. Otuz yıl sonra ortakyaşam, gen çalışmalarında sitoplazma genetiğini marjinal bir konu olmaktan çıkarıp, merkezi konuma yerleştiriyor.

Başrahip Mendel "faktörler" varsayımını öne sürdü; diğerleri ancak ondan sonra bu faktörlere çekirdek genleri adını verdi. Mendel'in kuramına göre bu faktörler, manastırının mutfağına bakan bahçesinde yetiştirip melezleştirdiği mürdümük bezelyelerinde farklı renkler (sarı, yeşil) ve dokular (buruşuk ya da pürüzsüz) üretti. Mendel'in amacı, büyük olasılıkla, kalıtımın nihai olarak değişmezliğini göstermek ve dolayısıyla, günümüzün oksimoron* "yaratılış bilimcisi"nin saygıdeğer ve gösterişli bir örneği olarak, Charles Darwin'in Adem inancını yok eden, bütün türlerin değişebilirliği kavramına karşı çıkmaktı.

Bahamalar'daki Nassau Adası'ndan adını hatırlayamadığım amatör bir bilim tarihçisinin yayınlanmamış bir metnine göre Mendel, türlerin değiştiğini ve evrildiğini gösteren hiçbir kanıt bulamamıştı. *Kırmızı erkek ve beyaz dişi çiçekler*, pembe döller veren tohumlar üretiyordu. Ancak pembe atalardan üretilen çiçekler büyük ataları gibi ya kırmızı ya da beyaz oluyordu. Kendi amacı ne olursa olsun, Mendel'in faktörleri, değişmeyen karakterlerin kalıtımı ile ilintiliydi. Üstelik bu varsayımsal faktörler, çekirdek zarıyla çevrili olan kırmızıya boyanan kromozomların davranışıyla da yakından bağlantılıydı. Meslektaşım Jan Sapp, Mendel'in yapıtıyla ilgili (tıpkı yıllarını verdiği, hiç gün ışığına çıkmayacak çalışmasının kanıtı olan bir tomar kâğıtla büroma çekinerek gelen o tanımadığım kadınınkilere benzeyen) analizlerini yayınladı.

Hayvan ve bitki hücrelerinin çekirdeğinde yer alan küçücük cisimler olan kromozomlar, dioksiribonükleik asitin (DNA) yapısının 1953'teki keşfinden çok daha önceleri biliniyordu. Bi-

(*) Oksimoron: "Öldüren şefkat" gibi, zıt sözcüklerden anlam üretme şeklinde bir söz sanatı *(çn)*.

limden anlayabilecek yaşa geldiğimde, soyaçekimle ilgili kromozom kuramı çoktan hakikat olarak yüceltilmiş durumdaydı. "Kuram"ın sözcük anlamı unutulmuştu ve bir gerçek olarak öğretiliyordu: Genler "kromozomların üzerinde"ydi. Deliller, bu varsayımsal genlerin, doku hücrelerinin çekirdeklerine yerleşmiş olarak, kromozomların üzerinde bulunduğunu kuşkuya yer bırakmayacak şekilde gösteriyordu. Bu genler Mendel'in kuramsal faktörlerine tam olarak uyuyordu: oyunu kurallara göre oynayıp bitkilerdeki çiçeklerin kırmızı mı, beyaz mı yoksa pembe mi olduğunu, hayvanlarda bunlarla karşılaştırılabilir nitelikteki kalıtımla geçen karakteristikler bulunup bulunmadığını belirlediler. Özellikleri belirleyen genlerin çekirdekteki yerleriyle ilgili deliller, yeni kurulmuş genetik bilgisinin "kalıtımın kromozomlara dayalı temeli" olarak özetlenebilmesine yetecek kadar sağlam bulundu.

50'li yılların sonlarına doğru, yaygın görüşü kabul eden biyologlar ya da o zamanki adlarıyla "biyokimya ve biyofizik hücrebilimcileri" için ayrıntılı "madde temeli"nin, yani Mendel'in faktörlerini oluşturan asıl maddenin araştırılması son derece heyecan verici bir durumdu. Bu kırmızıya boyanan kromozomlar nelerden oluşuyordu? Kalıtımın kimyası neydi? Tıpkı Gotik ya da bilimkurgu romanlarda olduğu gibi, bilimin yaşamın gizi üzerindeki örtüyü kendi başına kaldırmakta olduğu bir sırada, böyle bir araştırmanın uyandırdığı Faustvari heyecan çok da abartılı değildi. Yanlış çıkışlar, ama en sonunda görkemli başarılarla, hücre ile çekirdeğinin iç kısımları daha iyi anlaşıldı. Sürekli etkin olan hücrenin temelinde yatan kimya gün ışığına çıktı. Gıda moleküllerinden protein sentezlendi ve nükleik asit kopyalandı. Bu kimyasal etkinlikler tüm yaşam metabolizmasının temeliydi.

Oysa yumurta, genlerle dolu çekirdekli bir kese değildi. Embriyologların ve bitkibilimcilerin sürekli olarak işaret ettiği gibi, bitkilerin ve hayvanların yumurta hücrelerindeki sitoplaz-

ma genleri ya da sitoplazma faktörleri de, çekirdeğin içinde olmamakla birlikte, bireysel özellikler üzerinde denetim sahibiydi. Çekirdeğin dışındaki faktörlerin, oksijen soluma ve yaprakların renklenmesi olaylarıyla yakından ilişkili oldukları ortaya çıktı.

Başka bir deyişle, genlerin çekirdek içinde bulunması şart değildir. Gerek bitkilerde gerekse hayvanlarda, kimi hücre genetiği faktörleri dağınık halde bulunur. Almanya ve İngiltere'de ilk biyokimyasal çalışmaların yapıldığı 1930'lu yıllardan bu yana, mayada ve öteki mantarlarda mitokondrilerin kendi genlerini içerdiği kesin olarak bulgulanmıştır. Bu küçük organeller havadaki oksijenin besin molekülleriyle tepkimeye girerek kimyasal enerji ürettiği yerlerdir. Yeşil alg ve bitki hücrelerinde çok belirgin yeşil cisimler olan kloroplastlar bulunur; güneş ışığı burada fotosentez aracılığıyla, kullanılabilir kimyasal enerjiye ve besine dönüştürülür. Kloroplastların da kendilerine ait genleri vardır. Bu durum, yüzyılın başında, Mendel'in genlerini birbirinden bağımsız olarak yeniden bulan iki bitkibilimci, H. de Vries ve C. Correns tarafından keşfedilmişti. Ataların yalnızca birinden, genellikle de dişi olandan alınan kloroplastın, yeşilliği belirlediği anlaşılıyordu. Kalıtım modeli çekirdeğe bağlı değildi.

"Kalıtım açısından bakıldığında, bir hücrenin sitoplazması rahatlıkla gözardı edilebilir." Columbia Üniversitesi profesörlerinden, genetik biliminin kurulmasında baş rollerden birini oynayan T. H. Morgan'ın kendinden emin şekilde söylediği bu sözleri 1945'te ilk kez okuduğumda bile, kibirli bir aşırı basitleştirme olarak değerlendirmiştim.[5] İster çekirdeğe, ister sitoplazmaya dayalı olsun, hücre kalıtımı mutlaka hücrenin tamamı, organizmanın tamamı açısından düşünülmelidir.

İlk gençlik çağımda kendimi bilime adamamda Carl önemli bir rol oynamış olsa da, Chicago Üniversitesi'nin "Koleji" herhalde daha büyük bir katkıda bulunmuştu. Bilimsel eğitimim-

de en önemli adımlardan ilki, bir yıllık Doğa Bilimleri 2 dersiydi. Biyoloji sınıfının öğrencileri olarak, ders kitabı yerine büyük bilim adamlarının özgün yapıtlarını okuyorduk: Charles Darwin; Gregor Mendel; ve Alman biyologlardan, yirminci yüzyılın ilk yirmi yılında faaliyet gösteren embriyolog Hans Spemann ile döllenmeyi keşfedenlerden biri olan ve "mikrop plazmasının sürekliliği" önermesinde bulunan August Weismann. Ayrıca İngiliz matematikçi ve genetikçilerden G. S. Hardy, J. B. S. Haldane ve R. A. Fisher de dahil olmak üzere İngilizce yazan yeni-Drawincileri de okuduk. Bunlardan Hardy, Haldane, Fisher ve daha pek çok kişi, yeni-Darwinciliğin yükselmesinde en büyük desteği sağlayan popülasyon genetiğinin matematiksel ilkelerini geliştirmişlerdi. Doğa Bilimleri 2, bizim popülasyon genetiğine, embriyolojiye ve daha pek çok kavrama yönelmemizi sağlamıştı: Kalıtım nedir? Kuşakları birbirine bağlayan nedir? Birleşmiş yumurta ve spermin içindeki maddeler koskoca bir hayvanın gelişimini nasıl sağlar? Doğa Bilimleri 2'de öğretildiği gibi bilim, insan ve evreni konu edinen bir bilgilenme yöntemiydi. Bilim aracılığıyla önemli felsefi sorulara nasıl yanıt bulabileceğimizi öğrendik. Doğa Bilimleri 2 dersinde ilk kez beni derinden etkileyen kalıtım meseleleri, bugün hâlâ benim için bir esin kaynağı.

Chicago Üniversitesi'nde öğretilen, dürüst, açık, ulaşılabilir ve enerjik yöntemler dizisi halindeki üstün bilimin, günümüzün "teknolojiye endeksli" zihniyetinde bulunduğunu söylemek çok güç. Orada bilim, felsefeyle bilimin birleştiği derinlikli soruların üzerine gidilmesini kolaylaştırıyordu: Biz neyiz? İnsanlar ve evren nelerden oluşur? Nereden geldik? Vücudumuz nasıl çalışır? Bilimsel kariyer seçimimi bu "özel durumla ilgili" eğitime borçlu olduğumdan hiç kuşkum yok.

Doğa Bilimleri 2'nin kapsadığı dersleri okurken, büyük biyologların seslerini duyuyordum: Vance Tartar'ın, "dev silli" *Stentor*'u parçalara ayırışı; Thomas Hunt Morgan'ın, çekirde-

ğin üstünlüğünü kanıtlayışı, Hermann J. Muller'in, yaşamı "mütasyon, üreme ve mütasyonun üremesi" şeklinde tanımlayışı; Theodosius Dobzhansky'nin genleri, kromozomları, çevreyi ve evrim tarihini ilişkilendirme arayışı içinde, sirke sineklerini kovalayışı zihnimde yankılanıyordu. A. H. Sturtevant'ın ağzında piposuyla, Columbia Üniversitesi'ndeki sinek odasında farklı sirke sineği türlerinin karakteristiklerini belirleyen faktörlerin kromozomlara dayalı temelini araştırması geliyordu gözümün önüne. Genetik ve evrim, genetikçiler ve evrimciler, hatta aramızdan çok önce ayrılan kişiler, ilk karşılaşmamdan itibaren yapıtlarıyla beni büyülediler. Yirminci yüzyılın ilk yarısında ABD'deki genetikçilerin oluşturduğu ekolün bir ürünü olan tutarlı bilimsel bütünlük, bana biyolojik, özellikle de genetik düşünce tarihiyle ilgili bir kavrayış kazandırdı. Daha en başından, kimyasal açıklamalara gereksinim duyulduğu çok açıktı.

Evrime duyduğum büyüleyici ilgi, Doğa Bilimleri 2 dersinde başladı. Yapıtını ilk okuduğumda hâlâ Columbia Üniversitesi'nde çalışmakta olan Theodosius Dobzhansky şöyle yazıyordu: "Biyolojide her şey, ancak evrim ışığında anlam kazanır."[6] Basit bir biçimde, zaman içinde meydana gelen değişiklik olarak tanımlanan evrim, canlı mirasçıları olduğumuz dolambaçlı tarihi gözümüzün önüne getirir. Evrim çalışmaları evreni, yıldızları, insanlarınki de dahil olmak üzere yaşamı, bedenlerimizi ve teknolojilerimizi kapsayacak denli geniştir. Evrim, aslında *tüm tarihtir.*

Daha öğrenciyken bile, çekirdekteki genlerin bitkilerle hayvanların bütün karakteristiklerini belirledikleri düşüncesinde fazlasıyla aceleci, indirgemeci, sınırlayıcı bir şeyler olduğunu hissetmiştim. Rastgele gen mütasyonları nasıl oluyor da çiçeklerde ve gözlerde evrime yol açıyordu? Kuşkularım ancak, Carl'ın peşinden Wisconsin'e gidip de biyoloji çalışmalarımı Madison'da sürdürmeye başladığımda doğrulandı. Kendilerine özgü kimyayı (metabolizma) incelemek için canlı hücreleri par-

çalara ayırmak yerine, onlara doğrudan bakmayı yeğledim ve kromozomlarla, kalıtımla kazanılmış olan diğer organellerle, yani hücrelerin içindeki gözle görülür cisimlerle uğraşmaya başladım. Bütün zamanımı onların aktarılışıyla ilgili kuralları araştırmaya ayırdım.

1963'te yumurtalardaki sitoplazma faktörleri hakkında yazılan pek çok bilimsel bildiri, çekirdeğin dışında yer alan esrarengiz genler bulunduğunu gösterdi. Beyaz erkek bitkilerle birleştirilen yeşil dişi bitkiler kimi durumlarda yalnızca yeşil renkte döl verir. Ancak aynı türlerde, yeşil erkek bitkiler beyaz dişilerle birleştirildiğinde tohumlardan sadece beyaz yavrular çıkar. Neden? Çekirdek genlerinin kalıtımında erkek ve dişi genlerin katkıları eşittir ve anne-babadan hangisinin ne olduğunun önemi yoktur. Yumurtanın ya da bitki hücresinin, bütün önemli genleriyle birlikte çekirdeği barındıran basit bir kese olmadığını, yapıtlarını okuduğum benden önceki genetikçiler kadar ben de biliyordum. T. H. Morgan'ın sitoplazmanın gözardı edilmesi yolundaki tavsiyesi, o zamanlar bile benim için yalnızca inkâr anlamına geliyordu.

Genetikle kimya arasında kurulacak bağlantı üzerinde durmanın, bilimcilere gereksiz yere çekirdek üzerinde aşırı odaklanan dar bir bakış açısı kazandırdığını fark etmem, benim için atlama tahtası oldu. Ruth Sager ile Francis Ryan'ın, İtalyan araştırmacı Gino Pontecorvo tarafından derlenmiş olan küflerdeki sitoplazma genleri ve garip genetik örnekler hakkındaki yapıtını inceledim.[7] Bu yazarların anlattığı deneyler, iki tür organelin, yani hücrelerin içinde, ama çekirdeğin dışındaki zarla çevrili yapılar olan plastidlerle mitokondrilerin, kalıtımı önemli ölçüde etkilediğini gösterdi. Bu kitaptaki başvuru kaynakları beni E. B. Wilson'ın 1928'de yazdığı başyapıtı *The Cell in Development and Heredity*'ye (Gelişim ve Kalıtımda Hücre) götürdü.[8] Wilson, hücre organellerinin, yani plastidlerle mitokondri-

lerin serbest yaşayan mikroplarla olan benzerliğinden söz eden ilk kitapları gözden geçirmişti.

Bu ipucu sayesinde ortakyaşam literatüründe mikropları araştırmaya yöneldim. Doğadaki ortakyaşama, özellikle de böcekler ya da kurtçuklarla birlikte, kimi zaman da bunların hücrelerinin içinde yaşayan bakterilere çok sık rastlandığını fark edince, Wilson'ın gönderme yaptığı I. E. Wallin, K. S. Merezkovski ve A. S. Famintsyn gibi ilk araştırmacılarla ilgilendim. Bu bilgiler, Khakhina'nın artık İngilizce'ye de çevrilmiş olan enfes kitabında anlatılıyor.[9] Çekirdek dışı hücre bölümlerinin, kendilerine özgü kalıtım özellikleriyle birlikte, bir zamanlar serbest yaşayan bakterilerden arta kalan şekiller olduğunu ileri süren bu yazarların haklı olabileceklerini düşündüm. İç içe hücrelerde ikili bir kalıtım sisteminin bulunması bana çok doğru görünüyordu. Sonraları öğrendim ki bu düşünce, Merezkovski'ye de doğru gelmişti.

1960 yılında Berkeley'deki California Üniversitesi'nin genetik bölümüne yüksek lisans öğrencisi olarak kaydoldum. Yirmi iki yaşında ve dur durak bilmeyen iki oğul annesi olduğum halde, hücre genetiği ve evrim çalışmalarına karşı duyduğum coşku, ev kadınlığıyla yetinmeye yönelik her türlü düşünceye ağır bastı. Zaten kocaları değil, çocukları istemişimdir hep. Kendi anne ve babamın tersine, içki, sigara, poker, briç, toplantılar, politika, dedikodu ve golfü dayanılmaz derecede sıkıcı bulmuşumdur. Ben hep, karşımdakine baygınlık verecek denli kitap düşkünü, ciddi ve çalışkandım; çocuklarla birlikte olmayı, çamurları, ağaçları, fosilleri, yavru köpekleri ve mikropları yetişkinlerin normal yaşamına tercih ediyordum. Hâlâ ediyorum.

Berkeley'de, evrim araştırmalarının yapıldığı paleontoloji bölümünde çalışanlarla, evrimin yalnızca adının geçtiği genetik bölümü çalışanları arasında kesinlikle hiçbir ilişki yoktu. Hücrelerin tarihsel geçmişini aydınlatabilecek olan evrim, paleon-

toloji ve genetiğin tüm yönleriyle ilgili bir eğitim almak istediğimden, oradaki akademik ayrımcılığın keskinliği başlangıçta beni çok şaşırttı. Bölümlerin her biri insanlardan kopuk, kendi konusunun sınırlarını aşmış gibiydi. Üstelik, kampusun doğusundaki Bakteriyel Virüs Laboratuvarı'nda (BVL) çalışan hemen hemen bütün bakteri genetikçileri, meslek yaşamlarına kimyager olarak başlamıştı ve bunların çoğu, bitki ve hayvan hücrelerinin genetiği konusunda birer kara cahildi. Sitoplazma kalıtımı ya da çekirdekli hücrelerdeki organellerden söz edildiğini duymuş olan çok az kişi vardı. Kampusun bu tarafındaki hiçbir bakteri genetikçisi, mikrobiyolog ya da virolog, alglerin sitoplazmalarındaki genetik sistemler hakkında bilgi sahibi değildi. Kimisi de bakterilere öylesine odaklanmıştı ki, çekirdekli hücrelere özgü bir hücre bölünmesi türü olan mitozu pek anlayamıyordu. Hiç kuşkusuz, Mendel'in kalıtım kurallarının temelini oluşturan ve mitozun özel bir türü olan mayozu hiç öğretmemişler, hatta akıllarından bile geçirmemişlerdi. Birçoğu, yalnızca çekirdekli organizmalar için geçerli olan kalıtım konusunda neredeyse hiçbir şey bilmiyordu. Fizik ve kimya okumuş olan bu sonradan olma biyologlar öylesine kibirliydiler ki bilmediklerini bile bilmiyorlardı.

Birçoğu, yüksek lisans öğrencilerine biyoloji konusunda cehalet ve boş kibirden başka şey içermeyen bir kimya karmaşası öğretti. BVL fakültesi ile öğrencilerinin o zamanlar genetiğin gelişme gösteren bir dalı olan sil (cilia) genetiği konusunda yapılan heyecan verici sitoplazma kalıtımı çalışmalarından haberleri bile yoktu. Kampusun batısındaki genetik bölümünün öğretim üyeleri de benim için son derece ilgi çekici bir konu olan sil genetiği biliminin farkında değildi. İlgisizlikleri ve bilgisizlikleri beni şaşkınlığa uğrattı ama yolumdan alıkoymadı. Sillilerden *Paramecium* (Terliksi Hayvan) ve bu konuda öncülük yapan Tracy Sonneborn (1895-1970), ilk okuduğum andan itibaren beni büyülemişti. Sonneborn ile Fransız meslektaşı Jan-

nine Beisson'un keşfettikleri şey, sonradan edinilmiş özelliklerin kalıtım yoluyla aktarılamayacağına ilişkin yaygın öğretiyle adamakıllı çelişiyor gibiydi.

Indiana Üniversitesi'nde uzun yıllar genetik profesörü olarak çalışmış olan Sonneborn, araştırmacı Beisson'la birlikte, *Paramecium* sillerinin kaidelerinden kümeler halinde operasyonla ayrılıp, hücre yüzeyinde 180 derece döndürüldükten sonra eski yerlerine konulmaları halinde, bunların yavru hücrelerde kuşaklar boyunca bu ters konumlarını koruyacağını açıkladılar. Başka bir deyişle bilim insanlarınca deneysel olarak gerçekleştirilen sillerin çoğaltılması ve değişimi, bu işlemden sonra en az iki yüz kuşak boyunca kalıtımla aktarılmış oldu. Bu durum, katı görüşün Lamarkçılık diye burun kıvırdığı, kazanılmış özelliklerin kalıtımı olarak bilinen olayın bir laboratuvar örneğiydi.

Bu gibi ayrıntılarla ilgilenmek, o zamanlar bile tek başına kalmaya mahkûm bir entelektüel uğraştı. 1960'lı yılların siyasal yönelimi hız kazandıkça, akademik dünyada harcanan zaman ve konuşmalar giderek daha çok "anlamlılık" çevresinde yoğunlaşıyordu; sonuç olarak her türlü entelektüel uğraş, insan refahıyla ilgili olup olmadığına göre değerlendiriliyordu. Böyle bir ortamda hücre kalıtımı modellerine gösterdiğim ilgi, öğretmenlerim ve birlikte okuduğum arkadaşlarıma anlamsız görünüyordu.

Berkeley'deki bakteri genetikçilerine karşın, genetiği hâlâ evrimsel tarihin anahtarı olarak görüyordum. Çok çeşitli türler dizisi içinden Mendelci olmayan (çekirdek dışı) başka kalıtım örneklerini de topladım: *Eupatorium*, *Zea* (mısır), *Mirabilis japala* ve *Oenothera* gibi bitkiler, *Chlamydmonas* gibi algler. Mayanın "petites/küçükler" olarak bilinen çekirdeksiz, yavaş yavaş gelişerek küçük koloniler oluşturan, oksijen soluyamayan mütantlarını inceledim. Ayrıca *Paramecium*'un "kappa-katil" kalıtım modelini de gözden geçirdim. Bu çok iyi araştırılmış ol-

gu, kimi *Paramecium*'ların içlerinde farklı genetik yapıda olanları öldürdüklerini gören Tracy Sonneborn tarafından açıklandı. Ben zaten "çekirdek dışı" kalıtımın "anlaşılmaz" olduğuna hiç inanmamıştım. Sonradan X ışınlarının kalıtımsal mütasyon yarattığını ortaya çıkardığı için Nobel ödülü alan genetikçi H. J. Muller (1890-1967), yaşamın merkezinde en azından ilke olarak, çıplak genlerin bulunduğunu ileri sürmüştü. Muller'in kusursuz yapıtına karşın, bitki ve hayvan hücrelerindeki çekirdek dışı "çıplak genlerin" varlığının kanıtlandığını hiç sanmıyorum.

Fransız deniz biyoloğu Edouard Chatton (1883-1947) ile Harvard'lı profesör ve araştırma bilimcisi Lemuel Roscoe Cleveland'ın (1892-1969) eski ama hayranlık uyandıran yapıtını dikkatle inceledim. Çok iyi yazan ve çalışırken yüksek sesle düşünen Tracy Sonneborn'un sayısız bildirisini okudum. Gelenek karşıtı, kendini işine adamış biri olan Wisconsin Üniversitesi'ndeki profesörüm, Hans Ris'in, elektron mikrografisi olarak bilinen çok güçlü bir yöntemle Madison'da çekip bastırdığı, soluk kesici güzellikteki organel fotoğraflarını izledim. Birbirinden çok farklı bu bilgi kaynakları, önsezilerimi doğruluyordu. Çıplak genler değilse de bakteriler, bazı tek hücrelilerde, mayalarda, hatta bitki ve hayvanlarda çekirdek dışında, ancak hücrelerin içinde yaşıyordu. Sitoplazma genetiği konusundaki yayınları inceledikçe, hepsi de çekirdeğin dışında bulunan, zarla çevrili en az üç organel sınıfının (plastidler, mitokondriler ve siller) davranış ve metabolizma bakımından bakterilere benzediğini fark ettim. Aslında, hücre içine hapsolmuş bir bakteriyi, hücrenin bir parçası olarak kalıtım yoluyla aktarılmış bir organelden ayırt etmek, kimi örneklerde bana olanaksız görünüyordu. Bitki hücresinin sitoplazması içine yerleşerek rahatça büyümek üzere kendi çeperini ortadan kaldıran bir mavi-yeşil bakteri, kloroplast olarak bildiğimiz organele tıpatıp benziyordu.

Sitoplazma organellerinin genetiğiyle ilgili yayınlar üzerindeki kapsamlı entelektüel çalışmalarımdan aldığım cesaretle, plastidin, önceki adıyla tutsak bakterinin, bazı bakteriyel DNA'larını korumuş olması gerektiğini düşündüm.

Berkeley'deki California Üniversitesi'nin genetik bölümünde kütüphane dedektifliği gibi başlayan süreç bugün de devam ediyor. Mikrobik ortakyaşarlara ve zarla çevrili organellere ilişkin bilimsel yazıları hâlâ büyük bir hevesle okuyorum. Öğrencilerimle birlikte halen şu ana fikir üzerinde çalışıyoruz: Çekirdekli hücrelerin kökeni, ortakyaşama dayalı bakteri topluluklarının evrimsel bütünleşmesiyle tam olarak aynı şeydir.

"Sıralı iç ortakyaşam kuramı" hakkında ilk eksiksiz bildirim, anlaşılması çok zor ve kötü yazılmış ön taslağın en az on beş kez çeşitli nedenlerle reddedilmesinden ve kaybolmasından sonra yayımlandı. "Hücrelerde Mitoz Bölünmenin Kökeni" adlı bu bildiri, 1966'da gözükara *Journal of Theoretical Biology*'nin o zamanki editörü James F. Danielli'nin araya girmesiyle yayın programına alındı. Bu makale 1967'nin sonlarında nihayet yayımlandığında, tabii ki ilk evliliğime ait soyadım olan Lynn Sagan imzasıyla çıktı. Kurama, bir başka tek hücreli meraklısı olan, Vancouver'daki British Columbia Üniversitesi profesörlerinden Max Taylor tarafından sıralı iç ortakyaşam kuramının (serial endosymbiosis theory) baş harflerinden oluşan bir kısaltma olan SET adı takıldı (SETI, yani dünyadışı akıllı yaratıklar araştırması/Search for Extraterrestrial Intelligence ile karıştırılmamalıdır).

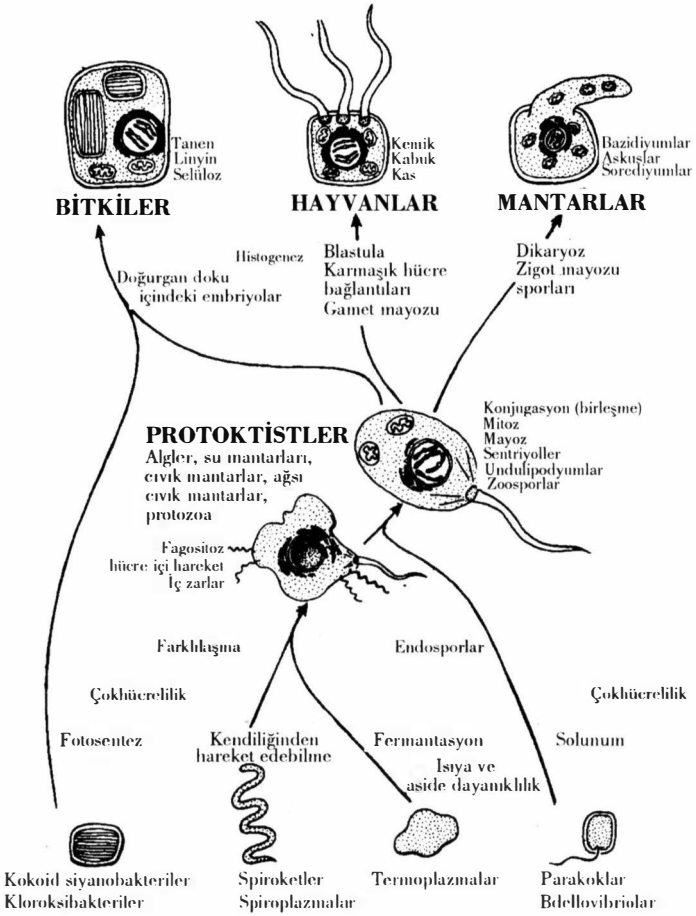
1969'da ikinci kez evlenip kızım Jennifer'a hamile kalınca ilk kez, uzun süre evde oturmak zorunda kaldım. Bu zorunlu ev istirahatı sayesinde düşüncelerimi toparlayabildim. Böylece dört bölümlük SET öykümü anlaşılır bir biçimde, genişletilmiş haliyle belgeleme olanağını buldum. Hücrelerin kökeninin öyküsü 1967'deki bildirimle başladı, sürgün verdi, gelişti ve sonunda budanarak kitap kalınlığında bir metne dönüştü. Yayın-

cıyla yaptığım sözleşmedeki teslim tarihine uyma azmiyle, geceleri geç saatlere dek daktilomun başında oturdum. İsmi cismi pek bilinmeyen biri olarak, tabii ki dışarıya yaptırdığım çok miktarda çizim için bana avans ya da başka bir ödeme yapılmadı. Bu konuda her türlü yardımı ailemden aldım. Nihayet artık son halini aldığını düşündüğüm kitabı tamamladım. Gurur içinde ve büyük bir dikkatle, sabah erkenden, daha çocukların sesleri bile duyulmadan çizimlerle dolu kitabımı paketleyerek sözleşme yaptığım New York City'deki Academic Press'e postaladım. Paketin ellerine geçtiğini bildirmediler. Bekledim. Yaklaşık beş ay boyunca beklemeye devam ettim.

Günlerden bir gün paketimi posta kutumda buldum; adi postayla gönderilmişti ve yanında hiçbir açıklama yoktu. Çok sonraları, yayınevinin editörü bile olmayan birilerinden gelen son derece olumsuz eleştiriler yüzünden, Academic Press'in kitabımı aylarca beklettiğini öğrendim. En sonunda yayınevinden bir red yazısı aldım. Bu resmi red yazısının yanında hiçbir açıklama, hatta Academic Press'in editörü tarafından yazılmış bir mektup bile yoktu. Bir yılı aşkın bir sürenin sonunda, Jenny'nin doğumunda çektiklerimden çok daha fazla acı veren, daha uzun süren yorucu bir dönemin ardından, kitabım Yale University Press tarafından gözden geçirildi, düzenlendi ve yayımlandı. Max Taylor'ın ve diğer meslektaşlarımın yorum ve eleştirileri sayesinde sıralı iç ortakyaşam kuramı tanındı ve Academic Press'in kitabımı reddetmesinin verdiği acı sonunda yatıştı.

70'li ve 80'li yıllar boyunca, tanımadığım pek çok bilimci ve yüksek lisans öğrencisi SET'e deneysel katkılarda bulundu. Moleküler biyoloji ve genetik alanlarında, çok güçlü mikroskopların desteğiyle yapılan bu çalışmaların tümü, bitkilerde ve bizim hayvan bedenlerimizde, mantarlarda ve diğer tüm organizmalardaki hücrelerin çekirdekli hücreler olduğu, bunların kökeninin farklı bakteri tiplerinin belirli bir sıra ile birleşmele-

rine dayandığına ilişkin, bir zamanlar radikal bulunan on dokuzuncu yüzyıl düşüncesini genelde doğruluyordu. Birleşik ya-



ŞEKİL 2.
SET (sıralı iç ortakyaşam kuramı) filogenisi [soyoluşu]

şam yaygınlaşmış ve hızla gelişmişti. SET'in en güncel hali Şekil 2'de gösterilmiştir. SET'in sulandırılmış bir örneğinin bugün gözler önüne serilmiş bir gerçek olarak lise ve üniversite ders kitaplarında yer alması beni hayretler içinde bırakıyor. Bu konuda yapılan açıklamaların dogmatik, yanıltıcı, mantıksal olarak tartışılmayan, genellikle de tamamen yanlış olduğunu görüyorum ve bu durum beni şaşırtmasa bile kaygılandırıyor. Bilimin kendisi değil ama, SET artık sorgusuz sualsiz kabul ediliyor. Elden ne gelir?

SET, farklı geçmişlere ve yeteneklere sahip hücrelerin bir araya gelişleri, birleşmeleriyle ilgili kuramdır. SET'ten önce, sperm tarafından döllenen yumurtada olduğu gibi, hücre kaynaşmalı cinsellik yoktu. SET, bizim yaşadığımız türden kaynaşmalı cinselliği olanaklı kıldı. Zaten cinsellik de farklı geçmişlere ve yeteneklere sahip hücrelerin bir araya gelmesi, birleşmesi demektir.

3. BÖLÜM

BİRLEŞME YOLUYLA BİREYSELLİK

Derdimin altında kıvrılmış
Başka bir dert beliriyor—
Benimkinden daha büyük —Daha dingin—
Daha heybetli sorunlar içeren (69)

Alman bitkibilimci Anton deBary'nin 1873'te ortaya attığı bir terim olan ortakyaşam, çok farklı türden organizmaların birlikte yaşamasıdır; deBary bunu, "farklı adlar taşıyan organizmaların birlikte yaşaması" olarak tanımlamıştı. Belirli durumlarda, aynı yerde uzun süre birlikte yaşama, sembiyogeneze, yani yeni gövdelerin, yeni organların, yeni türlerin oluşumuna yol açar. Kısacası, ders kitaplarının çoğunda evrimsel değişimin temeliyle ilgili rağbet gören bir fikir olmasa da ben, evrimsel yeniliklerin çoğunun doğrudan ortakyaşamdan kaynaklandığına ve bu durumun hâlâ sürdüğüne inanıyorum.

Bitkilerin, hayvanların ve diğer çekirdekli hücrelerin kökeniyle ilgili kuramım dört kanıtlanabilir önerme içeriyor. Bu önermelerin hepsi de sembiyogenez, birleşme ve ortakyaşam yoluyla bedensel kaynaşma ile ilgili. Bu kuram, özellikle de bitkilerin parlak, yeşil hücreleriyle ilişkili olarak, geçmişte gerçekleşmiş olması gereken aşamaları, özlü bir biçimde açıklıyor. Hücreler, hiç kuşkusuz kara yosunlarında, eğrelti otlarında ve

öteki bitkilerdeki tanıdık yapı birimleridir. Özellikle *Zebrina* ve *Tradescantia* ("telgrafçiçeği") çiçeklerinde gözle görülebilen stamen tüyleri, bu tür bitki hücresi dizilerinden oluşur. Bu büyük, çeperli yeşil hücreler, bitkilerden önce, bitkilerin suda yaşayan ataları olan yeşil alglerde, oluşumlarını tamamlamış durumdaydı.

Çekirdekli organizmaların birleşme yoluyla evrildiklerini en iyi bitkiler gösterebilir; çünkü bitkilerin büyük ve güzel hücrelerinde, onları oluşturan organellerin bütünleşmesi kolayca gözlenebilir. Buradaki düşünce son derece basittir: Eskiden birbirinden tamamen bağımsız ve fiziksel bakımdan ayrı olan dört ata, belirli bir düzenle birleşti ve yeşil alg hücresini oluşturdu. Bunların dördü de bakteriydi. Bu dört bakteri türü, bugün bile anlayabileceğimiz bakımlardan birbirinden farklıydı. Bu dört farklı bakterinin ardılları, hem birleşmiş hem de serbest yaşar halde günümüzde hâlâ mevcuttur. Dört tür bakterinin, hem bitkinin içinde hem de bitki olarak kapana kıstırılıp birbirinin esiri olduğunu ileri sürenler de vardır. Günümüzde, eski bakteri türlerinin her biri ataları hakkında bize ipuçları veriyor; yaşam kimyasal açıdan öylesine muhafazakâr ki söz konusu bakterilerin birleşmelerindeki özgül düzeni bile ortaya çıkarabiliyoruz. *Sıralı iç ortakyaşam kuramı*ndaki *sıralı* sözcüğü, birleşme sıralanmasındaki düzeni ifade ediyor.

