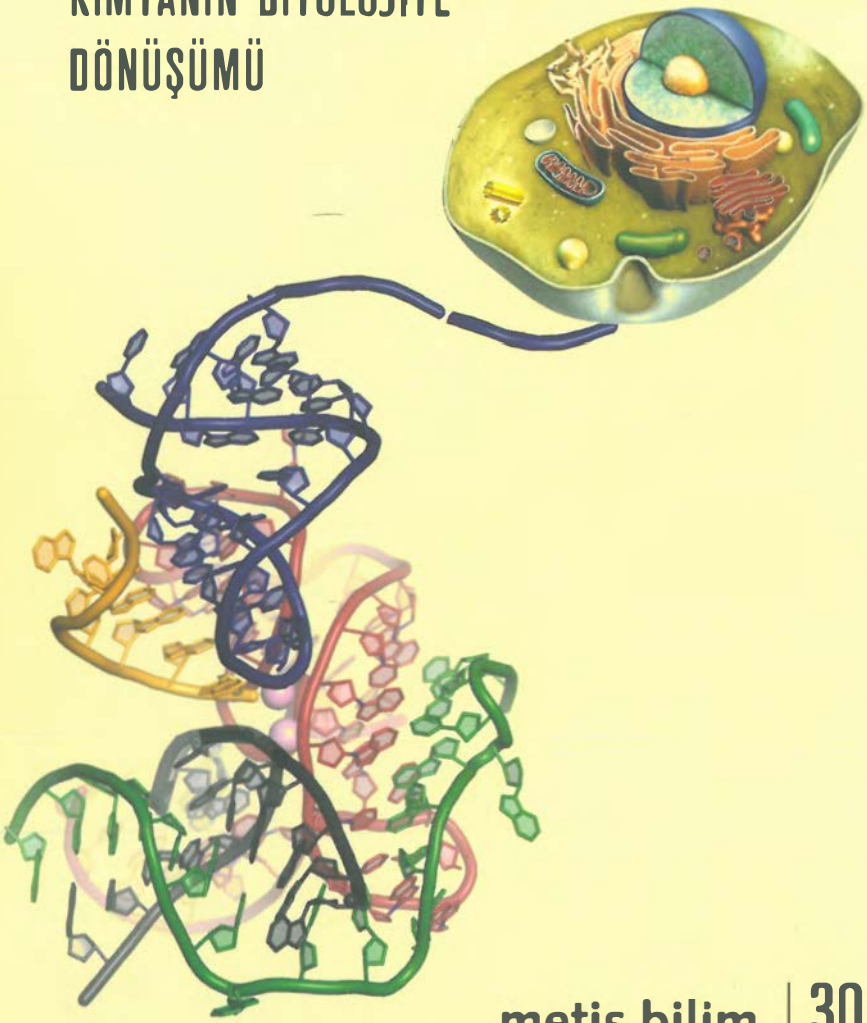
30 | ADDY PROSS Yaşam Nedir?

ADDY PROSS

Yaşam Nedir?

KİMYANIN BİYOLOJİYE DÖNÜŞÜMÜ



metis bilim | 30

ADDY PROSS

Yaşam Nedir?

KİMYANIN BİYOLOJİYE DÖNÜŞÜMÜ

1945 doğumlu İsrailli kuramsal kimyacı. Organik kimya dalında doktorasını 1970 yılında Sydney Üniversitesi'nden aldı. Pross, yaygın kabul gören Pross-Shaik modeliyle katkıda bulunduğu kimyasal tepkinlik alanında bir otorite olarak tanınıyor. Dünya çapında çeşitli üniversitelerde misafir profesör olarak ders vermenin yanı sıra, birçok kimya ve biyoloji dergisinin yayın kurulunda ve akademik kurullarda yer aldı, makaleleri saygın yayınlarda çıktı. Son yıllarda dikkatini biyoloji alanına çevirerek "yaşamın kökeni" sorusunu kimya bağlamında ele alan Pross, halen Necef'teki Ben Gurion Üniversitesi'nde kimya profesörü olarak hizmet veriyor.



Metis Yayınları
İpek Sokak 5, 34433 Beyoğlu, İstanbul
e-posta: info@metiskitap.com
www.metiskitap.com
Yayınevi Sertifika No: 10726

Yaşam Nedir?
Kimyanın Biyolojiye Dönüşümü
Addy Pross

İngilizce Basımı:
What is Life?
How Chemistry Becomes Biology
Oxford University Press, 2012

© Addy Pross, 2012

Oxford University Press ile yapılan
sözleşme temelinde yayımlanmıştır.

© Metis Yayınları, 2015
Çeviri Eser © Raşit Gürdilek, 2016

İlk Basım: Aralık 2016

Yayıma Hazırlayan: Özde Duygu Gürkan

Kapak Tasarımı: Emine Bora

Dizgi ve Baskı Öncesi Hazırlık: Metis Yayıncılık Ltd.
Baskı ve Cilt: Yaylacık Matbaacılık Ltd.
Fatih Sanayi Sitesi No. 12/197 Topkapı, İstanbul
Matbaa Sertifika No: 11931

ISBN-13: 978-605-316-070-0

Eserin bütünüyle ya da kısmen fotokopisinin çekilmesi, mekanik ya da elektronik araçlarla çoğaltılması, kopyalanarak internette ya da herhangi bir veri saklama cihazında bulundurulması, 5846 Sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'nun hükümlerine aykırıdır ve hak sahiplerinin maddi ve manevi haklarının çiğnenmesi anlamına geldiği için suç oluşturmaktadır.

ADDY PROSS

Yaşam Nedir?

KİMYANIN BİYOLOJİYE DÖNÜŞÜMÜ

Çeviren: Raşit Gürdilek

metis

Nella, Guy ve Tamar'a,
hayatıma kattıkları şeyler için

İçindekiler

Önsöz 11

1 Canlı Varlıklar Ne Kadar da Garip 17

2 Yaşam Kuramının Peşinde 41

3 "Anlama"yı Anlamak 50

4 Kararlılık ve Kararsızlık 63

5 Çetrefil Bir Mesele: Yaşamın Kökeni 83

6 Biyolojinin Kimlik Bunalımı 107

7 Biyoloji Kimyadır 116

8 Yaşam Nedir? 147

Kaynaklar ve Notlar 175

Dizin 181

Önsöz

Öğle sonrasını yaşam hakkında düşünmekle geçirdim. Düşündüğünüzde yaşam ne kadar garip bir şey! Hani başka hiçbir şeye benzememesi – anlıyorsunuz değil mi?

P. G. Wodehouse

BU KİTAP, EVRENDEKİ YERİMİZİ, canlı varlıkların doğasını ve canlı olmayanlarla ilişkisini daha iyi anlama çabasına girdiğinden beri insanlığı büyüleyen ve kıvrandıran soruları temel alıyor. Bu sorulara kesin yanıtlar bulmanın önemini belirtmeye gerek bile yok; bunlar yalnızca kim ve ne olduğumuzu açıklamakla kalmayıp, bir bütün olarak evren hakkındaki anlayışımızı da etkileyecekler. Evren, antropik ya da insancıl ilke denen tezi savunanların ima ettikleri gibi yaşamı desteklemek için bir ince ayardan mı geçti? Ya da insanın evrendeki yerine daha Kopernikçi bir noktadan bakacak olursak, ünlü fizikçi Stephen Hawking'in deyişiyle, "İnsan ırkı mütevazı ölçülerde bir gezegen üzerindeki kimyasal bir pislikten öte bir şey değil mi?" Görüşler arasında bundan daha geniş bir uçurumu zihinde canlandırmak zor olurdu.

Bundan neredeyse 70 yıl önce başka bir ünlü fizikçi, Erwin Schrödinger, *Yaşam Nedir?* şeklindeki ilgi çekici başlığı bu sorunu doğrudan hedefleyen bir kitap yazmıştı. Kitabın ilk satırlarında şöyle diyordu Schrödinger:

Uzay ve zamanda canlı bir organizmanın uzamsal sınırları içinde cereyan eden olaylar fizik ve kimya ile nasıl açıklanabilir? Sorunun yanıtı ilk aşamada ... şöyle özetlenebilir: Günümüz fizik ve kimyasının bu olayları

açıklamaktaki yetersizliği, bunların bu bilimlerce açıklanabileceğinden kuşku duymayı gerektirmez.

Aradan geçen yıllara ve bu esnada moleküler biyoloji alanında uzun bir Nobel Ödülleri listesinin aydınlattığı muazzam ilerlemelere karşın hâlâ Schrödinger'in basit ve net sorusuyla uğraşıyoruz. Hem de ne uğraşma! Yirminci yüzyılın önde gelen biyologlarından Carl Woese kısa süre önce, günümüzde biyolojinin durumunun, yirminci yüzyılın başında Albert Einstein, Niels Bohr, Erwin Schrödinger ve öteki büyük yirminci yüzyıl fizikçileri henüz devrim yaratmamışken fiziğin içinde bulunduğu durumu andırdığını, biyolojinin devrimi için de zamanın geldiğini dile getirdi. Güçlü duygular doğrusu! Öte yandan, yeni bir değerlendirmeye fazlasıyla ihtiyaç duyan modern biyolojinin, bu ihtiyaca karşı kayıtsız ya da daha kötüsü bundan habersiz olan uygulayıcılarıyla şimdiki mekanistik rotasında dertsiz tasasız kıvrıla kıvrıla yol alıyor görünmesi de bir o kadar hayret verici.

Evet, bu modern çağda *élan vital* –yaşam gücü– diye bir şey olmadığını, canlı varlıkların da cansız olanlarla aynı "ölü" moleküllerden oluştuğunu, fakat bu moleküllerin bütüncül bir yapı içinde birbirleriyle etkileşme biçimleri sonucu çok özel bir şeyin –bizim ve bu gezegen üzerindeki diğer bütün canlıların– ortaya çıktığını kuşkuya yer bırakmayacak şekilde bildiğimiz doğru. Ama paradoksal bir şekilde, geçtiğimiz yarım yüzyıl içinde moleküler biyolojideki büyük ilerlemelere karşın, yaşamın ne olduğunu, cansızlar dünyasıyla arasındaki bağlantıyı ve nasıl ortaya çıktığını hâlâ anlayabilmiş değiliz. Doğrudur; geçen yarım yüzyılda bu temel sorunları çözümlemek için hayli çaba gösterildi; ama yine de Vadedilmiş Topraklar her zamanki kadar uzakta. Tıpkı çöldeki serap gibi, ufukta parıldayarak vahanın varlığına işaret eden palmiyelerin önce görünüp ardından yine gözden kaybolmaları gibi, anlama arzumuz ve çabalarımız sonuçsuz kalıyor.

O halde bu fazlasıyla sıkıntı verici ve kalıcı açmazın temelinde ne var? Sorunun nerede yattığını en basit ifadelerle açıklayabilmek için şöyle bir kurgusal öyküyü düşünelim: Bomboş bir arazide yürüyorsunuz ve aniden bir buzdolabıyla karşılaşıyorsunuz. Basbaya-

ğı, içinde buz gibi soğumuş bira kutuları bulunan, tıkır tıkır çalışan bir buzdolabı. Peki ama, kırın ortasında, herhangi bir harici enerji kaynağına bağlı görünmeyen bir buzdolabı nasıl olur da çalışıp içini soğuk tutabilir? Biraz daha yakından bakıyor ve üzerinde bir güneş paneli olduğunu fark ediyor, panelin bir aküyle, onun da çalışması için her buzdolabında bulunan bir kompresörle bağlantılı olduğunu görüyorsunuz. Böylece buzdolabının *nasıl* çalıştığı bilmecesi çözülmüş oluyor. Buzdolabı, fotovoltaik panel aracılığıyla güneş enerjisini topluyor; demek ki buzdolabını çalıştıran ve ısıyı soğuktan sıcağa doğru, yani normalde ısı akışının olduğu yönün tersine pompalamasını sağlayan, güneş. O halde, doğanın o kapalı odacığın içindeki sıcaklıkla dışındaki sıcaklığı eşitleme çabalarına karşın, bizim buzdolabı ya da "soğutucu" dediğimiz bu fiziksel varlık, yiyecek ve içeceklerimizi yeterince düşük bir sıcaklıkta tutabilmemizi sağlayan işlevsel bir tasarım içeriyor.

Gelgelelim, kırın ortasında ne aradığı bilmecesi hâlâ ortada duruyor. Onu oraya kim koydu? Ve neden? Şimdi kalkıp da size buzdolabını oraya kimsenin koymadığını, doğa kuvvetleri aracılığıyla kendiliğinden ortaya çıktığını söylesem, tepkiniz "yok artık!" şeklinde olurdu. Daha neler! İmkânsız! Doğada işler böyle yürümez. Doğa öyle kendiliğinden, organizasyon düzeyi yüksek, denge noktasının hayli ötesinde, bir amaca yönelik varlıklar –buzdolapları, arabalar, bilgisayarlar vb.– yapmaz. Böyle cisimler insan tasarımının ürünüdür – bilerek, bir amaca dönük olarak yapılmışlardır. Doğa olsa olsa sistemleri dengeye, düzensizliğe ve karmaşaya iter; düzene ve işleve *değil*. Yoksa öyle değil mi?

Gerçek şu ki, en basit canlı sistem –bir bakteri hücresi– termodinamik açıdan buzdolabının işleyişini taklit eden ancak yüzlerce, binlerce kat daha karmaşık olan, son derece organize, dengeden uzak bir işlevsel sistemdir. Buzdolabının çalışması, bilemediniz birkaç düzine parçanın uyumlu etkileşimine dayanırken, bir bakteri hücresininki, bazıları kendi içlerinde muazzam bir karmaşıklık taşıyan binlerce farklı molekül ve molekül bileşiminin eşzamanlı binlerce kimyasal reaksiyonuna dayanır. Buzdolabı örneğinde işlev açıktır: birayı ve dolap içindeki diğer şeyleri, soğuk iç mekândan

daha sıcak olan dış mekâna ısı pompalayarak soğuk tutmak. Peki, organize karmaşıklığıyla bakteri hücresinin işlevi nedir? İşlevi, etkinliği gözlendiğinde hemen anlaşılır. Buzdolabının işlevi ve işleyişi nasıl çalışmasına bakılarak ortaya çıkarılıyorsa, hücrenin işlevi de –ya da isterseniz amacı diyelim– ne yaptığına bakılarak ortaya çıkarılabilir. Peki baktığımızda ne görüyoruz? Her canlı hücre aslında hayli organize bir fabrikadır ve insan yapısı her fabrika gibi, bir enerji kaynağına ve çalışmasını kolaylaştıran bir güç üretecine bağlıdır. Enerji kaynağıyla irtibat kesilirse, fabrikanın çalışması durur. Bu minyatür fabrika hammaddeyi alır ve fabrikanın güç santralinin sağladığı güçle, bu hammaddeleri daha sonra fabrikanın çıktı ürününü oluşturmak üzere montajlanacak çeşitli işlevsel parçalara dönüştürür. Peki bu ürün nedir? Bu hayli karmaşık nanofabrika ne üretir? Yeni hücreler! Her hücre nihayetinde daha yeni hücreler üreten, son derece organize ve etkin bir fabrikadır! Nobel Ödüllü biyolog François Jacob bu durumu şairane bir biçimde şöyle açıklıyordu: "Her hücrenin rüyası, iki hücre olmaktır."

İşte yaşam sorunu da tam burada yatıyor. İşlevsel bir buzdolabını oluşturmak için dolabın, enerji kolektörünün, akünün, kompresörün ve gazın, tüm bu parçaların –hazır bulundukları varsayılsa bile– doğal yolla kendiliklerinden bir araya gelmeleri nasıl düşünülemezse, yüksek organizasyon düzeyine sahip, dengeden uzak minyatür bir kimya fabrikasının, bir nanofabrikanın kendiliğinden oluşması da aynı şekilde düşünülemez. Yüksek organizasyon düzeyine sahip varlıkların kendiliklerinden oluşamayacaklarını bize yalnız mantığımız söylemiyor. Fiziğin bazı temel yasaları da aynı vaazı veriyor: Sistemler düzen ve işlev yönünde değil, düzensizlik ve kaos yönünde eğilim gösterirler. Aralarında Eugene Wigner, Niels Bohr ve Erwin Schrödinger de bulunan yirminci yüzyılın büyük fizikçilerinden birçoğunun bu sorunu hayli sıkıntı verici bulmalarına şaşmamak gerek. Biyoloji ve fizik çelişkili, birbiriyle uzlaşmaz görünüyor. Akıllı Tasarım savunucularının mallarını satmada böyle başarılı olmalarının nedeni bu olsa gerek!

Canlı bir hücrenin varlığında saklı paradoksun çok önemli sonuçları vardır. Bu demektir ki, yaşamın nasıl ortaya çıktığı meselе-

si –herhangi birinin kendi aile soyağacını ortaya çıkarmaya çalışması gibi– bir grup uzmanın tarih meraklarını gidermek için girişikleri bir etkinlik konusundan ibaret değildir. Yaşamın ortaya çıkışına ilişkin paradoks giderilmediği sürece yaşamın ne olduğunu anlayamayacağız. Anlamayı başardığımızdaysa, bunun teyidi olarak, söz konusu kavrayışı "canlı" diye sınıflandıracağımız kimyasal bir sistemin sentezi için tutarlı bir önermeye dönüştüreceğiz.

Bu kitabın amacı, bu ilginç konuyu yeni bir değerlendirmeye tabi tutmak ve tüm canlı varlıkların ortaya çıkışının, varlığının ve doğasının altında yatan genel bir yasanın artık ana hatlarıyla ortaya koyulabileceğini göstermektir. Kimyanın Günter von Kiedrowski'nin "sistem kimyası" diye adlandırdığı yeni tanımlanmış bir dalı sayesinde kimyayla biyoloji arasındaki uçurum üzerine bir köprü inşa edilebileceğini ve *biyolojinin temel paradigması olan Darwinizmin, yalnızca doğa kuvvetlerinin daha geniş bir fizikokimyasal tanımının biyolojik veçhesi olduğunu* savunacağım. Biyolojiyi kimyayla kaynaştırmayı hedefleyen bu gerçekten de iddialı girişim, doğada daha önce gözlerden kaçmış olan ve benim *dinamik kinetik kararlılık* diye adlandırdığım bir tür kararlılık olduğu fikrini temel alıyor. Bu kararlılık biçimini Darwinci evrimle kaynaştırmak, bizi hem biyolojik hem de biyoloji öncesi sistemleri kapsayan *genel (ya da genişletilmiş) bir evrim kuramına* götürür. İlginçtir ki, Darwin'in kendisi de yaşamın genel bir ilkesinin olabileceğinin farkındaydı. George Wallich'e yazdığı 1882 tarihli bir mektubunda şöyle diyordu:

> Sanırım bir yerlerde söylemiştim (tam metnini bulamıyorum); süreklilik ilkesi, bundan böyle yaşam ilkesinin, genel bir yasanın parçası ya da sonucu olabileceğinin gösterilmesini olası kılıyor...

Bu kitap, dehası ve ileri görüşlülüğüyle Charles Darwin'in haklı çıktığını ve böyle bir kuramın şimdi oluşturulabileceğini göstermeyi amaçlıyor. Fizik ve biyolojiyi birbirine bağlayan bir bilim olan kimyanın, hâlâ kısmen eksik olsalar da bu akıl çelici sorulara yanıtlar getirebileceğini göstermeye çalışacağım. Yaşamın ne olduğu konusunda yeni bir anlayışa ulaşmak bize kim ve ne olduğumuzu söy-

lemekle kalmayıp, umarız ki kozmosun ve en temel yasalarının doğasını daha iyi anlamamızı da sağlayacaktır.

Bu kitabı yazarken birçok kimseyle yaptığım fikir alışverişlerinden ve sağladıkları katkılardan yararlandım. Özellikle ilk taslaklardan biri hakkındaki ayrıntılı görüş ve eleştirileri için Jan Engberts, Joel Harp, Sijbren Otto ve Leo Radom'a; genel yorumları için Mitchell Guss, Gerald Joyce, Elio Mattia, Elinor ve David O'Neill ve Peter Strazewski'ye; ufkumu genişleten değerli tartışmalar için Gonen Ashkenasy, Stuart Kauffman, Günter von Kiedrowski, Ken Kraaijeveld, Puri Lopez-Garcia, Meir Lahav, Michael Meijler, Kepa Ruiz-Mirazo, Robert Pascal, Eörs Szathmáry, Emmanuel Tannenbaum ve Nathaniel Wagner'e; karşılıklı tartışmalarımız için ve metin üzerinde büyük etkisi olan eleştirel gözü ve yorumları için eşim Nella'ya teşekkür ediyorum. Son olarak da, OUP'deki editörüm Latha Menon'a çok özel bir borcum olduğunu belirtmeliyim. Derin bilimsel kavrayışı ve takdire değer editöryel yetenekleri, metnin gereksiz yere biyolojinin fırtınalı sularına sürüklenmesini önledi ve son halini almasına büyük katkıda bulundu. Arada hatalar kalmışsa, tabii ki sorumlusu benim.

1

Canlı Varlıklar Ne Kadar da Garip

CANLI VE CANSIZ VARLIKLAR çarpıcı biçimde farklı olmalarına karşın, bu iki madde biçiminin birbirleriyle nasıl bir ilişki içinde oldukları sorusu kışkırtıcı bir bilmece olarak duruyor. Özellikle de yaşamın aşikâr tasarımı sonu gelmez bir spekülasyon kaynağı olarak öne çıkıyor. Bu tasarımda öylesine belirgin olan yaratıcılık ve ince ayar ancak "muhteşem" sözüyle betimlenebilir. İris tabakasındaki diyaframı, değişken odak mesafeli merceği, bilgi iletimi için optik sinire bağlı olan ışığa duyarlı retinasıyla gözün yapısal karmaşıklığı, doğanın tasarım yeteneğinin klasik örneğidir. Ama durun; bu daha tasarım aysberginin yalnızca su üstündeki ucu. Geçmiş altmış yıl içinde moleküler biyoloji alanındaki kayda değer ilerlemeler sayesinde doğanın tasarım yeteneklerinin ölçülemeyecek derecede büyük olduğunu keşfettik. Örneğin ribozomu ele alalım. Ribozom her canlı hücrede tüm yaşamın dayandığı protein moleküllerini üreten ve binlerce kopya halinde bulunan küçücük bir organeldir. Yüksek bir organizasyon düzeyine sahip karmaşık bir minyatür fabrika gibi çalışarak yüz ya da daha fazla amino asit molekülünü yalnızca birkaç saniye içinde doğru biçimde birbirine ekler, uzun zincirlere benzeyen moleküller olan proteinleri seri halinde üretir. Ve bu son derece etkin işleyişli birim, yalnızca 20-30 nanometre (ya da bir santimetrenin milyonda 2-3'ü) çapında karmaşık bir kimyasal yapı

içinde yer alır! Düşünün: Tam donanımlı bir fabrikada bulmayı bekleyeceğiniz her şey var; ama çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük bir yapının içinde. Nitekim, bu olağanüstü organelin yapı ve işlevini açıkladıkları için İsrail'deki Weizman Enstitüsü'nden Ada Yonath, Cambridge Üniversitesi Moleküler Biyoloji Laboratuvarı'ndan Venkatraman Ramakrishnan ve Yale Üniversitesi'nden Thomas Steitz 2009 Nobel Kimya Ödülü'ne layık görüldüler.

Yaşamın insana daimi bir esin kaynağı olan o nefes kesici çeşitliliği ise, olağanüstü tasarım yeteneklerinden daha az etkileyici değil. Kırmızı güller, zürafalar, kelebekler, yılanlar, upuzun kızılçamlar, balinalar, mantarlar, timsahlar, hamamböcekleri, mercan kayalıkları – doğanın bu hiç azalmayan muhteşem yaratıcılığı hafsalaya sığmıyor. Abartısız milyonlarca tür var doğada – ki daha o gizli âleme, bakterilere değinmedik bile! O gizli âlem ki, yeni yeni aydınlanmaya başlayan, akıllara sığmaz, muazzam bir çeşitlilik kaynağı. Fakat yaşamın tasarımı ve çeşitliliği, onu daha da gizemli ve eşsiz kılan bir dizi özellikten yalnızca ikisi. Yaşamın özelliklerinden bazıları öylesine çarpıcı ki, onları fark etmek için fazlaca bir gözlem yeteneği gerekmiyor. Örneğin yaşamın bağımsız ve maksatlı karakterini ele alalım. Bu özelliği fark etmemeniz mümkün değil. Torunum 2 yaşındayken bile bu farkı kaçırmamıştı; gerçek bir köpekle, sahicisine çok benzeyen oyuncak bir köpek arasındaki farkı hemen anlamıştı. Oyuncak köpeklerle neşe içinde oynuyor, ama ona nasıl bir sürpriz yapacaklarından emin olmadığı için sahici köpeklerden korkuyordu. Oyuncak bir köpeğin davranışının öngörülebilir olduğunu, sahicinin ise bağımsız bir zihne sahip olduğunu çok çabuk öğrenmişti.

Bununla birlikte yaşamın, laboratuvarındaki bilimci için son derece aşikâr olmasına karşılık ilk bakışta fark edilemeyebilecek, ancak yine de kafa kurcalayan ve açıklama gerektiren başka özellikleri de var. O halde, yaşamın ne olduğunu anlamak istiyorsak, keşif yolculuğunun başlangıç noktası olarak canlı varlıkları cansızlardan ayıran özelliklere bakmaktan daha iyi bir yol olabilir mi? Nihayetinde yaşamı anlamak, bu özelliklerin hem ne olduğunu hem de nasıl ortaya çıktığını anlamamızı gerektirecektir. Bazıları –üzerle-

rindeki tartışmalar sürüyor olsa da– Darwinci terimlerle açıklanabilir. Ancak bazıları var ki, bu yolla anlaşılamayacakları gibi, varlıklarını açıklamakta da zorlanıyoruz. Yirminci yüzyılın büyük fizikçileri Bohr, Schrödinger ve Wigner'i de zorladıkları kesin; çünkü yaşamın özelliklerinin birçoğu modern bilimin en temel ilkelerinin altını oyuyormuş gibi görünüyor. Diğer bazı özellikleriyse günümüz biyologlarını umutsuzluğa sevk ediyor. Carl Woese'nin kısa süre önce yaşam mefhumuna getirdiği tanım başka nasıl yorumlanabilir ki: "Organizmalar çalkantılı bir akış içindeki kararlı örüntülerdir – bir enerji akışı içindeki örüntüler."[1] Gizemin kıyısında dolaşan bu muğlak sözler, yirminci yüzyılın önde gelen biyologlarından birinden, yaşamın üçüncü âlemini meydana getiren arkelerin kâşifinden geliyor. Woese'nin açıklaması yaşam konusunun nasıl çetrefil bir sorun olduğunu doğruluyor.

Demek ki burada ilginç bir fenomenle karşı karşıyayız: Kendilerini canlı sistemlerin incelenmesine adayan ve yaşamın karmaşıklığını takdir eden, yaşamın en önemli bileşenlerini başarıyla irdeleyen biyologlar, iş yaşamın ne olduğu konusuna gelince suskunluklarını sürdürüyorlar; doğanın en temel yasalarına ilişkin derin kavrayışlarına karşın fizikçilerin kafaları da daha az karışık değil. Her iki alandaki bilimciler de yaşamın doğası konusunda bocalıyorlar ve bu durumda 3000 yıllık "yaşam nedir" bilmecesinin bir bilmece olarak kaldığı sonucuna varıyoruz ister istemez. O halde keşif yolculuğumuza, yaşamı özel kılan, onu cansız maddeden o kadar farklı yapan özellikleri kısaca gözden geçirerek başlayalım ve bu özelliklerin neden böylesine garip olduğunu tartışalım.

Yaşamın Organize Karmaşıklığı

Canlı varlıklar ileri derecede karmaşıktır. Nitekim Richard Dawkins'in klasik kitabı *Kör Saatçi*'nin ilk satırı, biz hayvanların evrendeki en karmaşık şeyler olduğumuz tespitiyle başlar.[2] Tek başına bu dikkat çekici satır bile biz hayvanların çok özel bir şey olmamız gerektiği mesajını veriyor. Peki, biz canlılarda ne var ki bizi böyle karmaşık kılıyor? Ve "karmaşık" ne anlama geliyor? Takıntılı görün-

mek pahasına denebilir ki, "karmaşıklık" teriminin kendisi de karmaşıktır, kolayca tanımlanamaz ve kavrama netlik kazandırmak için yıllardır sürdürülen çabalar da –en azından biyoloji bağlamında– fazla başarılı olamamıştır. O halde karmaşıklığın biyoloji açısından en önemli yönüne odaklanalım – canlıların üst düzeyde bir organizasyon sergileme özelliklerine.

Cansız dünyada karmaşıklık örnekleri bulmak kolaydır. Bir kayanın biçiminin karmaşık olduğu kesindir ve kaya özelinde karmaşıklık, düzensiz biçiminden kaynaklanır. Biçimini tarif etmek için bilgi gerekir; biçimi ne kadar düzensizse, gereken bilgi de o ölçüde artar. Kayanın yüzeyindeki her noktanın konumunun bir şekilde tanımlanması gerekir. Ama önemli olan şu ki, kayanın düzensiz biçiminin, yani karmaşıklığının kaynağının *rasgele* olduğunu anlarız. Halihazırdakinden farklı milyonlarca biçimden birine sahip olsa da, kaya kaya olmaya devam ederdi. Kayayı kaya yapan, düzensizliğinin özel biçimi değildir. Canlıların dünyasındaysa, tersine, karmaşıklık rasgele değil son derece özgüldür. Bu organize karmaşıklıkta, en ufak yapısal değişimin dramatik sonuçları olabilir. Örneğin insanın DNA dizilişinde, 3 milyar birimden yalnızca birindeki tek bir değişiklik, orak hücre anemisi, kistik fibroz ve Huntington hastalığı gibi binlerce genetik hastalığa yol açabilir. Yaşamın karmaşık yapısında meydana gelebilecek küçük değişimler, canlı sistemin işlerliğini yitirmesine yol açabilir ve uç durumlarda canlı sistem canlı olmaktan çıkabilir.

Burada bize olağanüstü ve kavraması güç gelen nokta ise, bu organize karmaşıklığın milimetrenin yalnızca binde biri büyüklüğündeki bir bakteri kadar küçük varlıklara dek uzanıyor olmasıdır. Birçok bakımdan bakteri hücresi nanoölçekli, hayli gelişkin bir fabrika gibi işler. Nanoölçekten kasıt, fabrikanın bileşenlerinin moleküler büyüklükte, yani milimetrenin milyonda biri uzunlukta olmasıdır. Bu nanofabrika çevreden enerji sağlayan, bunu gerekli hücresel yapıtaşlarının biyosentezinde kullanmak üzere çeşitli kimyasal biçimlerde depolayan hayli karmaşık ama birbiriyle bağlantılı bir kimyasal tepkimeler ağını, doğru biçimde çalışmaları için hücre "makinelerinin" kontrol edilip düzenlenmesini ve daha pek çok faa-

liyeti içerir. Hücre yalnızca usta bir kimyacı değil, aynı zamanda usta bir fizikçidir de. Bu mikroskobik varlık, kendi "amacının" gerektirdiği gibi hücresel işlevlerin hızla yerine getrilmesini sağlamak için zanaatkârın kitabındaki her mekanik araçtan yararlanır: pompalar, rotorlar, motorlar, pervaneler, hatta orayı burayı kesip budamak için makas – ve hepsi de nanoölçekte.

Gelgelelim, cansız karmaşıklıktan öylesine farklı olan bu tartışılmaz karmaşıklık kafa karıştırıcıdır ve hemen iki soru doğurur: Hücrenin organize karmaşıklığı nasıl sürdürülür ve nasıl ortaya çıkmıştır? Organize karmaşıklık ve evrenin en temel yasalarından biri olan Termodinamiğin İkinci Yasası doğaları icabı birbirlerine zıttır. Bu aşamada İkinci Yasa'nın ayrıntılarına girmeyeceğiz, ama İkinci Yasa'nın çok basit (ve kısıtlı) tanımı, organize sistemlerin kendiliklerinden karmaşaya, düzensizliğe gitme eğiliminde olduklarıdır. Doğa, kaosu düzene tercih eder ve dolayısıyla düzensizlik doğal düzendir. Son derece düzenli bir dizilişe sahip bir deste oyun kâğıdını ele alalım: dört as, ardından dört papaz, onun ardından dört kız, sonra dört vale ve böyle gide gide en sonunda dört ikili. Kartları karıştırdığınızda bu diziliş düzeni kaçınılmaz olarak düzensizleşecektir. Neredeyse kesin olarak rasgele bir diziliş elde edersiniz. Yüksek düzende yeni bir dizilişin oluşması ihtimali çok düşüktür. İşte İkinci Yasa'yı işbaşında görmüş olduk. Eğer daha fazla kanıta gerek varsa, çalışma masamın zamanın herhangi bir anındaki durumu gösterilebilir. Ne kadar düzeltirsem düzelteyim, tercih ettiği düzensiz haline hızla geri döner. Canlı sistemlerdeyse, yaşamsal biyolojik işlev için mutlaka gerekli olan üst düzeyde organize durum, kayda değer bir duyarlılıkla korunur. Hatta bu organize durumun korunması olgusu için biyolojik bir terim bile vardır: Yunancadan alınma, "hareketsiz durmak" anlamına gelen *homeostazi*.

Peki ama, fizik ve kimyanın temel bir yasası onu sürekli baltalamaya çalışırken hücrenin organize karmaşıklığı nasıl olur da korunur? Bu sorunun yanıtı, en azından İkinci Yasa bağlamında nispeten kolaydır: Canlı hücre, yapısal bütünlüğünü ve organizasyonunu, aslında hücrenin *modus operandi*'si yani çalışma biçimi olan sürekli enerji kullanımıyla sağlar. Hayatta kalmak için düzenli ola-

rak yemek zorunda olmamızın nedeni de budur – düzenleyici mekanizmaların yaşamın organize homeostatik durumunu korumalarını sağlayabilmeleri için vücuda gerekli enerjiyi vermek. Bu aynı zamanda masamın nasıl arada sırada düzene girdiğini de açıklar – arada bir, masam işlevselliğini yitirecek kadar dağıldığında şöyle ucundan hale yola koymak için enerji harcarım. Demek ki, bir otomobil nasıl dünyanın kütleçekimine karşı gelerek yokuş yukarı gidebilir ya da bir buzdolabı, daha sıcak dış ortamdan içine sürekli akan ısıya karşın içini nasıl soğuk tutabilirse, yaşamın organize, yüksek enerjili durumunda da termodinamik bir çelişki yoktur. Gerek yokuş çıkan araba gerekse soğuk içiyle buzdolabı, enerji açısından kararsız durumlarını sürekli enerji kullanımıyla sürdürebilir. Araba için enerji kaynağı, motorunda benzinin yanması; buzdolabı içinse kaynak, dolabın kompresörünü çalıştıran elektriktir. Benzer biçimde, enerji açısından belirtecek olursak, vücut ileri düzeyde organize durumunu bir dış kaynaktan aldığı enerjiyi (yani yediğimiz besinlerde saklı kimyasal enerjiyi), bitkilerse hepsinde bulunan klorofil pigmentinin yakaladığı güneş enerjisini sürekli kullanarak sürdürür. Burada temel bir sorun yoktur.

En basit canlı sistemle ilgili ilk organizasyonun nasıl ortaya çıktığıysa çok daha çetrefil bir sorudur. Darwinci evrimin biyolojik karmaşıklığın ortaya çıkışını açıklayabildiği yolundaki yaygın görüşe karşın, durum böyle değildir. Darwinci evrim, basit bir tekhücreli canlı organizmanın –ki buna mikropların Âdem'i denebilir– sonunda nasıl bir fil, balina ya da insan haline geldiğini geniş hatlarıyla açıklayabilir. Ama Darwinci kuram o ilk canlının nasıl ortaya çıktığı sorunuyla ilgilenmez. Hâlâ yanıt arayan o rahatsız edici soru şudur: *Evrilme yeteneğindeki bir sistem ilk başta nasıl ortaya çıktı?* Darwinci kuram *biyolojik* bir kuram olduğundan biyolojik sistemlerle ilgilenir; yaşamın kökeni sorunuysa *kimyasal* bir sorundur ve kimyasal sorunlar da kimyasal (ve fiziksel) kuramlarla çözülür. Kimyasal olayları biyolojik kavramlarla açıklamaya kalkışmak, daha sonra irdeleyeceğimiz nedenlerle sorunludur ve bir bakıma bu yaklaşım, konunun kendini içinde bulduğu kavramsal çıkmazdan da kısmen sorumludur denebilir.

Darwin'in bizzat kendisi yaşamın kökeni sorusundan açıkça uzak durmuştu, zira mevcut bilgi birikimi çerçevesinde sorunun prematüre olduğunun, çözümün o zaman için mümkün olamayacağının bilincindeydi. Dolayısıyla ilk mikroskobik karmaşıklığın nasıl ortaya çıktığı sorusu, sorunlu ve hayli tartışmalı olmayı sürdürüyor. Canlı hücre denen o son derece karmaşık minyatür fabrikanın bir öncülü, çeşitli parçaların tesadüfen tam doğru biçimde birleşmesiyle tümüyle rastlantısal olarak mı ortaya çıktı? Çok olası değil. Ünlü gökbilimci Fred Hoyle'un meşhur ettiği (ama yanlış bağlamlarda kullanılan) bir benzetme kullanılacak olursa, böyle bir olayın gerçekleşme olasılığı, bir hurdalıkta esen kasırganın bir Boeing 747 ortaya çıkarmasına benzer. Yaşamın organize karmaşıklığı garip, hatta çok garip. Nasıl ortaya çıktığıysa daha da garip.

Yaşamın Amaca Dönüklüğü

Yaşamın organize karmaşıklığının insanlığın binlerce yıldır farkında olduğu başka bir yüzü daha vardır: yaşamın amaca dönüklüğü. Bu amaca dönüklük öylesine belirgin ve nettir ki, biyologlar ona özel bir isim de takmışlardır – teleonomi. "Teleonomi" sözcüğü onu kozmik imalar taşıyan "teleoloji" sözcüğünden ayırmak için yaklaşık yarım yüzyıl önce ortaya atılmıştır. Bu terimlerin birbirleriyle ilişkilerine 2. ve 8. Bölümlerde de değineceğiz. Bu noktada sadece, biyolojik bir fenomen olarak teleonominin ampirik olarak çürütülemeyeceğini belirtmekle yetinelim. Terim, gayet açık olan bir davranış örüntüsüne verilen bir isimdir: Tüm canlılar sanki bir gündemleri varmış gibi davranırlar.

Her canlı, yaşamının gereklerini yerine getirir – yuvalar kurar, yiyecek toplar, yavrularını korur ve tabii ürer. Aslına bakılırsa, biyolojik dünya içinde neler olduğunu ana hatlarıyla bu şekilde anlar ve öngörürüz. Bir annenin yavrularını beslemesini anlarız. Bir dişi ayıyla yavrusu arasına girilemeyeceğini biliriz (ya da bilmeliyiz). İki erkeğin bir dişi için çekişmesini anlarız; bir sokak kedisinin çöp bidonunu karıştırmasını da. Tüm insan faaliyetleri de dahil olmak

üzere, biyolojik dünyanın işleyişini yaşamın teleonomik özelliği sayesinde sezgiyle anlarız.

Buna karşılık cansız dünyada anlama ve öngörüye oldukça farklı ilkeler temelinde varılır. Burada teleonomi değil, yalnızca fizik ve kimyanın yerleşik yasaları vardır. Diyelim havaya bir top attınız ve nereye düşeceğini bilmek istiyorsunuz. Kesin düşme noktası, topun amacı dikkate alınarak hesaplanmaz. Topun bir amacı yoktur. Cevabı yalnızca Newton'un hareket yasaları verecektir. Diyelim birtakım kimyasal bileşikleri karıştırdınız ve tepkimeye girip girmeyeceklerini, sonuçta hangi malzemelerin oluşacağını bilmek istiyorsunuz. Sorunun özelliğine bağlı olarak uygun kimya kurallarını düşünüp uygular ve bir öngörüde bulunursunuz. Amaç yoktur, gündem yoktur – yalnızca doğanın ihlal edilemez kuralları vardır. Cansız dünyada amacın varlığı düşüncesi, on yedinci yüzyılın modern bilim devrimiyle birlikte mezara gömülmüştür.

Bununla birlikte teleonominin varlığı, bizi garip, hatta çok garip bir gerçekliğe götürür: Temel bir anlamda, her biri kendi kurallarıyla yönetilen *iki* dünyada birden yaşarız – fizik ve kimya kurallarıyla cansız dünyada ve teleonomik ilkenin egemen olduğu biyolojik dünyada. İki farklı dünya olunca da kendimizi bu dünyaların her biriyle hayli farklı bir etkileşim içinde buluruz. Cansız dünyayla etkileşimimizi ele alalım. Gerekince bir yerden başka bir yere gideriz, soğuk havada ısınmaya, yağmur yağdığında kuru kalmaya çalışır, kendimizi korumak ve yaşamımızdaki faaliyetleri kolaylaştırmak için kapalı bir barınak yaparız. Kütleçekim kuvvetine karşın yokuşlara tırmanmayı, yemek pişirmek için ateş yakmayı, daha iyi iş görmek için alet yapmayı, damdaki sızıntıyı tıkamayı, yaralanmaktan kaçınmayı ve böyle bir alay başka şeyi öğreniriz. Cansız dünyayla etkileşimlerimizin tümü, evrenin işleyiş biçimini yöneten fiziki bilimlerce açıklanan belli doğa yasalarının varlığı hakkındaki farkındalığımıza dayanır. Bu yasaları anlamak bize beladan uzak durmakta yardımcı olur; hatta daha iyisi, doğanın işleyiş biçiminden yararlanma ve böylece yaşamın amaçlarını daha etkili biçimde geliştirme olanağı sağlar. Aslında bu, teknolojinin özüdür – doğanın yasalarından yararlanan sistemler yaratmak.

Canlı dünyayla etkileşimlerimizse çok daha farklı türden ve çok daha karmaşıktır. Daha önce kaydetmiş olduğumuz gibi, yaşayan dünya teleonomiktir – tüm canlılar kendi gündemlerini gerçekleştirme uğraşı içindedir ve bunu yaparken de öteki canlıların özel gündemlerini dikkate almak zorundadırlar. Böylece canlılar, başka canlılarla bir etkileşim ağı oluşturur ve hareketlerimizin birçoğunu başkalarınınkilere bağlı hale getirirler. Biz insanları düşünün. Kendi ailemizin bireyleriyle, iş arkadaşlarımızla ve toplumumuzun diğer üyeleriyle iletişim kurarız; sonsuz bir etkileşimler dizisi –yazı ve konuşma, hatta daha örtük bir şekilde jest ve işaretler– aracılığıyla onlarla anlaşırız. Bu etkileşimlerin bazısı işbirliği niteliğindedir, bazısıysa rekabet. Köşedeki kafede bir kapuçino istemek ya da kuaföre gitmek işbirliğine yönelik etkileşimlere örnek oluştururken, çarşıda bir ürün üzerinde pazarlığa girişmek ya da bir saldırganı savmak rekabetçi ilişkilerin örnekleridir. Yaşamın hedefleriyle uyum halinde kendi "amacımızı" kovalarken, her iki türden sayısız etkileşimde bulunuruz. Ayrıca insan olmayan yaşam biçimleriyle de sürekli etkileşime gireriz. Gıda gereksinimimizi başka canlıları –bitki veya hayvan– yiyerek karşılarız ve ister ayılar, köpekbalıkları, yılanlar, sivrisinekler ya da örümcekler gibi çokhücreli yaratıklar olsun, isterse sonsuz çeşitte bakteriler gibi tekhücreliler, bizi tehdit eden yaşam formlarına karşı kendimizi koruruz. İnsanlar dışındaki canlılarla etkileşimlerimizin birçoğu işbirliği niteliğindedir: beslediğimiz ve buna karşılık bize yoldaşlık eden, davetsiz yabancılara karşı bizi uyaran köpeğimizle, bağırsaklarımızda seve seve yemek ve barınak sağladığımız ve bu iyiliğimize karşılık bize hazım sürecinde ve pek çok başka şeyde yardımcı olan milyarlarca bakteriyle olanlar gibi.

Bu ikili duruma, yani maddenin hem canlı hem de cansız formlarda olmasına öylesine alışığız ki, burada bununla ilgili söylenenler son derece aşikâr ve veri kabul edilen şeyler. Aşinalık, küçümsemeye değilse bile kabule yol açar. Ama size Mars'ta tüm maddi varlıkların bir dizi ilkeye, Venüs'teyse başka bir dizi ilkeye uyduklarını söylesem, hepimiz şaşırırdık. Nasıl olabilir ki? İki maddi form, iki farklı grup ilkeyi mi izliyor? Dünyada farklı özelliklerde

iki ayrı maddi formun olduğu, bunların farklı organizasyon ilkelerine uyduğu, sorunsuz biçimde birlikte varoldukları ve hatta sürekli bir mübadele içinde oldukları –yani cansız maddenin sürekli olarak canlı maddeye, canlı maddenin de cansız maddeye dönüştüğü– gerçeği bir açıklama gerektiriyor. Bu açık ikilem maddenin doğasında nasıl varolabiliyor ve neye işaret ediyor?

Daha ileri gitmeden bir noktaya açıklık getireyim: Cansız dünyayı yöneten aynı fizik ve kimya kuralları elbette teleonomik dünyada da işler. Bu konuda kuşku yoktur. Bir insan merdivenden düştüğünde kütleçekimi, aynen raftaki bir şeker paketinin düşmesinde olduğu gibi işler. Ama canlı sistemlere uygulandığında bu doğal yasalar fazla yarar sağlamaz. Komşunuzla bir mülkiyet meselesi nedeniyle tartışırken, süresi dolan bir ehliyeti yenilerken ya da saldırgan bir köpeği kışkışlarken kütleçekim yasası ve Termodinamiğin İkinci Yasası'nın çok yardımcı olduğu söylenemez. Canlılar dünyasında, öngörülere yardımcı olmak bağlamında bu yasaların fazlaca bir değeri yoktur. Tabii ki geçerliliklerini korurlar, ama önemleri ikincildir. Temelde yatan fizik ve kimya kuralları sanki bir şekilde daha baskın olan başka bir ilkeler dizisince rehin alınıp etkisizleştirilmiş gibidir. Başına gelecekten habersiz bir zebranın üzerine atılmak üzere pusuya yatmış bir aslanın, yavrusuyla meşgul olan bir annenin, zarar görmüş bir müvekkili adına size dava açmayı planlayan bir avukatın nasıl hareket edeceğini ya da herhangi bir teleonomik hareketi öngörmek istiyorsanız, fizik ve kimya yasaları pek işinize yaramaz. Ne bir fizikçi ne de bir kimyacı size yararlı bir öngörü sunabilir. Canlılar dünyasında gerçekleşmek üzere olan bir olayla ilgili bir öngörüde bulunmak istediğinizde, en iyisi sorunuzun özelliğine bağlı olarak bir biyoloğa, psikoloğa, ekonomiste, avukata ya da herhangi bir teleonomik uzmana danışmaktır.

Dolayısıyla insanın bilgi ve kavrayışının büyük bölümünün, fizikokimyasal dünyadan çok teleonomik dünyayla ilişkili olması pek de şaşırtıcı değildir. Bir an için her biri özel bir araştırma alanına adanmış fakülteleriyle herhangi bir büyük üniversite düşünün. Beşeri bilimler, ticaret ve hukuk fakülteleri (ve daha sınırlı bir anlamda tıp fakültesi) birçok görünümüyle teleonomik dünyaya yöneliktir.

Yalnızca tek bir fakülte –doğa bilimleri fakültesi– bütünüyle doğal dünyanın araştırılmasına yöneliktir ki, bu fakülte içinde bile biyoloji bölümünü ikiye bölünmüş bir dünya paradoksunun nasıl çözüleceği ya da çözülmesinin gerekip gerekmediği konusunda kararsız, teleonomik gerçekle boğuşurken buluruz. O halde yadsınamaz ama şimdiye kadar açıklanamamış gerçek şu ki, fizik ve kimya alanlarında dile getirilen doğa yasaları, içinde bulunduğumuz ve teleonominin baskın olduğu dünyamız için pek az açıklama sunabiliyorlar.

İlginçtir ki, canlı sistemlerin yadsınamaz teleonomik özelliğine karşın bazı biyologlar hâlâ bu sıradışı özellikle yüz yüze gelmekte zorlanıyorlar. O sorunlu "amaç" sözcüğü, ki artık aklanıp paklanıp bilimsel olarak kabul edilebilir "teleonomi" sözcüğüyle yeniden ambalajlanmış bulunuyor, hâlâ birçok çağdaş biyoloğu kıvrandırıyor. Bilim devriminin 2000 yıllık teleolojik düşünme biçimini alaşağı etmiş olması, biyologları o önceki yanlış zihniyetin en ufak bir kalıntısını dahi kabul etmeye isteksiz kılıyor. Ancak teleonomik ilke inkâra gelmiyor. Onu destekleyen kanıtlar son derece güçlü, her yerden çıkıyor, kelimenin tam anlamıyla sonsuz sayıda olduklarından öyle kolay kolay reddedilebilecek şeyler değiller.

İşin bir başka ilginç tarafı da, teleonomi kavramına karşı çıkan biyologların, farkına varmasalar da günlük davranışlarıyla bu ilkeyi tam olarak kabullendiklerini göstermiş olmaları. Hepimiz gibi bu bilimcilerin yaşamları da söz konusu ilkenin geçerliliğine bağlı. Örneğin, her arabaya binişimizde yaşamlarımızı teleonomiye emanet ediyoruz! Arabamıza binmekteki amacımız belli bir yere gitmek ve bunu güven içinde yapmak. Yollarda bir oraya bir buraya direksiyon kıran, ölüm ve sakatlık tehlikesi yaratan araçların oluşturduğu sonsuz bir metal akışı içinde manevra yapmak zorundayız. İki metal yığını arasındaki bir çarpışma, felaketimiz olabilir, ama bu riski günbegün seve seve göze alıyoruz. Neden? Teleonomi sayesinde. Biliyoruz ki, sağımızdan solumuzdan vınlayarak geçen her metal yığınının içinde amacı bizimkiyle aynı olan, gideceği yere tek parça halinde varmayı hedefleyen bir sürücü var. Arada sırada teleonomik ilkenin istisnasını kanıtlar görünen kural tanımaz bir sürücüye rastgelinebilse de, büyük çoğunluğumuz için çoğu zaman teleonomik

kural güvenilir biçimde işler ve beklendiği gibi gideceğimiz yere sağ salim varırız. Bu da demek oluyor ki, sözde teleonomi karşıtları da aslında ilkeye sessiz ama güçlü bir biçimde inanıyorlar. Her gün içinde yolumuzu bulmak zorunda olduğumuz dünya hem biyolojik hem de biyolojik olmayan sistemlerden oluşur. Biyolojik olmayan dünyayla meşgul olduğumuzda, içgüdüsel olarak fizik ve kimya yasalarını uygularız. Ama hiç kimse teleonomik ilkenin bilinçli ya da bilinçsiz sürekli kullanımı olmaksızın tek bir gün geçiremez. Hiç şüphesiz canlılar dünyasında bir öngörüsel ve açıklayıcı ilke olarak teleonomi, izlenmesi gereken yoldur.

Bizim gibi çokhücreli hayvanların bir amaca yönelik davranmaları o kadar da şaşırtıcı görünmeyebilir. Ne de olsa biz hayvanlar – daha önce de belirtildiği gibi– hayli karmaşık canlılarız; bir beyin ve sinir sistemine sahip olduğumuzdan, biz hayvanlarda teleonomik özelliğin sinir sistemindeki yüksek karmaşıklığın bir yansıması olduğu öne sürülebilir. Ama işte sürpriz: Bu teleonomik özelliği sergileyenler yalnızca insanlar, maymunlar, develer ve diğerleri gibi bir beyin ve sinir sistemine sahip çokhücreli, bilişsel varlıklar değil. Bu özellik tek bir hücre düzeyinde bile son derece açık. Bir bakteriyi içindeki glukoz yoğunluğu farklı düzeylerde olan bir glukoz çözeltisine koyduğunuzda, bakterinin yoğun glukozlu bölgeye doğru "yüzdüğünü" görürsünüz. Bu fenomene kemotaksis denir. Metabolik süreçlerine güç sağlamak için glukozun kimyasal enerjisini kullanan bakteri, tıpkı zebranın üzerine atlamak üzere pusuya yatmış olan aslan gibi "yemeğe gider".

Elbette bir bakteri hücresi gerçek anlamda yüzemez. *E. coli* gibi basit bir bakteri flagella (kamçılar) denen ve pervane görevi yapan birçok ipliksi uzantıya sahiptir; bunlar dönme yönlerine bağlı olarak bakteriye çözelti içinde hareketini yönlendirme becerisi sağlar. Eğer çözelti besleyici maddeler içeriyorsa, bakteri kamçılarını bir yönde döndürerek gıdaya doğru yol alır. Yok eğer çözelti toksinler içeriyorsa bakteri kamçılarını ters yönde döndürüp takla atarak o toksinlerden uzaklaşır. Bakterinin yönlendirilmiş yüzme eyleminin anlamı gayet açıktır: Canlı bakteri –kendisi de bir kimyasal madde kümesi olan bir zarla çevrilmiş kimyasal madde toplaşımı– bir be-

yin ya da herhangi bir sinirsel faaliyet olmaksızın, bir sonraki yemeğini bulmak, beladan uzak durmak ve yaşamını sürdürmekten ibaret olan gündemini izler. Bakterilerle insanların temel davranış kalıpları, ilk başta sanılabileceği kadar farklı değildir.

Canlı hücrenin teleonomik davranışı üzerine odaklandık; ama onun teleonomik özelliğini yansıtan yalnızca *hareketleri* değildir. Daha önce değinmiş olduğumuz hayli karmaşık hücre *yapısı*, bu teleonomik özelliğin en açık ve önemli ifadesidir. Tıpkı bir saatin tek tek bileşenlerinin –sarkaç, dişliler, yaylar, kollar, dolap vb.– belli bir işlevle ilintilendirilmesi gibi, bakteri içindeki hemen hemen her eleman da belli bir hücre işleviyle ilintilidir. Tek fark, hücre içindeki yapısal karmaşıklığın saatinkinin yüzlerce, binlerce katı olmasıdır. 1953 yılında kalıtım molekülü DNA'nın yapısını açıklayan Watson ve Crick başta olmak üzere hücre yapısı ve işlevinin öncülerine verilen Nobel Ödüllerinin sayısı, bilim camiasının dönüm noktası niteliğindeki bu keşiflere verdiği önemin bir göstergesidir. En basit hücre, ince kurgusu ve etkinliğiyle teleonomik tasarımın bir harikasıdır. Sonuç olarak teleonomi, çok-hücre düzeyinde olduğu gibi tek-hücre düzeyinde de belirgindir. Ne tarafa bakarsanız bakın, canlıların dünyası teleonomi diye haykırır.

Teleonominin yadsınamayacak geçerli bir kavram olduğu konusundaki sağlam kanımız ortaya bir sorun çıkarır. Bizler maddi bir dünyaya inanıyoruz, artık "yaşam gücü" denen bir şeyi kabul etmiyoruz ve biliyoruz ki canlı varlıklar da cansızlar gibi aynı "ölü" moleküllerden oluşur. O halde burada neler dönüyor? Atıl maddenin *herhangi bir* örgütlenme biçimi nasıl canlanabilir? Maddenin doğal örgütlenmelerinden *herhangi biri* nasıl kendi başına hareket edebilir? Küçük bir şeker kristali, hadi diyelim o irdelediğimiz bakteri hücresi boyutunda olsun, nasıl olur da bakteri hücresinden öylesine farklı davranabilir? Şeker kristalinin tek bir organik bileşikten, sükrozdan oluştuğu, buna karşılık bakteri hücresinin bir zar içine hapsolmuş binlerce farklı molekül ve molekül kümesinden oluştuğu doğru. Peki, bu karmaşık organik madde karışımı nasıl tek bir organik bileşen olan sükrozdan böylesine farklı davranabilir? Bin tane organik molekülü hangi bileşimde karıştırırsanız karıştırın, bu

yolla canlı bir sistem elde edemeyeceğiniz açık.

