MAHLON B. HOAGLAND

1921 yılında Boston'da doğan Mahlon B. Hoagland, lisans eğitimini Williams Kolej'de tamamladıktan sonra yüksek lisansını 1948'de Harvard Tıp Fakültesi'nde tamamladı. Kariyerine Massachusetts Hastanesi'inde Paul Zamecnik'in laboratuarında genetik alanında bilimsel araştırma yaparak devam eden Hoagland, RNA transferinin proteinlerin oluşumundaki rolü üzerine yoğunlaştı. 1970 yılında Worcester Vakfının Deneysel Biyoloji başkanı oldu. Hoagland ve Zamecnik'in tRNA adıyla anılacak olan transfer RNA üzerine çalışmaları genetik bilime büyük katkılar sağlamış, Hoagland bu çalışmalarıyla 1976 yılında Franklin Ödülü almıştır.

Hayatin Kökleri
© 2012, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

??????
© 2011 by the President and Fellows of Harvard College

Kitabın Türkçe yayın hakları Akcalı Ajans aracılığıyla Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne aittir. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılacak kısa alıntılar dışında hiçbir yöntemle çoğaltılamaz.

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak
Genel Müdür Vedat Bayrak
Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu
Dizi Editörü Kerem Cankoçak
Kapak Tasarımı Begüm Çiçekçi
Sayfa Tasarımı Mürüvet Durna

ISBN 978-605-106-720-9
Alfa Yayınları'nda 1. Basım: Mart 2013

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.
Ticarethane Sokak No: 53 34110 Cağaloğlu İstanbul
Tel: 0(212) 511 53 03 Faks: 0(212) 519 33 00
www.alfakitap.com - info@alfakitap.com
Sertifika no: 10905
Baskı ve Cilt

Melisa Matbaacılık
Çiftehavuzlar Yolu Acar Sanayi Sitesi No: 8 Bayrampaşa - İstanbul
Tel: 0(212) 674 97 23 Faks: 0(212) 674 97 29
Sertifika no: 12088

HAYATIN KÖKLERİ

İlk Canlılar Nasıl Oluştu?

Mahlon B. Hoagland

Çeviri
Şen Güven

ALFA® | BİLİM

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ 7
GİRİŞ 9
1. Yalınlık Gerçeğin Belirtisidir 11
2. Bilgi 21
3. Başlangıç 39
4. Enerji 49
5. Değişme 65
6. Doğal Seçilim 83
7. Embriyogenesis 97
8. Kanser 117
9. Araştırma 133
10. Kitapta Kullanılan Terimler 155
DİZİN 159

Önsöz

Canlıların yaşamlarını düzenleyen kanunları anlamak yolunda yapılan heyecan verici buluşlarda etkin katkımın olması benim için büyük bir şans. Aydınlatılan gerçeklerin yalınlığı ve güzelliği bana mutluluk kaynağı olmuştur. Bu kanunları tıp öğrencilerine öğretirken, bilimle uğraşmayan arkadaşlarıma açıklarken, deney zevkinin birçok kişiyle hatta fen eğitimi görmemiş kişilerle bile paylaşılabildiğine inandım. Kitabımı kendisine adadığım karım, bilginin paylaşılmasının tutkulu bir savunucusudur. O, bilim insanlarının yaptıklarını, konunun dışındakilere de açıklamak zorunda olduklarını düşünür. Bu küçük kitabın yazılıp biçimlenmesi de onun yoğun ısrarlarıyla gerçekleşti.

Yüzyılımıza kadar bilim insanları, monarşilere, zengin kişilere, hükümetlere, hayır kuruluşlarına, bazen de kendi mütevazi kaynaklarına dayanarak, genellikle bağımsız çalışırlardı. İnsanların her yerde durmadan artan beklentileriyle bilimsel teknolojinin artan maliyeti ve karmaşıklığı, bilim insanlarını hükümetlerle ve halkla daha yakın

ilişkilere soktu. Bilgi biriktikçe, giderek insanı ilgilendiren pratik konulara uygulanabilirliği arttı.

Günümüzde herkes bilim insanlarının yaptıklarıyla daha çok ilgileniyor, bunların yararlarını, risklerini bilmek istiyor.