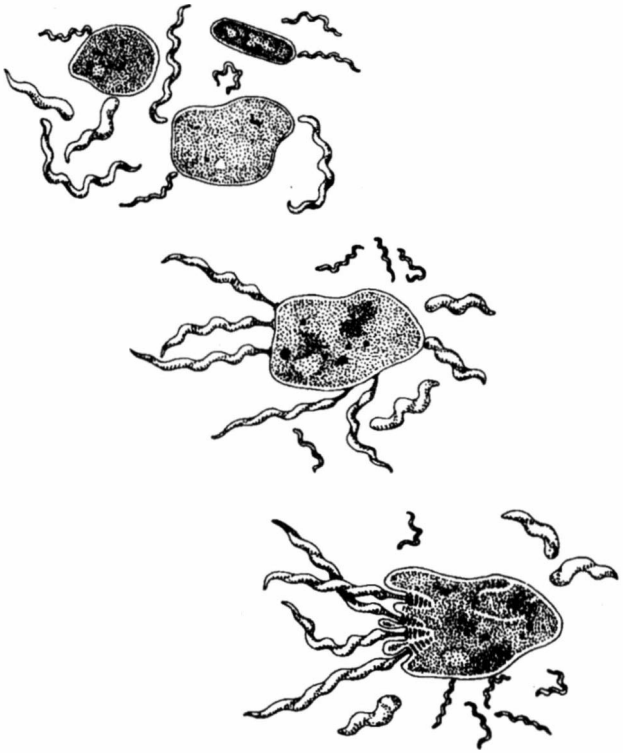
Bugün pek çok bilim insanını ve öğrenciyi, hücrelerin bir parçası olan organellerin, sembiyogenetik olarak, birbirinden farklı ve kesintisiz ortakyaşamların sonucunda ortaya çıktığı konusunda ikna ettiğime inanıyorum. Kuşkusuz bu kuramı destekleyen kanıtlardan çok azı bana ait; kuramda yüzlerce bilim insanının katkısı var. Ben halen, hücrelerden daha büyük olan başka organizmaların ve bunların yeni organlarıyla organ sistemlerinin de sembiyogenezle evrildiğini gösterecek şekilde kuramı genişletmeye çalışıyorum.

Ortakyaşarlar tamamen birleşiyorlarsa, kaynaşıp yeni bir

canlı türü oluşturuyorlarsa, bu birleşmenin ürünü olan yeni "birey" de, tanımı gereği sembiyogenez aracılığıyla evrilmiştir. Sembiyogenez kavramı yüz yıl önce ileri sürülmüş olmakla birlikte, bu kuramı baştan sona sınamak için gerekli araçlara ancak şimdi sahibiz.

Bu düşünceyi olabildiğince basit bir biçimde açıklamaya çalışacağım. Önce kükürt ve sıcak sever bir bakteri türü olan, fermantasyon yapan "arkebakteri" (ya da "termoasidofil"), yüzen bir bakteriyle birleşti. Bütünleşmiş birleşmenin bu iki parçası beraberce, hayvan, bitki ve mantar hücrelerinin atalarında bulunan temel maddeye, çekirdek sitoplazmasına dönüştüler. Suda yüzen bu ilk protist, günümüzdeki ardılları gibi, oksijensiz ortamda yaşayan bir mikroorganizmaydı. Oksijenden zehirlendiği için, oksijenin bulunmadığı ya da eser miktarda bulunduğu, organik madde bakımından zengin olan çamurlarda ve kumlarda, kaya oyuklarında, su birikintilerinde ve durgun sularda yaşardı. (Fungal hücreler, mantarlardaki ve mayadaki hücrelerdir). Hayvan, bitki ve mantar hücrelerinin hepsi de çekirdekli hücrelerdir, çünkü sıvımsı ve yarı saydam olan bu hücrelerde gözle görülür bir çekirdek bulunur. Bitkilerde ve hayvanlarda, hücrenin bölünme yoluyla çoğalması sırasında zar eridiği ve kromozomlar ortaya çıktığı için zarla çevrili çekirdek kaybolur. Kromozomları oluşturan bir madde olan kromatin kırmızıya boyanır ve kolaylıkla görülebilen sarmal yapılar şeklindedir.

Ders kitapları bunu, kromatinin gözle görülür, sayılabilir kromozomlar halinde yoğunlaştığı, bu kromozomların sayısının da söz konusu türü temsil ettiği bir süreç olarak açıklar. Çekirdek zarı yeniden ortaya çıkarken, gevşek yapılı sarmal kromatinin içinde gözden kaybolan kromozomların bu dansı, mitoz hücre bölünmesi sürecinin aşamalarını oluşturur. Protistlerdeki ve çekirdekli mantar hücrelerindeki farklı örnekleriyle mitoz



ŞEKİL 3
Undulipodyumlara dönüşen spiroketler

....

bölünme, çekirdekli ilk organizmalarda gelişti. Yüzen protistlerdeki mitoz bölünmeden sonra, birleşme olayına bir başka serbest yaşayan mikrop, oksijen soluyan bir bakteri katıldı. Daha büyük, daha karmaşık hücreler oluştu. Oksijen soluyan bu üç yönlü (asit ve ısı seven, yüzen, oksijen soluyan) yapı, besin parçacıklarını yutabilme yeteneği kazandı. Karmaşık ve şaşırtı-

cı varlıklar olan bu çekirdekli, yüzen, oksijen soluyan hücreler, Yeryüzü'nde muhtemelen ilk kez 2 milyar yıl önce ortaya çıktı.

Yüzen ve havasız ortamda yaşayabilen canlının oksijen soluma yeteneğini kazandığı bu ikinci birleşme, havada giderek biriken serbest oksijen düzeyleriyle başedebilen üç bölümlü hücreleri ortaya çıkardı. Usta yüzücü, asite ve ısıya dayanıklı arkebakteriyle oksijen soluyanın birleşmesi, tek bir birey oluşturdu ve verimli biçimde döller üretti.

Karmaşık hücre üretimi dizisinde son kazandığı yetenekler sayesinde oksijen soluyan canlı, fotosentez yapan parlak yeşil bakterileri yuttu, mideye indirdi ancak sindiremedi. "Birleşme" tam anlamıyla ancak, sindirilemeyen yeşil bakterilerin verdiği müthiş bir yaşam mücadelesinden ve birleşmenin tamamen hâkim olmasından sonra gerçekleşti. Sonunda yeşil bakteriler kloroplastlara dönüştüler. Bu üretken, güneşsever canlılar dördüncü ortak olarak, önceki üç ayrı ortakla tam olarak bütünleşti. Bu son birleşmeyle, yüzen yeşil algler ortaya çıktı. Günümüzün bitki hücrelerinin ataları bu eski yeşil algler di, onları oluşturan ayrı ayrı bileşenler ise bugün hâlâ hayatta ve sağlıklı; yüzüyor, fermantasyon yapıyor ve oksijen soluyorlar.

Bence yaptığım en iyi şey, sıralı iç ortakyaşam kuramının ayrıntılarını geliştirmekti. Buradaki ana fikir şu: hayvanların, bitkilerin ve diğer çekirdekli hücrelerin sitoplazmalarındaki fazladan genler "çıplak gen" değil, bakteri genleridir. Bu genler şiddet dolu, rekabete dayalı ve uzlaşmalı bir geçmişin elle tutulur mirasıdır. Çok eskiden başka canlılarca kısmen yutulan ve onların gövdelerinin içinde kalan bakteriler, sonradan organellere dönüştüler. *Siyanobakteri* olarak bilinen, fotosentez yapan ve oksijen üreten yeşil bakteriler varlıklarını küçük göllerde, derelerde, çamurların içinde ve kumsallarda sürdürüyorlar. Bunların akrabaları da daha büyük sayısız organizmayla; bütün bitkilerle ve bütün alglerle birlikte yaşıyorlar.

İlk bitki genetikçilerinin, genleri bitki hücrelerinin kloroplastlarında keşfetmelerinin nedeni, zaten hep orada olmalarıydı. Siyanobakterilerin küçük, yeşil ardılları her zaman, her bitki hücresinin içinde vardır.

Siyanobakteriler son derece başarılı bir yaşam biçimidir. Duş perdelerimizin üzerinde yayılır, yüzme havuzlarımızda, tuvaletlerde ve durgun sularda köpükler oluştururlar. Sıcaklığa ve güneş ışığına maruz kaldıklarında, su birikintisinin rengini birkaç gün içinde parlak yeşile dönüştürebilirler. Siyanobakterilerin çoğu, hâlâ serbest yaşıyor olmakla birlikte, kimileri birbirinden çok farklı ortaklarla birlikte barınıyor. Bunlardan bazıları alglerin ve bitki hücrelerinin yeşil kısımlarını oluşturan kloroplastlardır. Diğerleriyse, yaprak oyuklarında, kök katmanlarında ve yeşil bitkilerin sapındaki salgı bezlerinde yaşar.

Siyanobakterilerle kloroplastlar nasıl yakın akrabaysa, mitokondrilerle serbest yaşayan ve oksijen soluyan bakteriler arasında da bir akrabalık vardır. Daha eski, genellikle de pek kulak asılmayan akademisyenler gibi, ben de hayvan ve bitki mitokondrilerinin aynı soydan atalarının serbest yaşayan bakteriler olarak ortaya çıktığını ileri sürüyorum. Hücre içi güç kaynakları olan mitokondriler, bütün hayvan, bitki ve mantar hücrelerinin içinde kimyasal enerji üretirler. Mitokondriler ayrıca bitki, hayvan ve mantarların evrildiği, protoktist denilen sayısız mikrobik varlığın çoğunda bulunur. Yalnızca sayısal olarak bakıldığında, Yeryüzü'ndeki egemen yaşam biçimi insanlar değil, kloroplastlar ve mitokondrilerdir. Biz insanların gittiği her yere mitokondriler de gelir, çünkü onlar içimizdedir; kaslarımızın, sindirimimizin ve düşünce üreten beynimizin metabolizmasını güçlendirirler.

Rus yaratıcısı Konstantin Merezkovski'nin (1855-1921) ortaya attığı bir görüş olan sembiyogenez, ortakyaşamla gerçekleşen birleşmeler sonucunda yeni organların ve organizmaların oluşumu anlamına gelir. Göstereceğim gibi bu, evrimin temel

olgusudur. Bizim görebileceğimiz büyüklükteki her organizma, eskiden bağımsız olup, daha büyük bütünlere dönüşmek üzere biraraya gelmiş mikroplardan oluşur. Birleştikleri sırada çoğu, bizim geçmişe dönüp baktığımızda tanıdığımız eski bireyselliklerini kaybetmişlerdir.

Öğrencilerim ve meslektaşlarımla birlikte sıralı iç ortakyaşam kuramının (SET) dört cephesinde verdiğimiz savaşın üçünü kazanmış olduğumuza ne denli övünsem azdır. Artık hücre bireyselliğinin kökenindeki dört ortaktan üçünü tespit edebiliyoruz. Bu öyküyle ilgilenmiş olan bilim insanları artık hücrelerin temel maddesi olan çekirdek sitoplazmasının arkebakterilerden geldiği, özellikle de protein üreten metabolizmaların çoğunun termoasidofil ("termoplazma benzeri") bakterilerden kaynaklandığı konusunda birleşiyorlar (birinci aşama). Hücrelerimizde ve öteki çekirdekli hücrelerde bulunan oksijen soluyan mitokondriler günümüzde "Mor bakteriler" ya da "proteobakteriler" diye adlandırılan bakteri kökenli ortakyaşarlardan evrildiler (üçüncü aşama). Alglerin ve bitkilerin kloroplastları ve diğer plastidler eskiden serbest yaşayan, fotosentez yapan siyanobakterilerdi (dördüncü aşama). İkinci aşamanın belirtilmemiş olduğuna dikkatinizi çekerim.

Geriye daha önemli, çekişmeli bir konu kalıyor: yüzen uzantılar, siller nasıl ortaya çıktı? Bu konuda, bilim insanlarının çoğuyla görüş ayrılığına düşüyoruz. Onlar ortakyaşam kuramımın, Max Taylor'ın "uç SET" olarak açıkladığı yorumunu kabul ediyorlar. Taylor ile Vancouver'daki British Columbia Üniversitesi'nden meslektaşı Tom Cavalier Smith, ilk çekirdekli hücrelerin kökeniyle ilgili olarak ortakyaşamsal olmayan, "dallanma" kuramını savunuyorlar. Onlarınki hâlâ yaygın olan hipotez. Oysa ikinci, esrarengiz bir bakteriyel ortağın eski ittifaka katıldığına ilişkin deliller var. İlk birleşme, yani birinci ve ikinci ortakların kalıcı kaynaşması son derece önemliydi ve bu, gerçekleşti. Bu ilk birleşmenin kalıtı belirsiz ve günümüzde

saptanması zor olsa da, ardında ipuçları bıraktı ve biz bu ipuçlarının peşindeyiz.

Bir başka farklı mikrop olan yüzücü ortağın, çekirdekli hücrelerin kökenindeki ilk, en eski aşamaya ortakyaşamsal biçimde katıldığı yolundaki benim hipotezim, bu fikrin en az savunulabilir parçasıdır. Bu ilk birleşme 2 milyar yıl önce gerçekleşmiş olabilir. SET'in ana fikri (ikinci aşama), sillerin, sperm kuyruklarının, duyu uzantılarının ve çekirdekli hücrelerdeki diğer pek çok eklentinin, arkebakterinin yüzen bakteriyle ilk kaynaşması sırasında ortaya çıktığıdır. On yıl içinde bu tartışmayı kazanacağımızı tahmin ediyorum: sonunda dört dörtlük bir zafer olacak! Rağbet görmeyen görüşümü bu bölümde neden savunduğumu ve ömrümü neden biyolojinin tozlu köşelerinde delil toplamakla geçirdiğimi açıklayacağım. Meslektaşlarımdan bazıları bana kavgacı diyor; bazılarıysa haksız olduğumu söylüyor. Kimisi de yalnızca işime yarayan bilgileri topladığımı ve bunlarla çelişen verileri haksız biçimde gözardı ettiğimi ileri sürüyor. Bu suçlamalar doğru olabilir.

Ortakyaşam içinde birleşen bakteriler, bundan önceki bağımsız yaşamlarına ilişkin ipuçları bıraktılar. Gerek mitokondriler gerekse plastidler, büyüklük ve şekil bakımından bakteri kökenlidir. En önemlisi, bu organellerin çoğu, bir seferde sitoplazma içinde varolacak şekilde çoğalırlar, ama asla çekirdek içinde değil. Bu iki organel tipi, plastidler ve mitokondriler, yalnızca hücre içinde üremekle kalmayıp, ayrıca içinde barındıkları hücrenin diğer kısımlarına göre farklı şekilde ve farklı zamanlarda çoğalırlar. Her iki organel tipi de ilk birleşmelerinden muhtemelen bir milyar yıl sonra, kendi tükenmiş DNA stoklarını korumaktadırlar. Mitokondrilerin ribozomal dioksiribonükleik asit (DNA) genleri günümüzde kendi başına yaşayan, oksijen soluyan bakterilerinkiyle hâlâ çarpıcı bir benzerlik gösteriyor. Plastidlerin ribozomal genleri de siyanobakterilerinkine çok benziyor. 1970'li yılların başında, alg hücrelerindeki

plastidlerin DNA'larında bulunan nükleotit dizilimleri, serbest yaşayan siyanobakterilerdeki dizilimlerle ilk karşılaştırıldığında, kloroplast DNA'sının siyanobakteri DNA'sına, aynı alg hücresinin çekirdeğindeki DNA'dan çok daha fazla benzediği ortaya çıkmıştı! Bu konu kapandı. Söz konusu DNA dizilimlerinin (çekirdekten, organelden ve bu organelin serbest yaşayan ardıllarından gelen) üç yönlü karşılaştırması, plastidlerin bakteriyel kökenlerini kanıtladı. Daha az renkli organeller olan mitokondriler için de benzer bir çalışma yapıldı. Hikâyeyi anlatmak için kimsenin zaman makinesine binmesine gerek kalmamıştı.

Max Taylor, denizde yaşayan birtakım renkli ve etkileyici protistler konusunda dünyanın en büyük uzmanıdır. Taylor da, başka herkes de, onları "dinoflagellatlar" diye adlandırıyor. Bense buna kesinlikle karşı çıkıyorum. Ben onlara *dinomastigotlar* diyorum; çünkü flagella teriminin bakteri olmayanlarda kullanılmasına karşı alerjim var. Flagellumlar (kamçı) bakterilerde bulunur; ama bence, çekirdekli organizmalarda asla olmaz.

Max bir yerde açıkça, benim sıralı iç ortakyaşam kuramıma alternatif hipotezler üretti. 1970'lerin başlarında, endojen ya da "doğrudan soydaşlık" kuramını ortaya attı. Çekirdekli hücrelerin kökenine yönelik, ortakyaşama dayanmayan bir kuramın ana hatlarını açıkladı. Onun görüşü benimkinin tamamen karşıtıydı. Doğrudan soydaşlık kuramı, üç tip sitoplazma organelinin, yani mitokondrilerin, sillerin ve kloroplastidlerin ortakyaşam olmaksızın evrildiğini savunur. Max'ın hipotezine ve sembiyogenetik öncesi görüşlere göre, bu organellerin hepsi de çekirdekten DNA "aşırarak" ortaya çıkmıştır. Mitokondriler, plastidler ve siller her zaman hücrelerin birer parçasıydı. Onlar hiçbir zaman tuhaf bakteriler olmadı. Doğrudan soydaşlık, yalnızca Max'ın kuramsal çocuğu olmakla kalmayıp, aynı za-

manda bütün biyologların savunduğu kaynaşma evrimine karşıt olan dallanma varsayımına da uyum sağladı.

Titiz davranmak ve çok fazla miktardaki ayrıntılı bilgiyi düzene sokmak için Max, doğrudan soydaşlık ile ortakyaşam kuramının olası alternatif yorumlarını bir araya getirdi. Doğrudan soydaşlık en uç yorumuyla, her türlü hücresel ortakyaşamın varlığını reddeder. Çekirdekli hücreler, doğrudan ayrı kökenlerden, ya da tek bir bakteriyel ata tipinde meydana gelen değişimlerden evrilmiştir. Alglerdeki ve bitkilerdeki fotosentez yapan organellere verilen genel adıyla plastidler, yeşil alglerin ünlü kloroplastları ile bunların bitkisel ardıllarını içerirler. Bu kategori, ayrıca kırmızı su yosunlarındaki kırmızı rodoplastlar ile dinomastigotlarda, diyatomlarda, faeofitlerde ve diğer pek çok algde bulunan kahverengi faeoplastları da içerir. Ortakyaşam kuramının en ılımlı yorumunda, fotosentez yapan ortakyaşar bakterilerden yalnızca plastidlerin evrildiği, mitokondrilerin ve öteki organellerin, ortakyaşam olmaksızın, hücre çekirdeğinden ayrılan genlerden, doğrudan soydaşlıkla oluştukları ileri sürülür. Bir de, hem plastidler hem de mitokondrilerin ortakyaşamsal kökenini kabul eden uzlaşmacı SET vardır. Bu uzlaşmacı yorum artık tartışmasız onaylanıyor. Ders kitaplarında da açıklandığı gibi, deliller ağırlıklı olarak bu görüşü destekliyor.

Max Taylor beni radikal bir sembiyogenetikçi, SET yorumumu da "uç" olarak adlandırmakta haksız değildi. Neden mi? Delillerin yetersizliğine karşın, Şekil 2 ve 3'te gösterilen yüzücü ortağa hâlâ inandığım için. Öteki organel sınıfı da (şemadaki 2. aşama) bence bakteriyel kökenden geliyor. Temelinde hep küçük noktacıklar, *sentriyol-kinetozom* denilen cisimler bulunan siller, sperm kuyrukları, duyu uzantıları ve diğer hücre kamçıları, 2. aşamadan kaynaklanıyor. Bunlar, hücrenin hareketiyle ilişkili yapılardır. 2. aşamadaki organeller, mitokondrilerle plastidlerden bile daha eski ve hücrelerle daha sıkı bir

şekilde bütünleşmiş olduklarından, bunların evrimsel geçmişini saptamak çok zordur.

2. aşamadaki organellerin kökeninin açıklanmasında karşılaşılan sorunların bir kısmı da, bu hareketli hücre yapıları sınıfına bir sürü kafa karıştırıcı ad verilmiş olmasından kaynaklanır. Kuramın en can alıcı bölümü silin temelini oluşturan noktadan başlıyor.

Gizemli sentriyol-kinetozomlar minik tohumlar gibi davranırlar. Sperm kuyrukları, siller ve bazı organizmalarda hücre bölünmesi sırasında kromozomların hareketinde büyük önem taşıyan mitoz iğ iplikleri, küçük tohumlardan adeta sihirli bir biçimde dışarı uzanırlar. Bir hücre, soyuna bağlı olarak, ya mevcut sentriyollerle bağlantı içinde ya da tamamen kendiliğinden, bir ya da birden çok sentriyol-kinetozom geliştirebilir (bu ikincisine sentriyol-kinetozomların *de novo* belirmesi adı verilir). Zamanlama son derece önemlidir. Bir çıplak hücre, uzantılarını bir seferde yaratacak pek çok sentriyol-kinetozom "tohumları" oluşturabilir. Bütün sentriyol-kinetozom "tohumları", ince protein tüpleri olan mikrotübüllerden meydana gelir. Tüplerin çeperlerindeki proteine de doğal olarak tübülin denir.

Bu iki organel türünün çekirdektekinden ayrı, tarz ve örgütlenme bakımından kuşkuya yer bırakmayacak denli bakterilerinkine benzeyen, özgün DNA'lar içerdiği ortaya çıkınca, mitokondrilerin ve plastidlerin ortakyaşam kökenli olduğu kabul edildi. Bu organellerin DNA'sı, kendilerine özgü proteinlerin kodlamasını belirler. Tıpkı serbest yaşayan bakterilerde olduğu gibi, protein sentezi mitokondrilerin ve plastidlerin içinde gerçekleşir. Halifax, Nova Scotia'daki Dalhousie Üniversitesi'nde moleküler biyoloji uzmanları olan Ford Doolittle ile Michael Gray, mitokondrilerle plastidlerdeki DNA dizilimlerinin kendi başlarına yaşayan seçkin bakterilerin DNA'larına son derece benzediğini gösterdiler. Bilim insanları şu anda bunu

ve diğer pek çok delili, ılımlı SET yorumundaki dört aşamadan yalnızca üçünün kanıtı olarak kabul ediyorlar.

Peki benim "uç" kuramıma ne olacak? Çekirdekli ökaryot hücrelerin farklı bir bakteriyel kalıntısı, bir sentriyol-kinetozom atası var mı? Bence ökaryot hücreyi oluşturan şey, öncelikle sentriyol-kinetozom bakterinin bütünleşmesidir! Eğer haklıysam, sembiyogenez de, çekirdekli hücre yaşamıyla her türlü bakteriyel yaşamı birbirinden ayıran faktördür. Bir grup organizma sembiyogenez yoluyla evrilmiş olsa da olmasa da, arada herhangi bir orta aşama yoktur. Bence, tüm çekirdekli organizmalar (protoktistler, bitkiler, mantarlar ve hayvanlar), nihai protoktist ata olan çekirdekli hücrenin evrimi sırasında arkebakteriler sentriyol-kinetozomların atalarıyla kaynaştıklarında, sembiyogenezle ortaya çıkmıştır.

Sonradan sentriyol-kinetozoma dönüşen yabancı canlının bugün hâlâ serbest yaşayan akrabaları vardır. Spiroketler olarak bilinen bu bakterilerin salınımlı hareket eden, vahşi, aç ve çaresiz ataları, pek çok arkebakteriyi, hatta günümüzün *Termoplazma*'larına benzeyenleri bile istila ettiler. İstilanın ardından ateşkes yapıldı. Ben, ilk çekirdekli hücrelerin, spiroketlerle arkebakterilerin birleşerek yaşamlarını sürdürmelerinden sonra oluştuğu varsayımını ileri sürüyorum. Çekirdekli hücre, sembiyogenezle evrildi.

SET'in başka "uç" yorumları da vardır. NASA'nın Moffet Field, California'daki Ames Araştırma Merkezi'nde araştırmacı olarak çalışan Dr. Hyman Hartman, ayrıntıya girmeden, çekirdeğin kendisinin serbest yaşayan bakteri olarak ortaya çıktığını öne sürüyor. "Ortakyaşar çekirdek" görüşü ilk kez, hâlâ hayatta olan Hartman tarafından değil, 1921'de ölmüş olan Rus K.S. Merezkovski tarafından dile getirildi. Merezkovski hiçbir zaman mitokondrilerin ortakyaşarlar olarak oluştuğunu söylemedi; çünkü bunları yazdığı sırada o da, başkaları da, mitokondrilerin ne olduğunu anlamamıştı. Çok güçlü bir alet olan

elektron mikroskobu geliştirilene dek, sonraları mitokondri olarak tanınacak olan hücre içindeki bu küçük cisimler için yirmiden fazla terim kullanıldı. Mikroskop teknolojisinin geliştiği altmışlı yılların ortalarında bu terimler üzerinde uzlaşmaya varıldı ve anlamları açıklığa kavuşturuldu.

Çekirdeğin kökeninin ortakyaşama dayandığı konusunda Hartman'a ya da Merezkovski'ye katılmıyorum. Mikroplar dünyası bildiğim kadarıyla, serbest yaşayan çekirdek benzeri bakterileri içermez. Bence çekirdek, *Termoplazma*'ya ve *Spiroket*'e benzer bakterilerin hiç de kolay olmayan birleşmesi sonucunda evrildi. "Yeni hücreler" oluştu, bunlar büyüdü ve etkileşim halindeki zarları hızla çoğaldı. Çift atalı olmaları nedeniyle genetik yapıları daha da karmaşıklaştı.

McMaster Üniversitesi'nden Radney Gupta, ilk çekirdekli hücrelerin "hayali" doğasına ilişkin, her ne kadar bilinmezlerle dolu olsa da, ayrıntılı deliller sunmayı sürdürüyor. Gupta'nın argümanları bütünüyle, pek çok hayati proteinde bulunan amino asit diziliminin analizine dayanıyor. Kendisi farklı terimler ve başka ölçütler kullanıyor, ama temel düşüncemiz aynı: Arkebakteriyel-öbakteriyel kaynaşma, çekirdekleri zarla çevrili ilk hücre atalarını ortaya çıkardı.

Herkesin kabul ettiği gibi, çekirdekli hücrelerin doğuşu, yaşamın Yeryüzü'ndeki evrimi açısından çok önemli bir yenilikti. Çekirdek taşıyan ilk mikroplar, oksijenden kaçınan küçük yüzücülerdi. Bunlar günümüzde protoktist alemi içinde sınıflandırılıyor. Bu çeşitlilik içeren grubun yaşayan en küçük üyeleri, bakteriler kadar miniktir. Bunlar, oksijenin bulunmadığı yerlerde yaşamakla birlikte, çekirdeklere ve çekirdekli hücrelerin daha pek çok özelliğine sahip olmaları nedeniyle, bakteri değildirler.

Ne olmuştu? Kuraklık, besin yetersizliği, zehirlenme ve diğer olası trajedilere hep açık olan hücre dışı ortamlarla karşılaştırıldığında, hücre içi ortamlar sulu ve bol besinlidir. Bir ar-

kebakterinin zar engelini aşan her spiroket (ya da başka bir yüzer bakteri) sabit bir enerji ve besin akışından yararlanır. Saldırganın ve saldırıya uğrayanın üreme hızları zamanla eşgüdümlü hale geldi. Hayatta kalabilen ve içinde yaşadıkları ortamı tamamen dolduran bu yüzer-saldırganlar uzun süre yaşayamazlardı. Saldırganların ortakyaşar hale geldiklerini ve zamanla, en sonunda organellere dönüşebildiklerini artık biliyoruz. Birleşmeler sonrasında yeni hayatta kalma becerileri gelişti. Benim görüşüme göre, salınımlı hareket eden, oksijenden zehirlenen hücreler sürekli olarak düzenli yiyecek arayışı içinde olduklarından, arkebakterilerin kenarlarına ve içlerine yapıştılar. Bu salınımlı hareket eden hücrelerin istila edip yerleştiği arkebakteriler daha da hızlandılar; çünkü kendilerine yapışan yabancılar durmaksızın hareket ediyordu. Çekirdekli hücreler, çoğalmak için "kromozomların dansı" olarak adlandırılan bir süreç olan mitoz bölünmeye uğrarlar. Bu tür hücre bölünmesinin, canlı spiroketlerin ardı arkası kesilmeyen hareketlerine bağlı olarak nasıl oluştuğunu daha önce açıklamıştım.

Eski ve yeni öğrencilerimle birlikte "uç" hipotezi sınamaya devam ediyorum. Bizim hipotetik senaryomuza göre, bu en eski birleşmenin kalıntıları, bütün çekirdekli hücrelerin günümüzdeki davranışlarında ve kimyasal tepkimelerinde gözlenebiliyor. Kuşkusuz, kendimizi bile tam olarak ikna edebilmek için daha fazla delile ihtiyacımız var.

Evrimde olayların sırası belirleyicidir. Mikroplar dünyasının yarışçıları tirbüşonvari spiroketler, sarmal biçimleriyle yılana benzerler. Bu bakteriler çamur, sümük, mukoza ve canlı dokular gibi koyu kıvamlı sıvılar içinde ileri geri, yukarı aşağı, sağa sola doğru hızla hareket ederler. Bunlar şimdi olduğu gibi, çok eskiden de öteki bakterilerden daha hızlı yüzerlerdi. Çabuk hareket edip hızla çoğalan spiroketler, arkebakterilerin iç yüzeylerini istila etti ve etkileşim halinde olanları hayatta kaldı. Hâlâ hayatta olan ardılları, günümüzde karmaşık hücrelerin

mitotik hareketlerine ve diğer etkinliklerine ayrıştırılamaz biçimde dahil olmuş durumdadır. Ortaklar öylesine kaynaşmıştır ki başlangıç senaryosunun yeniden yapılandırılması hiç kolay olmamakla birlikte, olanaksız değildir.

Mitokondri içeren bütün hücrelerde, o salınımlı hareket eden canlıların kalıntıları olan mikrotübüller de bulunur. Bu yapı, ilk önce spiroket-arkebakteri ortakyaşamının oluştuğu yolundaki görüşe uygun düşer. Günümüzde, oksijenin zehir etkisi yarattığı bazı yüzer mitoz hücrelerinde, hâlâ mitokondri bulunmaz. Buradan, ökaryot canlıların tümünün mitozla bölünme özelliğine sahip atasının, oksijenin atmosfere tamamen yayılmasından önce evrildiği sonucuna varıyorum.

Günümüzde spiroketler, oksijen bakımından hem zengin hem de yoksul ortamlarda yüzüyorlar. Kimi zaman çevrelerindeki komşularına öylesine büyük bir beceriyle tutunuyorlar ki biyologlar bu tutunma noktalarını sentriyol-kinetozom, gövdelerini de sil sanıyorlar. Bugünün spiroketleri, büyük topluluklar halinde, ağaç yiyen sağlıklı böceklerin bağırsaklarında yaşıyor. Birkaç türü, insanların bağırsak ya da testis dokularına yerleşmiş durumda. Bazıları da çamur sillileri ya da trikomonadlar gibi protistlerin delikli zarlarında yaşıyor. Spiroketler genel olarak nemli, zengin, karanlık ortamlarda barınırlar. Bir spiroketin yaşamı kıvrılmak, beslenmek ve klonlanmaktan ibarettir. Spiroketler, bakterilere özgü, enine bölünme yoluyla çoğalırlar. Sillere giden yol, ilk spiroketlerin imkân buldukça zayıf komşularının içine girmeleri ile açıldı ve birçoğu bir daha hiç dışarı çıkmadı. Uzun bir bütünleşme sürecinden sonra, pek çok küçük spiroketin karşılıklı deviniminden, çekirdekli yüzücüler, yani ilk protistler evrildi.

SET'in son halinin kabul göreceğine hâlâ inanıyorum. Pek çok meslektaşım bana bu işten vazgeçmemi önermişti oysa.

Sentriyoller ve kinetozomlar, sevimli Dr. Jekyll ve Mr. Hyde gibi, bölünen hücrelerde aynı anda hiç görülmezler. Çoğu

hücrede sentriyoller, mitoz hücre bölünmesi tamamlandığında, kendi uzantılarını geliştiren kinetozomlara dönüşür. Bu da özdeşlik durumuna işaret ediyor. 1898'de Parisli fizyoloji profesörü L. F. Henneguy ve Budapeşteli Mihaly von Lenhossek, hayvan dokusunda sentriyolün kinetozomla özdeşliğine dikkat çekerek bu konuda yazı yazdılar. Bu bilim adamlarının mitoz sentriyollerinin çoğaldıktan sonra, mitoz kutuplarından ayrılarak sillerin kinetozomlarına dönüştüklerine ilişkin görüşleri, "Henneguy-Lenhossek kuramı" olarak bilinir. Her ikisinin de ölümünden sonra, elektron mikroskobuyla da kanıtlanan Henneguy-Lenhossek kuramının geçerliliğinden esinlenerek sentriyol-kinetozom adını bitişik olarak kullanıyorum.

Bence spiroketler ilk başta, elverişli durumdaki arkebakterilere tutunacakları yapıları oluşturdular. Onlarla sembiyogenetik anlamda bütünleştikçe de, bağlanma noktaları günümüzün sentriyol-kinetozomları haline geldi. Oxford Üniversitesi'nden biyolog David C. Smith, çekirdekli hücrelerin iç kısımlarındaki ortakyaşar spiroketlerin kuramsal kalıntılarıyla, Lewis Carroll'ın Cheshire Kedisi'ni karşılaştırıyor. Kedinin havada esrarengiz biçimde asılı kalan bir sırıtış bırakarak yavaş yavaş ortadan kaybolması gibi, "organizma genel arka planın içine karışarak yavaş yavaş kendi parçalarını yitirir, önceki varlığını ele veren tek şey, bir kalıntıdır."[1] Birleşmiş varlık, katılımcı ortağın içindeki bir şey haline gelir. Kaynaşma tamamlanmış olduğundan, ortakların görece genetik katkılarını saptamak güçtür.

Laboratuvarlarımızda, rastgele seçilen organizmalara ya da hücre organellerine göre, serbest yaşayan spiroket bakterilerde ve sillerde daha çok görülen nükleik asit ve proteinleri araştırıyoruz. Bilimcilerin evrimle ilgilenmediği, daha çok tıbba yönelik hizmetler veren laboratuvarlarda pek çok araştırma yapılıyor. Ben esas olarak, bulgularla ilgileniyorum.

Kimi hücreler mutlak sıfıra yakın derecelerde donmadan kalabilirler. Metabolizma çalışmaz. Besin, atık madde ve enerji

akışı durur. Yeniden ısındıklarında ise, bu hücreler kusursuz biçimde işlev görmeye ve gelişmeye devam ederler. Hücre hatırlar; yaşam bilgisi, hücre yapısının doğasında vardır. Çekirdeksiz, ayrışmış sperm kuyrukları, mitokondriler, hatta dış zarlar bile gereken dengeye sahip, enerji içeren çözeltilerde bir saat kadar canlı kalabilir ve yüzebilirler. Bu sperm kuyrukları, silli protistlerdeki siller, kadınların dölyatağı borularındaki hücrelerin üzerindeki siller ve boğazımızdaki siller (ayrıntılı yapısında yer alan, kendine özgü dokuz mikrotübül dizisiyle birlikte tüm undulipodyum şekilleri), bence başlangıçta serbest yaşayan ve soyumuzdaki arkebakterilerle bütünleşen spiroketlerden türedi. Hareket yeteneğine özgü proteinlerin genleri ile —daha da önemlisi, daha yavaş değişime uğradıkları için— bu proteinler ve diğer ilintili proteinlerin kendileri tanımlanıp dizilimleri çözümlendiğinde, kanıtlara nihayet ulaşacağımız umudunu taşıyorum.