O halde bir bakteri hücresinde bile varlığı belirgin olan, yaşamın taşır göründüğü o *élan vital* ya da yaşam gücü denen teleonomik özelliğin doğası ve kaynağı nedir? Nasıl olur da canlılar dünyası, cansızlarınkinde yürürlükte olanlardan daha farklı yasaların yönetimindeymiş gibi görünebilir? Eğer yaşamı anlamak istiyorsak, onun teleonomik özelliğine, cansız sistemlerin genel özelliklerini açıklamakta kullandığımız aynı kimyasal terimlerle bir açıklama getirmemiz gerekiyor. Teleonomi meselesini "karmaşık sistemlerin yeni ortaya çıkan özellikleri" gibi sığ bir açıklamayla karmaşıklık halısı altına süpürmek yeterli değil. Böyle bir yaklaşım, gözden düşmüş *élan vital* kavramına bilimsel olarak daha kabul edilebilir bir kılıf bulmanın ötesine geçmez. 2. Bölüm'de göreceğimiz gibi, DNA kopyalanmasının ve bunun protein sentezindeki rolünün anlaşılmasına yaptığı katkılar nedeniyle Nobel Ödülü kazanan ve canlı hücrenin karmaşık kimyasal davranışı konusunda derinlemesine bilgi sahibi olan Fransız biyolog Jacques Monod, bu zahiri paradoks karşısında sessiz kaldı. Bu durumda, yirminci yüzyılın büyük fizikçilerinin madde davranışındaki bu ikilem karşısında hem hayranlık hem de sıkıntı duymalarına şaşmamak gerek. Teleonomi, çok önemli bilimsel ve felsefi içerimleri olan bir meseledir. Nihayetinde canlı varlıkların maddesel niteliğine inanıyorsak, o zaman hayatın teleonomik niteliği de bu niteliği üreten malzemenin bir şekilde dışavurumu olmalıdır – tıpkı bir tuz kristalinin sertliğinin ya da kauçuktan bir topun yumuşaklığının, yapılı oldukları malzemelerin anlaşılır özellikleri olması gibi. Teleonomiyi anlamadan yaşamı anlayamayız. Nitekim yaşamı anlama hedefimizin bir parçası olarak, 8. Bölüm'de teleonomi için psikokimyasal bir tanım ve ortaya çıkışı için de bir mekanizma önereceğim.

Biyolojik sistemlerin hem biçimleri hem de eylemleri açısından bir amaca dönük olduklarını not etmiştik. Peki amaç tam olarak ne anlama gelir? Belirlenebilir mi? Farklı insanlara yaşamdaki hedeflerinin ya da amaçlarının ne olduğunu sorduğunuzda çok çeşitli yanıtlar alırsınız. İçlerinden biri hedefinin dünyayı gezmek olduğunu söyler, bir başkası çok para kazanmak istiyordur, öteki ulusal olim-

piyat takımına seçilmek, evlenmek ve on çocuk sahibi olmak, bir diğeri de yaşamın doğası hakkında kitap yazmak istiyordur. Listenin sonu gelmez. Tabii bir kimsenin kafasında birden çok hedef de olabilir. Biz insanlar yerinde duramayan bir türüz; hiçbir zaman tam olarak tatmin olamayız. Ama biyolojik amacın özüne inmek istiyorsak, çokhücreli karmaşık varlıklardan uzaklaşıp en basit yaşam formuna, o basit hücreye, (çekirdeği olmayan) prokaryotik bakteriye bakmalıyız. Görmüş olduğumuz gibi o tek bakteri hücresinin yaptığı her şey, karmaşık iç yapısının her veçhesi teleonomiktir ve o bakteri hücresiyle ilgili teleonomik donanımın tamamı bir hedefe yöneliktir: hücre bölünmesi. Bu gerçeği tekhücreli canlılar için kabul ettikten sonra, çokhücreli varlıklarda da bu kopyalanma güdüsünün son derece güçlü olduğu sezilebilir. Nihayetinde, canlı varlıkların yaşam hedeflerinden birçoğu, doğrudan üremeye yönelik değilse bile dolaylı yoldan bu amaca hizmet eder. Canlı varlıklar, hatta en basitleri bile gerçekten garipler – hem de çok garip.

Teleonominin gerçekliği ve tam anlamıyla meşru bir bilimsel kavram olarak kabul edilip edilemeyeceğiyle ilgili olarak son bir söz: Teleonominin yalnızca bir kavram olarak zihnimizde varolduğu, kütleçekimi ve diğer fiziksel kuvvetler gibi gerçek olmadığı ileri sürülebilir. Ne var ki bu ayrım ilk bakışta göründüğü kadar geçerli değil. Doğru, teleonomi kavramsaldır, yalnızca zihnimizdedir. Teleonomi gerçekten de fiziksel anlamda bir somutluğu olmayan, biyolojik dünyayı daha iyi kavramamızı sağlayan bir zihin ürünüdür. Ama şimdi bir an için Newton'un kütleçekim kavramını düşünelim. O gerçek bir kuvvettir, değil mi? Peki ama "gerçek" gerçekte ne anlama gelir? Bir kütleçekim alanını gördüğünüz, duyduğunuz ya da ona dokunduğunuz oldu mu? Böyle bir alanı, örneğin resmini çekerek ortaya çıkaracak gelişkin bir bilimsel araç var mı? Yanıt hayır. Bir kütleçekim alanı herhangi bir biçimde doğrudan gözlemlenemez; tıpkı teleonomik ilke gibi o da bir kavramdır. Kütleçekim alanlarından bahsetmek yararlıdır, çünkü kavram maddenin davranış biçimini, örneğin düşen elmaları açıklamamızı sağlar. Ancak, metafizik bağlamda hem kütleçekimi hem de teleonomi çevremizdeki dünyayı organize etmemize yardımcı olan zihinsel ürünlerdir. 3. Bö-

lüm'de irdeleyeceğimiz tümevarımcı akıl yürütme, özünde kavramsaldır. Tümevarıma götüren her örüntü kavramsaldır ve zihnimizden başka bir yerde bulunmaz. Doğru, kütleçekim kavramı nicelenebilirken, teleonomi kavramı nicelenemez ve bilimde haklı olarak nicelenebilen kavramlar, nicelenemeyenlere tercih edilir. Yine de bir kavramın nicelenemez olması, onu nicelenebilen kavramdan daha az gerçek yapmaz. Eğer her gün arabalarımıza binip yaşamımızı teleonomik ilkenin geçerliliğine emanet ediyorsak, nicelenememesine karşın hepimiz onun gerçekliğine inanıyoruz demektir.

Yaşamın Dinamik Karakteri

Canlı hücrenin ileri düzeyde organize bir varlık olduğu gerçeğini enine boyuna inceledikten sonra onu yakından tanıdığımız mekanik bir varlıkla, saatle karşılaştırdık. Bunların ikisi de organize varlıklardır, zira kendilerini oluşturan parçaların hepsi varlığın bir bütün olarak çalışmasına katkıda bulunur. Saatin parçaları onun zamanı göstermesini, hücrenin parçaları da onun işlevini yerine getirmesini ve iki hücre haline gelmesini sağlar. Elbette saat belirlenmiş işlevini yerine getirmek üzere imal edilmiş organize bir varlıktır, yani insan yapımıdır; buna karşılık bakteri hücresi bir şekilde kendiliğinden ortaya çıkmıştır. Yine de canlı sistemleri anlamak için makine benzetmesi işe yaramış ve hücre işlevini incelemeye devam etmemize, bu kayda değer "makinenin" işleyiş biçimini daha ayrıntılı biçimde keşfetmemize yardımcı olmuştur. Gelgelelim, iki "makinenin" daha yakından incelenmesi, saatin ve hücrenin makine benzeri özellikleri arasındaki olağanüstü bir farkı ortaya çıkarır. Saatin içinde parçalar yerli yerinde durur ve içlerinden biri aşınıp sistem işleyemez hale gelinceye kadar çalışır. Canlı hücre içindeyse durum çok farklıdır. Parçaları sabit ve değişmez olan saatin statik bir sistem olmasına karşılık, her canlı sistem *dinamiktir*. Parçaları sürekli yenilenir. Açıklayayım.

Birkaç yıldır görmediğiniz bir arkadaşınıza rastlıyorsunuz ve "Hey Bill, seni yeniden görmek ne güzel; hiç değişmemişsin!" diyorsunuz. Bunu, Bill son rastlaşmanızdan hatırladığınız haline çok

benzediği için söylüyorsunuz. Ama inanması zor gerçek şu ki, önünüzde duran, Bill'e benzeyen, Bill gibi konuşan ve adı da Bill olan kişi maddi bağlamda bir süre önce gördüğünüz Bill'den çok farklı biri. Son gördüğünüzden beri Bill'in vücudundaki hemen her molekül yenisiyle değiştirildi. Bill'i (sizi ve beni de) oluşturan her şey yenilendi. Bazı parçalarımızda, örneğin saç ve tırnaklarımızda bu yenilenme aşikârdır. Ama diğerlerinde yenilenme göze görünmez, gizli gizli gerçekleşir. Tüm insanlar gibi, temel olarak vücudunuzu oluşturan kabaca 30 trilyon hücreden meydana gelirsiniz. (Aslına bakılırsa vücutlarımızda yaklaşık 40 trilyon kadar da yabancı hücre –bakteri– barındırırız, ama kitapta bunun önemine daha sonra değineceğiz). Ve bu hücrelerin her biri de bir dizi biyomolekülden oluşur: lipidler, proteinler, nükleik asitler vb.

Yaşam moleküllerinin baş temsilcisi olduklarından proteinleri ele alalım. Yaşamın altyapısının büyük bölümü, vücudumuzdaki farklı proteinlerin muazzam dizilimleriyle oluşturulur. Kas proteindir, kıkırdak proteindir, enzimler proteindir ve aslında hücre kimyasının iç işleyişinin büyük bölümü de protein moleküllerine dayanır. Sıra geldi en önemli noktaya: Yaşamsal işlevlerin yönetilmesinde proteinlerin kritik önemi nedeniyle, yapılarında zaman içinde zararlı mutasyonların ortaya çıkmasını önlemek için protein yapısının çok sağlam biçimde düzenlenmesi ve sıkı biçimde kontrol edilmesi zorunludur. Bu gibi mutasyonların sonuçları yıkıcı olabilir, hatta hücre ölümüne yol açabilir. Proteinlerin yapısal sağlamlığında rol oynayan çok önemli bir mekanizma, bir süre önce İsrail Teknoloji Üniversitesi Technion'dan Avram Hershko ile Aaron Ciechanover ve California Üniversitesi Irvine Kampüsü'nden Irwin Rose tarafından keşfedildi; araştırmacılar bu başarılarından ötürü 2004 Nobel Kimya Ödülü'nü kazandılar. Keşfettikleri olgu, hücre içi proteinin yapısının sürekli olarak bozulduğu ve çok sıkı yönetilen bir süreçle yeniden sentezlendiğiydi.

Bu dinamik sürecin nedenlerinden en azından biri, proteinin yapısal bütünlüğünün güvence altına alınmasıdır. Sürecin mekanizmasına fazla girecek değiliz, ama bu protein yönetim ve denetim mekanizmasının net etkisi, yalnızca birkaç saat içinde vücudumuz-

daki hücre proteinlerinin çoğunun bozunup yeniden yapılandırılıyor olmasıdır. Ve eğer bu dinamik moleküler özellik sizi hayran bırakmaya yetmediyse, *hücre düzeyinde* yenilenme de daha az etkileyici değildir. Kan hücrelerinizin milyarlarcasının yerine her gün yenileri gelir, deri hücreleriniz sürekli yenilenir. Aslında, yetişkin bir insanda her gün yüz milyarlarca yeni hücre yaratılır ve bu yeni hücreler, birçoğu programlanmış hücre ölümü denen bir ayıklama süreciyle ölen benzer sayıda hücrenin yerine geçmek üzere üretilir.

Uzun sözün kısası: Sizi siz, Bill'i de Bill yapan malzemenin neredeyse tümü yenilendiğinden, bir-iki hafta içinde madde bağlamında tamamen farklı bir insan olursunuz. Yaşamı betimlemek için kullanılan makine benzetmesi, yararsız sayılmasa da, yaşamın özündeki dinamik karakter hakkında bir fikir vermez. Evet, yaşam *gerçekten de* çok garip. "Yaşam nedir?" sorusunun yanıtı, yaşamın dinamik ve gelip geçici doğasının iyi bir açıklamasını da içermeli.

Yaşamın Çeşitliliği

Daha önce de belirttiğimiz gibi, yaşam göz kamaştırıcı bir çeşitliliktedir. Doğru, cansız dünyada da hayli çeşitlilik vardır, ama canlılar dünyasındaki çeşitlilik oldukça farklı bir özelliğe sahiptir. Cansız çeşitlilik kendiliğinden ortaya çıkarken, canlı çeşitlilik planlı, tutarlı görünür. Bitkiler âlemine, hayvanlar âlemine bir bakın: her biri kendi ekolojik kovuğu içinde işlevini yerine getirmeye ve hayatta kalmaya mükemmelen uyum sağlamış milyonlarca tür. Yaşamın insanın aklını başından alan o çok özel çeşitliliği tüm görkemiyle orada, her yerde, dört bir yanımızdadır.

Ama etrafımızda gördüğümüz makroskobik çeşitlilik, yalnızca çeşitlilik aysberginin görünen ucudur. Büyük ölçüde görünmez olan mikroplar dünyasındaysa çeşitlilik kavramı yeni bir anlama bürünür. Mikroplar kelimenin tam anlamıyla her yerdedir. Epey önceden yapılmış bir tahmine göre dünyanın bakteriyel biyokütlesi 2×10^{14} (200 trilyon) tonu bulur.[3] Dünyanın karasal yüzeyini 1,5 metre kalınlıkta kaplamaya yeten bir miktardır bu! Daha yenilerde, bir litre deniz suyunda bir milyar bakteri bulunabileceğinin keşfi, gö-

rünmez dünya hakkındaki bilgimizin ne kadar kıt olduğunun altını çizmiştir.[4] Farklı mikrop topluluklarını kültürde yetiştirip genetik dizilimlerini çıkarmada karşılaşılan güçlükler nedeniyle, bakteriyel çeşitliliği tahmin çalışmaları hâlâ emekleme döneminde. Bazı tahminler, bir gram topraktaki bakteri çeşidinin bir milyonu bulabileceğini öngörüyor. Yaygın tahminlere göreyse dünyadaki tüm bakteri türlerinin sayısı 10 milyonla 1 milyar arasında değişiyor. Yanlış anlaşılmasın: Burada söz konusu olan bakteri *türlerinin* sayısı; bakterilerin değil! Aslında çeşitlilik öylesine muazzam ki, mikrop genomcuları artık ortak genlerden oluşan bir iç nüveye sahip "tür genomları" ya da "pangenom" modülleriyle düşünmeye başladılar. Tek tek genomlar anlamlı bir tanımlamaya izin vermeyecek kadar çeşitli. Açık ve kuşku götürmeyen gerçek, mikroplar dünyasındaki çeşitliliğin akıl almaz boyutlarda olduğu.

Öte yandan, yaşamın çeşitliğinin altında yatan temel, Charles Darwin'den bugüne biyologların başını ağrıtmaya devam ediyor. *Türlerin Kökeni* adlı eserinde Darwin bir Iraksama (*Divergence*) İlkesi önermişti; ama bu anıtsal eserde, Iraksama İlkesi'nin, Darwin'in asıl ilkesi olan Doğal Seçilim İlkesi'nin bir çıkarımı mı olduğu, yoksa bağımsız bir ilke olarak mı değerlendirilmesi gerektiği hususunda bir açıklık yoktur. Darwin'in kendisi bile bu noktada çelişkili düşünceler içindeydi. Çelişkinin kaynağı açık: Iraksama (ya da farklılaşma) *az sayıda birimden (türden) daha çok birimin çıkması* anlamını taşırken, seçilim (ister doğal olsun ister yapay) *çoktan az sayıya inmek* demektir. Bu iki kavram özünde çelişkilidir ve hiçbir beyin cimnastiği çelişkinin etrafından dolanamaz. Bu durumda, uzlaştırılamayacak iki şeyi uzlaştırma çabalarının günümüz biyologlarını böyle zorlamasına şaşmamak gerek.[5,6] Ama şurası açık ki, yaşamın çeşitliliği üremenin çeşitlenmesiyle başlar, her ne kadar bu çeşitlenmenin türleşmeye ve çeşitliliğe nasıl yol açtığına dair ayrıntılar tartışma konusu olsa da. 8. Bölüm'de canlılar dünyasındaki çeşitlilik sorununa ve bu çeşitliliğe eşlik eden biyolojik etkileşimin işbirlikçi özelliğine fiziksel bir yaklaşım önereceğiz.

Yaşamın Dengeden Uzak Durumu

Yaşamın organize karmaşıklığının ortaya çıkışının nasıl termodinamik bir bilmece oluşturduğuna daha önce bakmıştık. Ancak, yaşamın tabiatının bu karmaşıklıkla ilgili olan ve yine Termodinamiğin İkinci Yasası açısından sıkıntı yaratan bir veçhesi daha vardır: yaşamın dengeden uzak durumu. Gökte kanatlarını çırparak adeta hareketsizmiş gibi aynı noktada duran bir kuş düşünün. Kuşun kararsız bir durumda olduğu aşikârdır. Kanat çırpmayı bırakırsa yere düşer. Ama kuş kararsız durumunu koruyabilir, sürekli enerji harcayarak havada asılı durur. Kanatlarını sürekli çırpmakla kuş aslında havayı yere doğru iter ve dünyanın kütleçekim kuvvetini yener.

Havada asılı duran kuş ve kararsız durumu örneği, genel geçerliliği olmayan geçici bir an gibi görünebilir. Ancak, salt enerji bağlamında havada asılı duran kuşun kararsız durumu, aslında tüm canlılar için geçerli olan bir benzetmedir. En basit yaşam formunun, bakteri hücresinin enerjiyle ilişkisini düşünün. Bu hücre de termodinamik açıdan kararsızdır ve dengeden uzak durum diye adlandırılan bir durum içindedir. Dengeden uzak nitelemesi, durumunu korumak için sürekli enerji harcamak zorunda olmasındandır. Bu dengeden uzak durumla ilgili birçok unsur olsa da bir tanesini betimlemekle yetineceğiz: canlı hücrelerde farklı iyon yoğunluk derecelerinin varlığı ve sürdürülüşü. Şimdi bunun ne anlama geldiğini açıklayalım. Kimyasal formülü NaCl olan bir miktar sofra tuzunu suda erittiğinizde, tuz kristalleri kendilerini oluşturan bileşenlere, sodyum iyonu Na^+ ve klor iyonu Cl^-'ye ayrışır. Başlangıçta çözeltideki iki iyonun derişimleri aynı düzeyde olmaz, erime noktası civarındaki derişim daha fazladır. Ama bir süre sonra iyonlar çözelti içinde yayılarak eşit biçimde dağılır. Bu da İkinci Yasa'nın işleyişine bir başka örnektir. Çözeltinin bir bölümünde yüksek, bir başka bölümünde düşük iyon derişimi eşit dağılıma kıyasla kararsız olacağından, İkinci Yasa dağılımdaki bu düzensizliği hızla düzeltir.

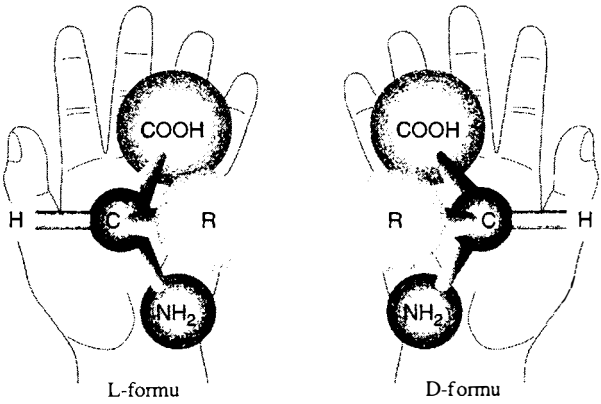
Ne var ki canlı hücrelerde, tabiatı gereği kararsız olan farklı iyon derişimleri birçok fizyolojik işlev için elzemdir; dolayısıyla İkinci

Yasa'ya karşın hücrenin içiyle dışı arasında iyon derişim gradyanı diye adlandırılan düzensiz bir iyon dağılımı bulunur ve varlığını sürdürür. Peki, bu nasıl olabilir? Tabiatı gereği kararsız olan iyon derişim gradyanlarını koruyabilmek için hücre, iyon pompaları kullanarak o basamaklanmış yoğunluklara *karşı* iyon pompalamak zorundadır. Tıpkı havada kalmak için kanatlarını çırpan kuş gibi. Elbette bu iyon pompalarını çalıştırmak için hücrenin enerji kullanması gerekir ve bu enerji daha önce gördüğümüz gibi hücreye bir şekilde sağlanmak zorundadır.

Bir başka deyişle, hücrelerin bu dengeden uzak durumu koruma becerilerinde termodinamik bir sır yoktur. Bunu, dış ortamdan sürekli sağlanan enerjiyi devamlı harcayarak yaparlar. Gelgelelim, termodinamik bağlamında enerji muhasebesinin titizlikle sürdürülmesine karşın, az önce açıkladığımız şemada derin bir sır gizlidir. *Dengeden uzak sistemler nasıl oldu da ortaya çıkabildi?* Eğer düşündüğümüz gibi dünyada yaşamın ortaya çıkmasını kimyasal süreçler sağladıysa, biyoloji öncesi dünyada denge durumlarına, yani düşük enerjili kimyasal sistemlere doğru itilen kimyasal süreçler, nasıl oldu da *karmaşık, yüksek enerjili, dengeden uzak* sistemlere yol açtı? Hatırlayın, İkinci Yasa bütün sistemlerin *daha kararlı* olmaya çalıştıklarını söyler. Ama yaşamın ortaya çıkış sürecinde bunun tam tersi meydana gelmiş olmalı. Kararsız, dengesiz sistemlerin ortaya çıkışıyla ilgili olarak İkinci Yasa adeta şöyle der: *Buradan oraya varamazsınız.* Ama vardık işte! Zorlandığımız soruysa, bunu nasıl yaptık?

Yaşamın "Kiral" Tabiatı

Canlı sistemlerde bulunan moleküllerin birçoğu "kiral"dir (*chiral*); yani molekülün aynadaki görüntüsü molekülün kendisiyle bire bir örtüşmez. İki elimiz bu özelliği yansıtır: Sol el sağ elin aynadaki görüntüsüdür; ama iki el (üstten bakıldığında tek elmiş gibi) üst üste yerleştirilemez (Şekil 1). "Sol elli" ya da "sağ elli" nitelemeleri, bir moleküldeki bu kirallik özelliğini ifade etmek için sıkça kullanılan bir benzetmedir ve bu iki kiral biçimi birbirinden ayırmak için



Şekil 1. Kiral cisimlerle ilgili el analojisi. Bir cisim, ayna görüntüsü kendi üzerine aynen yerleştirilemiyorsa kiraldir.

farklı sınıflandırmalar yapılabilir. Bunlardan görece eski ama hâlâ biyolojide yaygın kullanımı olan biri D, L sınıflandırmasıdır. Bu sınıflandırmada, bir organik madde olan gliseraldehid ile uzamsal ilişkisine göre bir kiral moleküle D (dekstro ya da sağ elli), ayna görüntüsüne ise L (levo ya da sol elli) denir. Önemli nokta, D ve L adı verilen bu iki kiral molekülün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin birbirinin aynı olmasıdır (bazı istisnalar olsa da burada üzerinde durmamıza gerek yok). Bu aynı zamanda, bir ortamda iki kiral molekülün aynı miktarda bulunması gerektiğini ima eder.

Ama herhangi bir nedenle elimizde diyelim hepsi D olan bir kiral malzeme varsa, daha önce sözünü etmiş olduğumuz Termodinamiğin İkinci Yasası, yeterli zaman verildiği takdirde bu malzemenin eşit miktarda D ve L formu içeren bir malzeme haline geleceğini söyler.

Bu konuya yaşam moleküllerinin birçoğunun kiral olduğu sözleriyle başladık. Tüm proteinlerin yapıtaşları olan amino asitlerle, nükleik asit ve karbonhidratları meydana getiren şekerlerin hepsi kiraldir. Ama burada önemli olan, canlı sistemlerde iki olası kiral formdan yalnız birinin bulunmasıdır. Biyolojik şekerler neredeyse

tümüyle D-şekerler, amino asitlerse hemen hemen tümüyle L-amino asitlerdir. Canlı sistemler istisnasız "homokiral" yapıdadır, yani tek bir kiralite içerirler. Bu homokiraliteyse iki temel soruyu gündeme getirir: Öncelikle, yaşamın bu homokiraliteliği (tek elliliği) nasıl ortaya çıktı? Dünyada pek çok cisim ayrı kiral özelliklere sahipken, canlı sistemlerin homokiraliteleri nasıl oldu da temelde heterokiral olan bir dünyadan ortaya çıktı? Ya da başka bir deyişle, özünde *iki elli* olan bir dünya, biyolojik açıdan nasıl *tek elli* hale geldi? Ve ikinci olarak da, homokiral sistemler bir şekilde ortaya çıktıktan sonra, heterokirallik (eşit miktarda iki kiral formun karışmış durumu) özünde daha kararlıyken, homokiralliğin varlığını sürdürmesi nasıl açıklanabilir? Bu açıdan yaşamın homokiral tabiatı, daha önce açıkladığımız yaşamın kararsız ve dengeden uzak karakterinin yeni bir tezahürünü temsil ediyor.

...

Canlı durumların ve bunların kendilerine has özelliklerinin yukarıdaki ayrıntılı anlatımı, canlı ve cansız sistemlerin birbirlerinden ne kadar farklı olduklarını bir kez daha gözler önüne seriyor. Özünde bu bir sorun teşkil etmez. Cansız dünyadaki farklı maddi formlar da çok farklı özellikler gösterebilirler. Bazıları katıdır, bazıları sıvı, bazıları gaz, bazıları elektriği iletir, bazıları iletmez. Kimileri renklidir, kimileri renksiz. Fakat bu farklılıklar temel kimya kuramıyla kolayca açıklanır. Örneğin suyun geleneksel üç halini düşünün: buz, sıvı su ve buhar. Birincisi kristal yapılı kırılgan bir katı, ikincisi renksiz bir sıvı, üçüncüsü de görünmez bir gazdır – birbirlerinden nasıl da farklılar! Ama bu üç hal arasındaki dramatik farklara karşın maddenin bu üç halini tümüyle "anlarız". Ortada bir gizem, kafa karıştırıcı bir şey yoktur.

Peki bu "anlayışın" temeli nedir? Anlayışımız maddeye moleküler bakışımıza ve bununla ilişkili olan kinetik kuramına dayanır. Kinetik kuramı bize maddenin hallerinin moleküller arasında etkileşen kuvvetlerin büyüklüğüne bağlı olduğunu söyler. Bu moleküllerarası kuvvetler ne kadar güçlüyse, malzemenin katı olma olasılı-

ğı o kadar yüksektir. Tabii malzemenin sıcaklığı da maddenin hali üzerinde etkilidir. Sıcaklık ne kadar yüksek olursa, tek tek moleküllerin daha yüksek kinetik enerjileri nedeniyle maddenin gaz olma eğilimi artar. Görüldüğü gibi buz, su ve buharın kendilerine has özellikleri, maddeye moleküler bakışımızdan kaynaklanır. Temel bilimler, bize maddenin üç halini birbirleriyle inandırıcı biçimde ilintilendirebileceğimiz bir örüntü sağlamıştır. En önemlisi, maddenin üç halini gerçekten "anladığımızın" nihai ve kesin kanıtı bu hallerden birini ötekine çevirebilme yeteneğimizden gelir. Aslına bakılırsa, "faz diyagramlarının" öngördüğü şekilde bu dönüşümleri değişik yollarla gerçekleştirebiliriz. Buzu basınç uygulayarak ya da ısıtarak suya çevirebiliğimiz gibi, buzu aradaki su aşamasından geçirmeden doğrudan buhara da dönüştürebiliriz. O halde özet olarak maddenin katı, sıvı ve buhar olarak üç halini "anlıyoruz" diyoruz, çünkü (a) bu farklı hallerin farklı özelliklerini temel moleküler terimlerle açıklayabiliyoruz ve (b) bu anlayış söz konusu sistem üzerinde kontrol kurmamızı sağlıyor, zira maddenin bir halini ötekine çevirmenin farklı yollarını biliyoruz.

Ne var ki biyolojik dünyaya gelince, maddi sistemler hakkındaki bugünkü bilgi düzeyimiz, yaşamın ayrıntılarıyla gözden geçirdiğimiz kendine has özelliklerini açıklamaya yetmiyor. Basitçe anlatmak gerekirse, maddi dünyada belli bir sınıfı (biyoloji sınıfı) oluşturan ve kimyasal terimlerle hâlâ açıklanamamış farklı bir davranış örüntüsü sergileyen maddi sistemler var. Ve paradoksal bir şekilde, anlayışımızdaki bu boşluk, biyolojik işlevin girift mekanizmalarının giderek daha iyi anlaşılmasına karşın hâlâ bize eşlik ediyor. Bir şekilde hücrenin mekanizmaları hakkında gitgide daha çok bilgi sahibi oluyoruz, ama bu bilgi bizi biyolojik gerçekliğin özünü anlamaya yaklaştırmış görünmüyor. Çok, pek çok ağaç görüyoruz, ama ormanın manzarası hâlâ sinir bozacak kadar belirsiz. Yaşamı anlamak, yaşamın eşsiz özellikleri için net açıklamalar getirebilmemizi gerektiriyor. Bu da bu kitabın başarıyla vermeye çalışacağı önemli sınavlardan biri.

2

Yaşam Kuramının Peşinde

ÖNCEKİ BÖLÜMDE yaşamın şaşırtan özelliklerine projektör tuttuk ve bu özellikleri basit kimyasal terimlerle neden açıklayamayacağımızı anlattık. Sorunun önemi göz önünde tutulacak olursa, yaşamı anlama çabalarının binlerce yıl boyunca insanlığı meşgul etmiş olması şaşırtıcı değil. O halde çağlar boyunca düşüncelerimizi biçimlendiren temel kavramları şöyle bir gözden geçirelim. Aristoteles'in 2000 yıldan daha geriye giden düşünceleri, doğrudan canlılar üzerindeki kapsamlı çalışmalarından kaynaklandığı için özellikle etkileyiciydi. Aristoteles'in hamurunda biyologluk vardı ve pratikte de tutkulu bir biyologdu. Canlılar üzerindeki ayrıntılı gözlemleri, onu bilimsel düşünceye yapmış olduğu en büyük katkı sayılabilecek olan doğaya *teleolojik* bakışına götürdü. Bu öylesine ikna edici bir görüştü ki, Batı düşünüşünü iki bin yıldan uzun süre etkisi altında tuttu.

Basitçe söyleyecek olursak, Aristoteles yaşamın ortaya çıkışını ve sürdürülmesini sağlayan süreçler arasında, bunların *hedefe yönelik* olduğunu gösteren birinin varlığını fark etti. Örneğin üreme faaliyeti ve embriyonun gelişmesinin her veçhesi, bu amaçlı ve hedefe yönelik özelliği temsil eder. Bu amaç geniş bir yelpazedeki maddi oluşumlar için bariz bir şekilde ortak olduğuna göre (her ne kadar tüm örnekler biyolojik dünyadan seçilmiş olsa da), biyolojik olsun ya da olmasın *tüm* maddi oluşumların temelinde bir amaç bulundu-

ğu sonucuna varmak mantıklı görünüyordu (Aristoteles'in ünlü Nihai Neden'i). Nitekim bu ilke Aristoteles'in teleolojik bakış açısının temelini oluşturur: Doğanın işleyişinin bir amacı vardır ve bu amaç tüm kozmosu yönetir. Aristoteles'in teleolojik tezini destekleyen yığınla biyolojik kanıtın varlığı göz önüne alınırsa, geriye bakıldığında bu teleolojik düşünce tarzının kayda değer bir itirazla karşılaşmadan iki bin yılı aşkın bir süre yürürlükte kalmasını anlayışla karşılamak gerekir.

Gelgelelim, on altıncı yüzyılda entelektüel bir kıpırdanmanın ilk dalgaları çok geçmeden bir tsunamiye, zamanın bilimsel manzarasını baştan aşağı değiştiren bir entelektüel fırtınaya dönüştü. Şimdi modern bilimsel devrim diye adlandırılan ve merkezinde Kopernik, Descartes, Galileo, Newton ve Bacon gibi figürlerin bulunduğu akım, insanlığın gerek evren gerekse kendisinin evren içindeki gerçek yeri hakkındaki algısını radikal biçimde değiştirdi. Bu devrimin en büyük başarısı, evrenin çok uzun süredir tartışılmayan teleolojik resminin tümüyle yeni bir değerlendirmeye tabi tutulması ve en azından bilim çevrelerinde geçerliliğini yitirmesi oldu. 2000 yıl boyunca yerleşmiş ve kemikleşmiş düşünme biçiminden dramatik bir kopuş olan bu devrim, doğada temel bir amaç bulunduğu düşüncesini bir kenara itti ve yerine, modern bilimsel devrimin özü olan, doğanın objektif olduğu, doğal düzenin altında bir amaç yatmadığı düşüncesini yerleştirdi. Bu devrimin bilimsel ve felsefi çıkarımlarının önemi tartışma götürmez. Hatta Jacques Monod bu fikrin, modern insanın gezegene yayıldığı 150.000-200.000 yıl içinde ortaya attığı *en önemli fikir* olduğu görüşünde. Bu tek fikir, insanlığı, önemini ve etkisini henüz tümüyle göremediğimiz yeni bir kavramsal gerçekliğe götürdü. Ne var ki bu devrimci düşünce ve ona eşlik eden insanın evren algısındaki değişim, paradoksal bir şekilde yaşam meselesine dair ciddi güçlükler ortaya çıkardı. Hatta bilimsel algıdaki değişim, *yeni* bilimsel düşüncede yadsınamaz görünen çelişkiler yaratarak yaşam bilmecesini daha da içinden çıkılmaz hale getirdi. Modern bilimsel düşünceden önce, insanın kozmos hakkındaki düşüncelerinde bir tür birlik görülebiliyordu; teleoloji hem canlılar hem de cansızlar dünyasını kapsıyordu. Fakat bu devrimin

doğrudan bir sonucu olarak, iki ayrı dünyanın varlığını ve bu iki dünya arasındaki ilişkinin doğasını açıklama gereği ortaya çıktı. Böylece ilginçtir ki, modern bilimsel devrim insanlığın evrendeki gerçek yerini bulma konusundaki dur durak bilmeyen dürtüsünü tatmin edemediği gibi, hem canlı hem de cansız dünyayı içeren maddi dünyanın daha iyi anlaşılmasına giden yola yeni ve daha da büyük görünen engeller koydu.

Süregelen bu destandaki ikinci önemli adım, 1859 yılında Charles Darwin'in *Türlerin Kökeni* adlı eserinin önemli bir kilometre taşı olarak basımıydı. Gelgelelim, Darwin'in evrim kuramı biyoloji çerçevesinde büyük bir birlik sağlarken, canlı ile cansızı ayıran uçurumun daha da genişlemesine hizmet etti. Daha önce sözünü ettiğimiz gibi, on yedinci yüzyılın bilimsel devriminin geç ortaya çıkışının nedeni, Aristoteles'in teleolojik tezinin son derece inandırıcı ve mantıklı olup gözlemlerce desteklenmesiydi. Çevremizdeki dünya amaçlı tasarımın sonsuz örneklerini sergiler, ama tabii amacın tüm yapısı biyolojik bir temele oturur. Bu paradigmaları paramparça eden teziyle Darwin, canlı sistemlerde amaçlı tasarımın gerisinde basit, mekanik bir açıklamanın –doğal seçilimin– yattığı saptamasıyla teleolojik evrene olan inanışın en ikna edici temelini ortadan kaldırdı. Doğal seçilim ilkesiyle Darwin, artık aşikâr olan "objektif evren" önermesine dayalı bilimsel devrimi, daha önce uygulanamaz göründüğü biyoloji alanına taşıyarak genişletti ve güçlendirdi. Bu çığır açan katkıdan sonra kozmik teleoloji, en azından bilimsel çevrelerde tedavülden kalktı.

Ancak, basit yaşamın nasıl giderek daha karmaşık bir yaşama evrildiğine "fiziki" bir açıklama getirmesine karşın Darwin, cansız maddenin basit yaşama nasıl dönüştüğünü açıklamadı; hatta açıklamaya bile kalkışmadı. İşin iginç yanı, bu sorunlu unutkanlık o dönemde de gözden kaçmamıştı ve Darwin'in kendisi de bunun farkındaydı. Botanikçi bir arkadaşına yazdığı bir mektupta şöyle diyordu: "Mevcut koşullarda yaşamın başlangıcını düşünmek, saçmalıktan öteye gidemez. Bu, maddenin kökenini düşünmek gibi bir şey." Darwin, yaşamın kökenini açıklama sınavından bilerek kaçınıyordu; çünkü sorunun o zamanki bilgi düzeyinin erimi dışında ol-

duğunun farkındaydı. Darwin'in çağdaşlarından Ernst Haeckel ise bu eksiklik karşısında sözünü sakınmıyordu: "Darwinci kuramın en büyük kusuru, tüm canlıların atası olan ilkel organizmanın –muhtemelen basit bir hücre– kökenine ışık tutmaması. Darwin bu ilk tür için özel bir yaratılış işlemi varsaydığında tutarlılığını yitiriyor ve sanırım samimi de değil..."[7] Burada temel mesele olan yaşamın nasıl ortaya çıktığı, tasarım, işlev ve amacın nasıl yaratılıp cansız maddeye sokulduğu sorusu, fiziki bilimleri sürekli rahatsız eden bir diken olarak yanıtsız kaldı.

Fizikte yirminci yüzyılın ilk otuz-kırk yılında görülen dramatik ilerlemeler de konuya açıklık getiremedi. Nitekim atom kuramının mimarlarından biri olan Niels Bohr, meşhur "Işık ve Yaşam" başlıklı konferansında şöyle diyordu: "İnsan mantığıyla tutarlı olmakla birlikte yaşamı fizik ve kimyadan edindiğimiz mantık yürütme şekliyle izah etmek mümkün değildir."[8] Aslında Bohr'un yaptığı, fizikçilerin kabullenmek ve çalışmalarına uyarlamak zorunda kaldıkları kuantum kuramının "mantıksızlığını" biyolojik sistemlere de taşımaktı. Bir nevi içsel biyolojik mantıksızlık! Canlı ve cansız varlıklar iki ayrı maddi form çerçevesinde varolabilirler, nokta. *Yaşam Nedir?* adlı o kışkırtıcı küçük kitabından[9] daha önce söz etmiş olduğumuz, kuantum mekaniğinin kurucusu Erwin Schrödinger, özellikle yaşamın garip termodinamik davranışına şaşırıyordu. Modern fizikle biyoloji hayli çelişkili, temelde bağdaşmaz görünüyordu. Schrödinger sonunda Bohr'un akıl yürütme biçimini izleyerek, canlı maddenin fiziğin yerleşik yasalarına uymakla birlikte muhtemelen şimdiye kadar bilinenlerden farklı bazı fizik yasalarına da tabi olabileceği şeklinde muammalı bir sonuca vardı.

Bir kuşak sonra Nobel Ödüllü biyolog Jacques Monod, 1971 tarihini taşıyan *Rastlantı ve Zorunluluk*[10] adlı klasik monografisinde, fizikle biyoloji arasında –bilimsel devrimin ancak genişlemesine hizmet ettiği– derin bir ayrılığın varlığını akıcı bir dille bir kez daha doğruladı. Monod'yu rahatsız eden başlıca sorun, yaşamın teleonomik doğasıydı. Bu özelliğin varlığı, modern bilimin temel ilkelerinden birini, doğanın objektifliğini ihlal ediyormuş gibi görünüyordu. Monod sorunu şöyle özetliyordu:

Burada, en azından görünürde, büyük bir epistemolojik çelişki yatıyor. Aslında biyolojinin temel sorunu, sadece görünürdeyse çözülmesi, gerçekten varolduğunun anlaşılması halindeyse hiç çözülemeyeceğinin kanıtlanması gereken bu çelişkiyle ilgilidir.

Basitçe sorulacak olursa, işlev ve amaç nasıl olur da işlev ve amaçtan yoksun objektif bir evrenden çıkmış olabilir? Böylece, Aristoteles'in teleolojisinin yeni bilimsel düzen tarafından yenilgiye uğratılmış olmasına karşın, ortadan kalkmasının geride can sıkıcı bir boşluk bıraktığı anlaşılmış oldu. Biyoloji dünyasının her veçhesinde öylesine açık olan teleonomi gerçeğinin inkârı mümkün değildi. Teleonominin varlığının kanıtları kozmik çıkarımlar değil, ayağı yere basan sağlam biyolojik verilerdi. Peki bu teleonomik özelliğin kaynağı nedir? *Herhangi türden* bir amaç objektif bir evrenden nasıl çıkabilir? Sonuç kaçınılmaz görünüyor: Yaşamı anlamak için teleonomiyi anlamak durumundayız. Bu ikisi birbirleriyle zorunlu ve geri dönüşsüz biçimde bağlantılı. Fakat bu analizin olumlu bir veçhesi de var. Teleonominin fiziksel temelini açıklayabilirsek bu, yaşamın ortaya çıkmasını sağlayan araçların işleyiş mekanizmaları hakkında da bilgi sağlar. Böyle bir ilişkiyi 7. ve 8. Bölümlerde irdeleyeceğiz.

Geriye baktığımızda Bohr ve Schrödinger gibi fizikçilerin yaşam sorusuna yanıt getirmede karşılaştıkları güçlüklerin, kısmen yaşamın ne olduğu ve nasıl ortaya çıktığı sorusunun temelde bir *kimya* sorusu olmasından kaynaklandığını söylemeye meyledebiliriz. Ne de olsa hem canlı sistemlerin işlevlerini yöneten süreçler hem de canlı sistemlerin cansız maddeden ortaya çıkmasını sağlayan süreçler, öncelikle kimya diye adlandırdığımız bilimsel araştırma alanında meydana gelir. Ama Schrödinger'in çalışmasından sonraki yarım yüzyıl içinde moleküler biyolojide kaydedilen dramatik gelişmeler, Schrödinger'in sorusunun hakkıyla yanıtlanabilmesi için eksik olanın yaşamın kimyasal mekanizmaları konusundaki bilgisizlik olduğu görüşünü yalanlıyor. Watson ve Crick'in 1953'teki çığır açıcı DNA çalışmaları,[11] hücre temelli yaşam makinesi hakkındaki anlayışımızda gerçek bir devrimin başlangıç işaretlerini verdi. DNA kopyalanma mekanizmaları, protein sentezi, enerji dönüşümü

ve metabolik döngüler gibi büyük keşifler art arda gelmekte gecikmedi. Yaşamın moleküler mekanizmaları hakkındaki bilgilerimizde dramatik gelişmeler hızla birbirini izledi. Fakat paradoksal bir şekilde, yaşamın mekanizmasına yönelik giderek derinleşen araştırmalar bizi Schrödinger'in canalıcı "Yaşam nedir?" sorusunun ya da onunla bağlantılı yaşamın nasıl ortaya çıktığı sorusunun yanıtına daha çok yaklaştırmadı. Hatta 1974'te, DNA'nın keşfinden yirmi yıl sonra efsane bilim felsefecisi Karl Popper, yaşamın kökeni sorununun bilim için aşılmaz bir engel ve biyolojiyi fizikle kimyaya indirgeme yolundaki çabaların bir kalıntısı olduğunu öne sürerek Bohr-Schrödinger tezine arka çıktı.[12] Ve DNA ile ilgili keşifleriyle ün kazanmış olan Francis Crick, 1981 yılında yayımladığı *Life Itself* (Yaşamın Kendisi) adlı metinde, yaşamın ortaya çıkışını öyle mucizevi bir olay olarak görüyordu ki, dünyada yaşamın yabancı bir yaşam formu tarafından tohumlanmak suretiyle uzaydan taşınmış olduğu gibi uç bir fikri savunan "yönlendirilmiş panspermia" teorisinin mümkün olabileceğini bile belirtiyordu![12]

Varılan sonuç hayli çarpıcı. En geniş hatlarıyla özetlemek gerekirse, "Yaşam nedir?" sorusuyla ilgili olarak Charles Darwin'den bu yana şaşılacak kadar az ilerleme kaydetmiş bulunuyoruz. Tamam, artık tüm yaşamın hücre temelli olduğunu, kalıtsal bilginin DNA molekülünde şifrelenmiş olduğunu, yaşamın işlevselliği için kritik önem taşıyan yaşam proteinlerinin DNA dizilişiyle ilişkili genel bir şifre aracılığıyla üretildiğini, ATP molekülüne dayalı evrensel bir enerji depolama sistemi olduğunu biliyoruz. Ama kendi başına muazzam bir öneme sahip olan bu ayrıntılı moleküler bilgi havuzunun tek yaptığı, Darwin'in baştaki iddiasını, yaşamın çok eski bir ortak atadan geldiğini ve yaşamın tek bir şey olduğunu doğrulamaktan ibaret. Tabii Darwin, çağdaş moleküler biyolojinin bize cömertlikle sunduğu mekanik detaylara sahip değildi; ama yaşamın birliğine olan inancı ve tüm yaşamın fizik yasaları aracılığıyla akraba olduğu sezgisi, katkısının özünü ve Darwinci devrimin temelini oluşturuyordu. Dolayısıyla, moleküler biyolojide 60 yıldır gerçekleşen olağanüstü keşiflerin üzerimize yağdırdığı moleküler bilgiler bizi "Yaşam nedir?" sorusunun yanıtına daha çok yaklaştırmış görünmüyor.

Evet, daha önce de belirttiğimiz gibi yaşam ormanında çok, pek çok ağaç görüyoruz, ama ormanın manzarası moral bozucu belirsizliğini koruyor.

Yaşamı Tanımlamak

Uzun yıllar boyunca yaşamı tanımlama çabalarına muazzam emek harcandı ve biz de bu bölümü söz konusu çabaların nispeten daha yeni birkaçını gözden geçirerek bitireceğiz. Bu kısa bakış, yaşam konusunun ne kadar kafa karıştırıcı bir hal aldığını teyit edecek. Yıllar boyunca abartısız yüzlerce tanım önerildi ve bu akışın azalacağını gösteren herhangi bir işaret de yok. *Searching for the Definition and Origin of Life*[14] (Yaşamın Tanımının ve Kökeninin Peşinde) adlı kitabında Radu Popa, yalnızca kitabın yayımlanmasından önceki yıl içinde önerilen kırk tanımı sıralıyor ki, bu da yaşamı tanımlamanın otokatalitik bir karakteri olduğunu düşündürüyor. Sorun da bu ya: Çoğu şayet açıkça çelişkili değilse bile en azından uyumsuz olan bu bir sürü farklı tanım, "yaşamı tanımlama" çabasının içsel bir güçlüğü olduğunu gösteriyor. Biraz geriye çekilip bu sürekli artan literatüre şöyle biraz uzaktan bakmak, akla kendi kuyruğunu kovalayan köpek benzetmesini getiriyor. Problemi yakından görmek için gelin Popa'nın listesinden rasgele seçilmiş nispeten yeni birkaç tanıma bir göz atalım:

> Yaşam, etkinliklerini organize etmek için bilgiyi derleyen, depolayan, işleyen ve kullanan maddi bir sistem olarak tanımlanır.[15]
>
> Yaşam, her daim monomer, enerji ve koruma sağlanan nükleik asit ve polimerazlardan oluşan bir sistem olarak tanımlanır.[16]
>
> Yaşam, 1. kendi kendine örgütlenebilme; 2. kendi kendini kopyalayabilme; 3. mutasyonlar yoluyla evrilebilme; 4. metabolizma; ve 5. yoğunlaştırıcı zarflanma yeteneklerine sahip bir sistem olarak tanımlanır.[17]
>
> Yaşam, organize kararsızlığın özel bir durumundan başka bir şey değildir.[18]

Hepsi de nispeten yeni ve kendilerince kavrayışlı olan yukarıdaki tanımlar arasında hemen hemen hiç örtüşme yok. Eğer "yaşam..." diye başlamıyor olsalardı, bu tanımların farklı kavramlar ol-

duğunu sanmamız herhalde hoş görülürdü. Freeman Dyson'dan gelen birincisi, bilgi (yazılım) odaklı; Victor Kunin imzalı ikincisinin odağında altyapı (donanım) ve süreci yürütecek enerji var; Gustaf Arrhenius'un tanımı olan üçüncüsü, canlı varlıkların paylaştıkları özelliklerin bazılarını öne çıkarıyor; Remy Hennet'ın önerdiği dördüncüsüyse, yaşamın termodinamik veçhesini vurguluyor. Ve önerilen pek çok başkasından yeni örnekler de sıralamak isteseydik, bu tanım farklılığını artırabilirdik. Yaşam gerçekten de pek çok şey; ama tek başına hiçbiri yaşam değil.

Son olarak bir de 1992 tarihli NASA Exobiology (Dünya-dışı biyoloji) Programı tarafından önerilmiş ve NASA'nın yaşam tanımı diye bilinen, yaşamın en yaygın ve genel kabul gören tanımına bakalım: *Yaşam, Darwinci evrim sürecine uyan, kendi kendini sürdürebilen kimyasal bir sistemdir.* Bazı bakımlardan çekici olsa da, bu da birtakım eksiklikler taşıyor. Birincisi teknik bir kusur olarak değerlendirilebilir. NASA'nın tanımının, *tek tek* yaşam formları, örneğin bir bakteri, fil ya da insan için geçerli olduğu düşünülebilir. Gelgelelim tek tek yaşam formları evrim geçiremez. Yalnızca üreyebilir ve ölürler. Darwinci evrim ancak canlı varlık popülasyonları (çok sayıda bireyin toplamı) için geçerlidir. Ama bu teknik noktayı bir kenara bırakacak olsak bile, açık istisnaları bulunduğundan tanım sorunlu olmayı sürdürür. Bir at ve eşeğin çiftleşmesinin ürünü olan katır kısırdır ve dolayısıyla üreyemez. Tabii bu da, katırların canlı olduğundan kimsenin kuşkusu olmamasına karşın, bir katır popülasyonunun Darwinci evrim geçiremeyeceği anlamına gelir. Aynı şey tek başına dolaşan bir tavşan için de geçerlidir: O da üreyemediği halde gayet canlıdır. Katırlara ve yalnız tavşanlara dayanan ve son yıllarda sıkça dile getirilen bu eleştiri, ikide bir tekrarlana tekrarlana gücünü bir miktar yitirmiş görünüyor. Ama aşinalık hiçbir şekilde geçerliliği yıpratmamalıdır. Sağlam bir temeli olan bu eleştiri gözardı edilemez. Birçok yaşam tanımında görüldüğü gibi, burada da istisnalara işaret etmek son derece kolaydır. Canlılar sürekli olarak çeşitli tanımların ya *dışında tutulur* ya da yanlış bir şekilde *içine alınır*.

Peki o zaman ne yapacağız? On yıl önce yayımlanan ve önemli keşifler içeren bir makalede, Colorado Üniversitesi'nde felsefe dersi veren Carol Cleland ile Princeton Üniversitesi gökbilimcilerinden Christopher Chyba tartışmanın özünü değiştirdiler. Yaşamın ne olduğunu anlamadan yaşamı tanımlamaya kalkmanın, arabayı atın önüne koşmak olduğuna işaret ettiler. *Anladığımız* bir kavramın tanımını aramak bile yeterince sorunluyken, anlamakta hâlâ zorlandığımız bir kavramı tanımlamaya çalışmak boşa kürek çekmek demek. Cleland ve Chyba'nın tezlerine dayanarak artık NASA tanımının sorununa parmak basabiliriz. Bu tanım bize yaşamın ne *olduğunu* anlatmaya çalışmıyor, onu nasıl tanıyabileceğimizi söylüyor. Suyun fiziksel özellikleri nasıl bize bir sıvının su olup olmadığını belirlememizde yardım ediyorsa, NASA tanımı da, canlıların genelde yaptığı bir şeyi (Darwinci evrim geçirmelerini) yapıp yapmadığına bakarak bir varlığın canlı olduğunu bize bildirebilir. Cleland ve Chyba ise, bize gerekenin bir yaşam tanımı değil, kapsamlı bir *yaşam kuramı* olduğunu öne sürüyor. O yöndeki çabalarımızı son iki bölümde anlatacağız.

Özetleyecek olursak, bu kısa tarih turu yaşam sorununun yüzyıllar boyu yol açtığı ve ta günümüze dek gelen kafa karışıklığı kadar, her devirde karşımıza çıkan "Yaşam nedir?" bilmecesinin çözümsüz kalmasının nedenlerinden bazılarını da ortaya çıkarıyor. Canlı ve cansız varlıkları ayırmaya devam eden kavramsal uçurum üzerinde bir köprü kurulana, olaylara farklı bakan iki bilim dalı –fizik ile biyoloji– doğal bir biçimde birleşene kadar yaşamın doğası ve dolayısıyla da insanın evrendeki yeri belirsizlik içinde zihnimizi kemirip duracak.

3

"Anlama"yı Anlamak

ÖNCEKİ BÖLÜMDE, hâlâ bir yaşam kuramına, yaşamın ne olduğunu ve nasıl ortaya çıktığını anlamamızı sağlayacak bir kurama sahip olmadığımıza ve son yıllarda yaşamın mekanizması hakkında edindiğimiz ayrıntılı bilgilere karşın yaşam fenomenine ilişkin anlayışımızda hâlâ çok önemli bir boşluk bulunduğuna işaret ettik. Peki ama "anlamak" terimiyle tam olarak neyi kastediyoruz? Gündelik sorularımızın büyük çoğunluğu için kullanırken, bu terimi açıklamak gereksiz görünüyor. Anlamı zaten apaçık. Ama yaşam sorusu için kullanıldığında iş karmaşıklaşıyor. "Anlamak" ile kastettiğimiz, bilimsel yöntemin ta kalbine, hatta ötesine gidiyor ve bizi insanlığı 2000 yıldan uzun süredir meşgul eden temel bazı felsefi sorulara en azından kısaca değinmeye zorluyor.

Bilim dünyasında, çevremizde gördüğümüz fenomenleri "bilimsel yöntemden" yararlanarak anlamaya çalışırız. Bu yöntem yeterince bilindiğinden, burada yalnızca analizimizle ilgili olan veçhelerine değineceğiz. Bilimsel yöntemin merkezinde "tümevarım süreci" denen mantık yürütme biçimi yer alır. Tümevarım sürecinin kökleri eski Yunan felsefesine kadar uzanır, ama onu resmi tanımıyla bilimsel önemine kavuşturan, modern bilimsel devrimin mimarlarından Francis Bacon'dır. Tüm bunlar fazla formel ve dar bir çevreyi ilgilendiriyormuş gibi görünebilir. Oysa metodolojinin esa-

sı aslında çok basittir. O kadar basit ki, küçük çocuklar bile sezgileriyle bunu anlar ve (bilincinde olmadan) sürekli uygularlar. Aslına bakılırsa tüm bilimsel çabaların –detaylardan, süslemelerden ve jargondan arındırıldığında– tümevarım yönteminin başarıyla uygulanmasından başka bir şey olmadığını söyleyebilirim. Tümevarım yöteminin başarılı uygulaması, "anlamak" dediğimiz şeyin de temelini oluşturur.

Tümevarımcı mantık, gözlemle ya da deneyle elde edilmiş bir dizi olgudan genel sonuçlara varılmasını içerir ki, buna biraz indirgemeci bir ifadeyle *örüntü tanıma* da denebilir. Çok basit bir örnek düşünelim: elmaların yere düşmesi. Gerçekten de istisnasız bütün elmalar düşer ve dolayısıyla doğanın genel bir kuralı olarak şöyle bir formülasyon öne sürülebilir: "Elmalar düşer." Ama içimizde gözlem yeteneği en az olanlar bile düşenin yalnızca elmalar olmadığını, tüm maddi cisimlerin aynı düşme özelliğini sergilediğini fark etmişlerdir. O halde, sınırlı "elmalar düşer" kuralı, "tüm cisimler düşer" kuralına genişletilebilir; her ne kadar sıcak hava balonları gibi bazı cisimlerin davranışları, örüntünün bu zahiri istisnaları da açıklayacak şekilde daha ayrıntılı biçimde betimlenmesini gerektirse de.