Sentriyol-kinetozomların bakteriyel kökenleriyle ilgili en can alıcı veri, yeşil bir yüzer mikropta DNA kalıntısı olabilecek bir şeyin bulunmasıdır. Rockefeller Üniversitesi'nden John Hall, David Luck ve Zenta Ramanis, yeşil alg *Chlamydomonas*'ta yüzer sentriyol-kinetozom-mikrotübül yapılarını etkileyen özelliklerden sorumlu özel genler buldular. Bu genler standart çekirdek genlerinden ayrı olarak, bir arada gruplanmıştı. Rockefeller'daki bilim adamlarının çalışmasını okur okumaz, "uç" SET'in geçerliliği konusunda ikna oldum. Şimdiye dek kimse sentriyol-kinetozom DNA'sını diğer hücre DNA'sından ayıramamıştı; bu nedenle de sentriyol-kinetozom genleri, serbest yaşayan spiroketlerin genleriyle doğrudan karşılaştırılmamıştı. Üstelik, bu bilimciler sentriyol-kinetozomlarla ve bunların undulipodyumlarıyla ilişkili özel gen dizisinin, çekirdeğin içinde olduğunu ileri sürüyorlardı. Alg'in çoğalmakta olan iki sentriyol-kinetozomunun hemen yakınında bulunan DNA'nın fotoğrafını çekmişlerdi. Hücre gelişiminin kimi aşamalarında çekir-

dek DNA'sından ayırt edilebilen sentriyol-kinetozom DNA'sı, mitoz hücre bölünmesi sırasında öteki kromozom DNA'larıyla birleşiyordu.

Yale Üniversitesi'nden Joel Rosenbaum ve başka araştırmacılar, söz konusu yeşil alg'deki sentriyol-kinetozom DNA'sını saptayamadıklarından, varlığını reddediyorlar. Spiroket hipotezine yönelik ikinci derece deliller bile hayal kırıklığına yol açacak kadar yetersiz. Haksız çıkmaya hazırım. Belki de Gupta'nın ileri sürdüğü gibi, kükürt içermeyen yeşil bir öbakteri türüne benzeyen spiroket olmayan bakteriler, diğer hücrelere çok önceleri karışmıştır. Belki de ilk yüzer ökaryotların kökeninde ortakyaşamın yeri bile olmamıştır. Kuşkusuz, Carl Woese ve Max Taylor'ın meslektaşı Cavalier-Smith bana karşı çıkıyorlar. Onlar, havasız yaşayabilen ilk protistlerin kökeninde sembiyogenezin hiçbir rolü olmadığını düşünüyorlar. Oysa ben, çağlar öncesinde mikrobik bir aktörün, sonradan ortaklık haline gelen şeyin yüzme hızını büyük ölçüde artırdığını öne sürmek için Sherlock Holmes olmak gerekmediğine inanıyorum. Geride kalan da, kendiliğinden hareket etme yeteneğinin özdeş ardılıdır.

Beynimizdeki sinir hücreleri olan nöronlar ve çevresel sinirler, tübülin proteininden oluşan mikrotübüllerle doludur. Silleri, sperm kuyruklarını ve sentriyol-kinetozomların çeperlerini oluşturan da tıpatıp aynı mikrotübüllerdir. Sinir hücrelerinin uzantıları olan ve bilgiyi beynimizde işlememizi sağlayan aksonların ve dendritlerin temelinde mikrotübüller vardır. Eğer radikal sembiyogenez kuramım doğruysa, beynimizin kendisini ve bu cümleyi okumamız için gerekli düşünceyi, ilk olarak bakterilerde evrilmiş olan protein mikrotübüller olanaklı kılmıştır. Araştırmalar spiroket hipotezimin doğru olmadığını gösterse bile, ortakyaşam üzerine düşünmek başlı başına ortakyaşamsal bir olgudur. Soluduğumuz oksijen, kan dolaşımıyla beynimize girer ve eskiden soluk alan bakteriler olduğunu bil-

diğimiz mitokondriler tarafından hiç durmadan metabolize edilir. Varlığımızın temelinde salınımlı hareket eden spiroketler olsa da olmasa da, biz hâlâ bir ortakyaşam gezegenindeki ortakyaşar varlıklarız.

4. BÖLÜM

ASMANIN ADI

Çılgınlık çoğu kez en kutsal akıldır
Seçmesini bilen bir göz için—
Akıl ise çoğu kez —büsbütün delilik—
Genel kanıdır bu—
Her zaman geçerlidir
Onaylarsan — senden akıllısı yok
Karşı çıkarsan — düpedüz tehlikelisin
Zincirlerin de hazır —(435)

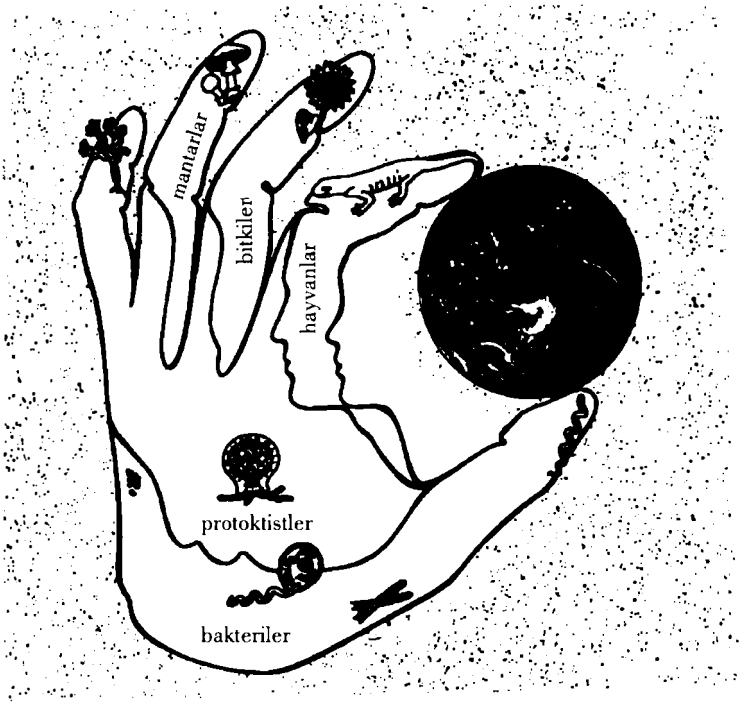
Canlı varlıkların adları oldukça zararsız görünür. Gruplandırmalar da öyle. Gene de son derece sıkıcı olan adlandırma ve gruplandırma uygulamaları, bilimsel yaşamımı derinden etkilemiştir. Hatalı taksonomi, dile getirilmemiş varsayımların ya da dinsel inançların belirsizliğiyle insanı yanlış yöne saptırır. Sembiyogenezin yaygın, rağbet gören varsayımlarla doğrudan çatışması, kabullenilmesini geciktiren nedenlerden biridir.

Taksonomi, organizmaları tanımlama, adlandırma ve sınıflandırma bilimidir. Adlar ve sınıflandırma şemaları, çok miktardaki bilginin düzenlenmesini sağlar. Taksonomiler, haritalar gibi, ayırt edici seçkin özellikleri açığa çıkarır. Ne var ki, İngiliz kökenli Amerikalı felsefeci ve antropolog Gregory Bateson'ın popülerlik kazandırdığı sözündeki gibi, "Harita, arazi-

nin kendisi değildir". Organizmanın adı da öyle. Her organizmanın tarihi, genellikle bir soyağacı üzerinde açıklanır. Soyağaçları, çoğu zaman aşağıdan yukarı doğru büyür: Tek bir gövdeden çıkan dallar, her dalın ortak atalardan ayrılmasıyla pek çok farklı soya dağılır. Oysa ortakyaşam bize, bu tür ağaçların, geçmişin idealleştirilmiş suretleri olduğunu gösterir. Gerçekte, yaşam ağacı çoğunlukla kendi kendine büyür. Türler bir araya gelir, kaynaşır ve aynı döngüye tekrar başlayacak olan yeni canlılar üretirler.

Biyologlar dalların (ister kan damarları olsun, ister kökler, ya da mantarsı iplikler) bir araya gelişine anastomoz adını verirler. Dalların kümeler oluşturması anlamında anastomoz, çok güzel bir yansımalı sözcüktür. İnsan kaynaşmayı işitebilir. Yaşam ağacı, tuhaf ve yeni meyveler, melezler oluşturmak üzere dalları havada, kökleri toprağın altında buluşan, büklümlü, dolaşık, nabzı atan bir varlıktır. Çok yaygın olmasa da anastomoz, dallanma kadar önemlidir. Ortakyaşam, tıpkı cinsellik gibi, önceden evrilmiş varlıkları yeni ortaklıklarda bir araya getirir. Cinsellik gibi, kimi ortakyaşamlar da istikrarlı, verimli gelecekleri olan uzatmalı beraberliklerdir. Bazıları ise kısa sürede dağılıp gider. Genetik sürekliliğe sahip canlı kuşakları arasındaki etkileşim, resimli kitaplardaki yaşam ağacını kuşkulu kılar.

Büyük oğlum Dorion Sagan'ın 1980'li yılların ortalarında geliştirdiği, artık çok tanınan ve çoğu kişinin üzerinde çalışmalar yaptığı çizimde bir el benzetmesi kullanıyoruz (Şekil 4). Beş parmağın her biri, büyük bir organizma grubunu temsil ediyor. Her parmağı beş büyük canlı aleminden biri olarak düşünün: Bütün bakteriler (hücrelerinde çekirdek olmayan monera grubu ya da prokaryotlar), protoktistler (bütün algler, cıvık mantarlar, silliler ve ortakyaşam aracılığıyla oluşan, çekirdekli hücreleri olan diğer pek çok tanımlanmamış organizma), hayvanlar (hepsi de sperm-yumurta birleşmesinden gelişen emb-



ŞEKİL 4.
Beş Alemli El

riyolardan gelişir), mantarlar (maya, mantarlar ve mantar sporlarından gelişen küfler) ve bitkiler (hem sporlardan hem de başka zamanlarda, hepsi fotosentez yapmasa da eşeyli olarak üreyen embriyolardan gelişirler). Bakteriler hariç, yaşam elindeki her parmağın çok sayıda ortakyaşar mikrobik atası vardır.

1920'lerde Columbia Üniversitesi'nde görev yapan Ivan Wallin, hücre bileşenleri olan kloroplastlarla mitokondrilerin kökenlerinin ortakyaşar bakterilere dayandığını ileri sürdüğünde, kendisi ve görüşleri külliyen reddedilmişti. "Ortakyaşarlık

kuramı", kibar biyoloji çevrelerinde alay konusu oldu. Ciddi araştırma kurumları onunla ilişkisini kesti ve kırk yaşına geldiğinde, ortakyaşamla ilgili laboratuvar araştırmaları yapmaktan vazgeçti. Bakteriler, evrimsel yeniliği başlatan değil, hastalık taşıyan varlıklardı. Meslektaşları ısrarla, mikropların serbest yaşayan bakterilerken ansızın hayvan hücrelerinde alıkonmuş parçalara dönüşmediklerini söylüyorlardı. Wallin, New York'tan Denver'a taşındı, burada kırk yıl daha üniversite öğretim görevlisi ve akademisyenlik mesleğine devam etti; ancak bir daha asla organellerin ortakyaşamsal kökenlerine ilişkin tartışmalara girmedi. Bakteriler tehlike saçan zararlı şeylerdi; yaşamın evrimi bağlamında kimse onlar hakkında yazı bile yazmamıştı. Üstelik, soyağaçlarının uzuvları dallara ayrılıyordu. Merezkovski dışında kimse dalların kaynaştığını iddia etmedi.

Artık biliyoruz ki Wallin'in "ayrıksı" çalışması kendi zamanının düşünce tarzından çok, günümüzünkine uygun düşüyor. Savlarının eleştirel açıdan bile incelenmemesinin nedenlerinden biri de, katı bir taksonomiye duyulan yaygın bağlılıktı. Bütün organizmalar ya hayvan ya da bitki olarak kabul edilip buna göre sınıflandırılmıştı. Öyle olmalıydı. Aslında, insanın kafasını karıştırsa da göze batacak biçimde, yüzen mikroplar hayvanlar alemine dahil edilmişti. Bunlara çok benzeyen yeşil renkli, geçici olarak hareketsiz mikropların ise bitki oldukları açıklanmıştı. Botanikçiler, yalnızca botanik bölümünde oldukları için, bütün mikropları ve ardıllarını bitki olarak sınıflandırıyorlardı. Kampusun öte yanındaki zoologlar ise çok benzer canlıları, kendi hayvanlar alemine dahil ediyorlardı. Aykırılıklar birbirini kovaladı. Zor görülebilen küçük organizmalar, hatta birbirinin tıpatıp aynısı olanlar bile, botanikçilerce bitki, zoologlarca da hayvan olarak ilan ediliyordu. Mikrobiyologlar (bakteriyologlar) ile mikologlar (küf ve mantar uzmanları) ben-

zer savaşları bakteriler, mayalar ve başka mantarlar için verdiler. Ne yazık ki bu tuhaf taksonomi karmaşası hâlâ sürüyor.

Mikroskobu icat eden Antony van Leeuwenhoek'i (1632-1723), keşfettiği yeni yaratıklara hayvancıklar dediği için mazur görebiliriz. Onları hayvandan başka neyle karşılaştırabilirdi ki? Ama günümüzde bilim insanlarının, bir hayvanın biyolojik özelliklerini kesinlikle taşımayan yüzer yaratıklar için ("ilk hayvanlar" anlamında) *protozoa* terimini kullanmaları bence mazur görülemez. Eski protozoa'lardan bazıları, çekirdekli mikroplar, hayvanların atası olmakla birlikte, bitkilerin, mantarların ve bütün azılı protoktistlerin de atası olmuştur. Hiçbir şekilde sperm, yumurta ya da hayvan embriyosundan gelişmemiş, ata konumundaki protistler hayvan değildir. Bu grup inanılmaz ölçüde çeşitlilik barındırır. Elliden fazla belli başlı filum günümüzde hâlâ yaşıyor. Bunların içinde diyatomlar, kahverengi algler, silliler ve daha az bilinen, "yaşamın heryerdeliğini" temsil eden, pek çok canlı grubu bulunur.[1] İster amip olsun, ister silli, hipermastigot ya da başka bir şey olsun, bunlar hayvan değildir.

Biyologların "mavi-yeşil alg" dediklerini duyduğumda da irkiliyorum. Böyle bir şey yoktur. Bu mavi-yeşil mucizeler her bakımdan fotosentez yapan bakterilerdir. Aynı ölçüde rahatsız edici olan, "tek hücreli hayvan" terimidir. Ne öyle bir şey vardır, ne de "üst düzey bitkiler" veya "çok hücreli bitkiler". Bütün bitkiler ve bütün hayvanlar, tanımları gereği çok hücreli olan embriyolardan gelişir. Bütün bitkiler ve hayvanlar çok hücreli olduklarından böyle bir sıfat kullanmak yersizdir. "Protozoon" nitelemesi iki zıt kelimenin biraraya gelmesinden ibarettir; "çok hücreli bitki" ve "çok hücreli hayvan" şeklindeki laf kalabalığı da yanıltıcıdır.

Dil insanın zihnini karıştırabilir, aldatabilir. Bu köhne terimler —"mavi-yeşil algler", "protozoa", "üst düzey hayvanlar" ve daha pek çokları— biyoloji alanındaki sağlıksızlığı ve

cahilliği yaygınlaştırma eğilimi taşımalarına karşın hâlâ kullanılıyorlar. Canlı varlıklara yönelik bu aşağılamalar; bütçeleri, sınıfsal nitelikleri ve toplumsal örgütlenmeleri bu terimlerin kalıcılığına bağlı olan insanlara yarar sağlıyor. Bence, Wallin'in yerinde görüşlerinin kabul edilmemesinin ya da dikkate alınmamasının nedenlerinden biri de, değişmez sınıflandırmanın yanlış kavranmasını pekiştiren pek çok biyoloğun ve öğretmenin onu hiç anlamamış olmasıydı. Yalnızca hastalık nedeni olarak görülen bakterilere, günümüzde olduğu gibi o tarihlerde de hemen her zaman "düşman varlık" damgası vuruluyordu. Modern tıbbın "silahları" ile "alt edilmeyi" nasıl da beklediklerine dikkatinizi çekerim. Bakterilerin öncelikle askeri, düşmanca terimlerle tanımlanması kuşkusuz gülünçtür: Bakterilerin çoğu havadan daha zararlı değildir ve tıpkı hava gibi ne vücudumuzdan atılabilirler, ne de içinde bulunduğumuz ortamdan. Oysa birçok kişi hâlâ yanlış bir biçimde, mevcut olan her türlü bakterinin kökünün kazınması gerektiğine inanır. Bakterilerin hakkından gelinmesi gereken şeyler olduğu düşüncesi, Wallin'in zamanında şimdikinden de güçlüydü. Nasıl olur da sağlıklı bir dokuya "yerleşebilirlerdi"? Wallin'in meslektaşları haritayla araziyi birbirine karıştırmıştı.

Günümüzde çoğu kişiye göre yaşam, kendiliğinden üç kategoriye ayrılır: bitkiler (besin ve süs olarak), hayvanlar (evimizde beslediğimiz hayvanlar, deniz ürünleri ve insanlar gibi) ve mikroplar (ortadan kaldırılması gerekenler). Bu görüşün yaygınlığı oranında tehlikeli olduğunu ne zaman anladığımı hatırlamıyorum; çok uzun zaman önce olmalı. Bu aşırı basitleştirilmiş kültürel zırvalıkları, bin bir güçlükle ulaşılan bilimsel gerçeklere çok daha yakın kavramlarla değiştirmeye çalışıyorum. Bakteriler en az iki milyar yıllık bir kimyasal ve sosyal evrim geçirene dek, Yeryüzü'nde ne bitki ne de hayvan vardı. Aslında, yalnızca hayvanlar ve bitkiler değil, mantarlar da Yeryüzü'nün yeni canlılarıdır. Bitkiler de, hayvanlar da, sonsuz bir

sınıflandırma kategorisi değildir. Hiçbirini Platoncu yeteneklere sahip kutsal bir zihin, bir seferde yaratmadı. Günümüzdeki bütün bitki ve hayvanlar dışında en azından üç başka yaşam biçimi daha var. Gerçek biyolojik çeşitlilik de, işte burada, hayvan ve bitki olmayan yaratıklarda yatıyor.

Hayvanlar ve bitkiler birbirlerine, yeryüzündeki diğer yaşam türlerine benzediklerinden çok daha fazla benzerler. Elektron mikroskobu ve her türlü organizma ayrıntısının incelenmesinde kullanılan yeni moleküler biyoloji yöntemleri sayesinde, Yeryüzü'ndeki yaşamın farklı türlerinin birlikteliğini artık çok daha iyi anlayabiliyoruz. DNA, ribonükleik asit (RNA), protein gibi uzun zincirli moleküller, yaşamı tam olarak tek bir standart ölçüme göre incelememize olanak sağlıyor. Aristo öncesi dönemlerden beri hüküm süren büyük bitki-hayvan ayrımı artık çöküyor. Sınıflandırma sistemimizde kökten değişiklikler yapılıyor. Biyologlar mikropların zor koşullar karşısındaki dayanma güçleri, ortakyaşama dayalı evrimsel anlaşmalar içine girerek yaşamlarını sürdürme eğilimleri gibi akıllara durgunluk veren ayrıntılarını ortaya çıkarıyorlar.

Mikrobik ortakyaşarlar üzerindeki araştırmalarım beni biyolojik sınıflandırmayı eleştirmeye, sonra da gözden geçirmeye itti. Yirmi yılı aşkın bir süredir, Karlene V. Schwartz'la birlikte, çelişkili ve sınırlı biyolojik sınıflandırma sistemlerini tutarlı bir düzen içinde yeniden oluşturmak üzere meslektaşlarımızdan ve çıkardıkları bilimsel yayınlardan taksonomi konusunda bilgi topluyoruz. Hedefimiz, olabildiğince doğru, kullanışlı ve evrim tarihini yansıtan bir açıklama getirmek. Yaptığımız çağdaş değişiklik iki katmanlı bir beş alem sınıflandırmasını kapsıyor. Tüm yaşam biçimleri içinde en büyük ayrım, sembiyogenezle evrilmemiş "prokaryotik" hücrelerden oluşan bütün bakterileri içeren birinci katmandaki prokaryotlar ile ökaryotik hücrelerden oluşanların hepsini içeren ikinci katman arasındadır. Ökaryotların, yani çekirdekli hücreleri olan organizmaların ta-

mamı, sembiyogenezle evrilmiştir. Bu grup protoktistleri, mantarları, bitkileri ve hayvanları içerir. Şekil 4'te gösterilen bu şema, gitgide daha kullanışlı hale geliyor.

Eklektik bir Alman bilimcisi olan Ernst Haeckel, protistlere verdiği değer nedeniyle onları bitkiler ve hayvanlar alemine dahil etti. Oysa Haeckel'den iki yüzyılı aşkın bir süre önce doğmuş olan Antony van Leeuwenhoek (1632-1723), mikroplar dünyasını keşfetmişti. Hollanda'da Delft'li bir kumaş tüccarı olan van Leeuwenhoek de benim gibi bütün zamanını mikrokozmosu incelemeye ayırmıştı; üstelik o, mikroskoplarını kendisi imal ediyordu. Su birikintilerindeki, durgun sulardaki, genç kızların salyasındaki, bağırsakları bozulmuş sarhoş dışkılarındaki sınırsız mikrobik yaşamı, on yedinci yüzyıl Felemenkçesinin gündelik konuşma diliyle tanımlamıştı. Sonunda bu açıklamaları, Kraliyet Akademisi'ne yazılmış mektuplar şeklinde Londra'da yayımlandı. Çok sonraları, Darwinci evrim kavramı sayesinde Avrupalı aydınlar yaşamın ortak atalarının arayışına yöneldiler. Böylece van Leeuwenhoek'in minik canlıları, Hollandalının yaptığı mikroskobun on sekizinci yüzyıldaki modelini kullanan bir amatör doğabilimcinin böbürlenerek gösterebileceği "hilkat garibeleri" olmaktan çıktılar. Mikroskop uzmanları zamanla mikropları, daha büyük canlıların öncül biçimleri olarak değerlendirmeye başladılar.

Kuşkusuz mikroplar keşfedilmelerinden epey zaman sonrasına kadar resmi taksonomi kategorilerine dahil edilmediler. Bu en küçük organizmalar, Louis Pasteur'ün kötü hastalıklara ait bakterileri keşfetmesinden sonra adlandırılarak bir sınıflandırma düzeni içine sokuldu.

Bu olaydan çok uzun zaman önce, İÖ üçüncü yüzyılda, Aristoteles beş yüzü aşkın hayvan türünü sınıflandırmıştı. Yalnızca keskin gözleriyle bakarak, tabii ki mikrop falan görememiş, yaşam kategorilerini sabit, değişmez olarak kabul etmişti. Yine de, Aristo'nun kimi sınıflandırmaları günümüzdekilere

denk düşüyor. Örneğin yunusları, balıklar yerine kara memelileriyle birlikte gruplandırmıştı. Sonraları, Romalı bilgin Plinus (İS 23-79) otuz yedi ciltlik *Doğa Tarihi* adlı yapıtında, bilinen tüm canlıların kataloğunu çıkarmaya çalıştı. Pek çok bilgi kaynağına dayanarak, araştırmasına tekboynuzları, uçan atları, denizkızlarını ekledi. Ortaçağ boyunca ve Rönesans döneminde canlılarla ilgili açıklamalar seyahatnamelerde boy gösterdikçe, bol resimli "hayvan öyküleri" yazıldı. Fil iskeletlerinin insan biçimindeki canavarlara işaret ettiği sanıldı; fosilleşmiş köpek balığı dişleri, öldürülmüş ejderhaların kalıntıları olarak yorumlandı.

1686'da İngiliz John Ray (1627-1705), binlerce farklı bitki türüyle ilgili kısa bilgiler içeren kitabını yayımladığında, taksonomi daha güvenilir bir nitelik kazandı. Ray 1693'te toynak, pençe, diş ve öteki özelliklerine bakarak, gövde benzerliklerine ya da farklılıklarına göre sıraya soktuğu hayvanlara ilişkin bir sınıflandırma yayımladı. Hayvan öykülerinde gerçekmiş gibi aktarılan rivayetlere, fabllara, fantezilere karşı belirgin bir kuşku göstererek, fosillerin artık var olmayan bitki ve hayvan kalıntıları olduğunu ileri sürdü.

En eksiksiz evrim öncesi sınıflandırma şemasını, İsveç'in ünlü botanikçisi, Uppsala'lı Carolus von Linné (1707-1778) yayımladı. Kendi adını da Latince Linnaeus biçiminde yazarak, ikili adlandırma olarak bilinen sistemi geliştirdi. Her yaşam biçimine, genellikle Latince ya da Yunancadan türetilmiş iki ad verdi. "İlk" ad organizmanın ait olduğu grubu, yani cinsini, "son" ad ise türünü gösteriyordu. Bu adlar o zamanlar olduğu gibi, bugün de eğik harflerle ve cins adı büyük harfle başlayacak şekilde yazılıyor. Linnaeus sistemi, günümüzde biyolojik bilgi açısından hayati önem taşır. Tüm ülkelerdeki biyologlar, bu iki cins ve tür adını kabullenmiştir. Japonca ve Çince kitaplar ile kiril alfabesiyle yazılan Rusça kitaplarda bile, cins ve tür adları Latince, eğik harflerle yazılıyor. Ana dilleri

ve bölgesel kökenleri ne olursa olsun, bütün yazarlar ve doğabilimciler, Linnaeus adlarının aynı organizma türünü gösterdiğini biliyorlar. Cins daha büyük, daha kapsayıcı bir taksondur. Tür ise daha küçük, daha dar bir gruplandırmadır.

Örneğin, bütün köpekler *Canis* cinsine aittir. Evcil köpeklerin türü *familiaris*'tir. Kurtlar *Canis lupus*, kır kurtları *Canis latrans*'tır. İnsanlar *Homo sapiens*'tir. Linnaeus'un yaptığı bu sınıflandırma yalnızca bedenlerimize yöneliktir; ona göre ruhlarımız, doğanın uygun biçimde sınıflandırılabilir düzeninin dışında kalır. Günümüzde *Homo* cinsinin geri kalan üyeleri *Homo habilis, Homo erectus, Homo sapiens neandertalensis* ve yeni ortaya çıkarılan *Homo sagittarius* gibi soyu tükenmiş fosil insanlardır.

Linnaeus ayrıca cinsleri, takım adı verilen daha büyük taksonlar, takımları da sınıflar halinde gruplandırdı. Sonraları, Fransız anatomi uzmanı George Cuvier (1796-1832) takımları, bugünün filum'larına karşılık gelen "dallanmalar" biçiminde büyük gruplara ayırdı. Yapıtı Paris'teki Doğa Tarihi Müzesi'nin koleksiyonu için büyük önem taşıyan Cuvier, Linnaeus sınıflandırmasını, fosilleri de içerecek şekilde genişletti. Cuvier de, Linnaeus da, bütün türlerin, her şeye kadir bir Tanrı'nın yarattığı, farklılıklarını sonsuza dek koruyacak biçimler olduğuna inanıyorlardı. Cuvier fosillerin, İncil'deki Büyük Tufan ya da başka afetler yüzünden izi silinmiş, geçmiş yaşam kanıtları olduğunu düşünüyordu. Böylece kimi hayvan soylarının tükenmiş olduğunu da kabul ediyordu. Ancak Tanrı'nın dünyayı yaratmasından bu yana yeni yaşam biçimlerinin yaratıldığına ilişkin hiçbir belirti görmemişti. Linnaeus ve Cuvier, evrimci olmasalar da, canlı varlıklar arasındaki ayrıntılı ilişkilere yakın ilgi gösteren nitelikli bilginlerdi. Çalışmalarının kalıcı bir değeri oldu. On dokuzuncu yüzyılın sonlarıyla, yirminci yüzyılda gelişecek olan evrimci görüşün ana hatlarına katkıda bulundular.

Zeki doğa araştırmacısı Alman Ernst Haeckel (1834-1919),

Darwin'in evrimini ilk savunanlardandı. Evrim kavramının, eski 'ya bitki - ya hayvan' ayrımı karşısında sorun oluşturduğunu görmüştü. Haeckel'in savlarının hepsi doğru değildi; yaşamın bugün bile, yaşam dışından evrilmekte olduğuna inanıyordu. En uzak atalarımızın —ona göre bazıları hâlâ deniz dibinde yaşıyordu— bitki ve hayvanların kökenini oluşturan tuhaf canlılar olduğunu, atalarımızın bitki de hayvan da olmadığını ileri sürmüştü.

Haeckel, Darwin'in evrime ilişkin görüşlerini genişletti, tanıttı ve sistematik biçimde uyguladı. Pek çok yeni canlıyı tanımladı. Okyanuslarda sürüklenen gösterişli planktonları örneklerle açıkladı. Ne bitki ne de hayvan olan küçük deniz canlıları radiplariumları ve foraminiferleri, kendi alemleri içine resmi olarak yerleştiren ilk bilim adamı oldu. Yüreklilik göstererek bu canlılara, ilkel birimler anlamına gelen "Monera Alemi" adını verdi. Haeckel, Monera aleminin sınırlarını yaşamı boyunca değiştirip durdu. Bir ara, artık protoktistlerle birlikte sınıflandırılan amipleri ve cıvık mantarları da içine aldı. Kimi yapıtlarında, artık hayvan sayılan süngerleri bile ekledi Monera'sına. Pek çok baskı yapan çeşitli kitaplarında, tutarlı davranarak eski iki alemli sınıflandırma sistemine karşı çıktı. Benim gibi, o da katı bitki-hayvan ayrımının yeni bilgilerle çeliştiğini ve evrimsel yaşam tarihinin kavranmasını engellediğini düşünüyordu. Tanrı'nın yarattığı on bin türü sınıflandıran Linnaeus'un tersine Haeckel, Darwinci bir evrim savunucusuydu.

Sacramento, California'da biyoloji öğretmenliği yapmış olan Herbert F. Copeland (1902-1968), Haeckel'in şemasını geliştirdi. 1956'da, Haeckel'in Monera'sını iki aleme ayıran, pek tanınmayan bir kitap yayımladı[2]. Bakterileri "Monera" kategorisinde topladı ve hücrelerinde çekirdek olmadığını belirtti. İkinci alem olan Protoktista'yı İngiliz doğabilimci John Hogg'un 1860 tarihli yapıtından aldı. Copeland, hücreleri çekirdek içeren bütün mikropları Protoktista alemine yerleştirdi.

Geleneksel protozoa'yı, sperme benzeyen yüzer hücreler oluşturarak çoğalan su mantarlarını ve Hogg'un protoktist alemindeki her çeşit algi buraya dahil etti. Bunun dışında çekirdekli mikroorganizmalardan oluşan pek çok tuhaf grubu ve daha büyük sümüksü yaşam biçimlerini Protoktistler içine almaya karar verdi. Kimseyle işbirliği yapmadı ve sınıflandırmaları kendi şemasına uyduracak şekilde değiştirmek için kimseden izin almadı. Verdiği en önemli karar, küfü, mayayı ve her türlü mantarı Filum İnofita olarak, kendisinin oluşturduğu protoktist alemine dahil etmekti.

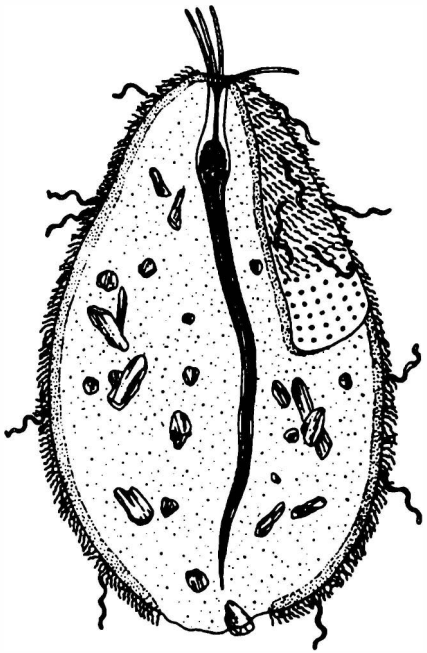
Üç yıl sonra, Cornell Üniversitesi profesörlerinden Robert H. Whittaker (1924-1980), Copeland'in önsezili, ancak tam anlamıyla görmezlikten gelinen dört alemli taksonomisini özenle geliştirdi. Kuzey Amerika'da topluluk ekolojisi bilim dalını kuran Whittaker, yıllar boyunca New Jersey'in çamlık arazilerinde araştırmalar yaptı[3]. Çamlık arazilerdeki genellikle kök bağlantılı, fotosentez yapmayan mantarların bitkilere hiç benzemedikleri için başka bir aleme ait olduklarını fark etti. Whittaker beş alem oluşturdu: mantarlar, bitkiler, hayvanlar, Hogg'un protoktistleri (başka bir aleme ait olmayan, protist olarak sunulan daha küçük canlılar) ve Haeckel'in Monera'sı (bakteriler). Copeland gibi, Whittaker da bu gruplardan ilk dördünün ökaryot olduğunu fark etmişti: hücreleri her zaman çekirdekliydi. Yalnızca sonuncu alemin üyelerinde çekirdek yoktu; onlar bu nedenle prokaryottu. Copeland tüm çekirdekli organizmaları çıkardıktan sonra, Haeckel'in Monerası'sında bu grubun üyeleri, yani her türlü bakteri kaldı.

Meslektaşlarımızın tutarsızlıkları, çelişkileri, yanılgıları Copeland ve Whittaker gibi, Karlene Schwartz ile beni de düş kırıklığına uğratmıştı. Botanik ve zoolojik sınıflandırma saçmalıklarını öğrencilerimize öğretmekte zorlanıyorduk. Botanik sınıflandırma, bugün olduğu gibi o zamanlar da zoolojik sınıflandırmayla uzlaştırılamaz nitelikteydi. Anlaşılır, tutarlı ve kapsamlı

olan akla yakın bir taksonomi kullanma ve öğretme gereğini duyuyorduk. Yıllarca pek çok akademisyenin ve araştırmacının; botanikçilerin, zoologların, mikrobiyologların, protoktistologların, mantarbilimcilerin, algbilimcilerin (fikologların) ve başkalarının yaptığı çalışmaları bir araya getirmeye uğraştık.

Öğretilebilir tek bir düzen; hücre morfolojisini, metabolizmayı, genetiği, gelişimsel biyolojiyi yansıtan, evrime dayalı bir sınıflandırma sistemi istiyorduk. Apaçık ortadaydı: bitkilerin ve hayvanların hayatta kalma stratejileri farklı olsa da, büyük yapısal benzerlikleri vardır. Bitkiler de, hayvanlar da, zarla çevrili çekirdeklerin içinde kromozomlar taşıyan hücrelerden oluşur. Her iki grup da yumurta, sperm ve embriyo üretir. 1969 yılında *Science* dergisinde çıkan makalesini[1] ilk okuyuşumuzdan bu yana, Whittaker'ın beş alemli sistemi bize göre yaşamın engin çeşitliliğine yönelik evrimsel gruplandırmaları en iyi yansıtan sistem oldu. Ancak, büyük canlıların hepsinin, mikroplardan gelen ataları vardı: dev kahverengi algler, küçük sarı alglerden; cıvık mantarlar, amiplerden evrilmişti; büyük yeşil suyosunlarının atası ise, günümüzde pek çok canlı örneği bulunan mikroskobik klorofit alglerdi.