Düşen cisimler fenomeni o kadar barizdir ki, küçük bir çocuk bile işin özünü hemen kavrar ve bunu yaparken de tümevarım yöntemini temel bir düzeyde uygulamış olur. Bir çocuğun tuttuğu cisim elinden kayıp yere düştüğünde, çocuk çok geçmeden bu özel düşme olayının "cisimler düşer" genel kuralını uyguladığını "anlar". Demek ki küçük çocuklar bile tümevarım ya da bilimsel yöntemden haberleri olmaksızın çevrelerindeki dünyayı daha iyi anlayıp uyum sağlayabilmek için tümevarım ilkelerini sezgisel olarak uygularlar. İngiliz şair ve tarihçi Thomas Macaulay bunu 150 yıl önce şöyle dile getiriyordu:

> Tümevarım yöntemi dünyanın başlangıcından beri her insan tarafından uygulanmıştır. Yöntem halen en cahil budala, en avare öğrenci, hatta memedeki çocuk tarafından sürekli uygulanıyor. Bu yöntem budalayı arpa ekerse buğday biçemeyeceği sonucuna götürür. Bu yöntem sayesindedir ki öğrenci alabalık yakalamak için en iyi zamanın bulutlu bir gün olduğunu

öğrenir. Ve muhtemelen bebek de tümevarımla sütün annesinden ya da süt-annesinden gelmesini bekler, babasından değil.[20]

Aslında bilinç sahibi *tüm* varlıklar, farkında olsunlar ya da olmasınlar, evrimin hepimize aşıladığı bir süreçle bu yöntemi rutin biçimde uygularlar. Evet, evinizdeki sevimli köpek de, her ne kadar Bacon'ın teziyle ya da daha genel olarak epistemolojiyle tanışık olmasa da rutin olarak tümevarım yöntemini uygular. Kanıt mı istiyorsunuz? Sevdiği köpek maması konservesini açmaya başladığınızda gösterdiği tepkiyi izleyin yeter. Zaman içinde tanımayı öğrendiği örüntü temelinde, kendisine yemek verilmek üzere olduğunu anlar. Bilinçli varlıklara, dış dünyaya kendilerine yarar sağlayacak şekilde tepki verme yeteneğini sağlayan, evrimle kazanılmış olan deneysel bilgi derleme ve derlenen bu bilgi içinde örüntüler tanıma becerisidir. Köpeğiniz, iki yaşındaki bir çocuk ve laboratuvarındaki bilimci aynı tümevarımsal metodolojiyi uygular. Tek fark, tanınan örüntülerdeki karmaşıklık düzeyidir.

Yukarıda belirtildiği gibi küçük çocuklar "cisimler düşer" kuralının farkındadır. Ama çok daha kapsamlı bir örüntüyü, düşen elmaların davranışını ay ve dünya gibi gökcisimlerinin yörüngelerine bağlayan bir kuralı, yani fiziksel cisimlerin etkileşimlerini kesin matematik terimlerle açıklayan bir kütleçekim yasasını fark etmek için Isaac Newton gibi bir deha gereklidir. Öyleyse, elmaların *neden* düştüğünü ve ayın *neden* dünyanın etrafında dolandığını anladığımızı söylüyorsak, bunun sebebi her iki özel olayın da tüm fiziksel cisimlerin davranışını yöneten daha genel bir örüntüyü temsil ediyor olmalarıdır. Ama bu, elmaların *neden* düştüğüyle ilgili *mutlak ve derin* bir kavrayışın olmadığı anlamına gelir. Kütleçekim, yalnızca düşen elma olayının dahil olduğu genel bir örüntüye verilen bir isimdir.

Son tahlilde tüm bilimsel açıklamalar tümevarımcıdır. Örüntülerin tanınması ve özelin genel içinde değerlendirilmesinden ibaret-tirler. Genelleme ne kadar geniş, yani genellemenin dayandığı deneysel gözlemler ne kadar fazlaysa, öngörü gücü o kadar yüksek ve genellemenin kendisi de o kadar önemlidir. Basite indirgenecek olursa, modern fizik de bundan başka bir şey değildir: evrenin işle-

yişinin altında yatan gitgide daha genel örüntüler aramak, örüntüyü daha geniş perspektiflere taşımak. Nitekim Einstein'ın özel ve genel görelilik kuramlarının yaptığı da buydu: daha sınırlı olan Newtoncu örüntüyü geliştirip genelleştirmek. Einstein görelilik kuramıyla Newton'un kütleçekim kuvvetini daha geniş bir çerçeveye oturtarak Newtoncu açıklamayı ileri taşımış oldu.

Einstein'a göre kütleçekim, cisimlerin kavisli bir yapıya sahip dört boyutlu uzayzaman içindeki doğal hareketinden başka bir şey değildir ve bu tanımıyla düşen elmaların davranışı da dahil olmak üzere geniş bir aralıktaki fiziksel fenomenlerin anlaşılması için daha genel bir temel sağlar. Elbette fizikçiler işin ucunu bırakmış değiller. Sicim kuramı ve M-kuramı gibi daha karmaşık formülasyonlarla genellemeyi daha da genişletmeye çalışıyorlar ve "her şeyin kuramı" dedikleri o son kurama, nihai örüntüye doğru yol alıyorlar. Nihai bir örüntünün ortaya çıkarılıp çıkarılamayacağı da elbette yalnızca bilimin değil, felsefenin çeşitli alanlarını da ilgilendiren bir başka soru. Ne var ki, kendi içinde çok ilginç olmakla birlikte konumuzun kapsamını aşan bir soru bu.

Örüntülerin oluşturulmasında matematiğin rolü son derece önemlidir. Örüntünün matematiğin diliyle nicel olarak ifade edilebilmesi, genellemenin öngörü gücünü, dolayısıyla da sağladığı yararı büyük ölçüde artırır. Nobel Ödüllü fizikçi Richard Feynman bir keresinde kuantum kuramlarının doğruluğunun, Kuzey Amerika kıtasının genişliğinin ancak bir saç telinin kalınlığı kadar şaşacak bir doğruluk düzeyine eş olduğunu söylemişti. Kayda değer bir örüntü! Böyle öngörü yetenekleri matematiğin örüntü formülasyonunda temel bir rol oynamasını sağlasa da, bu, nitel örüntülerin değer ve yararlarının gözardı edilebileceği anlamına gelmez. Darwin'in doğal seçilim ve ortak ata fikirlerinin –tümüyle nitel bir formülasyonu olan ama bugün bile insanın kendine bakışını büyük ölçüde biçimlendiren bu fikirlerin– devrim yaratan etkisini unutmayalım. Einstein'a atfedilen vecizeyi hatırlayacak olursak: *Önemli sayılan her şey sayılamaz ve sayılabilen her şey de önemli sayılmaz.*

Biz tümevarım yönteminin aradığı şeyi tanımlamak için "örüntü" terimini kullandık. Bilimcilerse örüntülerin doğrulanma derece-

sine göre değişen başka terimler kullanırlar – hipotez, kuram, yasa gibi. Newton'un kütleçekim yasası, elmalar ve başka cisimlerin düştüğü sayısız örnekler ve güneşin her gün doğuşundaki düzenlilik nedeniyle tartışmasız biçimde bir yasa sayılır. Yine de "örüntü" deyimi, içerdiği muğlaklık sayesinde bir avantaja sahiptir. Mutlak hakikat algısı yaratan "yasa" ve "kuram" gibi terimlerin tersine, "örüntü" terimi daha yumuşak, daha esnek, daha az angaje, daha az kesin, üzerinde oynanmaya daha açıktır. Newton'un kütleçekim ve harekete ilişkin yasaları bile Einstein'ın devrim yaratan açıklamalarının ardından revizyona tabi tutulmak zorunda kalmıştı. Her hipotez, kuram ya da yasanın da nihayetinde birer örüntü olduğunu aklımızda tutarsak, o kuram ya da yasa değişikliğe uğradığında veya geçerliliğini yitirdiğinde daha az bocalarız.

Bu örüntülerin, kuralların, yasaların, genellemelerin ya da her ne diyeceksek onların altlarında yatan nedene gelince, bilim bu gibi sorulara yanıt veremiyor ve verebilirmiş gibi de yapmıyor. Doğa yasalarının doğal fenomenlerin açıklamaları olduğu yolundaki yaygın inanışa karşın, yirminci yüzyılın büyük filozofu Ludwig Wittgenstein neredeyse yüz yıl önce ünlü *Tractatus* (Latince "tez") adlı eserinde şöyle diyordu: "Evren hakkındaki modern anlayışın tümü, o sözde doğa yasalarının doğal fenomenleri açıkladığı yanılgısı üzerine kuruludur." *Herhangi bir* fenomen için temel bir açıklama yoktur ve yapabileceğimizin en iyisi, örüntünün açıklama olduğunu söylemektir. Örüntülerin, temelde yatan gerçeklik ile bizim o gerçeklik hakkındaki anlayışımız arasındaki bağlantılar olduğunu söyleyebiliriz. Bu örüntülerin temeli –fenomenlerin altında yatan doğa yasaları– kendi içinde büyüleyici bir soru olmakla birlikte, bilim alanının katı sınırlarının ötesinde ve dolayısıyla konumuzun sınırları dışında kalıyor. Sözü yine Wittgenstein'a verecek olursak: "İnsan konuşamayacağı bir konuda susmasını bilmelidir."

Yukarıda belirtilenlerin ışığında, anlamanın dereceleri olduğu, örüntü tanıma her zaman kesin olmadığından anlamanın önemli ölçüde öznel olduğu sonucuna varılabilir. Örüntü tanıma, bir ölçüde bakanın gözündedir. Nobel Ödüllü fizikçi Steven Weinberg'in işaret etmiş olduğu gibi, bir örüntünün aydınlatıcı olup olmadığını anla-

manın etkili bir yolu da, meslektaşlarda "Aha!" tepkisi tetikleyip tetiklemediğine bakmaktır. Bununla birlikte şurası da açık ki, daha temel bir bilim olan fizikteki anlamanın doğası, içsel olarak hayli karmaşık sistemlerin incelenmesine odaklanan biyolojideki işleyiş sürecinden oldukça farklıdır. Fizikte genellemeler titizlikle nicelleştirilip matematiğin diliyle açıklandığından, istisnalar tolere edilmez ve kuralın yeniden formüle edilmesini gerektirir. Biyolojideyse genellemeler çoğu kez niteldir ve kuralın istisnaları tolere edilmenin ötesinde normal olarak kabul edilir. Neticede vurgulanması gereken şu ki, çalışma alanı hangisi olursa olsun, aynı gözlemler kümesi bazen farklı biçimlerde yorumlanabilir ve dolayısıyla farklı örüntülerin tanınmasına yol açabilir.

Bu durum özellikle, gözlemlenen örüntüler mutlak olmayıp,sosyal bilimlerde alışılageldiği gibi istatistiksel olduğunda ya da örüntüler nicelden çok nitel özellik taşıdığında söz konusudur. İşte bu nedenledir ki, bir tarihsel olaylar dizisi birden fazla örüntü halinde düzenlenebileceğinden, tarihçiler sık sık bu olaylar kümesini anlamak için farklı modellere başvururlar. Birinci Dünya Savaşı'nın nedenleri üzerine yazılanların bolluğu, gizlisi saklısı olmayan bir tarihsel olaylar dizisinin nasıl farklı biçimlerde anlaşılıp yorumlanabildiğine örnek oluşturuyor. Örüntülerin ille birbirlerini dışlamaları da gerekmez. Açıklamaları epey farklı olsa da, 2 yaşında bir çocukla bir kuramsal fizikçinin elmanın düşüş nedenleri konusundaki anlayışları aynıdır. Her ikisi de elmanın düşüşünde daha genel bir örüntü olduğunun farkındadır, ama fizikçinin gördüğü hem daha geniş hem de ölçülebilir bir örüntüdür. Fakat çocuğun basit "düşen cisim" kuralı, ona gündelik yaşamında yardımcı olmaya yeter de artar. Yani küçük çocuğun uzaya bir uydu gönderme ya da uzay yolculuğuna çıkma gibi acil planları yoksa, maddenin davranışı hakkında o basit "cisimler düşer" kuralının ötesinde, Newton'un kütleçekim yasası ve Einstein'ın görelilik kuramlarının getirdiği daha detaylı açıklamaların fazla önemi yoktur. Aslında düşününce, bir dağ tırmanışına başlamak üzere olan fizikçinin de, macerasında kendisine yardımcı olması için sicim kuralı ya da özel ve genel görelilik kuramları yerine "cisimler düşer" kuralına başvurması daha olasıdır.

Özetle, bir sistem birden fazla şekilde örüntülendirilebiliyorsa, hangi örüntünün daha iyi olduğu sorusunun yanıtı, nasıl uygulandığına bağlı olabilir. Woody Allen'ın 2009 yapımı filminin adı olan *Whatever Works / Hangisi İşe Yararsa*, meselenin özünü iyi yansıtıyor. Son tahlilde adlarına ne denirse densin –kuramlar, yasalar, modeller, hipotezler, örüntüler– evrenimizde bir düzen bulmak için sarf edilen çabaların hiçbiri doğanın gerçekliğini tam olarak yakalayamaz. Ortaya çıkardığımız örüntüler, yalnızca bu gerçekliğin *yansımalarıdır* – kimi daha iyi, kimi daha kötü. Bunların tanınması kendimizi içinde bulduğumuz karmaşık dünyada bize bir düzen hissi verir. Önceki incelememiz şimdi biyolojik anlayışa yönelik arayışın merkezi bir meselesini ele almamıza yardımcı olacak: indirgemeciliğe karşılık bütüncülük.

İndirgemecilik mi, Bütüncülük mü?

Tümevarım yönteminin, yani genellemeler aramanın, örüntüleri tanımanın tüm bilimsel anlayışın merkezinde yer aldığına daha önce işaret etmiştik. Ama tümevarımcı düşünme tarzının *indirgeme* diye adlandırılan bir türünün özellikle faydalı olduğu görüldü. Aslında indirgeme kavramı da daha ayrıntılı incelenip son yıllarda bilim felsefecilerinin araştırmaya başladığı alt dallara ayrılabilir; ama bu daha ayrıntılı görüşler burada bizi ilgilendirmiyor. İndirgeme yaklaşımının esası basittir: "Bütün, onu oluşturan parçaların etkileşiminden anlaşılabilir." Örneğin bir saatin nasıl çalıştığını anlamak istiyorsanız, onu parçalarına (dişliler, yaylar vb.) ayırın ve bunların nasıl birlikte çalışarak işlevsel bütünlüğü sağladığını gözleyin. Şu ya da bu biçimiyle indirgemeci düşünce, bilimsel devrimin ilk günlerinden başlayarak bilimsel anlayışın gelişmesinde kilit rol oynamıştır.

İndirgemeci bakış açısının karşısındaysa, "Bütün, parçaların toplamından daha fazlasıdır" sözleriyle özetlenebilecek olan ve indirgemeci görüşü yadsır görünen, daha yeni tarihli *bütüncülük* düşünce akımı vardır. Bütüncülük, özellikle karmaşık sistemlerde, sistemin tek tek parçalarının incelenmesinden anlaşılamayacak bek-

lenmedik özelliklerin ortaya çıkabileceğini öne sürer (bunlar alt düzeylerde gözlenmeyen, daha yüksek ve karmaşık düzeylerde gözlenen özelliklerdir). Bu yaklaşım, sözde "basit" sistemlerin bile olağanüstü bir karmaşıklığa sahip olması nedeniyle son yıllarda hayli revaç bulmuş ve biyolojide yeni bir dalın, sistem biyolojisinin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Carl Woese'nin biyolojik sistemlere, davranışları parçalarından anlaşılabilecek birer "moleküler makine" yerine "karmaşık dinamik organizasyon" olarak bakışı, bu yeni "sistem" düşünüşünü örnekler.[1]

Bu durumda biyolojik sorunlara yanıt aramak için hangi sistem daha iyidir? İndirgemecilik mi, bütüncülük mü? Yanıt, soruyu kime sorduğunuza bağlı. Jacques Monod,[10] "Bu yalnızca bütüncülerin bilimsel yöntemi ve analizin bilimsel yöntem içindeki rolünü ne kadar yanlış değerlendirdiklerini gösteren son derece saçma ve yanlış bir görüş" sözleriyle bütüncülüğü (ve takipçilerini) hor gören bir yaklaşım sergiliyordu. Biyolojik sistemlerle ilgili olarak indirgemecilik ile bütüncülük arasındaki çatışmayı çevreleyen karmaşa hayli eskilere dayanır ve 1972 Eylülünde İtalya'nın Bellagio kasabasında yapılan –Peter Medawar, Jacques Monod ve Karl Popper dahil önde gelen birçok biyolog ve felsefecinin katıldığı– "Biyolojide İndirgemecilik Sorunu" adlı konferansın kayıtlarında apaçık görülür. Tutanaklara göre toplantının sonunda June Gooodwill şöyle demiştir:

> Bazen entellektüel kısırlığın sınırlarında dolaşan bir *déjà vu* hissine kapılıyorum. "İndirgemecilik"; "indirgemecilik-karşıtlığı"; "indirgemecilik-ötesi"; "bütüncülük"... Çok eskilere kadar giden bu konu biyoloji tarihinde değişik kılıklarla ve şaşmaz bir düzenlilikle tekrar tekrar ortaya çıkıyor; kısırlık hissi de, bunca zamana karşın konunun hâlâ açıklığa kavuşacakmış gibi görünmemesinden kaynaklanıyor.[21]

Konferansın üzerinden yaklaşık kırk yıl geçmiş olmasına rağmen fazlaca değişen bir şey yok. Biyolojide indirgemecilik ve bütüncülük hâlâ o zamanki kadar tartışmalı görünüyor. Denis Noble imzasını taşıyan ve bütüncülük yanında saf tutan bir polemik makalesi de aynı açmazlara değinir; ama Noble modern sistem biyolojisinden örnekler gösterir.[22] Bütüncülük kampına katılan Carl Woese ise durumu daha da yalın bir dille ifade eder:

Günümüzde biyoloji bir yol ayrımında. Alanı yirminci yüzyılın büyük bölümünde başarıyla yönetmiş olan moleküler paradigma, artık güvenilir bir rehber değil. Vizyonu artık gerçekleşmiş olan moleküler paradigma miadını doldurdu. Dolayısıyla biyoloji şimdi bir seçim yapmak durumunda: Rahat olanı seçip moleküler biyolojinin ardı sıra gitmeye devam mı edecek, yoksa daha enerjik bir seçimle canlılar dünyası için yirminci yüzyıl biyolojisinin üstesinden gelemediği, dolayısıyla görmezden geldiği önemli sorulara yanıt veren yeni ve esin verici bir vizyon arayışına mı girecek? İlk yol, hayli verimli olsa da biyolojiyi kaçınılmaz olarak bir mühendislik alanına dönüştürecektir. İkinci yolsa, biyolojiyi daha temel, fizikle kol kola gerçekliğin doğasını arıştırıp tanımlayan bir bilime dönüştürme vaadini taşıyor.[1]

Gerçekten de güçlü ve kışkırtıcı sözler. Gelgelelim, kısa süre önce bütüncülüğe yönelttiği sert eleştirisinde Nobel Ödüllü biyolog Sydney Brenner şöyle yazıyordu: "Bu yeni sistem biyolojisi bilimi sorunu çözebileceği iddiasında; ama ben diyorum ki bu yaklaşım başarısız olacak, çünkü karmaşık bir sistemin davranışından işlev modellerine varmak, çözümü mümkün olmayan tersine bir problemdir."[23]

Tehlikeli bir belirsizliğe sahip olmasına karşın, bu felsefi aslan inine kısaca dalalım. Bu sıkıntı verici felsefi bölünme ve söz konusu bölünmenin canlı sistemleri daha iyi anlama hedefimiz üzerindeki etkilerine dair birkaç söz de ben edeceğim. En azından yaşam bağlamında indirgemeci-bütüncü ayrımının tözelden ziyade anlamsal olduğu ve daha derinine inildiğinde bütüncülüğün, indirgemeciliğin daha incelikli bir biçimi olarak düşünülebileceği görüşündeyim.

Meseleyi fazlaca basitleştirmek pahasına, bilimsel bir metodoloji gözüyle bakıldığında indirgemeci felsefenin en yararlı uygulamasının "hiyerarşik indirgeme" denen türü olduğunu söyleyebiliriz. Buna göre, bir hiyerarşik düzeydeki fenomenler, daha alt düzeyden alınan kavramlar kullanılarak açıklanabilir. Steven Weinberg kısa süre önce bunu özlü bir ifadeyle şöyle dile getirmişti: "Açıklayıcı oklar daima aşağıyı gösterir."[24] Demek ki, örneğin sosyal davranış tek tek organizmaların davranışlarına, organizmaların davranışı hücrelerin davranışlarına, hücrelerin davranışları biyokimyasal döngülere ve biyokimyasal döngüler de moleküler yapı ve tepkime

yatkınlığı gibi daha temel fiziksel ve kimyasal kavramlara bağlanabilir ve bu, atomaltı temel parçacıklara kadar böylece sürer gider. Hiyerarşik indirgeme, anlamayı kademe kademe kurmaya çalışır; her kademedeki fenomenler bir alt kademeyle ilintili kavramsal çerçeveyle açıklanır. On yedinci yüzyıldan bu yana fiziksel bilimlerde tanık olunan göz kamaştırıcı ilerlemenin büyük bölümü, bu metodolojinin başarıyla uygulanmasına bağlanabilir. Biyolojik bilimlerdeyse indirgemeci mahsul özellikle bereketli oldu. DNA kopyalanması, protein sentezi, metabolik döngüler gibi biyolojik süreçler konusundaki anlayışımızda kaydedilen muazzam ilerlemelerin hepsi indirgemeci metodoloji sayesinde gerçekleşti. Moleküler biyolojinin hücre işleyişinin harikalarından çoğunu moleküler düzeyde ortaya koyduğu konusunda hiçbir kuşku yok – indirgemeciliğin mükemmel bir örneği.

Fakat 1. Bölüm'de de sözü edildiği gibi, biyolojik sistemlerin muazzam karmaşıklığı, indirgemeci metodolojinin uygulanmasını güçleştirir ve biyolojik sistemler için son 20-30 yılda yükselen indirgemecilik karşıtı, bütüncü yaklaşımların sorumlusu da işte bu güçlüktür. Bütüncü görüş ikna gücünü, karmaşık sistemler içinde yeni ve öngörülemez özellikler üreten sistemik ilişkilerin ortaya çıktığı fikri üzerine kurulu sistem kuramından alır. Bu durumda, Weinberg'in indirgemeciliği özetleyen "Açıklayıcı oklar daima aşağıyı gösterir" sözlerini ve June Goodfield'in çaresiz yakınmalarını hatırlayacak olursak, bu iki zıt görüşün hangisine itibar edeceğiz? Ve yaşamı anlama çabalarımızla ilgili bu temel anlaşmazlığın olası sonuçları nelerdir?

İndirgemeci yaklaşıma yöneltilen eleştiriler büyük ölçüde indirgemenin aşırı ifadelerinden kaynaklanıyor. Bunun bir örneği Francis Crick'in, "Biyolojide modern akımın nihai amacı, biyolojinin tümünü fizik ve kimyanın terimleriyle açıklamaktır," sözü. Yakın gelecek için gerçekçi görünmeyen bu tür iddialar nihai bir hedef olarak kalmaya devam ediyor, tıpkı kimyanın "nihai hedefinin" tüm kimyasal fenomenleri Schrödinger'in ünlü dalga denklemini çözerek açıklamak olması gibi. Bu anlamda, tabiatındaki sınırlılık göz önünde tutulacak olursa indirgemeciliğe yönelik geniş kapsamlı bir

eleştiri hiç de temelsiz sayılmaz. Buna karşılık, daha ölçülü bir indirgemeci yaklaşımın, karmaşık bir sistemde ortaya çıkan yeni özelliklerle (*emergent properties*) hiçbir şekilde baş edemeyeceği fikri şüphesiz doğru değil; ortaya çıkan yeni özellikleri sürekli olarak indirgemeyle çözümleyip anlıyoruz.

Basit bir örnek gerekirse, daha önce irdelemiş olduğumuz maddenin yoğun durumlarının (katı ve sıvılar için kullanılan terim) fiziksel özelliklerini düşünün. Yoğun durumlarda tek molekül düzeyinde mevcut olmayan çeşitli yeni özellikler ortaya çıkar. Yoğun durum katı ya da sıvı, elektriksel olarak iletken ya da yalıtkan, parlak ya da mat olabilir. Tek bir molekül bu yoğun durum özelliklerinin hiçbirine sahip değildir. Tek bir molekül ne katıdır ne de sıvı; ne parlaktır ne de mat. Bu kolektif özelliklerin moleküler düzeyde bulunmamasına karşın, bu yoğun durum özelliklerini *tek tek* moleküllerin elektronik özelliklerinden yola çıkarak anlarız. Böylece, oda sıcaklığında moleküler hidrojenin gaz, suyun sıvı ve sofra tuzunun katı olduğunu tek tek moleküllerin özelliklerine (moleküler ağırlık, elektrik yükü vb.) ve bu malzemelerde bu özelliklere bağlı olarak moleküller arasında etkiyen kuvvetlere bakarak anlarız. Aynı şekilde, *tek* olarak yalıtılmış bir molekülü belli bir kuramsal analizden geçirerek yoğun durumdaki iletkenliğini öngörebiliriz.

Demem şu ki, fizik ve kimya belli koşullarda ortaya çıkan yeni özelliklerin temellerinin anlaşılmasını sağlayan bu tür indirgemeci analizlerle doludur. Bazı özelliklerin belli koşullarda ortaya çıktığı için indirgeme ile anlaşılamayacağı yolundaki alışılageldik itiraz doğru değildir; ama tabii bu sonradan ortaya çıkan *her* yeni özelliğin indirgeme ile açıklanabileceği anlamına da gelmez. Bir metodoloji olarak indirgemenin her metodolojide olduğu gibi bazı sınırları vardır. Karmaşık sistemler her zaman kolayca parçalarına indirgenemez. Bazen beklenmedik özellikler ortaya çıkabilir ve nitekim çıkıyor da. Böyle durumlarda bütüncü yaklaşımın gerektiği söylenebilir. Fakat bütüncü görüşün daha derinlikli bir değerlendirmesi, indirgeme karşıtı iddiasının biraz yanlış ifade edildiğini ortaya koyuyor. Sorun büyük ölçüde "bütüncü" teriminin iletti̇ği anlamdan kaynaklanıyor. Eğer "bütüncü" terimiyle tüm sistemin bir bütün ol-

duğu ve onu parçalara indirgemekten kaçınıldığı izlenimi yaratılmak isteniyorsa, durum hiç de böyle değil. Sistem yaklaşımı karmaşık bütünü indirgemeci yaklaşımın yaptığı gibi parçalarına ayırır; ama sistem içindeki etkileşimlerin karmaşık doğasını daha gerçekçi biçimde irdeler. Bütüncü görüş daha alt kademedeki hiyerarşilerden üst kademedekilere doğru "aşağıdan yukarıya nedenselliğe" ek olarak, daha üst kademedeki fenomenlerin alt kademelerdeki eylemleri etkilediği "yukarıdan aşağıya nedenselliğin" de dikkate alınması gerektiğini kabul eder.

Bu gibi geribildirimsel etkiler kolayca öngörülemeyen ve basit bir indirgemeci analize uygun olmayan beklenmedik özelliklerin ortaya çıkmasına yol açabilir. Yine de şöyle bir düşününce indirgemeci felsefenin bütüncülüğün de merkezinde olduğu görülüyor. Bir biyolojik sistemin karmaşıklığı bütüncü sistem yaklaşımıyla ele alındığında karmaşık sistem yine daha basit unsurlara indirgenir, ama bu unsurlar arasındaki karmaşık etkileşimlerin doğasına daha büyük ağırlık verilir. Bir başka deyişle bütüncü yaklaşım, bir sistemdeki neden-sonuç ilişkilerinin basit bir alttan-üste nedensel zincirin ima ettiğinden daha karmaşık olabileceğini kabul eden daha incelikli bir indirgeme biçimidir. İngiliz biyolog Athel Cornish-Bowden'ın sözleriyle:

> Bilimde klasik indirgemeci yaklaşım, bütün bir sistemin işleyişini parçalarının özelliklerinden çıkarmak biçiminde anlaşılabilir; ama artık parçaları da bütünden hareketle anlamayı öğrenmek zorundayız.[26]

Bilimde açıklayıcı bir araç olarak indirgemenin etrafından dolaşmak güçtür, çünkü indirgeme bir şey hakkında bilimsel bir anlayışa varmanın temel bir aracıdır. İndirgemeci olmayan hatta indirgeme karşıtı olan bir metodoloji için onyıllardır el yordamıyla sürdürülen umutlu arayışlara karşın, bu çaba yenebilir bir meyve vermiş görünmüyor. Adına karşın bütüncülük, indirgemeci bir detaylandırma olarak düşünülebilir; kuşkusuz değerli olabilecek bir detaylandırma, ama sonuçta bir detaylandırma işte. Çeşitli türleri ve alt türleriyle indirgeme, bilimsel çalışmalar için en önemli kavramsal araç olmuştur, hâlâ öyledir ve muhtemelen öyle de kalacaktır.

"Yaşam nedir?" sorusu şayet tatminkâr bir biçimde yanıtlanabilirse, bence bu ancak temelde indirgemeci bir yaklaşımla; kimya ve biyolojinin altında yatan bağları araştırarak, biyolojik karmaşıklaştırmadan sorumlu süreci ortaya çıkararak başarılabillir. Son tahlilde canlı ile cansız arasındaki fark, iki ayrı dünyadaki materyallerin farklarına ve özellikle bu materyallerin karşılıklı etkileşim ve tepkimelerine indirgenmelidir.

4

Kararlılık ve Kararsızlık

Kimyasal Tepkimeler Neden Olur?

Tüm canlı varlıklar binlerce kimyasal tepkime içerir ve tüm yaşamın en temel birimi olan canlı hücre, bir şekilde eşgüdümlü bir bütün içine entegre edilmiş hayli karmaşık bir tepkimeler dizisidir. Sırf bu olgu bile maddenin canlı halini anlama ve altında yatan özellikleri açıklama sorununu çetin bir iş haline getirir. Bu tepkimelerin karmaşık etkileşimleri ve bunların cereyan ettiği moleküler birimler nasıl aydınlatılabilir? Bazı tepkimeler hayatiyken diğerleri daha mı önemsizdir? Yaşamı oluşturan tepkimeleri daha iyi anlamak istiyorsak, elbette ki önce genel olarak kimyasal tepkimeleri anlamamız gerekir. Kimyasal tepkime nedir ve neden olur? O halde gelin işe kimyasal tepkinlikle (reaktivite) ilgili birkaç genel sözle başlayalım. Aslında konu hayli karmaşıktır; yeterince aydınlatılması için bir ders kitabı gerekir. Ama ben burada esas olarak tepkinliğin sonraki analizimizde gerekecek veçhelerinin son derece basit bir sunumunu yapacağım. Analizimiz yaşamı oluşturan tepkimeler dizisi içinde çok özel bir şey olduğunu ortaya çıkaracak ve sonraki bölümler de o özel şeyin ne olduğunun anlaşılmasına odaklanacak.

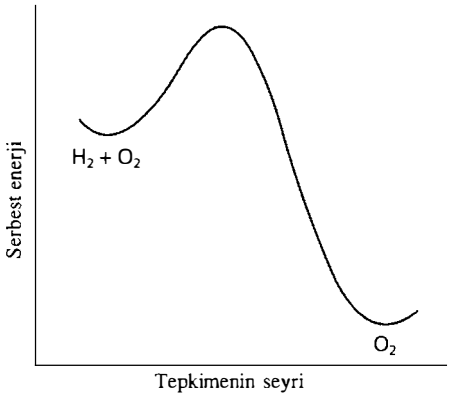
Tüm kimyasal tepkimeler kimyasal bir materyalin başka bir materyale dönüşmesini içerir. Bir asidin bir baz tarafından nötralize edilmesi, bir proteinin kendisini oluşturan amino asit yapıtaşlarına

bozunması, hidrojen ve oksijenden oluşan bir gaz karışımının patlamalı bir tepkimeyle su ortaya çıkarması sıradan kimyasal tepkimelere birer örnektir. Hidrojen ve oksijen gazlarını içeren bu son tepkime çok hızlı gerçekleşir; bir kıvılcım ya da bir katalizörün (metalik platin ya da paladyum) varlığı tepkimeyi başlatmak için yeterlidir. Suyun kendiliğinden hidrojen ve oksijen gazlarına dönüştüğü ters yönde bir tepkime ise gerçekleşmez. Ama neden? Bir kimyasal tepkimenin yönünü belirleyen nedir? Kaba hatlarıyla ifade edecek olursak, yanıtı kimyanın temel yasalarından biri, daha önce kısaca değindiğimiz Termodinamiğin İkinci Yasası veriyor.

İkinci Yasa aslında fiziğin de temel bir yasasıdır ve geniş kullanım alanı birtakım farklı formülasyonları olduğu anlamına gelir. Ancak, konumuz bağlamında kimyasal tepkimelerin *görece kararsız* materyallerin *daha kararlı* olanlara dönüşmesi biçiminde gerçekleştiğini belirtmek yeterli olacaktır. Yokuş aşağı yuvarlanan bir top, kullanışlı bir örnektir. Kimyasal tepkimeler de işte böyle "yokuş aşağı yönde" ilerler. Burada yokuş aşağı terimi daha kararlı olan ürünlere, daha düşük "serbest enerji" ile tanımlanan ürünlere doğru olan yönü ifade eder. Suyun serbest enerjisi hidrojen ve oksijen gazları karışımının serbest enerjisinden düşük olduğu için iki gaz tepkimeye girerek suyu oluşturur ve daha yüksek enerjili hidrojen ve oksijen moleküllerinde depolanmış olan enerji de ısı olarak salınır. Suyun hidrojen ve oksijen gazlarına dönüşmesi kendiliğinden gerçekleşmez çünkü bu topun yokuş yukarı yuvarlanması ile aynı şeydir.

Bir hidrojen ve oksijen karışımının göreli serbest enerjilerinin suyunki ile karşılaştırılması, Şekil 2'de şematik olarak gösterilmiştir. Şeklin sol tarafındaki hidrojen ve oksijen molekülleri ($H_2 + O_2$), resmin sağ tarafındaki ürün olan sudan (H_2O) daha yüksek enerji düzeyindedir.

Şema ayrıca önemli bir noktayı daha ortaya koyar: Hidrojen ve oksijen molekülleri, tepkime ürünü sudan bir engel ile ayrılır. Hidrojen ve oksijen gaz karışımı sudan daha yüksek düzeyde serbest enerjiye sahip olmakla birlikte, reaktantlardan (yani başlangıç maddelerinden) ürünlere uzanan çizgi, düzgün biçimde yokuş aşağı git-



Şekil 2. Hidrojen ve oksijen gazlarının ($H_2 + O_2$) su (H_2O) çıkışlı tepkimesinde serbest enerjideki değişimi gösteren şema.

mez. Alçalmaya başlamadan önce bir miktar yokuş yukarı gider ki, bu da tepkime sürecinin başlaması için önce engelin aşılmasının gerektiği anlamına gelir. Tepkimeyi başlatmak için bir kıvılcım ya da katalizör gerekmesinin nedeni de budur. Kıvılcım, reaktantları engelin üzerinden aşırmak için gereken ilk enerji yüklemesini sağlar, ardından tepkime profilinin yokuş aşağı rotası gerisini halleder. Katalizörse engelin yüksekliğini azaltarak kıvılcıma gerek bırakmaz; böylece tepkime enerji desteği olmaksızın gerçekleşebilir.

Yukarıdaki örnekten iki önemli ders çıkarılabilir: Birincisi, tepkimeler ancak ürünler reaktantlardan daha az serbest enerjiye sahip olduğunda gerçekleşebilir. Bu, herhangi bir kimyasal tepkimenin yönünü belirler ve termodinamik etmen olarak adlandırılır. Demek ki Termodinamiğin İkinci Yasası hangi tepkimelerin gerçekleşebileceğini, hangilerinin gerçekleşemeyeceğini önceden söyler. Tepkime sürecindeki karışım, o malzeme bileşimi için mümkün olan en düşük serbest enerji durumuna geldiğinde sistemin dengede olduğu söylenir ve artık daha fazla tepkime olmaz. Bir çukurun dibindeki toplarda olduğu gibi artık gidilebilecek bir yön kalmamıştır. Ama bu, bir tepkime karışımı dengede değilse, yani en düşük serbest

enerji durumunda bulunmuyorsa tepkimenin mutlaka gerçekleşeceği anlamına gelmez. O tepkime sistemi bir yerel minimum içine hapsolmuşsa, yani önünde bir engel varsa, yerel minimumu daha derindeki ürün minimumundan ayıran engelin üzerinden aşamayabilir. Tıpkı yokuş aşağı yuvarlanan bir topun yarı yolda bir çukura takılıp kalması gibi. Bir katalizör ya da bir kıvılcım olmadığı sürece hidrojen ve oksijen gazlarının tepkimeye girmeksizin karıştırılabilmesinin nedeni işte budur. Bu basit bilgiler şimdi artık kimyanın diliyle ifade edilebilir: Termodinamiğin izin verdiği bir tepkime, kinetik faktörlere (engelin yüksekliğine) bağlı olarak gerçekleşebilir ya da gerçekleşmeyebilir. Buna karşılık, termodinamikçe yasaklanan bir tepkime gerçekleşemez.

Entropi ve İkinci Yasa

Kimyasal tepkimelerin ancak İkinci Yasa'yla uyum içindelerse gerçekleşeceğini gördük. Ama ilerideki incelememize yardımcı olacak başka bir önemli kavrama, entropiye de göz atmakta yarar var. Entropiyi anlamak önemlidir, çünkü entropi kararlılığın temel bir bileşenidir ve İkinci Yasa tümüyle entropi bağlamında açıklanabilir.

Entropiyi zihnimizde bir sistem içindeki düzensizlik olarak canlandırabiliriz. Bir grup yapıtaşını bir yüzey üzerine attığınızda, düzenli biçimde üst üste sıralanmak yerine büyük olasılıkla düzensiz bir yığın oluşturacaklardır. Düzensizlik eğilimi İkinci Yasa'nın özünde vardır; düzenli sistemler düzensizliğe eğilim gösterir ve bu durum istatiksel terimlerle açıklanabilir. Kimyasal sistemler de düzenli masalarla aynı şekilde ve aynı nedenlerle düzensizliğe meyleder. Enerji etmeninden bağımsız olarak iki ayrı tür malzemeyi bir tür halinde birleştiren bir kimyasal tepkime entropi açısından *elverişsizdir*, çünkü sistemin düzenliliğini *yükseltir* (entropisini azaltır). Tek bir molekülü birkaç parçaya bölen bir tepkimeyse entropi açısından *elverişlidir* çünkü düzeni *azaltır* (entropiyi artırır). Dolayısıyla bir sistemin serbest enerjisinin içinde bir entropik katkı bulunur.

Kopyalanma ve Moleküler Kopyalayıcılar

Kimyasal tepkimelerde katalizörler sıkça rol alır. Hatta her tepkimenin uygun bir malzemeyle katalize edilebileceği rahatlıkla söylenebilir. Biyolojik sistemlerde katalizörler çok önemli bir rol oynar ve enzim diye adlandırılırlar. Uygun enzim(ler) olmadan biyolojik tepkimelerin büyük çoğunluğu ya çok yavaş gerçekleşir ya da hiç gerçekleşmez. Genelde bir tepkimenin ürünüyle o tepkimede kullanılan katalizör farklı malzemelerdir. Yukarıda su çıktılı hidrojen-oksijen tepkimesinde ürün su, katalizörse bir metal ya da metalik bir bileşiktir. Ama bir de ürünle katalizörün aynı olduğu, yani ürünün kendini oluşturmada katalizör görevi yaptığı bir tepkime düşünün. Böyle bir tepkime, açık nedenlerden dolayı *otokatalitik* olarak nitelendirilir; katalizör, başka bir materyal yerine *kendi* oluşumunu katalize eder. İlk bakışta kataliz ve otokataliz çok farklı görünmeyebilir. Ancak iki tepkimenin seyir hızının basit bir hesabı, bu ilk izlenimin ne kadar yanlış olduğunu ortaya koyar. Her iki tepkime – yani kataliz ve otokataliz– tek bir katalizör (ya da otokatalizör) molekül ile başlatılacak olursa, basit bir hesap, bu iki ayrı tepkimeyle küçük bir miktar (diyelim 100 gram) malzemeyi oluşturmak için gereken sürelerin birbirlerinden çok farklı olduğunu gösterir. Katalitik tepkime için hesaplanan süre *milyarlarca yıl* mertebesinde çıkacaktır; otokatalitik tepkime için hesaplanan süreyse *saniyenin çok küçük bir kesri!* Birbirine benzer görünen iki süreç arasındaki fark bundan daha büyük olamazdı. (Şunu belirtelim ki bu iki süre arasındaki farkın böylesine muazzam olmasının nedeni her iki örneğe de yalnız bir molekül reaktantla başlamamızdır, ama daha büyük miktarlarda başlangıç malzemeleri kullanıldığında bile sonuç yeterince çarpıcıdır). Bu noktada izninizle bir an için çok öteye atlamak ve yaşamın temelinin katalitik ve otokatalitik tepkimelerin hızları arasındaki farkta yattığını söylemek istiyorum. Ama bu beyanın dayandığı temel aydınlığa kavuşmadan önce bu konunun daha epeyce irdelenmesi gerekiyor.

Peki kataliz ve otokatalizdeki tepkime hızlarının böylesine farklı olmasının açıklaması nedir? Basit bir ifadeyle: üstel katların gücü. Fark, otokatalitik tepkimelerde ürün oluşumu sürecinin *üstel* olarak, katalitik tepkimelerdeyse *doğrusal* olarak ilerlemesinden kaynaklanır. Bundan daha büyük bir fark da olamaz. Bu açıklama kulağa fazla matematiksel geliyorsa, farkı bir de savaşta bir köylü rençber tarafından kurtarılan Çin imparatoruyla ilgili o klasik hikâye aracılığıyla anlatayım. İmparator köylüye kendisini nasıl ödüllendirebileceğini sorduğunda köylü bir satranç tahtası çıkarır ve ödülünün pirinç taneleri olarak verilmesini ister; miktarı da basit bir formüle göre hesaplanacaktır: Birinci kareye bir tanecik, ikinci kareye iki, üçüncüye dört tanecik konacak ve bu böyle 64'üncü son kareye kadar devam edecektir. İstek son derece mütevazı göründüğünden imparator köylünün böyle küçük bir ödülle nasıl mutlu olabileceğine hayret eder. Nihayet ne kadar pirinç gidecektir ki? Yarım çuval? Bir çuval? Gerçekteyse köylünün arzusunu yerine getirmek için gereken miktar akıllara durgunluk verecek büyüklüktedir. Satranç tahtasına konacak pirinç tanelerinin sayısı matematiksel ifadeyle $2^{64} - 1$ şeklinde yazılır, yani yaklaşık $2x10^{19}$ (20 milyar kere milyar) tanecik, ki bu da bırakın imparatorun tahıl depolarını, dünyadaki tüm Çin restoranlarının kilerlerinde, hatta gezegen üzerindeki tüm tarlalarda bile bulunamayacak miktarda pirinç demektir. Eğer o kadar pirinç olabilseydi, dünyanın tüm yüzeyi birkaç santim kalınlığında bir pirinç tabakasıyla kaplanabilirdi.

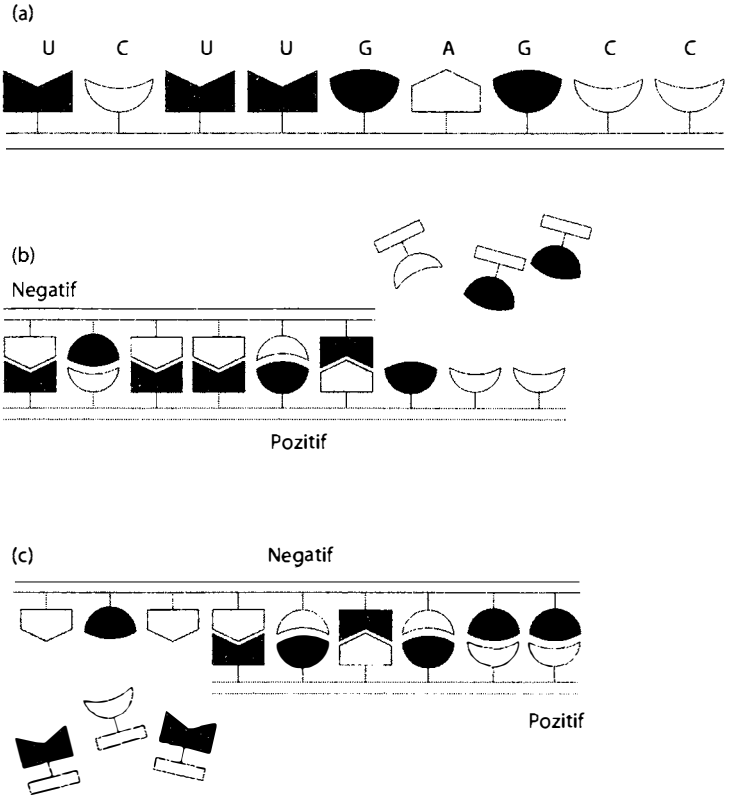
Buna kaşılık katalitik tepkime yolu için geçerli *doğrusal* büyüme, satranç tahtasındaki 64 karenin her birine tek bir tanecik konmasına karşılık gelir. Yani satranç tahtasına konacak pirinç tanelerinin toplam sayısı 64'ten ibarettir! (Katalizi temsilen) 64 pirinç tanesine karşılık (otokatalizi temsil eden) $2x10^{19}$ tanecik. Otokataliz gerçekten olağanüstü bir tepkimedir, etkisi muazzamdır.

Peki otokatalitik tepkimeler gerçekten var mı? Cevap: Evet, varlar ve hatta kimyada sıkça görülüyorlar. Örneğin, asetonun bromla tepkimesi sonucu bromoaseton ve hidrojen bromürün ortaya çıkması otokatalitik bir tepkimedir. Çünkü hem tepkime bir asidin varlığıyla katalize edilir, hem de ürünlerden biri (hidrojen bromür) bir

asittir. Bu durumda, tepkime ilerledikçe otokatalitik tepkimelerin çok hızlanması sürpriz değildir. Ama bu tür otokatalitik tepkimeler şu anda bizi fazla ilgilendirmiyor. Bizim için asıl önemli olan, ilk olarak kırk yıl kadar önce keşfedilmiş başka türden bir otokatalitik tepkime. Kendi kopyalarını yapabilen, kendi kendilerine çoğalan uzun zincirlere benzeyen moleküllerden söz ediyorum. Mucize gibi geliyor, değil mi? Hayır mucize değil; yalnızca kimya. 1967 yılında Illinois Üniversitesi'nde bir mikrobiyolog olan Sol Spiegelman, bir deney tüpü içinde gerçekleştirdiği moleküler kopyalanmayla, moleküler biyolojinin gerçekten büyük klasik deneylerinden birine imza atmış oldu.[27]

Spiegelman bir RNA ipliğini (RNA ribonükleik asidin kısaltılmış adıdır ve yapısı, daha ünlü olan akrabası DNA'nınkinden küçük farklarla ayrılır) bir solüsyon içinde bu ipliği meydana getiren yapıtaşları ve tepkimeyi hızlandırıcı bir enzimle karıştırdı. Ne oldu dersiniz? RNA ipliği kendi kopyalarını oluşturmaya başladı. Şimdi bu kopyalanma tepkimesine biraz daha ayrıntılı bakalım. RNA gibi kendilerini kopyalayabilen moleküller, serbest durumdaki yapıtaşlarının birbirleriyle bağ kurarak orijinal molekülün kopyasını meydana getirmelerini sağladıkları için kendi kendilerini üretirler. RNA molekülünün şematik bir temsili Şekil 3a'da ve kopyalanma süreci de Şekil 3b ve Şekil 3c'de gösteriliyor. Şekil 3a'dan RNA'nın birbirleriyle bağ kurarak yan yana dizilen parçalardan meydana gelen uzun, zincire benzeyen bir molekül olduğunu çıkarabiliriz. RNA örneğinde zinciri oluşturan dört olası nükleotid bulunur: U, A, G ve C. Dolayısıyla bir RNA molekülü bu dört harfin muhtelif dizilişleriyle temsil edilebilir, örneğin şekilde görüldüğü gibi UCUUGAGCC. Böyle olunca da her biri kendi özel nükleotid dizilerinden oluşan muhtemel RNA zincirlerinin sayısı, zincir uzadıkça dramatik biçimde artar. Kısa, diyelim 100 nükleotid uzunluğunda bir RNA zincirinin farklı potansiyel biçimlerinin sayısı akıl almaz bir büyüklüktedir: 4^{100}. Buysa $1{,}6 \times 10^{60}$, yani 1'in ardından 60 tane 0 gelen bir sayı demektir.

Peki olası dizilimleri böylesine muazzam bir sayıya varırken, nasıl olur da bir RNA molekülü dört nükleotid yapıtaşından doğru



Şekil 3. (a) A, U, G ve C nükleotid yapıtaşlarının bir diziliminden oluşan RNA molekülünün şematik temsili. (b) RNA zincirinin kendisinin tamamlayıcı bir kopyasının oluşturulmasını tetiklediği sürecin temsili şeması. (c) Tamamlayıcı RNA kopyasının, orijinal RNA'nın kopyasının oluşumunu tetiklediği (negatiften pozitife) sürecin şematik gösterimi.

dizilimle kendisinin tam bir kopyasını oluşturabilir? Yanıt RNA molekülünün bir şablon gibi davranabilmesinde saklıdır. RNA'yı meydana getiren A, U, G ve C nükleotidleri RNA zincirine şekil 3b'de gösterildiği biçimde kenetlenir. Dikkat edilmesi gereken nokta şu ki, anahtar-kilit tarzında bir kenetlenme, RNA şablonu üzerindeki belli bir noktaya yalnızca o noktaya uygun yapıtaşının yerleşmesini sağlar. Böylece yeni oluşmaya başlayan RNA zincirinde nükleotid dizilimi rasgele değil, orijinal RNA ipliğindeki dizilime uygun olarak gelişir. Bir U nükleotidi RNA zincirindeki A segmentine, bir A nükleotidi U segmentine, bir C nükleotidi G segmentine ve bir G nükleotidi de C segmentine bağlanır.

Tek tek yapıtaşlarının hepsi RNA zincirindeki yerlerine kenetlendiğinde, yakınlıkları sayesinde birbirleriyle bağ kurarak bir *dimerik* RNA cismi (hidrojen bağlarıyla zayıf biçimde bir arada tutulan iki RNA ipliği) oluştururlar. Bu iki ipliği bir arada tutan bağlar görece zayıf olduğundan bu iki iplik birbirinden ayrılabilir ve başta tekken artık iki RNA molekülü ortaya çıkmış olur. Tabii ki bu iki iplik birbirinin aynısı değil, tamamlayıcısıdır. İki ipliği birbirine bağlayan anahtar-kilit mekanizması yüzünden, yeni iplik –tıpkı bir fotoğrafın negatifi gibi– orijinal ipliğin negatifi sayılabilir. Ama bunun anlamı, negatif iplik ikinci bir kopyalama döngüsünde *kendisinin* bir kopyasını yapmaya giriştiğinde oluşan kopyanın (negatifin negatifi) pozitif olacağıdır. O halde, ancak iki şablon kopyalama döngüsünden sonradır ki orijinal RNA ipliği (Şekil 3 c'de gösterildiği gibi) kendi kendini kopyalamış olur. Demek ki moleküler kendi-kendini-kopyalama tepkimesi gerçektir, bu tepkime gerçekten olur ve en önemlisi de otokatalitiktir – zira her kendi-kendini-kopyalama tepkimesi tanımı gereği otokatalitiktir. Ve imparatorla köylünün hikâyesinde olduğu gibi, çoğu kez kopyalanma tepkimeleriyle ilintilendirilen üstel büyüme, çok küçük miktarlardaki malzemenin bile aşırı ölçüde büyümesiyle sonuçlanabilir; tabii kopyalanan molekülü oluşturan yapıtaşlarının yeterli miktarda bulunması koşuluyla.

Son olarak şunu da belirtmeliyiz ki, bu U, A, G ve C yapıtaşları bir şablonun yokluğunda karıştırıldıklarında kolayca birbirlerine bağlanıp bir zincir oluşturamazlar. Bağlansalar bile belli bir dizilim

oluşturamazlar. Ancak karışıma şablon görevi yapacak bir RNA molekülü eklendiğinde nükleotid yapıtaşları RNA zincirinin yanına doğru sırayla dizilir, kenetlenir ve yaratılacak RNA zincirinin kopyasını oluştururlar.

Aslına bakılırsa canlı hücreler içinde az önce betimlenen moleküler kopyalanma oldukça rutin bir işlemdir. Her hücrenin çekirdeğinde DNA molekülü –üzerinde canlı varlığın genleri dizili olan o uzun, zincire benzeyen yapı– yer alır. Hücre bölünmesinin çok önemli bir bileşeni DNA kopyalanmasıdır. Böylece bölünme sonrasında hücrelerden her biri ana hücrenin DNA'sının kopyalarına sahip olur. Bir başka deyişle, (kopyalama hatası olmadığı takdirde) tek bir DNA molekülü, birbirinin aynı iki DNA molekülü haline gelir. Fakat canlı bir hücrede bu kopyalanma süreci, organize bir ortamda sıkı bir düzen çerçevesinde gerçekleştiği için oldukça karmaşık bir süreçtir. Kısa süre öncesine kadar, moleküler kopyalanmanın hücre içindeki tüm unsurların yardımı olmaksızın yalıtılmış biçimde gerçekleştiği bilinmiyordu. Tüm çeşitliliğine ve görkemine karşın kimyada kendini kopyalayan moleküller kategorisi yoktu. Ama son yıllarda bu tablo çarpıcı biçimde değişti. 1986 yılında Almanya'nın önde gelen kimyacısı Günter von Kiedrowski, tepkimeyi kolaylaştıracak bir enzimin kullanılmadığı (yani biyolojik bir yardım içermeyen) ilk moleküler kopyalanma tepkimesini gerçekleştirdi – nihayet katıksız bir kopyalanma kimyası![28] Spiegelman'ın daha önce 1960'larda gerçekleştirdiği kopyalanma deneylerini hatırlayacak olursak, bunlar son derece önemli olmakla birlikte tepkimenin gerçekleşmesi için bir enzim gerektirdiklerinden saf kimyasal tepkimeler değillerdi.

O halde buraya kadarki başlıca kimyasal kuralları bir özetleyelim:

1. Kimyasal tepkimeler ancak termodinamik anlamda yokuş aşağı giderse, yani daha kararsız tepkime unsurlarının daha kararlı ürünlere dönüştürülmesi yönünde ilerlerse gerçekleşebilir.

2. Termodinamik izin verse bile bazı tepkimeler gerçekleşmeyebilir ya da kinetik nedenlerle yavaş gerçekleşebilir. Tepkimenin gerçekleşebilmesi için bir enerji engelinin aşılması gerekir.

3. Şablon benzeri moleküllerin kendilerini kopyalamaları bilinen bir kimyasal tepkimedir ve kinetik açıdan benzersizdir. Otokatalitik bir tepkime olduğundan kopyalanma, kaynaklar (zinciri oluşturan yapıtaşları) tükeninceye kadar şablon benzeri molekülün üstel olarak çoğalmasını sağlar.

Kendi kendini kopyalayan moleküllerin varlığının keşfi hayli önemlidir, çünkü göreceğimiz gibi bu moleküllerin varlığı, yaşamın nasıl ortaya çıktığını, cansız maddenin basit başlangıçlardan yaşam dediğimiz olağanüstü karmaşıklığa giden uzun ve zorlu yolculuğa nasıl başladığını anlamamızı sağlayabilir. Elbette ister RNA olsun isterse benzer başka bir yapı, kendini kopyalayabilen tek bir molekül kendi başına –en basit biçimiyle bile olsa– yaşam teşkil etmez. Ne de olsa nihayetinde bir moleküldür. Aslında birçok bakımdan kendini kopyalama tepkimesi, başka herhangi bir tepkime gibi, kimyasal tepkinliğin kurallarıyla yönetilen bir kimyasal tepkimedir. Ama bu kendini kopyalama tepkimesinde, bize yaşamın muhtemel başlangıç noktası olduğunu düşündürecek bir şeyler vardır. Otokatalitik olduğu ve muazzam sayıda çoğalma sağlayabildiği için kendini kopyalamanın kinetik açıdan benzersiz olduğuna az önce değinmiştim. Şimdi de bu kinetik gücün bizi nasıl beklenmedik kimyasal yönlere, hatta kimyanın tümüyle ayrı bir dalının kurulmasına götürdüğünü göreceğiz. (Bu dal özellikleri bakımından öylesine farklıdır ki, kendi adı vardır: biyoloji!) Ama bunu yapabilmek için doğanın temel bir kavramına, Termodinamiğin İkinci Yasası bağlamında daha önce kısaca değinmiş olduğumuz kararlılık kavramına biraz daha yakından bakmamız gerekiyor.

Kimyasal Kararlılığın Tabiatı

Kararlılık nispeten açık ve kolay anlaşılır bir kavramdır: Herhangi bir şey durumunu korursa, zaman içinde değişmeden kendini sürdürürse kararlıdır. Olayın ilginç yanıysa şudur: Maddi dünyada kararlılık iki temel ve çok farklı şekilde olabilir: *statik* ve *dinamik* – biri son derece açık, ötekisi pek o kadar değil. Statik kararlılık daha açık olanıdır. Örneğin termodinamik açıdan kararlı bir malzeme

olan su, uygun biçimde yalıtılırsa, uzun süreler boyunca değişmeden kalır. Daha önce irdelediğimiz termodinamik kararlılık, kararlılığın bu statik türüne bir örnektir.