Büyük organizmalar, minik yakın akrabalarından ayrı tutulamaz. Bu nedenle, Karlene'le birlikte Copeland'in izinden giderek, John Hogg'un geniş kapsamlı terimi *Protoktista*'yı yaşama döndürdük. Bu terimi, Whittaker'ın "Protist" aleminin genişletilmiş, evrimsel açıdan sağlam bir yorumunda kullandık. Resmiyet kazanmamış "protist" terimini, Protoktista'nın (bkz. şekil 5) küçük üyelerine gönderme yapmak üzere koruduk. Bütün protoktistler, sonuçta, bakteriyel ortakyaşamdan evrilmiştir. Kimi Protistler tek hücrelidir; kimisi de az sayıda hücre içerir. Örneğin, serbest yaşayan her türlü amip bir protisttir. Amipler, silliler, alg hücreleri, suyosunları ve amiplerin kolonileşmiş şekilleri, Protoktista'dır. *Protozoa*'daki *Proto-* Yu-



ŞEKİL 5
Bir protoktist, *Mixotricha paradoxa*: en az beş çeşit organizmadan oluşan birey örneği.

nancada ilk anlamına gelir. Oysa "protozoa"nın tersine *protist* ve *protoktist* terimlerinde (*proto-* ve *ktista*'dan, "ilk yerleşik canlılar" anlamında) hayvanlarla ilgili bir çağrışım yoktur. Kimi protoktistler su birikintilerinde, kimisi ağaç kovuklarında, kimisi de göllerde yaşar; bir de okyanuslarda yüzenler vardır. Hepsi de su canlısı olmakla birlikte, ne hayvan ne de bitkidirler. Kimi protoktistlerden (zoomastigotlar) hayvanlar, kimilerinden (klorofitler) bitkiler, kimilerinden de (kitridler) mantarlar evrilmiş olsa da, hiçbir protoktist hayvan, bitki ya da mantar değildir.[6]

Virüslerin bu beş alemden hiçbirine girmediği kanısındayız. Canlı hücrelerin dışında asla bir şey yapmadıklarından, bunlar canlı değildir. Virüsler canlı hücre metabolizmasına gerek duyarlar, çünkü kendi metabolizmalarını üretecek koşullardan yoksundurlar. Varlığını sürdürmenin kesintisiz kimyası olan metabolizma, yaşamın temel özelliğidir. Virüslerde bu özellik yoktur. Yaşam, sürekli çalışan metabolizma, kimyasal madde ve enerji akışı sayesinde, kendini durmaksızın üretir, onarır, sürdürür. Yalnızca hücrelerin ve hücrelerden oluşan organizmaların metabolizmaları vardır. İster bitkileri, hayvanları, mantarları istila edebilsin ister protoktistleri, canlı hücre zarının dışındaki her türlü virüs etkisizdir. Ancak yine de virüsler, Yeryüzü'ndeki yaşam öyküsü açısından önem taşırlar. Başka canlıların metabolizmalarına bağımlı olduklarından, ilk virüsler büyük olasılıkla bakterilerden evrilmiştir. Gün ışığında yaşayan bakteri hücrelerinin ışınlara maruz kalan kısımları olarak ortaya çıkmış olabilirler.

Yapı bakımından epey karmaşık olan kimi virüsler, elektron mikroskobunda minyatür robotlar ya da şırınga iğneleri gibi görülebilirler. Kendi metabolizmaları olmaksızın nasıl olup da böylesine karmaşık bir yapıya ulaştıkları sorusunu yanıtlamaya yeltenmeyeceğim. Ancak, burada sözünü etmeye değer bir başka nokta, virüslerin bakterilerden ya da insan hücrelerinden daha "mikrop", daha "düşman" olmadıklarıdır. Virüsler hep yaptıkları gibi bugün de, genleri bakterilerin, insanların ve diğer canlıların hücrelerine yayıyorlar. Bakteriyel ortakyaşarlar gibi, virüsler de evrimsel değişimin kaynağıdırlar. Doğal seçim, virüs bulaşmış organizma topluluklarını güçlendirir.

Hücreye dayalı bütün yaşam biçimleri gibi, virüsler de kendi habitatlarından taştıklarında sorun oluştururlar. En çok dikkat çeken Ebola virüsü ve başka virüsler, belirli popülasyonlara çok büyük zarar vermekten sorumlu tutuluyorlar. Virütik kaynaklar ya da ötekiler, genelde ekosistemin zayıflaması ve

bozulması sayesinde aşırı büyür. Beyinlerimizdeki alın loblarından kurtulmak ne denli olasıysa, virüslerimizi yok etmemiz de o denli olası: bizler kendi kendimizin virüsleriyiz.

İki katmanlı (prokaryot-ökaryot) beş alem taksonomisi, evrim tarihini çok yakından yansıtır. Bu nedenle de eski, yanıltıcı bitki-hayvan ayrımına göre çok daha üstündür. Önce bakteriler evrildi. Bunlar pek çok farklı şekle bürünerek dallara ayrıldı: kırmızı, mor ve yeşil; fermantasyon yapan, fotosentez yapan ve soluk alan; sülfit üreten ve oksijen üreten; oval, yılan biçimli ve çubuk biçimli. Ağaca benzer iri bakteriler bile gelişti. Ancak bakteriler yalnızca çeşitlenmekle kalmayıp, birbirinin içini istila ederek orada barınmaya başladılar. Başka bakterileri de içeren besin kaynaklarının çevresinde toplaştılar. Bağışıklık sistemleri de, kendilerini çevreleyen güçlü bariyerleri de yoktu; beslenmeye çalışırken içsel birleşmelere girdiler ve taşıdıkları virüslerle birlikte ya da onlarsız, gen alışverişinde bulundular. Çapraz saldırılardan kurtulanlar, tedirgin ateşkes anlaşmalarına girdiler. Eskiden bağımsız olan bakteriler, birleştikten sonra yepyeni, karmaşık hücrelere dönüştüler. Türleşme başladığında, bu karmaşık hücreler protist oldu. Minik protistler ve kolonileri, çeşitli organizmalar içeren kocaman bir grup oluşturdular. Günümüzde, 250.000 kadar canlı protoktist türü var. Soyu tükenmiş olanların sayısı bundan da fazla. Arkalarında bıraktıkları küçücük kalıntılar, yani mikrofosiller, eskiden var olduklarını bildiriyor bize.

Protoktistler, birleşen tek hücrelerle, erişkin birey oluşturan kuşakların birbirini izlediği, pek çok evrimsel döngüden geçen çekirdekli mikroorganizmalardır. Kimi protoktistlerin ardılları sonunda eşeyli olarak üreyen bitkilere ve hayvanlara dönüştüler. Atalarımızdaki ortakyaşama dayalı bakteriyel eşevrim, protoktist öncüllerimize yol açtı. Her birimiz kocaman birer mikroorganizma kolonisiyiz. Eski protistler, artık gösterişli dokuları ve organlarıyla, son derece iyi örgütlenmiş hayvanlar oldu.

Karlene'le birlikte, üzerinde değişiklik yaptığımız "beş alemli Whittaker taksonomisi"nin, protoktistlerin ortakyaşar bakterilerden; hayvanların, bitkilerin ve mantarların da protoktistlerden evrilişini tam olarak yansıttığına inanıyoruz.[5]

Urbana'daki Illinois Üniversitesi'nden Carl R. Woese, arkadaşlarıyla birlikte, Archaea'dan (eskiden bunlara arkebakteriler deniyordu), Öbakterilerden (diğer tüm bakteriler) ve Ökaryotlardan (bütün çekirdekli yaşam biçimleri) oluşan üç bölümlü, bambaşka bir taksonomi öneriyor. Bu gruplara da "alan" adını veriyor. Woese'nin tüm çekirdekli organizmaları içeren Ökaryot sınıflandırması, bizimkiyle aynı. Ne var ki o, iki bakteri grubundakilerle ökaryatlara aynı konumu tanıyor. Woese'ye göre dört farklı ökaryot alemi (protoktistler, mantarlar, hayvanlar ve bitkiler) tek bir alemde toplanıyor. Bence Woese, prokaryotlarla ökaryotlar arasındaki, yani ortakyaşama dayalı olanlarla olmayanlar arasındaki son derece önemli ayrımı netleştirmek yerine bulanıklaştırıyor.

Woese'nin öteki iki alanı, adlarından da anlaşılabileceği gibi, bakteri alanları. Woese bütün yaşam biçimlerinde bulunan çok önemli uzun moleküllerden biri olan RNA'ları karşılaştırarak, dizilim farklılıklarını, yani RNA'nın kimyasal temelindeki düzeni, bütün organizmaları sınıflandırmakta kullanıyor. Yaklaşık bin çeşit canlıdan veri topladıktan sonra, farklı prokaryotları ya Archaea ya da Öbakteri olarak sınıflandırıyor. Woese'nin Archaea alanının üyeleri bazı halobakterileri, tuzlu suya gereksinim duyan prokaryotları, en çok da asitsever, sıcak kükürt kaynağı bakterileri içeriyor. Archaea içinde ayrıca metan gazı üreten bütün bakteriler yer alıyor.

Archaea, Yunanca "eski" anlamına gelir ve bunların Yeryüzü'ndeki ilk canlılar olduğuna işaret eder. Woese öteki bakterilerin tümünü Öbakteri ("gerçek bakteri") olarak sınıflandırıyor. Daha çok gen dizilimi analiziyle saptanan Archaea-Öbakteri ayrımının doğrulanması için olağandışı bir tek-

noloji gerekir. Aralarındaki farklılıklara karşın Woese'nin üç alanlı sistemi de, beş alemli sistem de, ortakyaşama dayalı evrim görüşüyle uyumludur. Her ikisi de bitki-hayvan ayrımından çok daha üstündür.

Woese'nin üç alanlı taksonomisi, iki tip bakteri arasındaki moleküler farklılıklara, mantarla geyik arasındaki farklılıktan daha çok önem veriyor. Bense bunu gülünç buluyorum. Bugün dünyanın en iyi evrimbilimcisi olan, Harvard Üniversitesi'nden Ernst Mayr da bizimle tamamen aynı fikirde. Bana son yazdığında, bu Woese sisteminin bütün biyoloji ders kitaplarına girdiğini belirtiyor, "Galiba biraz gürültü koparacağım" diyordu. Mayr, arkebakterilerle öteki bakteriler arasındaki benzerlikler ve bakterilerle geri kalan canlılar, yani çekirdekli yaşam arasındaki farklılıklar üzerine teknik bir makale yayımladı.

Bir bakterisever olmakla birlikte, yakın zamanda üzerinde değişiklikler yaptığımız, 1998'de yayınlanan iki katmanlı (Prokaryot-Ökaryot) beş alem şemasının, üç alanlı sınıflandırmaya göre çok daha üstün olduğuna inanıyorum. Burada, bütün yaşam biçimleri içindeki en ayırt edici özellik olan sembiyogenetik olmayan hücre (Prokaryotlar) ile sembiyogenetik hücre (Ökaryotlar) arasındaki karşıtlık en üst düzeye çıkarılıyor. Ardından, bir organizmanın nasıl geliştiğine dikkat çekiliyor: Sporlardan (mantarlar), annenin dokusuyla çevrili embriyolardan (bitkiler), blastula embriyosundan (hayvanlar) ya da bunların hiçbirinden (protoktistler).

Mayr gibi ben de Woese'nin eksik biyolojik sisteminde pek çok sorun olduğunu görüyorum. Bütün canlıları birbirinden ayırırken Woese'nin kullandığı temel ölçüt, tek bir gen, organizmanın RNA moleküllerinden birinin genetik şifresini belirleyen belirli bir DNA parçasıdır. Bu DNA'nın genetik şifresini belirlediği tek RNA, hücre parçacığının küçük alt biriminin bölümlerinden biri olan ribozomdur. Küçük bakterilerin bile her bir hücresinde yaklaşık beş bin gen bulunmasına karşın, Wo-

ese yalnızca bu tek geni kullanıyor. Bence bu yanıltıcıdır. Organizmalar biyolojik yapılarının tamamı temel alınarak sınıflandırılmalıdır. Ayrıca, en az bir protoktistte (*Plasmodium*, sıtma paraziti) bu RNA geninin dizilimi, yaşamının farklı zamanlarında değişikliğe uğruyor. Bir mikroorganizmanın RNA'sı yalnızca birkaç saat içinde değişebiliyorsa, en büyük grubu tanımlamanın en doğru yolu, herhalde bu RNA dizilimi değildir. Bir organizmanın ait olduğu en kapsamlı taksonun, çok daha fazla veriye dayalı olması gerekir. Çoğumuz, büyük organizmaların dört büyük alemini bir bakışta birbirinden ayırt edebiliriz; oysa Woese'nin gen dizilimi yöntemlerine hepimiz erişemeyiz. Üstelik mantarların, bitkilerin, protoktistlerin ve hayvanların tek bir grup içinde birleştirildiği bu sistem, bin bir güçlükle kazanılmış bilgileri bulanıklaştırıyor. Taksonomik düzen, bir bilgi erişim sistemi olmalıdır.

Woese'nin üç alanına başka itirazlarım da var. Hayvanların, bitkilerin ve öteki ökaryotların tersine, prokaryotlar genlerini genellikle birer birer aktarırlar. Arkebakteriler ve öbakteriler aralarında gen alışverişi yaparlar. Bu minik organizmalar, birbirlerine çok benzerler ve tek bir imparatorluğa, aleme, alana, ya da en üst düzey taksona her ne diyorsanız, ona aittirler. Herhangi bir yaşam biçiminin gövde şekli, davranışı ve gelişimi, molekülleri ve içerdiği kimyasal maddelerle birlikte ele alınmalıdır. Muz ağacının kabuğu ile bir köpeğin derisinde tıpatıp aynı gen dizilimleri bulunsa bile, köpekleri muzlarla değil, kurtlar ve çakallarla birlikte sınıflandırmamız gerekir. Botanikçileri, bitkileri çiçekli kısımlarına göre sınıflandırmaya iten cömert taksonomi geleneği, yeni moleküler biyoloji içgörüleriyle, yıkılacak yerde değer kazanıyor. Woese'nin evrensel sınıflandırmaya büyük katkısı olduğunu kabul etmekle birlikte, üç alanlı düzeninin de haddini aştığını düşünüyorum.

Evrime dayalı sınıflandırma sistemlerine geçiş yaygınlaşıyor. Önce bakteriler evrildi. Dallara ayrılarak çeşitlendiler.

Sonra, protoktistler ortaya çıktığı sırada, bakteriyel sembiyogenez sayesinde bu dallar kaynaştı. Zengin bir atalar soyuna sahip olan protoktistlerin kimileri mantar, kimileri de hayvan ya da bitki olarak evrildi. Eski gruplar varlığını koruyor ve çeşitlilik kazanıyorlar. Yeni canlılar geçici ya da kalıcı olabilirler. Bütün türlerin soyu tükenebilir; ancak adları ister alan olsun, ister alem, ister başka bir şey, büyük canlı grupları varlığını koruyor.

Sorunlu olmayan taksonomik düzen yoktur. Bizler bir şeyi önce bir kategoriye sokar, sonra da etiketleyip unuturuz. Yaptığımız sınıflandırmalar önyargılı görüşlerimize uyacak kavramsal kutucuklar üreterek, doğal örgütlenmenin yabanıllığına karşı gözümüzü kör eder. Sınıflandırmalar doğa üzerindeki araştırmalarımızı yansıtmalıdır. İki katmanlı beş alem sisteminin her zaman gözden geçirilmesi gerekecek. İçerdiği sorunlar ne olursa olsun, bu sistem ikili "hayvan-bitki" ayrımının yüzyıllardır süregelen hatalarını tekrarlamıyor. Canlıları üç, beş, ya da bir milyon kategoriye ayırabiliriz, ama yaşam hep bizim bir adım önümüzde olacaktır.

5. BÖLÜM

KÖPÜKTEN* DOĞAN YAŞAM

Ne çok gizemle doludur bir kuyu!
Suyun bu kadar yaşaması—...
Her aklına esip baktığında,
Dipsiz bir boşlukla yüz yüze gelmek gibi! (1400)

Yaşam birimleri, ister bakteriyel olsun ister çekirdekli, hücrelerdir. Gözümüzle gördüğümüz bütün organizmalar çekirdekli hücrelerden oluşur. İlk çekirdekli hücre de, daha önce gördüğümüz gibi, bakteri hücrelerinin birleşmesiyle evrilmiştir. Peki Yeryüzü'ndeki her türlü canlının atası olan bu anlaşılmaz birim nasıl oluşmuştur? İlk hücrenin başlangıcını sağlayan şey nedir? İlk bakteri hücresi nasıl ortaya çıkmıştır? Bu soru, "Yaşam nasıl başladı?" sorusuyla eşanlamlıdır. Tüm yaptığı, fazlasıyla çeşitlenmiş bakterileri yeniden bir araya getirmek, birleştirmek ve bütünleştirmek olan SET'i değerlendirebilmek için, bu farklı bakterilerin nereden geldiğini anlamak zorundayız. Kısacası, köpükten doğan yaşamı anlamaya çalışmalıyız.

Yeryüzü'ndeki ilk hücrelerin ekolojik ortamını araştırmak üzere öğrencilerimle birlikte, birkaç yılda bir Meksika'ya, Baja California Norte'deki San Quintin Körfezi'ne gidiyoruz. Tuz

(*) Köpüz olarak da Türkçeleşen "scum" karşılığı (çn).

alanlarıyla dolu, kıyı gölüne dönüşmüş Laguna Figueroa'nın değişken kıyılarını araştırıyoruz. Burada, altında jelatinimsi çamur bulunan katmanlaşmış, parıltılı, yol yol çökeller var. "Mikrobik örtü" olarak bilinen ve denizin karayla birleşerek dövüp durduğu, canlı bir manzara olan bu rengârenk kıyı alanları beni büyülüyor. Bu bölgenin insan dahil, büyük yaşam biçimlerinin pek çoğu için barınılabilir bir yer olmaması, çalışmalarımız açısından sevindiricidir. Elimi rayihalı mikrobik dokuların oluşturduğu çamura daldırıp, gaz alışverişinin kokusunu duyarım. Ölüm, insanların dünyasında olduğu gibi burada da, ama emir ya da zorunluluk olmaksızın, yaşamın bir parçasıdır. Popülasyonun büyüme potansiyeli sırayla denetlenir ve gerçekleştirilir.

Bu kıyı toplulukları üç milyar yıldan uzun bir süredir varlığını sürdürüyor. Her gün, üyelerinden pek çoğu ölüyor, ancak topluluğun kendisi hiçbir zaman sınırlarının dışına taşmıyor. Burası çayırların en yeşilinden daha da eski bir evrim Cenneti. Burada, bu Yeryüzü dokusunda hayvanlar ve bitkiler yok denecek denli az. Protistler ve mantarlar bile tek tük. En çok bakteriler var. Bu mikrobik örtüye bakarken ayrıcalıklı olduğumu hissederim. İnsanların durmak bilmeyen etkinliklerinin ürünü yığın yığın binaları ardımda bırakmış olmanın heyecanı ve yaşamın en uzak kökenlerini seyretme özgürlüğünün verdiği coşkuyla avunur, mutlu olurum.

Yaşamın kökeni, hayali olması anlamında değilse de, derin bir gizem duygusu uyandırması bakımından, söylensel bir kavramdır. Bilim insanları bile gözlemlerini köken öyküleriyle aktarmak, bu öykülerle bütünleştirmek gereğini duyarlar. İlk yaşam, ilk bakteriyel hücre nasıl ortaya çıktı? İlk bakteriler içinde oluştukları varsayılan ortamdan nasıl farklılaştılar? Böylesi sorular bilimsel araştırmaların alanına girmekle birlikte, bunlara doyurucu yanıtlar bulunması, SET için zorunludur. Ayrı ayrı bakterilerin hücrelerimizi oluşturmak üzere nasıl birleştikle-

rini anlamadan önce, bakterilerin nasıl ortaya çıktıklarını ve neye dönüştüklerini öğrenmemiz gerekir. "Yaşamın kökeni" sorununa ilişkin yanıtlar, çeşitli ülkelerdeki bilim insanlarının ömür boyu süren çalışmalarıyla elde ediliyor. Yeryüzü'ndeki ilk yaşamın bilimsel öyküsü, dünyanın kökenine ilişkin söylenceler içinde en ileri görüşlü olanıdır. Öğrenmek isteyen herkese de açıktır.

En küçük boyuttaki bakteriyel yaşamın, başka bir deyişle ilk yaşamın özellikleri çeşitli yaklaşımlarla çıkarsanabilir. Bunlardan ilki, ortak yönlerini saptamak üzere bütün canlı varlıkların karşılaştırılmasıdır. Buradan tüm yaşamın, ortak ve olmazsa olmaz yönlerinin ilk bakteriyel atamızdan beri süregeldiği sonucuna varılır. Yaşam zinciri, oluşumundan bu yana bir kez olsun kırılmamıştır.

Kökenlere ilişkin ikinci bir yaklaşım, paleobiyoloji, yani ilk yaşamın kalıntıları olan mikrofosiller üzerine yapılan çalışmalar aracılığıyla elde edilir. Kimi mikrofosillerin hangi çağlara ait oldukları saptanabilir. Bu da doğrudan doğruya, içine gömülü oldukları volkanik kayaların kaç yaşında olduğunun ölçümlenmesiyle yapılabilir.

Yaşamın kökenlerini aydınlatmanın üçüncü yolu bir hücreyi yeniden yaratma girişimleridir. Doğanın en küçük boyuttaki ilk durumu, laboratuvar ortamında kimyasal olarak taklit edilir. Bu yolla, yaşamın kimi bileşenleri, daha basit bileşiklerden sentezlenmiş; ancak şimdiye dek bir bakteri hücresinin laboratuvarda yeniden yaratılmasına yaklaşan bir gelişme elde edilememiştir. Elde edilmiş olsaydı bile, acemi taklidimizin hücrelerin en başta meydana geliş biçimini yansıttığı sonucuna varamazdık kuşkusuz.

Bu yöntemleri birlikte kullanarak, Yeryüzü'ndeki ilk hücrenin kökenine ilişkin en olası, en araştırılabilir nitelikteki senaryo üzerinde öteki bilimcilerle görüş birliğine vardım. Hücrelerden önce, hücre benzeri sistemler vardı. Bugün, hiçbir DNA

parçası, hiçbir gen, ait olduğu hücrenin dışında çoğalmıyor. Hiçbir virüs, canlı bir hücreye yerleşmeden sayıca artmıyor. Çıkış noktamızın, günümüzdeki en küçük yaşam birimi olan bakteri hücresi, varlığını sürdürme ve çoğalma olması gerekir.

Kimse yaşamın kökeni sorununu "çözdüğünü" ileri süremez. Hücreyi kimyasal maddelerle üretemesek de, hücreye benzeyen zarla çevrili yapılar, yağ suyla birlikte çalkalandığında ortaya çıkan kabarcıklar kadar doğal bir biçimde oluşuyor. Yeryüzü'nün yaşamın olmadığı ilk zamanlarında, bu tür kabarcıklı yapıların içleriyle dışları birbirinden ayrıldı. Fairfax, Virginia'daki George Mason Üniversitesi'nde profesör ve Krasnow Enstitüsü'nde Bilincin Evrimine İlişkin Araştırmalar Bölümü'nün yöneticisi olan Harold J. Morowitz'in nükteli mayonez kitabında[1] ele aldığı gibi, yaşamöncesinin, yağlı bir zarın içindeki uygun miktarda enerji kaynağıyla, kimyasal bakımdan karmaşıklaştığını düşünüyoruz. Bu yağlı keseler büyüyerek, varlığını sürdürme özelliğini geliştirdiler. Parça alışverişi sayesinde, neredeyse artan bir tutarlılıkla yapılarını koruyabildiler. Kuşkusuz enerji gerekiyordu. Bu damlacıklara ilk önce ulaşan, büyük olasılıkla güneş enerjisiydi; denetimli enerji akışı, hücre yaşamını başlatacak bireyselliğe yol açtı.[2] Yapıları gereği, bu damlacıklardan en kararlıları, en uzun yaşayanları oldu ve sonunda gelişigüzel biçimde, çevreyle sürekli parça alışverişinde bulunarak biçimlerini korudular. Varlığını sürdürmeye yönelik yağlı zarın içinde gerçekleştiğine inandığım sayısız metabolizma evriminden sonra, kimileri, üzerlerine yapışık durumdaki fosfatın yanı sıra nükleosit de içerenler, neredeyse hiç değişmeden çoğalma yeteneğini kazandılar.

İlk bakterilerin nasıl oluştukları konusunda yalnızca tahminlerde bulunabiliriz. Buna karşılık, bugün elimizdeki en eski fosillerin, fosil bakterilerin kalıntıları olduğu düşünülüyor. 3,5 milyar yıldan da eski ve olasılıkla en iyi korunmuş olanları Kuzey Afrika'da ortaya çıktı. Swaziland mikroküreleri adıyla bili-

nen bu fosillerin varlığı, Yeryüzü'nün atmosferiyle, okyanusuyla, kayalarla kaplı katı bir cisim olarak başlangıcından tam 1,1 milyar yıl sonra yaşamın gelişmekte, çoğalmakta ve büyümekte olduğunu gösteriyor. Bu gezegende yaşamın çok eski olduğundan kimsenin kuşkusu yok. Büyük Patlama'nın "tekilliği"nden fırlayarak var olan evrenin kendi tarihi, genellikle ancak 12-15 milyar yıl öncesine uzandığından, Yeryüzü'ndeki yaşamın 1 milyar yıldan uzun geçmişi, yaşamın varlığının, evrenin yaşının dörtte birlik süresine denk geldiğine işaret ediyor. Üstelik, ilk canlının bitki de, hayvan da olmadığından hiç kimsenin kuşkusu yok.

Bizler, bütün canlı varlıkları oluşturan fiziksel malzeme olarak, bir anlamda evrenin başlangıcından beri varız. Kuşkusuz bizim gibi memeliler de dahil olmak üzere, tüm yaşam biçimlerinin bedenlerindeki maddenin aslı, yıldızlardaki süpernova patlamalarıyla ortaya çıkan karbon, azot, oksijen ve öteki elementlere dek uzanıyor olabilir.

Bugün Yeryüzü'ndeki tüm yaşamın; kentlerin, balta girmemiş ormanların, denizlerin, ağaçlıkların ve çayırların sakinlerinin, ilkel bakterilerin ardılları olması size ilk bakışta olanaksız görünebilir. Bir ya da bir avuç bakteri nasıl bu denli olağanüstü olabilir? Ama unutmayın, siz de bir zamanlar tek bir hücreydiniz: Annenizin döl yatağında embriyo olabilmek için bölünerek çoğalan zigot, yani döllenmiş yumurtaydınız. Sonra annenizin kollarında ağlayan bir bebek oldunuz. Tek bir yumurta dokuz ayda, ufacık, savunmasız ve eşgüdümsüz de olsa, bir insan haline gelebiliyorsa, günümüzdeki tüm yaşam biçimlerinin 3 milyar yıl önce tek bir bakteriden kaynaklandığına inanmak zor mu?

En minik bakterilerin en hareketli, metrenin on milyonda biri çapındaki hücreleri, metabolizmalarını durmaksızın çalıştırırlar. Bu da, sürekli olarak yüzlerce kimyasal değişime uğradıkları anlamına gelir. Tamamen canlıdırlar. Yapılan son araş-

tırmalar en küçük, en basit bakterilerin bize çok benzediğini ortaya çıkarmıştır. Bizim kullandığımız bileşiklerin aynısını; proteinleri, yağları, vitaminleri, nükleik asitleri, şekerleri ve öteki karbonhidratları kullanarak, metabolizmalarını durmadan çalıştırırlar. Doğrudur, en basit bakteri bile son derece karmaşıktır. Ama iç işleyişi gene de daha büyük canlılarınkine benzer. En basit hücrelerden birinin, *Mycoplasma geniticulum* adlı bakterinin bütün DNA'larının dizilimi çoktan çözülmüştür. Bu bakterinin genleriyle ilgili tüm ayrıntıları biliyoruz demek ki. Gen dizilimlerini ve metabolizmayı yakından araştırdıkça, tüm canlıların, başlangıcından beri kardeşlerine yani diğer tüm canlılara benzediğini daha iyi anlarız.

Mycoplasma, öteki bütün bakteriler gibi, besin almak, tuz dengesini sağlamak, DNA, RNA ve protein üretmek, varlığını sürdürmek üzere bir kimyasal maddeyi bir başkasına dönüştürmek için durmaksızın enerji kullanır. Bu bakteriler empati yoluyla çevrelerinden farklılaşırlar. Yeryüzü'nün ilk zamanlarındaki en basit bakteri hücresinin, günümüzdeki en küçük hücreler gibi, zaten bir bütünlüğü vardı. İlk küçücük bakteri o denli karmaşıktı ki, DNA'nın yapısını bulanlardan biri olan Sir Francis Crick inanılmaz bir iddiada bulundu. *Life Itself* (Yaşamın Kendisi) adlı etkileyici kitabında, bunaltıcı karmaşıklığı nedeniyle yaşamın Yeryüzü'ne uzaydan gelmiş olması gerektiğini savundu.[3] Bakteriyel yaşamın, Dünya gezegenine ekilmek üzere, dünya dışı bir uygarlık tarafından gönderildiğini ileri sürdü. Crick anlaşılmaz bir ciddiyetle, bir bahçıvan bahçesindeki toprağa nasıl tohum ekiyorsa, canlı yapıların da aynı biçimde çağlar önce Dünya'ya ekildiğini iddia etti. Yönlendirilmiş panspermi ya da "pangenez" olarak bilinen ve yüzyıllardır, yaşamın uzaydan tohum şeklinde geldiğini ileri süren bu görüş, bence Yeryüzü'ndeki evrimi bilmemekten kaynaklanıyor.

Yaşamın kökeni sorununu uzaya havale etmek, entelektüel

bakımdan doyurucu değildir. Yaşamın Yeryüzü'nde değil de başka yerlerde başlaması neden daha kolay olsun ki? Hücresel yaşam nerede başlamış olursa olsun, aynı köken sorunlarıyla karşılaşmıştır. Kendiliğinden oluşum görüşü, türlerin kökenini değil, aldatıcılığın kökenini gösteriyor.

Avrupalılar, kuşaklar boyunca yaşamın köpükte ve pislikte kendiliğinden ortaya çıktığına inandılar. Çürüyen etin kurtçuk ürettiği düşünülüyordu. Eski püskü paçavralardan fareler oluşuyordu. Oysa yakın gözlem ve deneyler, ortada ara canlılar bulunduğunu gösterdi. Biliyoruz ki kurtçuklar, kimyasal olarak ne denli karmaşık olursa olsun, pislikten oluşmuyorlar. Sineklerin bıraktığı, spermle döllenmiş yumurtalardan çıkıyorlar. Öyleyken, Louis Pasteur'den önceki bilimciler, kokuşan etteki kıvıl kıvıl kurtçuklara bakıp yaşamın bozunmadan kaynaklandığı yorumunu getirdiler. 1860'larda Pasteur, kaynatılmış et suyunu havayla temas halinde bıraktı. Bunun için kullandığı uzun kabın ince ve aşağıya doğru daralan boynundan hava geçebiliyor, ama bakteriler ya da başka canlı yapılar geçemiyordu. Ağzı açık bir başka kaptaki et suyu, içinde gelişen bakteri ve mantarlar nedeniyle birkaç günde bozuldu. Pasteur'ün ağzı aşağıya bakan kapalı "kontrol" kabında hiçbir bozulma olmadı. Bozulmayan bu et suyu, Paris'teki Pasteur Enstitüsü'nde hâlâ sergileniyor. Kendiliğinden oluşumun son savunucularının düştüğü yanlışlığı Pasteur çarpıcı biçimde kanıtladı. Yavru köpekleri, dişi ve erkek köpekler, bebekleri kadın ve erkekler yapar. Sinekler kurtçuklardan, fareler döllenmiş anne farelerden gelir. Bütün bunlar gibi, mikroplar da önceden var olan mikroplardan ya da en azından iki cinsiyetli bir mikroptan gelir.

Gene de bu öykünün biraz düşündürücü bir yanı var: Dinine bağlı bir katolik olan Pasteur, bu bulgusundan, bugün bizim de yaptığımız gibi, yaşamın önceden var olan aynı tür bir başka yaşamdan doğmuş olması gerektiği sonucunu çıkardı. Ama Pasteur için bu, evrim diye bir şeyin olmadığı, çeşitli ya-

şam türlerinin yalnızca Tanrı tarafından yaratıldığı anlamına geliyordu. Günümüzün bilim insanları bu savı tersine çeviriyorlar: Yaşam, her şeye gücü yeten Tanrı'nın eliyle değil, kesinlikle, bir ilk yaşamdan doğdu ve bu ilk yaşamın kökeni, güneş sistemindeki canlı olmayan bir maddeydi. Düşündürücü olan da bu işte.

Pasteur'ün de gösterdiği gibi, bakteriler bizim kadar canlıdırlar. Bakterilerin varlığı hastalıklarla, gıdaların bozulmasıyla ilişkilendirilir. Pasteur'ün çarpıcı deneyleri, ardında büyük bir iz bıraktı. Şu görüşün yerleşmesini sağladı: Bulaşıcı, neredeyse şeytan icadı bakteriler, ortadan kaldırılması gereken "mikroplar"dır. Çağdaş tıbbın kaydettiği büyük başarılar, mikropların düşman olduğu görüşünü pekiştiriyor. Temizlik, cerrahi aletlerin sterilize edilmesi, özelikle de antibiyotikler, mikrobik saldırganlara doğrultulmuş savaş silahları olarak tanımlanıyor.

Mikropların dostumuz ve atamız olduğu yolundaki çok daha dengeli görüşü aklına getiren yok gibi. İçinde yaşadığımız kültür, bin bir güçlükle ortaya çıkarılmış bir olguyu, bu hastalık "yapıcıların", bu "mikropların" yaşamı başlattıkları gerçeğini görmezlikten geliyor. Atalarımız olan mikroplar, birer bakteriydi.

İlk bakteriler nereden geldi?

Pasteur'ün de, başkalarının da başarıyla gösterdikleri gibi, bugün artık kendiliğinden oluşum diye bir şey yok. Ancak, yaratılışçılarla öteki dogmacılar bu Pasteurcü gözlemi yanlış anlayarak, yaşamın *asla* yaşam dışından doğmadığını öne sürdüler. Kimi bilgi kuramcıları, yaşamın kendini yaşam dışından, moleküllerin gelişigüzel etkileşimleri yoluyla örgütlemesinin, yaşamın tanrısal kökenli olduğuna ilişkin "matematiksel bir kanıt" bulmak denli olanaksız olduğunu ileri sürüyorlar. Bence, yaşamın moleküllerin gelişigüzel karışımıyla başladığı varsayımı yetersizdir.

"Yaşamın kökenleri sorunu"na ilişkin doğrudan deneyler

1953'te başladı. O zamanlar Chicago Üniversitesi'nde, Nobel ödüllü Harold C. Urey'nin yüksek lisans öğrencisi olan, yirmi iki yaşındaki Stanley L. Miller, cam laboratuvar gereçlerini, dipteki sterilize suyun yüzeyinde dolaşan gazlarla doldurdu. Yeryüzü'nün ilk zamanlarındaki kimyasal ortamın bu temsili minyatürüne bir hafta boyunca elektrik akımı vererek şimşek etkisi yarattı. Kâğıt kromatografisi yöntemiyle, kendiliğinden oluşan pek çok organik bileşikten kimilerini ayırdı. Bu bileşikler arasında, bütün proteinlerde ve canlı varlıkların bütün hücrelerinde bulunan alanin ve glisin adlı iki amino asit olduğunu fark etti. Miller ve Urey büyük bir keyifle, yaşamın kimyasal bileşenlerinin bu tür "kendiliğinden oluşum"unun, kimyasal etkileşimin doğal bir sonucu olduğu çıkarımına vardılar.

Biz, Stanley Miller'ın bulduğuna benzer organik bileşiklerin uzayda ya da Yeryüzü'nün ilk zamanlarında, daha basit öncüllerden kendiliğinden oluştuğunu düşünüyoruz. Kuşkusuz, Miller ve Urey, Yeryüzü'nün ilk zamanlarındaki yüzey ortamının özelliklerini yalnızca tahmin edebilmişlerdi. Miller'ın cam düzeneğinde kullandığı gazlar; yani hidrojen, su buharı, amonyak ve metan, makul görünüyor. Bu gazların tümü hidrojen bakımından zengindir. Güneşteki temel element olan hidrojen, bütün evrendeki madde kütlesinin yüzde doksanından fazlasını oluşturur. Miller, güneş sistemi tarihinin ilk zamanlarında, iç gezegenlerde hidrojenin bol bulunduğunu düşünmüştü. Böylece yaşamın, Miller'ın kabının içinde yüzen ya da kenarlarına yapışan maddeye benzer, karmaşık, "mineralimsi" bir yapıdan kaynaklandığını anlatan "ilkel çorba" kavramı doğdu. Yeryüzü'nün, yaşamın başlangıcından çok önceleri, güneş ışığının ve başka enerji kaynaklarının sentezi olan organik bileşiklerle dolu olduğunu düşünüyoruz. Miller'ın yaptığına benzer bir deney, gezegensel ölçekte gerçekleşmiş olabilir. Stanley gibi yirmi iki yaşındaki bir insan, laboratuvarda birkaç gün içinde

amino asit üretebiliyorsa, Yeryüzü laboratuvarı binlerce ya da milyonlarca yıl süren bir deneyle neden yaşamı üretemesin?