Gelgelelim kararlılığın statik kararlılıktan oldukça farklı, *dinamik* bir türü daha bulunur. Büyük bir nehri, diyelim Londra'nın göbeğinden geçen Thames Nehri'ni düşünün. Aslında tarihi, Ren Nehri'nin bir kolu olduğu 30 milyon yıl öncesine kadar götürülebilir; ama şimdi izlediği yolun ve görünümünün birkaç bin yıldır aynı kaldığı düşünülüyor. Dolayısıyla Thames Nehri de bir varlık olarak oldukça kararlıdır denebilir. Ne var ki burada söz konusu olan kararlılık, statik kararlılık içindeki sistemlerdekinden çok farklıdır. Thames Nehri'ni tanımlayan su *aynı su değildir ve sürekli değişmektedir.* Bugün gördüğümüz nehir, bir anlamda daha önce baktığımızda gördüğümüzden tümüyle farklıdır. Kararlılığı *dinamik bir kararlılıktır*. Nehri tanınan bir varlık olarak tanımlayan su sürekli değişmektedir. Bir meydan çeşmesi ya da bir şelale de bu dinamik türden kararlılığı sergiler. Çeşme (ya da şelale) su akışı kesintiye uğramadığı sürece kararlıdır; ama o çeşmeyi (ya da şelaleyi) tanımlayan su sürekli yenilenmektedir.

Peki nehirlerin, şelalelerin, çeşmelerin ve benzerlerinin dinamik türdeki kararlılıklarının kimyasal tepkimelerle, en azından bazılarıyla ne ilgisi vardır? Aslına bakılırsa epey ilgisi vardır. Gelin moleküler kopyalanma gerçeğine geri dönelim. Üstel büyüme sergilediği için moleküler kopyalanma, tıpkı satranç tahtasının karelerinde pirinç tanelerinin ikiye katlanmasında olduğu gibi *sürdürülemez* bir tepkimedir. Eğer tek bir molekül kendini 160 kez kopyalasaydı (tabii yalnızca ilkesel olarak) dünyanın tüm kütlesine eşit miktarda kaynak tüketmesi gerekirdi! Bunun anlamı şu ki, *kararlı* olan herhangi bir çoğalan sistem (ister kopyalanan moleküller, ister tavşanlar, isterse çoğalan başka bir grup olsun), ancak oluşum hızı bozunma hızıyla (aşağı yukarı) dengelenirse kararlı kalabilir. Bir başka deyişle, kopyalanma tepkimesinin uzun süre devam edebilmesi için kopyalanan sistemin oluşum hızına koşut bir hızla bozunması da gerekir. Bu koşullarda kopyalanma süreci –en azından ilkesel olarak– sınırsız biçimde sürebilir.

Fakat hangi türden olursa olsun kopyalanan varlıkların bozunmasına yol açan nedir? Eğer kopyalanan kimyasalsa –örneğin bir molekül– birbirine rakip kimyasal tepkimelerden geçecek ve dolayısıyla fazla uzun ömürlü olmayacaktır. Kendilerini kopyalayan moleküllerin başlıca örnekleri olan RNA oligomerleri (yapıtaşlarından oluşmuş zincir biçimli herhangi bir moleküle oligomer denir) ve peptitler termodinamik açıdan fazla kararlı değildir ve devamlı olarak bozunma süreçleri geçirirler. Kendini kopyalayan varlık biyolojik olduğunda da (örneğin bir bakteri ya da çokhücreli bir organizma) durum pek farklı değildir. Bu durumda bozunma (ki artık ölüm diye tanımlanır) yine yakınlardadır: Besin eksikliği, kimyasal ya da biyolojik saldırı, fiziksel hasar, apoptoz (programlanmış hücre ölümü) ya da başka mekanizmalar, eninde sonunda tüm canlı varlıkların ölümüne yol açacaktır. Böylece tüm canlıların hangi mekanizmayla olursa olsun sonunda ölmeleri/bozunmaları, süregelen kopya oluşumunu dengeleyecek ve kopyalanan sistemin dinamik kararlılığını kolaylaştıracaktır.

Fakat burada önemli nokta şu ki, kendini kopyalayan bir sistemin uzun süre kararlı olduğu görülürse, burada kararlı olan *tek tek* kopyalananlar değil, bunların meydana getirdiği *topluluktur*. Kopyalanan bireyler tek tek, tıpkı bir nehir ya da çeşmedeki su damlacıkları gibi sürekli yenilenir. Bir başka deyişle, kendilerini kopyalayan varlıklardan oluşan kararlı bir topluluk için geçerli olan kararlılık, tıpkı nehir ya da çeşmeninki gibi *dinamik türdendir*. Dolayısıyla kendini kopyalayan moleküllerin meydana getirdiği topluluğu bir *moleküler çeşme* olarak zihninizde canlandırabilirsiniz. Yaşamın günümüz biyologlarının açıklamakta zorlandıkları bir özelliği olan dinamik karakterinin, doğrudan kopyalanma tepkimesinin dinamik karakterinden nasıl kaynaklandığını birazdan göreceğiz.

Kimyasal sistemler bağlamında kararlılığın statik ve dinamik türleri çok farklıdır. "Sıradan" kimya dünyasında bir sistem *eğer tepkimeye girmezse* kararlıdır. Kararlılığın en temel öğesi budur: tepkinliğin olmaması. Buna karşılık kendini kopyalayan sistemlerdeyse, bir sistem *eğer kendini çoğaltmak için tepkimeye girerse* kararlıdır (yani daha direşkendir ve varlığını sürdürür); çoğalan öğeler

içinde de tepkimeye *daha* yatkın (tepkin) olanlar ve kendi kopyalarını ötekilerden daha çok üretenler ötekilere kıyasla daha kararlıdır. Kararlılığın yüksek tepkinlik derecesiyle ilintili olması ise adeta bir paradoks gibi görünüyor. Dolayısıyla, kendini kopyalayan sistemlerle ilgili kararlılık türüne *dinamik kinetik kararlılık* diyoruz. Bu sistemlerin kararlılığı, özetlediğimiz nedenlerle dinamiktir; ama bunu çeşmelerin, nehirlerin vb. kimyasal değil fiziksel olan dinamik kararlılığından ayırmak için tanıma yeni bir terimi, "kinetik" sözcüğünü eklememiz gerekiyor. Kendini kopyalayan sistemlerde, sistemin kendi kopyalarını üretme hızıyla birlikte, bozunma hızı da kararlılığın derecesini belirleyen anahtar bir parametredir. *Hızlı* bir kopyalanma ve *yavaş* bir bozunma hızı geniş bir kopyalayıcılar topluluğunun oluşmasını sağlayacağı için üst düzeyde kararlılığa hizmet eder. Bizim için pek iyi bir haber olmasa da, dinamik kinetik anlamda üst düzeyde bir kararlılık sergileyen sivrisinekler ve hamamböcekleri, geniş bir topluluk olarak varlıklarını sürdürmede son derece etkindirler; öte yandan örneğin pandalar çok daha düşük bir etkinlik sergilerler. Bu durumda ister yavaş kopyalanma isterse hızlı bozunma nedeniyle olsun, kendini kopyalayabilen bir varlık için düşük düzeyde dinamik statik kararlılık bir noktada kopyalayıcının ortadan kalkmasına neden olur.

Burada daha aşina olduğumuz sıradan kararlılıktan oldukça farklı, kendine özgü bir kararlılığın varlığını açıkladım. Bu durumda şöyle sorulabilir: Ortada iki ayrı tür kararlılık varsa, tercih edileni hangisidir; hangi kararlılık özünde daha kararlıdır? Aslında bu soruya kesin bir yanıt vermek mümkün değil – şu malum elmalarla armutlar meselesi. Bu iki tür kararlılık birbiriyle karşılaştırılamaz ve hatta dinamik kinetik kararlılık ancak çok kısıtlı bir anlamda ölçülebilir. Yine de sezgilerimizle, tepkinliğin olmamasına dayanan statik kararlılığın, temelde tercih edilen türden kararlılık olduğunu düşünebiliriz. Böyle bir kararlılık daha kalıcıdır, öyle değil mi? Eh, pek değil! Çevremizdeki dünyaya şöyle bir baktığımızda şaşırtıcı bir sonuca varıyoruz. Örneğin jeologlar (tektonik hareketler gözardı edilecek olursa) statik kararlılıktaki bir yapı olan Everest Dağı'nın 60 milyon yıldır varolduğunu düşünüyorlar. O halde açık ki, statik

kararlılık çok dayanıklı olabiliyor. Buna karşılık kadim bir yaşam formu olan siyanobakteriler (mavi-yeşil algler), hiç değişmeden ya da çok az değişim geçirerek dünyada çok eskiden beri varmış gibi görünüyorlar. Biyologlar değişmeden kaldıkları sürenin 2,5 milyar yıla mı yoksa 3,5 milyar yıla mı yakın olduğu konusunda anlaşamasalar da, siyanobakterilerin milyarlarca yıldır varolduklarına kuşku yok. Eh, kararlılık diye buna denir! Tabii burada dinamik kararlılıktaki bir sistemden söz ediyoruz. Günümüzde yaşayan siyanobakteriler milyarlarca yıl önce de yaşamıyorlardı. Ama süregelen kopyalanma sayesinde bu gezegen üzerindeki varlıklarını sürekli kılmış bulunuyorlar. Kendilerini kopyalayan sistemlerin dinamik karakterine karşın, sergiledikleri kararlılık hafife alınmamalıdır, zira söz konusu kararlılık bu gezegenin 4,6 milyar yıllık yaşamının önemli bir kısmını kapsayan periyotları içerebilir.

Buraya kadar, (statik) termodinamik kararlılıkla dinamik kinetik kararlılığın farklı sistemlerde görüldüğünü ve doğaları itibariyle birbirlerinden epey farklı olduklarını ortaya koyduk. Ne var ki, birbirinden bu kadar farklı iki tür kimyasal kararlılığın olması, bu iki sınıfın her birinin içindeki sistemlerin hem fiziksel hem de kimyasal özellikleri için önemli sonuçlar doğuruyor; zira iki kararlılık tipine ait kimyasal sistemlerdeki dönüşümleri yöneten kurallar da farklı olmak zorunda. Aslına bakılırsa, ortada *iki* kimya varmış gibi görünüyor! Bunlardan biri "sıradan" ya da geleneksel kimya: birkaç yüzyıldır araştırılan, iyi bilinen, olgunlaşmış bir bilim. Ötekiyse, kendini kopyalayan sistemlerin kimyası olan kopyalama kimyası. Son dönemde "sistem kimyası" adı verilen yeni bir kimya dalının parçası olan bu ikincisi hâlâ emekleme çağında.[29] Bu alandaki sistematik çalışmalar daha yirmi beş yıl kadar önce başladı ve birçok kimyacı böyle bir alanın varlığından bile habersiz. Şimdi biraz da bu "öteki kimyanın" doğasına, neden ortaya çıktığına, başlıca özelliklerinin neler olduğuna ve bu yeni dalın kimya ve biyoloji bilimleri arasında kurulan köprülere nasıl temel oluşturduğuna göz atalım.

Kopyalama Sürecinde Gerçekleşen Dönüşümün Kuralları

1989 yılında Richard Dawkins, hem biyolojik hem de daha geniş kapsamdaki fiziko-kimyasal dünya için geçerli temel bir doğa yasasına işaret etti: *en kararlı olanın hayatta kalması*.[30] Steve Grand ise 2001 yılında basılan *Creation* (Yaratılış) adlı kitabında bunu başka biçimde ifade ediyordu: *Kalıcı olan şeyler kalıcıdır. Kalıcı olmayanlar ise değildir*:[31] Bu biraz totoloji gibi duruyor ve bazı bakımlardan öyle de. Ama her ne kadar basmakalıp görünse de, bu ifadenin içinde önemli bir mesaj yer alıyor. Maddenin değişmez olmadığı, kimyasal değişimlere uğrayabileceği (ampirik olarak) açık olunca, maddenin daha az kalıcı olandan daha kalıcı biçimlere, bir başka deyişle *daha az kararlı olandan daha kararlı olana* dönüşme eğiliminde olduğu da kendiliğinden ortaya çıkar. Kalıcı biçimler değişime yatkın değildir; daha az kalıcı olanlarsa değişime yatkındır. O halde denebilir ki madde –tanımı gereği– daha az kalıcı biçimlerden daha kalıcı olanlara ya da kararlılık terimleriyle ifade edilecek olursa, az kararlı biçimlerden daha kararlı biçimlere dönüşme eğilimindedir. Aslında kimyasal kinetik ve termodinamik de tamamen bununla ilgilidir: kimyasal sistemlerin daha kararlı bir biçim arayışında girmeleri olası tepkimeleri açıklayabilmek ya da daha iyisi, öngörebilmek. Peki bu dönüşümleri yöneten en temel yasa nedir? İkinci Yasa. Hidrojen ve oksijen gazları karıştırılınca hemen tepkimeye girip su üretirler; çünkü hidrojen-oksijen gazları karışımı kararsız, suysa kararlıdır. Maddeler kimyasal tepkimeye, termodinamik açıdan daha az kararlı reaktantlardan termodinamik olarak daha kararlı ürün durumuna dönüşmek için girerler.

Ya kopyalamanın kimyasal dünyasında, örneğin kopyalanan moleküllerin dünyasında olup bitenler? Bu dünyadaki dönüşümleri hangi kurallar yönetir? Elbette kopyalanabilen bir molekül bir ya da daha fazla *kopyalanamaz* moleküle dönüştüğü tepkimeler geçirebilir, ama biz burada bu tür tepkimelerle ilgilenmiyoruz. Bunlar kimyasal tepkimeleri yöneten genel kurallara tabidir. Bizim özellikle ilgilendiğimiz, kopyalanan bir molekülün (ya da moleküller dizisi-

nin), başka bir kopyalanan moleküle (ya da moleküller dizisine) dönüştüğü tepkimeler. Kopyalanan moleküllerin *–bir sınıf olarak–* doğasını açıklayan tepkimeleri keşfetmemiz gerekiyor. Göreceğimiz gibi, tam da bu çok özel sınıftan moleküller bize benzersiz imkânlar sunuyor. Ve gelelim temel noktaya: Kopyalananlar dünyasına uygulanabilen kararlılık termodinamik değil dinamik kinetik olduğuna göre, kopyalananlar dünyasındaki dönüşümleri *fiilen* yöneten kural da İkinci Yasa *değil*, dinamik kinetik terimlerle ifade edilen bir kuraldır. Basit ifadesiyle bu kural şöyledir:

> *Kopyalanan kimyasal sistemler (dinamik) kinetik bakımdan daha az kararlı halden (dinamik) kinetik bakımdan daha kararlı hale dönüşme eğiliminde olacaktır.*

Bu seçilim kuralı, sıradan kimya dünyasının seçilim kuralı olan İkinci Yasa'nın bir bakıma benzeridir. Her iki dünyada da kimyasal sistemler daha kararlı sistemlere dönüşme eğilimi taşır; ama bu dünyaların her biri farklı türden bir kararlılıkla yönetildiğinden, bu dünyaların seçilim kuralları da farklıdır: "sıradan" kimya dünyasında termodinamik kararlılık; kopyalananlar dünyasındaysa dinamik kinetik kararlılık. Şimdi göreceğimiz gibi bu farklı seçilim kurallarının önemli içerimleri vardır. Ama bunları irdelemeye başlamadan önce şunu soralım: Burada kopyalananlar dünyası için önerilen o çok farklı seçilim kuralı için herhangi bir kanıt var mı? Evet var. Sol Spiegelman ve kırk yıldan uzun süre önce gerçekleştirdiği, RNA kopyalanmasını inceleyen o önemli deneyine geri dönelim.

Spiegelman'ın bu anıtsal deneyinden bu bölümün başlarında söz ederken hikâyenin tümünü anlatmamıştım. Bir RNA ipliğinin, kendi yapıtaşlarıyla karıştırılıp bir de enzim eklenmesi üzerine kendi kendini kopyaladığı bir tepkimeye girdiği doğrudur. Ama bunun dışında çok önemli bir şey de olur. Kopyalanma arada sırada mükemmel gitmediğinde şablondaki parçaya yanlış nükleotid tutunabilir. Örneğin bir C nükleotidi, şablon zinciri üzerindeki A nükleotidine tutunacağı yerde U'ya tutunur. Böyle olunca da ara sıra *kusurlu* bir kopyalanma *mutant* (değişime uğramış, mutasyonlu) bir RNA ipliğinin oluşumuna yol açar. Bir başka deyişle, zaman içinde çözelti hem

orijinal RNA ipliklerini hem de mutasyona uğramış olanları içermeye başlar. İşte burada Spiegelman kayda değer bir gözlemde bulunmuştu: Zaman geçtikçe çözelti, kendilerini orijinal RNA ipliğinden daha hızlı kopyalayan mutant RNA'larla dolmaya başlamış ve hatta orijinal dizi bir süre sonra çözeltide tamamiyle kaybolmuştu! Yani bir bakıma Darwinci seçilime benzer bir süreç, moleküler düzeyde kendini göstermiş ve RNA iplikleri evrim geçirmişti. Kısa RNA iplikleri uzun olanlardan daha hızlı kopyalandığı için, yaklaşık 4000 nükleotidden oluşan orijinal iplik giderek kısalmaya başlamış ve sonunda 550 nükleotidden ibaret kalmıştı. Kısa ipliğin kendini kopyalamadaki ustalığı öylesine büyüktü ki, ona Spiegelman'ın Canavarı adı takıldı!

Devam etmeden önce şunu belirtmek önemli: Spiegelman'ın gözlemlediği evrimsel süreç özünde biyolojik değil kimyasaldır. Bir RNA ipliği hiçbir şekilde canlı bir varlık değildir; bir moleküldür. Evet, bir biyomoleküldür, yani normalde canlı sistemlerde yer alan türden bir molekül – ama yine de sonuçta moleküldür. Ve yavaş kopyalanan bir molekülün daha hızlı kopyalanan bir moleküle evrilme eğiliminde olmasının altında kimyasal etmenler, daha açık bir ifadeyle kimyasal kinetik yatar. Burada biyoloji yoktur, yalnız kimya vardır. Kendini kopyalayan iki molekül arasındaki rekabetin ayrıntılı bir kinetik analizinin yeri burası değilse de olayın özü kolaylıkla anlatılabilir. Kendilerini kopyalayabilen belli sayıda farklı molekül kendilerini oluşturan ortak yapıtaşları için rekabete girdiğinde, hızlı kopyalananlar yavaş kopyalananları geride bıraktıkları için, zaman içinde yavaş kopyalananlar ortadan kalkacaktır. Neticede hızlı kopyalanan moleküller –kopyalanan varlıklar için yukarıda açıkladığımız genel seçilim kuralına uygun olarak– yavaş kopyalananların yerine geçer.

Son olarak, iki kararlılık türünün –statik ve dinamik kinetik kararlılığın– birbirleriyle nasıl ilintili oldukları sorusu da önemlidir. Kopyalananlar dünyasının daha üst düzeyde dinamik kinetik kararlılığa meylettiği önermesi doğru olmakla birlikte açıklamaya muhtaçtır ve gereken açıklama da matruşka (iç içe geçen oyuncak Rus bebekleri) benzetmesiyle yapılabilir. Kopyalananlar dünyası İkinci

Yasa'nın bir benzeriyle yönetilir, ama hiçbir fiziksel ve kimyasal sistem İkinci Yasa'nın kendisine uymaktan kaçınamaz. Bu, madde dünyasındaki *tüm* dönüşümleri yöneten büyük ve kapsamlı kuraldır. O halde nasıl olur da iki farklı kural bir sistem üzerinde aynı anda etki gösterebilir? Yanıt şu ki, tıpkı Rus bebeklerinin iç içe geçmesi gibi, İkinci Yasa'nın benzeri de kopyalanan sistemleri İkinci Yasa'nın aslının getirdiği sınırlar içinde yönetir. Günlük yaşamdan basit bir örnekle konuyu daha açık anlatabiliriz.

Diyelim arabanız bozuldu ve tamircinize arızanın nedenini sordunuz. Tamirci arızayı açıklamak için Termodinamiğin İkinci Yasası'yla ilgili bir şeyler gevelese, her ne kadar söyledikleri doğru olsa bile bir tatminsizlik duyarsınız. Çünkü söyledikleri doğru olsa da faydasızdır. Tersinemez tüm süreçlerin izlediği yön İkinci Yasa tarafından belirlendiğinden, arabanızın bozulmasına hangi olay neden olmuşsa olsun, temelde İkinci Yasa'nın güdümünde gerçekleşmiştir. Peki yanıt neden yetersizdir? Çünkü termodinamikle ifade edilen maddi olayların daha genel çerçevesi içinde yer alan ve arabanın nasıl işlediğini, motorların nasıl çalıştığını belirleyen kurallar vardır. Motoru çalıştıran bebek, daha büyük olan termodinamik bebeğin içinde bulunur. Arabanızın tamiri için daha küçük olan, özel olarak motorun çalışmasıyla ilgili olan bebek bağlamında ne olduğunu bilmek istersiniz. Yakıt hortumu mu patladı, yoksa triger kayışı mı koptu? İkinci Yasa, yani daha genel açıklama, doğru olmasına karşın pratikte işinize yaramaz. Aynı şey kopyalanan sistemler için de geçerlidir. Kopyalanan kararlı sistemler –bu bölümde daha önce açıklanmış olduğu gibi– kopyalanan sistemleri yöneten kurallara göre işlerler; ama bu özel davranış İkinci Yasa'dan *bağımsız değildir*, İkinci Yasa'nın *tüm* maddi sistemler için koyduğu sınırlamalar *içinde* gerçekleşir. İki kural arasında çelişki yoktur. Rus bebekleri benzetmesinin altında yatan mesaj, kopyalananlar dünyasındaki tepkimeleri, *tüm* maddi sistemlerin tabi olduğu daha genel termodinamik ilkelerden ziyade, o *özgül* dünyayı yöneten kuralların ışığında daha iyi anlayabileceğimizdir. Kopyalanan moleküllerin girdiği tepkimelerin ve biyolojik evrimin genel olarak İkinci Yasa tarafından yönetildiğini söylemek şeklen doğrudur, ama arabanızın bu ne-

denle bozulduğunu söylemeye benzer – yani pek işinize yaramaz!

Kimyasal kararlılık ve tepkinlik üzerine olan bu bölümdeki yaklaşım kimyasal olmakla birlikte, birazdan kimya ile biyoloji arasında köprü kurma çabamıza temel oluşturabileceğini göreceğiz. "Uyum gücü" gibi biyolojik terimlerin "kararlılık" gibi kimyasal terimlerle doğrudan ilişkili olduğunu göreceğiz. Ama kimya ile biyoloji arasındaki bağı derinlemesine anlamaya çalışmadan ve kopyalanan kimyasal ve biyolojik varlıklar arasındaki ilişkiyi keşfetmeden önce, gelin kimyanın ister istemez biyolojiye dönüşmesine –yani dünyada yaşamın ortaya çıkmasına– yol açan sürece bir göz atalım ve bu konunun neden inatla bu kadar tartışmalı olmayı sürdürdüğünü çözmeye çalışalım.

Daha önce de belirtmiş olduğum gibi, yaşamın ne olduğunu anlamak istiyorsak, ortaya çıkma sürecinin ayrıntılarını olmasa bile özünü anlamalıyız.

5

Çetrefil Bir Mesele: Yaşamın Kökeni

İNSANLIĞIN YAŞAMA ve kökenine olan tutkulu merakı günümüzden 3000 yıl kadar geriye götürülebilir. Tevrat'ın ilk bölümü olan Yaradılış'ın ilk satırlarının bu olağanüstü olayın bir anlatımını sunması rastlantı değildir. Oradan başlayan bir anlatı uzun ve dolambaçlı olacağından, biz en iyisi hikâyeye modern bilimsel diyaloğun hızlı bir başlangıç yaptığı yirminci yüzyılın başlarından girelim.

Yaşamın kökeni, insanı esir alıp peşinden sürükleyen güç bir soru. Ünlü Harvard'lı kimyacı George Whitesides yenilerde bunu sıradışı bir samimiyetle şöyle ifade etmişti: "Kimyacıların büyük çoğunluğu yaşamın biyoloji öncesi (prebiyotik) dünyada molekül karışımlarından kendiliğinden ortaya çıktığına inanır, ki ben de buna inanıyorum. Nasıl mı? Hiçbir fikrim yok!" Durumu gayet iyi özetliyor. Bu bölümde, tartışmaların vardığı noktayı ve önemli sorunların nerelerde yattığını görmek için bu sürüncemeli soruyu irdeleyeceğim. Yaklaşımım, kapsamlı olmaktan çok eleştirel nitelikte olacak.[32]

İsterseniz temel ama kanıtlanmamış bir varsayımla, yaşamın Güneş Sistemi'nin yaklaşık 4,6 milyar yıl önce oluşmasından bir süre sonra abiyotik (biyotik olmayan) ilk koşullardan ortaya çıktığı varsayımıyla başlayalım. Bu varsayım, 1920'lerde Rus biyokimyacı Alexander Oparin ile saygın İngiliz genetikçi ve evrim biyoloğu

J. B. S. Haldane'in ortak katkılarıyla biçimlenen modern görüşün temelini oluşturur. Panspermia denen alternatif bir bilimsel görüşse, yaşamın gezegenimiz dışında oluştuğu ve bir şekilde prebiyotik dünyaya taşındığı fikrine dayanır. Tanınmış bir fiziksel kimyacı olan Svante Arrhenius tarafından yirminci yüzyılın başlarına doğru ortaya atılan bu fikir, Francis Crick dahil bazı tanınmış şahsiyetlerce desteklense de, biyoloji alanındaki araştırmacıların çoğunluğu tarafından artık pek ciddiye alınmıyor. Panspermia önerisiyle ilgili temel bir güçlük, "abiyogenesis" yani yaşamın cansız maddeden nasıl ortaya çıktığı sorusuna gerçek bir çözüm getirmeyip, problemi bilinmeyen başka bir kozmik adrese taşımakla yetinmesi. Fakat adres neresi olursa olsun, soruda değişen bir şey yok: Yaşam, yaşam olmayandan nasıl ortaya çıktı?

Tarihsel ve Tarihdışı Yaklaşımlar

Yaşamın kökeni sorusunu daha ayrıntılı ele almadan önce, sorunun birbirinden oldukça farklı –*tarihsel* ve *tarihdışı*– iki veçhesinin bulunduğunu ve ancak bu iki veçhenin içgörüleri *birleştirildiğinde* tam ve doyurucu bir çözümüne ulaşılabileceğini belirtmek gerekiyor. Tarihsel veçhe, *nasıl* sorusunu, yaşamın *nasıl* ortaya çıktığını açıklamaya çalışacak. Bu da prebiyotik dünyada cereyan eden kimyasal olayların gizeminin çözülmesini, cansız malzemelerden en basit yaşam biçimine giden özel kimyasal rotanın adım adım izlenmesini içeriyor. Buradaki kilit sorular şunlar: İlkel yaşamın inşa edildiği moleküler yapıtaşları nelerdi? Bu yapıtaşlarının oluşmasını sağlayan tepkime koşulları ve bir kez oluştuktan sonra bu yapıtaşlarından ilkel yaşama giden uzun evrim yolu üzerindeki önemli ara adımlar nelerdi? Birazdan göreceğimiz gibi, bu konular üzerinde genel bir anlaşma olmamasının yanı sıra, prebiyotik dünyadaki özel koşullara ilişkin somut bilgiler de oldukça yetersiz.

Tarihdışı veçheyse, daha genel olan *neden* sorusunu ele alacak: Herhangi bir tür cansız madde, yapısal kimliği ne olursa olsun neden biyoloji yönünde, sonunda basit bir yaşam formuna varacak olan bir karmaşıklaşma rotası izler? Soruyu, bir itici gücü ortaya çı-

karmak, Newton'un "Elmalar neden düşüyor?" diye sorduğunda aradığına benzer bir içgörüye varabilmek adına soruyorum. Süreç – en azından ilkesel olarak– farklı bir dizi materyal için tetiklenebilir mi? Böylesine olağanüstü bir kimyasal dönüşümü ne gibi fizikokimyasal ilkeler açıklayabilir? Ve bu son soru bağlamında bir adım öteye giderek, cansız maddeyi biyoloji yönünde karmaşıklaştırmaya yönelten "fiziksel" bir itici gücün varlığı sonucunu çıkarabilir miyiz? Bu ifadesiyle soru, ek bir varsayıma, yaşamın tümüyle rastlantısal bir olay olmayıp varlığı bilinen fizikokimyasal kuvvetlerce tetiklenmiş olduğu varsayımına dayanıyor. Bu varsayımı ileride daha ayrıntılı tartışacağız. Demek oluyor ki, tarihdışı perspektif ilgili cansız malzemelerin kesin moleküler kimliklerine odaklanmayıp, yaşama dönüşme eğilimi taşıyabilecek malzeme ya da malzemeler *kategorisi* gibi genellikleri ve bu malzemeleri basit bir yaşam formuna dönüşecek şekilde karmaşıklaşmaya itmiş olabilecek fizikokimyasal ilkeleri araştıracak. Göreceğimiz gibi burada da resim netlikten uzak ve hayli tartışmalı.

Yaşamın kökenine dair bilgimizin yetersizliği yüzünden, mümkün olduğunca eksiksiz bir resim elde edebilmek için ideal olarak hem tarihsel hem de tarihdışı veçhelerden edinebildiğimiz bilgileri optimize etmeye çalışacağız. Ama bunu yapmadan önce, iki veçhenin birbirleriyle nasıl ilintilendiğini açıklığa kavuşturmak yararlı olacaktır. Öyle görünüyor ki, bir bilgi türünden gelen bilgi, öteki tür hakkında bilgi edinmek için bir araç olabiliyor. Bu karşılıklı ilişkinin nasıl işlediğini göstermek için bir fiziksel benzetmeye başvuralım: başlangıçtaki yerinden (suyun yol açtığı erozyon ya da sismik etkinlik nedeniyle diyelim) koparak bir dağ yamacından yuvarlandıktan sonra yamacın dibinde duran bir kaya. Bu örnekte bu fiziksel olayın tarihsel ve tarihdışı veçheleri aşikârdır. Tarihsel "nasıl" sorusu şudur: Kaya inişini hangi başlangıç noktasından başlattı ve hangi rotayı izledi? İlke olarak her biri çok sayıda potansiyel rotayla bağdaşabilecek çok sayıda olası başlangıç noktası bulunabilir. İkinci soru, yani tarihdışı "neden" sorusu da her şeyden önce, bir kere yerinden oynadıktan sonra kayanın neden bayır aşağı yuvarlanmaya başladığını araştırır. Elbette yuvarlanan kaya örneğinde ikinci soru-

nun yanıtı açıktır: Dünya üzerindeki tüm cisimleri etkileyen bir kütleçekim kuvveti, nesnelerin taşıdığı potansiyel enerjiyi azaltmaya çalışır; kayanın yamaçtan aşağı yuvarlanmasının fiziksel nedeni budur. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta, "neden" sorusunun yanıtının, kayanın özel yeri, bölgenin doğal yapısı vb. etmenlerden bağımsız olarak bir genel yasanın terimleriyle formüle edilmiş olmasıdır.

Sıradan gibi görünen bu yuvarlanan kaya benzetmesinde önemli bir mesaj gizlidir. Tarihsel bilgi ve tarihdışı anlayış birbirini etkiler. Örneğin, tarihdışı veçheyi yani kayanın hareketinden sorumlu fiziksel kuvvetin doğasını anlamak, kayanın izleyeceği rotaya ilişkin tarihsel sorunun yanıtını büyük ölçüde kolaylaştırır. Sözgelimi kütleçekim hakkındaki bilgimiz sayesinde kayanın durup dururken havalanıp yeni yerine havada süzülerek gelmesi olasılığını rahatlıkla saf dışı edebiliriz. Yalnızca bir kütleçekim kuvvetinin etkimesiyle tutarlı olan rotalar gözden geçirilmeyi hak eder. Ama tarihsel veçheyle tarihdışı veçhe arasındaki karşılıklı etkileşim tersine de çalışır. Bir an için kütleçekim yasasını *bilmediğimizi* varsayalım. Kayanın izlediği rota hakkında edinilen bilgi, genel olarak kayanın hareketini yöneten ilkeler hakkında bilgi sağlayacaktır. Kayanın rotasını ortaya çıkarmak, kayaların potansiyel enerjilerini azaltmak ister gibi göründüklerini, yani hep daha yüksek bir konumdan daha alçak bir konuma yuvarlandıklarını, hiçbir zaman bunun tersini yapmadıklarını –yani yokuş yukarı gitmediklerini– ve her zaman en dik olan rotayı tercih ettiklerini gösterecektir. Demek ki bir kayanın izlediği rotanın –tarihsel bir olay– bilinmesi, tarihdışı veçhenin, yani kayanın hareketini yöneten kuralların ortaya çıkarılması yolunda önemli bir adımdır.

Aynı şekilde, eğer yaşamın kökenine dair tarihsel soruyu detaylarıyla ele almak, yani başlangıç malzemelerini ve bunlardan ilk yaşam formlarına götüren tepkime adımlarını belirlemek istiyorsak, görece basit moleküler sistemlerin karmaşık yaşam sistemlerine dönüşümünü yöneten genel kuralları bilmek hayli yararlı olacaktır. Bu, ne gibi tarihsel kanıtlar aramamız gerektiğini de gösterecektir. Ve tersine, cansız maddenin canlı maddeye dönüşmesini sağlayan

tepkimeleri bilmek, böylesine önemli bir dönüşümü yönetmiş olması gereken genel ilkelerin ortaya çıkarılmasına büyük ölçüde yardımcı olacaktır.

Gelgelelim, güçlükle karşılaştığımız yer de işte tam burası. Yaşamın kökeni sorunuyla ilgili her iki türden bilgi de ciddi ölçüde yetersiz. Açıklayayım: Daha tarihdışı ilkeleri bile doğru dürüst anlayamadığımızdan, hangi tarihsel süreçleri ortaya çıkarmaya çalışmamız gerektiğini bilmiyoruz; ve elimizde yaşamın belli bir yerde ve belli koşullar altında ortaya çıktığına dair tarihsel kanıtlar olmadığından, bu süreçlerle ilgili tarihdışı ilkelerin açıklanmasında ve formülasyonunda bize yol gösterecek tarihsel verilere de sahip değiliz. İşte size dört dörtlük bir çıkmaz!

O halde ne yapacağız? Öncelikle, yaşamın kökeni sorunuyla ilgili tartışmalı sayılabilecek bir beyanda bulunacağım: *Tarihdışı soru bilimsel olarak daha önemli ve aynı zamanda içinden daha kolay çıkılabilen, çözülmesi görece daha kolay olan sorudur.* İleride açıklayacağım gibi, bu varsayım, tartışmamızın tabiatı üzerinde hayli etkili olacak. Biyolojik karmaşıklaşmayı yöneten ilkeler hakkında bilgi sahibi olmadan yaşamın ortaya çıkmasıyla ilgili muhtemel tarihsel mekanizmaları aydınlatmaya yönelik çabaların problemin çözümünde nasıl başarısız olduklarını ve hatta günümüzde gözlediğimiz karmaşaya katkı yapmış olabileceklerini anlatacağım. Bu hipotezler çoğu kez sınanamaz türdendir ve formülasyonları çok özgül olduğundan daha genel nitelikteki tarihdışı soruya yanıt oluşturamazlar.

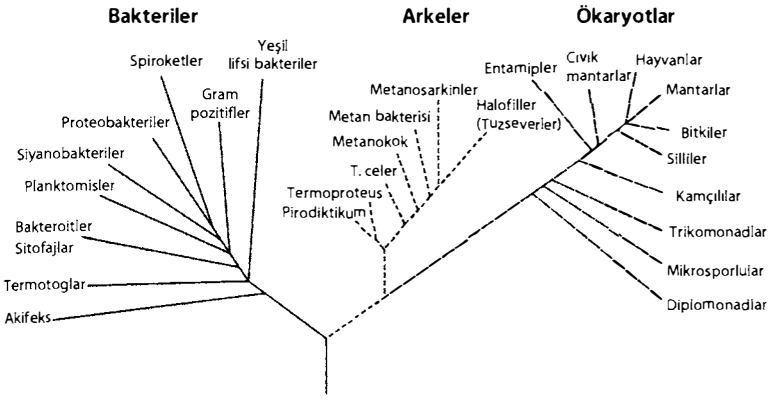
Dünyada Yaşamın Tarihi

Gezegenimizde yaşamın ilk biçimleriyle ilgili olarak elimizde ne gibi tarihsel bilgiler var? Radyometrik tarihlendirme bulguları temelinde dünyanın aşağı yukarı 4,6 milyar yıl önce oluştuğu kabul edilir, gezegenin ilk 600-800 milyon yıllık varlığı süresince de yaşamın ortaya çıkmasına izin vermeyecek koşullara sahip olduğu düşünülür. Bu ilk dönemde dış uzaydan gelen yoğun göktaşı bombardımanı, okyanusları buharlaştıracak ve dünyanın yüzeyini yaşam-

dan arındıracak nitelikteydi. Dünyada yaşamın varlığına dair ilk tarihsel kanıtı, paleobiyolojik kayıtlar denen, eski mikroorganizmaların mikrofosil kalıntıları sağlıyor ve en yeni bulgular ilkel yaşamı yaklaşık 3,4 milyar geriye götürüyor.[33] Yine de tüm bu fosil bulgular görece gelişkin hücresel yaşama işaret ediyor ve dolayısıyla daha önceki cansızdan canlı yaşama geçiş sürecine ışık tutmuyor. İlkel yaşamın 3,8 milyar yıl önce de varolduğuna dair dolaylı kanıtlar bulunduğu ileri sürülmüşse de, bu iddia hâlâ tartışmalı.[34] Bir başka deyişle, canlıların biçimleriyle ilgili morfolojik bilgiler sunan paleobiyolojik kayıtlar, hücresel yaşamın yaygın olarak kök salmış olduğu 3,4 milyar yıl öncesinden daha geriye gidemiyor ve bu durumda biz de paleobiyolojik kayıtların yaşamın kökeni sorusuna doğrudan bir açıklama getiremediği sonucuna varmak zorunda kalıyoruz.

Dünyada yaşamın tarihini araştırmak için kullanılan ikinci güçlü tekniğe "filogenetik analiz" ya da daha basit adıyla gen dizilimi analizi deniyor. Nobel Ödüllü biyofizikçi Max Delbrück'ün 1949 yılında Connecticut Sanat ve Bilim Akademisi'nde verdiği bir söylevde belirttiği gibi, "Herhangi bir canlı hücre bir milyar yıllık deney tecrübesini içinde taşır." Bu görüşe uygun olarak dizilim analizi, evrimsel tarihlerini ortaya çıkararak tüm canlı varlıkların birbirleriyle nasıl ilintilendiğini gösteren bir *yaşam ağacı* oluşturma imkânı sunuyor. Ağacın dibine En Son Ortak Ata'yı (ESOA), yani dünyadaki *tüm* yaşamın evrildiği canlı varlığı yerleştiriyoruz ve ağaç bu temelden başlayarak sürekli dallanıp budaklanıyor, her yeni dal yeni bir türü temsil ediyor. Ağacın en tepesi bugün dünyada bulunan tüm canlı türlerini, birden son bulmuş daha alt dallarsa soyu tükenmiş türleri temsil ediyor. Yani bir dalın ucundan başlayıp geriye doğru gittiğinizde o türün tüm evrimsel geçmişini görebiliyorsunuz.

Dizilim analizi yaşam ağacının yapısını nasıl ortaya çıkarır? Tüm canlıların doğalarını ve biçimlerini yönetenler, daha önceki bölümlerde de belirtilmiş oduğu gibi iki biyomolekül ailesidir: nükleik asitler ve proteinler. Bu bileşik gruplarının ikisi de, nükleik asitler için nükleotidlerden, proteinler içinse amino asitlerden oluşan monomerik birimlerden meydana gelen uzun, zincir benzeri moleküller içerir. Nükleik asit ve protein moleküllerinin oluşturulabile-



Şekil 4. Yaşamın üç âlemini –Bakteriler, Arkeler ve Ökaryotlar– gösteren, ribozomal RNA dizilim analizine dayalı yaşam ağacı.

ceği çeşitli monomerik birimler bulunduğundan (nükleik asitler için 4 nükleotid olasılığı, proteinler için de 20 amino asit olasılığı), her iki sınıftan biyomolekül için de monomerik birimlerin hayli farklı *dizilimleri* mümkündür. Burada asıl önemli nokta şu ki, evrimsel açıdan iki tür birbirine ne kadar yakınsa, ikisinde de bulunan herhangi bir biyomolekülün dizilimindeki benzerlik de o kadar büyük olur. Bu karşılaştırmalı çalışmayı çok sayıda tür için uyguladığınızda, farklı yaşam formları arasındaki soykütüksel ilişki belirlenip bir ağaç şeklinde ifade edilebilir.

1970'lerde uygulamaya giren dizilim analizi olağanüstü bir sonuçla kendini gösterdi. Bu çalışmalardan önce tekhücreli iki farklı yaşam biçimi olan arkeler ve bakteriler benzer morfolojileri (biçimleri) ve prokaryotik özellikleri (çekirdek ve öteki organellerden yoksun olmaları) nedeniyle yakın akraba sayılıyorlardı. Arkelere geleneksel ve daha yaygın olan bakteriyel yaşam formlarının yaşayamayacağı sıcak su kaynakları ve tuz gölleri gibi görece zorlu ortamlarda sıkça rastlanır. Ama 1970'lerin sonlarında, büyük ölçüde Carl Woese'nin öncü dizilim analizi çalışmaları sayesinde, arkelerin bakteriyel hücrelerden çok (sizi ve beni oluşturan) ökaryotik hücrelere daha yakın oldukları keşfedildi! Sonuç olarak, birbirine yakın

akraba gibi görünen iki prokaryotik yaşam formu farklı âlemlere yerleştirildi. *İki* büyük âlemden, Prokaryotlar ve Ökaryotlardan oluştuğu sanılan yaşam ağacı, (Şekil 4'te gösterildiği gibi) Arkeler, Bakteriler ve Ökaryotlardan oluşan *üç* âlemli bir ağaca dönüştü. Dizilim analizi, soykütüksel ilişkinin açıklanmasında çok güçlü bir araç olarak kendisini kanıtlamıştı. Yaşam ağacının oluşturulmasında önemli bir adım atılmıştı. Ne var ki, iyi haberler buraya kadar. Bu güçlü aracın yaşamın kökeni sorununa uygulanması düş kırıklığıyla sonuçlandı. Dizilim analizi bu sorun üzerine kayda değer bir ışık tutmayı başaramadı. Gelin neden böyle olduğuna bakalım.

Son yıllarda dizilim analizinin gerçek önemi, yaygın yaşam formları için bile giderek sorgulanır hale geldi. Sorun ilk olarak, yalnızca RNA ve protein temelli dizilim yerine tüm genomun (canlılardaki toplam gen havuzu) dizilimini çıkarmanın mümkün hale geldiği 1990'larda kendini gösterdi. Sıkıntı yaratan bulgu, farklı moleküler sondalar (tarama araçları) kullanılarak oluşturulan ağaç topolojilerinin çoğu kez önemli farklılıklar göstermesiydi. Örneğin bir ağaç, A türünü C türüyle değil de B türüyle yakın akraba olarak gösterirken, öteki yöntem A'nın B'ye değil de C'ye daha yakın olduğunu gösterebilir. Elbette birbiriyle çelişen topolojilerin hepsi birden doğru olamaz. Bu anormalliğin başlıca nedeninin, Yatay Gen Transferi (YGT) diye adlandırılan, bir organizmanın kendi soyu dışındaki bir başka organizmaya genetik malzeme aktardığı süreç olduğu kısa sürede anlaşıldı.[35] YGT, kalıtımın normal işleyiş biçimi olan ve gen aktarımının bir canlıdan, kendi soyundan bir sonraki kuşağa yapıldığı bilindik düşey gen transferiyle çelişir. Sonuçta da söz konusu ağacın topolojisi soykütüksel değerinden kaybeder; ağacın silueti bulanıklaşmaya başlar.

Mevcut yaşam formları için sorunun büyüklüğü halen tartışma konusu olmakla birlikte, yaşamın kökeni meselesi için haberler daha kötü. Sorun, ağacın dallarını geriye doğru izledikçe, YGT'nin etkisinin giderek büyümesi. Öyle ki hayatını filogenetik analize adamış olan Carl Woese, ilk hücresel örgütlenmelerin zayıf bağlantılı ve modüler, evrimin de bireysel değil komünal ölçekte seyretmiş olması gerektiği, dolayısıyla da bu tür varlıkların kararlı soykütüksel

kayıtlarının bulunamayacağı görüşünde.[36] Bu da evrensel yaşam ağacının kökünün –yani ESOA'nın– dizilim verilerinin üzerine bir ağaç şablonu oturtmaya çalışmaktan kaynaklanan yapay bir unsur olabileceğini düşündürüyor. Eğer doğruysa, bu saptamanın önemli sonuçları olacaktır. Belli bir ESOA'nın özellikleri, hatta varlığı bile kuşkulu hale gelecektir. Buysa, filogenetik verilerin ESOA öncesi varlıklara taşınmasını daha da sorunlu kılar. Neticede neredeyse kırk yılı bulan filogenetik analizlerin ardından, metodolojinin yeniden sıkı bir değerlendirmeye tabi tutulması gerektiği ortaya çıktı. Yaşam ağacının yerine –en azından arkeler ve bakteriler için– bir yaşam ağı geldi. Bir ağaç topolojisi elbette bir gövde ve köklerle sonlanır; ama ne yazık ki bir ağ topolojisi hiçbir yere çıkmaz. Dolayısıyla ağ topolojisi tarihsel bilgi için iyi bir kaynak değildir. Sözün kısası: yerleşik yaşam formlarının ve özellikle de ESOA'nın filogenetik analizleri giderek daha fazla sorgulanır ve revize edilirken, bunlardan *daha eski* (ESOA öncesi) yaşam formları hakkında işe yarar filogenetik bilgi edinmek, en azından şimdilik biraz nafile bir çaba gibi görünüyor.

Dünyadaki ilk yaşam formları hakkında tarihsel bilgi elde etmek için başvurulan paleobiyolojik ve filogenetik araçları irdeledik ve görmüş olduk ki, bunlar cansız maddenin basit yaşama dönüştüğü sürece ışık tutamıyorlar. Ama bu tarihsel sorunun yanıtlanması için yararlı bilgi sağlayabilecek bir başka yaklaşım var: o zamanki biyoloji öncesi koşullarda dünyada gerçekleşmiş olabilecek türden prebiyotik kimya tepkimelerini irdelemek. Prebiyotik kimyanın incelenmesi yaşamın başlangıcına ışık tutabilir mi? Ne yazık ki bu sorunun yanıtı da pek umut verici değil. Bu fikrin araştırılmasına epey çaba harcandıysa da, bu çabalar fazlaca meyve vermedi. Şimdi bu çabalara yapılan önemli katkılara bir göz atalım ve başarının neden sınırlı kaldığını anlamaya çalışalım.

Prebiyotik Kimya

Dünyada yaşamın ortaya çıkması için elbette, yaşayan tüm sistemleri oluşturan uygun yapıtaşlarının o dönemde mevcut olması gerekir. Dolayısıyla biyoloji öncesi dünyada oluşmuş olabilecek malzemelerin incelenmesiyle yaşamın kökenine dair bazı ipuçlarına ulaşılabileceğini varsaymak mantıklı görünüyor. Alexander Oparin'in 1924'te kaleme aldığı "Yaşamın Kökeni" adlı bir makale bazı organik maddelerin prebiyotik oluşumuyla ilgili birtakım fikirler ortaya attıysa da, yaşamın kökeni sorusu esasen Amerikalı kimyacı Stanley Miller'ın dönüm noktası niteliğindeki deneyleriyle önem kazandı.[37] O sıralar Chicago Üniversitesi'nde Nobel Ödüllü kimyacı Harold Urey'in laboratuvarında lisansüstü öğrencisi olan Miller, bu deneylerde o zamanlar prebiyotik ya da biyoloji öncesi atmosferin ana bileşenleri olduğu düşünülen hidrojen, amonyak, metan ve su buharından oluşan bir gaz karışımına şimşeğin etkisini temsil eden bir elektrik deşarjı uyguladı.

Sonuç çarpıcıydı. İçlerinde çeşitli amino asitlerin de bulunduğu bir dizi organik maddenin oluştuğu görüldü. Amino asitler proteinlerin yapıtaşları, proteinler de tüm canlı sistemlerin çok önemli bileşenleri olduğundan, yeni bir araştırma alanı, hızla bilimin ilgi odağına tırmanan biyoloji öncesi dönemdeki fenomenlerle ilgilenen prebiyotik kimya alanı ortaya çıktı. Egemen görüş şuydu: Varsayılan prebiyotik koşullarda Miller türü yeni deneylerle, yaşamın öteki önemli bileşenlerinin de ortaya çıkarılarak yaşamın kökeni sorusunun çözülmesine katkı sağlanabilir. Nitekim birkaç yıl içinde bir başka grup organik maddenin, tüm nükleik asitlerin temel bir bileşenini oluşturan organik bazların da varsayılan prebiyotik koşullar altında daha basit maddelerden kolayca sentezlenebildiği gösterildi. Bir süre için yaşamın kökenine gittiği düşünülen yol, çok şeritli bir ekspres yol gibi görünmeye başladı.

Ama bu durum uzun sürmedi. Karşıt görüşler hemen dillendirilmeye başladı. Yaşamın ortaya çıkışı dünyanın neresinde olmuştu? Başta tercih edilen ve "prebiyotik çorba" denen ortam içinde bulun-

duğu düşünülen çıkış noktası çeşitli nedenlerle sorgulandı ve yaratıcı alternatif arayışları hızla yayıldı. Öne çıkan görüşlerden biri, yaşamın denizlerin derinliklerindeki hidrotermal su kaynaklarında,[38] diğeri ise yaşamın kil yüzeyler üzerinde[39] başladığını savunuyordu. Bundan daha büyük bir fark hayal etmek zor! Ama ardından prebiyotik atmosferin bileşimiyle ilgili sorular da dile getirilmeye başladı. Prebiyotik atmosfer başta öne sürüldüğü gibi indirgemeci miydi, yoksa daha yeni verilerin işaret ettiği gibi nötr olup başlıca bileşenleri de karbondioksit, azot ve su muydu? Bu temel sorular üzerinde genel bir görüş birliği sağlanmış gibi görünmüyor.

Böylece Miller'ın deneylerinin yarattığı ilk heyecan, yerini giderek bir dizi rakip, birbiriyle uzlaşmaz önermenin ortaya atıldığı bir döneme bıraktı. Tutarsızlık ve belirsizlik, iyimserliğin yerini aldı. Öyle ki yaşamın ortaya çıkışı için ileri sürülen farklı mekanik önerilerin uzlaştığı tek nokta, yaşamın 4 milyar yıl kadar önce prebiyotik dünyada bulunan cansız maddelerden ortaya çıktığıydı. Doğru, prebiyotik ortama dair deneylerle ilişkili kimyanın zenginliği yepyeni bir dizi kimyasal tepkimenin keşfini sağladı ve konu hakkında alternatif düşünme mecraları açtı. Ne var ki bu çabaya harcanan yoğun emeğe, doğruluğu tartışılır bir akıl yürütme biçimi eşlik ediyor gibiydi. En basit ifadeyle, prebiyotik kimya üzerindeki tartışmaların çoğuna temel teşkil eden genel bir tez biçimlendi: Varsayılan prebiyotik koşullar altında meydana gelen kimyasal tepkimelerin incelenmesiyle, yaşamın ortaya çıkmasını sağlamış olabilecek yolların belirlenmesi mümkündü. Geriye baktığımızda bu tez hayli sorunlu görünüyor. Prebiyotik dünyada yaşamın başlangıcının tarihsel koşullarını aramak, yaşamın kökeni sorusunun çözümüne önemli bir katkı yapmadı.

"Prebiyotik kimya" yaklaşımıyla ilgili birçok sorun söz konusu. Öncelikle, prebiyotik dünyada, hele de belli bir yerde hüküm süren koşullara ilişkin güvenilir bilgi bulunmamasının önemli sonuçları var. Prebiyotik dünyanın belli bir yerinde meydana gelmiş olabilecek ya da olamayacak tepkimelerin özelliklerini belirlemek istiyorsak, önce o yerde mevcut olan materyallerin ve bunlara uygun tepkime koşullarının belirlenmesi gerekir. Oysa ne mevcut materyaller

ne de tepkime koşulları bilindiğinden, güvenle söylenebilecek hemen hiçbir şey yok.

Sorunun derinliğini göstermek için, örneğin, "prebiyotik dünyadaki koşullar" ifadesinden muhtemelen daha net olan "günümüz dünyasının koşulları" ifadesini ele alalım. Peki ama bu ifadeden ne anlıyoruz? Patlama sürecindeki bir yanardağın içindeki, Arktik buz sahanlığının altındaki, okyanusun dibindeki, bir hidrotermal deniz dibi kaynağının içindeki, Sahra Çölü'nün kızgın kumlarındaki, bir tatlısu lagünündeki ya da saymaya devam edebileceğimiz bambaşka yerlerdeki koşullardan mı söz ediyoruz? Herhangi bir yerdeki koşulları belli bir kesinlikle *belirleyebilmemize* karşın, yukarıdaki genel ifade bir belirsizlik yaratıyor. Hele prebiyotik dünyadaki koşullardan söz ettiğimizde ve bunu da çok genel bir biçimde yaptığımızda, belirsizlik ilave bir boyut kazanıyor. Belli prebiyotik olayların dünyanın *neresinde* meydana geldiğini bilmemenin yanı sıra, bu prebiyotik yerlerdeki gerçek koşulları bildiğimizi de söyleyemeyiz. Dahası, fiziksel organik kimya bize tepkimelerin izlediği yolların ve tepkime mekanizmalarının tepkime koşullarına epey duyarlı olduğunu öğrettiğinden, prebiyotik dünyanın bir yerinde neyin meydana gelmiş ya da gelmemiş olabileceği yolundaki öneriler ancak "hayli spekülatif" olarak sınıflandırılabilir.

Bu sorular hakkında spekülasyonda bulunmak –senaryolardan hiçbirinin geçersizliğini göstermek pratikte mümkün olamayacağından– metodolojik bakımdan da sorunlu. Bu durumda makul senaryoların sayısını sınırlayan tek şey, konuyla ilgilenen kimyacıların yaratıcı çabalarıymış gibi görünüyor. Belirtmeye bile gerek yok ki, geçersizliğinin gösterilmesinin mümkün olmaması, herhangi bir önerinin yararını ve önemini zorunlu olarak zayıflatıyor. Ünlü İngiliz kimyacı ve yaşamın kökeniyle ilgili araştırmaların önde gelen ismi Leslie Orgel'ın bir keresinde dediği gibi: "Birkaç yıl beklerseniz ilkel dünyadaki koşullar bir kez daha değişecektir." Alaycı biri, bunun ideal bir araştırma alanı olduğunu söyleyebilir. Nasılsa yanlışınızı ortaya çıkaracak kimse olmadığından, istediğinizi yazıp yayımlayabileceğiniz bir alan!

Özel prebiyotik koşulların varsayımıyla ilgili, en az ilki kadar önemli olan ikinci bir sorun daha var. Prebiyotik koşullar az çok doğru olarak belirlenebilse bile, çoğu kez bu koşulları bilmenin bize yalnızca hangi tepkimelerin gerçekleşmiş *olabileceğini* değil, hangilerinin gerçekleşmiş *olamayacağını* da belirleme olanağı vereceği varsayılmıştır. Hatta bu varsayım, yaşamın kökenine dair öne çıkan senaryolardan birine –en basit hücresel yaşama geçiş sürecinde bir RNA dünyasının varlığına– karşı çıkmak için kullanılmıştır. Uzun zincirler halindeki RNA molekülleri kendi yapıtaşlarından yani RNA nükleotidlerinden oluştuklarına göre, RNA dünyası senaryosu temel dayanağı olarak bu nükleotidlerin prebiyotik dünyada bulunduklarını varsayar. Buna yöneltilen itiraz temel olarak şöyledir: On yıllarca süren çabalarına karşın en becerikli kimyacılar bile varsayılan prebiyotik koşullar altında bu nükleotidleri sentezlemeyi başaramadılarsa, o zaman bu nükleotidlerin dünyada kendiliklerinden ortaya çıkmış olamayacaklarını rahatlıkla söyleyebiliriz.

Buradaki kusurlu mantık kendini hemen ele veriyor. RNA nükleotidlerinin kendiliklerinden ortaya çıkmaları olasılığını öyle peşinen yok sayamayız, zira kanıtın yokluğu, yokluğun kanıtı olamaz. Varılan sonucun meşru sayılması için becerikli kimyacıların daha ne kadar çaba göstermeleri gerekecek? Yirmi, otuz, belki de elli yıl? Ve kimyacıların ne kadar becerikli olmaları lazım? Yukarıda etraflıca anlatılanların ışığında, o zamanlar yaşamın ortaya çıkmış olabileceği yerlerin *herhangi birinde* mevcut olan malzemeler ve tepkime koşulları bilinmezken, ilkel dünyanın *her* yerinde prebiyotik koşulların nükleotidlerin ortaya çıkmasını engellemiş olması gerektiği sonucuna varmak mantığa uygun değil.