Çok daha yakın tarihli deneyler, yaşam öncüllerinin, Yeryüzü'nün ilk zamanlarındaki ortama benzetilen laboratuvar koşullarında doğal olarak üretilebileceğini doğruladı. Ne var ki moleküller gelişigüzel birleşmezler; karbon, hidrojen, azot, fosfor, kükürt ve yaşamın öteki elementleri, kimya kurallarına uygun biçimde etkileşimde bulunurlar. Termodinamik denilen ısı ve enerji biliminin, moleküllerin uymak zorunda olduğu yasaları vardır. Belirli kimyasal tepkimelerin gerçekleşmesi, diğerlerine göre daha olasıdır; bütün kimyasal birleşimlerin eşit derecede olası olduğunu ileri süren görüş, yaşamın olanaksızlığının hesaplanmasına yarayabilir, ancak doğru değildir. Üstelik, yaşamın başlangıçtan itibaren hücre benzeri yağ damlacıklarında evrildiğini varsayarsak, varlığını şaşırtıcı biçimde sürdürebilen sistemlerin ortaya çıkması olasılığı da artar. Bunu ise bir karmaşıklık eğilimi izler.

Bence şu sıralarda yaşamın kökenine ilişkin en heyecan verici araştırma, dostum Harold Morowitz'inkidir. Morowitz biyolojideki uzay, zaman ve nedenselliğe, bir de "belleği" ekliyor. Biyolojinin, fizikle tarih arasında bir köprü olduğunu savunuyor. Yeryüzü'ndeki en eski kayalar, Grönland'daki Isua kayalıklarındakiler de dahil olmak üzere, neredeyse dört milyar yıllıktır. Tüm yaşamın, doğrudan ölçümle tarihlendirilemeyen kimyasal bir belleği vardır. Günümüzün hücrelerinin metabolizma bellekleri, büyük olasılıkla en eski kayalardan bile daha eskilere dayanmaktadır. Kimi metabolizma yolları, sözgelimi yağlı bileşiklerden kolesterol gibi steroitlere ulaşan enzim basamakları, Morowitz'in de işaret ettiği gibi yalnızca hayvanlarda bulunur. Kimisi de "birincil metabolizma"nın bileşenleri olup bütün canlılardaki ortak metabolizma yollarıdır. Belirli karbon-kimyasal metabolizma yolları tüm metabolizmalar için gerekli olduğundan, hücrenin kendi varlığını sürdürme olgusu-

nun dayandığı ve başlangıçtan bu yana var olan ilk örnekler, tüm metabolizmaların temelindeki karbon, azot, kükürt ve fosforun kimyasal etkileşimleri, her zaman her hücrede korunmalıdır[4]. Hücrenin yaşamsal önem taşıyan metabolizması çevresel kısıtlamalar, ölümcül DNA mütasyonu ya da başka müdahalelerle engellenirse, hücre ölür.

Doğadaki gitgide karmaşıklaşan kimyasal sistemler, kendilerini çoğaltma yetenekleri olsa bile, mutlaka canlı değildirler. Böyle sistemlere *otokatalitik* denir. Otokatalitik sistem, son ürünü başlangıç noktasındakiyle aynı olan bir dizi döngüsel kenetlenme tepkimesinden oluşur. Bu tepkimelerin bir kısmı, istikrarlı bir duruma kısa sürede ulaşmak yerine devam ederek tekrarlandıkları için, "kimyasal saat" olarak nitelendirilir. Belousov-Zhabotinsky sistemi, kendiliğinden süren bir dizi renkli tepkimedir. Malonik asit; seryum, demir ya da manganez atomları içeren bir sülfürik asit çözeltisinde bromatla okside edilir. Bu kimyasal maddeler birbirleriyle tepkimeye girip tepkimeler defalarca tekrarlanırken, son bir istikrarlı modele ulaşmadan önce saatler boyu süren eşmerkezli, eksen üzerinde dönen spiral dalgalar oluşur. Termodinamik analize tabi tutulduğunda, bu tepkimelerin Nobel ödüllü Belçikalı Ilya Prigogine tarafından açıklandığı gibi, dağıtıcı yapılar olduğu görülür. *Dağıtıcı yapı*, işlevini, yararlı enerjiyi özümseyip yararsız enerjiyi, genellikle de ısıyı dağıtarak sürdüren bir sistemdir. Dağıtıcı yapıların tepkimeleri, yaşamla ve yaşam içinde evrilmiş kimyasal sistemlerle birtakım ortak özelliklere sahiptir. Ancak, dağıtıcı biçimde yapılanmış olsun olmasın, tüm kimyasal sistemler, yalnızca kısa sürelerle çalışmaya devam edip madde oluşturur, sonra da ayrışırlar.

Termodinamik analizler ve bilimsel deneyimlerden, kesintisiz devinimli makinelerin varolamayacağını anlarız: Enerji kendiliğinden kaybolmaz, ama geri döndürülemez biçimde dönüşür. Harcanan enerji geri alınamaz. Yüksek kaliteli enerji, yani

iş yapabilen enerji, zamanla kaybolma eğilimi gösterir. Kardan adam erir ve yeniden oluşmaz. Tabaklar ve bardaklar sık sık kırılıp dökülürken, parçaları ender olarak bir araya getirilir. Bir odayı dağıtmak, toplamaktan çok daha kolaydır. Termodinamikte dağınıklık egemendir. Enerjinin kaybolması, nesnelerin bir daha birleştirilemeyecek biçimde dağılması, doğanın kaçınılmaz gerçeği, yasasıdır. Yaşam, kendi karmaşık düzeniyle, termodinamiğin düzensizliğe doğru önlenemez eğilim yasasını çiğnemez. Yaşam, kendine özgü yüksek kaliteli enerji kaynağına her zaman gereksinim duyar. Güneş ışığı, tıpkı kimyasal enerjinin Belousov-Zhabotinsky tepkimesi içinden geçmesi gibi, yaşamın içinde hareket eder, çevrimlere güç verir.

Ancak hücreler büyüyüp kendilerine benzer daha çok hücre oluşturmak üzere çoğaldıkları için, yaşam bir kez geliştikten sonra, yaşam kimyası hiç kesintiye uğramadı. Çevrimsel yaşam, sürekli bir enerji ve besin kaynağı bulunması durumunda kendini sonsuza dek çoğaltacaktır. Kimyasal sistemlerde kendilikler [*selves*] yoktur, *kendilikler* çoğaltılamaz. Yaşamsa, organizma olsun, hücre olsun, hep kendilikler dizisi olarak tanımlanmıştır. Organizmalar ya da hücreler, varlıklarını sürdürebilmek için enerji harcamak zorundadırlar; ama bunu geçmiş yaşamla koparılamaz bir bağlantı içinde yaparlar. Yaşam, başlangıcından bu yana, hem de kesintisiz olarak, geçmişine kimyasal açıdan bağlı kalmıştır.

Morowitz, daha çok yirminci yüzyılın başından beri yüzlerce bilim insanının çalışmasıyla geliştirilen canlı organizmaların genişleyen metabolizma şemasının, insanlığın en büyük ve en anlaşılamayan entelektüel başarılarından biri olduğuna dikkat çekiyor. Önemli metabolizma parçalarının, hücrelerin iç içe geçmiş kimyasal tepkimelerinin şifresini çözen Nobel ödüllü çalışmalar vardır. Ancak bildiğim kadarıyla, metabolizma bilgisinin çok sayıdaki ayrıntılarını tek bir tutarlı bütün haline geti-

rerek yaşamın en eski tarihine mercek tutmaya çalışan tek kişi Morowitz'dir.

Yaşam, özünde bir bellek saklama sistemi olduğu için, kökenini açıklamak üzere ortaya atılan kimi senaryolar bana hiç olası gelmiyor. Kristalin, camın, koaservatın*, kilin, demir piritin (yalancı altın) yaşamöncesi ilk kimyasal sistemlerin anahtarları olduğu öne sürüldü. Bu görüşlerin savunucuları, yaşamın doğduğu yer olarak kayalardaki oyukları ya da kil parçacıklarını gösterdiler. Hemen hemen bütün canlı varlıkların zarla çevrili hücrelerinde içi sıvı dolu boşluklar vardır. Buna benzer boşluklar olan ve *lipozom* adıyla bilinen kimyasal keseler de doğal olarak oluşurlar. Bu lipozomlar, yani zar kesecikleri, 'yaşamın kökeni' deneylerinde kendiliğinden ortaya çıkarlar. Yaşamın ilk doğal mimarisini demir piritin, kilin ya da camın değil de bu tür damlacıkların temsil etmesi, bana çok daha olası görünüyor. Yaşamın sürekliliği, yaşamın belleği ilkesi burada uygulanabilir. Bence, DNA ya da RNA'ların serbestçe yüzdüğü şu dillere destan ilkel çorba hiç var olmadı; çünkü nükleik asitlerin (DNA, RNA) yok edilmeleri, kendiliğinden oluşmalarından çok daha kolaydır. Zarlı yapılar yaşamın olmazsa olmaz koşuludur. Günümüzde kimliği ve bütünlüğü olan zarla çevrili varlıklar, hücrelerdir. Yaşam kendi hücresel bütünlüğü içinde doğar. Günümüzün hücreleri, Morowitz'in dediği gibi "sanal fosiller"dir.

Günümüzün bütün hücrelerinde genler, DNA'dan oluşur. DNA'nın çok benzeri olan RNA, protein sentezi için tüm hücrelerde gereklidir. Tıpkı yazdığımız sözcüklere harf diziliminin anlam kazandırması gibi, doğru amino asit dizilimi de bir proteinin yapısının büyük bir kısmını oluşturarak o proteinin görevini belirler. Boyları ve biçimleri değişken olan proteinlerin yüzlerce işlevi vardır. Kimi proteinler sodyumu, hidrojeni, fos-

(*) Değişik yoğunluktaki koloidal eriyik tabakalarının üst üste gelerek oluşturdukları çok fazlı sıvı sistemi.

fatı, potasyumu ve diğerlerini, yani iyonları pompalar. Kimi proteinler, pigmentlere tutunmuş olarak, koyu renkli gözlerde, lekeli ciltlerde, yeşil siyanobakterilerde ve alg plastidlerinde, enerji emicilerini sağlar. Kaslar temelde proteinlerden oluşur; kan, deri ve dil, hücrelerde bir araya gelmiş çok sayıda protein karışımlarıdır.

Hücreler iki bölümlü bir sisteme göre çalışırlar. Birincisi, genlerini kopyalar ya da "çoğaltırlar". Bu gen yapımı aşaması, DNA sentezidir. DNA kopyalanır ve kalıtım bilgisinin bir kopyası saklanır. Öteki kopya, "çevrilir": Genomun* seçilen parçalarının özdeş baz dizilimleri RNA'ya dönüştürülür. Hücrenin içinde, ribozom adı verilen küçük "fabrikalarda" RNA, uzun zincirli proteinlerin üretimini yönetir. Hücre başına düşen üç bin ile on bin arası farklı protein, organizmanın gövdesinin büyük bir kısmını oluşturur. Büyüme, sonuçta protein sentezi (ve kuşkusuz su alma) anlamına gelir. Sıvı yüklü, zarlı bir kesenin içinde DNA, RNA ve protein hep birlikte, hücrelerin varlığını kendi kendine sürdüren yapısını oluştururlar. Buna karşılık RNA molekülü, DNA tamamlayıcısına göre daha beceriklidir. Uygun ama proteinsiz bir kimyasal ortamda RNA, otokatalitik olarak kendini çoğaltabilir. Oysa DNA, çoğaltma işlemini tamamlayabilmek için hem RNA'ya hem de enzim proteinlerine gereksinim duyar; DNA tek başına cansızdır. RNA'nın kimyasal tepkimeleri hızlandırma ve çoğaltma kapasitesi, yaşam tarihinde RNA'nın DNA'dan önce geldiğini düşündürür. RNA'yı yaşamöncesinin yakınlık göstergesi olarak kullanabiliriz. Kimliğini koruyan ve kendini gitgide çoğaltan en küçük varlık, canlı hücredir. Başlangıçtan itibaren yaşam, RNA gibi gen molekülleri ile onları bulundukları ortamdan ayıran yağlı zarın birbiriyle etkileşiminden oluşan canlı bir hücreydi.

Fizikçi Freeman Dyson, ilk yaşamın, görece biçimsiz "protein yaratıkları" ile süper molekül RNA'nın bir araya gelmesiy-

(*) Genetik malzemenin tümü.

le oluşan moleküler ortakyaşamdan doğduğunu ileri sürüyor. Çoğumuz gibi Dyson da, DNA gibi kendini çoğaltabilen ama DNA'dan farklı olarak, ayrıca amino asitleri protein dizilimlerine yönlendiren süper molekül RNA'nın önemini kavramış durumda. Bence Dyson, *ortakyaşam* sözcüğünü yanlış kullanıyor ama, makromoleküler dizilimlerin bağımsız gelişimlerinden sonraki güçlü etkileşimlerine ilişkin öyküsü gene de övgüye değer.[5]

Dyson'ın da bildiği gibi, RNA molekülünün benzersiz yetenekleri laboratuvar deneyleriyle doğrulandı. 1960'ların sonlarında Almanya'daki Göttingen Enstitüsü'nde Nobel ödüllü fizikçi Manfred Eigen, RNA moleküllerinin deney tüplerinde kendi kendilerine çoğaldıklarını gösterdi. Eigen ve aralarında Columbia Üniversitesi'nden Don Mills ile Urbana'daki Illinois Üniversitesi'nden müteveffa Sol Spiegelman'ın da bulunduğu meslektaşları, deney tüpündeki RNA moleküllerinin mütasyon geçirerek "ana-babalarından" daha hızlı çoğalan yeni RNA moleküllerine dönüştüğünü ortaya koydular. Test tüpündeki RNA molekülleri kendi başlarına, tıpkı çözelti içindeki virüs, protein ya da DNA gibi cansızdırlar. Buna karşın, gereken destek sağlandığında, moleküler sistemler deney tüplerinde çoğalabilir ve mütasyona uğrayabilirler.[6]

Colorado Üniversitesi'nden Thomas Cech ve Yale Üniversitesi'nden Sidney Altman, 1980'lerin başlarında, henüz çok gençken, önemli bir buluş gerçekleştirdiler. Belirli RNA molekülleri çoğalmakla kalmayıp ayrıca, protein gibi davranarak birbirlerine eklenip birleşiyorlardı. Böylece kendi moleküler yapılarını yeniden düzenleyebiliyorlardı. Cech ve meslektaşları hiçbir kuşkuya yer bırakmaksızın, RNA'nın genetik malzemesini yeniden düzenleyip örgütleyebilen bir tür protein gibi davrandığını kanıtladılar. RNA'nın bu türüne "ribozim" adı verilir. Biraz RNA ve küçük yedek parçalarla (ribonükleotit diye

adlandırılan kimyasal maddeler), bu ribozimler deney tüpünde kendi kendilerine gelişirler.

Bu RNA karışımının, lipozomla çevrili olsun ya da olmasın, hâlâ bir hücre olmadığını hatırlatmak isterim. Bir şişedeki RNA ve/veya DNA molekülleri hiçbir biçimde canlı değildirler. Dışarıdan müdahale edilmediğinde, deney tüpündeki RNA ya da DNA, tek başına virüs bile değildir. Yalnızca oraya giren bakterilere, protistlere ve mantarlara besin olabilir. Oysa deney tüpünde gelişen RNA molekülleri biyokimyasal evrimin yaşamdan önce oluştuğunu düşündürüyor. San Diego'daki California Üniversitesi'nden Gerald Joyce ve Jack W. Szostak, RNA'nın çoğalmasını hızlandıran ribozimler oluşturdular. Harvard Üniversitesi'nden Nobel ödüllü bilim adamı Wally Gilbert, "RNA dünyası" diye çarpıcı bir deyim icat etti. Gilbert öteki iyi önerilerinin yanı sıra, çoğalan ribozim rolündeki RNA'nın, ilk canlı hücrenin nüvesini oluşturduğunu ileri sürerek RNA'nın gücüne dikkat çekti. RNA'nın metabolizmayı hızlandıran tepkimeleri ile çoğalan moleküllerinin, bütün DNA kaynaklı moleküllerden önce oluştuğu konusunda Wally'ye katılıyorum. Bununla birlikte, Morowitz'in de altını çizdiği gibi, RNA ve DNA tipi metabolizmaların *ikisi de* hücrenin *içinde* yaşarlar.

Hiçbir yaşam biçimi, kendi varlığını sürdüren, kendi kendine çoğalan hücrenin dışında var olamaz. Yeryüzü'ndeki yaşamın en küçük parçaya indirgenmiş şekli hâlâ son derece karmaşıktır. Yalnızca zarla çevrili küçücük bir küre olan çepersiz bir bakteri hücresi bile bir dizi moleküler etkileşime, on beş türden çok DNA ve RNA'ya, beş yüz farklı tür içinde toplamı beş bine ulaşan proteine gereksinim duyar. Tek başına RNA, tek başına DNA, tek başına herhangi bir virüs canlı değildir. Bütün canlı hücreler, ilke açısından bile, herhangi bir gen ya da virüsten çok daha karmaşık bir yapıya sahiptirler. Hücreler parça alışverişinde bulunurlar; çevrelerinden aldıkları besin

maddeleri ve enerjiyle, varlıklarını kesintiye uğramaksızın sürdürürler. Morowitz'e katılıyorum: İlk yaşam biçimleri, bugün de yaşayan örnekleri gibi, kendi varlığını sürdüren zarla çevrili hücrelerdi.

Morowitz, süreklilik ilkesini kullanarak, ototrofların, yani kendi besinlerini ve kendi enerjilerini organik olmayan maddelerden üreten bakterilerin, zarla çevrili ilk hücreler oldukları sonucuna varıyor. Fototrofiar yemek zorunda değildirler; enerji olarak güneş ışığını kullanırlar. Kemotroflar da yemek zorunda değildirler; enerji olarak ışığın yardımı olmaksızın, hidrojen bakımından zengin kimyasal maddeleri kullanırlar. Fototrofiar da, kemotroflar da, karbonu atmosferdeki karbondiyoksitten (CO_2) alırlar. Her ikisi de organik bileşikleri yemez; yani, besin almaz. Bitkiler; siyanobakteriler; amonyak, sülfür ve metan oksitleyen bakteriler birer ototroftur.

Ototrofun karşıtı, besin yiyen organizma (otobur, algobur, bakteriobur, etobur, ya da kendi cinsinden olanı yiyen), yani heterotroftur. "Besin yemek", önceden oluşmuş organik maddenin alınması demektir. Tüm heterotroflar, ototrofların ürettiği organik molekülleri yer. Ototroflar ise besin olarak havayı, çoğalmak için de güneş ışığını "yer", ya da hidrojen gazı (H_2), metan (CH_3), hidrojen sülfür (H_2S), amonyak (HN_3) gibi hidrojen bakımından zengin bileşiklerin zararlı gücünü kullanırlar. Ototrofların enerjisi tıpkı ateşe benzer; hidrojen bakımından zengin bileşikler, oksijenle tepkimeye girer. Morowitz, Yeryüzü'nün ilk cansız jeokimyasına hâlâ çok yakın olan ototrofların, hepimizin türediği ilk örnek olduklarını düşünüyor. Ayrıca, ototrofların yaşamın ilk termodinamik çevrimlerine yakın olmaları nedeniyle, kemotrofik yaşam biçiminin de fototrofik yaşamdan önce oluştuğunu öne sürüyor.

Morowitz, seminerlerinde camdan soğanın kimyasal tabakalarını birer birer açığa çıkarıyor. Biz de sohbete katılıp onu dinliyoruz. Yaşam tarihinin, canlı bugününden kımıltısız kim-

yasal geçmişine doğru izlenmesinde öğrencilerimle birlikte Morowitz'e ve başkalarına yardımcı olmak hoşumuza gidiyor. Organellerin nasıl evrildiğini ortaya çıkarabilmek için, canlı organizmalar öncesi kimyadan hücreye dayalı yaşama nasıl geçildiğini bilmemiz gerekir. Organeller doğrudan doğruya yaşamöncesinde mi oluşup karmaşıklaştılar? Yoksa geçmişleri bakterilere mi uzanıyor? Bu konu üzerinde çok düşünüyor ve okuyorum, laboratuvarda ve derslerde öğrencilerimle ve meslektaşlarımla yaptığım şeyler ise, farklı. Doğrudan doğruya yaşamla; mikroplarla, öteki canlı hücrelerle ve onlara ait parçalarla uğraşıyoruz. Çalışmalarımızın konuları bakteriler, protoktistler, bitkiler ya da mantarlar. Öğrencilerimle ve meslektaşlarımla, mikrobik öncüllerinden başlayarak yaşamın tarihini araştırıyoruz. Büyüme ve çoğalmayı gözlüyoruz; protoktistlerde cinselliği ve fiziksel olgunlaşmayı izliyoruz; bakterilerin ve protoktistlerin çevreden gelen "kışkırtmalara" verdikleri tepkileri ölçüyoruz. Topluluğa dayalı kalıcı yapılar kurdukları için, özellikle de bu mikropların davranışları, zengin sosyal yaşamları ve çökeltilerle aralarındaki etkileşim merakımızı uyandırıyor.

Hücrelerin, köpüğümsü kimyasal maddelerden oluşumu bir ya da birkaç seferde gerçekleşmiş olabilir. Her iki durumda da, soyumuzun ilk hücreleri zarla çevrili, RNA ve DNA temelli, kendi varlığını sürdüren protein sistemleriydi. Bunlar, hücre yapılarının ayrıntıları ve metabolizma davranışları bakımından bize çok benziyorlardı. İçerdikleri malzeme bileşenlerini sürekli olarak dış ortamla değiş tokuş ettiler. Besin ve enerji aldıkları için atık maddeleri dışarıya bıraktılar. İçlerini çevreden aldıkları kimyasal maddelerle takviye ettikleri için, biçimsel düzenlerini sürdürdüler. Aslında metabolizma yapan en eski bakteriler, parçalanma tehlikesi ya da termodinamik ölüm karşısında kendilerini yeniden oluşturmakta öylesine başarılıydılar ki bugün bedenlerimizin içi, kimyasal olarak, Yeryüzü'nde yaşamın başladığı zamanlardaki dış ortama, bugünkü oksijen ba-

kımından zengin dünyamıza olduğundan daha yakındır. Her zaman için büyüyen ve bölünen hücrelerden oluşan yaşam, geçmişini kimya bakımından tam olarak korumuştur. Yaşam kitabı ne matematik dilinde ne de İngilizce yazılmıştır; bu, karbon kimyasının dilidir. Kimya dilini "konuşan" bakteriler, küresel bir ölçekte farklılaşmış ve birbirleriyle sohbet etmişlerdir. Yüzenler, glükozu yani şekeri indirgeyenlere tutunmuş, böylece yüzme gücü oluşmuştur. Yüzme, glükoz indirgeme ortaklığı, protistlere yol açmıştır. Gerisi ise tarih, yani tarihe ilişkin benim SET görüşümdür.

6. BÖLÜM

HAYVAN CİNSELLİĞİ

Meteliksizse sevgili
Acınasıdır diz çöküşü
Sevgilinin varsa malı mülkü
Farklıdır görünüşü— (1314)

Cinsellik nazik bir konudur. Yaşamın evrimi boyunca cinselliğin temelinde, birbirini tamamlayıcı cinslerden oluşan hücrelerin geçici ya da uzun süreli birlikteliği vardır. Cinselliğin özü, biyolojik olarak, genlerin çiftleşen hücrelerde yeniden bir araya gelmesine olanak tanıyacak denli güçlü bir cins çekiminden ibarettir. Buluşup birleşen cinsiyet kazanmış hücrelerden, genetik yapı bakımından farklılaşmış yeni canlılar ortaya çıkar. Hayvanlara özgü cinsellikte, yeni canlılardaki genlerin yarısı yumurtadan, öteki yarısı da sperm hücresinden gelir.

Bakterilerde gen aktarımı, bir bakterinin genlerini bir diğerine vermesiyle gerçekleşir. Bakterilerde yarı yarıya katkı söz konusu değildir. Bakteriler, genellikle her defasında birkaç tane olmak üzere, genleri kelimenin tam anlamıyla toplarlar. Verici "erkek" bakteri, canlı bir alıcı "dişi" bakteriyle fiziksel temas kurduğunda onunla çiftleşebilir. "Dişi" tıpkı "erkeğe" benzer. Gen alımı, alıcı bakterinin ölmüş bir vericinin suya ön-

ceden bıraktığı genleri kapmasıyla, gelişigüzel bir toplama şeklinde de gerçekleşebilir. Toplanan genler vitamin üretimi, gaz boşaltımı ya da yaşama şansını artıran öteki bireysel özellikler için kullanılır. Bu genler kimi zaman da alıcının yaşamını tehlikeye sokan zehirlerin atılmasına yarayan proteinleri kodlar. Bakterilerde cinsellik her zaman tek taraflıdır. Alıcı hücreye herhangi bir yerden; sudan, bir virüsten, canlı ya da ölü bir vericiden yalnızca genler geçebilir.

İnsanlarda cinsellik, diğer bütün hayvanlarda olduğu gibi, şaşırtıcı ölçüde farklı bir süreçtir. Mayoz bölünmeye dayalı cinsellik olarak bilinen bu hücre kaynaşmalı cinsellik, bitkilerde de hayvanlarda da aynıdır. Mayoz bölünmeye dayalı cinsellik, tercihe bağlı bir durum değildir. Bitkiler ve hayvanlar, genleri DNA bakımından zengin sulardan "içmezler". Erkeğin sperm hücreleri dişinin yumurta hücrelerine tutunur, bunu da kaynaşma izler. Döllenmeyle embriyo gelişimi başlar. Bitkilerde de, hayvanlarda da, başlangıçtaki yumurta ve spermde sadece bir kromozom dizisi varken, tek bir yeni hücre olan zigotta, yani döllenmiş yumurtada, artık iki kromozom dizisi bulunur. Döllenmiş yumurta daha sonra, sayısı ikiye katlanmış hücrelerinin bölünmesiyle büyümeye başlar. Bir hücre ikiye, iki hücre dörde, dört hücre sekize bölünür ve bu şekilde devam eder. Embriyoyu birlikte oluşturduklarından, hücrelerin hepsi birbirlerine yapışık durumdadır. Döllenmiş yumurta, kendi türünün tanınabilen bir üyesi haline gelir. Embriyodan gelişen bu yeni iribaş, yosun gövdesi, tohumlu bitki, sürüngen, ağlayan bebek, ya da çok hücreli bir başka genç varlık, hayvanlarla bitkilerin birbirleriyle, geri kalan canlılarla olduklarından çok daha yakın ilişki içinde bulunduklarının canlı bir kanıtıdır. Embriyo oluşturmayan pek çok canlının cinsel yaşamı, bitkilerin ve hayvanlarınkinden önemli ölçüde farklıdır. Bakterilerin ve sembiyogenezle ortaya çıkan mikrobik ardıllarının (protoktistler ve mantarların), başka türlü cinsel alışkanlıkları vardır.

Bakteriler bol bol çoğalırken, bu işi yapmak için cinselliğe gerek duymazlar. Çevreden gelen beklenmedik olaylara tepki niteliğindeki bakteri cinselliğine ender rastlanır. Buna karşılık, bitkilerde ve hayvanlarda cinsel yaşam, embriyonun oluşumu için kesinlikle gereklidir. Bitki ve hayvanların yaşam tarihi cinsellik olmadan açıklanamaz. Bitki ve hayvanların yaşam döngüsünün başlangıcında sperm çekirdeği, yumurta çekirdeğiyle kalıcı biçimde kaynaşır. Bu kaynaşma, döngüsel ortakyaşam birleşmelerinden kalmadır: Ortaklar birbirini tanır.[1] İçlerinde hücre elçileri barındırırlar. Hücre zarları, (en azından) çekirdeklerin geçebileceği kadar açılır. Gevşeyen zarlar, âşık hücreler kaynaşırken eski hallerine dönerler. Açık ve savunmasız yumurta, içindekileri dökmeyip yalnızca doğru sitoplazma ve çekirdeklerin girmesine izin vermesi gerektiğini "bilir"!

Cinsel süreçler, yani birbirine çekilen varlıkların birleşmesi, ilk ortakyaşamlar gibi başlamış olabilir. Hem cinselliğe hem de ortakyaşama dayalı kaynaşmalarda, açlık büyük olasılıkla çaresizleri birleşmeye iten başlıca etken olmuştur. Cinsel eyleme katılan hücreler ise, tanımları gereği, aynı türün üyeleri olan cinsiyet kazanmış bireylerden aldıkları genleri ve sitoplazmayı temsil ederler.

The Origins of Sex (Cinselliğin Kökenleri) adlı kitabımızda, Dorion Sagan'la birlikte mayoz bölünmeye dayalı cinselliğin, kimi protistlerde, tamamlanmayan birbirini yeme eylemi biçimindeki bakteri cinselliğinden çok sonraları başladığını ileri sürdük.[2] Cinselliğin içinden çıkılması güç tarihini anlamak için protoktist biyolojisinin bilinmesi gerektiğini söyledik.

Cinselliğe ve ortakyaşama dayalı birleşmelerin, yeniden birleşen organizma içinde birbirine uzak genleri nasıl bir araya getirdiğini anlattık. Döngüsel kaynaşmanın ve ardından gelen ayrılmanın, geçici ortakyaşamdakine göre çok daha kestirilebilir, çok daha az yaratıcı ve gelişigüzel olması bakımından, cinsellik ortakyaşamdan farklıdır. Cinsellikte, yavrular büyük öl-

çüde ana-babalarına benzerler ve cins farklılıkları alışılmış, kestirilebilir şeylerdir.

Yumrulu fasulye kökü, yeşil hidra, geviş getiren inek, ışıldayan balık, kırmızı alg gibi ortakyaşamsal kaynaşmalarla oluşan varlıklar, bu kaynaşmayı gerçekleştiren ata ortakların her birinden epeyce farklıdır. Sembiyogenez, evrimsel yeniliğin üreticisi olarak cinsellikten çok daha görkemlidir. Sözgelimi, fotosentez yapan kırmızı alg akrabaları üzerinde (daha doğrusu onların "sırtından geçinerek") yaşayan, fotosentez yapmayan kırmızı alglerde olduğu gibi, atalar birbirleriyle son derece yakın bir ilişki içindeyseler, cinsellikle ortakyaşam işleyiş açısından bile birbirinden zor ayırt edilebilir[3]. Oysa birleşmenin ortakyaşar ataları —sözgelimi fasulye bitkisi ile rhizobium bakterileri ya da inekler ile işkembelerindeki entodiniomorfid sillileri gibi— uzak ilişki içindeyseler, bu birleşmelerin ürünleri her iki atadan son derece farklı olur.

Programlı ölüm, cinselliğe dayalı yaşam tarzının tartışılmaz sonucudur. Erkeklerle dişilerin ürettiği tek kromozom dizili yumurta ve spermlerin tekrar bir araya gelip iki kromozom dizili döl oluşturdukları büyük döngü, her bitki ve hayvanın bir gün öleceği gerçeğiyle yakından ilişkilidir. Bakteriler ve pek çok protoktist dahil, her organizma kuşkusuz öldürülebilir. Açlık, kuraklık ve zehirler önde gelen öldürücü unsurlardır. Ancak yok etme yoluyla ölümde, doğal kurgulu bir zaman çizelgesi bulunmaz. Protoktist ataların bitki ve hayvan gövdelerine doğru evrimi, ödün ve kayıp vermeyi zorunlu kıldı; çok hücrelilik ve karmaşıklaşma, her gövdede yaşlanmaya ve ölüme davetiye çıkardı. Tam anlamıyla gövdenin dış kabuğunun dağılması olan ölüm, mayoz bölünmeye dayalı cinselliğin acımasız bedeli oldu. Protoktistler ile onların bitki ve hayvan ardıllarındaki karmaşık gelişim, ölümün adeta cinsellik yoluyla aktarılan bir hastalık gibi evrimine neden oldu. Bir milyar yıldan da uzun bir süre önce, bakteri ortakyaşarların bütünleşmesi sonucunda

protoktistlerin kalıcı, istikrarlı topluluklar halinde, protoktist bireyler olmak üzere evrildiği zamanlarda, bugün huzurumuzu kaçıran programlı ölüm de ilk kez ortaya çıkmış oldu.

Pek çok protoktist bugün hâlâ, garip bir tema olan cinsellik ve ölüm açısından farklılıklar sergiliyor. *Stentor coeruleus*'un yaşamını ve ölümünü izledim. Büyük bir mikroorganizma olan, kirlenmemiş tatlı su havuzlarında ve göllerinde kolaylıkla bulunabilen bu mavi renkli silli, tek bir atadan ürüyor. Her gün tek bir birey, büyüyüp ikiye bölünüyor. Kalabalık nüfuslu kümeler halinde yaşayan bu mavi stentorlar, ilkbahar geldiğinde eşleşiyorlar. Bütün stentorlar aynı küme içinde eşleşip tutkuyla çiftleştiklerinden, mikroskobik düzeyde bir cinsel cümbüş yaşanıyor. Eşleşen üyeler, kesintisiz otuz altı saat birbirlerine yapışık kalıyorlar! Ancak aşk oyununa katılan her iki taraf, bir haftadan kısa süre içinde mutlaka ölüyor. Bu protistin geride bıraktığı cinsellik aktarılıyor.

Hayvanların tümü, yaklaşık kırk filuma ait olan tahminen 30 milyon tür, her kuşakta tek hücreli protist benzeri bir evreye geri dönüyor. Hayvan hücreleri atalarının yaşam tarzlarını yinelediklerinde, protist benzeri eşey hücreleri cinsel kaynaşma içine giriyor. Hayvanlarda, bitkilerde, hatta mantarlarda cinsellik, evrim sahnesinde kalmanın vazgeçilmez seçeneğidir. Bu varlıklarda canlı örgütlenme kaynaşmayla, cinsel eylemle oluşur. Ölüm ise olağandışı dokuların ve karmaşık yaşam öykülerinin karşılığı olarak ödedikleri bedeldir.

Yeryüzü'nde modern yaşamın muhteşem manzarasının evrimi, en eski ortakyaşar bakterilerden bu yana büyük bir tiyatro yapıtıdır. Olgun erişkinlerin zigotlardan, yani döllenmiş yumurta hücrelerinden gelişmesi, aynı ölçüde görkemli olmasa da bir o kadar etkileyicidir. Evrim 3,5 milyar yıldır sürüyor. Karanlık uzaydaki "mavi küre" üzerinde insan türü 3,5 milyon yıldan kısa bir geçmişe sahip. Tek bir insan ise 35 yıldan kısa sürede gelişiyor. Zaman bir noktada toplanıyor, madde en et-

kili biçimde düzenleniyor ve sonuçta neredeyse hiç değişmeden, bilinçli bir varlık ortaya çıkıyor. İnsan yaşamının başlangıcı tam olarak nasıl bilinebilir? Biyolojik anlamda saçma, tamamen yapay bir sorudur bu. "İnsan yaşamının başlangıcı"nı tarihlendirme, bir uzlaşıdan ibarettir. Konferanslarda bana sık sık, "İnsan yaşamı tam olarak ne zaman başladı?" diye sorulur. Kuşkusuz, her türlü yaşam gibi, en az 3,5 milyar yıl önce başladı! Bu soru ortada bir yanlış anlama olduğunu gösteriyor.

Anneyle babanın cinsel organları tam zamanında buluştuğunda, gebelik başlar ve ardından, dölyatağındaki gelişimin beklenen sonucu olarak doğum gelir. Kamçılı bir sperm, annenin dölyatağı borusuna doluşan kamçılıların ileri geri hareket ederek çarpıp durduğu, yağla dolu yumurtayla buluştuğunda, gelişim başlar. Yol arkadaşlarından farklı olarak yolculuğunu tamamlayan haploit sperm, haploit yumurtayla birleşir. Yumurta, sperm yarışının galibini karşılamak ve sonraki ziyaretçileri engellemek için yapışkan bir protein maddesi salgılar. Kazanan sperm başı, hepsi de babanın genlerini taşıyan yirmi üç kromozomla birlikte, çekirdeğinde çok benzer yirmi üç anne kromozomu taşıyan büyük yumurta hücresine girer. İki hücre birleşir. Bu "döllenme" ediminden, artık kırk altı kromozomu olan ikiye katlanmış bir hücre oluşur. Yirmi üç kromozomlu çiftlerin biri anneden, diğeri de babadan gelir.

Memelilerin döllenmiş yumurtaları, büyük olasılıkla ilk çift kromozomlu varlıklar olarak evrilen en eski protistlere benzer. Ancak atalarının tersine, hiçbir memeli yumurtası, tembel tembel tek hücreli kalarak vakit kaybetmez. Kamçısıyla durgun suda yüzerek bakteri besini de aramaz. Hayır, zigot hücresi bölünür ve bölünmenin ürünleri bir arada kalır. Sonuçta ortaya insan embriyosu çıkar. Hücrelerden meydana gelen hücre büyür ve balık görünümlü bir bütün içinde dokuları ve sonra da organları oluşturmak üzere farklılaşır.

Hücreler bölünmeyi, büyümeyi, üst üste yığılmayı ve ha-

berleşmeyi sürdürürlerken, embriyo dölüt (fetus) haline gelir. Organlar geliştikçe embriyo balıksı görünümünü yitirir, solungaç oyukları ile dölyatağının içinde körelmiş kuyruğu geri çekilir ve insan biçimini almaya başlar. Ağzı açık dölüt, dölyatağı içinde kendi parmağını bile emebilir. Havayı soluyamadığı için göbek kordonu aracılığıyla soluk alır. Annenin kanındaki oksijen, plasentayla dölüte geçer. Havalı ortama kavuşan çocuk, eğer kızsa minik yumurtalıklarında yaşamı boyunca yetecek kadar döllenmemiş yumurtayla dünyaya gelir. Her yumurtada, kız çocuğun vücudundaki diğer bütün kromozomların sayısının yarısı kadar, yani yirmi üç kromozom vardır. Anne ve babasındaki hücreler gibi, onun vücut kromozomlarının sayısı da, her hücrede kırk altı olmak üzere çoktan iki katına çıkmıştır. Erkek çocukların vücutlarındaki bütün hücrelerin kromozom sayısı zaten çifttir. Erkekler ergenlik çağına dek yirmi üç kromozomlarıyla sperm üretiminde bulunmazlar. Ergenliğe geçtiklerinde ise testislerindeki sperm yapıcı hücreler, erkeklik hormonlarının yönetiminde, durmadan sperm üretir. Tek bir dizi halinde yirmi üç kromozom içeren sperm oluşumu doksan yıl kadar sürer. Doğurgan birleşme, cinsel temas ve sürekli döl üretimi olmaksızın, evrim sahnesinde her şey anlamsızdır. Maymunsu atalarımız bizim öncüllerimizi yaratmak üzere tutkuyla çiftleşmeselerdi, soyumuz çoktan tükenmişti. Hayvan olmak, cinselliğe sahip olmaktır.

Çokhücrelilik nasıl başladı? Çoğu meslektaşım, okurlarıyla birlikte, bunu evrime yönelik en önemli sorulardan biri olarak görüyor. Hayvan gövdesi, cinsellik olmadan, döllenmiş yumurtanın mitoz hücre bölünmeleriyle büyür. Peki ama ilk hayvan gövdeleri nasıl evrildi? Çekirdekli hücreler, protoktist biçiminde en az bir milyar yıl önce klonlanmaya başladı. Organizma kopyaları olan klonlar, hücre bölünmesiyle oluştu. Ya cinsel gereksinim nasıl ortaya çıktı?

Fosil kayıtlarındaki en eski hayvanlar, Sonora (Meksika),

Beyazdeniz'deki St. Petersburg'un kuzeyi (Rusya), Ediacara (Güney Avustralya), Namibya (Güneybatı Afrika) ve Çin'de birkaç farklı yer de dahil olmak üzere yirmiden fazla yörede çok iyi korunmuş olarak bulundu. Bunlar, 650-541 milyon yıllık, korunmuş hayvan kalıntılarıdır. Oysa bu hayvanların yaşadığı zamandan yüz milyonlarca yıl önce, eşeyli protistler çoktan klonlanmış ve birbirlerine yapışmışlardı. Gövdelerinin parçaları doku halinde farklılaşan "bireyler", doğal ayıklama yoluyla seçilmişti. Yeşil algler, cıvık mantarlar, ağsı cıvık mantarlar ve başka pek çokları gibi farklı türden protoktist kolonileri, başlangıçta belirgin biçimleri olmasa da, evrildikçe karmaşıklık ve bireysellik bakımından geliştiler. Bugün bitki, hayvan ve mantar diye bildiğimiz bireyler, artık ileri derecede bütünleşmiş protoktist klonları olarak kabul ediliyor. Doğal ayıklama yoluyla seçildiklerinden, bunlar yeni, daha büyük canlılar haline geldi.

Hayvanlar, coelenteratlar (torba vücutlular), brachiopodlar (kolsuayaklılar) ve geri kalan otuz beş filum, yaklaşık 500 milyon yıl önce okyanuslarda gelişti*. Hayvanlar, bitki ve mantar gibi karada yaşayan organizma alemlerinden çok önce ortaya çıktı. Geleneksel jeolojik zaman ölçekleri, son 541 milyon yıldan önceki her şeyi Prekambriyen olarak gruplandırıp gözden çıkarır. Adını, hayvan iskeletlerinin ilk bulunduğu yer olan Cambria'daki (Galler'in eski adı) kayalardan alan Kambriyen dönemi, paleontolojik hayal gücünü hâlâ etkiliyor. Hayvanlar nasıl evrildi? Jeolog Preston Cloud'un (1910-1992) ileri sürdüğü eski bir sava göre, atmosferdeki gitgide artan oksijen yoğunlaşmaları, bakteri ve alglerden milyarlarca yıl sonra hayvanların evrilmesine olanak sağladı. Yakın meslektaşlarım Mark McMenamin ve eşi Dianna, hayvanların oluşumunun hiç de basit, tek nedenli bir olguya dayanmadığını ortaya koydular. Oksijen gerekli, ama yeterli değildir. Pek çok çevresel ve

(*) Bkz. 4. Bölüm, not 5.

genetik faktör, spermle döllenen yumurtalardan üreyen ilk canlılara yol açmıştır.

McMenamin'lerin analizini onaylıyorum. Hayvan yaşamı, oksijen eksikliğiyle kısıtlanmış olup atmosferde oksijen oluştuğunda birdenbire gelişen bir şey değildi. Oksijenin, bakterilerle birkaç bilinmeyen protist dışında herhangi bir yaşam biçimini sınırladığına inanmıyorum. Hayvan yaşamının yaygınlık kazanması için oksijen gerekliydi, ama yeterli değildi.

Bütün hayvanlar yaşamak için kesinlikle oksijene gerek duyarlar. Mitokondrileri sürekli oksijen ister, yoksa ölürler. Havadaki oksijen, büyük olasılıkla hayvanların ortaya çıkmasından 500 milyon yıl önce, bol miktarda oluşmuştu. Balıkların kalsiyum fosfatlı iskeletleri, eklembacaklıların kitinli dış iskeletleri, deniztaraklarının, salyangozların ve öteki yumuşakçaların kalsiyum karbonatlı kabukları gibi sert parçalar, muhtemelen atık maddeler olarak ortaya çıktı. Denizde bol olan kalsiyum iyonları hücre içinde zehirleyicidir. Hücre içindeki kalsiyum yoğunlaşması, deniz suyundakinden bin kat düşük düzeyde olmalıdır, yoksa mitoz bölünmede mikrotübüller çalışmaz ve büyüme durur. Atık boşaltımı olarak başlayan kalsiyum atımı, sonradan yapısal destek sistemlerine yol açan yaratıcı bir geri dönüşüm tarzına dönüştü. Dişler, koruyucu kalkanlar ve iskeletler gelişti. Sertleşmiş kalsiyum atıklar fosfat zengini sularda çökeldikçe, akıllı, ekonomik ve elverişli kullanımlar değişikliğe uğradı.

Biz insanların buradan çıkaracağı dersler var. Sürekli atık üretiyoruz; yaşam çoğalırken, bir yandan da boşaltım yapmak zorunda. Eski arabalardan ve plastik tabak çanaklardan yararlı ürünler üretildiğinde kimse şaşırmadı. Kirlilik başkalaşımının öncülleri var. Bizler ihtiyatla, farkında olmadan, uzak atalarımızın açtığı yolda ilerliyoruz.

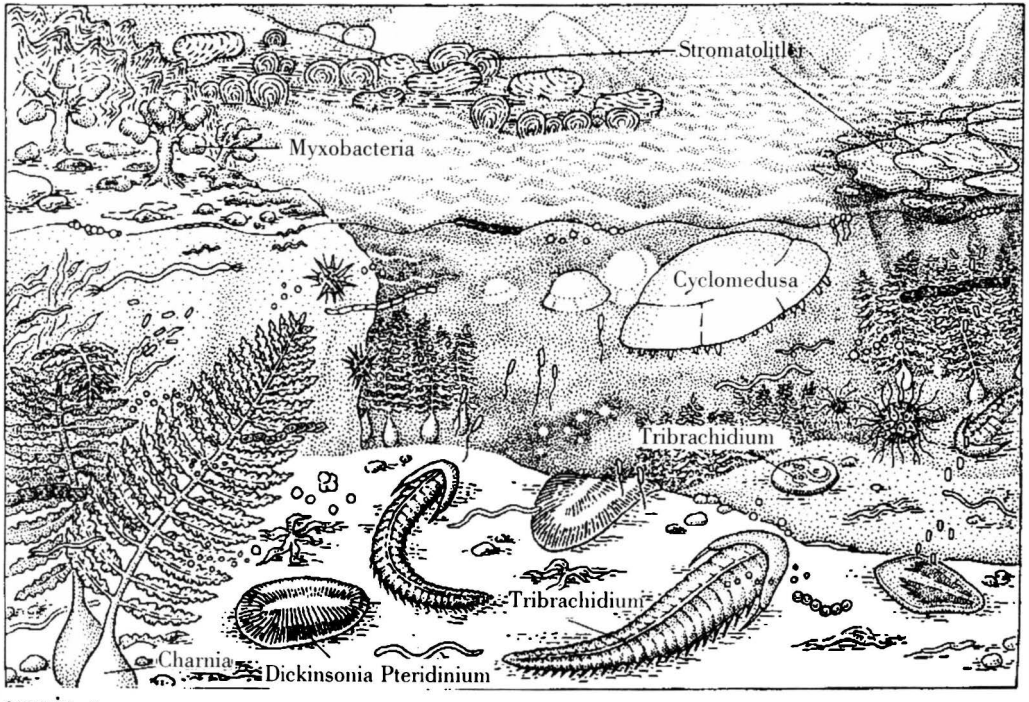
Orta Kambriyen döneminde yaşam, büyüleyici hayvan biçimleriyle inanılmaz ölçüde çoğaldı. *Hallucinogenia*, garip, kü-

çücük ve günümüzdeki yaşam biçimlerinden öylesine farklı bir varlıktır ki onu bulanlar, gövdesindeki uzantıların, sırtından çıkan koruyucu dikenleri mi yoksa çıkıntı biçimindeki bacakları mı olduğuna karar veremediler. Kambriyen dönemine ait bir başka hayvan olan *Pikaia*, bugün bütün omurgalı hayvanların en uzak atası olduğu düşünülen yumuşak gövdeli, hızla yüzen bir varlıktı.

Dostlarım arasındaki tartışmalar bitmiyor. Kambriyen döneminden de eski, 650-541 milyon yıl öncesinden kalma kumtaşları içinde korunmuş, bugün hâlâ alem düzeyinde bile tanımlanmamış olan büyük, karmaşık yaşam biçimleri dünya üzerinde onlarca yerde bol miktarda bulunuyor. Ediacaranlar nedir? Fosil faunası mıdırlar? Protoktist miydiler? Kimileri hayvan, kimileri protoktist miydi? Ne oldu da ortadan kalktılar? Hayvan embriyosundan (blastula) geliştilerse, elimizde embriyoya ait bir iz yok. Bütün hayvanlar blastuladan gelişir. Henüz bu tuhaf varlıkların gelişip gelişmediklerini bilmemiz olanaksız. (Çin'deki fosfalit* adıyla bilinen, fosfor bakımından zengin tortul kayalar üzerinde tarayıcılı elektron mikroskoplarıyla araştırmalar yapıldığından, Ediacara embriyolarını bulma şansı epeyce arttı.) Mark McMenamin, yaprağa benzeyen *Pteridinium*'un ve üç kollu *Tribrachidium*'un hayvan olmadıklarına beni inandırdı. McMenamin'e göre bunlar, daha sakin bir çağa ait, hayvanlara yakın, ama hayvan olmayan ayrı bir filum, hiçbir ardıl bırakmayan protoktistlerdi (Şekil 6).

Bitkiler, suda yaşayan yeşil protoktistlerden, çimen yeşili tipteki alglerden evrildiler. Bildiğimiz algler içinde, Japon lokantalarında, suşi dolmalarının yenebilir sarma malzemesi olarak kullanılan, iyot bakımından zengin rodofitler (kırmızı algler) de vardır. Rodofitler gibi deniz yosunları ve diğer bütün algler, herhangi bir embriyodan gelişmedikleri için bitki değil-

(*) Kumlu yüzeylerde, kireçtaşı, kumtaşı, vb. içinde çökelti yatakları halinde oluşan doğal kalsiyum (çn).



ŞEKİL 6.
Geç Proterozoik Zaman'da Ediacara canlı topluluğu

dirler. Bitkilerin varsayımsal atalarına benzeyen ve farklılaşmamış olan belirli algler, bize bir dizi evrimsel işaret sunuyor. Varlıkları, tek hücreli protoktistten, çok hücreli ardıllarına uzanan mantıklı yolu gösteriyor. Bu durum pek çok yaşam biçiminde tekrar tekrar gerçekleşti. Tek hücreler bölündü ve küçük *Chlamydomonas* atalardan evrilen büyük Volvocidae algllerinde olduğu gibi, yavru döl ayrılamadı.

Yüksek Kaya Dağları'yla Alpler'deki pembe kar algleri ve Massachusetts'in kuzeybatısındaki Hawley Bog'ta karlar üzerindeki kırmızı renk, hep bu dayanıklı yaşam biçimlerinden oluşan grubun üyeleridir. *Chlamydomonas*, yalnızlığı sevmesine karşın, kendisinden çok daha büyük olan ve dönen bir küre görünümündeki *Volvox*'un bir hücresine benzer. *Volvox*, 500-500.000 üzeri *Chlamydomonas* benzeri hücreden oluşur. Bu dizinin ortasında, yarı saydam bir jele gömülü halde dört, sekiz, on altı ya da otuz iki *Chlamydomonas* benzeri yeşil hücreden oluşan bir alg diski, *Gonium* vardır. Bu Volvocidae algleri, *Chlamydomonas, Gonium, Pandorina, Eudorina, Volvox* hep birlikte, hücreleri birbirine yapışık duran ve çok hücreli bireyler oluşturan klonlar konusundaki çeşitlemeleri temsil eder. *Gonium sociale* türü, hücreleriyle, dört parçadan oluşan düz bir tabağa benzer. *Gonium sociale*'nin herhangi bir hücresi, ayrılarak yüzüp gidebilir ve kendi kolonisini kurabilir. *Volvox*'un ata küresi, kendi içinde yavru koloniler oluşturur. Bunlar ata küreyi bir arada tutan jelatini çözecek bir enzim salgılar. "Yumurtadan" dışarı pek çok küçük yavru döl çıkar. Mevsim ya da ışık değişikliklerinde *Volvox*'un havası da değişir, cinsel davranışlar gösterir. Cinsel davranış içindeki *Volvox* kolonisi yumurta bırakır. Bir başka koloni de sperm bırakır, ya da erdişiyse, birbirinin modeli olan yarı saydam yeşil kürelerden hem yumurta hem sperm dökülecektir. Undulipodyum'ları suyun içinde dalgalı hareketlerle ilerleterek yüzen yeşil eşey hücreleri, ilk bakışta tek başına dolaşan *Chlamydomonas* hüc-

relerini andırırlar. Ancak bunlar birey değildir. *Volvox* cinsinin cinsel elçileri, çok hücreli bireylerin oluşumunu tetikleyecek birimlerdir. Ediacara canlı topluluğu, bugün soyu tükenmiş olan çokhücrelerinkine benzer yaşam biçimlerini barındırmış olabilir.

Hücreler birlikte çalışarak kolonilere dönüşür, koloniler de çok daha üst düzeyde örgütlenen bireyler haline gelir. Doku farklılaşması, geçmişteki gelişim süreçlerinin tekrarını gerektirir. Bitkilerde ve hayvanlarda eşey hücrelerinin kaynaşması yoluyla döllenme, yaşam tarihinin başlangıç noktasını gösterir. Toprak altında uzanan kökleriyle birbirine bağlanan kara hindiba çiçeği, çilek, kurdayağı gibi, eşey katkısı olmaksızın yetişen bitkiler bile er geç cinsel davranış içine girerler. Tamamı dişi olan kertenkele grupları gibi cinsellikten vazgeçmiş görünen hayvanlar, hâlâ mayoz bölünme ve döllenmeyle, hücre düzeyinde cinsel süreçlerden geçerler. Tek kromozom dizisine sahip dişi hücre, bir başka dişi hücreyle kaynaşır. Anne, kendi kendine yaşadığı hücre cinselliğiyle, hayvan embriyosuna dönüşecek olan babasız zigotu üretir.

Adeta barok tarzı görkemli birer yapı olarak "biz", aşağı yukarı her yirmi yılda bir kaynaşmış ya da mütasyona uğramış ortakyaşar bakterilerce yeniden inşa ediliyoruz. Vücutlarımız mitoz bölünme yoluyla kendini kopyalayan protoktist eşey hücrelerinden oluşuyor. Kalabalık gezegende yaşamı oluşturan malzeme, ortakyaşama dayalı etkileşimdir. Sembiyogenetik karma özümüz, birey insan dediğimiz yakın tarihli icattan çok daha eskidir. Öteki yaşam biçimlerinden farklı olduğumuza ilişkin güçlü duygumuz, tür üstünlüğü duygumuz, bir büyüklük yanılsamasıdır.

Bu yanılsamanın, "türümüzün kabulü" gereksiniminden kaynaklandığı kanısındayım. Çoğalmak, daha çok insan üretmek gereksinimi ve tutkusu içindeyiz. Evrim sahnesinde kalma edimi, kendi türümüzden potansiyel eşleri tanımamızı gerekti-

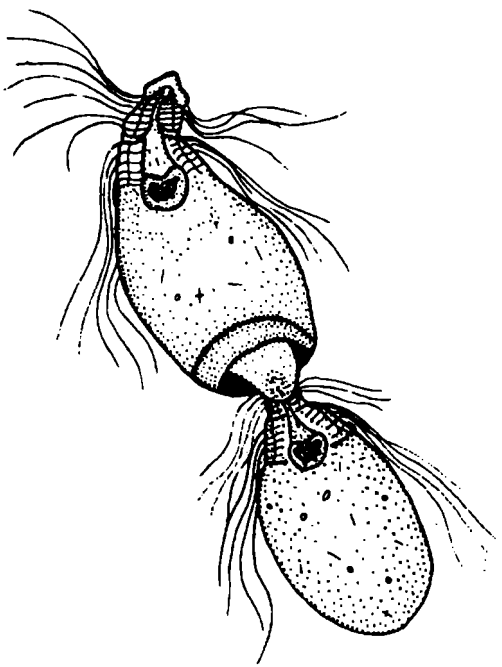
riyor. Bu cinsel bakımdan kendine odaklanma ise, daha büyük bir ortakyaşam gerçeği olan çok türlü bileşenlerimizi gözden saklıyor. Çokbileşenlilik bizim yapımızda var.

Zoolojik ironi ise, hayvan cinselliğinin evrimini anlamak için protoktistler hakkında bilgi sahibi olma gereğidir. Oysa sık sık küçük hayvanlarla karıştırılan protoktistlere ilişkin çalışmalar yapan profesyonel biyolog sayısı, parmakla gösterilecek denli azdır. Protoktistler, hastalık mikrobu olarak şeytani nitelikler yüklenen bakterilerden bile kötü durumdalar: Yok sayılıyorlar. Ölümcül spreyler, zehirli tozlar, antiseptik solüsyonlar bağlamında bile olsa, çoğu kişi bakterilerden haberdardır. Yaşayan yaklaşık 250.000 protoktist türünden yalnızca birkaç tanesinin (amipler, cıvık mantarlar, yeşil algler, silliler) adı var. Bunlar bile biyoloji derslerinde tuhaf yaratık muamelesi görüyorlar.

Bitkilerin ve hayvanların embriyo yapmaları için, hücre çekirdeklerinin cinsel anlamda birbirini çekmesi ve kaynaşması gerekir. Onlar için cinsellik tercihe bağlı bir şey değildir. Oysa pek çok protoktist, cinsellikle hiç uğraşmadan, sürekli çoğalmanın keyfini çıkarır.

Lemuel Roscoe Cleveland, Harvard Üniversitesi'nde biyoloji profesörü olduğu sırada, *Science* dergisinde, bize özgü mayoz bölünmeli cinselliğin kökeni sorununu çözen, çok anlaşılır bir kuram yayınladı. Cleveland, canlı protoktistler üzerinde incelemeler yaparak, zaaflarını, beceriksizliklerini, ciddi hatalarını izlerken, döllenmenin çaresizlikten kaynaklanan bir rastlantı olarak ortaya çıktığını fark etti. Bir yaşama stratejisi olarak mayoz bölünmeli cinsellik, sindirilemeyen bir yamyamlık eylemi sonrasında oluşmuştu. Cleveland, ölen topluluklarda tuhaf gerginlikler gözlemledi; açıkça açlık çeken bir mastigot, komşusunu bir lokmada yiyip yutuyordu; bir diğeri kendisini avlayabilecek aç bir yırtıcının önünden telaş içinde kaçıyordu. Cleveland gördüklerinin yarı yamyamlık olduğunu anladı. Kimi yamyamlar kurban kardeşlerini, hücrelerinin son parçasına dek yi-

yip sindiriyordu. Kimisi de belki de hazımsızlık çektiği için bundan sonraki yemeğinin çekirdekleriyle kromozomlarını sindirmeden bırakıyordu. Birleşen iki hücre, iki çekirdekli ve iki kromozom dizili yeni bir hücre oluşturuyordu. Bu mikrokozmosu günbegün izleyen Cleveland, yamyamların kesin ateşkesini gördü. Birbirine bu kadar yakın duran iki çekirdeğin kaynaştığını fark etti. Bu artık yarı yamyamlıktan farklı bir şeydi. Cleveland bu durumu, döllenmenin biçimsel karşılığı olarak kabul etti.[3]



ŞEKİL 7.
Çiftleşen protistler: Tek hücreli protoktistlerde yarı yamyamlık, cinsellik adı verilen bir ateşkesle sonuçlandı. Şekilde cinsiyetleri birbirini tamamlayıcı nitelikteki iki Trichonympha çiftleşiyor. Erkek, arkasında döllenme halkası bulunan dişinin içine giriyor.

Döllenme birleşmelerini tamamlayan unsur, çözülmedir. Cinsellikte çözülme, mayoz bölünmeyi gerektirir. Mayoz bölünmeye dayalı olan ve birçok protoktistte, tüm bitkilerde ve çoğu mantarda da görülen "hayvan" cinselliği, özel hücre bölünmeleriyle hücre başına düşen kromozom sayısını yarı yarıya azaltan süreçler dizisinin tamamıdır. Genellikle iki bölünmenin gerçekleştiği mayozla, hücre başına düşen iki kromozom dizisi, bire iner. Haploit diye bilinen bu hücreler artık, diploit embriyolar oluşturmak üzere öteki haploit hücreleri seçmeye, bunlarla eşleşmeye ve kaynaşmaya hazırdırlar.

Fotosentez yapmayan protoktistler, cinsel etkinlikte bulunsalar da, bulunmasalar da, kuşkusuz, durmaksızın yerler. Kimisi, zor koşullar altında önüne ne çıkarsa yer. Kuraklık, açlık, ışına maruz kalma ya da kendilerini bekleyen başka bir ölüm tehlikesi söz konusu olduğunda, hemcinslerini yiyerek kurtulmaya çalışırken, tek başına ölmek yerine, kaynaşırlar.

Pek çok tatlısu protoktisti, ölmeden önce mevsime göre çiftleşir. Çiftleşmenin ürünleri —zigosporlar, histrikosferler ve çift kromozom dizisine sahip başka hücreler— genelde, kışın ya da kurak mevsimlerde hayatta kalmalarını sağlayacak denli kalın çeperlidir. Bu sağlam yapılı, ikiye katlanmış hücreler başlangıçta büyümezler; bunun yerine kurak yaz ayları, dondurucu kışlar ya da başka sıkıntılı zamanlar boyunca genlerini ve öteki hücre parçalarını korurlar.

İkiye katlanarak hayatta kalma, çevreden gelen tehlikelere karşı bir yanıt olarak başladı. Peki bu nasıl gerçekleşti? Hiç kuşkusuz genetik olarak size epey benzeyen komşunuzu, bir seferde, görece hızlı biçimde yemiş, ama tamamen sindirememiş olsaydınız, yaklaşık iki kat büyürdünüz. Şişen insan gibi, felaketin kıyısında tıka basa doyan protoktist de, iki kromozom dizisi ve ikiye katlanmış sitoplazma sıvısıyla belki de yoksunluğa karşı daha dayanıklı olacaktı. Oysa genelde, vücudun, özellikle de kromozom sayısının iki katına çıkması, engelleyici bir

durumdur. Siz olsanız herhalde bu çifte azman durumunuzdan kurtulmaya çalışırdınız. Protoktistlerin başlangıçtaki durumu "haploit"tir, yani yalnızca bir kromozom dizisine sahip organizmalardır. Haploit durumdaki protoktistler çok uzun zaman önce, şaşırtıcı bir çeşitlilikte evrilmişlerdi. Güçlükler karşısında üstünlük sağlayan çifte kromozom dizisi karmaşıklaştığından, tekrar haploit duruma dönme gereği doğdu.

Mayotik döllenmeye dayalı cinsellik, ilk olarak bir milyar yıl önce başlamış olmalı. Ancak Cleveland'in de belirttiği gibi, mayoz bölünmeli, iki atalı cinsellik, ancak mayoz hücre etkinliği, azalma-bölünme yoluyla çifte kromozom dizisinden "kurtulmayı" sağladıktan sonra gelişti. Yeme-çiftleşme etkinliği geri dönülmez bir oburluk yarattı. Tek kromozom dizililer birbirini yedikçe, birbirini yiyen çift kromozom dizililer haline geldiler, bunlar dört kromozom dizili, sonra sekiz kromozom dizili oldu ve böylece devam etti. Bol miktarda kromozom ve şişkinlik oluştu. İki katına çıkan hücreler, fazladan kromozomları ve öteki organelleriyle birlikte günlük etkinliklerini yavaşlattılar, hatta durdurdular. İnsanlarda görülen pek çok genetik hastalıktan biri olan Down sendromuna fazladan bir kromozom ya da kromozom parçası neden olur; bu hastalık, kromozomlardaki dengesizliğin tehlikeleri konusunda bizi uyarmaktadır. Gene de, bugün bile pek çok bitki ve memeli olmayan hayvan, fazladan kromozomlara ya da kromozom dizilerine karşı dayanıklıdır.

Sibirya süseni, sarı zambak ve daha başka bitkilerin üreticileri, tohumları kimyasal maddelerle işlemlerden geçirip mitoz bölünme sırasında, iğ ipliklerindeki mikrotübüllerin oluşumunu engelleyerek, fazladan kromozomu olan büyük hücreler üretiyorlar. Bu tür tohumlardan güzel, gösterişli çiçekler üretilebiliyor. Böyle çiçekler huşu ve kâr etme duyguları uyandırıyor; kimileri, değiştirilmiş biçimleriyle çoğalmayı sürdürüyor. Cinselliğin ritüelleştirilmesinden önce, fazladan kromozomlar

ve kromozom dizileri önemsiz, dayanılabilir, güçten düşürücü, tehlikeli ya da ölümcül olabiliyordu. Bunların hepsi, hep olduğu gibi genetik ve çevresel rastlantılara bağlıydı. Cleveland'in de üzerinde durduğu gibi, iki kat büyümüş protoktistlerin elverişli haploit durumlarına geri dönmeleri için, çifte kromozomluluğun ortadan kalkması gerekiyordu.

Cleveland'in analizine göre, yamyamlıkla kazanılmış fazladan kromozomlardan kurtulmak, mayoz bölünme yolunda ilk adımdı. Sperm, yumurta ya da haploit bitki sporları üreten mayoz bölünme, kromozom sayısını yarı yarıya azaltır. Döllenmenin tersine, mayoz bölünmeyle, diploitler haploit olur. Mayoz bölünmeye dayalı cinselliğin kökenindeki son gelişim aşaması, ikiye katlanma/yarıya inme sürecinin kusursuz bir işlerliğe kavuşmasıydı ve bu, tam zamanında hem de hiç aksamadan gerçekleşti.

Cleveland'in muhteşem içgörüsü sayesinde, mayoz bölünmenin geçirdiği evrimi anlamam kolaylaştı. Benim bakış açıma göre, mitoz bölünme düzeni, şu en eski spiroket-arkebakteri kaynaşmasından doğdu. Spiroket-arkebakterilerden arta kalan canlı parçalar, uyum içinde hareket edebilmek için uzun süre önce seve seve birleştiler. Ancak eskiden bağımsız olan canlıların, hatasız bir işbirliği geliştirmeleri beklenemez. Kendi programlarındaki bir üreme eylemini ara sıra sinsi sinsi yapıverdiklerine, bıraktıkları miras kendini ele veriyor.

Mayoz bölünmeye dayalı cinsellik, çeşitli protoktist soylarında bir evrim geçirdi. Protoktist atalar, mevsimsel kaynaşma döngüleri ile çiftleşme ve mayoz bölünmenin rahatlığı içinde sıkışıp kaldılar. Canlı varlıkların besin, su ve öteki gereksinimleri ortamda azaldığında, yamyamsı "proto-çiftleşme"yle günü kurtardılar. Yoksunluk, kaynaşmaya ve ikiye katlanmış biçimde hayatta kalmaya yol açtı. Ortam görece rahat olduğunda ise daha yaşlı, daha elverişli, daha hızlı olan haploit hücre örgütlenmesi doğal ayıklama yoluyla seçildi.[1]

Cinsellik de ortakyaşam gibi, bir birleşme olayıdır. Ama aynı zamanda birleşmeden dönemsel kaçma meselesidir. Cinselliği, döngüsel ortakyaşamın çok özel bir durumu olarak yorumlayabiliriz: Hem cinsellik (döllenmiş yumurtalar, zigotlar), hem de ortakyaşam, ortakyaşar eşlerin birleşmesi, yeni canlılar üretir. Çiftleşme eylemi genelde kısa sürer (*Schistosoma* hariç; trematot solucanlar bol bol döllenmiş yumurta yaptıklarından, sürekli çiftleşme konumundadırlar). Hayvan ve bitkilerdeki cinsel birleşmelerde yeni canlı, çiftleşme anının kendisine göre daha uzun ömürlüdür. Işıldayan balıklarda, azotu katılaştıran bakterilerde ve bitki köklerindeki fosfat taşıyan mantarlarda olduğu gibi, döngüsel ortakyaşamlarda da birleşen canlılar, ayrılan ortaklara göre daha uzun yaşarlar. Oysa hücresel ortakyaşam daha derin, daha kalıcı ve benzersiz bir kaynaşma düzeyidir. Evrimin organellere götüren bölümünde söz sahibi olan büyük hücresel ortakyaşamlarda çiftleşme edimi, nereden bakarsanız bakın, sonsuza dek sürer.

7. BÖLÜM

KARADA YAŞAM

Kusursuzluk ölse
Güneş gereksiz olurdu (999)

Geçenlerde Washington'daki Smithsonian Hava ve Uzay Müzesi'nde *Uzay Yolu* adına düzenlenen sergiyi ziyaret edene dek, bu dizinin tek bir filmini bile izlememiştim. Zayıf merakımın, 1970'li yıllara duyduğum özlemin ve arkamdaki kalabalığın zoruyla on dakika boyunca izledim: Tamamen Birleşik Devletler'e özgü ve Nuh-u Nebi'den kalmaydı. Saçmalığın bu kadarı olur. Bitkisizlik, sahte manzaralar ve yıldız gemisinde insan dışında hiçbir yaşam biçimi bulunmayışı çok tuhaftı. İnsanlar günün birinde dev uzay gemilerine binip başka gezegenlere giderlerse, yalnız olmayacaklar. Yeryüzü'nde olduğu gibi, uzayda da yaşamın elementleri olan karbon, oksijen, hidrojen, azot, kükürt ve diğerlerinin geridönüşmesi gerekir. Bu geridönüşüm zengin semtlere özgü bir lüks değil, hiçbir teknolojinin bize veremeyeceği bir yaşam ilkesidir. İnsanın uzayın derinliklerine yolculuk yapabilmesi için atıkları besine dönüştürecek, insan dışı pek çok organizmadan oluşan ekosistemler gerekir. "Ekosistem hizmetleri" olmadan, Toprak Ana'yla, ancak çok kısa süreli ilişkiler kurulabilir.

Ekosistem, biyolojik bakımdan önemli elementlerin geridönüşümünü sağlayan en küçük birimdir. Karbondioksit "bağlanır", kimyasal olarak besine ve cisme (organik karbon) dönüştürülür. Organik karbon solunur, tepkimeye sokulur ve çeşitli organik maddelere indirgenir ya da dönüştürülür. Sonunda enzimlerimizin ya da aldığımız derin soluğun bu organik karbonla tepkimeye girmesi, açığa CO_2 çıkarır. Bu anlamda karbon döngüsü gerçekleşir. Aynı şey, "azot bağlayıcılar" aracılığıyla atmosferin hantal N_2'sinden, amino asitlerin yararlı N'sine dönüşen azot için de söylenebilir. Proteinlerden açığa çıkan amino asitler azot atığına dönüştüğünde ve dönüşümlerden sonra havadaki N_2 gazı haline geldiğinde, azot döngüsü tamamlanmış sayılır. Elementlerin döngüsü, ekosistemler içinde kendi aralarındakine göre daha hızlı gerçekleşir, ancak hiçbir kimyasal madde tam olarak ayrışmaz. Ben, Gaia Ana'nın şu ya da bu biçimde kişileştirilmesi yerine, Yeryüzü'nün bir "ekosistemler" ağı olduğu görüşünü yeğliyorum.

Meslektaşım Daniel Botkin ekosistemi herhalde, aynı anda, aynı yerde yaşayan ve dış ortamdaki enerji ve madde akışından yararlanan farklı türden organizma topluluklarının oluşturduğu bir dizi olarak tanımlardı. Organizmaların madde ile enerjinin geridönüşümünü kendi sistemi içinde, o sistem ve başkaları arasındakine kıyasla daha hızlı gerçekleştirdiği Yeryüzü oylumunun ekosistem olduğunu ileri sürerdi ki ben de aynı görüşteyim. Her ekosistemde, organizmaların madde ve enerji gereksinimleri, yaşamın sürdürülmesi için gereken pek çok kimyasal bileşiğin tümünün geridönüşümüyle karşılanır. Merih'i "yeşillendirmek", başka gezegenlere yayılmak ya da uzayda uzun süre yaşamak için kuşkusuz yalnızca oralara göçecek insanların ve makinelerin bulunması yetmez; örgütlenmiş, verimli toplulukların da bulunması gerekir. Ortakyaşam ve çeşitlilik Paleozoik Çağ'da kurak topraklara yerleşmek için ne denli önemliyse, birlikte yaşamak da uzayda yayılmak için o

denli önemli olacaktır. Uzayda yaşam, eğer gerçekleşecekse, farklılaşan yaşam biçimleri arasında, yeni ortakyaşamlar da dahil olmak üzere fiziksel ittifakları gerektirecektir.

Yeni etkileşim modelleri üreten yeni ortakyaşamların, Yeryüzü'nün önemli bölümlerinin toplu yerleşmeye açılmasında çok önemli rolü olmuştu. Kara sakinlerinin kurak toprağa bağlanmaları, bitkilerle mantarlar arasındaki özgül ortakyaşamlar sayesinde gerçekleşmiş olabilir.

Bitki kökleriyle mantarlar birlikte büyüyerek, kökler üzerindeki kökmantar (mikoriz) adı verilen yumruları oluştururlar (Şekil 5). Mantar-bitki yapıları birlik olup yaşam barındırmayan kuru anataş mantosuna*, yani kuma, toprağa, çakıllara yerleştiler.