Her halükârda, kısa süre önce yaratıcı Britanyalı kimyacı John Sutherland'in "imkânsızı" başarmasıyla bu inanışın yanlışlığı tüm çıplaklığıyla ortaya çıktı. John Sutherland, prebiyotik başlangıç malzemeleriyle bir RNA nükleotidi sentezlemeyi başardı. Bu, alışılmışın dışında bir düşünce tarzı benimsemesi, daha önceki araştırmacıların kullandığı sıradışı yöntemden oldukça farklı yepyeni bir sentez stratejisi uygulaması sayesinde oldu.[40] Daha kaç tane nükleotid ya da herhangi başka türden temel yapıtaşının işlevsel "prebiyotik

sentezinin" ilkesel olarak varolabileceğini varın siz düşünün. Alışılmışın dışında düşünme imtiyazının doğaya da tanınması gerekmez mi? Sonuç açık: Hangi tepkimelerin *mümkün olduğu* deneysel bulgulardan rahatlıkla çıkarılabilse de, hangi tepkimelerin *mümkün olmadığını* ve gerçekleşmiş olamayacağını söylemek sağlam bir mantığa dayanmaz; özellikle de yüz milyonlarca yıllık süreler ve bilgi sahibi olmadığımız tepkime koşulları söz konusu olduğunda. Yaşamın kökenine dair araştırmaların saygın öncülerinden Peter Schuster'in prebiyotik kimyayla ilgili şu sözleri gayet isabetli: "Asla asla deme!" Kendi kendini kopyalayabilen bir molekülün şans eseri ortaya çıkması yaşamın kökenine dair tartışmaların merkezinde yer aldığından, RNA'nın prebiyotik dünyadaki olası rolüne 8. Bölüm'de döneceğiz.

Yukarıda değinilen iki tartışma, yaşamın kökenine yönelik prebiyotik yaklaşımın içsel zorluklarını ortaya koymuş bulunuyor. Fakat öyle anlaşılıyor ki sorunlar daha da derin. Yukarıda, biyolojik açıdan uygun materyallerin ortaya çıkmasına yol açacak prebiyotik koşulları keşfetmeye çalışmanın sorunlu olduğunu dile getirdik. Fakat bu çabaların gerisinde açıklanmamış bir varsayım yatıyor: tüm canlıların yapıtaşı olan temel moleküllerin (şekerler, bazlar, nükleotidler, amino asitler, lipidler vb.) o zamanlar mevcut olduklarına dair inandırıcı bir açıklamanın bulunması halinde, yaşamın kökeni sorununun çözümü yolunda önemli bir adımın atılmış olacağı varsayımı. Ne yazık ki bu varsayımın geçerliliği de tartışmaya açık. Prebiyotik kimyadaki tüm deneyler tam bir başarıyla gerçekleşse ve böylece prebiyotik kimyacıların en büyük hayalleri gerçekleşmiş olsa bile, yaşamın kökeni bilmecesi bilmece olarak kalmaya devam ederdi; çünkü yaşamın kökeniyle ilgili gerçek sorun, yaşamın yapıtaşlarının prebiyotik dünyada nasıl ortaya çıktığının ötesine uzanıyor. Daha derin bir sorun başka bir yerde yatıyor.

Düşünün, önde gelen biyokimyacılardan, sentetik kimyacılardan, moleküler biyologlardan bir ekip kuruyorsunuz ve onlardan laboraturalarında basit bir canlı sistem yaratmalarını istiyorsunuz. Hiçbir kayıt kuyut, kimyasal sınırlamalar, prebiyotik dünyadaki koşullara eşlik etmiş olması gereken kısıtlamalar yok. Para da sebil!

İstedikleri her materyali istedikleri bileşimde kendilerine sunuyorsunuz: DNA ve RNA, oligomerler, lipidler, çeşitli proteinler, şekerler, isteyecekleri her tür katalizör ve tabii gerek duyabilecekleri her araç ve aygıt. Ayrıca onlara deneyleri için ihtiyaç duyacakları her türlü tepkime koşulunu da –prebiyotik veya başka türlü– hazırlıyorsunuz. Bir hidrotermal deniz dibi kaynağının içindekileri andıran koşulların simüle edilmesini mi istediler? Hiç sorun değil. Kil yüzeyler mi lazım? Kolay. Ama dürüst bir tepki verecek olsalar, çoğu nereden başlayacağını bilemezdi.

Elbette Harvard Tıp Fakültesi'nden Nobel Ödüllü genetikçi Jack Szostak ve saygın İtalyan kimyacı Pier Luigi Luisi gibi bazı gözüpek bilimciler bu iddialı hedef doğrultusunda deneme amaçlı adımlar attılar,[41] ama 8. Bölüm'de irdeleyeceğimiz nedenlerle bu hedefin karşısına dikilen engeller hâlâ çetin görünüyor. Prebiyotik dünyada yaşamın nasıl başladığı sorunu, sadece hangi maddelerin bulunduğunun ve o dönemdeki tepkime koşullarının belirlenmesiyle ilgili değil; çünkü hiçbir kaynak sıkıntısı olmayan en iyi kimyacılar bile işe nasıl girişecekleri konusunda net fikirlere sahip olamazlardı. Ayrıca sorun yaşam reçetesindeki şu ya da bu adımın özellikle güç ve teknolojinin erişimi dışında olmasından da kaynaklanmıyor. Daha temel bir sorun var önümüzde: hâlâ tutarlı bir reçetenin olmaması. Daha önce belirtmiş olduğumuz gibi, henüz yaşamın ne olduğunu doğru dürüst anlayabilmiş değiliz. O halde nasıl olur da henüz tam olarak anlayamadığımız bir şeyi yapmaya girişebiliriz? Demek ki, prebiyotik kimyayı aydınlığa çıkarma çabaları –kendi içlerinde ilginç olsalar da– bizi nihai hedefe, yaşamın dünyada nasıl ortaya çıktığının anlaşılmasına götürme kapasitesine hiçbir zaman gerçek anlamda sahip değildi.

Hatta şunu da söyleyebiliriz ki, dünyada yaşamın ortaya çıkmasıyla ilgili tarihsel bilgi arayışı bir bal tuzağıdır: kışkırtıcı, acemiler kadar usta araştırmacıları da kendine çeken, ama ortaya koyduğu soruya ilişkin gerçek bir anlayışa ulaştıracağı kuşkulu bir yol. Daha da önemlisi, elde edilebilse bile tarihsel kanıtlar kendi başlarına sorunu çözemezdi. Asıl sınav, yaşamın ortaya çıkışının gerisindeki tarihdışı ilkelerin şifrelerinin çözülmesidir; başka bir deyişle, herhan-

gi bir türden maddenin neden biyoloji yönüne doğru karmaşıklaşma eğiliminde olduğunun anlaşılması. Zamandan ve mekândan bağımsız olarak yaşamın kökeni sorununun kalbinde yatan, bu tarihdışı sorudur. Yaşamın kökeninin gizemini çözebilmek için (ki gerçekten bir gizemdir bu) herhangi türden bir cansız maddeyi canlı diye sınıflandıracağımız bir kimyasal sisteme dönüştürmüş olması gereken fizikokimyasal süreçleri anlamak zorundayız. Yirminci yüzyılın büyük fizikçilerini geceleri uyutmayan işte *bu* konuydu; prebiyotik atmosferin bileşiminin belirsizliği, nükleotidlerin prebiyotik koşullarda sentezlenmesinin mümkün olup olmadığı ve benzeri sorular değil. Hangi fizik ve kimya yasaları, yaşam dediğimiz hayli karmaşık, dinamik, teleonomik ve dengeden uzak sistemlerin ortaya çıkışını açıklayabilir?

Tabii bir kez bu dönüşümleri yöneten genel ilkeler tanımlandığında tarihsel sorunun çözümlenebileceğinin garantisi yine yoktur. Sonuçta dünyada dört milyar yıl kadar önce meydana gelmiş belli birtakım olaylardan söz ediyoruz; dolayısıyla bu tarihsel olayların özelliklerini ortaya çıkarma yeteneğimiz son derece sınırlıdır. Buna karşılık, söz konusu tarihdışı soru çözülecek olursa, prebiyotik dünyada yaşamın nasıl ortaya çıktığı sorunu tümüyle farklı bir veçhe kazanacaktır. Tarihsel bir soru olduğundan, yanıt bilinmez olmayı sürdürebilir; ancak konu şimdiki gibi bir gizem olmaktan çıkar. Yukarıdaki irdelemenin ışığında, yaşamın moleküler başlangıcını daha biyolojik karmaşıklaşmanın altında yatan fizikokimyasal ilkeler yeterince açıklığa *kavuşturulmadan* araştırmaya kalkışmak bence, işleyiş ilkelerini anlamadan bir saatin parçalarını (yaylar, dişliler vb.) birleştirerek saati monte etmeye çalışmakla aynı şeydir. Efsanevi Nobel Ödüllü fizikçi Richard Feynman bir keresinde şöyle demişti: "Yaratamadığım şeyi anlayamam." Bu aşikâr saptamayı tersine çevirmek belki daha yararlı olur: Anlamadığım şeyi yaratamam.

Yaşamın kökeni sorununa tarihsel veçheden baktığımızda karşılaştığımız kısıtlamaları etraflıca anlattığıma göre, gelin şimdi bir de soruna tarihdışı veçheden nasıl bakılabileceğini görelim. Daha iyimser olmamıza izin veren yer de zaten burası. Tarihdışı ilkeler 4 milyar yıl önce nasıl geçerli idiyse bugün de aynen geçerlidir; fi-

zik ve kimyanın kuralları zamanla değişmez. O halde prebiyotik dünyada neyin olup bitmiş olabileceği hakkında spekülasyon yapmak yerine, günümüz dünyasında neler olduğunu araştırma yoluna gidelim. Bilgi elde etmek ve bu temel sorunun derinine inebilmek için doğru kimyasal sistemleri inceleyip deneyler yapalım.

4. Bölüm'de belirttiğimiz gibi, sistem kimyası kendini kopyalayabilen basit moleküller sınıfı ve oluşturdukları ağlarla ilgilenir. Henüz emekleme çağında olan bu araştırma alanı daha şimdiden bu sistemlerde gözlenen tepkinlik örüntülerinin sıradan kimyadakilerden epey farklı olduğunu ve yaşamın ortaya çıkmasına yol açan türden kimyasal süreçler hakkında bilgi sağlayabileceklerini gösterdi. Aslına bakılırsa dikkatin tarihsel veçheden tarihdışı veçheye çevrilmesi bizi doğrudan onyıllardır yaşamın kökeni tartışmalarının odağında olan bir konuya götürüyor. Tüm canlı sistemler bir metabolizma ve kendilerini üretme becerisiyle tanımlandığına göre, bunlardan hangisi daha önce ortaya çıktı: kopyalanma mı, metabolizma mı? İlk başta soru yaklaşımı bakımından tarihsel gibi görünebilir: Hangisi önce geldi? Fakat bu iki becerinin tabiatı öyle olabilir ki, kimyanın mantığı beklenmesi gereken doğal düzeni belirler ve sonuç olarak da ortaya çıkış sürecine ışık tutar. Göreceğimiz gibi "önce metabolizma – önce kopyalanma" ikiliğinin içerimleri önemlidir, çünkü bütüncül bakışın üçgenini oluşturan soruların –yaşam nedir, nasıl ortaya çıktı ve nasıl üretilebilir?– üçü üzerinde de doğrudan sonuçları vardır.

Konuya girmeden önce isterseniz "metabolizma" ve "kopyalanma" terimlerinin yeterince net tanımlandıklarından emin olalım. "Metabolizma" kabaca, her canlı hücrenin içinde meydana gelen ve hücrenin yaşamsal faaliyetlerini yürütmesini sağlayan, karşılıklı olarak düzenlenen ve eşgüdümlenen karmaşık bir tepkimeler dizisi demektir. Yaşamın kökeni sorusu bağlamında "önce metabolizma" tezi için öngörülen mekanizmalar, günümüz yaşamındaki karmaşık metabolik döngülerin görece basit bir öncülünün, oligomer tabanlı bir genomik sistemin ortaya çıkmasından önce geliştiğini varsayar. Alanının önde gelen isimlerinden kuramsal biyolog Stuart Kauffman daha 1980'lerde şöyle bir tespitte bulunmuştu: A, B, C, D ve E

moleküllerinden ya da molekül topluluklarından oluşan bir kümede eğer A, B'nin; B, C'nin; C, D'nin; D, E'nin ve sonunda E de A'nın oluşumunu katalize ediyorsa, o zaman döngünün kapanması, tüm döngünün otokatalitik hale gelmesi sonucunu verir ki, bunun da anlamı bir bütün olarak sistemin kendi kendini kopyalıyor olmasıdır.[42] "Önce kopyalanma" tezinin destekçileri ise yaşamın bir otokatalitik sistemin ortaya çıkışıyla başladığı görüşünde olmakla birlikte, bu otokatalitik sistemin RNA gibi şablon benzeri bir oligomerik kopyalayıcıyı temel aldığını savunurlar. Böyle bir kopyalayıcının ortaya çıktıktan sonra evrilerek karmaşıklaştığı ve sonunda basit bir yaşam formunun oluşmasını sağladığı varsayılır. O halde "önce metabolizma – önce kopyalanma" tartışması şöyle de ifade edilebilir: "Hangisi önce oldu – bütüncül bir otokatalitik kimyasal döngünün kendiliğinden oluşması mı, yoksa şablon bir moleküler kopyalayıcının ortaya çıkması mı?"

Bu soruyu doğrudan soran ilk kişi olan Amerikalı fizikçi Freeman Dyson, metabolik karmaşıklaşmayla şablon kopyalanmasının mantıken ilintili olamayacağını varsaymıştı. Dyson'ın tezine göre yaşamın kökeni, biri genomik ötekiyse metabolik olan iki *ayrı* varlığın birbirlerinden bağımsız olarak ortaya çıkmasını ve daha sonra birleşerek canlı olarak sınıflandırılabilecek bir sistem oluşturmasını içeriyordu.[43] Bu öneri aslında oldukça keyfidir ve bu özelliklerden *birinin* kendiliğinden ortaya çıkmış olabileceği görüşüne sonradan yöneltilen kuşkular göz önünde tutulduğunda, iki özelliğin birden kendiliğinden ve birbirinden bağımsız olarak ortaya çıkmış olması şu an hayli düşük bir ihtimal gibi görünüyor. Dolayısıyla son yirmi-otuz yıl içindeki tartışmalar, bu iki özelliğin hangisinin –bir şablon mekanizmasıyla moleküler kopyalanmanın mı, yoksa daha o zaman bile belli bir karmaşıklık düzeyi sergileyen bir kimyasal döngüyle ilintili bütüncül otokatalizin mi– önce ortaya çıktığı yolundaki (özünde indirgemeci) soru üzerine odaklandı. *Yaşamın özü birtakım oligomerik moleküllerin ardışık diziliş özelliklerinden mi, yoksa bütüncül otokatalizle ilintili karmaşıklıktan mı gelir?* Sırf bu sorunun sorulabilmesi bile yaşam hakkındaki bilgilerimizin yetersiz olmayı sürdürdüğünü çok iyi gösteriyor. O zaman ilk etapta "önce

kopyalanma" senaryosunu biraz daha ayrıntılı ele alalım ve yaygın olarak benimsenmiş "RNA dünyası" görüşüne temel teşkil etmesine karşın bazı asli güçlüklerin neden çözümsüz kalmaya devam ettiğini görelim.

"Önce Kopyalanma" Senaryosu

Yukarıda değinildiği gibi yaşamın kökenine dair "önce kopyalanma" senaryosu, yaşamın kendini kopyalayabilen oligomerik bir varlığın ortaya çıktığı ve ardından en basitinden bir yaşam formuna dönüşünceye kadar mutasyonlar geçirip karmaşıklaştığı fikrine dayanır. Tarihsel olarak bu fikir 1914 yılına ve Amerikalı fizikçi Leonard Troland'a kadar götürülebilir; ama bu senaryo Sol Spiegelman'ın 1960'ların sonlarındaki –daha önce sözünü ettiğimiz– katkılarıyla büyük bir ivme kazanmıştır. Kısa süre içinde bu fikirler Manfred Eigen ve Peter Schuster'in 1970'lerdeki öncü çalışmalarıyla da desteklenmiştir.[44] "Önce kopyalanma" düşünüşünün merkezinde, tüm modern yaşamın temelini oluşturan nükleik asit ve proteinlerin birbirine bağımlı dünyasından önce ortaya çıkan bir RNA dünyasının olduğu önermesi yer alıyordu.[45] RNA dünyası senaryosunun çekici yanlarından biri, ikili nükleik asit ve protein dünyasının yakasını bırakmayan "tavuk mu – yumurta mı?" bilmecesini çözmüş gibi görünmesiydi. Tüm modern yaşam formları bu karşılıklı bağımlılığa dayanır. Bir sonraki kuşağa aktarılabilecek tüm bilginin şifrelendiği nükleik asit olan DNA, protein enzimlerinin katkısı olmadan kendini kopyalayamaz ve bu protein enzimleri de, onları kodlayan DNA molekülü varolmadan üretilemez. Peki bu ikili dünya nasıl ortaya çıktı? RNA dünyası hipotezi, bu açmazı RNA'nın başlangıçta hem kalıtsal bilgi taşıdığı *hem de* enzim faaliyetlerini gerçekleştirdiği önermesiyle çözermiş gibi görünüyor. RNA'nın genetik bilgiyi taşıyabilmesi şaşırtıcı değil. Nihayet o da bir nükleik asit ve dahası, DNA ile yakın akraba. Ama iki Amerikalı araştırmacının, Colorado Üniversitesi'nden Thomas Cech ile Yale Üniversitesi'nden Sidney Altman'ın RNA'nın aynı zamanda bir enzim görevi de üstlenerek kritik biokimyasal tepkimeleri katalize edebildiğini

keşfetmeleri, RNA dünyası tezine büyük bir ivme ve Cech ile Altman'a da Nobel Ödülü kazandırdı. Fakat RNA dünyası tezinin canalıcı varsayımı, kendini kopyalayabilen bir molekülün prebiyotik dünyada kendiliğinden ortaya çıkmış olabileceğidir ki, bu fikir karşıtlarınca sorgulanmaya devam ediyor.

"Önce kopyalanma" senaryosuna yöneltilen en önemli eleştirilerden biri, prebiyotik dünyadaki koşulların, kendi kendini kopyalama becerisine sahip bir molekülün kendiliğinden ortaya çıkmasıyla uyuşmadığı görüşüne dayanır. Gelgelelim, daha önce değinildiği gibi bu görüş sağlam bir temelden yoksundur. Yaşamın kökeni literatüründe öylesine sık atıfta bulunulan "prebiyotik koşullar" terimi genel bir bilgi aktarabilse de, özele ilişkin bilgiden tümüyle yoksun olduğundan, kimyanın temel kurallarıyla tutarlı olan herhangi bir süreci dışlamak için kullanılamaz. Kopyalanabilen moleküller laboratuvarda sentezlenebildiklerine göre, prebiyotik dünyada kendiliklerinden ortaya çıkmaları da bu gerekçeyle reddedilemez. Prebiyotik dünya hakkındaki bilgisizliğimiz, öyle bir varlığın prebiyotik dünyada ortaya çıkmış olma ihtimalini yadsıyamayacağımız anlamına gelir.

"Önce kopyalanma" senaryosuyla ilgili daha temel bir sorun, Termodinamiğin İkinci Yasası ile bağdaşmaz görünmesidir. "Önce kopyalanma" senaryosunun gerçekte ne önerdiğini hatırlayalım: Senaryo, kendini kopyalayabilen bir varlık bir kez ortaya çıktıktan sonra çok basit bir yaşam formuna dönüşünceye kadar karmaşıklaşmaya başlayacağı fikri üzerine kuruludur. Bu öneriyle ilgili güçlük, en basit canlı sistemin yüksek derecede organize, dengeden uzak bir sistem olması ve bu dengeden uzak durumunu korumak için sürekli enerji tüketmesinin gerekmesidir. Bir başka deyişle, kendini kopyalayabilen bir molekülün karmaşıklaşarak basit bir canlı sisteme dönüşmüş olması, termodinamik olarak daha kararlı ürünler ortaya koymak üzere tepkimeye girmek yerine, yüksek derecede karmaşık ve termodinamik olarak kararsız bir sistem haline gelmiş olması anlamını taşır. Ama bu, kimyasal süreçlerin izlediği yol değildir. Termodinamik açıdan tepkime *yokuş yukarı* gitmiş gibidir ki, görmüş olduğumuz üzere kimyasal tepkimeler yalnızca *yokuş aşağı* gider.

Demek ki kendini kopyalayabilen bir molekül kendiliğinden ortaya çıkabilmiş olsa ve kendini kopyalanma tepkimesinin gerçekleşmesine izin veren koşulların içinde bulmuş olsa bile, tepkime ancak en düşük serbest enerji durumuna, yani denge durumuna varıncaya kadar sürebilirdi. Sistem o düşük enerji durumuna vardığında, çok basit bir yaşam formu yönündeki evrim süreci de durmuş olurdu. Nitekim kendini kopyalayabilen moleküllerle kırk yıldır yapılan deneyler, bu moleküllerde dengeden uzak metabolik sistemlere evrilerek karmaşıklaşma yönünde bir eğilim tespit edebilmiş değil. "Önce kopyalanma" senaryosunun geçerli olabilmesi için kendini kopyalayan basit bir sistemin karmaşıklaşıp "yokuş yukarı tırmanmaya" nasıl yönlendirilebildiğinin açıklanması gerekir. Bu konuya ileride daha kapsamlı değineceğim. Ama şimdi bir de alternatif "önce metabolizma" görüşünün denetlemeden nasıl çıkacağına göz atalım.

"Önce Metabolizma" Senaryosu

Yaşamın kökeniyle ilgili birbirinden hayli farklı bir dizi mekanistik senaryo "önce metabolizma" ortak şemsiyesi altında sınıflandırılabilir. Şimdi burada bunların ayrıntılarına girmeyeceğiz. Önemli olan şu ki, kimyalarının özünde ciddi farklılıklar olmasına karşın bunların hepsi de, ilkel bir metabolizma olarak düşünülebilecek bütüncül otokatalizin –yani kapalı bir katalitik döngünün– genetik bir beceri edinilmesinden önce ortaya çıktığı görüşünü savunur. İkincisi, hepsi metabolik işlevi yaratacak organizasyonun kendiliğinden oluştuğunu ya da rasgele saprnayla edinildiğini varsayar. Başka bir deyişle "önce metabolizma" senaryoları, metabolik süreçlerdeki işlevsel uyumun kendi kendine ortaya çıkabileceğini, düzensiz sistemlerin kendiliklerinden bir düzenliliğe geçiş süreci yaşadıklarını varsayar. Fakat başta Shneior Lifson[46] ve Leslie Orgel[47] olmak üzere birçok araştırmacının işaret ettiği gibi, bu düşünce hayli sorunludur. Karşımıza yine İkinci Yasa meselesi çıkar. Metabolik döngüler nasıl olur da kendiliklerinden basit moleküler varlıklardan oluşuverir ve daha da önemlisi, zaman içinde varlıklarını nasıl sürdürürler?

İşte geldik o termodinamik duvara tosladık yine. Fizikçileri *hücresel* karmaşıklığın ortaya çıkışıyla ilgili olarak zorlayan sorun, *metabolik* karmaşıklığın ortaya çıkışında da söz konusudur. Üst düzeyde organize, dengeden uzak kimyasal sistemlerin kendiliğinden "yokuş aşağı" süreçlerle yaratılması beklenemez. Ve İkinci Yasa'ya karşın böyle dönüşümlerin olabileceğini söyleyenler böyle bir dönüşümü deneysel olarak gösterseler hiç de fena olmaz. Harry Truman'ın meşhur sözü gibi: "Ben Missouri'denim – göster de görelim!" Ama şimdiye kadar gösterebilen çıkmış değil.

O halde yaşamın kökeni için öne sürülen "önce metabolizma" ve "önce kopyalanma" senaryolarının ikisi de sorunlu ve sorunun kaynağı da öyle ufak tefek ayrıntılardan ziyade, ikisinin de İkinci Yasa'yla uyum bağlamında ciddi güçlükleri olması. Dengeden uzak bir sisteme doğru karmaşıklaşma süreci için İkinci Yasa'yı ihlal etmeyen bir mekanizmaya gereksinimimiz var. Eğer bu konu bir çözüme kavuşturulacak olursa, o zaman önce metabolizmanın mı yoksa kopyalanma sürecinin mi ortaya çıkmış olduğu sorusu farklı bir perspektif kazanır. Hangisinin önce geldiğinin yanıtı o zaman ortaya çıkar ya da soru önemini yitirir. Eteğimize yapışıp duran bu sorunun olası bir çözümünü 7. Bölüm'de ele alacağız.

Şans mı, Zorunluluk mu?

Yaşamın yaşam olmayandan ortaya çıktığı yolundaki yaygın görüş, bizi hemen hayli sorunlu bir açmaza götürüyor: Dünyada yaşamın ortaya çıkışı zorunlu muydu yoksa rastlantısal mı? Başka bir deyişle, hiç ihtimal verilemeyecek bir kaza, tekrarı neredeyse imkânsız bir garabet miydi, yoksa mevcut fizik ve kimya yasaları uyarınca kaçınılmaz bir olay mı? Bu soru Nobel Ödüllü iki biyoloğu karşı karşıya getirmesiyle meşhurdur. Jacques Monod olaya tekrarını pek olası görmediği garip bir kaza olarak bakar.[10] Kendi sözleriyle: "Bunun *a priori* olasılığı neredeyse sıfırdı. ... Ne evren yaşama gebeydi, ne de biyosfer insana." Christian de Duve ise karşı safta yer alır ve dünya benzeri gezegenlerde yaşamın ortaya çıkışının, fizik ve kimya yasalarının güdümünde bir "kozmik zorunluluk" olduğu

görüşünü savunur.[48] De Duve ayrıca Monod'ya kendi sözleriyle karşı çıkar: "Evrenin yaşama, biyosferin de insana gebe olduğu apaçık. Aksi halde burada olmazdık." Peki bu durumda hangisi haklı? Jacques Monod'nun klasik eserinin başlığını biraz değiştirerek soracak olursak, dünyada yaşam şans eseri mi yoksa zorunluluk olarak mı ortaya çıktı?

Burada öncelikle, Monod ve de Duve'ün pozisyonlarının, aslında kesintisiz bir olasılıklar dizisinin ters yöndeki uç noktaları olduğunu belirtmeliyiz. Bunu daha iyi kavrayabilmek için kışın kar yağması olasılığını düşünün. Kışın kar yağması zorunlu mudur yoksa rastlantısal mı? İsviçre Alpleri'nde kışın kar yağmasının zorunlu olduğu düşünülür. Kış mevsiminde Alpler'deki düşük sıcaklıklar nedeniyle kar yağma olasılığı son derece yüksektir. Ama Avustralya'nın Queensland eyaletindeki plajlarda kışın bile kar yağma olasılığı sıfıra çok yakındır. Queensland'de sıcaklıklar yeterince düşmez. Peki ya Roma? Burada olasılık orta karardır. Roma'da arada bir kar yağdığı olur. Son 30 yıl içinde 2012, 2005 ve 1986 yıllarında yağmıştır örneğin. Roma'da kar yağışı istisnai bir olaydır. Sonuç? İlkesel olarak belli bir olay son derece istisnai ya da zorunlu veya bu iki uç arasında herhangi bir yerde olabilir.

Elbette belli bir yerde kar yağışının zorunlu mu yoksa rastlantısal mı olduğunu söyleyebilmek için kimsenin kar yağışının fiziğini anlamasına gerek yoktur. O yerdeki kar yağışının tarihsel kayıtlarını inceleyerek yanıtı bulursunuz. İşte bu nedenledir ki, bu kış Alpler'de kar yağacağından, Queensland'deki plajdaysa yağmayacağından son derece emin olabiliriz. Roma'ya gelince, emin olamayız. Kesin olarak söylenebilecek tek şey önümüzdeki kış Roma'da yüzde 10 gibi bir olasılıkla kar yağabileceği olur.

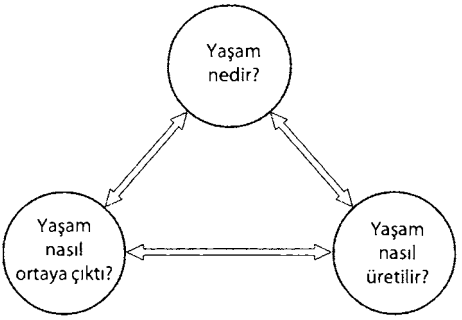
O halde, gezegenimizde yaşamın ortaya çıkmasıyla ilgili ne sonuca varabiliriz? Kısa yanıt: hemen hemen hiçbir sonuca! Elbette bu sinir bozucu cehalet durumu için birçok neden var. İyi anlaşılan meteorolojik kar yağışı fenomeninin tersine, yaşamı ortaya çıkaran süreci anlamıyoruz ve o dönemin koşulları hakkında da fazlaca bir bilgimiz yok. Bu durumda, anlamadığımız ve bilinmeyen koşullar altında cereyan etmiş bir sürecin olabilirliğini tartmayı nasıl uma-

biliriz? Öte yandan, kar yağışı örneğinde olduğu gibi, süreci anlamadan ve yalnızca söz konusu olay hakkında tarihsel bir araştırma yaparak da tahminde bulunulabilir. Ama burada da karşımıza başka bir sorun çıkıyor: Araştırmamız tek bir örnekle sınırlı. Evrende dünya benzeri gezegenlerin sayısının muhtemelen çok fazla olduğunun farkındaysak da, bunlar içinde yalnız kendimizinkinde yaşamın durumuna dair bilgimiz var. Böyle olunca da, bize yol gösterecek tek bir örnekle, yaşamın evrenin başka yerlerinde de bulunma olasılığı hakkında mantıklı bir değerlendirme yapma kapasitemiz haliyle epey sınırlı.

6

Biyolojinin Kimlik Bunalımı

CANLI VE CANSIZ VARLIKLARI önce canlıların çok garip özellikleri (1. Bölüm) sonra da çözümsüz gibi görünen yaşamın kökeni sorunu (5. Bölüm) bağlamında birbirleriyle ilintilendirmenin güçlüğü, modern biyolojinin son yıllarda uğraştığı bilimsel ikilemi gözler önüne serdi. Nitekim konunun merkezindeki en önemli üç soru –yaşam nedir, nasıl ortaya çıktı ve nasıl üretilir?– can sıkıcı çözümsüzlüğünü koruyor. Başta birbirleriyle ilintisiz, bağımsız konularmış izlenimi vermelerine karşın bu sorular, aslında (Şekil 5'te gösterildiği gibi) yakın bir ilişki içindedir. Düşünecek olursanız, bu soruların herhangi birine yanıt verebilmek öteki ikisinin de yanıtlarını bilmeyi gerektirir. Yaşamı nasıl üretebileceğimizi bilmiyoruz çünkü daha yaşam nedir bilmiyoruz. Ve yaşam nedir bilmiyoruz çünkü ortaya çıkmasını sağlayan ilkeleri bilmiyoruz. Böylece, son altmış yıl içinde moleküler biyolojide kaydedilmiş olan çok önemli ilerlemelere karşın, biyolojinin araştırdığını iddia ettiği şeyin özü can sıkıcı belirsizliğini sürdürüyor. Bu karamsar görüş, hırsını dizginleyememiş bir kimyacının kendi alanının dışındaki bir konu hakkında yürüttüğü önemsiz bir fikir değil, giderek daha sık ifade edilmeye başlamış bir görüş. Daha önce değinmiş olduğumuz ve neredeyse kehanet sayılabilecek bir makalesinde Carl Woese şöyle diyordu:[1]



Şekil 5. Biyolojide bütüncü anlayışı yöneten üç temel soru.

Bugün biyoloji, ilke olarak, fiziğin yüz yıl önce anlaşıldığından daha iyi anlaşılıyor değil. Biyolojide de –tıpkı o zamanlar fizikte olduğu gibi– belli bir yere kadar yol gösterici olan vizyon kendini tüketmiş durumda ve gerçekliğin yeni, daha derin, canlandırıcı bir temsili gerekiyor. ... Şöyle yüz yıl geriye bakın. 19. yüzyılın sonunda bilimin artık tamamlanmış olduğu, büyük problemlerin hepsinin çözüldüğü, artık işin yalnızca ayrıntılara kaldığı yolunda benzer bir duygu fizik dünyasına egemen olmamış mıydı? Alın size *déjà vu*!

Biyolojide moleküler yaklaşım epey bereketli bir hasat getirmiş olmasına rağmen, bu yaklaşıma en büyük katkıları yapanlardan biri olan Woese söz konusu metodolojiye tüm güvenini yitirmiş gibi görünüyor. Paradoksal bir şekilde, ne kadar bilgisiz olduğumuzu ortaya çıkaran da moleküler biyoloji sayesinde bilgi düzeyimizin epey artmış olması. O halde yanlış giden ne?

Darwin'den modern biyolojiye giden yol, kıvrımlı bükümlü bir yoldu. Darwin'in anıtsal katkısı, kuşkusuz biyolojiyi fiziksel bir temele oturtarak onu doğaüstü dünyadan doğal dünyaya taşımasıydı. Böyle yaparak Darwin hem kendimize hem de içinde yaşadığımız dünyaya dair algımızı geri dönülmez biçimde değiştirdi. Ama bu, rahat, pürüzsüz bir yolculuk değildi. Bir kere, Darwinciliğin özü olan doğal seçilim uzunca bir süre biyologlarca tam olarak kabul edilmedi. *Türlerin Kökeni*'nin yayımlanmasından neredeyse seksen

yıl sonra, 1930'lardadır ki, Darwinci kuram sonunda modern evrimci sentezin bir parçası olarak tümüyle benimsendi. Darwin'in mirasının önemine yönelik akademik kuşkuları gideren, Darwinci evrim kuramının Mendelci kuram ve popülasyon genetiğiyle olan kazançlı entegrasyonuydu. Bu entegrasyon, doğal seçilimin sihirini göstermesini sağlayan mekanizmayı ortaya koyarak mevcut eleştirileri süpürdü.

Gelgelelim başka bir devrim, moleküler biyolojideki devrim hız kazanmaktaydı. Daha önce değinildiği gibi, 1953'te DNA'nın yapısının açıklanmasıyla başlayan yarım yüzyıllık bir süreçte önemli keşifler birbirini kovaladı: DNA kopyalanması, RNA transkripsiyonu (bir genin faaliyete geçirilmesinin ilk adımı olarak DNA'nın bir bölümünün mesajcı RNA'ya kopyalanması), protein kodunun oluşturulması, moleküler bir makine olarak ribozom vb. Uzun bir Nobel Ödülleri silsilesini de beraberinde getiren bu keşifler, Walter Gilbert'ın "Kutsal Kâse" diye adlandırdığı, 3 milyar baz çiftinden oluşan tüm insan gen havuzunun (genom) diziliminin belirlendiği İnsan Genom Projesi'ne giden yolu aydınlattı. İndirgemeci rüya gerçekleşmiş, insanlığın özü 3 milyar harfe indirgenmiş görünüyordu. Projenin 2000 yılında tamamlanması üzerine o zamanki ABD başkanı Bill Clinton, Beyaz Saray'da düzenlenen bir törende, "Bugün Tanrı'nın yaşamı yarattığı dili öğreniyoruz," demiş ve bu başarının, insan hastalıklarının hepsi değilse bile büyük çoğunluğunun tanısı, önlenmesi ve tedavisinde devrim yaratacağını sözlerine eklemişti. 2010 yılına kadar kişiye özel tedavilerin geleceği müjdesi verilmişti. Cesur yeni dünya artık bizimleydi ve biyolojinin gizemleri sonunda çözülmüştü. Bir-iki ayrıntı kalmış olsa da, bunlar adı üstünde ayrıntıydı; büyük resim içinde bunların sözü bile edilemezdi. Tıpkı on dokuzuncu yüzyılın sonunda fizik camiasının haletiruhiyesi gibi...

Ne var ki bu kitabın yazıldığı şu sıralarda Kutsal Kâse de, bize güya öğretmiş olacağı dil de vadedilen ödülleri getirmiş değildi. Yirmi birinci yüzyılın başlarında biyolojinin alanın belli başlı problemlerini çözme hedefine ulaşamaması bir yana, odada iri bir filin bulunduğuna dair giderek artan bir farkındalık söz konusu. Yaşam 3 milyar harfin oluşturduğu bir iplikten daha karmaşık bir şey. İnsan

genom diziliminin aydınlatılmasıyla bu dizilimin ne anlama geldiğinin anlaşılması arasında dağlar kadar fark var. Canlı hücrenin içine ilişkin gitgide daha fazla yapısal ve mekanik bilgi edinilmesi yaşamın gerçekte ne olduğunu aydınlığa kavuşturabilmiş değil. Stuart Kauffman[42] bunu *Investigations* (Araştırmalar) adlı kışkırtıcı çalışmasında kısaca şöyle dile getiriyor:

> Moleküler biyolojide son 30 yıl içinde yapılan değerli çalışmalara karşın yaşamın özü bir giz perdesinin gerisinde kalmayı sürdürüyor. Moleküler çarkların, metabolik yolakların, hücre zarı biyosentezinin araçlarının büyük bölümünü biliyoruz; parçaların ve süreçlerin birçoğunu tanıyoruz. Ama bir şeyi canlı yapanın ne olduğu bizim için hâlâ açık değil. İşin özü hâlâ gizemli.

Neticede hem Kauffman hem de Woese –kendi ifadeleriyle– şöyle diyor: Bir sürü ağaç görüyoruz, ama ormanı gerçek anlamda göremiyoruz.

O halde sorunun kaynağı ne? Kısa yanıt, karmaşıklık; yaşamın kendisi olan organize karmaşıklık. Karmaşıklıkla baş etmek için geliştirilmiş indirgemeci strateji tökezlemiş gibi görünüyor. Bu strateji saatlerde tıkır tıkır çalışıyor, doğal dünyayı tanımamızda da çok işe yaradı; ama yaşam arenasındaki performansı sorunlu. İndirgemeci bir yaklaşıma sahip olan moleküler biyolojideki büyük ilerlemeler bizi Vadedilmiş Topraklara götürmedi. Biyolojik sistemleri mekanik-materyalistik makineler gibi görme çabalarımız başarısız oldu. İndirgemeci metodoloji, bizi Şekil 5'te şemalandırılmış olan yaşama ilişkin temel sorunların yanıtlarına da, 1. Bölüm'de ayrıntılı olarak irdelediğimiz genel soruların yanıtlarına da yaklaştırabilmiş değil. Macar kimyacı Tibor Ganti, otuz beş yıl önce şu tespitte bulunduğunda sorunun farkına varmıştı: "Canlı sistemler başat olarak sistemi oluşturan maddelerden değil, özgün organizasyon biçimlerinden kaynaklanan özelliklere sahiptir."[49] Yaşamı eşsiz bir fenomen kılan, yaşamın *malzemesi* değil *organizasyonudur*.

Peki o zaman bu sorunlu meseleye –tüm canlılarla ilintili çok özel türden organizasyon meselesine– nasıl yaklaşacağız? Son yirmi-otuz yıldır yalnızca biyologlar değil, çeşitli bilim dallarından araştırmacılar, fizikçiler, kimyacılar, matematikçiler de soruna al-

ternatif yaklaşımları araştırıyorlar. Tutulan yollardan biri, fizikle biyolojinin zorunlu olarak farklı bilim felsefelerine dayandıklarını, dolayısıyla biyolojinin bağımsız olarak tanınıp işe koşulması gerektiğini savunmak oldu. Zira indirgemenin fizikle kimya arasında bir köprü kurulmasında onca başarılı olmasına ve cansızlar dünyasının anlaşılmasını sağlamasına karşın, ne oldukları açıkça belirtilmeyen bazı temel nedenler dolayısıyla biyolojinin fiziğe indirgenemeyeceğine inanılıyordu. Böl ve yönet! Nitekim bu düşünce tarzı –hızla büyüyen sistem biyolojisinin de işaret ettiği üzere– biyolojide bütüncü yaklaşımın gelişmesine yol açmış gibi görünüyor. Gelin bu yaklaşımı hem sağladığı yararlar hem de yetersizlikleriyle kısaca betimleyelim.

Tek tek moleküllerin yapı ve tepkinliklerine ve hücre içinde moleküler kümelere odaklı moleküler biyolojinin tersine, sistem biyolojisi bu hücre bileşenlerinin nasıl bir sistem halinde karşılıklı ilişki içinde olduğunu açıklar. Çünkü eninde sonunda biyolojik işlevden sorumlu olan, tek tek bileşenler değil bir bütün olarak sistemin kendisidir. Sistem yaklaşımının özünde şu inanç yatar: Sistemlerin birtakım genel özellikleri –en başta da ağ topolojileri– sistemin davranışını niteler ve bunları bilmek biyolojik içgörümüzü artırabilir.

Ne var ki sistem biyolojisi yaklaşımının da bir kurtuluş sağlamadığını gördük. Karmaşık sistemlerin davranışlarını yöneten genel kurallar henüz betimlenmiş değil ve her halükârda, bileşenlerin işlevselliğine yeterli dikkat gösterilmediği takdirde sistemin bütünü hakkındaki bilgi de zorunlu olarak sınırlı kalacak. 3. Bölüm'de bahsettiğimiz gibi, indirgeme ve bütüncülük kavramları birbirlerini dışlamak zorunda olmadıklarından, birçok bakımdan bütüncü yaklaşım süslü elbiseler giydirilmiş indirgemecilik olarak düşünülebilir. Bu belirsiz ve tatminkârlıktan uzak durum karşısında sistem biyolojisi, sistemin özelliklerinin indirgemeci bir yaklaşımla kolayca açıklanamadığı her durumda rutin olarak "ortaya çıkan yeni özellikler" kavramına sığınmıştır. Gelgelelim, bu terimin kullanılması iki yanı keskin bir kılıca benziyor. Açıklanamayan fenomenleri o koskoca karmaşıklık halısının altına süpürmek bir açıklama yanılgısı yaratıyor ki, bu da kendi başına bir sorun olabiliyor. Açıklan-

mayan bir fenomen, inandırıcı bir açıklama sunuluncaya kadar dikkat çekmeye devam edecektir. Ama açıklanamamış bir fenomen "ortaya çıkan yeni bir özellik" olarak sınıflandırıldığında, sanki açıklanmış, artık o fenomene kafa yormak gereksizmiş gibi algılanabilir. Ortaya çıkan yeni özelliklerin en dikkat çekicisi olan teleonominin fizikokimyasal temeline bilim camiasının neredeyse hiç ilgi göstermemesi başka nasıl açıklanabilir ki? Klasikleşmiş *Rastlantı ve Zorunluluk* adlı eserinde Jacques Monod, teleonomi sorununu "biyolojinin temel sorunu" sayıyordu.[10] Monod'nun sözleriyle: Nasıl olur da amaçsız bir evrenden amaçlı sistemler ortaya çıkabilir? Ama bu "temel soruna" gösterilen asgari ilgi, bilim camiasının bunu çözülmüş (ya da ilginç olmayan) bir sorun saydığını ve "ortaya çıkan yeni özellikler" açıklamasını kabullendiğini gösteriyor.

Biyoloji camiasının Monod'nun meydan okumasına ilgi göstermemesinin bir başka nedeni de sorusunun kulağa bilimselden ziyade felsefiymiş gibi gelmesi olabilir. Ama aldanmayalım. Amaç ve işlevin kendiliklerinden ortaya çıkmaları son derece önemli bir bilimsel soru ve çözümü de objektif, maddi dünyayı temsil eden kimyanın, teleonomik dünyayı temsil eden biyolojiyle bağ kurmasına yardım edecek. Özetlersek: Darwincilik biyoloji *içinde* bir birlik duygusu ortaya çıkardı; ama kendi içinde çok büyük değer taşıyan bu birliğin can sıkıcı sonucu, bu alanın kendini bağ kurmak zorunda olduğu temel bilimlerden giderek yalıtması oldu.

Şimdi de son yıllarda karmaşıklık denen çetin cevizi kırmak için tutulan, biri fiziksel öteki matematiksel iki yola kısaca bakalım ve günümüzdeki durumlarını gözden geçirelim. Soruna fiziksel yaklaşım, kasırgalar, girdaplar vb. fiziksel sistemlerin gözlemlenmesi sonucu ortaya çıktı. Bu gibi sistemlere ilişkin kuram –büyük ölçüde Belçikalı fiziksel kimyacı Ilya Prigogine'in 1950'ler ve 60'lardaki çalışmalarına atfedilir– dengesizlik termodinamiği[50] denen, biyolojiyle uğraşmayanlar için pek fazla bir şey ifade etmeyen, benim de ayrıntılı bir anlatımıyla okurları yormayacağım bir mekanizmayla açıklanır. Bahsetmeye değer temel nokta, belirli birtakım dengesiz fiziksel sistemlerle biyolojik sistemler arasında bir bağlantı bulunmuş olduğunun öne sürülmesidir. Biyolojik sistemlerin gizemlerin-

den birinin dengesiz karmaşıklıklarının doğal olarak nasıl ortaya çıktığı olduğunu hatırlayın. Ama banyo küvetini suyla doldurup gider kapağını çektiğinizde salt fiziksel açıdan ilginç bir şey meydana gelir. Kapak yerine takılıyken küvetteki su kütlesi kararlı durumdayken, kapağın çekilmesi –su kütlesi giderden akarak potansiyel enerjisini azaltabileceğinden– *kararsız* bir durum yaratır. Elbette su kütlesi bu kararsız duruma hemen tepki verir; potansiyel enerjisini azaltmak ve yeni bir denge durumuna ulaşmak için giderden akmaya başlar. Ama bunu yaparken de özel bir şey meydana gelir: Su kütlesi bir yapı oluşturur – yani bir girdap. *Dengesiz durum*, kendiliğinden *dengesiz bir yapı* oluşturmuştur. Başlangıçta herhangi bir yapısı olmayan su kütlesi, bir bakıma düzen kazanmıştır. Dengesizlik termodinamiğinin diliyle, başka fiziksel sistemlerde de görülen bu yapısal örüntüye *dağılan yapı* denir.

Bu fiziksel örüntü, dağılan yapılar ile canlı hücre arasında (yalnızca enerji açısından bakıldığında) bazı benzerlikler olduğu fikrini doğurmuştur. Bunların her ikisi de dengesiz, yani kararsızdır ve her ikisi de varlığını sürdürebilmek için sürekli enerji tüketmek zorunda olan dengesiz bir yapı yaratmıştır (küvet örneğinde enerji kaynağı, suyun giderden akıp gittikçe azalan potansiyel enerjisidir). Bir başka deyişle, yaşamın gizemlerinden birinin basit bir fiziksel çözümü olabileceği iddiası ortaya atılmıştır. Enerji tüketen açık bir sistem düzene yönlendirilebilir. Canlı bir hücrenin dengeden uzak organizasyonu, bir bakıma küvetteki suda ya da ısıtılan bir sıvı sütunundaki dengesiz düzeni taklit ediyormuş gibi düşünülebilir. Biyolojik organizasyonun gizemi en azından kısmen çözülmüş olabilir. Bu düşünceler 20-30 yıl kadar önce heyecanla tartışılsa da, fazla ayrıntısına girmeden yaklaşımın baştaki çekiciliğini büyük ölçüde yitirmiş olduğunu söylemek kâfi. Başlıca sorun, fiziksel ve biyolojik sistemler arasında kurulan bu basit bağlantının yararlı herhangi bir biyolojik kavrayış sağlamamış olmasıydı. Bir model ancak yeni bilgilere ulaştırır ve yeni öngörülerde bulunursa yarar sağlayabilir. Fakat Calgary Üniversitesi felsefecilerinden John Collier'ın birkaç yıl önce belirttiği gibi, dengesizlik termodinamiğinin yasalarının biyoloji için de (birkaç önemsiz örneğin ötesinde) geçerli olduğunu

gösteren bir kanıt yok.[51] Dengesizlik termodinamiği, biyolojik karmaşıklık için daha kapsamlı bir açıklama arayışında umulan açılımı sağlayamadı. Fizik temelli bir yaşam kuramına hâlâ ulaşabilmiş değiliz.

Bu noktada, karmaşıklığa matematiksel yaklaşım devreye giriyor. 1970 yılında Princeton Üniversitesi matematikçilerinden John Conway, Yaşam adını verdiği, ilginç içgörüler sunan bir oyun icat etti.[52] Oyun, üzerindeki her karenin ölü veya canlı sayıldığı (siyah kareler canlı, beyazlar ölü) iki boyutlu kare şeklinde bir damalı yüzey üzerine kurulu. Oyuna belli bir örüntüde canlı karelerle başlanıyor ve tanımlanan bir kurala göre her kareyi çevreleyen komşu sekiz kare, seçilen kural doğrultusunda siyah ya da beyaz yapılıyor. Kural sözgelimi ikiden az canlı komşuya sahip herhangi bir canlı hücrenin ölmesi (beyaza dönüşmesi), iki ya da üç canlı komşuya sahip bir canlı hücrenin canlı kalması (siyah kalması), üçten fazla canlı komşuya sahip canlı hücrenin ölmesi (beyaza dönüşmesi) ve tam olarak üç canlı komşuya sahip bir ölü hücrenin canlanması şeklinde olabilir. Süreç birçok kez tekrarlanarak baştaki örüntünün zaman içinde nasıl evrildiğine bakılıyor. Başlangıç örüntüsüne ve kurala bağlı olarak çok farklı örüntüler ortaya çıkabiliyor. Bazen örüntünün değişmediği de oluyor (örneğin canlı karelerden 2 x 2 kare bloğa yukarıdaki kurallar uygulandığında) ve bazen örüntü birkaç tur sonra kayboluyor; ama bazen de olağanüstü karmaşık örüntüler çıkıyor. Yaşam oyunu bize basit kuralların oldukça karmaşık örüntülere yol açabileceğini öğretiyor. Yaşam oyunundaki kurallar gerçek yaşam için geçerlilik taşımadığı halde, sırf karmaşık sistemlerin görece basit kuralların işlemesiyle ortaya çıkabileceği gerçeği bile kendi başına öğretici. Nitekim önümüzdeki bölümde gerçek yaşamın da basit bir kuralla yönetiliyor gibi göründüğünü göstereceğiz. Fakat bu kuralın anlaşılabilmesi için önce kendilerini kopyalayan basit sistemlerin özelliklerini irdelememiz gerekecek. Conway'in Yaşam oyunu bize genel olarak karmaşık sistemler hakkında ilginç içgörüler sunmuş olsa da, canlı sistemlerin özellikleriyle doğrudan ilgili içgörüler ortaya çıkmış gibi görünmüyor.

Yukarıdaki tartışmadan elde ettiğimiz önemli sonuçları bir özetleyelim: "Yaşamı anlamak" sorununun yalnızca yaşamın mekanizmaları hakkında daha çok bilgi biriktirmekten fazlasını gerektirdiğine değinmiştik. Yaşamın karmaşıklığını ve bu karmaşıklıkla ilintili *genel geçer* özellikleri açıklayabilmemiz gerekiyor ki, henüz bunu yapabilmekten uzağız. Yukarıda değindiğimiz dengesizlik termodinamiği, her ne kadar kendi içinde ilginç olsa da vardığı yer çıkmaz sokakmış gibi görünüyor. Biyologların yaşamın karmaşıklığını yeni yeni gelişen sistem biyolojisi aracılığıyla daha iyi anlama çabalarına gelince, bu yöntem için de jürinin kararı henüz belli değil. Ama işaretler, kısa sürede büyük açılımlar olmayacağı yönünde. Sistem biyolojisi yaklaşımı belli biyolojik sorunlara çözüm getirebilse de, yaklaşımın ortaya atılan daha büyük soruları çözümleyebileceğini gösteren herhangi bir ipucu bulunmuyor. Ve karmaşıklığa matematiksel açıdan yaklaşmak da, genel olarak karmaşıklıkla ilgili yeni içgörüler sunması anlamında eğitici olmuşsa da, biyolojik karmaşıklığa has o girift ağın çözülmesine önemli sayılabilecek bir katkıda bulunabilmiş değil. Peki bu durumda ne yapacağız? Önümüzdeki son iki bölümde kimyanın yeni ve hızla gelişen bir alanında kısa süre önce elde edilen olağanüstü sonuçların nasıl sonunda somut bazı yanıtlar sağlayabileceğini göstermeye çalışacağız.

7

Biyoloji Kimyadır

Sistem Kimyası İmdada Yetişiyor

Önceki tartışmamızda biyolojik karmaşıklığın kırılması gereken çetin bir ceviz olduğunu belirtmiştik. Öyleyse bu soruna yönelik yanıt arayışında indirgeme –asırlardır yüzümüzü kara çıkarmamış olan bu sınanmış bilimsel metodoloji– sınırlarına mı gelip dayandı? Yeni bir metodolojik yaklaşıma mı gereksinimiz var? Önde gelen birçok biyolog bu soruya olumlu yanıt veriyor. Benim yanıtımsa "hayır" olmaya devam ediyor. Bu bölümde bu görüşümün temelini açıklayacağım ve aslında ileriye doğru bir yol olduğunu, indirgemeci yaklaşımın genel bütüncül düzeyde biyolojiye başarılı biçimde *uygulanabileceğini* göstermeye çalışacağım. Biyolojiyle kimyayı ayıran uçurumun üzerine köprü kurulabileceğini, Darwinci kuramın maddenin daha genel kimyasal bir kuramına entegre edilebileceğini, biyolojinin kimyadan başka bir şey olmadığını, daha somut olmak gerekirse kimyanın bir alt dalı, kopyalanma kimyası olduğunu göstermeye çalışacağım. Biyolojide indirgemeci metodolojiyle ilgili yaygın olarak dile getirilen endişelere karşın, organizasyon sorunu indirgemeci bir analizle çözümlenebilir.

4. Bölüm'de, son yıllarda kimyanın görece yeni bir dalının, sistem kimyasının şekillendiğini belirtmiştim. Bu yeni alan, biyolojik organizasyonun kimyasal köklerini araştırmanın bir ürünü olarak

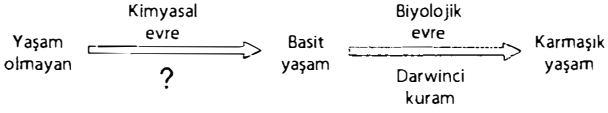
ortaya çıktı. Adını da daha ünlü olan kuzeni sistem biyolojisinden çaldı. Biyolojiyi kopyalanma ya da üreme becerisine sahip yüksek karmaşıklık düzeyindeki kimyasal sistemleri inceleyen çalışma alanı olarak düşünürsek, sistem kimyası da (veya en azından temel veçheleri) yine o özel kendini kopyalama becerisine sahip görece *basit* kimyasal sistemlerle uğraşır ve bunu yaparken de kimya ile biyolojiyi ayıran uçurum gibi boşluğu doldurmaya çalışır. Yaşamın karmaşıklığıyla başa çıkma çabasında "yukarıdan aşağıya" bir yaklaşım benimseyen sistem biyolojisinin tersine, sistem kimyası meseleyi "aşağıdan yukarıya" doğru ele alır. Yukarıdan-aşağıya yaklaşım işe eldekiyle başlar ve oradan aşağıya doğru giderek parçaların bütüne nasıl katkı yaptıklarını anlamaya çalışır. Aşağıdan-yukarıya yaklaşımsa ters yönde işler: Varsayılan bir başlangıçtan yola çıkarak yukarıya doğru ilerler. Yaşam bağlamında bunun anlamı, yaşamın karmaşıklığına, basit bir varlıktan başlayarak aşağıdan yukarıya doğru karmaşıklığın adım adım nasıl oluştuğunu inceleyerek yaklaşmak demektir. O halde sistem kimyasının karşısındaki zorluk, görece basit bir kimyasal sistemden, günümüz biyolojisini temsil eden oldukça karmaşık sistemlere doğru karmaşıklaşma sürecini yöneten kuralları –varsa şayet– belirlemektir.