Yaşam denizde evrildi; ama yabancı ve yeni kurak topraklara yerleşimi yaşam açısından ancak iç içe yaşamanın, yani sembiyogenezin olanaklı kıldığını gösteren güçlü deliller var. Güneşin morötesi ışınları, kasıp kavuran kuraklık ve besin kıtlığı, kara üzerinde 500 milyon yıl önce, bugüne kıyasla çok daha ciddi sorunlar yaratıyordu.

Yeryüzü'nün karaları sembiyogenezle yerleşilebilir konutlara dönüştü. İlk karasal ortakyaşamlar büyük olasılıkla bakteriyel değildi. Fosil kaydı bırakan en eski büyük kara organizmaları, herhalde bitki-mantar yapılarıydı. Dünyadaki en eski bitki fosilleri, çakmaktaşı adıyla tanınan bir kaya türü olan silekste ortaya çıktı. Bitki fosili bakımından en zengin, en iyi sileks, İskoçya'da Rhynie yakınlarındaki bir taş ocağında bulunmuştur. Rhynie fosillerinin böylesine ince ayrıntılarıyla korunabilmesine, hemen yakınlardaki, silisyum bakımından zengin sıcak su kaynağından sızan suların neden olduğu sanılıyor. Rhynie sileksi hazineleri arasında, fosilleşmiş alglerin içinde, bir tür protoktist olan chytrid fosilleri yer alıyor. Bu algler de 400 mil-

(*) Katı kayaların ve anataşın üzerinde bulunan, kaya parçalarını, çeşitli çökeltileri ve toprağı içeren, gevşek dokulu ölü örtü (çn).

yon yıllık bitkilerin köklerinde yaşıyor! Fosillerin karadaki ilk yaşama ilişkin bize sağladığı görüntülerin kalitesi şaşkınlık verici. Rhynie sileksinde aynen korunmuş bir böceğin bağırsaklarında mantar klamidosporu bulundu. (Bu gösterişli ad, soğuğa ve kurumaya dayanıklı yapıları anlatır. Klamidosporlar mantar ipliklerinin bölünmesiyle, herhangi bir cinsel etkinlik olmadan oluşan sporlardır.)

Kanadalı botanikçiler K. A. Pirozynski ve D. W. Malloch, bitkilerin 450 milyon yıl öncesine dayanan kökeninin açıklanmasına yardımcı olmak için, "mantar kaynaşması" görüşünü ileri sürdüler. Mantarlarla bitkilerin sembiyogenezle geçirdikleri eşevrim sonucu ortakların birleştiği varsayımında bulundular. Sonunda bitkiler, miselyum* ipliklerinden sert dalların ve köklerin geliştiği içselleştirilmiş mantarlar için özsu sağladı. Irvine'deki California Üniversitesi'nden Peter R. Astatt, Pirozynski-Mallock hipotezini geliştirerek, mantarların indirgeme ve emme becerilerinden yararlanan bitkilerin, kendi hücrelerindeki selüloz çeperlerini yıktıklarına dikkat çekti. Sözgelimi, hem mantarlar hem de bitkiler toprağa kitinaz enzimi salgılarlar. Astatt, bitkilerin mantarlarla uzun süreli ilişkileri sırasında mantar genlerini çalıp alıkoyduklarını savunuyor.

Günümüzün kökmantarları, farklı ve tanınabilir nitelikteki şişkin ortakyaşam yapılarıdır. Çoğunlukla renkli olan kökmantarlar, mantarlarla bitkilerin kök dokuları arasındaki etkileşim aracılığıyla, sembiyogenetik yoldan oluşurlar. Kökmantar, topraktan aldığı fosfor ve azotla, bitki ortağına mineral besin sağlar. Bitki de mantar ortağına fotosentez ürünü özsu verir. Günümüzde kökmantarlar, en eski fosillerde bulunanlara çarpıcı şekilde benzeyen klamidosporlar oluşturuyor. Rhynie sileksindeki 450 milyon yıllık bitki kalıntılarında bile (*Rhynia* dahil) şişkin kökler vardır. Mantarlar ve bitkiler, kurak topraktaki ya-

(*) Mantarlarda ipliksi yapıdaki tallar (çn).

şamlarının ta başında verimli ortakyaşamlar aracılığıyla çoktan kenetlenmişlerdi.

Karaya çıkma, bitkilerin suda yaşayan alglerden evrilmesi anlamına geliyordu. Karada yaşayabilmek için dayanıklılık, yani kuvvet, kurumaya karşı direnç ve yeterli besin gerekiyordu. Meslektaşlarını inandıramayan Astatt, alglerin en eski yaşama ortamlarındaki büyük düzensizliklerin, alglerle mantarlar arasında ortakyaşamı zorunlu kıldığını söylüyor. Yeşil algler, okyanus kıyısında yüzerken günün birinde irileşip bitki oluvermediler.

Antarktika'daki Victoria bölgesinin çöl vadileri, birer buzul cehennemidir. Apansız çıkan sert rüzgârlar, düzenli aralıklarla kayaların üzerinde eserek erimekte olan yaz buzullarını anında dondurur. Gene de, kayaların iki-üç milimetre altına gizlenerek yaşayan liken toplulukları vardır; bunlar gözenekli kumtaşlarına bile yerleşebilen ortakyaşar mantar, alg ve bakteri karmasıdır. Bu topluluklar kristal kuvars taneciklerinin yansıttığı güneşten yararlanabildikleri sürece yaşamlarını sürdürebilirler. Kayalarda yaşayan bu mantar-likenlerin dünya üzerindeki tahmini ağırlığı 13×10^{13} ton, yani okyanuslardaki tüm canlılardan daha büyük bir biyolojik kütledir! Mantarların koruyucu örtüsü altında büyüyen algler, sarp kayaya yapışır, üzerinde yayılır ve sonunda onu parçalayarak bitki köklerinin, mantarlardaki lif ağlarının içine girebileceği toprak haline getirirler. Topaç gibi dönen bu gezegenin sert kayaları, mantar-alg ortaklığının sonucu olarak yüz milyonlarca yıldır ufalanarak zengin ve besleyici toprağa dönüşmektedir. Ilıman iklimlerde toprağın yaşama elverişli hale getirilmesinde likenlerin de büyük rolü vardır.

Milyarlarca yıl önce, McMenamin'lerin "Hiperdeniz"[1] dedikleri şeyin içindeki yaşam, egemenlik alanını ıslak yurdundan kuru toprağa doğru genişletti. Yaşam, inceliklerle, yeniliklerle, inanılmaz muazzamlığıyla, daha önce hiç var olmadığı

yerlerde yayıldı. Günümüzde, kara üzerindeki türlerin sayısı ve çeşitliliği ile türler arasındaki bağlantılar, yaşamın ilk yurdu olan denizdekileri aştı. Yaşamın karadaki biyolojik kütlesi, denizdeki biyolojik kütlesinden binlerce değilse bile yüzlerce kez büyük. Bu kütlesel varlığın büyük bir bölümünü, tahminen yüzde seksen dördünü ağaçlar oluşturuyor. Yeryüzü'nün ağaçlanması, yaşamın okyanus dölyatağının uzaklarına etkileyici biçimde yayılması, karasal ortamın büyük ölçüde yeniden yapılanmasını gerektirdi. Okyanusların dış dolaşım sistemi olan, suda serbestçe yüzen sülfat ve fosfor gibi besin maddeleri, fotosentez yapan canlılar için karada yetersizdi. Bu besin maddeleri bizzat hiperdeniz ağı tarafından yönetilmeliydi. Karaya çıkış, yeni mimarileri ve altyapıları gerektiriyordu.

Yaşamın yerleştiği yere su da geldi. Sitoplazmanın yüzde 80'inden fazlası sudur. Mark McMenamin ve eşi, paleontolog Dianna McMenamin, etkileyici hiperdeniz adıyla, sembiyogenetik içsel bağlantıların esaslı sonuçlarına dikkat çekiyorlar. McMenamin'lerin hiperdenizle kastettikleri şey, büyük ölçüde, kökmantarlara bağımlı bitkilerin kök sistemidir. Sayıları beş bini aşan farklı tipte kökmantar ortakyaşarları içinde bitki kökünün saçaklarına dolaşmış mantarlar, tek tek adlarıyla bilinir. İlk örneklerinden biri Rhynia olan damarlı bitkiler; karayosunları, ciğerotları ve öteki birkaç nemli zemin örtüsü hariç, bütün bitkileri içerir. Damarlı bitkilerde dolaşım sistemleri bulunur. Topraktan aldıkları suyu gövde ve yapraklarına pompalayarak fotosentez ürünlerini (besin) aşağılara iletirler. Hiç fark edilmeyen, önemi anlaşılmayan şey ise bunların yeraltındaki kökmantar yapıya dayanan mikroskobik bağlantılarıdır. Kurdukları ortaklıkların gerçekten de hiç dikkat çekmemesi, bugün karşımızda duran bitkilerin inanılmaz başarılarını açıklıyor.

Genel ölçekte çok önemli olmalarına karşın, kökmantarlar ancak arada bir, örneğin domalan* oluşturduklarında dikkat çekerler. İtalya ve Fransa kökenli bu pahalı yiyecekler, kimi kokulu kökmantarların üremeye yönelik, spor oluşturan bölümleridir; domuzlar ve köpekler, çok sevdikleri bu mantarları sert keresteli ağaçların yetiştiği yerlerde koklaya koklaya bulurlar. Kökmantarlı bitkiler doğal ayıklama yoluyla seçilmiştir: Besin maddesi bakımından yoksul topraklarda kendi türlerinden, mantarlarla bağlantısı olmayan bitkilere göre depolanmış azot ve fosfat miktarı daha fazla olan, daha kalın fidanlar üretirler. Gerçekten de var olan bitkilerin yüzde 90'ında kökmantar ortakyaşarlar bulunur. Mantar ortaklarından yoksun kalsalar, tüm bitkilerin yüzde 80'inden fazlasının soyu tükenir. Hiperdeniz hüküm sürüyor.

McMenamin'lerin görüşü eleştirel bakımdan değerlendirilmeli ve takdir toplamalıdır. Rus mineralog Vladimir Vernadski (1863-1945), yaşamı büyük bir jeolojik güç olarak görüyordu. Hiperdenizi sezinleyerek, yaşayan maddeleri "canlı su" olarak adlandırmıştı. Canlı su, yaşamın mükemmel bir tanımıdır.[2]

Bitkiler, içinde yaşadıkları ıslak ortamı yeniden yaratarak ve içlerine alarak karaya çıktılar. Ağaçlar, suyu kendi içlerine almakta, karaya taşımakta ve su kaybını denetlemekte çok ustadırlar. Ağaçlar, selüloz ve linyinin (odunözü) sağlamlaştırdığı, dallara ayrılan doku ağlarıyla hiç kuşkusuz damarlı bitkilerdir. Linyin, ağaca sertliğini veren polifenolik karbon kimyasallarından oluşan karmaşık bir bileşimdir. Ağaçların en az 400 milyon yıl önce ortaya çıkması, tüm biyosferi yukarı ve dışarı doğru harekete geçirdi. Denizden ve tatlı sulardan çıkıp karada gerçekleşen büyük yayılma harekâtı, bugün de olduğu gibi, bitkilerle mantarlar arasındaki özel ve yakın ilişkiye dayalıydı. Mantarlar, kara sakinleri aleminde en seçkin konumdadır. Hiç

(*) Tuberaceae familyasından, patatese benzeyen, az bulunur, pahalı, etli bir mantar. Keme adıyla da bilinir (çn).

fotosentez yapmazlar, besinlerini emerek alırlar. Hiçbir zaman kamçıları olmadığından hücreleri yüzemez. Ama ne şaşılacak şeydir ki geçici kurumalara karşın hayatta kalabilirler! Mantarlar bütün azizlerden daha sabırlı varlıklardır. Oturup beklerler, nemlilik yeniden oluştuğunda devam ederler. Pek çok mantar, çapraşık miselyum ağları, sitoplazma dolu karmaşık beslenme boruları oluşturur. Liken şeklinde alglerle ya da kökmantar şeklinde bitki kökleriyle birlik oluşturarak tek başlarına karayı fethetmiş ve çoğalmışlardır.

Sembiyogenez, yaşamın gelgit akıntısını okyanusu andıran derinliklerinden söküp kurak toprağa ve gökyüzüne çıkaran aydı. McMenamin'lerin Hiperdenizi, karadaki su ağı, bitkilerdeki mantarların canlı suyudur. İnsanoğlu bir gün uzaya gidecekse, vereceği savaşım hiçbir zaman "Uzay Yolu"ndaki gibi sahte ve çorak olmayacak. Bizi gezegendaşlarımızdan kurtaran steril mühendislik görüşü, yalnızca yavan ve sıkıcı değil, neredeyse iğrençtir. Kendi türümüz zihnimizi ne denli meşgul ederse etsin, yaşam çok daha engin bir sistemdir. Kendi derimizin dışında (ve içinde) bulunan milyonlarca tür arasında yaşam, madde ve enerjinin inanılmaz ölçüde karmaşık bir karşılıklı bağımlılığıdır. Bu Yeryüzü yaratıkları bizim akrabalarımız, atalarımız, birer parçamızdır. Madde dönüşümümüzü onlar gerçekleştiriyor, bize su ve besini onlar veriyor. "Öteki" olmadan yaşayamayız. Ortakyaşama dayalı, etkileşimli, karşılıklı bağımlı geçmişimizle bağlantıyı, canlı sular sağlıyor.

8. BÖLÜM

GAİA

Yeryüzü'nde sessizlik yok - tahammül edildiği
Kadar sessiz
Bir ifade edilse, yıldıracak Doğa'yı
Ve hayaletlerini salacak Dünya'ya (1004)

İç uyarılara duyarlılık, yani vücut içi uyarılardan kaynaklanan hareketin ve uzamsal yönelimin algılanması, bir tıp kavramıdır. Adını bilmesek de hepimiz bu olguya aşinayız. İç uyarılara duyarlı algılayıcılarımız, bize hiç durmadan, ayakta durduğumuzu, başımızı eğdiğimizi, gözlerimizi kıstığımızı ya da yumruklarımızı sıktığımızı bildirir. Bu algılayıcılar, başkalarına ya da çevreye ilişkin dış bilgilere değil de vücudun içinden gelen bilgilere yönelik duyusal sistemler olarak çalışır. Kaslara bağlı sinirler, vücudun konumundaki değişiklik gibi hareketleri saptadıklarında tetiklenirler. Kendi kendilerini gözlemleyen bu sinirler bize, ayaklarımızın üzerinde mi, yoksa başımızın üzerinde mi duruyoruz, kıpırdamadan otobüste mi gidiyoruz, yoksa saatte elli beş kilometre hızla koşuyor muyuz gibi şeyleri bildirir. Yeryüzü, binlerce yıldır, insanın ortaya çıkışından da önceki zamanlardan bu yana, iç uyarılara duyarlılık sisteminden yararlanmaktadır. Küçük memeliler yaklaşan depremi ya da sağanak yağmuru haber verirler.

Ağaçlar, güve tırtıllarının yapraklarına saldırdığını komşularına duyurmak için "uçucu" maddeler salgılar. İç uyarılara duyarlılık, yani benliğin hissedilmesi, herhalde benliğin kendisi kadar eskidir. Gaia'nın bu yeni icat iç uyarılara duyarlılık yeteneğini biz insanların hızlandırdığını ve hızlandırmayı sürdürdüğünü düşünmek hoşuma gidiyor. Borneo'da orman yansa ya da bir ABD helikopteri İtalya Alpleri'nde düşse, haber New York'ta televizyondan yayınlanır. Soyu tükenen kurt sürüleri ve dinozor toplulukları da, kendi iç uyarılara duyarlı sosyal haberleşme sistemlerini kullanırlardı; küresel sinir sistemi kesinlikle insanın ortaya çıkışıyla birlikte başlamadı. Gaia, yani fizyolojik bakımdan düzenlenmiş Yeryüzü, insanın evrilmesinden çok önceleri de iç uyarılara duyarlı haberleşme sistemini kullanıyordu. Tropik ağaçlardan, çiftleşmeye hazır böceklerden, tehlike altındaki bakterilerden çıkan gazlar ve çözünebilir kimyasal maddeler havada dolaşıyordu. Aşk bileşikleri, İlkçağdan bu yana ilkbahar rüzgârlarıyla oradan oraya sürüklendi. Ama iç uyarılara duyarlılığın hızı en çok elektronik çağda arttı.

"Oxford'da Gaia" adıyla İngiltere'de 1996 Nisan'ında yapılan ikinci Gaia konferansında, bilim insanları ve çevre eylemcileri süper organizmaları tartışmak üzere bir araya geldiler. Gezegendeki tüm yaşam bir süper organizma mı oluşturuyor? Yaşam, kendi kendini düzenleyen Gaia adlı tek bir varlık mı? Süper organizma üzerinde ısrarla durmak, kolaycı ama bilimsel geçerliliği olmayan gezegensel uyum görüşlerini kışkırtıyor mu?

Bu görüşleri dile getiren yaklaşık kırk katılımcı, bir sonuca vararak, Doğu Londra Üniversitesi'nde bir *Jeofizyoloji Derneği* kurma kararını aldı. Beni sevindiren ise, bu kararın 1997'nin sonlarında iptal edilmesi oldu: Gaia yaşıyor; jeofizyoloji öldü. Yeni örgüt artık, *Gaia: Yeryüzü Sistemi Biliminde Araştırma ve Eğitim Derneği* adını taşıyor. Bilimsel dernek *Gaia*'nın açılışı 9 Şubat 1998'de, Kraliyet Derneği'nin Londra'daki genel mer-

kezinde yapıldı. Biyolojik çeşitlilik konusunda dünyanın bilirkişisi, karıncalar, toplumsal davranışları ve teknolojik becerileri konusunda uzman olan biyolog E. O. Wilson, derneğe bir kutlama videosu gönderdi. Resmi açılışın dünyanın en eski ve en saygın bilim derneğinde yapılması, Gaia kuramı açısından harika bir manevraydı. Atlas Okyanusu'nun batı yakasındaki Gaia hayranlarını temsil eden çok seçkin bir Harvard profesöründen görüntülü mesaj gelmesi de kurnazca bir girişimdi. Gaiacı bilime katkıda bulunabilecek insanlar arasında iletişimin artması ancak, çok ciddi biçimde bağımlı olduğumuz Yeryüzü'ne ilişkin cahilliğimizin farkına varılmasını sağlayabilir.

Gaia hipotezi, çoğu kişinin ileri sürdüğü gibi, "Yeryüzü tek bir organizmadır" görüşüne dayanmıyor. Gene de Yeryüzü, biyolojik anlamda, karmaşık fizyolojik süreçlerle desteklenen bir gövdeye sahip. Yaşam, gezegen düzeyinde bir olgu; Yeryüzü ise en az 3 milyar yıldan beri canlılığını koruyor. Bence, insanın canlı Yeryüzü'nün sorumluluğunu üstlenmeye kalkışması gülünç; züğürt tesellisinden başka bir şey değil. Gezegen bizi kolluyor, biz gezegeni değil. Dik başlı dünyamıza yol gösterme ya da hasta gezegenimizi iyileştirme yolunda işgüzarlıkla üstümüze aldığımız ahlaksal zorunluluk, kendimizi aldatma yeteneğimizin dev boyutlarını gösteriyor. Tam tersine, kendimizi kendimizden korumamız gerekiyor.

1996'daki konferansın en önemli kişisi, Gaia hipotezinin yaratıcısı James Lovelock'tı. Lovelock, 1970'lerin başlarında, yaşamın bir bütün olarak çevreyi kendisi için en iyi duruma getirdiğini ileri süren ilk kişidir. *En iyi duruma getirme* sözü, bilimcilerin içine dert oldu. Yaşam herhangi bir şeyi nasıl planlayabilirdi ki? Lovelock, tanışmamızdan yıllar önce, 1960'ların ortasında Merih'te yaşamın saptanmasına yönelik yollar bulmak üzere NASA'ya danışmanlık yaptığı sırada, canlı Yeryüzü görüşünü çoktan geliştirmişti. Jim, bir gezende yaşayan canlıların, yaşamın gereksindiği elementlerin dönüşümünü

sağlayacak akışkanlardan —ki Yeryüzü'nde bunlar atmosfer, okyanuslar, göller, ırmaklardır— yararlanması gerektiğini fark etti. Besin maddelerinin sağlanması, atıkların boşaltılması gerekiyordu. Canlı bir gezegenin kimyasının cansız bir gezegeninkine göre çok farklı olması gerektiği sonucuna vardı. Yeryüzü'nün atmosferindeki kimyasal karşıtlıkların uzaydan bile saptanabileceğini fark etti.

Atmosferimizde, metan gazına karşılık çok fazla miktarda oksijen bulunur. Karıştıklarında son derece reaktif olan bu gazlar, düzeyleri etkin biçimde denetlenmedikçe, bu denli yüksek yoğunluklarda bir arada varolamaz. Bütünüyle olasılık dışı ve son derece kararsız bir karışım halinde olan daha pek çok gaz vardır. Hidrojen, hatta azot bile, oksijenin varlığında patlayıcı tepki gösterir; gene de bunlar Yeryüzü'nün atmosferinde bir arada bulunurlar. Lovelock henüz Merih'te yaşam saptama konularıyla boğuşurken, yer teleskoplarının analizleri, Merih'te, Yeryüzü'ndekinin tersine, reaktif olmayan gazlar içeren kararlı bir atmosfer bulunduğunu göstermişti. Lovelock, doğru noktaya parmak basarak, Merih'te artık yaşamın var olamayacağı sonucunu çıkardı. Kuşkusuz, güncel yaşam koşullarını saptamak üzere *Viking* uzay aracı gene de Merih'e uçtu. Bana kalırsa, *Viking* iniş modülü 1976'da Yeryüzü'ne veri gönderdiğinde, yalnızca Lovelock'ın Gaia kuramından çıkardığı kestirim doğrulanmış oldu.

Lovelock, düşüncelerinin yönünü Yeryüzü'ne çevirdi. Tek başına, akademik çevrenin dışında ve bağımsız bir bilim adamı olan Jim, ilgilendiği konularda, kendi bildiği yolu tutacaktı. Verimli bir buluşçu olan Lovelock'ın en önemli katkısı elektron yakalama cihazıdır. Gaz kromatografı diye bilinen alete takılı bir detektörden oluşan bu cihaz, havadaki kloroflorokarbon gibi belirli reaktif gazların yoğunluğunu ölçmeye yarar. Lovelock'ın bu cihazını Hewlett-Packard yeniden tasarladı ve yaygın olarak sattı. Bu cihaz sayesinde Massachusetts Teknoloji

Enstitüsü'nden (MIT) Sherwood Rowland ve Mario Molina, spreylerin ve başka gazların, stratosferdeki ozon tabakasını ortadan kaldıracak biçimde tepkimeye girdiğini göstererek, 1995'te kimya dalında Nobel Ödülü'nü aldılar. Jim'in öteki başarıları arasında, Rachel Carson'ın *Silent Spring* (Sessiz İlkbahar) adlı yapıtıyla herkesin dikkatine sunduğu, böcek ilaçlarının yaygın etkilerine ilişkin savlarının doğrulanması da yer alıyor. Lovelock, İngiltere'deki Tıp Araştırmaları Kurulu'nda (MRC), kriyogenik, yani düşük sıcaklık biyolojisi konusunda çalışırken hayvanları ve spermlerini dondurmak ve çözmek için bir yöntem geliştirdi. Dondurulmuş örnekleri, kendi yaptığı mikrodalga fırın benzeri bir bölmede çözdü (ancak bu buluşu için patent almadı; uzun ve masraflı bir süreç olan patent alımı, karmaşık ilişkilere dayalı, tam da Lovelock'ın kaçındığı türden bir iştir).

Jim, yaşamın Yeryüzü atmosferini nasıl etkilediğiyle ilgilenirken, bilimsel çalışmalarını hiçbir kurumsal destek ya da maddi bağış almadan yürüttü. Dosdoğru kollarını sıvadı ve kendi parasıyla gaz ölçümleri yaptı. Meslektaşları ve öğrencilerle iletişimini hiç koparmadı. Hiç durmadan yaptığı çalışmalar sonunda Gaia kuramını geliştirdi.

1970'lerin başında onunla yazışmaya başladık. Mektuplarıma verdiği ilk yanıtlardan birinde, metan gazıyla başının dertte olduğunu yazmıştı. Oksijenle çok şiddetli tepkimeye giren bu gaz, neden Yeryüzü'nün atmosferinde hep ölçülebilecek miktarda bulunuyordu? Yok olması gerekirdi. Bundan hep yaşamın sorumlu olduğu kuşkusuyla, bu gazı neyin üretiyor olabileceğini bilip bilmediğimi sordu. Mikrobiyoloji okumuş herkesin verebileceği yanıtı verdim. Metan gazını bakteriler üretir, bunlardan başlıcaları sulak topraklarda ya da sığır işkembesinde yaşayan metanojenlerdir*. Metanojen bakterilerinin metabolik ürünü, ineklerin yellenmesiyle değil (ben hep öyle zanneder-

(*) Çok çeşitli havasız ortamlarda yaşayan arkebakteriler (çn).

dim), geğirmesiyle bol miktarda açığa çıkar. Metan gazı danaların, boğaların ve ineklerin ağzından çıkarak havaya karışır. Atmosferdeki metan gazı hemen oksijenle tepkimeye girerek karbondioksit oluşturur. Havadaki metan gazının düzenli olarak yenilenmesinin nedeni, her zaman için milyonda iki ile yedi arasında değişen yoğunluklarda bulunmasıdır. Lovelock böylece, atmosferdeki metan yoğunluklarının yaşam tarafından düzenleniyor olması gerektiği sonucuna vardı. Gaz düzenlenmesi konusunda başka örnekler de gösterilebilirdi.

Jeolojik ipuçları, gezegenimizin son üç milyar yılda soğuduğunu gösteriyor. Astronomlar tipik bir yıldız olan Güneş'in daha da parlaklaştığı görüşünde diretiyorlar. Güneş, akıl almaz uzunluktaki geçmişi boyunca Dünya'nın yüzeyini gitgide artan ölçüde ısıtmış olmalıydı. Jim, sıcaklık ve gaz düzenlemelerinin küresel ölçekte gerçekleşmesi gerektiğini düşündü. Bu yaşamsal çevre koşullarının etkin biçimde denetlenmesi gerektiğini fark ederek, yaşamın kendi çevresini koruduğu görüşünü ortaya attı.

Lovelock, fizyoloji biliminden ödünç aldığı terimle, gezegensel çevremizin homeostatik (süredurumsal) olduğuna dikkat çekti. Tıpkı vücudumuzun değişen koşullara karşın görece kararlı bir sıcaklığı koruması gibi —ki bu durum bütün memelilerde aynıdır— Yeryüzü sistemi de sıcaklığını ve atmosfer bileşimini kararlı halde tutar. Lovelock, mühendislik terimleri kullanarak, atmosfer sıcaklığının, olumsuz geribeslemeyle, belirli sabit noktalar çevresinde düzenlendiğini yazdı. "Yaşam çevresel sıcaklığı en iyi düzeyde ayarlar" savı yanlış anlaşıldı, eleştirildi ya da genellikle göz ardı edildi. Lovelock, Yeryüzü'nde yaşamın kavranması bakımından en temel unsurun bu gezegensel düzenleme sistemi olduğu düşüncesinde gitgide daha çok yoğunlaştı.[1]

Gaia adını Lovelock'a, *Sineklerin Tanrısı* romanının yazarı William Golding önermişti. 1970'li yılların başında ikisi de Bo-

werchalke'ta (Wiltshire, İngiltere) yaşıyorlardı. Lovelock komşusuna, "Yeryüzü atmosferinde olağandışı kimyasal olaylarla saptanan, homeostatik eğilimli bir sibernetik sistem" gibi iç bunaltıcı bir ifadenin yerine, "Yeryüzü" anlamına gelecek bir terim bilip bilmediğini sordu. "Dört harfli iyi bir sözcük istiyorum," dedi. Güney İngiltere'de kalker tepelerinin yakınındaki o görkemli kırlarda gezinirlerken, Golding, Gaia'yı önerdi. Eski Yunancada "Toprak Ana" anlamına gelen *Gaia* sözcüğü, *jeol*oji, *geo*metri, Pan*gaea** gibi pek çok bilimsel terime etimolojik açıdan kaynaklık etmiştir.

Bu adı herkes çok tuttu. Çevreciler ve dinsel eğilimli kişiler, kendilerine yabancı olmayan güçlü tanrıça düşüncesini hemen benimseyip, Gaia'ya açıkça bilim dışı bir çağrışım yükleyerek terimin üzerine atladılar. Oxford '96'nın çıkmasından hemen önce Jim, gezegen yüzeyinin, jeolojiyle biyolojinin "sımsıkı birleşmiş", yani yakından bağlantılı olduğu organizma benzeri bir kütle olarak incelenmesine yönelik olarak, *jeofizyoloji* terimini ortaya attı.

Belki de bilime ve entelektüelliğe karşı koyanlara çok mantıklı göründüğü için, bilimcilerin çoğu, hem sözcük hem de düşünce düzeyinde Gaia'ya karşı hâlâ düşmanca bir tutum içinde. Popüler kültürde, bilindiği kadarıyla bu terim, Toprak Ana kavramına tek bir organizma olarak gönderme yapar. İnsan bilgisinin ötesinde canlı bir tanrıça olan Gaia, çevreye kötü davrandığımızda bizi cezalandıracak, bedenine duacı olduğumuzda ise bizi sözde ödüllendirecektir. Böyle bir kişileştirme beni üzüyor.

Jim'in gezegen sistemine ilişkin kuramında ayrıntılarıyla açıkladığı gibi, Gaia bir organizma değildir. Her organizmanın ya yemesi, ya da fotosentez veya kemosentezle kendi besinini üretmesi gerekir. Bütün organizmalar atık üretir. Termodina-

(*) Bugünkü tüm karaların, Yeryüzü'nün oluştuğu dönemlerdeki tek parça olduğu düşünülen durumuna verilen ad (çn).

miğin ikinci yasası bu konuda açık konuşuyor: Bir gövdenin örgütlü yapısını sürdürebilmesi için enerjinin kaybolması, ısı olarak harcanması gerekir. Hiçbir organizma kendi atıklarıyla beslenmez. Canlı Yeryüzü, Gaia, tek bir organizmanın, hatta herhangi bir popülasyonun sınırlarının çok ötesindedir. Bir organizmanın atığı, öbürünün besinidir. Birinin besinini, ötekinin atığından ayıramayan Gaia sistemi, maddeyi küresel düzeyde geri dönüştürür. Gaia, yani sistem, sürekli etkin durumdaki gövdesini oluşturan, birbiriyle bağlantılı on milyonu aşkın canlı türünden doğar. Ne kırılgan olan ne de bilinçli şiddet gösteren gezegensel yaşamın bünyesi epey güçlüdür.

Bilinçeden termodinamiğin ikinci yasasına uydukları için, bütün canlılar enerji ve yiyecek kaynağı ararlar. Hepsi de işe yaramayan ısı ve kimyasal atık üretir. Bu onların biyolojik zorunluluğudur. Her biri büyür, büyürken de çevresindeki pek çok canlıyı sıkıştırır. Gezegen yaşamının bütünü olan Gaia, bizim çevresel düzenleme diye bildiğimiz bir fizyoloji sergiler. Gaia'nın kendisi, diğerleri arasından doğrudan doğruya seçilmiş bir organizma değildir; organizmalar, üzerinde yaşadıkları küresel gezegen ve enerji kaynağı olan Güneş arasındaki etkileşimle ortaya çıkan bir özelliktir. Üstelik çok da eski bir olgudur. İtişip kakışan, beslenen, çiftleşen, oraya buraya yayılan trilyonlarca varlık, Gaia'nın gezegen sistemini oluşturur.

Gaia, bu zorlu aşüfte, hiç de insanların tehdidi altında değildir. Kılsız bir eş için can atan fıkır fıkır bir kuyruksuz maymunun insanlığı henüz hayal bile edemediği 3 milyar yıl önce, gezegende yaşam sürüyordu.

Dürüst olmalıyız. Türümüze özgü kendini beğenmişlik duygusunu üzerimizden atmalıyız. Öteki tüm canlıların kendisi için yaratıldığı, "seçilmiş", benzersiz bir canlı türü olduğumuzu gösteren hiçbir delil yok. Sayıca çok, güçlü ve tehlikeli olduğumuz için en önemli tür de değiliz. Kayırıldığımız yanılsamasını

ısrarla sürdürerek, asıl konumumuzu, yani dik duran, çelimsiz memeliler olduğumuzu örtbas ediyoruz.

Popüler kültürde yanlış anlaşılan Gaia görüşü, mitolojik tınılar üretiyor. Gaia, Yeryüzü'ne bağımlı kısa ömrümüzde, önemli olma isteğimizi ifade ediyor. Günlük güneşlik Yeryüzü'nün "tecavüze uğrayıp" yıkılma tehlikesine ilişkin feminist söylem gibi, Gaia'nın yanlış yorumları da günümüz Püritenciliğini destekliyor. Yüzyıllar boyunca doğayı kişileştirdik. Bilim düşmanlarının ve medya tacirlerinin Gaia kuramına yükledikleri ortak anlam çok düşündürücü. Bilim düşmanları, yalnızca bilmenin bir yolu olan bilimi, teknolojide aşırıya kaçmakla suçluyor; medya tacirleri ise bilimi, beyinsizce yürüttükleri televizyon ve dergi pazarlamasını haklı çıkarmak için kullanıyor.

Popülerleştirilmiş, abartılmış ya da habisleştirilmiş olan Gaia kuramı, yalnızca doğanın korunması ve Tanrıça'ya yeniden dönüş anlamına gelmiyor. Gaia, gezegenin durmaksızın yeni ortamlar ve organizmalar yaratan düzenlenmiş yüzeyidir. Ancak gezegen ne insandır ne de insanlara aittir. Hiçbir insan kültürü, tüm yaratıcılığına karşın, denemeye kalkışsa bile, bu gezegende yaşamı ortadan kaldıramaz. Yeryüzü, etkileşim içindeki muazzam bir ekosistemler yığını ve Gaia'nın düzenleyici fizyolojisi olarak, tek tek bütün organizmaların üzerindedir. Yaşamın merkezi ne insanlar ne de herhangi bir başka türdür. İnsanlar yaşam açısından merkezi önem bile taşımazlar. Bizler çok eski, muazzam bir bütünün hızla büyüyen, yeni bir bölümüyüz.

Gaia, insanlara karşı ne acımasız ne de gözeticidir; dünya çapındaki bir olgu olan sıcaklık, asitlik/bazlık ve gaz bileşimi düzenine verilmiş uygun bir addır. Gaia, Dünya yüzeyinde koskocaman, tek bir ekosistem oluşturan etkileşim halindeki bir ekosistemler dizisidir. İşte o kadar.

Fosillerin bıraktığı izler, Yeryüzü yaşamının, 3 milyar yıllık geçmişinde beş bin nükleer bombanın tümünün birden patla-

tılmasına denk ya da bundan da güçlü sayısız darbeye karşı koyduğunu gösteriyor. Yaşam, özellikle de bakteriyel yaşam, güçlü bir bünyeye sahiptir. Başlangıçtan beri felaketlerle ve yıkımla beslenmiştir. Gaia, bileşenlerinin ekolojik krizlerini içine alır, zekice yanıt verir, böylece yeni bir zorunluluk, yeni buluşlar doğurur.

Bakteriler önceleri, kendi gövdeleri için gereken hidrojeni (H_2) dosdoğru havadan çektiler. Ardından, yanardağların püskürttüğü hidrojen sülfürü (H_2S) aldılar. Sonunda, mavi-yeşil bakteriler, hidrojen atomlarını sudan (H_2O) çekip aldılar. Oksijen, metabolizmanın atık ürünü olarak dışarı boşaltıldı. Başlangıçta felakete yol açan bu atık, sonunda yaşamın süregelen gelişimine güç verdi. Yeni atıklar yaşamın dayanıklılığını ölçer ve yaratıcılığını kamçılar. Soluk almamız için gereken oksijen, önceleri bir zehirdi, hâlâ öyledir. Milyonlarca siyanobakteriden açığa çıkan oksijen, sonunda insan etkinliklerinin çevreye verdiği her türlü zarardan çok daha yaygın bir toplu katliama yol açtı. Kirlenme doğaldır. "Atık üretme!" yalnızca bir öğüttür, açıklama değil. Siyanobakterilerin atıkları bizim temiz havamız oldu. Biz insanlar, gereksindiğimiz hidrojeni, bitkileri ya da başka hayvanları yiyerek elde ederiz. Onlarsız yapamayız. Yeni evrilmiş varlıklar, çoğu kez öteki canlıların enerjilerini, besinlerini ya da atıklarını kullanarak hızla gelişip büyürler. Ancak hiçbiri kendi atığıyla beslenip soluk alamadığından, popülasyon büyümesi daima bir yerde durur. Büyümeleri engellenen popülasyonlar parçalanır ya da yavaşlar. Büyüme üzerindeki bu denetim, tam olarak Charles Darwin'in "doğal seçim"le kastettiği şeydir. Gaia, bu büyüyen, etkileşimde bulunan ve ölen popülasyonların toplamıdır; sayısız farklı varlıktan oluşan, çok-türlü bir gezegen örtüsü olarak Gaia, Yeryüzü'nün tek dev ekosistemidir.