Aşağıdan-yukarıya yaklaşımı destekleyen faktörlere değinelim. Birincisi, yaşamın başlangıcının cansız maddeden kaynaklandığının, yani yaşamın yaşam olmayandan çıktığının varsayıldığını görmüştük. Buradan, yaşamın başlangıçta basit olduğu ve uzun bir süre boyunca adım adım karmaşıklaştığı sonucu çıkar. Bu ise aşağıdan-yukarıya yaklaşım modeline güçlü bir avantaj sağlar. Aşağıdan yukarıya giden yol yalnızca kavramsal bir öneri, bir düşünce deneyi değil, gerçek bir kimyasal sistemin izlediği gerçek bir yoldur. Birkaç milyar yıl önce kimliği belirsiz ama düşük karmaşıklıkta olan ve kendini kopyalayabilen bir sistemin yüksek karmaşıklığa doğru uzun ve dolambaçlı bir yola çıkmış ve giderek karmaşıklaşan bu tarihsel yolun sonunda kimya dünyasından biyoloji dünyasına ulaşmış olması artık gitgide daha olası görülüyor. Oldukça iyi tanımlanmış bir karmaşıklaşma sürecinin belirlenebileceği gerçeği, bu süreç için bir *itici güç* olabileceğini akla getirdiğinden, amaçlarımızdan

biri de onu belirlemek ve doğasını keşfetmek olacak. Söz konusu karmaşıklaşma süreci fiziksel terimlerle anlaşılabilir mi?

İkincisi, eğer yaşam basitten yola çıktıysa, o zaman yaşamın temel doğasının daha önceki, yani *daha basit* prototiplerin incelenmesiyle daha iyi anlaşılabileceği fikri mantığa uygun görünüyor. Bir benzetmeyle bunu daha iyi açıklayabiliriz. Bir uçağın ne olduğunu ve bu modern devlerin havalanabilmelerinin altında yatan ilkeleri anlamak istiyorsak, tam donanımlı bir Boeing 747'yi incelemek, tutulacak en verimli yol olmayacaktır. Bir Boeing 747, 6 milyon ayrı parçadan ve 200 kilometre uzunluğunda kablodan oluşmuş muazzam karmaşıklıkta bir yapıdır ve bu yapının uçma yeteneğinin temelini ortaya çıkarmak, üstesinden gelinemeyecek kadar güç olacaktır. Ayrıca bu parçalardan bazıları, örneğin yolcuların izlediği televizyon ekranları, hostes çağırma düğmeleri, yemeklerin ısıtıldığı fırınlar vb. de uçma yeteneğiyle pek ilintili olmayacaktır. O halde nereden başlamalı? Eğer bir uçağın ne olduğunu anlamak ve uçuşunu yöneten ilkeleri kavramak istiyorsanız, daha önce yapılmış daha basit bir uçağı, örneğin Wright kardeşlerin 1903'te yaptıkları prototip ya da başka bir basit dengi gibi, parçalarının sayısı Boeing'inkinin küçük bir kesiri olan ve her parçası o cismin havalanabilmesinde kritik olmasa bile en azından çok önemli bir rol oynayan bir uçağı incelemekle çok daha iyi edersiniz. Sistem kimyasının işin içine girdiği yer de tam burası: Kendini kopyalayabilen basit sistemlerin ve oluşturdukları ağların işleyişini inceleyerek, Boeing 747 yerine Wright kardeşlerin uçağını incelemekle aynı şeyi yapmaya çalışıyoruz.

Elbette yaşam sorununun çözümüne aşağıdan-yukarıya yaklaşım, yaşamın basit başlangıçlardan yola çıktığını ve o basit başlangıçtan bir karmaşıklaşma sürecinin gerçekleştiğini varsayar. 5. Bölüm'de değinildiği gibi, yaygın kabul gören bir görüş bu. Yoğun tartışmaların konusu olmayı sürdürense, sürecin gerçekleşip gerçekleşmediğinden ziyade nasıl olduğu. Ama birazdan göreceğimiz gibi, gelişmekte olan sistem kimyası bu varsayım için deneysel destek de sunacak. Dolayısıyla bu bölümün hedefi oldukça iddialı: Sistem kimyası alanındaki çalışmaların canlı ve cansız sistemlerin pürüz-



Şekil 6. Yaşam olmayanın karmaşık yaşama iki evreli (kimyasal ve biyolojik) dönüşümü.

süz bir şekilde iç içe geçmelerini sağlayabileceğini göstermek ve böylece kimya ve biyoloji için birleştirici bir çerçeve sunmak. Böyle bir birleşme, biyolojiyi daha geniş bir kimyasal içeriğe oturtacağından hayli değer taşıyacaktır. Hatta başarılı olması durumunda bu çaba, canlı sistemler için biyolojik değil kimyasal terimlerle bir tanım getirebileceği için "Yaşam nedir?" sorusuna temel yanıtlar sağlayabilir. Dolayısıyla, biyolojik sistemlere uygulanmasıyla ilgili olarak indirgemeci metodolojiye son zamanlarda yöneltilen kuşkulara karşın biyolojide indirgemenin "yaşam dolu" olduğunu göstermeye çalışacağız. Bunun kayda değer bir getirisi de, sistem kimyasının cansız maddenin biyoloji yönünde yaşama doğru karmaşıklaşabilmesini sağlayan *ilkeleri* ortaya çıkararak yaşamın kökeni sorununa –en azından *tarihdışı* bağlamda– ışık tutabileceğinin gösterilmesi olacak.

O halde tartışmamıza yaşam olmayanın yaşama dönüşmesiyle ilgili geleneksel görüşle başlayalım. Bu, Şekil 6'da görüldüğü gibi iki aşamalı bir süreçle temsil edilebilir.

Birinci yani kimyasal evre (yaşamın yaşam olmayandan ortaya çıktığı süreç anlamında "abiyogenesis" denir), bitmek bilmeyen tartışmalara konu olmayı sürdürüyor. Şekil 6 bağlamında basit bir yaşam formu, sistemin pek çok kişinin canlı varlıkların en önemli özelliği saydığı kendini kopyalama ve evrimini sürdürme becerisine sahip olacağı anlamına geliyor. Nitekim o kritik noktaya geldiğinde sistem, doğası bakımından biyolojik sayılacak ve ardından daha karmaşık yaşama (tekhücreli ökaryotlara ve çokhücreli organizmalara) dönüşümü de bundan yalnızca 150 yıl önce ortaya atılmış olan o muazzam kuram –Darwinci evrim– tarafından yönetilecektir. Anlayacağınız, geleneksel bakışa göre ilki hayli tartışmalı ve belirsiz,

ikincisiyse en azından bilim çevrelerinde genel anlamda doğruluğu kuşku götürmeyen iki evreli bir süreç söz konusu.

Şimdi de izin verin, en azından biyoloji alanında çok kişiyi etkileyecek bombayı patlatayım. İki evreli denen süreç hiç de öyle iki evreli falan değil. *Kesintisiz, tek bir süreç*. Doğruysa, bu beyanın çok önemli sonuçları vardır. Öncelikle, Darwin'in –formülasyonu ve uygulanışıyla biyolojik olan– kuramı içinde daha temel ve daha kapsamlı bir ilkenin işbaşında olması gerektiği anlamına gelir bu: zorunlu olarak prebiyotik (yani tanımları gereği cansız) sistemleri içine alan bir ilke. Bu bölümde tek süreç varsayımını savunmaya ve bazı içerimlerini irdelemeye çalışacağım.

Şekil 6'da gösterilen süreç şimdiye kadar neden iki evreli bir süreç sayıldı? Açık sözlü olmak gerekirse, cahilliğimizden! Bir aşamanın mekanizmasını bilirken ötekininkini bilememek aşikâr bir bölünme noktasına ve doğal olarak da ayrı sınıflandırmaya götürür. Gelgelelim cehalet sınıflandırma için yararlı bir temel olmadığından, abiyogenesis ve biyolojik evrimin aslında tek bir kesintisiz süreç olduğu iddiasının içini doldurmaya çalışacağım. "Kesintisiz süreç" tabirini genel bir çerçevede kullanmıyorum. Prebiyotik bir varlık bilinmeyen bir mekanizmayla basit bir canlıya dönüşmüş ve ardından da evrilip olağanüstü genişlikteki bir yelpazede canlı türlerine çeşitlenmişse, o zaman baştaki prebiyotik süreç her ne idiyse, en azından zamansal açıdan biyolojik aşamayla devam etmiş olduğu düşünülebilir. Ama dediğim gibi ben bunu genel değil *özgül* bir çerçevede söylüyorum; basit canlı varlığa ulaştıran kimyasal süreçle, işi oradan devralarak sürdüren biyolojik sürecin kimyasal açıdan kesintisiz tek bir süreç olduğunu öne sürüyorum. Nitekim sistem kimyasındaki son çalışmalar da bize tam olarak bunu söylüyor. Deneysel kanıtları şöyle bir gözden geçirelim.

4. Bölüm'de 1960'larda Sol Spiegelman'ın gerçekleştirdiği bir tepkimeyi, RNA molekülünün moleküler kopyalanma tepkimesini anlatmıştım. Bu moleküler kopyalanmanın kimyasal bir gerçek olduğunu ve yalnızca bir hücrenin üst düzeyde organize ortamında değil bir deney tüpünde de gerçekleşebileceğini görmüştük. Ama hatırlayın: Spiegelman ayrıca kopyalanan RNA molekülleri popü-

lasyonunun evrilebileceğini de keşfetmişti.[27] Zaman geçtikçe başlangıçta uzun zincirli olan RNA molekülü daha kısa RNA zincirlerine evriliyordu. Daha hızlı kopyalanan kısa RNA molekülleri daha hızlı çoğalıp sonunda uzunların soyunun tükenmesine yol açıyordu. Böylece biyoloji dünyasında doğal seçilim denen sürecin kimya dünyasında da işlediği görülmüş oldu. Sonuç hayli önemlidir. Normal olarak biyoloji dünyasıyla ilintilendirilen, hatta aslında biyolojinin "olmazsa olmazı" sayılan kopyalanma-mutasyon-seçilim-evrim biçimindeki nedensellik akışı, kimyasal düzeyde de açıkça belirgindir. Dönüm noktası niteliğindeki bu çalışma 40 yıl önce yapıldı ve o zamandan bu yana moleküler evrim fenomeni (moleküler düzeyde evrim benzeri davranış) giderek artan araştırmacı tarafından gözlemlenmiş bulunuyor. Dolayısıyla moleküler düzeyde kendilerini kopyalayan varlıkları kapsayan evrimsel süreçler artık gereğince belgelenmiş durumda ve deneysel olarak da tartışmalı değil.

Ancak kimya-biyoloji bağıntısı bundan çok daha derine iniyor. Biyolojinin iyi bilinen bir kolu olan ekoloji, kimyayla ilgisizmiş gibi görünebilir. Oysa Scripps şirketinin tanınmış biyokimyacısı Gerald Joyce'un 2009 yılında belirtmiş olduğu gibi ikisi arasında yakın bir bağ vardır.[53] Ekolojinin *rekabetçi dışlama ilkesi* denen önemli bir ilkesi şöyle der: "Tam rekabetçiler varolamazlar" – ya da daha olumlu bir ifadeyle, "Ekolojik farklılaşma, birlikte yaşamanın zorunlu koşuludur."[54] Bu ilke ise bize şunu öğretir: Aynı ekolojik kovuğu (niş) işgal eden ve birbiriyle çiftleşmeyen iki tür (kısacası aynı kaynaklar için rekabet eden iki tür) bir arada yaşayamaz; o nişe daha iyi uyum sağlamış olan, ötekinin soyunun tükenmesine yol açar. Ama iki tür farklı kaynaklardan besleniyorlarsa birlikte yaşam elbette mümkündür. Bu basit ekolojik ilkenin klasik kanıtı, evrim kuramının en bilinen örneklerinden olan Darwin'in ispinozlarında gözlenen değişimdir. Darwin'in 1835 yılında ziyaret ettiği Galapagos Adaları'nda, gagalarının boyutları ve şekilleriyle birbirlerinden ayrılan ispinoz çeşitleri bulabilirsiniz. Hepsi ortak bir atadan gelen bu farklı ispinoz çeşitleri, mevcut kaynaklardan daha etkili yararlanabilmek için zaman içinde evrilmiştir. Bu süreçte ispinozların bir

çeşidi (yer ispinozları) ceviz ve sert tohumları kırmakta etkili güçlü gagalar geliştirirken, bir başka çeşidi (ağaç ispinozları) böcekleri yemeye uyarlanmış keskin, sivri uçlu gagalar geliştirmiştir. Neticede bu farklı ispinoz çeşitlerinin her biri farklı bir kaynaktan beslenmeye uyum sağladığı için bir arada yaşayabilir ve bu bağlamda rekabetçi dışlama ilkesine iyi bir örnek oluştururlar.

Kimya-biyoloji ilişkisinin devreye girdiği yer de işte burasıdır. Gerald Joyce, bu özünde tümüyle biyolojik olan ilkenin kimyada da geçerli olduğunu keşfetti.[53] Joyce, gerekli bir substratın (bir organizmanın doğal ortamı ya da üzerine tutunup geliştiği yüzey) varlığında kendilerini kopyalamaya ve evrilmeye bırakılan iki farklı RNA molekülünün (RNA-1 ve RNA-2 diyelim) birlikte varolamadıklarını gördü. O substratta daha etkin bir kopyalayıcı olduğu görülen RNA-1, sonuçta RNA-2'nin varlığına son vermişti. RNA-2'nin daha etkili biçimde yararlandığı bir substrat kulanıldığındaysa sonuç tersine döndü. RNA-2 yeni substratın varlığında kendini daha çok kopyaladığından, bu kez ortadan kalkan RNA-1 oldu. Bu kimyasal sonuçlar biyolojik rekabetçi dışlama etkisinin öngörüleriyle tam olarak örtüşüyor. Kendini kopyalayan moleküllerin her ikisi de kopyalanmak için farklı bir substrata gereksinim duyduklarından, iki molekül bir arada varolamıyordu. Daha hızlı kopyalanan (daha iyi uyum sağlayan) daha yavaş olanı ortamdan siliyordu.

Ama ardından daha ilginç ve kayda değer bir sonuç gelecekti: İki RNA molekülü *bir* değil *beş* farklı substratın olduğu bir ortamda kendilerini kopyalayıp evrilmeye bırakıldıklarında, iki RNA bir arada varlıklarını *sürdürebildiler* – ama beklenmedik bir şekilde. Başlangıçta iki RNA molekülü de değişen ölçülerde her beş substrattan da yararlandı. Çünkü beşi de mevcuttu ve dolayısıyla hepsinden de belli miktarda yararlanılabilirdi. Ama şimdi canalıcı noktaya gelelim: Zaman içinde RNA moleküllerinin her biri kendini kopyalama becerisini farklı substratlarla optimize edecek şekilde evrildi. RNA-1 kopyalanma becerisini beş substrattan yalnızca biriyle optimize edecek şekilde evrilirken, RNA-2 de bu beş substrattan başka biriyle kopyalanma becerisini optimize edecek yönde evrildi. Sonuçta iki RNA artık birlikte varolabiliyordu.

Kopyalanma becerisi olan rekabet halindeki moleküllerin özelliklerini araştıran bu iyi kurgulanmış deneyde, iki RNA molekülünün tam olarak Darwin'in ispinozlarının davranışını taklit ettikleri görüldü. Tıpkı Darwin'in ispinozlarının gagalarının boyut ve biçimlerini kaynağın özelliğine göre evrimleştirdikleri gibi, her molekül belli bir substratı etkin biçimde kullanmak üzere evrilmişti. Kendini kopyalayabilen moleküllerin biyolojik molekülleri taklit ettiği (aslında tam tersi doğru, çünkü kendini kopyalayabilen moleküller biyolojik olanlardan önce ortaya çıktı) olağanüstü önemdeki bu sonuç, güçlü bir kimyasal-biyolojik bağıntı için açık ve sağlam bir kanıt oluşturuyor. Darwin'in ispinozlarının yaptığı, bazı moleküllerin milyarlarca yıl önce yapmaya başladıklarından başka bir şey değil.

Son olarak, yalnızca biyolojik sistemlerde bulunan özel türden karmaşıklaşmanın kimyasal düzeyde de görülebildiğini ve böylece kimyasal ve biyolojik kopyalanma süreçleri arasında yeni bir bağ daha oluşturduğunu göstermek istiyorum. Karmaşıklığın biyolojinin özü olduğunu daha önce görmüştük. Aslında evrimsel bir zaman çerçevesinde karmaşıklığın görece basit sistemlerden daha karmaşık olanlara doğru sürekli arttığı oldukça açıktır. Belki de 4 milyar yıl önce ortaya çıkan ilk yaşam formları, prokaryot denen (çekirdekleri ve organelleri olmayan) basit hücrelerdi. Ama 2 milyar yıllık yeni bir evrim aşamasının ardından, hücre çekirdeği de dahil olmak üzere zarla çevrili organellerin bulunabileceği ökaryotik hücreler ortaya çıktı. Ve günümüzden 600 milyon yıl önce de, daha ileri karmaşıklıktaki çokhücreli organizmaları (bitkiler ve hayvanlar) ortaya çıkaran evrimsel geçiş gerçekleşti.[55] Dolayısıyla bu konudaki kanıtlar kuşkuya açık değildir. Evrimsel zaman çerçevesinde karmaşıklığın artması yolunda açık bir eğilim olmuştur (ama tabii yalnızca yaşamın küçük bir altbölümü olan çokhücreli ökaryotlarda; yaşamın çok büyük kısmını oluşturan bakteri ve arkelerse, hallerinden memnun, basit kalmıştır). O halde Şekil 6'nın biyolojik evresi diye etiketlediğimiz bölgesinde artan karmaşıklık sürecinin işlediğine dair su götürmeyen kanıtlar vardır.

Peki Şekil 6'nın kimyasal evresi için ne söyleyebiliriz? Tarihsel ayrıntılar açısından, neredeyse hiçbir şey! Ama dönüşümün özü ol-

dukça nettir. Cansız ve görece basit diye tanımlayacağımız bir moleküler sistem, bir şekilde hayli karmaşık bir canlı hücreye dönüşmüştür ki, bunun anlamı gerçekleşen sürecin giderek artan karmaşıklıkta olmasıdır. Daha önce işaret etmiş olduğumuz gibi, en basit canlı varlık bile hayli karmaşıktır. Bir başka deyişle, *Şekil 6'nın hem kimyasal hem de biyolojik evreleri, kesintisiz bir karmaşıklaşma süreci içerir*. Fakat bu aşikâr karmaşıklaşma süreci kimyasal düzeyde nasıl anlaşılabilir?

5. Bölüm'de ayrıntılı biçimde gördüğümüz gibi, baştaki o prebiyotik dönem hakkında doğrudan bir bilgiye sahip değiliz. Ama o erken dönemle ilgili olarak güvenle söyleyebileceğimiz bir şey var ki o da şu: Kimyanın davranışı geçmiş birkaç milyar yıl içinde değişmediğinden, bugün doğru türden kimyayla çalışmak bizi milyarlarca yıl önce olan bitenler konusunda aydınlatabilir. Doğru türden kimyaysa, sistem kimyasıdır; yani kendilerini kopyalayabilen moleküllerin kimyasal tepkimeleri ve oluşturdukları ağlar.[29, 56] Böyle çalışmalar bize kendini kopyalayabilen prebiyotik varlıkların, o ilk karmaşıklaşma süreci de dahil olmak üzere girmiş olabilecekleri tepkimeler hakkında bilgi sunabilir.

Peki, kendilerini kopyalayabilen basit kimyasallar hakkında ne öğrendik? Öncelikle, tek tek moleküllerin kendilerini kopyalamalarını sağlamak güçtür. Hatta kendini kopyalayabildiği söylenen moleküllerin, işlerin yürümesine *yardımcı olmak* üzere biyolojik materyaller eklenmeden kopyalanma işlemine başlamalarını sağlamanın zorluğu, yaşamın ortaya çıkışında "önce kopyalanma" senaryosuna yöneltilen eleştirilerin en güçlülerinden biri sayılmıştır. Ama gelin Joyce'un laboratuvarında bu yakınlarda elde edilen bazı aydınlatıcı sonuçlara bakalım. Gerald Joyce, enzim yardımı olmaksızın kendi kopyalarını yapabilen bir RNA molekülü ortaya koymayı başardı. Söz konusu tepkimede kendini kopyalayabilen ve A ve B diyeceğimiz iki RNA parçasından oluşan bir RNA molekülü (adına T diyelim), 4. Bölüm'de etraflıca anlatılan şablon mekanizmasıyla bir kopyalanma tepkimesi geçirdi. Bir şablon görevi yapan RNA molekülü T, ortamda yüzen parça cisimler A ve B'nin geçici olarak kendisine yapışarak birbirlerine bağlanmasını ve böylece yeni bir T

molekülü yaratmasını sağladı. Sonuçta tek bir T molekülü, kendisini oluşturan A ve B parçalarının çözeltide hazır bekleyen eşlerini birleşmeye yönelterek kendi kopyalarını üretmiş oldu.[57]

Bu kopyalanma tepkimesi her ne kadar gerçekleşebiliyorsa da, etkinliği son derece düşüktü. Bir kere çok yavaştı. Bir RNA örnekleniminin sayısının ikiye katlanması 17 saati buluyordu. Ama yavaşlık tek sorun değildi. Şunun şurasında 17 saat, milyar yıllık sürelerle karşılaştırıldığında nedir ki? Ek bir sorun, kopyalanma tepkimesinin iki tur sonra (bazı yan tepkimeler nedeniyle) duruvermesi, dolayısıyla da yeni kopyalanmalar için yeni hammadde (yani daha fazla A ve B) takviyesiyle bile tepkimeyi devam ettirmenin mümkün olmamasıydı. Ama şimdi gelelim ilginç olan bulguya: Joyce kendini kopyalayabilen tek RNA molekülü yerine titiz bir elemeyle belirlediği *iki* farklı RNA molekülünden oluşan bir sistemle işe başladığında, tepkime hızla ilerliyor (baştaki örneklemin ikiye katlanması yalnızca 1 saat alıyordu) ve yapıtaşları yeterli sayıda mevcutsa tepkime sürüp gidiyordu. Ama bu nasıl olur? Farkın nedeni nedir?

İsterseniz önce neyin olmadığını açıklayarak başlayalım. İki moleküllü RNA sisteminde her bir molekül kendi kopyalarını *yapmıyordu.* Bunun yerine moleküllerden biri diğerinin, diğeri de ilkinin oluşmasını tetikliyordu. Kimyada buna çapraz katalizasyon deriz; bu örnekte de her RNA molekülü diğerinin oluşumunu katalize ediyordu. Demek ki daha karmaşık olan sistem kendini kopyalar, ama daha karmaşık bir biçimde: Sistemin bileşenlerinin kendi başlarına kopyalanmasından ziyade, sistem bir bütün olarak kendini kopyalar. Bu özellik önemlidir, çünkü bütüncül kopyalanma biyolojide kaidedir. Hücrelerin kendilerini kopyaladıklarında yaptıkları da budur: hücrenin içindeki her parçanın kendini kopyalamasından ziyade bir bütün olarak sistemin kendi kopyasını oluşturması. Peki bu sonucun önemi nedir? Basitçe şu: Kendini kopyalayabilen basit bir varlığın ancak *verimsiz biçimde* yapabildiği bir işi, daha karmaşık bir varlık *daha verimli* biçimde yapabilir.

Öte yandan "sen benim sırtımı kaşırsan ben de seninkini kaşırım" pazarlığının bu kimyasal karşılığı, kendi içinde faydalı olan bir karşılıklı yardımlaşmanın ötesine geçer. Daha derin anlamı, kendi

başıma doğru dürüst beceremediğim bir şeyi, işbirliği yoluyla daha iyi yapabildiğimdir. İşbirliği karşılıklı kazanç demektir. İşbirliğinin biyoloji dünyasında yaygın olması boşuna değildir; biyologlar buna simbiyoz derler. Bu fenomeni nereye baksanız görebilirsiniz. O halde Gerald Joyce'un keşfettiği şeyin önemi büyüktür. Kimyanın ve biyolojinin sıkı sıkıya bağlı olduğuna bir kanıt sunmuştur. Bir *moleküler karmaşıklaşma* süreci, gelişmiş bir kendini kopyalama becerisi kazandırmıştır.

Şekil 6'ya yeniden bir göz atalım, çünkü şimdi yeni bir önem kazanıyor. Yukarıda anlattıklarımız, karmaşıklığın hem moleküler kopyalanma evresini hem de biyolojik kopyalanma evresini kolaylaştırdığına işaret ediyordu. Aslında evrimsel bir zaman çerçevesinde düşünüldüğünde, tüm sürecin bir karmaşıklaşma süreci olduğu görülüyor. İki evre arasındaki temel fark, kimyasal evre olan birincisinin *düşük karmaşıklıktaki* evre, biyolojik olarak adlandırılan ikinci evreninse *yüksek karmaşıklıktaki* evre olmasıdır. Çıkarılacak sonuç oldukça açıktır: Temelde bir ağ oluşturulmasıyla ortaya çıkan karmaşıklaşma, kendini kopyalayabilen *daha basit kimyasal* varlıkların, *daha karmaşık biyolojik* varlıklara dönüşmesinin *mekanizmasıdır*. Aslında karmaşıklaşmanın evrimde anahtar bir süreç olduğunun kabulü bizi şaşırtıcı bir sonuca götürür: evrime yol açan nedensel akışın değiştirilmesi gerektiği sonucuna. Biyolojide evrim normal olarak şu nedensel akışla ilişkilendirilir: *kopyalanma, mutasyon, seçilim, evrim.* Ama şimdi görüyoruz ki, bu akışta önemli bir basamak atlanmıştır. Eksik basamak, karmaşıklaşmadır. Dolayısıyla akış şu şekilde yeniden düzenlenmelidir: *kopyalanma, mutasyon, karmaşıklaşma, seçilim, evrim.* Ve bu akış hem kimyasal hem de biyolojik evreler için geçerlidir.

Burada açıklayıcı birkaç söz uygun olacak. Önceki tartışmamız evrim sürecinin yalnızca karmaşıklaşmaya dayandığını akla getirebilir ki, böyle bir şeyin söz konusu olmadığı açıktır. Belli durumlarda evrimin bir *basitleşme* süreci izlediği bilinen bir gerçektir. Özellikle biyoloji bunun birçok örneğiyle doludur – mesela yaşamını mağarada geçirdiğinden karanlıkta yaşamaya uyum sağlayarak görme yetisini yitiren çekirge ve mağara balıkları gibi hayvanlar. Ama

dikkat çekici bir şekilde, kimyasal sistemlerde de tam olarak aynı basitleşme süreci gözlemlenebilir. Spiegelman'ın, kısa zincirler daha hızlı kopyalandığı için RNA zincirlerinin kısaldığı moleküler evrim deneylerini hatırlayın.[27] Bu klasik çalışma bize basitleşmenin *kimyasal* bir örneğini sunar. Tıpkı mağara balıklarının karanlık mağaralarda görme yeteneklerini yitirmeleri gibi, (Spiegelman'ın Qß virüsünden çıkardığı) RNA zincirleri de virüs genomunun yapay kaynaklarca zengin deney tüpü ortamında işe yaramayan parçalarını atar. Biyolojk *ve* kimyasal evrimin ikisinde de bir basitleşme sürecinin varlığı, kimya-biyoloji bağını daha da güçlendirdiği gibi Şekil 6'daki evrim sürecinin birliğini destekleyen ek bir kanıttır. Ama konumuza dönecek olursak, bu iyi belgelenmiş basitleşme örneklerine karşın, karmaşıklaşmanın hem kimya hem de biyoloji dünyasında temel eğilim olduğu açıktır.

Yukarıda sözü edilen deneylerin ve dile getirilen görüşlerin ışığında umarız ki, okur abiyogenesis ve evrim süreçlerinin aslında iki ayrı mekanizmayla yönetilen farklı iki süreç değil, tek bir mekanizmayla yönetilen tek bir fizikokimyasal süreç olduğu hususunda ikna olmuştur. Bu içgörü hem kimya hem de biyoloji çerçevesinde başka birçok konuyu anlamamızı sağladığı için son derece önemlidir. Eğer vardığımız sonuç doğruysa bunun anlamı şudur: Kimyasal evreden edineceğimiz bilgileri, biyolojik evreyi daha iyi anlamak için kullanabiliriz ve 150 yıllık Darwinci evrim araştırmalarından sağlanan bilgilerden de kimyasal evreyle ilgili daha geniş bilgi edinmek için yararlanabiliriz. İşte size çifte kazanç! Ama bunun da ötesinde, bu birleşme bize kimya ve biyolojinin tek bir alan olduğunu, bunları birleştiren kesintisiz bir karmaşıklaşma skalasının bulunduğunu ve biyolojinin yalnızca kopyalanma kimyasının ayrıntılı bir uzantısı olduğunu söylüyor. İlginç bir şekilde, önsözde de belirtildiği gibi Darwin o büyük dehasıyla, abiyogenesis ve biyolojik evrimin altında yatan ve onları yöneten bir ilkenin varlığını öngörmüştü. Ama yetenekli sistem kimyacılarının son yirmi-otuz yıldır yürüttüğü esinlendirici çalışmalar sayesinde artık genel bir yaşam ilkesi hakkında spekülasyon yapmak zorunda değiliz. Yaşam ilkesi artık kesin veriler temelinde oluşturulabilir.

Peki, kimya ve biyolojinin iç içe geçmesi bize ne gibi yeni bilgiler kazandırır? Bu soruyu yanıtlamadan önce, bu kavramsal birleşmeden tam olarak yararlanabilmek için şimdi Şekil 6'yı yeniden yazmak zorundayız. Geleneksel olarak, kimyasal olan ilk evre kimyasal terimlerle, ikinci biyolojik evre de biyolojik terimlerle betimlenir. Yani her süreç kendi dilinde. Ama yurtdışı yolculuklarımızdan bildiğimiz gibi, taraflar birbirlerinin dilini bilmezlerse iki ayrı dilde sürdürülen bir diyalog fazlaca yararlı olmaz. Yanlış anlamalar alır başını gider. Burada da kesintisiz tek bir sürecin sağlayacağı daha derin çıkarımlardan yararlanabilmemiz için iki evrenin tek bir dille betimlenmesi gerekir. Peki ama hangisiyle – kimyanın dili mi, yoksa biyolojininki mi? Yanıt açık: Kimyasal ve biyolojik evresiyle tüm sürecin kimyanın diliyle anlatılması gerekir. Nedenini açıklayayım.

Önceki bölümlerden birinde (3. Bölüm), bilimde anlamanın nasıl hiyerarşik düzeylerde gerçekleştiğini açıklamıştım. Daha üst düzey bir karmaşıklığa sahip olan fenomenler, normalde daha alttaki bir düzeyle ilintilendirilen bilimsel ilkeler temelinde açıklanır. Dolayısıyla geleneksel olarak biyolojik fenomenleri kimyasal terimlerle, kimyasal fenomenleri de fiziksel terimlerle açıklarız; öteki türlü değil. Steven Weinberg'in sözünü hatırlayın: "Açıklayıcı oklar hep aşağıya doğrudur."[24] Bu noktayı iyice anlamak ve açıklamanın bu hiyerarşik veçhesinin ne kadar önemli olduğunu görmek için iki bilim dalını, kimya ile psikolojiyi ve bunların nasıl ilintilendirilebileceğini düşünelim. Diyelim ki elinizde ilginç bir psikolojik fenomen var ve bunu moleküler terimlerle açıklamak istiyorsunuz. Bilimsel açıdan bu kabul edilebilir bir yöntemdir. Örneğin şizofreni için moleküler bir açıklama bulursanız bunun ilgi çekeceği kesindir. Büyük olasılıkla ilaç şirketleri kapınıza dizilecektir. Buna karşılık birisi kalkıp da tersinden giderek *moleküler* bir fenomeni *psikolojik* terimlerle açıklamaya çalışırsa, çabası ancak alayla karşılanacaktır. Şizofren moleküller? Nevrotik moleküller? Olacak şey değil! O halde mesaj açıktır: Doğasında kimyasal olan fenomenleri biyolojik terimlerle (uygunluk, doğal seçilim, uyum gücü, en iyi uyum sağlayanın hayatta kalması, işbirliği, bilgi vb.) açıklama güdüsüne ka-

rarlı biçimde direnmeliyiz. Kimyasal tepkinlikle ilgili herhangi bir kimya metnini açtığınızda bu biyolojik ifadelerin hiçbirini orada bulamazsınız. Kimya daha temel bir bilim olduğundan kimyasal olaylar kimyasal (ve fiziksel) terimlerle açıklanır. Bu temelde Şekil 6'nın tek bir bilim alanının terimleriyle yeniden yorumlanması, seçilecek alanın daha üst düzeydeki biyoloji değil daha alt düzeydeki kimya olması gerektiğini açıkça gösterir. O zaman biz de öyle yapalım: Şekil 6'nın kısmen kimyasal kısmen biyolojik olan sürecini yalnızca kimya terimleriyle yeniden yorumlayalım.

Doğal Seçilim Kinetik Seçilimdir

4. Bölüm'de anlatıldığı gibi, kendilerini kopyalayabilen birçok molekül, kendilerini oluşturan moleküler yapıtaşlarıyla karıştırıldığında, tıpkı sınırlı bir yiyecek kaynağı için rekabet eden biyolojik varlıklar gibi birbirleriyle rekabete girerler. Ama –yukarıda açıkladığımız gibi– rekabet sürecini moleküler düzeyde doğal seçilim olarak ele almamalıyız. Bu tür tepkimeler, kimyasal tepkimelerin oranlarıyla uğraşan özel bir kimya dalının, kimyasal kinetiğin alanına girer. Kimyanın, geçmişi 100 yıl kadar önce Alfred Lotka'nın öncü çalışmalarına dek uzanan bu alt disiplini, kendilerini kopyalayabilen iki molekülün aynı yapıtaşları için rekabet ettikleri bir durumla baş etmekte güçlük çekmez. Bu gibi durumların büyük çoğunluğuna uygulanabilecek açık seçik bir öngörü ortaya koyar: Daha hızlı kopyalanan molekül yavaş kopyalanandan daha fazla çoğalarak rakibinin soyunun tükenmesine yol açar. Bu sonuç doğrudan hız denklemlerinin çözülmesiyle elde edilir. Bir başka deyişle, kendilerini kopyalayan iki molekül aynı kimyasal yapıtaşları için rekabet ettiklerinde sonuç, kimyacıların *kinetik seçilim* dedikleri bir süreçle kolayca açıklanır. Günlük dilde kinetik seçilimin anlamı şudur: "Hızlı olan kazanır." Kendini daha hızlı kopyalayan molekül, yapıtaşlarını kendini kopyalayabilecek yeni moleküller halinde montajlamayı (çeşitli kimyasal nedenlerle) daha etkili biçimde yapabildiğinden, bu hızlı kopyalayıcıların sayısı hızla artarken yavaş kopyalayıcıların sayısı sonunda tümüyle ortadan kalkıncaya kadar düşer.

Ama bu tümüyle kimyasal sonucun biyolojik bir tınısı da yok değildir. Biyolojide doğal seçilimin işleyişine neredeyse tıpatıp uyar. İki biyolojik tür aynı kaynak için rekabet ettiğinde, o kaynağı daha etkili kullanabilen, ötekini yok olmaya iter. Bu sonuç, daha önce gördüğümüz rekabetçi dışlama ilkesinin temelidir. Bu durumda doğal seçilimle kinetik seçilim aslında aynı kavram olduğuna göre, bunu açık açık belirtelim:

doğal seçilim = kinetik seçilim

Biyolojik doğal seçilimin yaptığı yalnızca kinetik seçilimi taklit etmektir. Doğal seçilim biyolojik terim, kinetik seçilimse kimyasal terimdir.

Bu noktada okur, neden kimyasal betimlemenin biyolojik olana tercih edilmesi gerektiğini sorabilir. Açıklayıcı okların daima aşağıyı gösterdiğine dair daha önceki notumuza karşın, kimyasal ve biyolojik açıklamalar gerçekte aynı şeyi –ister kimyasal ister biyolojik olsunlar, daha hızlı ve dolayısıyla kendilerini daha etkin kopyalayan moleküllerin az etkin olanları devre dışı bırakacaklarını– söylemiyorlar mı? Pek değil. Nedeni, kimyasal açıklamanın daha temel olması ve seçilim konusunu daha derinden irdelemesidir. Kimyasal sistemler özleri itibariyle daha basit olduklarından, kimyasal terim biyolojik olana kıyasla daha kolay ölçülebilir. Bu daha basit olma özelliği, bize kimyasal kopyalanmanın bileşik tepkimesini tek tek tepkime adımlarına bölme olanağı sağlar. Kimyasal analiz bize, kendini kopyalayan bir molekülün ötekini saf dışı etmesinin ne kadar zaman alacağını söyler. Hatta iki farklı türden kopyalayıcının hangi koşullarda birlikte varolabileceklerini de söyler. Zira kendi kendilerini kopyalayan rekabet içindeki moleküllerin bir arada varlıklarını sürdürmeleri de uygun koşullarda mümkündür.

Buna karşılık biyolojik sistemler yüzlerce, binlerce kat daha karmaşık olduklarından ayrıntılı bir kimyasal analize o kadar uygun değildirler. İki konunun genelde kendi farklı hiyerarşik düzeylerinde irdelenmesinin nedeni de budur. Ama sorun değil: Doğal seçilimin iyi bilinen temel bir kimyasal fenomene dayandığının kabul

edilmesi, kimya ve biyoloji bilimlerini birleştiren önemli bir bağ oluşturur.

Uyum Gücü ve Kimyasal Kökleri

Peki, biyolojinin çok önemli bir terimi olan "uyum gücüne" (*fitness*) ne demeli? Bu terimin kimyasal karşılığı nedir ve biyolojinin merkezindeki bu terimin tercümesi bize ne sunar? Darwin'e göre uyum gücü yalnızca hayatta kalma ve üreme becerisidir; bunun optimizasyonu ise evrim sürecinin nihai hedefidir. Ancak, Darwin'in kesinlikle nitel terimlerle oluşturduğu bu kavram, onu nicel (ölçülebilir, hesaplanabilir) kılmak için hâlâ sürmekte olan çabalar nedeniyle sonu gelmez bir kargaşa kaynağı haline gelmiştir. Ortaya atılan çok sayıda uyum gücü türü (önemli birkaçını saymak gerekirse, mutlak uyum gücü, göreli uyum gücü, kapsayıcı uyum gücü, ekolojik uyum gücü vb.) bu girişimin tabiatındaki güçlükleri göstermeye yeter. Uyum gücü sorunu son yarım yüzyılın büyük bölümünde önde gelen biyologların başını hayli ağrıtan karmaşık bir sorun; dolayısıyla ayrıntılı bir şekilde ele alınması bu kitabın kapsamının bir hayli ötesinde. Mevcut çerçevede hedefimiz daha sınırlı: kimya ile biyolojinin birleşmesinin bu sorunlu "uyum gücü" meselesinin en azından bazı veçhelerinin aydınlatılmasına nasıl yardımcı olabileceğini araştırmak.

Kendilerini kopyalayan sistemlerle ilgili önceki tartışmamızda bu sistemlerin temel bir özelliğini belirlemiştik: Dinamik Kinetik Kararlılık (DKK). Kendini kopyalayan bir sistemin zaman içinde varlığını koruması kararlılığını yansıtır; ama bu kararlılık bildiğimiz termodinamik kararlılıktan farklıdır. Şimdiki tartışmamız uyum gücünün bu daha temel ve daha genel kimyasal kavramın biyolojik ifadesi olduğunu ortaya çıkarıyor; o zaman bunu açıkça söyleyelim:

uyum gücü = dinamik kinetik kararlılık (DKK)

Biyolojik bir varlığı "uyum gücüne sahip" diye sınıflandırdığımızda aslında onun kararlı olduğunu belirtir ve kararlı derken de kalıcı

olmasını kastederiz. Ancak, daha önce etraflıca değindiğimiz gibi, bu kararlılık çeşidi bir popülasyon içindeki kendini kopyalayabilen bireyler için değil, popülasyonun bütünü için söz konusudur. Bir popülasyonun uyum gücüne sahip (ya da kararlı) olarak tanımlanması, o popülasyonun sürdürülen kopyalanma/üreme aracılığıyla varlığını koruyabilmesi demektir. Uyum gücüyle DKK'yı ilintilendirmenin ilk sonucu şudur: Uyum gücüne bireysel bir özellikten ziyade bir popülasyon özelliği olarak yaklaşmak gerektiği daha açık görülür. Birey düzeyinde DKK kavramının gerçek bir anlamı yoktur. Kendini kopyalayabilen bir sisteme ait kararlı bir popülasyon, tıpkı bir çeşmede devridaim yapan su damlaları gibi, bireysel kopyalayıcıların oluşması ve sonra çürümeleri yoluyla gerçekleşir. Yaşam bağlamında tek tek varlıklara odaklanırsanız –ki akıl çelen bir yaklaşımdır bu– yaşamın özünü, yani dinamik doğasını, kendini kopyalayan belli bir popülasyonu oluşturan bireylerin sürekli döngüsünü kaçırmış olursunuz. Özetle: Yaşamın özünü anlayabilmek için yapılması gereken, yaşamın *bireysel* veçhesine değil *popülasyon* veçhesine odaklanmaktır. Yaşam evrimsel bir olgudur ve evrim bireyler üzerinden değil popülasyonlar üzerinden işler. Bireyler yalnızca doğar ve sonra ölürler. Bireye odaklanırsanız, yaşamın söylediklerinin büyük kısmını kaçırırsınız. Aslında birey odaklı düşünmenin yarattığı zorluk yukarıdaki sözlerin ima ettiğinden daha derine iner. Birey olarak canlı varlık nedir ve gerçekte var mıdır? Bu sorunun yanıtı düşünebileceğimizden daha karmaşıktır; ama ben tartışmamızın bu veçhesini 8. Bölüm'e bırakıyorum.

Kendini kopyalayan moleküller dinamiğinin layıkıyla anlaşılması için bir popülasyon perspektifinin şart olduğu fikri, 1970'lerde Nobel Ödüllü ünlü Alman kimyacı Manfred Eigen'in tanınmış Avusturyalı kimyacı Peter Schuster ile birlikte çeyrek tür kuramı (*quasispecies theory*) üzerine çalışmalarıyla ivme kazandı.[58] Kuramın en genel hatlarıyla anlaşılabilmesi için önce "uyum gücü haritası" (*fitness landscape*) ile neyin kastedildiğini anlatmamız gerekiyor. 4. Bölüm'de değinildiği gibi, kendini kopyalayabilen bir molekül, diyelim belli bir dizilime sahip bir RNA molekülü, kopyalanmaya başladığında kopyalanma sürecindeki bazı hatalar RNA mu-

tantlarının (orijinal yapının değişime uğramış kopyaları) oluşmasına yol açacaktır. Daha hızlı kopyalanan mutantlar, daha yavaş dizilimleri giderek yok olmaya sürükleme eğiliminde olacaktır. Bu dizilim değişimi "uyum gücü haritası" diye adlandırılan üç boyutlu bir topolojik haritayla gösterilebilir. Üzerindeki yatay eksenler (mutasyonlarla oluşan) dizilim değişimlerini, dikey eksense belli bir dizilimin uyum gücünü gösterir. Dikey eksendeki değer ne kadar yüksekse, uyum gücü o kadar yüksek demektir. Dolayısıyla uyum gücü haritası, aralarında vadiler bulunan sıradağları gösteren bir topoloji haritasını andırır. Haritadaki yüksek noktalar (dağ zirveleri) yüksek uyum gücüne sahip (hızlı kopyalanan) RNA dizilimlerini, alçak noktalarsa (vadiler) düşük uyum gücüne sahip (yavaş kopyalanan) RNA dizilimlerini temsil eder. Bunun anlamı şudur: Başlangıçta belli bir uyum gücüne sahip olan bir RNA dizilimi, yani topoloji haritasındaki bir nokta –tıpkı dağlarda gezerek en yüksek zirveye tırmanmaya çalışan bir doğa sporcusu gibi– haritada en yüksek uyum gücüne sahip dizilimi temsil eden en yüksek noktayı arama eğiliminde olacaktır.

Ama asıl önemli nokta şu ki, Manfred Eigen ve Peter Schuster uyum gücü haritasındaki gezintilerle oluşan bu kendini kopyalayabilen RNA popülasyonunun aynı dizilime sahip olmadığını, aksine (yabani tür denen) en başarılı dizilimin etrafına kümelenmiş farklı dizilimlerdeki RNA'lardan oluşmuş bir *popülasyon* olduğunu keşfettiler. "Çeyrek tür" diye adlandırılan farklı dizilimlerdeki bu popülasyonun özünü daha iyi anlatabilmek için onu, uyum gücü haritası üzerinde hep daha yüksek tepeler arayarak gezinirken bir arada ahenk içinde uçan bir kuş sürüsüne benzetebiliriz. Eigen ve Schuster RNA dizilimlerindeki evrimsel değişimi bilgisayarla modellediklerinde, seçilenin en iyi uyum sağlayan dizilim olmadığını, *en iyi uyum sağlayan dizilimler popülasyonu* (yani en iyi uyum sağlayan çeyrek tür) olduğunu keşfettiler. Bir başka deyişle evrim, daha iyi bir uyum gücünü birey bağlamında değil popülasyon bağlamında arayarak işler. Nitekim Eigen ve Schuster'in çığır açıcı çalışmalarında popülasyondaki heterojenliğin önemini görmek mümkündür. Kendisini kopyalamakta özellikle başarılı olan bir molekülün orta-

ya çıkmasını sağlayan mutasyon, *daha hızlı* bir RNA'dan kaynaklanabileceği gibi *daha yavaş* olanından da kaynaklanabilir. Her ne kadar mantığa ters gelse de, uyum gücü daha yüksek bir popülasyona giden yol, mevcut popülasyon içinde bu güce daha az sahip bir kopyalayıcı molekülden geçebilir. Popülasyonun heterojenliği, sihrini göstermesi için evrime yeni olanaklar sunar: Heterojen toplumlar homojen olanlardan daha etkin biçimde evrilirler. O halde mesaj açıktır: Kendini kopyalayan varlıkların dünyasında kararlılığın özü bireylerde değil popülasyonlarda saklıdır. Evrim bireylerin değil popülasyonların geçirdiği bir süreçtir. Olayların evrimsel akışında birey çabucak geçip giden bir olay, yaşam çeşmesindeki kalımsız bir su damlacığıdır.

DKK kavramını enine boyuna tartıştıktan sonra geldik sorulması gereken soruya: DKK ölçülebilir mi? Kısa yanıt: ancak kısmen. DKK'yı doğada kendine özgü bir kararlılık çeşidi olarak tanımlamış ve evrimin DKK'yı zaman içinde artıracak şekilde işlediğini belirtmiştik. Yalnızca bu bile kavramın ölçülebilir olduğunu gösterir. Evrim daha fazla DKK sağlıyorsa, o zaman DKK ölçülebilir demektir, değil mi? Evet ve hayır! Sol Spiegelman'ın deneyinde kendi kendine kopyalanma sırasında yapıtaşları için rekabet eden iki RNA molekülüne baktığımızda, birinin kendini ötekinden daha hızlı kopyaladığını görüyoruz. O halde iki RNA'nın kopyalandığı göreli hızlar, iki RNA popülasyonunun göreli DKK'larının nicel ölçümü olarak alınabilir. Hatırlayın: Tam da bu hız farkı nedeniyle, popülasyonlardan biri diğerini yok oluşa sürükler. Gelgelelim, bu ölçme çabası iki nedenle sınırlı bir değer taşır. Birincisi, ölçme çabaları ortak bir kaynaktan beslenen iki popülasyon için söz konusu olabilir; yani aynı aktifleştirilmiş nükleotid seti için rekabet eden iki RNA popülasyonuna uygulanabilir. Ama bir *E. Coli* bakterisinin mi yoksa bir devenin mi daha kararlı olduğu sorusu, popülasyon ölçeğinde bile anlamsızdır. Çünkü ortak bir referans çerçevesi yoktur; elmalarla armutları karşılaştırmaya benzer.

DKK'yı ölçmenin güçlüğü daha da derinlere uzanır. Rekabet halindeki kopyalanan varlıklar için göreli DKK'nın hesaplanabileceğini ima eden yukarıdaki sözlere karşın bir başka problem ortaya çı-

kar. Kopyalanmanın göreli hızları tepkime koşullarına bağlıdır. Sol Spiegelman'ın klasik RNA deneylerine dönelim. Spiegelman'ın da yapmış olduğu gibi, deney tüpüne kopyalanma hızlarını baskılayan harici bir madde katıldığında kopyalanma yarışının galibi değişebilir. Tepkime koşullarını değiştirdiğinizde evrimin rotası da değişecek, Darwinci yarışın galibi büyük olasılıkla tümüyle farklı bir RNA molekülleri seti olacaktır. Sol Spiegelman tepkime karışımına yabancı bir madde, etidyum bromür eklediğinde, Darwinci yarışın galibi farklı bir dizilim olmuştu.[59] Peki neden? Dışarıdan eklenmiş olan madde kopyalanma mekanizmasını etkilediğinden, başlangıçta hızlı kopyalanmayı kolaylaştıran bazı dizilimler baskılanırken, başlangıçta yavaş olan RNA dizilimlerine avantaj sağlanmıştı. Başka bir deyişle RNA popülasyonları için DKK koşullara bağlıdır. Büyüklüğü tepkimedeki belli malzemelere bağlıdır. Ama bu, DKK'nın kimyada sözünü ettiğimiz öteki tür kararlılıktan, termodinamik kararlılıktan oldukça farklı olduğunu gösterir. Suyun termodinamik kararlılığı, başka neyin mevcut olduğuna bakılmaksızın tanımlanmış bir değerdir (gerçi doğrusunu söylemek gerekirse bir ölçüde fiziksel koşullara, sıcaklığa, basınca vb. bağlıdır). Termodinamik kararlılık herhangi bir sistemin içsel bir özelliğidir ve *kapalı sistemlerde* ölçülür. Dinamik kinetik kararlılıksa tepkime hızlarına dayanır, tepkime koşullarına son derece duyarlıdır ve yalnızca enerji ve kaynakların sürekli olarak sağlandığı *açık sistemlerde* değerlendirilebilir. Bu da DKK karşılaştırmalarını hayli sorunlu yapar.

Bu noktayı biraz daha netleştirmek için biyolojik bir örnek düşünelim: bir su birikintisi içindeki bir bakteri popülasyonu. Böyle bir popülasyon hayli kararlı olabilir; milyarlarca bakteri kopyalanmakla meşguldür ve sonunda bu bakterilerin dinamik bir popülasyonu ortaya çıkar. Ama birikintiye klor attığınızda bakteriler ölür. Yani kararlılık denen bir şey kalmaz. Bakteri popülasyonunun DKK'sı sıfıra düşmüştür. Sonuçta bakteriler aynı ama koşullar değişiktir. Ancak, bu birikintideki su moleküllerinin termodinamik kararlılığı ortamın özelliklerine dayanmaz. Bir hidrojen-oksijen gaz karışımına (suyu oluşturan materyaller) nispetle ölçülür ve aradaki fark da suyun bulunduğu yere ve içinde yabancı maddelerin varolup olma-

masına dayanmaz (en azından önemli ölçüde). Belli bir sistem için DKK'yı ölçmeye çalışmak, soruların yanıtlarının sürekli değiştiği bir sınava hazırlanmaya benzer!

Yukarıdaki hikâyeden çıkarılacak ders şu ki, bilim için yadsınamayacak önemde olan bazı özellikler tabiatları gereği çok zor ölçülür, hatta ölçülemez. Ölçülemeyeni ölçme çabaları sonuç vermez ve yalnızca kafa karışıklığına yol açar. Uyum gücünü, dayandığı kimyasal terim DKK ile ilintilendiren yukarıdaki tartışma, uyum gücünü ölçme çabalarının neden bu kadar sonuçsuz kaldığını açıklıyor. Önemli sayılan her şey sayılamaz. Uyum gücü kavramı ele alınırken bağlam her şeydir.

DKK'yı ölçme becerimizle ilgili olarak dile getirdiğimiz güçlüklere karşın, aslında bu kararlılık türünün iki kaba ölçümü mevcuttur. Bunlar kendini kopyalayan belli bir varlığın durağan durum popülasyon sayısı ve bu kopyalanan popülasyonun varlığını sürdürdüğü süredir. Bir yaşam formunun geniş bir süreğen popülasyonu olması, ortamda varlığını tehdit edebilecek değişimlere daha kolay direnebildiği anlamına gelir. Tersine, bir yaşam formunun popülasyon boyutu küçükse, belli ki o popülasyon tehdide açıktır ve soyu tükenebilir. Bu temelde, hamamböcekleri ve sivrisineklerin (DKK bağlamında) pandalardan daha kararlı olduğu sonucuna varabiliriz. Hamamböcekleri ve sivrisineklerin yakın gelecekte soylarının tükenmesi pek olası değilken, pandaların geleceği daha belirsizdir. Kopyalanma son tahlilde bir sayı oyunundan başka bir şey değildir. Zaman boyutu da DKK'nın yararlı bir göstergesi olabilir. Gezegenimizde milyarlarca yıldır varlıklarını sürdüren siyanobakteriler, takdire şayan bir kararlılığa sahip canlılar olarak sınıflandırılacaklardır. Buna karşılık modern insan yalnızca 150.000-200.000 yıldır varolduğundan, bizim uzun vadedeki kararlılığımız güvence altında değildir. Velhasıl, uyum gücünün belli bir kararlılık çeşidinin biyolojik ifadesi olduğunun kabulü, biyolojinin daha fiziksel bir çerçeveye konmasına ve bizim biyolojik ve fiziksel bilimleri kaynaştırma çabalarımıza yardımcı olacaktır.

En İyi Uyum Sağlayanın Hayatta Kalmasının Kimyasal Kökleri

Uyum gücüyle kararlılık arasındaki bağlantıyı kurduktan sonra, şimdi artık "en iyi uyum sağlayanın hayatta kalması" şeklindeki temel biyolojik formülasyon ya da daha modern biyolojik ifadesiyle "uyum gücünün maksimuma çıkarılması" kavramının kimyasal karşılığını aramaya başlayabiliriz. Bu, Şekil 6'da gösterilen evrim sürecinin tümünün, yani hem yaşamın cansız başlangıçlardan ortaya çıkmasının hem de basit biyolojik sistemlerin daha karmaşık olanlara evrilmesinin aslında tanımlanabilecek bir itici güçle ilintilendirilebileceğini kavramamızı sağlayacağı için önem taşıyor. Tüm süreç için itici bir gücün belirlenebilecek olması büyük bir sürpriz sayılmamalı – nihayetinde doğanın çalışma biçimi böyledir. Doğada birçok süreç bir itici güçle ilintilidir. Akan ırmaklar, yağışlar, heyelanlar, düşen elmalar hep kütleçekimiyle ilintiliyken, tüm kimyasal tepkimelerin itici gücü de o her yerde hazır ve nazır olan Termodinamiğin İkinci Yasası'dır. Elbette "kuvvet" terimi geniş anlamıyla, 3. Bölüm'de örüntü tanıma üzerine söylediklerimize uygun olarak yorumlanmalıdır. Kuvvetler, tanımlanabilmeleri için görünür olmak zorunda değilldirler. Bir kuvvetin varlığı, etkinliğinin deneysel olarak tanınmasından çıkarılır. Kendilerini kopyalayan sistemler ve daha etkili kopyalanan sistemlere dönüşme eğilimleri örneğinde artık itici gücü *daha yüksek DKK'ya yönelme dürtüsü* olarak tanımlayabiliriz. Bir başka deyişle "uyum gücünün maksimuma çıkarılması" terimi, daha temel ve daha "fiziksel" olan DKK'nın maksimuma çıkarılması kavramının biyolojik ifadesinden başka bir şey değildir. O halde bunları eşitleyelim:

$$\begin{array}{c}\text{uyum gücünün} \\ \text{maksimuma çıkarılması}\end{array} = \begin{array}{c}\text{DKK'nın} \\ \text{maksimuma çıkarılması}\end{array}$$

Basit dilde bunun anlamı, kendilerini kopyalayan sistemlerin daha etkili, zaman içinde varlıklarını daha iyi sürdüren kopyalayıcılar ol-

ma eğilimi taşıdıklarıdır. Dolayısıyla cansız maddenin basit yaşama dönüşmesi rasgele ve beklenmedik bir dizi kimyasal olay olarak değil, tanımlanabilen bir itici güç tarafından yönetilen düzenli bir süreç olarak görülmelidir. Bu kuvvet hem abiyogenesis denen evrede hem de biyolojik evrede iş görür ve tam da bu yüzden bu iki evre tek bir bütün olarak görülmelidir. Evrimin itici gücü, zaman zaman dile getirildiği gibi doğal seçilim değildir. Doğal seçilim bir itici güç değil bir dümendir; adından da anlaşılabileceği gibi yalnızca seçer. Doğal seçilim (ya da kimyasal karşılığı olan kinetik seçilim), DKK'nın azalmasına katkı yapan varlıkları sürekli eleyerek, kopyalanan popülasyonun daha yüksek DKK'ya ulaşmasına yardımcı olur. Ve bu, evrimin izlediği yolun tümü için geçerlidir: yaşamın ilk başlangıç denemelerinin habercisi olan kopyalanabilen basit (ama tanımlanmamış) varlıklardan karmaşık yaşama kadar.

Evrimin itici gücünü belirledik ve değişim için başat bir mekanizma tanımladık: karmaşıklaşma. Bu bölümde daha önce de değindiğimiz gibi karmaşıklaşma, kendini kopyalayabilen sistemlerin DKK'larını geliştirdikleri temel bir mekanizmadır (ama tek değildir). Tıpkı insanlarda yaşlanmayı günlük bazda göremediğimiz gibi, karmaşıklaşma da kısa evrimsel zaman ölçeklerinde belirgin değildir. Ama şöyle bir geriye dönüp evrim sürecine uzun bir zaman dilimi üzerinden bakacak olursak herhangi bir yanılgıya yer yoktur. Yaşamın basitten –son derece kararsız bir kopyalanan sistemden (kendini kopyalayabilen bir molekülden ya da moleküller ağından)– başlayıp kendilerini kopyalayan karmaşık çokhücreli canlılara –filler ve diğerleri– vardığı giderek daha büyük bir açıklık kazanıyor.[60] Bu karmaşıklaşma dönüşümü öyle bir gecede olup biten bir işlem değildi. Gerçekleşmesi milyarlarca yıl aldı. Ama çevremizde her yerde görülen yadsınamaz varlığı, sürecin gerçekliğine tartışmasız biçimde tanıklık ediyor. Prebiyotik dünyanın bilinmeyen bir yerindeki mikroskobik başlangıçlardan yola çıkan süreç, tüm gezegeni, hepsi hayranlık verici ekolojik bir ağ üzerinde birbirine bağlanmış olan her boyuttan yaşam formlarıyla doldurdu. Şimdi gelin bu karmaşıklaşma sürecine biraz daha ayrıntılı bakalım.

Prebiyotik dünyadaki kendini kopyalayabilen ilk sistem muhtemelen hayli kırılgandı. Kendini kopyalayabilen bir molekülün kopyalama işlemine başlamasını sağlamak için iyi donanımlı bir laboratuvarda iyi eğitimli bir kimyacı gerekir. Kendilerini kopyalayabilen moleküllerin pek sağı solu belli olmaz ve kopyalanmalarını sağlamak öyle kolay bir iş değildir. İsterseniz herhangi bir sistem kimyacısına sorun! Ama arka bahçenizden küçük bir toprak örneği alıp dikkatlice baktığınızda, kendilerini keyifle kopyalayan milyarlarca bakteri görürsünüz – görevli bir kimyacı, laboratuvar, doktora sonrası çalışma yapan araştırmacılar, ekipman, alet edevat olmaksızın. Bakteriler hayli sağlam ve etkin kopyalayıcılardır. Aynı zamanda DKK bağlamında da hayli kararlıdırlar ve bu yüksek kararlılığı karmaşıklığın uzun evrimsel sürecinde kazanmışlardır. Bir başka deyişle, adım adım ilerleyen bir karmaşıklaşma süreci, başlangıçta kırılgan ve hayli kararsız bir kopyalanan sistemden yola çıkarak sonunda kendini kopyalama becerisine sahip, hayli kararlı, hayli karmaşık bir varlığa –bakteri hücresine– ulaşmıştır. Kendini kopyalayabilen o ilk sistemin kimliğini ve yaşama doğru attığı ilk yoklayıcı adımları bilmiyoruz ve büyük olasılıkla da hiç bilmeyeceğiz. Bu tarihsel bilgi, zamanın sisleri içinde gizleniyor. Ne var ki, karmaşık biyolojik sistemlere giden o uzun yolda atılan ilk adımlar, Gerald Joyce'un tek bir RNA molekülünden daha etkili biçimde kopyalanan iki moleküllü RNA sisteminde açıkça görülüyor.[57]

Bilgi ve Kimyasal Kökleri

Bilgi (enformasyon) kavramı modern biyolojinin bütününe nüfuz etmiştir. Aslında konu hakkında koca koca kitaplar yazılmıştır ki, isabetli de olmuştur. DNA molekülünü oluşturan nükleotid yapıtaşlarının diziliminde de görülebilecek bilgi kavramı, moleküler biyolojinin anahtar süreçlerini anlamamızda temel rol oynamıştır. Bu bağlamda DNA kopyalanması, genetik bilginin kuşaktan kuşağa aktarılarak korunduğu süreç olarak düşünülebilir. Peki bu bilgi nasıl ifade ediliyor? Biyolojinin merkezi dogmasına temel teşkil eden transkripsiyon (RNA sentezi) ve translasyon (protein sentezi) süreç-

leri tam olarak bu işi yapar: DNA diziliminde kayıtlı olan bilgi, yaşamın işlevselliğinin büyük kısmının dayandığı benzersiz protein yapılarına çevrilir. Ama bilmece şu: Kimyayla ilgili bir ders kitabını açtığınızda büyük olasılıkla içinde bilgi/enformasyon kelimesinin geçtiğini göremezsiniz. Kimyacılar tepkinlik, seçicilik, kararlılık, tepkime hızı, katalizasyon ve daha pek çokları gibi kimyada yararlanılan terimlerden söz eder ama bilgi sözcüğünü pek kullanmazlar. Peki böyle bir şey nasıl olabilir? Eğer biyoloji kimyanın karmaşık bir çeşidiyse ve bilgi de biyoloji için böylesine önemliyse, bilginin kimya içinde de yer alması gerekir. Eğer değilse, o zaman biyolojik sistemlerdeki bilgi nereden gelir?

Yukarıdaki soruları yanıtlayabilmek için gelin DNA'nın tepkimelerini biyolojik değil kimyasal terimlerle düşünelim. O şaşkınlık verici DNA molekülü, kopyalanma süreci aracılığıyla bir "otokatalizör" işlevi görür. DNA bir otokatalizördür, çünkü kendi oluşumunu katalize eder. DNA'nın ikinci bir kopyasını yapan yapıtaşları, şablon görevi gören ve otokatalitik davranışı kolaylaştıran başka bir DNA molekülü olmaksızın harekete geçmezler. Ama elbette DNA'nın işi yalnızca kendi oluşumunu katalize etmek değildir; transkripsiyonla haberci RNA sentezi ve ardından haberci RNA diziliminin amino asit dizilimine (proteinlere) çevrilmesi süreçleri aracılığıyla aynı zamanda başka materyallerin sentezi için de katalizör görevi yapar. Özel dizilimiyle DNA molekülü olmadan dönüşüm gerçekleşemez. DNA parçasının ribozomal mekanizmanın faaliyetiyle ifade edilen dizilimi, elde edilen proteinin yapısını belirler. DNA dizilimini değiştirdiğinizde farklı bir protein elde edersiniz. Demek ki DNA yalnızca bir otokatalizör değil, *aynı zamanda oldukça özgül bir katalizördür.* Belli bir DNA parçasının dizilimi belli bir proteine, farklı bir dizilim ise farklı bir proteine karşılık gelir. O halde biraz düşününce şu sonuca varabiliriz: *Biyolojik bağlamda "bilgi", kimyasal bağlamda "özgül bir katalizörden" başka bir şey değildir.* İki bilim dalının kullandığı farklı jargonlar bazen aslında olmayan farklılıklar yaratır. Dolayısıyla kimyasal bağlamda evrimsel zaman ölçeğinde gerçekleşen şey, başka tepkimeleri de katalize etme becerisiyle donatılmış bir otokatalizörün, bu katalitik özelliklerini ge-

liştirecek biçimde evrilmesidir. Başlangıçta o ilk otokatalizör (nükleik asit), basit peptitlerin oluşumunu katalize etme becerisi göstererek ilkel bir translasyon sürecinin öncülünü gerçekleştirmiş olabilir. Ama zamanla ve genetik şifrenin ortaya çıkmasıyla bu katalitik becerinin etkinliği ve özgüllüğü, DKK'nın güdümü altında sürekli artmış olmalıdır. Bilgi üretimini içeren biyolojik olay, aslında *özgül katalitik işlevin oluşturulup geliştirilmesini* içeren kimyasal bir olaydan başka bir şey değildir.

Burada "bilgi" ile İkinci Yasa arasındaki bağlantı için de bir şeyler söylemek gerekiyor. DNA molekülünün son derece düzenli dizilimi elbette termodinamik bakımdan kararlı değildir. İkinci yasa düzenli sistemlerin düzensizleşmesini buyurduğundan, bilgi üretilme değil bozulma eğilimindedir. Bu, bilginin yoktan yaratılmasının İkinci Yasa ile çeliştiği izlenimini verebilir; ama tabii ortada herhangi bir çelişki yoktur. Benim bu kitabı yazmam nasıl ki bilgi yaratıyorsa (umarım), evrim süreci de –elbette uygun bir enerji bedeli ödenmesi koşuluyla– bilgi yaratabilir. Yaşamın metabolik süreçlerinin devreye girdiği yer de işte burasıdır: Yaşam mekanizmasını çalışır durumda tutar ve yaşamın dengeden uzak durumunu sürdürürler. Bu durumda bilginin bilgi olmayandan nasıl çıktığı sorusu, Schrödinger'in her şeyden önce kararsız, dengeden uzak sistemlerin nasıl olup da ortaya çıktığı sorusunun başka türlü yazılmış bir tekrarıdır. Bu soruya birazdan geleceğiz.

Genel Bir Evrim Kuramına Doğru

Daha önce söylediklerimize dayanarak, artık kendini kopyalayabilen kimyasal ve biyolojik sistemlerin *ikisine de* uygulanabilecek genel bir evrim kuramının temel parçalarını bir araya getirebiliriz. Biyolojik sistemlerde olduğu gibi, kimyasal sistemlerde de temel unsurlar kopyalanma, mutasyon ve seçilim ekseninde döner; ama işaret etmiş olduğumuz gibi genel şemaya karmaşıklığın da eklenmesi, böylece nedensel akışın *kopyalanma, mutasyon, karmaşıklaşma, seçilim, evrim* biçimini alması gerekir.

O halde, işe evrimin *neden* ve *nasılını* belirleyerek başlayalım.

Neden, sürecin itici gücüdür – yani sistemi daha büyük DKK'ya doğru iten güç. *Nasıl* ise sürecin mekanizmasıdır ve daha önce sözü edilen kopyalanma, mutasyon, karmaşıklaşma, seçilim adımlarını kapsar. Süreç kendini kopyalayabilen ama kusurlu biçimde de kopyalanabilecek oligomerik varlığın ortaya çıkmasıyla başlar. Bir RNA molekülü ya da bir benzeri, süreci başlatabilecek türden bir molekül için örnek gösterilebilir; ama başka olasılıklar da dışlanamaz. Her halükârda, sürecin ilkesini araştırırken o molekülün kimliğinin tam olarak belirlenmesi gerekli değildir. Molekül ya tek başına ya da çok küçük bir ağın parçası olarak kendini kopyalamaya başladığında, bu varlıkların dünyasında işleyen itici kuvvet –yani daha fazla DKK'ya ulaşma güdüsü– sayesinde kararlılığını (daha önce gördüğümüz gibi dinamik kinetik türden) artırma eğilimine girer. Şimdi de ikinci adım: Kopyalanma süreci arada bir mutasyonlarla gerçekleşir ve böylece kendini kopyalayabilen farklı farklı varlıklar ortaya çıkar. Ayrıca genetik çeşitliliğe yol açan ek bir mekanizma olarak yatay gen transferi de hesaba katılacak olursa, genetik çeşitliliğin yalnızca kopyalanma adımından kaynaklanmak zorunda olmadığı anlaşılır.

Gelelim karmaşıklaşma adımına. Kendini kopyalayabilen herhangi bir molekül (ya da ağ) bir kez oluştuktan sonra, potansiyel olarak daha karmaşık kopyalayıcıların oluşmasına yol açacak başka materyallerle etkileşme eğiliminde olacaktır. Karmaşıklaşma süreci ta en başta, moleküler düzeyde, sistem öteki kararlılık çeşidiyle – DKK– yönetildiği sırada devreye girer. Elbette karmaşıklaşmanın yalnızca kendini kopyalayabilen moleküller sınıfıyla sınırlandırılması gerekmez. Kendilerini kopyalayabilen ve yanı sıra *başka* kimyasal sınıfların –örneğin kopyalanma tepkimesine kendi katalizörlük becerilerini de katan peptidlerin– oluşumunu katalize etme becerisine sahip olan dizilimler, karmaşıklaşma ve kendini kopyalayabilen daha kararlı sistemlere doğru evrilme sürecine ayrıca katkı yaparlar. Dolayısıyla karmaşıklaşma, kendilerini kopyalayamayan moleküllerin de giderek karmaşıklaşan ve kendilerini kopyalayabilen ağların oluşmasına katkı yaptığı bir *birlikte evrilme* sürecini içerir. Böyle bir sistem, bütüncül olarak otokatalitik kaldığı sürece

kendini sürdürür. Demek ki, giderek daha karmaşık kimyasal ağlar oluşturmak suretiyle, kendilerini kopyalayan moleküllerin DKK'sını artıran ve kendini kopyalayan kararlı sistemler üreten mekanizma karmaşıklaşmanın ta kendisidir.

Ve nihayet: seçilim. Kendini kopyalayabilen çeşitli sistemlerden oluşan bir popülasyon ortaya çıktığında, (kinetik) seçilim devreye girerek popülasyon içinde kendini kopyalayabilen moleküllerden popülasyonun DKK'sına daha çok katkı yapabilecek olanların oranını yükseltir. Sürüp giden kopyalanma, mutasyon, karmaşıklaşma ve seçilim döngülerinin sonucu da elbette *evrimdir*.

Şimdi evrimi iten güç nedir konusuna geri dönelim. "Uyum gücünü maksimuma çıkarma"nın "DKK'yı maksimuma çıkarma"ya tercüme edildiği önceki irdelememiz, biyolojinin son tahlilde ait olduğu fiziksel-kimyasal dünya çerçevesine sağlam biçimde yerleştirilmesine yardımcı oldu. Nasıl ki "bilindik" kimyada tüm fiziksel ve kimyasal sistemlerin hareketi en kararlı durum yönündeyse, kendilerini kopyalayabilenler dünyasındaki istikamet de en kararlı durumu hedefler – ama o dünyaya uygulanabilecek bir kararlılıktır bu, yani Dinamik Kinetik Kararlılık. Gördüğümüz gibi maddi dünya bir bakıma, "bilindik" kimya dünyası ve kendini kopyalayanlar dünyası olmak üzere iki paralel dünyaya bölünebilir. "Bilindik" dünyadaki dönüşümler İkinci Yasa, kendini kopyalayanlar dünyasındaki dönüşümler ise İkinci Yasa'nın bir benzeri sayılabilecek bir kural tarafından yönetilir. O halde şurası apaçık ortada ki, bizler aynı anda iki farklı kimyasal dünyada –farklı türden kararlılıklarca yönetilen, dolayısıyla da oldukça farklı iki kimyaya işaret eden– iki dünyada yaşıyoruz. Gördüğümüz gibi, bu kimyalardan birine –kendini kopyalayanlar dünyasının kimyasına– biyoloji deniyor.

Metabolizma (Enerji Toplama) Becerisi Nereden Geldi?

Artık kaçınılmaz soruyu sorma zamanı geldi: Nasıl olur da kimyasal dönüşümleri yöneten iki yasa olabilir? Bu bir çelişki değil mi? Nasıl iki tür kararlılık olabilir? Bu iki tür kararlılık, süreci ters yönlere çekerse ne olur? Hangisi kazanır? Yanıt hayli şaşırtıcı. İkinci

Yasa nihai yasa, talimatı gözardı edilemeyecek yasa olsa da, kazanan kendisi değil "İkinci Yasa benzeri" olur. Gelin bunun nasıl olduğuna bakalım. Bu esnada Erwin Schrödinger'in aklını kurcalayan konu hakkında da aydınlanmış olacağız: Dengeden uzak sistemler doğal olarak nasıl ortaya çıkabildiler?

Hiçbir fiziksel ya da kimyasal sistemin İkinci Yasa'nın katı taleplerini yerine getirmeksizin bir değişim geçiremeyeceği doğrudur. Aksini iddia etmek topların kendiliklerinden yokuş yukarı yuvarlanabileceklerini söylemekle aynı şeydir ki, toplar bunu yapmazlar. Gelgelelim, eğer kendini kopyalayabilen bir sistem enerji toplayıcı bir sistem de edinmişse, işte o zaman doğa istediğini gönlünce yapabilir. Bu iki kararlılık türünün çoğu kez çelişen taleplerine karşın, böyle bir sistem daha yüksek DKK yönünde ilerlemeyi İkinci Yasa'nın sıkı kurallarıyla rahatça bir arada tutabilir. Peki ama bu doğal olarak nasıl gerçekleşmiş olabilir?

Kısa süre önce Ben Gurion Üniversitesi'nin Kimya Bölümü'nde iki meslektaşım –Emmanuel Tannenbaum ve Nathaniel Wagner– ile birlikte gerçekleştirdiğimiz kuramsal bir simülasyonda, çevreden enerji sağlamasına –diyelim fotosentezin ilkel bir çeşidiyle ışık enerjisi toplamasına– yarayan rasgele bir mutasyon geçirmiş kopyalanabilen bir molekülün, böyle bir beceriye sahip olmayan bir benzerini rekabette alt ederek soyunu tüketeceğini gösterdik.[61] Bu durum, enerji toplayan molekülün daha yavaş olması halinde bile değişmezdi! Ama bu nasıl olur? Kopyalanma süreci, moleküler kopyayı oluşturacak yapıtaşlarının kimyasal olarak aktifleşmiş olmalarını gerektirir. Aktifleşme, yapıtaşlarının şablon üzerindeki yerlerine tutunduktan sonra birbirleriyle bağlantı kurmaları için gereklidir. Bu bir İkinci Yasa zorunluluğudur ve uyulması gerekir. Ne var ki, etkinleşmiş (yüksek enerjili) yapıtaşları, etkinleşmemiş (düşük enerjili) yapıtaşlarına kıyasla daha az sayıda olacaktır. Dolayısıyla kendini kopyalayabilen ama metabolik olmayan (enerji toplama yeteneğinden yoksun) bir molekül, etkinleşmiş yapıtaşları stoğunu kısa sürede tüketecek ve bu noktada da kopyalanma tepkimesi duracaktır. Buna karşılık kendini kopyalayan molekül metabolikse (yani bir enerji toplama sistemine sahipse), sağladığı enerjiyi üzerine tutunan

yapıtaşlarına aktararak onları etkinleştirebilir. Bir başka deyişle, kendini kopyalayabilen molekülde bulunan bir enerji toplama yeteneği, etkinleşmiş yapıtaşlarının varlığını fiilen artırarak molekülün kendini kopyalama tepkimesini kolaylaştırır.

Buradaki daha genel mesele şu ki, tıpkı motorunun bir arabayı kütleçekiminin getirdiği kısıtlardan "kurtarması" gibi, kendini kopyalayabilen bir varlıktaki enerji toplama yeteneği de onu İkinci Yasa'nın kısıtlamalarından "kurtarır". Motorlu bir araç yalnızca yokuş aşağı gitmek zorunda değildir, çünkü harici bir enerji kaynağı (benzin) sayesinde yokuş yukarı da gidebilir. Bir başka deyişle, bir motorlu taşıt yolculuk için nasıl daha etkili bir araçsa, enerji toplayabilen bir molekül de büyük olasılıkla kendini kopyalamakta enerji toplayamayana kıyasla daha etkili olacaktır. Yukarıda anlatılan simülasyonun önemi şunu göstermesidir: *Rasgele bir mutasyonla enerji toplama yeteneği kazanmış kopyalanan bir sistem* DKK *açısından daha kararlı olur ve evrim sürecinde o yeteneği taşımayan bir moleküle tercih edilir.* Şimdiye kadar DKK'yı artırmanın temel yolu olarak yapısal karmaşıklığı görmüştük; ama artık başka türden bir karmaşıklaşmanın, (enerji toplama anlamında) metabolik karmaşıklaşmanın da aynı DKK artırıcı etkiye sahip olabileceğini görüyoruz. *Hatta metabolik olmayan (yokuş aşağı) bir kopyalanan sistemin enerji toplama yeteneği kazandığı an, yaşamın başladığı an olarak düşünülebilir.* Sistem o anda enerji maliyetine karşın kopyalanma "gündemini" uygulamakta serbest olacak ve enerji toplayan sistemin devreye girmesiyle hem DKK'nın hem de İkinci Yasa'nın çelişen gereksinimleri tatmin edilmiş olacaktır. Böylece, termodinamik açıdan kararsız ama DKK açısından kararlı olan varlıkların ortaya çıkış süreci belli oldu. Erwin Schrödinger'in ve öteki fizikçilerin akıllarını kurcalayan problem, geçerli bir çözüme kavuşmuş gibi görünüyor.

Metabolizma mı Kopyalanma mı Önce Geldi?

Yaşamın kökeni hakkındaki irdelemelerimiz ve sunulan yaşam kuramının ışığında, artık yaşamın kökeni tartışmalarında on yıllardır

boy gösteren soruyu, "önce metabolizma – önce kopyalanma" ikilemini yeniden değerlendirebiliriz. Şimdi göreceğimiz gibi abiyogenesis ve biyolojik evrimin tek bir süreç olarak birleşmesi, bu tartışmanın temelindeki belirsizliği büyük ölçüde giderebilir. Buradaki asıl mesele, şablon kopyalanmasının mı yoksa ilkel bir metabolizmanın mı (basit otokatalitik döngü oluşumu) yaşamın ortaya çıkmasında temel rol oynamış olduğu sorusudur. Hatırlayın: "Önce kopyalanma" tezini savunanlar şablon tipi bir mekanizma aracılığıyla kendini kopyalayabilen RNA gibi zincir benzeri bir molekülü yeryüzünde yaşamın ortaya çıkmasının kaynağı sayarken, "önce metabolizma" ekolüyse kendini kopyalayabilen bir sistem yaratmak için basit (bütüncül) bir otokatalitik döngünün gerekli olduğu görüşündeler. Gerald Joyce'un RNA kopyalanması üzerine ufuk açıcı deneyleri, tartışmanın makul çözümüne dair bir ipucu veriyor. Hatırlayacağımız üzere, tek bir RNA molekülü sağlıklı bir biçimde kopyalanamazken, iki molekülden oluşan bir ağ bunu yapabiliyordu. Bu önemli sonuç hem şablonca yönetilen katalizin *hem de* döngü oluşumunun *–büyük olasılıkla eşzamanlı olarak–* yaşamın ortaya çıkışında kritik rol oynamış olabileceğini düşündürüyor. Basitçe ifade edilecek olursa, *karmaşıklaşma (yani tepkime döngülerinin ortaya çıkışı) kopyalanma olmadan gerçekleşemezdi; şablon kopyalanması da karmaşıklaşma olmadan bir yere gidemezdi.* Bu durumda, yaşamın kökeni tartışmalarında temel bir mesele olan "önce metabolizma – önce kopyalanma" ikileminin artık konu için öneminin kalmamış olabileceğini ve birbiriyle çelişen iki yaklaşımın yerine, aralarında köprü kuran "*kopyalanma ve metabolizma bir arada*" senaryosunun konması gerektiğini öne sürüyorum. Bu çözüm hem kopyalanmanın hem de ilkel bir metabolizmanın (basit bir otokatalitik döngü) yaşamın ortaya çıkışının en erken evrelerinde kilit unsurlar olduğuna işaret ediyor. Yaşam ancak bunların bir arada işlemesiyle cansız bir başlangıçtan ortaya çıkabildi.

8

Yaşam Nedir?

HAYLİ KARIŞIK BİR YAPBOZUN, yaşam yapbozunun birçok parçasını tanıttık ve bu son bölümde de parçaları birleştirip Schrödinger'in o basit "Yaşam nedir?" sorusuna yanıtlar getirebilecek bir yaşam kuramını ana hatlarıyla ortaya koymaya çalışacağız. Kuramın sınavı görece kolay olacak. Basit kimyasal terimlerle yaşamın neden o özel niteliklerine sahip olduğunu açıklaması, yaşam olmayandan ortaya çıktığı süreci açıklayan ilkeleri aydınlığa çıkarması ve moleküler yapıtaşlarından sentezlenişine dair kapsamlı bir strateji sunmak için en azından çaba göstermesi gerekecek.

Yaşam kuramımızı oluşturan parçaları özetlemeye başlamadan önce, madde için sağlam bir kuramın, en azından ilke olarak herhangi bir kimyasal sistemin özelliklerini ve gelecekteki davranışını öngörebilen kuantum kuramının varolduğunu unutmamalıyız. Bu, bir yaşam kuramının o daha genel kuramın yalnızca bir parçası olması gerektiğini düşündürebilir. Şeklen öyledir de – ama yaşam meselesini erişilmez kılmak pahasına. Pratikte kuantum kuramı ancak mütevazı ölçeklerdeki kimyasal sistemleri açıklayabilir; biyolojik sistemlerse bu temel yoldan açıklanamayacak kadar karmaşıktır. Hesaplamalı kuantum kimyası alanında araştırma yapan birine gidin ve sistemi tüm karmaşıklığıyla irdelemesini gerektirecek bir biyolojik problemi çözmesini isteyin. Büyük olasılıkla yüzünü buruşturup uzaklaşacaktır. O halde ayrı bir yaşam kuramına ihtiyacı-

mız var. Ayrı, ama bağımsız değil. Burada betimlenen yaşam kuramı, matruşka bebeklerinin daha büyük olanı yani "madde kuramı" içindeki daha küçük bir bebek. Ama daha önce de vurgulandığı gibi, mevcut karmaşıklığına *karşın* yaşamın basitten başladığı ve yaşamın özünün de bu basit başlangıcı yansıttığı varsayımına dayalı bir yaşam kuramı oluşturulabilir. Yaşamın ilk basit adımlarına denk olduğunu düşündüğümüz şeyleri irdeleyerek biyolojinin özünü kavrayabiliyor ve biyolojinin en temel sorularından bazılarını yanıtlayabiliyoruz. Ama bunu yapabilmek, öze ulaşabilmek için üst üste dizilmiş karmaşıklık katmanlarını teker teker kesip açarak içlerinde gizleneni açığa çıkarmamız gerekiyordu ve bu da karmaşıklık katmanlarını *tersinden bir zaman ekseni üzerinde* soyarak gerçekleştirildi. Karmaşıklık zaman içinde adım adım gelişmiş olduğu için, bu süreci nüvesine varıncaya kadar kavramsal olarak geriye doğru işletmemiz gerekti. Yaşamın özü ancak geriye, dünyada yaşamın ortaya çıktığı sürece kadar gidilerek açığa çıkarılabilir. O nüveye vardığımızda, yaşamın *neden* ortaya çıktığını anlamaya başlayabilir ve yaşamın *ne* olduğu hakkında daha net bir fikre sahip olabiliriz.

Bu yaklaşım bizi, daha önceki bölümlerde ayrıntılı olarak incelediğimiz, kendini kopyalayan basit sistemlerin kimyası olan sistem kimyasına götürür. Kendini kopyalayan basit sistemlerin incelenmesi olağanüstü bir olguyu açığa çıkardı: Darwinci kuramın, o temel biyolojik ilkenin daha genel, hem yaşayan hem de yaşamayan sistemleri kapsayan kimyasal bir evrim kuramı içine yerleştirilebileceği olgusunu. Önerdiğim yaşam kuramının temelini oluşturan da işte bu entegrasyon. İnanıyoruz ki, kimya ve biyolojinin böyle temel bir şekilde birleşmesinin önemli sonuçları olacak. Bunların bazıları, örneğin abiyogenesis ve biyolojik evrimin birleşmesi daha şimdiden ortada. Abiyogenesis ve biyolojik evrim kesintisiz bir süreç. Cansız maddenin ilk yaşama dönüşmesi olan abiyogenesis, sürecin düşük karmaşıklıktaki evresi; biyolojik evrimse yüksek karmaşıklıktaki evre. Bu birleşme, basit abiyotik başlangıçlardan karmaşık yaşama kadar giden evrim sürecinin fiziksel doğasının gün yüzüne çıkmasına yardımcı oluyor. Cansızı canlıyla ilintilendiren sürecin ortaya çıkarılmasıyla, yaşamın özü de ortaya çıkmaya başlıyor. Ya-

şamın ortaya çıkmasını sağlayan, kendini kopyalayabilen basit bir sistemin ortaya çıkması oldu; çünkü bu önemsiz gibi görünen olay tümüyle farklı türden bir kimyaya, kopyalanma kimyasına kapıyı açtı. Kopyalanma kimyasının dünyasına girmek, doğadaki başka tür bir kararlılığı, kendilerini çoğaltmada usta olan şeylerin dinamik kinetik kararlılığını (DKK) gözler önüne serer. Kopyalanma kimyasının dünyasını araştırmak, kendini kopyalayabilen basit ve ilkel bir sistemin neden zaman içinde karmaşıklaşmış olabileceğini açıklar. Sebep kararlılığını, dinamik kinetik kararlılığını artırmaya çalışmasıdır.

Evet, yaşayan sistemler pek çok kimyasal tepkime içerir; ama yine de yaşamın özü, her şeyi başlatan tepkime kopyalanmaydı. Kopyalanma tepkimesini özel kılan şeyse, *ne* ürettiği değil *ne kadar* ürettiğidir. Kopyalanma tepkimesinin özel tabiatına dair başka bir kanıt gerekiyorsa, kendini kopyalayabilen yalnızca 10^{-21} gram (gramın sekstilyonda biri ya da trilyonda birinin milyarda biri) ağırlığında bir molekülü gözünüzün önüne getirin. Dakikada bir kere kopyalanacak olsa, beş saatten daha az bir sürede bu molekülün kütlesi –tabii teoride– tüm evrenin kütlesini geçerdi! Düşünsenize! Öyle fazla da hızlı kopyalanmayan bir molekül, yalnızca birkaç saat içinde evrenin tüm maddi kaynaklarını yiyip bitiriyor! Burada asıl nokta, kopyalanma tepkimesinin o hayranlık verici kuvvet –sıradan kimyanın kurallarını tepetaklak eden o matematiksel kuvvet– sayesinde çok özel ve bir kimya ders kitabındaki başka her tepkimeden tümüyle farklı olmasıdır. Gerçi Termodinamiğin İkinci Yasası kendilerini kopyalayabilen sistemlere tümüyle uygulanabilir; ama kopyalanmanın muazzam kinetik gücü görünürde o her yerde hazır ve nazır olan İkinci Yasa'nın arkasından dolanır. Kimyada kararlılık temeldir. Gelgelelim o olağanüstü kinetik güç, kimyada bildiklerimizden belirgin biçimde farklı bir kararlılık türü yaratır. 4. Bölüm' de belirtildiği gibi, "bilindik" kimyada madde, eğer tepkimeye *girmiyorsa* kararlıdır. Oysa kendilerini kopyalayabilen sistemlerin dünyasında madde, kendini çoğaltmak için tepkimeye *giriyorsa* (kalıcı olmak anlamında) kararlıdır. Kalıcılık bağlamında, kendini çoğaltmada *daha usta* olan madde daha kararlıdır.

DKK kavramının özü budur. Ama bunun anlamı, kendilerini kopyalayanların dünyasında tepkimelerin bir *İkinci Yasa benzerini* izlediğidir. Şöyle ki, kendilerini kopyalama becerileri düşük olan popülasyonlar, daha etkili (daha kararlı) olmak için sürekli olarak tepkimeye girerler, ama tabii yalnızca İkinci Yasa ile tutarlı olan bir şekilde. Ve bu "öteki dünyadaki", kendilerini kopyalayanlar dünyasındaki tepkimelerden ortaya çıkan kimya türü, "bilindik" dünyadakilerden o kadar farklıdır ki, büyük kısmı başka bir isimle anılır: biyoloji. O halde biyoloji yalnızca, kopyalananlar kimyasının özellikle karmaşık bir türüdür. Canlı durumsa, maddenin –özellikleri kendilerini kopyalayabilen varlıkları tanımlayan özel kararlılık türünden, yani DKK'dan kaynaklanan– yeni bir hali, *maddenin kendini kopyalayabilen hali* olarak düşünülebilir. Bu da bizi yaşamın şöyle bir tanımına götürür: *kopyalanma tepkimesinden kaynaklanan, kendini sürdürebilen, kinetik olarak kararlı dinamik bir tepkime ağı.* Tanımdaki her sözcük tanıma önemli bir unsur katar. "Kendini sürdürebilen", sistemin en tepedeki İkinci Yasa'nın gereklerini yerine getirebilmek için enerji toplama yeteneğine sahip olması gerektiği anlamına gelir. "Kinetik olarak kararlı" ve "dinamik" sözcükleri, öteki kararlılık türünün özelliklerini ifade eder; "ağ" ve "kopyalanma" ise yeterince açıktır. Yine de az sonra yaşamın hayli önemli olan "ağ" veçhesi üzerinde biraz daha duracağız. Böyle bakıldığında, ölüm de bir sistemin kopyalanmaya dayalı kinetik dünyasından termodinamik dünyaya, "normal" kimyanın dünyasına geri dönüşünden başka bir şey değildir elbette.

İşte böyle: Yaşam olağanüstü karmaşık bir fenomen olmakla birlikte, yaşam ilkesi şaşırtıcı derecede basittir. Yaşam, zincir benzeri belli moleküller (dünya örneğinde nükleik asitler) üzerinde sürekli kopyalanma, mutasyon, karmaşıklaşma ve seçilim döngüsü sonucu ortaya çıkan bir kimyasal tepkimeler ağıdır. Başka kimyasal sistemlerin de bu özelliği sergileyebilmeleri mümkündür; ama şimdiye kadar bu olasılık deneysel olarak araştırılmamıştır. Bu durumda yaşam, kendilerini kopyalayabilen belli kimyasal sistemler üzerinde işleyen üstel büyümeden kaynaklanan kimyasal sonuçlardan başka bir şey değildir.

DKK kavramının merkezindeki kuramsal düşünceler yeni değil. Thomas Malthus, 1798'de yayımlanan "Nüfus İlkesi Üzerine Bir Deneme" adlı klasik eserinde betimlendiği gibi üstellerin matematiksel kuvvetini gayet iyi biliyor ve Alfred Lotka'nın kinetik kurama dair 1910 tarihli ilk çalışmaları da üstel büyümenin hem kimyasal hem de biyolojik sistemler üzerindeki kinetik sonuçlarına işaret ediyordu. Paradoksal bir şekilde, yaşamı anlamak için bilinmesi gereken "temel kuram" bundan ibarettir. Dikkat ederseniz, burada kuantum mekaniğine, fizik ve kimyanın insan mantığını zorlamayı sürdüren o bulanık alanına iş düşmüyor. Bu anlamda yaşam *klasik* bir fenomendir ve eski fizikçilerin yaşamın karakterini maddenin temel kuantum doğasına bağlama eğilimleri gereksizdir. Kimyanın birçok alanında kuantum etkilerinin önemi tartışma götürmezse de, organik kimya ve biyokimyanın kuantum temelli düşünceye gerek olmaksızın böyle anlaşılır olması şaşırtıcıdır. Kafa karışıklığını yaratan ve gerek erken sezgilerin –özellikle Malthus, Lotka ve Troland' ınkilerin– gerekse daha yeni kavrayışların –örneğin Manfred Eigen ve Peter Schuster'inkilerin– önünü kesen, yaşamın *karmaşıklığıydı*. O halde yaşam fenomeniyle onun olağanüstü karmaşıklığı arasındaki ilişki artık belirtilebilir: Karmaşıklık, yaşam fenomeninin ne *nedeni* ne de *temelidir*; karmaşıklık yaşamın *sonucudur*. Karmaşıklık kopyalanmayı değil, kopyalanma karmaşıklığı getirdi. Yaşam yapbozunun parçalarının sonunda bir araya getirilebilmesini sağlayan, otokatalitik sistemlerle ilgili uzun süredir varolan temel kuramsal fikirlerin kendilerini kopyalayabilen basit sistemler ve oluşturdukları ağlarla ilgili yakın tarihli çalışmalardan gelen sonuçlarla birleştirilmesi oldu.

Kuşku yok ki, herhangi bir kuram ancak açıklayabildiği olaylar ölçüsünde yararlıdır. İzleyen sayfalarda, yaşamın 1. Bölüm'de incelediğimiz özelliklerine –karmaşıklığına, teleonomik karakterine, dinamik karakterine, çeşitliliğine, dengeden uzak durumuna ve kiral özelliğine– geri dönerek, öne sürdüğümüz yaşam kuramının bu özellikleri nasıl açıkladığına bakacağız. Sonunda da, bilimsel yöntemin gerektirdiği gibi, burada genel hatlarıyla sunulan yaşam kuramından doğrudan çıkan bazı öngörülerde bulunacağım.

Yaşamın Özelliklerini Anlamak

Yaşamın Karmaşıklığı

Yaşamın olağanüstü, neredeyse akıl almaz karmaşıklığı 1. Bölüm'de anlatılmıştı ve artık DKK'nın tabiatını kavramanın bu olağanüstü karmaşıklığı açıkladığını görebiliyoruz. Daha önce bahsettiğimiz gibi, doğanın DKK'yı güçlendirme mekanizması da karmaşıklaşmadır: "Sıradan" kimya dünyasında sürekli gördüğümüz kümelenme, bir araya toplanma anlamında değil, oldukça farklı ve kendilerini kopyalayanlar dünyasına özgü olan bir karmaşıklaşma. Sıradan kimya dünyasında materyaller kümelendiklerinde (suyun donarak buz haline gelmesinde ya da çözelti içinde bir katının oluşmasında olduğu gibi) o süreç katı küme daha kararlı biçim olduğu için gerçekleşir. Ama bu, termodinamik kararlılıktır; kimyada gayet alışık olduğumuz, daha düşük tepkinlikle ilgili olan kararlılık türü. Genel olarak çevremizde gördüğümüz tüm fiziksel kümeler bu basit ilkeden doğar: Bu kümeleri meydana getiren moleküller birbirlerini çekerler ve sonuçta ayrı ayrı moleküllere kıyasla daha kararlı, dolayısıyla daha az tepkin olan kümeler oluşur.

Kendini kopyalayanlar dünyasına uygulanabilen kararlılık türüyse DKK olduğundan, gözlenen kümelenme örüntüsü de termodinamik kararlılığı değil DKK'yı güçlendiren türdendir. Bu kümelenme sürecine termodinamik katkıların olması neredeyse kaçınılmaz olsa da, bu katkılar ikincil önemdedir ve daha fazla DKK'ya götüren süreci kolaylaştırmaya yararlar. Gerald Joyce'un iki RNA molekülünün birbirlerinin oluşumunu tetiklediği ve küçük bir kopyalananlar ağı meydana getirdiği o çarpıcı RNA deneyinde bu etkileşimi en basit düzeyinde gördük. En yalın ifadeyle, basit ve görece kırılgan (yani DKK bakımından kararsız) bir varlık ortaya çıktığında, DKK'sını yükseltmek için karmaşıklaşma eğiliminde olacaktır. Anlayacağınız, Woody Allen'ın "hangisi işe yararsa" kuralı bir kez daha işbaşındadır. Süreç adım adım gerçekleşir ve her adım kendini kopyalayabilme yeteneği daha fazla ve yapısı biraz daha karmaşık olan bir varlığa götürür. Daha önce kaydetmiş olduğumuz gibi, ilk baş-

larda bu süreç çok büyük olasılıkla, temel özelliği kopyalanma olan ve giderek genişleyen bir kimyasal tepkimeler ağından meydana geliyordu: kendini kopyalayabilen bir ağ. İlkel yaşama giden uzun yolda gerçekleşen adımların neler olduğu hakkında spekülasyondan öte pek bir şey söylenemese de, süreci tanımlayan şey, artan karmaşıklık mekanizmasıyla daha yüksek DKK'ya ulaşma güdüsüdür. Böylece DKK terimleriyle ifade edilen yukarıdaki analiz, kendini kopyalayanların kimyasal dünyası ile sıradan kimya dünyasındaki kararlılığın neden farklı olduğunu ve bu iki dünyanın her birinde, özellikle de yaşamın ortaya çıkış sürecinde kümelenme süreçlerinin neden zorunlu olarak ayrı yollar izlediğini açıklıyor. Birkaç milyar yıllık evrimden sonra ortaya çıkan ürün anlaşılabiliyor: en basit yaşam formunda bile muazzam bir karmaşıklığa sahip olan bir kopyalanma sistemi ve (DKK bakımından) olağanüstü bir kararlılık. Yüksek karmaşıklık ve yüksek DKK el ele gidiyor.

Son bir nokta olarak, daha önce de belirtildiği gibi, bazı hallerde evrim sırasında ve hem kimyasal hem de biyolojik düzeylerde karmaşıklaşma yerine bir basitleşme süreci gözlenir. Yine o "hangisi işe yararsa" yaklaşımı. Biyolojide katı kurallar pek azdır. Eğer kendini kopyalayabilen bir varlığın DKK'sını yükseltiyorsa, doğanın basitleştirici bir evrimsel adıma itirazı yoktur. İşe yarasın da!.. Anlaşılması gereken, hem kimyasal hem de biyolojik düzeylerde evrimsel süreçleri mümkün kılanın DKK maksimizasyonu ilkesinin olduğudur.

Yaşamın Kararsızlığı

Tüm canlı varlıkların –tıpkı havada kalmak için sürekli kanat çırpmak zorunda olan bir kuş örneğinde olduğu gibi– termodinamik anlamda kararsız olduklarını daha önce kaydetmiştik. Ve tıpkı o havadaki kuş gibi tüm canlı varlıklar da dengeden uzak durumlarını koruyabilmek için sürekli enerji tüketmek zorundadırlar. Ama her nasılsa dünya termodinamik bakımdan kararsız olan bu varlıklarla dolup taşıyor. Bu nasıl olur? Kararsız şeylerin, oluşmaya devam edip akla gelebilecek her türlü ekolojik kovukta kök salmak yerine gide-

rek ortadan kalkması gerekmez mi? Aslında, 4. Bölüm'deki tartışmamız temelinde, tüm canlılar *kararlıdır*; ama kararlılıklar "öteki türden", yani kendilerini kopyalayan varlıkların kararlılığı olan DKK'dır. Az önce belirttiğimiz gibi, kendini kopyalayabilenlerin dünyasında önem taşıyan termodinamik kararlılık değil DKK'dır. Peki DKK bağlamında kararlı olan bu varlıklar, neden termodinamik bağlamda istisnasız biçimde kararsızdır? Nedeni kısaca, DKK'nın, kendisini kopyalayabilmek, çoğalabilmek için sistemin sürekli tepkimeye girmesine bel bağlaması, bunun da sistemin tepkin yani kararsız olmasını gerektirmesidir. Termodinamik anlamda kararlı olan varlıklar tepkimeye giremezler; bir yokuşun dibindeki topa benzerler, yuvarlanabilecekleri daha alçak bir yer yoktur. Başka bir deyişle, canlı bir sistemin kendini kopyalamakta hayli başarılı olabilmesi için DKK bağlamında kararlı, termodinamik bağlamda kararsız olması gerekir. Görünürde çelişkili bu iki gereksinimin, kendini kopyalayabilen bir sistem bir kinetik seçilim süreciyle enerji toplama yeteneği kazandığında aynı anda karşılanabildiğini görmüştük. Enerji toplama yeteneğine sahip olanlar, olmayanlara kıyasla daha iyi kopyalayıcılardır; tıpkı motorlu arabaların motorsuz olanlara kıyasla daha yararlı ulaşım araçları olmaları gibi. Rastlantısal bir mutasyon sonucu enerji toplama yeteneğine sahip kopyalanabilen bir molekül ortaya çıktığında, daha yüksek DKK'ya sahip (dolayısıyla daha etkin bir kopyalayıcı) olduğundan, kendinden önceki formu (kendisini ortaya çıkaran mutasyon öncesindeki orijinal formu) hızla yok olmaya sürükler. İstisnasız tüm canlı sistemlerin entegre bir enerji toplama sistemine sahip olmalarının –bitkiler ve bazı bakterilerde fotosentez mekanizması ve hayvanlarda organik maddenin katabolik parçalanması için Krebs (sitrik asit) döngüsü– nedeni işte budur. Sonuç: Dünya DKK açısından kararlı ama termodinamik açıdan kararsız olan kopyalanabilen sistemlerle doludur. Potansiyel olarak birbirine karşı olan bu kararlılık sistemleri, enerji toplama becerisi sayesinde birbirleriyle ahenk içinde yan yana varolabilirler. Yaratıcı Fransız kimyacı Robert Pascal şu sıralarda, modern metabolik yolaklara geçiş sürecinde ilkel metabolik sistemlerin ortaya çıkışını kolaylaştıran kimyasal süreçleri araştırıyor.[62]

Yaşamın Dinamik Tabiatı

Yaşamın çarpıcı özelliklerinden birisi, dinamik tabiatıdır. Yalnızca birkaç ay içinde sizin nasıl önceki siz olmaktan çıktığınıza daha önce değinmiştik. Maddi bakımdan artık büyük ölçüde yeni malzemelerden oluşursunuz, yani yepyeni biri olursunuz! Hiç bitmeyen dinamik bir süreç içinde kan hücrelerinizin milyarlarcası her gün yenileriyle değişir; deri hücreleriniz sürekli yenilenir; yaşamı sürdürme işinin çok büyük kısmını yüklenen protein molekülleri sürekli bozunup yeniden üretilir. Peki ama canlı sistemlerin bu gelip geçici, dinamik doğasını nasıl açıklamalı? Aslında yaşamın bu veçhesi, anlaşılması en kolay olanlarındandır. Kendini kopyalayan bir popülasyon ile bir çeşme arasında kurduğumuz analojiyi hatırlayın. Çeşme, onu oluşturan suyun sürekli yenilenmesine karşın (kalıcılık anlamında) kararlıdır. Farklı su, aynı çeşme. Kendini kopyalayabilen herhangi bir varlık için de aynı şey söz konusudur. Kopyalanan ne olursa olsun kopyalanma tepkimesi sürdürülemez olduğundan, kararlılık kazanan kopyalanabilen sistem, kopyaların üretim hızıyla bozunma hızının aşağı yukarı dengede oduğu, süreğen bir durumun yakalandığı sistem olacaktır. Bu, moleküller, mikroplar, maymunlar ve aklınıza gelebilecek herhangi bir kopyalayıcı sistem için geçerlidir. Bir başka deyişle, kararlı olan popülasyondur; onu oluşturan bireyler sürekli yenilenir. Ve bu sürekli yenilenme tüm karmaşıklık düzeylerinde geçerlidir. Hücreler içindeki moleküller sürekli yenilenir; organizmalar içindeki hücreler sürekli yenilenir ve elbette tüm organizmalar sürekli yenilenir. Bu basit olgu, ölümün yaşam sürecindeki rolünü de açıklığa kavuşturuyor. 2005 yılında Stanford Üniversitesi mezuniyet töreninde yaptığı konuşmada ileri teknoloji mucidi Steve Jobs şöyle diyordu:

> Kimse ölmek istemez. Hatta cennete gitmek isteyenler bile oraya gidebilmek için ölmek istemezler. Ne var ki ölüm hepimizin yolunun çıktığı yer. Ondan kimse kaçabilmiş değil. Ve öyle de olması lazım, çünkü Ölüm muhtemelen Yaşamın ortaya koyduğu en iyi icat. Ölüm, Yaşamın değişim memuru. Yeniye yer açmak için eskiyi süpürüyor. Şimdi yeni olan sizsiniz.

Ama çok uzak olmayan bir gelecekte siz de giderek eski olacaksınız ve süpürüleceksiniz. Bu kadar dramatik olduğum için özür dilerim, ama bu bir gerçek.

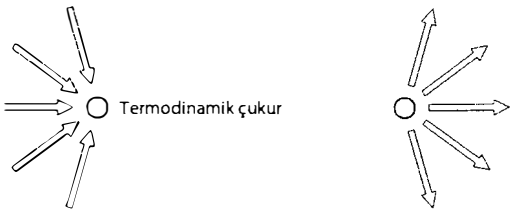
O halde ölüm, biz canlı varlıkların başına gelen kötü bir şey değil. Ölüm, yaşam stratejisinin bir parçası. Sonsuz yaşam mı istiyorsunuz? Bu aslında bir oksimoron. Sonsuz yaşam olamaz; çünkü yaşamın temeli, geçici ve dinamik özelliğidir.

Yaşamın Çeşitliliği

Darwinci kuramın tüm canlıları birbiriyle ilintilendirebilmesine karşın, yaşamın olağanüstü çeşitliliğinin kaynağı gizemini koruyor. 1. Bölüm'de de değindiğimiz gibi, Darwin'in kendisi bile bu canalıcı konuda kesin bir şey söyleyemiyordu. *Türlerin Kökeni*'nde Darwin aslında bir Iraksama İlkesi önermişti; ama bu ilkenin doğal seçilim ilkesinden bağımsız mı yoksa onun bir türevi mi olduğu muğlak kalmıştı ve ilginç bir şekilde, konu günümüz biyologlarını meşgul etmeyi sürdürüyor. Fakat burada anlattığımız, DKK kavramına dayalı yaşam kuramı, bu konuya çözüm getirir gibi görünüyor. Yaşamın olağanüstü çeşitliliğini anlamanın anahtarı iki kimyasal dünyanın – sıradan dünya ile kopyalananlar dünyasının– *topolojilerinde* ve aralarındaki farklarda saklı. İzin verin açıklayayım.

Tüm kimyasal sistemlerin en kararlı biçimlerine yöneldiğini daha önce açıklamıştım. Bunun anlamı, aynı elementlerden oluşmuş farklı kimyasal sistemlerin hepsinin aynı yere varmak istedikleridir – tıpkı engebeli bir arazide farklı tepelerden yuvarlanan topların hepsinin aynı yerde, aşağıdaki vadinin en alt noktasında buluşmak istemeleri gibi.

Herhangi bir hidrokarbon (benzindeki gibi hidrojen atomlarına bağlı karbon atomlarından oluşan bir zincir) karışımını alıp, oksijenle patlama tepkisi denen bir tepkimeye soktuğunuzda, sonuçta ortaya çıkan ürün karbondioksit ve su olacaktır. Hangi hidrokarbonla başlarsanız başlayın, fark etmez; elde edeceğiniz şey hep karbondioksit ve su olur; çünkü bunlar C, H ve O atomlarının karışımının en kararlı biçimidir. Tüm hidrokarbon-oksijen karışımları karbon-



Şekil 7. "Sıradan" kimyasal uzamdaki (yakınsayan) ve kopyalananların uzamındaki (ıraksayan) dallanma örüntülerinin şematik gösterimi.

dioksit ve suya yönelir. Bu sav bir bütün olarak tüm kimyasal sistemler için genelleştirilip şöyle denebilir: "Sıradan" kimyasal maddeler dünyasını birleştiren ağ, Şekil 7a'da gösterildiği gibi *yakınsama* eğilimindedir. Bütün yollar Roma'ya çıkar ve bütün kimyasal tepkimeler de "termodinamik çukur" denen, atomların o bileşimi için en düşük enerji olasılığına yönlenir. Bir kimyacının çoğu kez bir tepkimenin sonucunu öngörebilmesinin, kimyasal sistemin nereye "gitmek istediğini" bilmesinin sırrı işte budur.

Ama şimdi bir de kendini kopyalayabilen sistemler dünyasına dönelim. Kapalı olarak düşünülebilecek "sıradan" bir kimyasal sistemin tersine, kendini kopyalayabilen bir sistem, kopyalanma tepkimesinin engelsiz ilerleyebilmesi için her zaman açık olmak zorundadır. Açıklıktan kasıt, kopyalanma için gerekli yapıtaşlarının ve kopyalanma sürecini destekleyecek enerjinin sürekli olarak temin edilmesidir. Başka bir deyişle, kapalı bir kapta gerçekleştirilebilecek "sıradan" bir tepkimenin tersine, bir kopyalanma tepkimesinin çevreye açık olması gerekir. Bu farklı durum, daha yüksek DKK'ya giden yolun, Şekil 7b'de gösterildiği gibi yakınsayıcı değil ıraksayıcı olması sonucunu doğurur. Neden? Çünkü daha yüksek DKK'ya giden yolun rotası, o zamanda ve o yerde bulunan kaynaklara bağlıdır ve daha yüksek sistemlere (DKK bağlamında) giden farklı sayıda yol ilke olarak mümkündür. Kendini kopyalayabilen bir X molekülü, Y molekülüyle bir çift oluşturarak tek başına X'e kıyasla da-

ha kararlı olan bir X/Y sistemi oluşturabilir; ama bir başka molekülle, Z ile eşleşerek kararlı bir X/Z sistemi de meydana getirebilir. Farklı karmaşıklaşma yolakları çeşitlenmeye yol açar. Kopyalanabilen tüm kararlı sistemler sürekli olarak kopyalanır, arada bir mutasyona uğrar, sürekli olarak karmaşıklaşır ve böylece kopyalanan sistemler dünyasını keşfederek giderek daha etkin kopyalayıcılar oluştururlar. Demek ki kendilerini kopyalayan sistemler dünyasının topolojisi özünde ıraksayıcıdır.

İki dünya için bu farklı topolojilerin ilginç sonuçları vardır. Bu durum yaşamın çeşitliliğinin yanı sıra, nasıl zamanda geriye gidip evrimsel köklerimizi araştırabildiğimizi de açıklar. İleriye giderken ıraksayan bir topoloji, geriye giderken yakınsayan bir görünüm alır. İşte bu *ters* yöndeki yakınsayan topolojidir ki, filogenetik analiz ve fosil kayıtlarını kullanarak zamanda geriye gidip evrimsel tarihimizin izini sürmemizi; tüm canlıların Arkeler, Bakteriler ve Ökaryotlar adını verdiğimiz üç âleme ayrıldığı sonucunu çıkarmamızı; dünyada yaşamın tarihini En Son Ortak Ata denen canlıya kadar götürmemizi sağlar. Ama tabii bu, evrimin bizi gelecekte nereye götüreceği konusunda hiçbir şey söyleyemeyeceğimiz anlamına gelir. Iraksayan bir yola girdiğinizde nereye çıkacağı belli olmaz. Ünlü sporcu Yogi Berra'nın bir keresinde söylediği gibi: "Nereye gittiğinizi bilmezseniz, kendinizi başka bir yerde bulursunuz." Zamanın (ileri ya da geri yönde) bir fonksiyonu olarak hem "sıradan" hem de kopyalanan sistemlerin farklı tepkinlik örüntülerini böylece ana hatlarıyla görmüş olduk.[63,64]

Yaşamın Homokiral Tabiatı

Yaşamın homokiral (tek elli) tabiatının iki düzeyde muamma teşkil ettiğinden bahsetmiştik. Birincisi, yaşamın homokiralliğinin, özünde heterokiral (çift elli) olan bir evrende nasıl ortaya çıkmış olduğu; ikincisiyse heterokirallikten daha az kararlı olmasına karşın homokiralliğin nasıl olup da sürdürülebildiğidir. Bu kitapta dünyada yaşamın ortaya çıkışını açıklayabilecek temel düşüncelerden birinin otokatalizin muazzam kinetik gücü olduğunu gördük. O halde ho-

mokiralliğin, heterokiral bir ortamdan beklenmedik çıkışının da aynı terimlerle açıklanabileceğini görmek olağanüstü bir keşif değil de nedir! Normalde, kiral olmayan (el tercihi taşımayan) bir maddeyi kiral yapan bir tepkime gerçekleştirildiğinde ürün eşit miktarlarda sol ve sağ elli formlardan oluşur. Ancak, 1995 yılında ünlü Japon kimyacı Kenso Soai olağanüstü bir keşifte bulundu.[65] Bazı durumlarda kiral olmayan başlangıç malzemesinden yalnızca bir homokiral ürün elde etmek mümkün oluyordu. Sistemin simetrisi bir şekilde bozuluyordu ki, bu son derece olağandışı bir şeydir – para atışında 999 kez tura ve yalnızca bir kez yazı gelmesi gibi bir şey. Böyle olunca da Kenso Soai'nin beklenmeyen sonucunun sansasyon yaratmış olmasına şaşmamalı. Başka bir deyişle, uzun yıllar fiziksel açıdan mantıksız sayılmasına karşın, kiral olmayan bir ortamdan yola çıkarak homokiral sistemler yaratmak mümkün. Peki bunun yaşamın ortaya çıkışıyla ilgisi ne?

Soai'nin elde ettiği beklenmedik sonuç, kimyasal tepkimenin *otokatalitik* bir seyir izlemesi, dolayısıyla da ürün oluşumunun üstel büyüme sergilemesiyle açıklanabilir. Tepkime karışımı başta kiral ürünlerden birinin çok küçük ölçekte bir fazlalığıyla tohumlanacak olursa, otokatalizasyonun sağlayacağı muazzam çoğalma sayesinde o ürün yüzde yüze çok yakın bir saflık kazanır. Başka bir deyişle, kopyalanmanın otokatalitik olması gibi, homokiralite de otokatalitik davranış gösteren bir sistemde oluşturulabilir. Bu tepkimenin ayrıntılı açıklaması biraz teknik kaçar, ama olayın özü basittir: *Yaşamın ortaya çıkmasını sağlayan kopyalanmanın kinetik gücü, aynı zamanda yaşamın en çarpıcı özelliklerinden biri olan homokiral tabiatından da sorumlu olabilir.* Yaşam bilmecesinin parçalarının birleştiğini görmek ne kadar tatmin edici!