Kendini oluşturan ekosistemlerin tersine Gaia, geridönüşüm dâhisidir. Yeryüzü atmosferinin yaklaşık beşte birini oksijen

(O_2) oluşturur. Oksijen, hidrojenle (H_2) ya da hidrojen içeren gazlarla (CH_4, H_2S, NH_3) birleştiğinde patlamalara ve yangınlara yol açar. Enerji açığa çıkaran tepkimeler, reaktif gazları "harcanmış" ya da daha az reaktif yan ürünlere dönüştürür. Hidrojen (H_2), metan (CH_4), amonyak (NH_3), metil iyodür (CH_3I), metil klorür (CH_3Cl) gibi reaktif gazlar ile kükürt içeren çeşitli gazların Yeryüzü atmosferinde saptanabilmelerinin nedeni, atık oluşturan canlılarca, kendilerinin gösterebileceği tepkiden daha hızlı biçimde, sürekli üretilmeleridir.

Önceleri öğrencim, uzun süredir de meslektaşım olan Lorraine Olendzenski'yle Amherst'teki Massachusetts Üniversitesi'nde (eskiden Massachusetts Ziraat Koleji'ydi) bir video çekmiştik. Mikrobiyoloji laboratuvarlarının öğretmenlerine on yılı aşkın süreyle öğretmenlik yapan, çok iyi bir dostumuz olan mikrobiyolog Betsy Blunt, bu videoda eldivenli elini sağlıklı bir ineğin böğründe açılmış bir delikten, yani bir "fistül"den içeri sokar. Betsy'nin parmakları, bütün sığırlarda ve geviş getiren akrabalarında bulunan dört sindirim organından en büyüğüne, işkembeye dokunur. Betsy fistülden, çoğu kısmen sindirilmiş otlardan oluşan kahverengi, lifli bir pelte çıkarır. Bu pelte öylesine mikropla kapılıdır ki, mikroskopla incelemeden önce epeyce seyreltilmesi gerekir. İneğin mikrobik topluluğu içinde, yüzen tuhaf hücreler, silli protistler vardır.

İşkembede, çoğunluğu sillilerden küçük olan çok sayıda bakteri de yaşar. Bu mikroplar, ot sindirme işini görür.[2] Onlar olmasa, hiçbir inek otlardaki selülozu sindiremez. Aslında, bu selüloz parçalayan bakteriler, tam anlamıyla ineğin kendisidir. Onlar olmasa inek yutamaz, fermantasyon yapamaz, yediklerini ağzına geri getirip, tekrar yutamaz. Mikrobik aracılar olmasaydı, hiçbir inek ot yiyici ya da geviş getirici olmazdı. Ot sindiriminin gaz ürünlerinden biri de metandır. İnekler geğirerek, büyük miktarda metan gazı çıkarırlar. Yeryüzü'ndeki havanın yüksek düzeyde kararsız bir kimyasal karışım olmasının bir ne-

deni de büyükbaş hayvanların çıkardığı metan gazıdır. Ağaç yiyici beyaz karıncalar da metan gazı çıkarır. Onlar da inekler gibi, selülozu parçalayarak çeşitli kimyasal ürünlere dönüştüren bağırsak mikropları barındırır. Karbondioksit, metan, azot ve kükürt içeren gazlar milyonlarca beyaz karıncanın anüsünden havaya karışır. Atmosferdeki uzun süreli kararsız gaz sistemleri, kesintisiz mikrobik yaşamdan kaynaklanır.

Bu bulguları genelleştiren Lovelock, gezegendeki hava sisteminin tamamının "kararlılık ötesi", yani reaktif kararsızlığında kararlı olduğunu ileri sürdü. Kimyasal tepkimelerin sürekliliği, canlı varlıkların toplu etkinliklerine bağlıdır. Yalnızca canlı varlıklar değil, hareketsiz bir fon olarak düşündüğümüz atmosfer de dahil olmak üzere gezegen yüzeyinin tümü kimyasal dengeden öylesine uzaktır ki, en iyisi onu canlı bir varlık gibi görmektir.

Gaia'nın tek bir organizma olmadığını ne kadar vurgulasam azdır. Benim Gaia'm bizi besleyen, belirsiz, yabansı bir Toprak Ana kavramı değildir. Gaia hipotezi bilimdir.[3] Gaia kuramı, gezegen yüzeyinin belirli bakımlardan fizyolojik bir sistem gibi davrandığını öne sürer. Yüzey sıcaklığı, oksijen de dahil olmak üzere atmosferdeki reaktif gazların bileşimi ve pH ya da asitlik-bazlık, fizyolojik olarak denetlenen özelliklerdir.

Bilimcilerin yağışlı ve kurak iklim döngülerindeki değişiklikler ile altının, demirin, fosfatların ve öteki minerallerin mevcut dağılımları gibi pek çok olgu için Gaiacı açıklamalar bulmaya çalışacaklarını sanıyorum. Hem göksel-gezegensel hem de biyolojik anlamda, denetimli fizyolojiye sahip bir cisim demek olan Gaia, kural tanımayan bir grup bilimciyi aynı çatı altında birleştiren, üstelik bu bilimcilerin çalışmalarını tüm dünyada herkes için erişilebilir kılan tek addır. Tıpkı derinin, sıcaklık değişikliklerinin, kan kimyasının ve kalsiyum fosfattan oluşan bir iskeletin insan vücudunun sınırlarını belirgin biçimde çizmesi gibi, Yeryüzü de çevresinden, sürekli düzensizlik göste-

ren atmosferi, dengeli sıcaklığı, kireçtaşından ve granitten olağandışı kayalarıyla ayrılır. Lovelock, Yeryüzü atmosferinin kimyasını kumsalda rastladığımız kumdan kalelerle ya da kuş yuvalarıyla karşılaştırıyor. Onlar da yaşamın tartışmasız ürünleridir. Gezegen'in yüzeyi yalnızca fiziksel, jeolojik, kimyasal, hatta yalnızca jeokimyasal olmayıp, daha çok jeofizyolojiktir; Yeryüzü'nün kesintisiz bir etkileşim içindeki canlılarının hep birlikte oluşturduğu yaşayan bir bedenin niteliklerini sergiler.

Bizim metabolizma dediğimiz fizyolojik kimya, canlı varlıkların etkinliklerinin sonucudur. Gaia'nın kimyasal sistemlerinin birbiriyle ne denli yakından bağlantılı olduğu ise tartışma konusudur. "Zayıf Gaia" görüşü, çevre ile yaşamın iç içe geçtiğini, birlikte evrildiğini ileri sürüyor. Bu görüşe pek karşı çıkan yok. Pek çok bilimci, eski haber diye dikkate bile almıyor. "Güçlü Gaia" ise içerdiği yaşamla birlikte tek bir canlı sistem olan gezegenin, belirli yönlerden o yaşam tarafından düzenlendiğini savunuyor. Bu, kimi biyologların, özellikle de kendilerine yeni-Darwinci diyenlerin alay konusu olmuş bir görüştür. Oxford'tan Richard Dawkins'in önderliğindeki bu bilimciler, başka gezegen sistemleriyle birlikte doğal seçimle evrilmiş olmayan bir birleşmiş gezegenler sistemi düşüncesine karşı çıkıyorlar. Durmadan görüş değiştirmekle suçlanan Lovelock, Berkeley'deki California Üniversitesi'nden bilimci ve felsefeci J. Kirshner'in ortaya attığı bir terim olan "Güçlü Gaia"dan hiç vazgeçmediğini savunuyor.

Amerikan Jeofizik Derneği'nin 1988'deki Chapman Konferansı'nda Kirshner, "Güçlü Gaia"yı sözüm ona savunup hemen ardından alaya almıştı. Bu konferansın Schneider ve Boston tarafından yayına hazırlanan raporundan hem Kirshner'in hem de diğerlerinin Gaia'ya ve felsefesine karşı tepkilerini öğrenebilirsiniz.[1] Gerçi Lovelock, Gaia'nın "teleolojik"* olduğu yolundaki ilk görüşünden vazgeçtiğini kabul ediyor. Artık, can-

(*) Doğada her şeyin belirli bir amaca yönelik olduğunu öne süren görüş (çn).

lı gezegen sisteminin, koşulları bütün üyeleri için en iyi duruma getirmek üzere birlikte hareket ettiğini savunmuyor. Gaiacı süreklilik açısından, biyolojik çeşitlilik mutlak bir koşuldur. En fazla kayırılan türler sıralaması diye bir şey yoktur. Her organizma üzerine düşeni yapar: Büyür ve çoğalmaya çalışır. Seçme baskıları, yani bütün organizmaların büyümekte ve üremekte ısrar etmesi, birtakım belirlenmiş koşullar altında belirli yaşam türlerini kayırır. Bunlar büyür, genişler, atık boşaltır ve geridönüşür. Bütün bunları yaparken, daha da farklı yaşam türleri üzerinde çok büyük seçme baskıları uygular. Sonuç, Gaia'dır.

Yaşam hiç olmasaydı, sıcaklık ve gaz bileşimi yalnızca fiziksel etmenlere bakılarak kestirilebilirdi. Yerküre'nin yüzeyine ilişkin özellikler, Güneş'in enerji üretimi ile kimya ve fizik yasaları tarafından belirlenirdi. Ancak bu özellikler, yalnızca fizik ve kimyaya dayalı kestirimlerden epeyce farklıdır. Biyoloji dışı bilimler, Yerküre'nin yüzey ortamını açıklamakta yetersiz kalır. Gaz üreten, sıcaklığı değiştiren canlı organizmaların çok yönlü rolleri dikkate alındığında, bu farklılıklar ortadan kalkar. Gaia kuramı yararlı bilimdir.

Her yeni fikir, ardından eleştiri getirir. Özellikle de, öteki bilimcilerin eleştirel yayınları ve tekrarlanabilir deneylerle eleştirinin kurumsallaştığı bilimsel alanlarda bu böyledir. Gaia görüşü, jeologların, jeokimyacılarının, atmosfer kimyacılarının, hatta meteorologların, kendi alanları dışındaki bilimi anlamalarını gerektirir. Bu bilimcilerin biyoloji, özellikle de mikrobiyoloji eğitimi görmeleri gerekir. Oysa akademik ayrımcılık direnç oluşturur. Gaia'yı kabul etmek, birbiriyle ilişkili alanlarda çalışan insanların hiç de hevesli olmadıkları adımları atmalarını gerektirecektir.

Kimi eleştirmenler, Gaia'da adından başka yeni bir şey olmadığını ileri sürerken, kimisi de Dünya yüzeyinin canlı olduğu önermesinin, sınanamayacak denli geniş kapsamlı olduğunu

savunuyor. Hiç de değil: Eğer yaşamı, doğal seçme yeteneğine sahip bir üreme sistemi olarak tanımlarsak, Gaia da bir canlıdır. Bunu en kolay yoldan, basit bir düşünce deneyiyle anlayabiliriz. Mikrop, mantar, hayvan ve bitkileri taşıyan bir uzay aracının, Merih'e gönderildiğini hayal edin. Kendi besinini üretip atıklarını dönüştürebildiğini ve iki yüz yıl boyunca varlığını sürdürdüğünü düşünün. Gaia, bir bütün olarak, yaşamın dönüştürme sistemidir. Ortaya çıkacak şey, bir Gaia'dan ikincisinin filizlenmesi olurdu. Böyle minyatür bir Gaia'nın yapılandırılması, gerçek üremeyi temsil ederdi. Dorion Sagan'ın *Biosphere* (Biyosfer) adlı kitabı, bu duruma açıklık getiriyor.[5]

Gaia kuramına ilişkin bir başka eleştiri de bilimcilerin korkularına hitap ediyor. Gaia kuramının en eski Toprak Ana inanışını çağrıştırmasının, kuramı tehlikeli biçimde bilim dışına ittiğini söylüyorlar. Bu eleştirmenlere göre, gezegendeki bir varlık, bilinçli denetimden yoksunsa, asla diğerleriyle uyum içinde davranamaz. Gezegen, atmosferdeki oksijeni yaklaşık yüzde yirmilerde tutmak için, yoğunluğunu ne zaman artıracağını ya da düşüreceğini nasıl anlar? Bu oksijen düzeyi, küresel yangın tehlikesi ile havasızlıktan boğulma yoluyla toplu ölüm riski arasında gidip gelir. Gaia, canlıları tehlikeli bir tuzluluk düzeyinden korumak için okyanuslardaki tuzdan arınmayı nasıl "ayarlayabilir"? Güneş'in gitgide artan parıltısını dengelemek üzere, tüm gövdesini nasıl soğutabilir? Gaia, sıcaklığa yardımcı olmak üzere okyanusların bulut örtüsünü düzenlemeyi nereden bilir? Kimdir bu Gaia?

Lovelock bu soruları, Gaia'nın gezegen ortamını ayarlamak için bilince gerek duymadığını söyleyerek yanıtlıyor. Matematikte fraktal geometri diye bilinen yeni çalışmalar, ayrıntılı grafiklerin parlak fikirli sanatçılar tarafından değil, algoritma denen basit bilgisayar adımlarının tekrarlanmasıyla yapılabildiğini gösterdi. Yaşam da benzer biçimde, hücresel büyüme ve üremesiyle ilgili kimyasal döngüleri tekrarlayarak büyüleyici

"tasarımlar" üretir. Düzen, tekrarlanan bilinçsiz etkinlikler tarafından sağlanır. Tüm yaşamı dokuyan bir ağ olarak Gaia, bütün hücreleri, gövdeleri ve topluluklarıyla farklı derecelerde canlı, farkında ve bilinçlidir. Tıpkı iç uyarılara duyarlılık gibi, Gaia modelleri de planlanmış gibi görünür, ama herhangi bir merkezi "baş" ya da "beyin" olmaksızın ortaya çıkar. İç uyarılara duyarlılığın özbilinç şeklindeki evrimi, hayvanların ve beyinlerinin gelişmesinden çok daha önce gerçekleşmiştir.

Bitkilerin, protoktistlerin, mantarların ve hayvanların kendi ortamlarındaki duyarlılıkları, farkındalıkları ve tepkileri, "bizzat" Gaia'nın küresel duyarlılığının ve tepkisinin temelindeki tekrarlanan modeli oluşturur. Lovelock, meslektaşı ve eski doktora öğrencisi Andy Watson'la birlikte, "Papatya Dünyası" diye bilinen bir bilgisayar modeli geliştirdi. Sözgelimi, üzerinde yalnızca siyah ve beyaz papatyaların yaşadığı bir gezegen varsayıyorlar. Bu gezegen, güneşimizin tıpkısı olarak düşünülmüş, milyonlarca yıldır giderek daha parlak hale gelen bir yıldızın ışınımı altında bulunuyor. Başka bir varsayım olmadan, cinsellik ya da evrim olmadan, gezegenin bilinçliliğine ilişkin gizemli inanışlar olmadan, Papatya Dünyası'nın papatyaları, ısıtan Güneş'e karşın dünyalarını soğutuyorlar.

Varsayımlar basit. Siyah papatyalar ısıyı emme, beyaz papatyalar ise ısıyı yansıtma eğilimi taşıyorlar. 10° santigratın altındaki sıcaklıklarda hiç çiçek yetişmiyor, 45° santigratın üzerinde ise bütün çiçekler ölüyor. Bu dereceler arasında siyah papatyalar genelde kendi ortamlarındaki ısıyı emdiklerinden, daha soğuk koşullarda daha hızlı büyüyorlar. Beyaz papatyalar ise daha sıcak koşullarda ısıyı yansıttıkları ve ısı kaybına uğradıkları için iyice gelişip daha fazla döl üretiyorlar. Önce siyah papatyaların dünyasından başlayalım. Güneş'in parlaklığı arttıkça siyah papatyalar yüzey alanlarını genişleterek, ısıyı emerek ve çevrelerini ısıtarak büyüyorlar. Siyah papatyalar çevrelerini ısıttıkça, yüzeyin kendisi de ısınarak popülasyonun daha

da artmasını sağlıyor. Bu olumlu geribesleme, büyüyen papatyaların çevreyi iyice ısıtmasıyla, beyaz papatya sayısının siyahları aşmasına dek sürüp gidiyor. Daha az emici ve daha yansıtıcı olan beyaz papatyalar gezegeni soğutmaya başlıyor. Bütün bunların sonucu, güneş evriminin ilk dönemlerinde daha soğuk olan gezegen yüzeyinin ısınması, sonra da güneşin parlaklığı arttıkça, gezegenin görece soğuk tutulması oluyor. Sıcaklığı gitgide artan güneşe karşın gezegen, sıcaklığını uzun süre kararlı düzeyde koruyor.

Papatya Dünyası, Gaia biliminde bir dönüm noktası oldu. İngiltere'nin Devon kentindeki Schumacher Koleji'nden profesör Stephan Harding, şimdilerde yirmi üç farklı renkte papatya türünün yanı sıra, bu papatyaları yiyen otoburlar ve otoburları yiyen etoburlardan oluşan Papatya Dünyası modelleri yaratıyor. Bu modellerde, belirli bir tür için elverişli olanlarla, bir bütün olarak gezegen için elverişli olanlar arasında hiçbir ilişki görünmüyor. Bir organizma tipindeki popülasyon artışı, bu organizmanın sonunu getirebilir. Ortaya çıkan şey, doğal seçimle küresel sıcaklığın düzenlenmesi arasındaki çakışmanın matematiksel taslağıdır. Küresel sıcaklığın düzenlenmesi, Gaia davranışının paradigmatik bir örneğidir. Harding'in modelleri, farklılıklar içeren yaşamın, tüm gezegeni kapsayan sonuçları destekleyecek, hatta meydana getirecek şekilde davrandığını gösteriyor.

Biyologlar Gaia kuramını benimsemekte daha istekliler. Sıcaklığın düzenlenmesi, yalnızca Papatya Dünyası'nın değil, canlı varlıkların ve toplulukların da fizyolojik bir işlevidir. Memeliler, ton balıkları, yılanyastığı bitkileri, arı kovanları, hepsi de kendi sıcaklıklarını birkaç derecelik bir aralık içinde düzenlerler. Peki, bitki hücreleri ya da kovandaki arılar sıcaklığı korumayı nereden "biliyorlar"? Temeldeki yanıt ne olursa olsun, ton balığı, yılanyastığı, arı ve fare hücreleri, gezegenin tümünde egemen olan, aynı tip fizyolojik düzenleme işlevine sahiptir.

Gaia, tüm sembiyogenetik görkemiyle doğuştan cömert, akıllı, zevkli, kadim ve son derece dayanıklıdır. Hiçbir gök cismi çarpışması ya da nükleer patlama, Gaia'nın bütünlüğüne yönelik bir tehlike oluşturamaz. Şimdiye dek biz insanların, egemenliğimizi kanıtlamak üzere yaptığımız tek şey yayılmak oldu. Sayımız gitgide artsa bile küstah, kalın kafalı ve hâlâ en yeni tür olarak kalacağız. Dayanıklılığımız, aldatmacadan başka bir şey değil. Sınırsızca büyüme eğilimimize direnecek aklımız ve disiplinimiz var mı? Bu gezegen nüfusumuzu artırmayı sürdürmemize izin vermeyecek. Denetimden çıkmış bakteri, çekirge, sazan balığı, fare ve ot popülasyonları her zaman ortadan yok olur. Yığılma ve şiddetli kıtlık başgösterdiğinde, kendi atıkları onları bile tiksindirir. "Öteki"nin fırsatçı biçimde çoğalarak yayılmasından sonra, yıkıcı davranışları ve toplumsal parçalanmayı izleyen hastalıklar başgösterir. Çaresiz kaldıklarında otçul hayvanlar bile acımasız birer avcı ve yamyam kesilebilirler. İnekler tavşanları avlayıp kendi buzağılarını yer; pek çok memeli, zayıf doğan kardeşlerinin eti için ötekilerle kavgaya tutuşur. Popülasyonun aşırı büyümesi baskıya yol açar; baskı ise popülasyonun aşırı büyümesini engeller. Bu, Gaia'nın düzenlediği bir döngü örneğidir.

Biz insanlar da tıpkı gezegendaşlarımız gibiyiz. Doğa'ya son veremeyiz, yalnızca kendimize karşı tehlike yaratabiliriz. Nükleer santrallerdeki su tanklarında ya da kaynar suyun aktığı deliklerde yaşayarak çoğalan bakteriler de dahil olmak üzere, bütün yaşamı yok edebileceğimiz görüşü gülünçtür. İnsan olmayan dostlarımızın kıs kıs gülerek, "Başımın çaresine baktım seni tanımadan önce, başımın çaresine bakarım sen gidince de," diyen bizimle ilgili şarkıyı hep bir ağızdan söylediklerini duyuyorum. İçlerinden çoğu; mikroplar, balinalar, böcekler, tohumlu bitkiler, kuşlar hâlâ bu şarkıyı söylüyorlar. Tropik ormanlardaki ağaçlar tekrar eskisi gibi büyüyüp gelişebilmek için, kendilerini dizginleyerek, kibirle yürüdüğümüz yolun so-

nuna varmamızı bekliyorlar. Göçüp gitmemizden uzun süre sonra da, uyumsuz ve uyumlu sesler çıkarmayı sürdürecekler.

EK

BELLİ BAŞLI YAŞAM TÜRLERİ*

PROKARYOTLAR (ortakyaşamla oluşmayanlar)	Genom sayısı	ÖKARYOTLAR (ortakyaşamla oluşanlar)	Bütünleşmiş genetik sistemlerin en düşük sayısı (genom ya da monadlar)
BAKTERİLER ("Monera")		PROTOKTİSTLER	
arkebakteriler, gram-pozitif öbakteriler	1	suyosunları (tüm algler), amipler, silliler, cıvık mantarlar, ağsı cıvık mantarlar, mastigotlar, su mantarları	2
Siyanobakterileri de içeren gram-negatif öbakteriler		MANTARLAR küfler, mantarlar, mayalar, kökmantarlar	3
		HAYVANLAR	
		süngerler, denizanaları, yengeçler, deniztarakları, salyangozlar, balıklar, kuşlar, memeliler	4
		BİTKİLER	
		Yosunlar, eğreltiotları, kozalaklılar, çiçekli bitkiler	5

(*) bkz. Şekil 2, sayfa 40.

GİRİŞ

1. Lynn Margulis ve Dorion Sagan, *Slanted Thruths: Essays on Gaia, Symbiosis, and Evolution* (New York: Copernicus Books, 1997): "Sunday with J. Robert Oppenheimer" ve birçoğu daha önce yayınlanmış olan başka çalışmalar, Yeni-Darwinci biyolojinin "büyük derdi"ni ve akademik ayrımcılığın genelde yıkıcı olan etkilerini açıklıyor. Makaleler, yaşam kavramını bir gezegen olgusu olarak ayrıntılarıyla ele alıyor ve özellikle bakteriyel bağlantılarıyla sembiyogenezin, evrimsel yeniliklerin başlıca kaynağı olduğunu açıklıyor.
   Lynn Margulis ve Dorion Sagan, *What Is Sex?* (New York: Simon & Schuster, 1997): Enerji dolu bir evrende düşünsel başlangıcından siber-cinselliğe ve ötelerine uzanan cinselliğin evrimine yönelik felsefi ve betimleyici bir araştırma.
   Lynn Margulis ve Dorion Sagan, *What Is Life?* (New York: Simon & Schuster, 1997): Renkli fotoğraflar ve siyah-beyaz çizimlerin yer aldığı bu kitap, tarihin en çarpıcı sorunlarından birini felsefi ve bilimsel açılardan araştırıyor. Mekanizmi de, vitalizmi de aşan bir yaşam görüşünü savunuyor. Küresel ekonominin güneşe dayanan temeli ve insanın süper organizma olarak konumuyla ilgili bölümler içeren yapıt, evrimsel gelişimde özgür iradenin gözden kaçan rolü üzerinde duruyor.
   Gaia to Micrososm Cilt 1, *Planetary Life* (Dubuque: Kendall/Hunt, 1994): Dört kısa video: *From Bacteria to Biosphere*; *Photosynthetic*

Bacteria – Red Sunlight Transformers; Spirosymplokos deltaeiberi – *Microbial Mats and Mud Puddles*; *and* Ophrydium versatile: *What Is an Individual?*

Dorion Sagan ve Lynn Margulis, *Garden of Microbial Delights: A Practical Guide to the Subvisible World* (Dubuque: Kendall/Hunt, 1993): Mikroskobik dünyanın yararları, çeşitlilik ve bilgi tarihi üzerine, evde mikrop beslemeye ilişkin notlar da içeren bir rehber. Öğretmenleri, öğrencileri, doğaseverler ve doğa tarihi müzelerini gezenleri göz önüne alarak hazırlanmış olan bu kitapta, çok sayıda resim de yer alıyor.

Lynn Margulis, *Five Kingdoms Poster*, resimleyen Christie Lyons, tasarlayan Dorian Sagan (Rochester, New York: Ward's, 1992): Setin içinde öğretmenlere yönelik bir poster rehberinin yanı sıra, bir de sınıf içi etkinlikler rehberi yer alıyor.

Lynn Margulis ve Dorion Sagan, *Origins of Sex: Three Billion Years of Genetic Recombination* (New Haven, Connecticut: Yale University Press, 1991): Bakterilerde yenilenen DNA bileşiminin açıklaması ve ortaya çıkış zamanı, protistlerde hücre kaynaşması, cinsiyetin ortaya çıkması, kuşaklarda değişim ve evrimleri bağlamında diğer cinsel süreçler.

Lynn Margulis ve Dorion Sagan, *Mystery Dance: On the Evolution of Human Sexuality* (New York: Summit Books, 1991): Ataların, insanın cinsel yapısı ve davranışları üzerindeki çok yönlü etkilerinin özeti. Lakancı psikanaliz, memeli beyninin sürüngen kökenleri, spermlerin yarışı ve genetik çoğalmada kıskançlığa bağlı şiddetin rolü gibi konular, tartışmalar arasında başı çekiyor. Öykü, en son evrilmiş atalardan başlıyor, mayoz bölünmenin kökenleri ve tek hücrelilerde morötesi ışıkla açığa çıkarılan bakteri cinselliğiyle sona eriyor.

Lynn Margulis ve Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Evolution from Our Microbial Ancestors*, Dr. Lewis Thomas'ın önsözüyle (Berkeley: University of California Press, karton kapaklı basım, 1998): İlk yaşamın kolay anlaşılır bir dille anlatımı. İçerdiği konular arasında çekirdekli hücrelerin kökeni, Yeryüzü atmosferinde önceleri zehirleyici etki yapan oksijenin birikmesi, mikrop kolonilerinden bitkilerin ve hayvanların ortaya çıkışı da yer alıyor. Yeni bir yazarın kaleminden çıkan önsöz, kitabın mikrop-insan ilişkisini tersine çeviren stratejisinin ötesine geçme gereğini anımsatıyor. Çözümleme 15 milyar yıl öncesinden, evrenin kökenlerinden başlıyor ve insanlı ya da insansız bir yaşamın geleceğine ilişkin spekülasyonlarla sona eriyor.

2. New England Bilim Merkezi'nde (222 Harrington Way, Worcester, Massachusetts) "What Is Life?" sergisini oluşturan Lois Byrnes (Deep Time Associates, P.O. Box 58, Rockport, Massachusetts), Christie Lyons'ın çizimlerine, bizim videolarımıza, SET'i ve Gaia'yı açıklayan başka iletişim araçlarına yer verdi. Bu ve bunun gibi mükemmel sergiler salıdan cumartesiye kadar, saat 10:00 - 17:00 arası halka açıktır.
3. Doğa ve Tanrı ile ilişkilerimiz, Evan Eisenberg'in *Ecology of Eden* (New York: Alfred Knopf, 1998) adlı yeni kitabında tüm derinliği ve karmaşıklığıyla, soluk kesici bir biçimde çözümleniyor.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. I. E. Wallin, *Symbioticism and the Origin of the Species* (Baltimore: Williams & Wilkins, 1927). Charles Darwin, *On the Origin of the Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life* (Londra: Murray, 1859).
2. Sorin Sonea ve Maurice Panisset, *A New Bacteriology* (Sudbury, Massachusetts: Jones & Bartlett Publishers, 1993).
3. Paul Nardon ve A.M. Grenier, "Serial Endosymbiosis Theory and Weevil Evolution: The Role of Symbiosis", L. Margulis ve R. Fester'in (haz.) *Symbiosis as a Source of Evolutionary Innovation*'dan (Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1991).
4. Bu organizmalar ve etkinlikleri, videolarla çarpıcı biçimde gösterilmiştir: Bkz. Sciencewriters, *Gaia to Microorganism* (Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company, 1996) ve Lorraine Olendzenski, Lynn Margulis, Steve Goodwin, *Looking at Microbes: The Microbiology Laboratory for Students* (Sudbury, Massachusetts: Jones & Bartlett Publishers, 1998).

İKİNCİ BÖLÜM

1. G.G. Simpson, *An Autobiography* (New York: Columbia University Press, 1977).
2. Bu organellerin kalıtımı, kökeni ve evrimine ilişkin teknik bir açıklama için bkz. *Symbiosis in Cell Evolution*'un ikinci basımı (New York: W.H. Freeman, 1993). Aynı konularda daha az teknik, ama kesinlikle yeterli bir bakış açısı için, bkz. Lynn Margulis ve Dorion Sagan, *Microcosmos: Four Billion Years of Evolution from Our Microbial Ancestors*. Sitoplazma genetiğinin meraklı ve dikkate değer tarihi için bkz. J. Sapp, *Beyond the Gene* (New York: Cambridge University Press, 1987).

3. J. Sapp, *Evolution by Association: A History of Symbiosis* (New York: Oxford University Press, 1994).
4. B. Ephrussi, *Nucleo-cytoplasmic Relations in Micro-Organisms* (Oxford, İngiltere: Clarendon Press, 1953).
5. Bkz. Sapp'ın *Beyond the Gene*'i, yukarıda 2. not.
6. J. Sapp, *Evolution by Association: A History of Symbiosis* (New York: Oxford University Press, 1994). Dobzhansky'den alıntı (1973): "Biyolojide evrimin ışığı altında olmayan hiçbir şeyin anlamı yoktur." s. 187.
7. R. Sager ve F. Ryan, *Cell Heredity* (New York: John Wiley & Sons, 1961); ayrıca bkz. G. Pontecorvo, *Trends in Genetic Analysis* (New York: Columbia University Press, 1959).
8. E. B. Wilson, *The Cell in Development and Heredity*, 3. basım (New York: Macmillan Co., 1928).
9. L.N. Khakhina, *Concepts of Symbiogenesis: A Historical and Critical Study of the Research of the Russian Botanists* (New Haven, Connecticut: Yale University Press, 1992).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

1. D.C. Smith, "From Extracellular to Intracellular: The Establishment of a Symbiosis", *The Cell as a Habitat*, sayı 204, (Londra: The Royal Society, 1979) s. 115-130.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

1. On dokuzuncu yüzyılın yılmaz ve verimli araştırmacısı, Alman biyolog Christian Ehrenberg'in yarattığı bir kavram. Bkz. Giriş'in 1. notunda *What Is Life?*
2. H.F. Copeland, *Classification of the Lower Organisms* (Palo Alto, California: Palo Alto Books, 1956).
3. R.H. Whittaker, *Community Ecology*, 2. basım (New York: Macmillan, 1975)
4. R.H. Whittaker, "New Concepts of Kingdoms", Science 163: s. 150-160, 1969.
5. Mikroplar arasında bakteriler, küçük protoktistler ve küçük mantarlar da yer alır. Bkz. Lynn Margulis ve Karlene V. Schwartz, *Five Kingdoms: An Illustrated Guide to the Phyla of Life on Earth*, 3. basım (New York: W.H. Freeman, 1998). Bakteriler, protoktistler, mantarlar, hayvanlar ve bitkilerden yaklaşık yüz filumun tanımının yanı sıra, örnek ve mümkünse canlı bir organizmanın fotoğrafı ile filumun tipik üyelerinden birinin açıklamalı çizimi.

6. L. Margulis, K.V. Schwartz ve M. Dolan'ın, *Diversity of Life on Earth: Illustrated Five Kingdoms* (Sudbury, Massachusetts: Jones & Bartlett, 1999) kitabında protoktistler, çöllerden açık denizlere, çok sayıdaki doğal ortamlarında gösteriliyor. Tüm çizimlerde tanıdığımız daha büyük organizmalar mikroplara eşlik ediyor.

BEŞİNCİ BÖLÜM

1. J. Morowitz, *Mayonnaise and the Origin of Life: Thoughts of Minds and Molecules* (Woodbridge, Connecticut: Ox Bow Press, 1985).
2. D. Deamer ve G. Fleischaker, *Origins of Life: The Central Concepts* (Sudbury, Massachusetts: Jones & Bartlett, 1994).
3. Francis Crick, *Life Itself: Its Origins and Nature* (New York, Simon & Schuster, 1981).
4. H.J. Morowitz, *Beginning of Cellular Life* (New Haven, Connecticutt: Yale University Press, 1992).
5. F. Dyson, *Origin of Life* (Cambridge: Cambridge University Press, 1987).
6. M.T. Madigan, J.M. Matinko ve J. Parker, *Brock Biology of Microorganisms*, 8. basım (Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1997).

ALTINCI BÖLÜM

1. Lynda J. Goff, "Symbiosis, Interspecific Gene Transfer and the Evolution of New Species: A Case Study in the Parasitic Red Algae", L. Margulis ve R. Fester (haz.), *Symbiosis as a Source of Evolutionary Innovation* (Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1991).
2. Lynn Margulis ve Dorion Sagan, *What Is Sex?* (New York: Simon & Schuster, 1997) ve *Origins of Sex: Three Billion Years of Genetic Recombination* (New Haven, Connecticut: Yale University Press, 1991).
3. L.R. Cleveland, "The Origin and Evolution of Meiosis", *Science*, sayı 105, s. 287-288, 1947.

YEDİNCİ BÖLÜM

1. M.A. McMenamin ve D.S. McMenamin, *Hypersea: Life on Land* (New York: Columbia University Press, 1994).
2. V.I. Vernadsky, *The Biosphere* (New York: Copernicus, Springer-Verlag, 1998, Rusçası 1926).

SEKİZİNCİ BÖLÜM

1. James E. Lovelock, *Gaia: A New Look at Life on Earth* (Oxford, İngiltere: Oxford University Press, 1979).
2. Lorraine Olendzenski, Lynn Margulis ve Steve Goodwin, *Looking at Microbes* videoları 1. bölüm: *The Microbiology Laboratory for Students*, 2. bölüm: *Microbe's World* (Sudbury, Massachusetts: Jones & Barlett Publishers, 1998).
3. P. Bunyard (haz.), *Gaia in Action: Science of the Living Earth* (Edinburgh, İngiltere: Floris Books, 1996).
4. S. Schneider ve P. Boston, *Scientists on Gaia* (Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1990.
5. Agy.

VARLIK / BİLİM



Son dönemin tanınmış bilimcilerinden Lynn Margulis, "değişik türlerden canlıların birbiriyle fiziksel temas halinde yaşaması" anlamına gelen ortakyaşamın, evrim sürecinde yeni türlerin ortaya çıkmasında çok büyük rol oynadığını gösteriyor.
Bizi oluşturan hücrelerin de, çeşitli bakterilerin ortakyaşam bileşiminden ibaret olduğunu; kuru toprağın ancak, yosun ve mantar ortakyaşamları bitkilere dönüştüğünde ağaçlandığını, bütün canlı yaratıklar aynı sulardan ve atmosferden yararlandığı için, tüm yeryüzü sakinlerinin birer ortakyaşar olduğunu açıklıyor.

ISBN 975-434-222-9
9 789754 342222