Homokiralliğin kiral olmayan bir ortamdan nasıl çıkabildiğini açıklamış olduk; ama şayet özünde heterokirallikten daha az kararlıysa nasıl oluyor da homokirallik sürdürülebiliyor? Yaşamın daha önce değinmiş olduğumuz birçok açmazı gibi bu sorun da DKK kavramıyla çözümleniyor. Doğru, homokiral sistemler heterokiral karışımlar kadar kararlı değil, ama bu yalnızca termodinamik açıdan geçerli. Kendini kopyalayabilen sistemler için asıl önem taşı-

yan kararlılığın DKK olduğunu zaten görmüştük. Şimdi de görüyoruz ki, bu kararlılık çeşidi açısından homokiral sistemler, heterokiral olanlara kıyasla daha kararlılar. Yaşamın tepkimeleri üst düzey bir özgünlük –yani tepkiyen moleküller arasında bir anahtar kilit ilişkisi– gerektirir ki, bu da yalnızca homokiral sistemlerde sağlanabilir. Bu tür sistemlere heterokiralliği soktuğunuzda anahtarların yarısı kilitlerine uymayacaktır! Dolayısıyla homokiral sistemler, kendilerini heterokiral olanlardan daha etkin biçimde kopyalayabilir ve sonuçta da –asıl önemli olan DKK bağlamında– daha yüksek bir kararlılık sergilerler.

Yaşamın Teleonomik Karakteri

Yaşamın özelliklerinden bu en şaşırtıcı olanını oldukça etraflı biçimde 1. Bölüm'de irdelemiştik. Tekrarlayacak olursak, tüm canlıların hem yapıları hem de davranışları bizi açık ve kaçınılmaz bir sonuca götürüyor: Canlıların bir "gündemi" var. Canlılar kendi çıkarları doğrultusunda hareket ediyorlar. Peki ama bu nasıl oluyor? Madde, biyolojik diye sınıflandırdığımız biçimde organize olduğunda nasıl olup da cansız sistemlerinkinden farklı kuralları izliyormuş gibi görünüyor? Herhangi türden bir madde nasıl olup da bir gündemi varmış görüntüsü verebilir? Şimdi DKK kavramının bu bilmecenin çözümüne nasıl yardımcı olabileceğini görelim. Tıpkı motoru olmayan bir arabanın kütleçekiminin emirlerine uyması ve yalnızca yokuş aşağı gidebilmesi gibi, kendini kopyalayabilen basit sistemlerin, diyelim kendilerini kopyalayan moleküllerin de termodinamiğin emirlerine uyduğunu hatırlayalım. Ama kendini kopyalayan bir sistem bir kez enerji toplama becerisi edindiğinde, artık termodinamik kısıtlamalardan kurtulmuştur ve *kinetik* yönergeyi – daha yüksek DKK'ya ulaşma güdüsünü– takip edebilir. Daha önce de değindiğimiz gibi, enerji toplama yeteneğine sahip bir kopyalayıcı, artık motorlu bir araba gibidir; yokuş yukarı da gidebilir. Bunun anlamı, enerji toplama becerisi olan kopyalanabilen bir sistemin, bir gündemi varmış görüntüsü vereceğidir. Artık objektif davranış diye yorumladığımız yokuş aşağı olan termodinamik yola

mahkûm olmaktan çıkıp –bir miktar yokuş tırmanmaya karşılık gelen– daha yüksek DKK'lı sistemlere giden yolu seçeceğinden bir amaca yönelik hareket ediyormuş gibi görünecektir. Başka bir ifadeyle, kendini kopyalayabilen bir sistem (kendini kopyalayabilen daha karmaşık ve daha kararlı sistemlere doğru genel karmaşıklaşma sürecinin bir parçası olarak) enerji toplama yeteneği edindiğinde, sonraki kopyalanma davranışını amaca dönükmüş gibi yorumlar ve anlarız.[66] Monod'nun paradoksu –amaçlı bir sistemin objektif bir evrenden nasıl çıkabildiği muamması– kimyasal tepkimelerde kinetik ve termodinamik yönergelerin etkilerinden kaynaklanır. "Sıradan" kimya dünyasında termodinamik başat yönerge olduğundan, objektif diye nitelendirilen davranışa yol açar. Kopyalananlar dünyasındaysa başat yönerge kinetik olduğundan, bu dünyadaki davranışlar amaca dönükmüş görüntüsü verir.

Bilinç

Yaşamla ilgili değinmediğimiz başka önemli konular da var – örneğin bilinç. Bilinç hiç şüphesiz yaşamın bir özelliği olsa da, yalnızca gelişmiş yaşam formlarına özgü olduğundan temel bir özellik değildir. Dolayısıyla bu konuya girmedik. Yine de, yaşamın bazı özellikleri konusundaki bilgimizin ne kadar sınırlı olduğunu göstermesi bakımından bilinç konusuna kısaca değinmek gerekiyor. Bu çerçevede ele alındığında bilinç fenomeni evrimsel bağlamında incelenebilir. Evrim, maddenin tüm özelliklerinin, kendini daha iyi kopyalayabilen sistemleri hedefleyen evrimsel dürtü doğrultusunda sonuna kadar kullanıldığı süreçtir. Evrim, sisteme yarar sağladığında maddenin katı olma eğiliminden yararlanır – kemiklerde olduğu gibi. Gerektiğinde maddenin hem esnek hem de sert olabilmesinden yararlanır – kıkırdakta olduğu gibi. Maddenin sıvı halde bulunabilme özelliğinden yararlanır – kanda olduğu gibi. Yeri geldiğinde maddenin (göz merceğini oluşturan kristalin gibi) saydam olabilmesinden ya da elektrik akımı geçirebilmesinden vb. yararlanır. Ama görülüyor ki, belli bazı organizasyonlarda maddenin daha da dikkat çekici bir özelliği var: bilinç. Maddenin kendi kendinin far-

kında olabilmesi gerçekten de olağanüstü bir özelliktir. Evrim tıpkı karşılaştığı öteki özelliklerde olduğu gibi, maddenin bu özelliğini de keşfetmiş ve kendini kopyalayabilen kararlı varlıklara yönelik süregelen arayışının hizmetine koşmuştur. Bilinci ve temelini anlamak istiyorsak kaynağını incelemeli, en basit düzeyde sinirsel aktiviteden başlayıp adım adım daha gelişmiş dışavurumlarına ve sonunda biz insanlara ulaşana kadar bu fenomenin izini sürmeliyiz. Demek ki yaklaşımımız, abiyogenesis sorununu irdelerken benimsediğimizin aynısı olmalı: basitten başlamak. Büyüleyici bir bilimsel yolculuk bizleri bekliyor.

Dünyadışı Yaşam Neye Benzer?

Yaşamın global özelliklerini kimyasal terimlerle açıkladıktan sonra artık sorabiliriz: Dünyadışı yaşam neye benzer? Dünyada yaşamın cansız maddeden ortaya çıktığını düşündüğümüze göre, uygun koşullar altında yaşamın evrenin başka yerlerinde de ortaya çıkmaması için hiçbir neden yoktur. Bu yaşam da aynı moleküler temele, nükleik asit-protein ikilisine dayalı olabileceği gibi, kendini kopyalayabilen başka bileşimler de ihtimal dahilindedir. Artık yaşamın temelinin, kendi kopyalanma süreçlerini katalize edebilen uzun zincir biçimli moleküller olduğunu ve bunların katalitik becerili başka zincir benzeri moleküllerle kesintisiz bir kopyalanma, mutasyon ve karmaşıklaşma süreci geçireceklerini biliyoruz. Gelgelelim, ilke olarak bu nükleik asit-protein ikilisi dışında aynı sonuca götürecek başka kimyasal bileşimler olamayacağını düşünmek için hiçbir neden yoktur. Aslında kimyadaki tüm deneyimimiz bize kimyasal özelliklerin tek tek maddelerle değil madde gruplarıyla ilişkili olduğunu söyler. Dolayısıyla, en azından ilkesel olarak yaşam sürecine temel teşkil edebilecek *bir grup maddenin* varolması beklenebilir. Peki, yaşamın gerçekten de başka bir gezegende ve dünyadakinden farklı bir biyokimyasal temelde ortaya çıkması halinde, yaşam kuramımız bu yaşamın neye benzeyeceği hakkında bize ipuçları sunabilir mi? Buna kısa yanıtım: Başka gezegenlerdeki yaşam da tıpkı bizdekine benzeyecektir!

Bunu biraz da espri olsun diye yazıyorum, zira yaşamın çeşitliliği bize mikroskobik bakterilerden mavi balinalara kadar akla hayale sığmaz genişlikte bir biçim skalası sunduğundan, başka türden yaşam formlarının dış görünüş itibariyle bize radikal bir şekilde farklı ve yaşamın mevcut formlarından daha "dünya dışı" gelme ihtimali düşük görünüyor. Fakat şunu söyleyebiliriz ki, yaşamın morfolojisi, altında yatan kimyadan çok canlıların onun nasıl olmasını talep ettiğine bağlıdır. Cam elyafından, alüminyumdan ya da çelik sacdan yapılan arabalar birbirlerinden o kadar da farklı görünmezler, çünkü görünümleri, arabaların araba olarak işlev görmek için ihtiyaç duydukları biçime dayanır. Hangi malzemeden yapılmış olurlarsa olsunlar, tüm arabaların, içine motorun ve yolcu kabininin yerleştirileceği bir dış kabuğa gereksinimi vardır. Sürücünün nereye gittiğini görebilmesi için hepsinin pencereleri ve sürtünmeyi en aza indirmek için tekerlekleri vardır. Bu, arabalar ister ABD'de ister Çin'de yapılsın, pencereler ister camdan ister plastikten olsun, motor ister elektrikle ister benzinle çalışsın, böyledir. Aynı şekilde, kendini kopyalayabilmekle birlikte nükleik asit ailesine ait olmayan, ama karmaşıklaşmayı ve daha yüksek DKK'lı kopyalanan varlıklara doğru evrilmeyi başarmış bir varlık da, büyük olasılıkla nükleik asit temelli biyokimyanın keşfettiği aynı evrimsel kavramlardan yararlanacaktır. Ve ne kadar evrilmiş olduğuna bağlı olarak, o da ağ oluşturma özellikleri gösterecek, kopyalanma ve metabolizma becerileriyle işlevsel parçalarını içeren hücre yapısının kendini kopyalayabilme açısından değerini de belki keşfetmiş olacaktır. Burada sunulan yaşam kuramı malzemeye değil sürece dayalı olduğundan, malzemenin nitelikleri yaşamın altında yatan özellikleri yönetmede ikincil, hatta belki de önemsiz bir role sahip olacaktır.

Yaşamı Sentezlemek

Bu da bizi en heyecan verici soruya getiriyor: Basit bir canlı sistem nasıl sentezlenebilir? Bu sorunun basit bir yanıtı yok. Eğer burada sunumu yapılmış olan yaşam kuramı bize bir şey öğretiyorsa, o da basit bir yaşam formunun özelliklerini taşıyan bir varlığın, örneğin

bir hücre öncülünün sentezinin, muazzam güçlüklerle karşı karşıya olduğudur. Şimdi bunlar nedir, bir bakalım. Bazı gözlemlerle başlamak istiyorum.

Canlı ve cansız sistemler arasındaki ilişki en azından bir açıdan özellikle ilginçtir: Canlı sistemleri cansıza dönüştürmek gayet kolayken, hepimizin çok iyi bildiği gibi süreç tersinebilir değildir. Yaşamı yok etmek kolaydır, ama (kimya açısından) yaratmak son derece güçtür. Bu basit olgu, kendi başına bile hayli öğreticidir. Canlı bir sistemi sentezlemeyle ilgili sorun malzemeyle ilgili değil, belirtilmiş olduğu gibi organizasyonla ilgilidir. Canlı bir hücrenin tüm bileşenleri elinizin altında olabilir; ama zorluk, bunları canlı bir varlık gibi davranabilecekleri biçimde paketlemektedir. Peki sorun ne? Yaşam, maddenin *dinamik* bir halidir. Yani canlı hücreyi meydana getiren biyomoleküller sürekli bir akış içindedir. Bu dinamik özelliği yansıtan basit bir fiziksel benzetme, bir hokkabazın birçok topu düşürmeden havada çevirmesi olabilir. Bu dinamik durum, içerdiği malzemeler açısından, bir adamın yerde hareketsiz duran topların yanında dikilmesiyle aynıdır. Oysa ikisinin arasında dağlar kadar fark vardır. Elindeki topları havada döndürüp duran hokkabazı top çeviremez duruma, topları da düştükleri yerde duran duruma getirmek çok kolaydır. Şöyle kuvvetlice bir itiverdiniz mi işi bitirirsiniz. İşte, yerdeki beş topun yanında ayakta bekleyen adam ölüm için iyi bir metafordur. Elbette iş öbür yöne gitmeye gelince, bu o kadar basit değildir. Beş topu aynı anda bir adama fırlatıp, hemencecik top çeviren hokkabaz durumunu almasını bekleyemezsiniz. Böyle bir şey mümkün olamaz. Aynı şekilde, canlı bir hücrenin tüm parçalarını bir araya koyup karıştırdınız mı canlı bir hücre elde edemezsiniz. En iyi olasılıkla, her bir parça doğru yerine oturmuş olsa bile elde edeceğiniz şey, *ölü* bir hücreye karşılık gelecektir. Elinizdeki, bir madde yığınından, termodinamik bir kümeden başka bir şey olmayacaktır. Oysa hatırlayın: Canlı hücre, havada kalmak için kanatlarını çırpan kuş gibi dinamik, dengeden uzak bir durumdadır. Canlı diye sınıflandıracağımız entegre ve dinamik bir sistemi oluşturma potansiyeline sahip olan parçaları bir araya getirmek, bizi yaşam olarak bildiğimiz o özel örgütsel ve dinamik karaktere götürmez.

O halde hokkabaz benzetmemize dönüp ne tür bir stratejinin işe yarayabileceğine bakalım. Topların havada döndüğü duruma nasıl girilir? Yanıt: adım adım. İlk başta hokkabaza iki top atarsınız, sonra bir üçüncü, daha sonra bir dördüncü, her seferinde bir adım ileri. İşe basitinden başlar ve karmaşıklığı azar azar artırırsınız. Evrim de işte böyle yapmıştır: adım adım, basit ve az kararlı olandan, karmaşık ve daha kararlıya doğru. O halde yaşam nasıl yapılabilir? İşte burada sahneye düşük düzeyde bir karmaşıklığa sahip olan ve kopyalanabilen dinamik durum girer ve her seferinde bir adım olmak üzere karmaşıklaşmaya başlar. Tabii bunu söylemek, yapmaktan daha kolaydır. Ama morfolojinin sizi aldatmasına izin vermeyin. En basit biçimiyle bile yaşam, bir torba içinde kendini kopyalayan bir varlık olmanın çok ötesindedir. Çok daha basit bir yaşam formu tek başına fiziksel bir varlık gösterebiliyor olsaydı, böyle formları kendini kopyalayabilenler dizisinin bir parçası olarak görmemiz lazım gelirdi. Oysa göremiyoruz. Böyle varlıkların yokluğu, olabilirlikleri konusunda yeterince aydınlatıcıdır. Yaşamın dinamik tabiatı göz önüne alındığında, yaşamın dinamik özelliklerini sergileyen bir kimyasal sistemin sentezlenmesi, ileri doğru önemli bir adım olacaktır. Gröningen Üniversitesi'nde yaratıcı bir sistem kimyacısı olan Sijbren Otto, kısa süre önce doktora öğrencisi Elio Mattia ile birlikte böyle bir dinamik kinetik kararlılığa sahip kimyasal sistemler oluşturmanın olası yollarını araştırmaya başladı; ama aşılması gereken güçlükler hayli zorlayıcı. Bense, en başta kendi kendini sürdüren bir kopyalanma süreci olmak üzere yaşam benzeri özellikler sergileyen basit bir kimyasal kümenin sentezinin şimdilik çok iddialı bir hedef olduğunu söyleyerek bu konuyu noktalayacağım.

Yaşam Nasıl Ortaya Çıktı?

Bu kitabın başlarında dedik ki, yaşamın ne olduğunu anlamak istiyorsak, önce onu ortaya çıkaran süreci anlamamız gerek. Ve şunu keşfettik: Sistem kimyasındaki son gelişmeler sayesinde yaşamın kökeni sorunu, en azından tarihsel olmayan bağlamda büyük ölçüde çözümlenmiş olabilir. Artık abiyogenesis ve Darwinci evrimin tek

bir süreç olduğunu düşünmek için yeterli nedene sahibiz. O halde biyolojik evrimi anladığımızı düşünüyorsak, ki genel hatlarıyla anlıyoruz, o zaman abiyogenesisi de anlıyoruz demektir. Bilimsel çalışmaların ve akıl yürütmenin tarihsel kayıtları açığa çıkarma olanakları sınırlı olduğundan, tarihsel sorular –yani *ne, nerede, ne zaman* soruları– görülebilir gelecekte de bizi kışkırtmaya ve zorlamaya devam edecektir. Ama tıpkı Darwinci evrimin "hangi türler nerede yaşadı" gibi tarihsel ayrıntılarının kuramsal çerçeve için ikincil bir önem taşıması gibi, kendi içinde ne kadar büyüleyici olursa olsun, yaşamın ortaya çıkışının tarihsel ayrıntıları da ikincil önemde sayılabilir. Asıl soruya gelince, bir yanıtı var ve inanılmaz derecede basit: Dünyada yaşam, kimliği belirsiz ama kopyalanabilen sistemler –RNA ve RNA-benzerleri gibi zincir yapıda, mutasyona ve karmaşıklaşmaya yatkın oligomerik maddelerden oluşan basit sistemler– üzerinde işleyen kopyalanma tepkimesinin muazzam kinetik gücüyle ortaya çıktı. Bu karmaşıklaşma süreci, sistemlerin kararlılıklarının –termodinamik kararlılıklarının değil, kopyalananlar dünyasında geçerli olan dinamik kinetik kararlılığın (DKK)– artması sonucunu verdiği için gerçekleşti. Bu açıklamanın özellikle doyurucu olan yanı, yaşamın kökeni sorununun (tarihsel olmayan bağlamda) çözümünün, Charles Darwin'in biyolojik evrim konusundaki çok önemli fikirleriyle mükemmelen uyuşup birleşmesidir. Aslında, dünyada yaşamın nasıl ortaya çıktığına dair fiziksel sorun, Charles Darwin'in biyolojik evrim kuramının moleküler sistemleri de kapsayacak şekilde yeniden formüle edilip geliştirilmesiyle açıklığa kavuşabilir. Biyolojik evrimin temelindeki biyolojik terimler yeniden yorumlanıp bunlara karşılık gelen kimya terimlerine çevrilecek olursa, abiyogenesis ve biyolojik evrimin tek bir kimyasal süreç olduğu açığa çıkar.[64]

Kuşku yok ki, yukarıda da belirttiğimiz gibi bu açıklama dünyada 4 milyar yıl önce ne gibi olayların gerçekleşmiş olduğu konusunda bize bir şey söylemiyor. Öte yandan Darwin'in evrim kuramı da ilk yaşam formundan günümüzün çeşitlenmiş ve karmaşıklaşmış yaşamına giden tarihsel yol hakkında bir şey söylemiyor. Amacı da o değildi zaten. Tarihsel kaydın boşluklarını doldurma işi paleonto-

lojiye ve filogenetik analize kalmıştı. Darwin'in katkısı, tarihsel olmayan ilkeleri betimlemekti. O, bize biyolojik evrimin doğal bir süreç olduğunu, bütün canlıların birbirleriyle akraba olduklarını ve ortak bir atadan geldiklerini, dahası basit bir mekanizmanın, kendilerini kopyalayabilen ve mutasyon geçirebilen varlıklar üzerinde etkiyen doğal seçilimin tüm sürecin temeli olduğunu gösterdi. Biz de burada şunu savunduk: Darwinci tezin cansız maddeyi de kapsayacak şekilde genişletilmesi, abiyogenesis sorununun da aynı tarihdışı biçimde çözülmesini sağlayacaktır. Darwin'in o müthiş dehasıyla evrim ilkelerinin sonunda nereye çıkabileceğini daha o zamandan öngörebilmiş olduğunu fark etmek insanı afallatıyor. 1882 yılında George Wallich'e yazdığı mektuptaki şu sözleri, kesinlik ve açıklığıyla neredeyse bir kehanet niteliği taşıyor: "Süreklilik ilkesi, yaşam ilkesinin bundan böyle genel bir yasanın parçası ya da sonucu olarak gösterilmesini muhtemel kılıyor." Darwin ne kendini kopyalayan molekülleri, ne kinetik seçilimi, ne biyolojik kalıtımı biliyordu; sistem kimyasında Gerald Joyce, Günter von Kiedrowski, Reza Ghadiri, Gonen Ashkenasy, Sijbren Otto ve öteki önemli kimyacıların ufuk açan deneylerinden de haberi yoktu; ama bu sözlerin yazılmasının üstünden bir yüzyıldan uzun bir zaman geçmiş olmasına karşın Darwin bir kez daha hedefi on ikiden vurmuş gibi görünüyor.

Bir Ağ Olarak Yaşam

Yaşamın cansız maddeden ortaya çıkış sürecindeki temel unsurları aydınlattıktan sonra, şimdi artık canlıların hayranlık verici ve yaşamın özünü etkileyen bir vasfını ele almaya hazırız: ağ olma özelliği. Yaşamın basitten başlayarak giderek karmaşıklaştığını görmüştük. Peki ama "karmaşıklaşma" ile tam olarak neyi kastediyoruz? Yanıt: ağ oluşumu; görece basit tepkime ağlarından, karmaşık olanlara doğru gidiş. Tüm bu ağların temel özelliği, bütüncül olarak kendilerini kopyalayabilmeleridir. O halde yaşam, otokataliktik özelliğini koruyan hayli karmaşık bir kimyasal tepkimeler ağından başka bir şey değildir; bu karmaşık ağ da, görmüş olduğumuz gibi daha basit ağlardan başlayarak adım adım oluşmuştur. Peki ya itici güç? Daha

önceki bölümlerde irdelediğimiz gibi, kendini kopyalayabilen kimyasal sistemlerin gitgide artan karmaşıklık ve kararlılıktaki formlara doğru gelişmesini sağlayan, DKK'yı artırma güdüsüdür ve DKK'nın kendisi de kopyalanmanın kinetik gücüne bel bağlar. Artık bu karmaşıklaşma sürecinin gerçek tabiatını belirtebiliriz: ağ oluşumu. Karmaşıklaşma, ağ oluşumu; bunlar fiilen bir ve aynıdır. Bu açıdan bakıldığındaysa yaşam, bir *şey* olmaktan çok bir *süreçtir*. Ya da Carl Woese ve Nigel Goldenfeld'in kısa süre önce söyledikleri gibi: "Biyoloji, varlığı değil oluşu araştırır."[67] Peki bu ağ kendini hangi ortam içinde oluşturur? O olağanüstü çözücüde: suda. Kendine özgü nitelikleriyle[68,69] "kozmik sıvı" suyun, yaşamın tepkimeler ağının kök salabilmesinde kilit bir rol oynadığı düşünülüyor.

Yaşamın bir kimyasal tepkimeler ağı olduğunu söyledim; ama yalnızca çevremizdeki dünyayı incelediğimizde bile ağın tek tek birimlerden –yani hücrelerden– oluştuğunu görüyoruz. Hücreler, hiç kuşku duymadan "canlı" diye tanımladığımız en küçük tekil varlıklardır. Canlılar tek bir hücreden oluşabilecekleri gibi, tek tek hücrelerin meydana getirdiği bloklardan oluşan çokhücreli organizmalar da olabilirler. Ama yaşama ağ perspektifinden bakmak bizi ilginç ve hayli yerinde bir soruya götürür: *Tek tek yaşam formları gerçekte var mıdır?* Tekil canlılar varmış gibi görünüyor, zira hepsi de kendi bireysel işleri güçleriyle meşgul olan yaşam formlarıyla çevriliymiş gibi görünüyoruz: kuşlar, arılar, develer, insanlar ve elbette, başta bakteriler olmak üzere tekhücreli canlılar. Pratikteyse bu bireysellik öyle düşünüldüğü kadar aşikâr değil. Canlı bireyler diye sınıflandırdığımız varlıklar da bir ağın, sürekli genişleyen yaşam ağının parçaları olarak düşünülebilirler. Şu tekhücreli türleri, bakterileri bir daha düşünelim. Daha önce bazı bakteri türlerinde koloninin, yani tek tek bakterilerden oluşan kümelerin, bakterilerin protoplazmik bir topak halinde birleştiği çokhücreli bir formata geçtiğinden söz etmiştik. Bu oluşum kaynaklar kıtlaştığında gerçekleşir. Ama ister birbirine bağlanmış olsunlar, isterse fiziksel olarak ayrı durumda bulunsunlar, bu hücreler eylemlerini koordine etmek için sürekli bir kimyasal iletişim içindedirler. Biyofilm fenomeni, eşgüdümlü bakteriyel eylem için başka bir örnektir. Bakteriyel davranış, yaşa-

mın ağ karakterini ortaya çıkarır. Bakterilerin genleri, onları *bireysel* değil *komünal* olmaya yönlendirir. Bakteriler bir bireyler dizisi olmaktan ziyade bir ağ teşkil ederler.

Modern hücreye çıkan evrim rotası üzerinde son zamanlarda ortaya atılan düşünceler de bu genel kalıba uyuyor. Carl Woese'ye göre, ilk zamanlardaki hücreler hayli komünaldi ve evrimleri büyük ölçüde yatay gen transferiyle gerçekleşmişti. [70] Bu, ilkel yaşamın, daha basit ve kendini kopyalayabilen kümelerin sıkı sıkıya entegre ağlarından ibaret olduğunu söylemenin bir başka yoludur. Fakat ağ evrilip daha da karmaşıklaştıktan sonra daha gevşek ve modüler bir biçim almıştı. İşte hücreler ayrı ayrı varlıklar halinde o zaman doğdular. Bu hayli önemli bir geçişti; bunu bir faz geçişi olarak da düşünebilirsiniz.[55] Sıkı sıkıya komünal olandan bireysel olana doğru gerçekleşen bu morfolojik değişim, yeni bir dizi evrimsel yeteneğe kapı açtı. Bu geçişin aşikâr bir avantajı, parçaları daha fazla bireysel özellik gösteren kendini kopyalayabilen bir ağın, daha sıkı bağlara sahip bağımsız bir ağa kıyasla bir saldırıdan daha az zararla kurtulmasıdır. Parçalarının her biri ağın kopyalanmasında önemli rol oynayan sıkı bir ağın herhangi bir bölgesine saldırdığınızda, ağın tümü zarar görecektir. Ama eğer ağ kendi başlarına kopyalanabilen parçalardan oluşuyorsa, o zaman daha gevşek ve modüler olabilir. Böyle bir ağın bazı bileşimlerini tahrip ettiğinizde, ağ büyük olasılıkla canlı kalacaktır. *Ama bu, bireyselliğin bir yaşam özelliğindan çok bir yaşam stratejisi olduğu anlamına gelir.* Bireysellik, evrimin kopyalanma yeteneğini ve sağlamlığı geliştirmek için başka birçoğu ile birlikte keşfetmiş olduğu bir teknikten başka bir şey değildir. Yaşama bakışımızı değiştirme kapasitesine sahip olan bu ağ perspektifi, yaşamın *formdan* ziyade bir *süreç* olarak daha iyi anlaşılacağını, formların sürecin birer rastlantısal ifadesinden ibaret olduğunu vurgular. Bu gözle bakıldığında yaşam sürecinin (kendini kopyalama süreci), kopyalanma gündemini optimize etmek için "mümkün olan her hileden" yararlandığı görülür. Süreç, optimal olduğunda beraberliği seçer; daha iyi bir seçenek olduğundaysa, fiziksel bireysellik şeklinde ortaya çıkan ayrılığı. Kısacası, belli bir zamanda ve belli koşullarda işe yarayan neyse onu seçer.

Peki bireyselliğin çokhücreli sistemlerdeki rolü? Burada bu rolü açık seçik gösteren durumlar olduğu öne sürülebilir. Gelgelelim burada da bireysel sınıflandırma hayli sorunludur. Örnek olarak biz insanları alın. Her insan çok büyük sayıda ve pek çok çeşitte bireysel hücreden oluşur. Ama ilginç bir şekilde, her insan kendi hücre sayısından daha fazla sayıda bakteri hücresinden de oluşur. Yani iş sayıya vurulacak olursa, insandan çok bakteri sayılırız! Bu bakterilerin yüzlerce çeşitten milyarlarcası bağırsaklarımızda, öteki vücut deliklerimizde, derimizde yaşar. Her insan bir organizmadan ziyade bir süperorganizma, devasa bir ağdır.[71] Bu bakteriler insan sağlığıyla öylesine iç içe olabilir ki, kısa süre önce bunlara "unutulmuş organımız" bile denmiştir.[72] Sonuç olarak, her bir insan ve dolayısıyla her çokhücreli canlı, tek başına yaşayan bir varlıktan ziyade bir ekolojik ağdır. Nitekim yaşamın bireysel karakteri yerine özündeki ağ özelliğini kavramak bizi hastalıkların anlaşılması ve önlenmesi için yeni ve devrim niteliğinde yöntemlere götürüyor – en azından insan perspektifinden bakıldığında.

Peki ya bitkiler? Onlar da geniş bir ekolojik ağın parçası olduklarından, bitkilerin bireyselliği de sorgulanabilir. Farklı bir mekanizma aracılığıyla olsa da, bitkiler de tıpkı hayvanlar gibi metabolizmaları için bakterilere muhtaçtır. Bitkilerin protein sentezi için bir nitrojen (azot) kaynağına gereksinimleri vardır; ama atmosferdeki nitrojen görece atıl (başka elementlerle tepkimeye girmeye dirençli) olduğundan kolayca kullanılamaz. Nitrojeni kullanılabilir duruma getiren, topraktaki ve bitki köklerindeki bakterilerdir. Bu durumda görüyoruz ki yaşam, birbirleriyle etkileşim içinde olan koca bir bağımsız varlıklar dizisinden ziyade, birbiri içine yerleştirilmiş matruşkalardan oluşan bir ağ gibidir. Bağırsaklarınızı mesken edinmiş olan bakteriler bile kopyalanan canlılar zincirinin son halkası olmayıp, kendilerinden daha basit yaşam formlarına, virüslere evsahipliği yapıyor olabilirler. Virüsler, metabolizma yeteneğinden yoksun olan ve kendilerini kopyalayabilmek için işgal ettikleri hücrelerin metabolik becerilerinden yararlanan varlıklardır. O halde virüsler merdivenin en alt basamağı mıdır? Yaşamda her zaman beklenmedik sürprizler vardır. Kısa süre önce, bazılarının boyutları kü-

çük bakterilerinkini bile geçen dev virüslerin doğada yaygın olduğu keşfedildi. Ancak ilginçtir ki, bu büyük virüslerin daha küçük virüslerle enfekte edilebileceği de belirlendi. Matruşkalar misali, zincirde son halkaya erişip erişmediğinizden hiçbir zaman emin olamazsınız. Kopyalananlar kimyası beklenmedik virajlar ve dolambaçlarla doludur.

Burada ağa yukarıdan aşağıya doğru baktık; ama bir insandan başlayıp yukarıya baktığınızda, bireyin bir çekirdek ailenin parçası, çekirdek ailenin bir geniş ailenin parçası, geniş ailenin bir yerel topluluğun parçası, yerel topluluğun insan örgütlenmesindeki daha büyük grupların parçası olduğunu görürsünüz. Ağın herhangi bir düzeydeki işleyişi, bir alt ve bir üst düzeydeki ağların işleyişine bağlıdır. Birey yalnızca, birçok karmaşıklık düzeyi içeren bir ağdaki belli bir karmaşıklık düzeyini temsil eder. Cinselliği ele alalım örneğin. Cinsellik ilgimizi çeker; zaten de öyle olması gerekir. Cinsellik bize cinsel bireyler olarak, üreme açısından tam olmadığımızı söyler. Biyolojik bağlamda konuştuğumuzda bireyselliğimiz aslında yoktur. Bireyin bir geleceği yoktur – gerçekten! Cinselliğin böyle güçlü ve zorlayıcı bir biçimde ilgi odağımız olmasının nedeni de budur. Ama insan aynı zamanda duygusal olarak da noksandır ve çeşitli psikolojik unsurlar onu yine ağa bağlar. Başkalarıyla birlikte olmaya takıntılı bir gereksinim duyarız. Kendimizi ayrı sayarız, ama aslında bir bütün teşkil ederiz. Kendimizi bireyler olarak düşünürüz, ama aslında her birimiz bir ağın parçalarıyız. O halde gezegenimizi dolduran bir biyosfer, milyarlarca bireysel yaşam formunun istilası olarak değil, sürekli genişleyen, yaşayan bir ağ olarak yorumlanmalıdır. Kopyalanma güdüsü, kendini kopyalayarak o ağı genişletmek için yeni ve yaratıcı yollar bulma uğraşında bütün yöntemleri dener. Yukarıda söylediklerimiz dikkate alındığında, birey olan bir canlı için kesin bir tanım yapmak hiç şüphesiz zordur. Bir birey üreme açısından kendi kendine yeterli mi olmalıdır? Eğer öyleyse, herhangi bir cinsel varlık, siz ya da ben tanıma uymayız. Bir yaşam formu, yokluklarında üreyemeyeceği, hatta yaşayamayacağı başka kopyalanan varlıklara simbiyotik bir bağla bağlıysa gerçek anlamda birey sayılabilir mi? Her ne kadar o devasa kopyalananlar

ağının bazı parçaları birey görüntüsü verse de, bu görüntü çoğu kez bir yanılsamadır.

Yaşama ağ perspektifinden bakmak, yaşamla ilgili olarak yıllar yılı sıkça dile getirilen bazı soruların yanıtlanmasına da yardımcı olabilir. Burada öne sürülen yaşam kuramı temelinde, kopyalanma yaşamın özüdür. Buysa, bir katırın ya da yalnız bir tavşanın –ikisi de üreme imkânından yoksun oldukları için– canlı sayılamayacaklarını ima ediyor gibi görünebilir. Oysa tabii ki katırlar (ve yalnız tavşanlar) canlıdır. Üreyemeyecekleri doğrudur, ama yine de kendini kopyalayanlar ağının bir parçası durumundadırlar. Onlar yalnızca birer çıkmaz sokaktır; çıkmazda sonlanan bir yol ise hâlâ bir yoldur ve yollar ağının bir parçasıdır. Katırlar da kopyalanan varlıklardır; üreyebildikleri için değil (çünkü bunu yapamazlar), kendilerini ortaya çıkaran kopyalanma sürecinin bir parçası oldukları için. Peki ya virüsler? Onlar da canlı mıdır? Konu üzerinde uzun tartışmalar yapılabilir ve sonunda yanıt kişinin bir canlının nasıl tanımlanacağı konusundaki seçimine gelip dayanır. Açık ki, virüsler bağımsız bir metabolizmaya sahip olmak gibi yaşamın temel göstergelerinden yoksundurlar. Fakat bununla birlikte, virüslerin de yaşam ağının ayrılmaz bir parçası olduklarına kuşku yoktur. Virüsler meselesinde soru bilimsel olmaktan çok felsefe ve dilbilimle ilgili gibi görünüyor.

Kimya ile Biyolojinin Birleşmesi

Bu kitabın amacı, Schrödinger'in klasik sorusu da dahil olmak üzere yaşamla ilgili sorulardan en temel olanların yanıtlarının sonunda erişilebilir hale geldiğini göstermekti. Bilimin ve özellikle tümevarımcı yöntemin olağanüstü güçleri, yaşamlarımızda ve dünyayı kavrayışımızda bir asır önce bile öngöremediğimiz ölçüde devrim yarattı. Darwin'in biyolojik düşüncede başlattığı devrimden sistem kimyasındaki yeni gelişmelere kadar uzanan son 150 yıldaki olağanüstü bilimsel ilerlemeler sayesinde biyoloji ve kimya sonunda birleşiyor, tek bir disiplin halinde bütünleşiyor. Darwinci devrim artık nihai hedefine, Charles Darwin'in 130 yıl önce öngördüğü hede-

fe, biyolojik bilimlerin de fiziksel bilimlere entegre edilmesine yaklaşmış görünüyor. İki bilimin bu birleşmesi, yaşamın ne olduğunu, neden ortaya çıktığını, yaşam ağacında gezegenimizdeki tüm öteki canlılar gibi incecik bir dal parçası olan biz insanların madde dünyasıyla ve bir bütün olarak evrenin kendisiyle nasıl bir ilişki içinde olduğumuzu ve Darwin'in ortaya koyduğu manzaranın affetmeyen acımasızlığına karşın neden birbirimize bağlı olduğumuzu, neden daha derin bir anlamda bir ve tek olduğumuzu –bilimin kendisinin bize koyduğu sınırlar dahilinde– kavramaya başlayabileceğimiz anlamına geliyor. Bu temel yaşam bağı, insanlığın –Stephen Hawking'in deyimiyle "mütevazı ölçülerde bir gezegen üzerindeki kimyasal bir pislik" olan varlığın– geleceği için umut ışığı olabilir mi? Bunu ancak zaman gösterecek.

—

Kaynaklar ve Notlar

1. Woese, C. R., "A New Biology for a New Century", *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 68: 173-86, 2004.

2. Dawkins, R., *The Blind Watchmaker*, New York: Norton, 1996; Türkçesi: *Kör Saatçi*, çev. Feryal Halatçı, Tübitak, 2013.

3. Gold, T., "The Deep, Hot Biosphere", *PNAS* 89: 6045-49, 1992.

4. Proctor, L. M. ve D. M. Karl, "A Sea of Microbes", *Oceanography*, 20: 14-15, 2007.

5. Soshichi, U., "Darwin's Principle of Divergence", philsci-archive.pitt.edu/1781/1/PrDiv.pdf, 2004.

6. McShea, D. W., R. N. Brandon, *Biology's First Law: The Tendency for Diversity and Complexity to Increase in Evolutionary Systems*, Chicago: University of Chicago Press, 2010.

7. Haeckel E., *Die Radiolarien (Rhizopoda Radiaria): Eine Monographie*, Berlin: Druck und Verlag Von Georg Reimer, 1862, akt. J. Pereto, J. F. Bada, A. Lazcano, "Charles Darwin and the Origin of Life", *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 39: 395-406, 2009.

8. Bohr, N., *Nature* 131: 458, 1933, akt. H. P. Yockey, *Information Theory, Evolution and the Origin of Life* içinde, Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

9. Schrödinger E., *What is Life?* Cambridge: Cambridge University Press, 1944; Türkçesi: *Yaşam Nedir?*, çev. Celal Kapkın, Evrim, 1999.

10. Monod J., *Chance and Necessity*, New York: Random, 1971; Türkçesi: *Rastlantı ve Zorunluluk*, çev. Elodie Moreau, Alfa, 2012.

11. Watson, J. D. ve F. H. Crick, "Genetical Implications of the Structure of Deoxyribonucleic Acid", *Nature* 171: 964-67, 1953.

12. Popper K., "Reduction and the Incompleteness of Science", *Studies in the Philosophy of Biology* içinde, haz. F. Ayala ve T. Dobzhansky, Berkeley ve Los Angeles: University of California Press, 1974.

13. Crick, F. H. C., *Life Itself*, New York: Simon and Schuster, 1981.

14. Popa R., *Between Necessity and Probability: Searching for the Definition and Origin of Life*, Berlin: Springer, 2004.

15. Dyson, F. J., NASA'nın Goddard Uzay Uçuş Merkezi'ndeki kolokyum, 2000.

16. Kunin, V., "A System for Two Polymerases – A Model for the Origin of Life", *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 30: 459-66, 2000.

17. Arrhenius, G., "Short Definitions of Life", *Fundamentals of Life* içinde, haz. G. Palyi, C. Zucchi, L. Caglioti, s. 17-18, Paris: Elsevier, 2002.

18. Hennet, R. J. C., "Life is Simply a Particular State of Organized Instability", *Fundamentals of Life* içinde, haz. G. Palyi, C. Zucchi, L. Caglioti, s. 109-10, Paris: Elsevier, 2002.

19. Cleland, C. E., C. F. Chyba, "Defining Life", *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 32: 387-93, 2002.

20. Macaulay, T. B., *Critical and Historical Essays*, c. 3, Project Gutenberg eBook #28046, 2009.

21. Ayala, F., T. Dobzhansky (haz.), *Studies in the Philosophy of Biology: Reduction and Related Problems*, Londra: MacMillan, 1974.

22. Noble, D., *The Music of Life*, Oxford: Oxford University Press, 2006.

23. Brenner, S., "Sequences and Consequences", *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365: 207-12, 2010.

24. Weinberg, S., *Dreams of a Final Theory,* New York: Vintage, 1994.

25. Crick, F. H. C., *Of Molecules and Men*, Seattle: University of Washington Press, 1966.

26. Cornish-Bowden, A., *Perspectives in Biology and Medicine* 49: 475-89, 2006.

27. Mills, D. R., R. L. Peterson, S. Spiegelman, "An Extracellular Darwinian Experiment with a Self-duplicating Nucleic Acid Molecule", *PNAS* 58:217, 1967.

28. von Kiedrowski, G., "A Self-replicating Hexadeoxynucleotide", *Angewandte Chemie, International Edition, English*, 25: 932-34, 1986.

29. von Kiedrowski, G., S. Otto ve P. Herdewjin, "Welcome Home, Systems Chemists!", *Journal of Systems Chemistry 1: 1, 2011.*

30. Dawkins, R., *The Selfish Gene*, Oxford: Oxford University Press, 1989; Türkçesi: *Gen Bencildir*, çev. Tunç Tuncay Bilgin, Kuzey, 2014.

31. Grand, S., *Creation*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2001.

32. Yaşamın kökeni üzerine son zamanlarda yapılan kapsamlı değerlendirmeler için bkz. (a) Luisi P. L., *The Emergence of Life: From Chemical Origins to Synthetic Biology*, Cambridge: Cambridge University Press,

2006; (b) kay. 14; (c) Fry, I., *The Emergence of Life on Earth*, Piscataway, Rutgers University Press, 2000.

33. Wacey, D., M. R. Kilburn, M. Saunders, J. Cliff, M. D. Brasier, "Microfossils of Sulphur-metabolising Cells in 3.4-billon-year-old Rocks of Western Australia", *Nature Geoscience* 4: 698-702, doi:10.103B/ngeo 1238, 2011.

34. Mojzsis, S. J., G. Arrhenius, K. D. McKeegan, T. M. Harrison, A. P. Nutman, C. R. L. Friend, "Evidence for Life on Earth Before 3800 Million Years Ago", *Nature* 384: 55-59, 1996.

35. Hanage, W. P., C. Fraser, B. G. Spratt, "Fuzzy Species Among Recombinogenic Bacteria", *BMC Biology* 3: 6, 2005; Papke, R. T., J. P. Gokarten, "How Bacterial Lineages Emerge", *Science* 336: 45, 2012.

36. Woese, C., "Interpreting the Universal Phylogenetic Tree", *PNAS* 97: 8392-96, 2000.

37. Miller, S. L., "A Production of Amino Acids under Possible Primitive Earth Conditions", *Science* 117: 528-29, 1953.

38. Waechtershaeuser, G., "Groundwork for an Evolutionary Biochemistry: The Iron-sulphur World", *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 58: 85-201, 1992.

39. Cairns-Smith, A., *Genetic Takeover and the Mineral Origin of Life*, Londra: Cambridge University Press, 1982.

40. Powner, M. W., B. Gerland, J. D. Sutherland, "Synthesis of Activated Pyrimidine Ribonucleotides in Prebiotically Plausible Conditions", *Nature* 459: 239-42, 2009.

41. Szostak, J. W., D. P. Bartel, P. L. Luisi, "Synthesizing Life", *Nature* 409: 387-90, 2001.

42. Kauffman, S. A., *Investigations*, Oxford: Oxford University Press, 2000.

43. Dyson, F. J., *Origins of Life*, Londra: Cambridge University Press, 1985.

44. Eigen, M., *Steps Towards Life: A Perspective on Evolution*, Oxford: Oxford University Press, 1992.

45. Gesteland, R. F., J. F. Atkins, *The RNA World: The Nature of Modern RNA Suggests a Prebiotic World*, New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1993.

46. Lifson, S., "On the Crucial Stages in the Origin of Animate Matter", *Journal of Molecular Evolution* 44: 1-8, 1997.

47. Orgel, L. E., "The Implausibility of Metabolic Cycles on the Prebiotic Earth", *PLoS Biology* 6: e18, 2008.

48. de Duve, C., *Life Evolving: Molecules, Mind and Meaning*, Oxford:

Oxford University Press, 2002.

49. Ganti, T., "Organization of Chemical Reactions into Dividing and Metabolizing Units: The Chemotons", *BioSystems* 7: 189-95, 1975.

50. Prigogine, I., "Time, Structure and Fluctuations", *Science* 201: 777-85, 1978.

51. Collier, J., "The Dynamics of Biological Order", *Entropy, Information and Evolution* içinde, haz. B. H. Weber, D. J. Depew, J. D. Smith, s. 227-42, Cambridge: MIT Press, 1988.

52. Gardner, M., "Mathematical Games: The Fantastic Combinations of John Conway's New Solitaire Game 'Life'", *Scientific American* 223: 120-23, 1970.

53. Voytek, S. B., G. F. Joyce, "Niche Partitioning in the Coevolution of Two Distinct RNA", *PNAS* 106: 7780-85, 2009.

54. Hardin, G., "The Competitive Exclusion Principle", *Science* 131: 1292-97, 1960.

55. Maynard, Smith J., E. Szathmary, *The Major Transitions in Evolution*, Oxford: Oxford University Press, 1995.

56. Dadon, Z., N. Wagner, G. Ashkenasy, "The Road to Non-enzymatic Molecular Networks", *Angewandtė Chemie, International Edition 47:* 6128-36, 2008.

57. Lincoln, T. A., G. F. Joyce, "Self-sustained Replication of an RNA Enzyme", *Science* 323: 1229-32, 2009.

58. Eigen, M., Schuster P, *The Hypercycle: A Principle of Natural Self-Organization*, Berlin: Springer-Verlag, 1979.

59. Saffhill, R., H. Schneider-Bernloehr, L. E. Orgel, S. Spiegelman, "In Vitro Selection of Bacteriophage Qß Ribonucleic Acid Variants Resistant to Ethidium Bromide", *Journal of Molecular Biology* 51: 531-39, 1970.

60. Tabii ki evrim sürecinde *tüm* yaşam formları karmaşıklaşmadı. Mikrobiyel yaşam en yaygın yaşam formuydu ve hâlâ öyle. Önemli olan, evrim sürecinin başlangıçta yalnız görece basit yaşam formlarının yer aldığı bir dünyadan hayli karmaşık yaşam formlarının çıkmasını sağlamış olması.

61. Wagner, N., A. Pross, E. Tannenbaum, "Selection Advantage of Metabolic Over Non-metabolic Replicators: A Kinetic Analysis", *BioSystems* 99: 126-29, 2010.

62. Pascal, R., L. Boiteau, "Energy Flows, Metabolism and Translation", *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 366: 2949-58, 2011; Pascal, R., "Suitable Energetic Conditions for Dynamic Chemical Complexity and the Living State", *Journal of Systems Chemistry* 3: 3, 2012.

63. Pross, A., "Stability in Chemistry and Biology: Life as a Kinetic Sta-

te of Matter", *Pure Applied Chemistry Journal* 77: 1905-21, 2005.

64. Pross, A., "Toward a General Theory of Evolution: Extending Darwinian Theory to Inanimate Matter", *Journal of Systems Chemistry* 2: 1, 2011.

65. Soai, K., T. Shibata, H. Morioka, K. Choji, "Asymmetric Autocatalysis and Ampflication of Enantiomeric Excess of a Chiral Molecule", *Nature* 378: 767-68, 1995.

66. Pross, A., "How can a Chemical System Act Purposefully? Bridging Between Life and Non-life", *Journal of Physical Organic Chemistry* 21: 724-30, 2008

67. Woese, C. R., N. Goldenfeld, "How the Microbial World Saved Evolution from the Scylla of Molecular Biology and the Charybdis of the Modern Synthesis", *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 73: 14-21, 2009.

68. Engberts, J. B. F. N., akt. U. M. Lindstrom (haz.), *Organic Reactions in Water: Principles, Strategies and Applications*, Londra: Wiley-Blackwell, 2007.

69. Lynden-Bell, R. M., S. Conway Morris, J. D. Barrow, J. L. Finney, C. L. Harper Jr. (haz.), *Water and Life: The Unique Properties of H20*, Boca Raton, F. L.: CRC Press, 2010.

70. Woese, C. R., "On the Evolution of Cells", *PNAS* 99: 8742-47, 2002.

71. Gill, R. G., M. Pop, R. T. DeBoy, P. B. Eckburg, P. J. Turnbaugh, B. S. Samuel, J. I. Gordon, D. A. Relman, C. M. Fraser-Liggett, K. E. Nelson, "Metagenomic Analysis of Human Distal Gut Microbiome", *Science* 312: 1355-59, 2006.

72. O'Hara, A. M., F. Shanahan, "The Gut Flora as a Forgotten Organ", *EMBO Reports* 7: 688-93, 2006.

Dizin

abiyogenesis, 84, 119, 120, 127, 138, 146, 148, 162, 165-67
Allen, Woody, 56, 152
Altman, Sidney, 101
Aristoteles, 41-43, 45
arkeler, 19, 89-90, 91, 123, 158

bakteri çeşitliliği, 34-35
bakteriler, 89
bilgi (enformasyon), 139-41
bilimsel yöntem, 50-51, 57
bilinç, 161-62
Bohr, Niels, 12, 14, 19, 44, 45
Brenner, Sydney, 58
bütüncülük, 56-61, 111

Cech, Thomas, 101, 102
Chyba, Christopher, 49
Ciechanover, Aaron, 33
Cleland, Carol, 49
Conway, John, 114
Cornish-Bowden, Athel, 61
Crick, Francis, 29, 45-46, 59, 84

çeyrek tür, 132-33

Darwin, Charles, 15, 23, 35, 43, 44, 46, 53, 108, 121, 131, 156, 166-67, 172-73
Darwinci kuram, 15, 19, 22, 43, 44, 48-49, 53, 80, 109, 112, 116, 119, 120, 127, 148, 156, 165, 166-67
Dawkins, Richard, 19, 78
De Duve, Christian, 104-5
Delbrück, Max, 88
dengesizlik termodinamiği, 115
dinamik kararlılık, 75-76
dinamik kinetik kararlılık (DKK), 15, 76-77, 79, 131-32, 134-45, 149-61, 166, 168
DNA, 20, 29, 30, 45-46, 72, 101, 109, 139-40
doğal seçilim, 35, 43, 53, 108-9, 121, 129-30, 138, 156, 167
dünya dışı yaşam, 162
Dyson, Freeman, 48, 100

Eigen, Manfred, 101, 132, 133, 151
Einstein, Albert, 12, 53
En Son Ortak Ata (ESOA), 88, 91, 158
entropi, 66

Feynman, Richard, 53, 98
filogenetik analiz, 88-91, 158, 167

Ganti, Tibor, 110
genel evrim kuramı, 141
Grand, Steve, 76

Haeckel, Ernst, 44
Haldane, J. B. S., 84
Hawking, Stephen, 11, 173
Hershko, Avram, 33
hiyerarşik indirgeme, 58-59, 128
homeostazi, 21
homokirallik, 39, 158-60

Iraksama İlkesi, 35, 156-57

indirgeme, 56-62
İnsan Genom Projesi, 109

Jobs, Steve, 155
Joyce, Gerald, 121, 122, 124-26, 139, 146, 152, 167

kararlılık, 73-77
karmaşıklık, 19-23
kataliz, 67-68
Kauffman, Stuart, 99, 110
kendi kendini kopyalama, 68-71
kimyasal tepkimeler, 63-66
kinetik seçilim, 129-30, 143, 154
kiralite, 37-39, 151
kopyalanma, 67-68

Lifson, Schneior, 103
Lotka, Alfred, 129, 151
Luisi, Pier Luigi, 97

Macaulay, Thomas, 51
Malthus, Thomas, 151
matruşka metaforu, 80, 148, 170, 171
Miller, Stanley, 92-93
moleküler evrim, 121, 127
Monod, Jacques, 30, 42, 44, 57, 104-5, 112, 161
mutasyon, 33, 47, 79-80, 101, 133-34, 142, 144, 158

Newton, Isaac, 24, 31, 52-54, 85
Noble, Denis, 57
nükleotidler, 69-71, 79-80, 88-89, 95, 98, 139

Oparin, Alexander, 83, 92
Orgel, Leslie, 94, 103
otokataliz, 47, 67-69, 71, 73, 100, 103, 140-42, 146, 151, 158-59
Otto, Sijbren, 165, 167

ökaryotlar, 89-90, 123, 158
ölüm, 155-56
örüntü tanıma, 51, 54

paleobiyolojik kayıtlar, 88
panspermia, 46, 84
Pascal, Robert, 154
Popa, Radu, 47
Popper, Karl, 46, 57
prebiyotik kimya, 92-93, 96-97
Prigogine, Ilya, 112
prokaryotlar, 89-90, 123
protein bozunması, 34, 63-64

Ramakrishnan Venkatraman, 18
rekabetçi dışlama ilkesi, 121-22, 130
ribozom, 17
RNA dünyası, 95, 101-2
RNA, 69-73, 75, 79-84, 89, 95, 100, 109, 120-25, 127, 132-35, 139-40, 146, 152, 166
Rose, Erwin, 33

Schrödinger, Erwin, 11-12, 19, 44-46, 59, 141, 144, 147
Schuster, Peter, 96, 101, 132

sistem biyolojisi, 57-58, 111, 115, 117
sistem kimyası, 15, 77, 99, 116-20, 124, 148, 165
siyanobakteriler, 77, 136
Soai, Kenso, 159
Spiegelman, Sol, 69, 72, 79-80, 101, 120, 127, 134-35
Steitz, Thomas, 18
Sutherland, John, 95
Szostak, Jack, 97

Tannenbaum, Emmanuel, 16, 144
teleoloji, 23, 27, 41-43, 45
teleonomi, 23-32, 44-45, 112, 160-61
Termodinamiğin İkinci Yasası, 21, 36-37, 64-66, 78-79, 81, 102-4, 137, 141, 132-44, 149-50
termodinamik kararlılık, 74, 77, 79, 131, 135, 152, 166
tümevarım, 32, 50-53, 56

uyum gücü, 82, 128, 131-34, 136-37, 143
uyum gücü haritası, 132-33

virüsler, 170-72
von Kiedrowski, Günter, 15, 16, 72, 167

Wagner, Nathaniel, 16, 144
Weinberg, Steven, 54, 58, 59, 128
Whitesides, George, 83
Wittgenstein, Ludwig, 54
Woese, Carl, 12, 19, 57, 89, 90, 107-8, 110, 168, 169

yaşam ağacı, 88-91
Yaşam oyunu, 114
yatay gen transferi, 90, 142, 169
Yonath, Ata, 18

metis bilim | 30

Canlı varlıklar nasıl tanımlanabilir? Onları cansız maddelerden ayıran özellikleri nelerdir? İkisi de aynı "ölü" moleküllerden oluştuğu halde birbirlerinden nasıl bu kadar farklı olabilirler? Peki ya ilk canlının ortaya çıkışı? Darwin'in evrim kuramı bütün canlıların tekhücrelilerden nasıl türediğini büyük bir başarıyla açıklamasına rağmen, ilk canlının nasıl ortaya çıktığı sorusunu yanıtsız bırakır. İşte bu kitap tam da bu kritik sürece odaklanarak, cansız maddenin en basit canlı varlığa nasıl dönüştüğünü açıklıyor.

Canlı varlıklarla cansız maddeleri ayrı ayrı yasaların yönettiğini düşünmek bir süreksizlik yaratır. Oysa kuramsal kimyacı Addy Pross böyle bir süreksizliğin söz konusu olmadığını, cansız maddeden canlı varlığa geçiş ve ardından canlıların evrimleşmesi sürecinin kesintisiz bir süreç olduğunu, hepsinin altında tek bir temel ilkenin yattığını söylüyor. Ve bu temel ilkeye dayanan kendi kuramı aracılığıyla, canlılarla cansızlar ve kimya ile biyoloji arasında sağlam bir köprü kuruyor.

"Darwinci kuramın, o temel biyolojik ilkenin daha genel, hem yaşayan hem de yaşamayan sistemleri kapsayan kimyasal bir evrim kuramı içine yerleştirilebileceğini" ikna edici bir şekilde gösteren bu önemli çalışma, yaşamı hakkıyla anlamak isteyen herkesin okuması gereken heyecan verici bir kitap.



Metis Bilim
ISBN-13: 978-605-316-070-0

9 786053 160700

Metis Yayınları
www.metiskitap.com