Yine de bilimle uğraşmayanların, onun doğası gereği anlaşılmaz ve esrarlı olduğunu düşünmeleri beni şaşırtıyor. Bunda, profesyonel bilim insanlarının kullandıkları dili günlük dile çevirmek istemeyişlerinin etkisi olmakla beraber, fen bilimleri dışındaki konularda eğitilmiş insanların entellektüel tembelliklerinin ağırlığı daha büyüktür. Aslında bu "bilim sevmeme" saplantısı doğal bir düşünce biçimi değildir. Bilim, kendi içimizde ve çevremizde olan bitene açıklama aramaktır. Anlaşılmaz, karanlık, esrarlı olanı, temel kanunlar keşfederek açıklama ve anlaşılır yapma işlemidir; dizginlenmiş meraktır. Merak, insandaki en temel dürtülerden biridir. Çocukken meraklarımızla, serbestçe, hiç utanıp çekinmeden bir tür "bilim yaparız." Yaşlandıkça, bize zevk veren, bilgi sağlayan bir dürtümüzü bastırırız. Bu düşüncelerle bilimi başkaları için de zevkli yapma çağrısını hoşnutlukla kabulleniyorum.

Vinalhaven, 1979

GİRİŞ

Bu kitap, her yerde biyolojide devrim olarak bilinen yaşamın temel gerçeklerini sunuyor. Bu devrime etkin katkısı olan bir kişi tarafından yazılmıştır. Yalnızca gerçekleri anlatmakla kalmayıp, yeni buluşlara katkıda bulunmanın sevincini, bu sevinçten kaynaklanan estetik zevki ve bilimsel çalışmaların yöntemini de incelikle çiziyor.

Bilimle uğraşmayanlar, bilimin, özellikle de biyolojinin çok ince eleyip sık dokuduğundan, ayrıntılarda çok karmaşık olduğundan ve konu dışındakiler tarafından zor kavrandığından yakınırlar. Diğer yandan, bilim insanları, toplumun, temel araştırma bulgularının değerini çok az takdir ettiğinden, çok az ilgilendiğinden söz ederler. Her iki yakınma da yanlış düşüncelere dayanıyor. Dr. Hoagland'ın kitabıyla aradaki duvarın iki yüzü de onarılacaktır. Artık "canlı oluş" konusunda açık ve net bilgiye sahibiz ve bu bilgi, sahip olduğumuz kadarı ile oldukça anlamlıdır. "Sahip olduğumuz kadarı ile" deyimi önemli bir değerlendirme. Doğanın her yönüyle anlaşılmasın-

dan henüz çok uzağız. Anlamayı gereksindiğimiz şeylerin çoğu (örneğin insan düşüncesinin ve dilinin doğası veya gelişmekte olan embriyo hücrelerinin doku mu yoksa organ mı olacağını yönlendiren mekanizmalar), halâ anlaşılamamış durumda ve gidilecek yolumuz çok çok uzun.

Ama bir başlangıç yapıldı. Şimdi biyoloji alanında canlı, istekli, önlerinde araştırma için engel tanımayan bir sürü genç araştırmacı var. Heyecanlarının kaynağı ve iyimserliklerinin temeli olan canlı doğa, bu kitabın da konusunu oluşturuyor.

Lewis Thomas
Memorial Sloan-Kettering
Kanser Merkezi Başkanı

I. BÖLÜM

Yalınlık Gerçeğin Belirtisidir

Çok eskiden ıssız bir kumsalda babamla yaptığım bir yürüyüşü hatırlarım. Deniz griydi, parça parça bulutlar, erken esen soğuk kış rüzgârıyla sürükleniyordu. Bir keşif günüydü o gün. Gelgit sınırında yığılmış, çürüyen yosunlar arasında her boy ve biçimde şişeler yatıyordu. İlerledikçe yavaş yavaş bütün şişelerin kapaklı olduğunu gördük, kapaksız bir tek şişe bile yoktu. Şişeler arasındaki bu şaşırtıcı benzerliğe sonunda babam bir açıklama getirdi ve keyifle beni bu olguda daha büyük bir anlam aramaya zorladı. Sonuç, bilincime yaşam boyu sıkıca yerleşen "evrim üzerine bir ders" oldu: Açıkça görülüyordu ki, bunlar okyanus yolculuğuna dayanabilmiş birkaç şişeydi, en uygun birkaç şişe, insan eliyle denize atılan bir sürü boş şişeden, kapağı tesadüfen kapatılmış birkaç tane; Raslantı, bunlara batmazlık özelliğini sağlamıştı. Çok daha büyük

sayıdaki kapaksız kurbanlar, okyanusun hırçınlığına dayanamayıp, çoktan derinleri boylamışlardı.

Bilimdeki yaratıcılık, biraz gençliğimdeki bu şişeler buluşuna benzer. İşin püf noktası; basit bir yasayı görmek veya karmaşık, anlamsız görünen verileri düzene sokup, derleyip toplamaktır. Bir yüzyıl önce Charles Darwin ve Alfred Russel Wallace'ın yaptığı da buydu. Ayrı ayrı incelemeleriyle, yeryüzündeki canlıların şaşırtıcı dağılımı ve çeşitliliğinin henüz bilinmeyen açıklamasını arıyorlardı. Vardıkları nokta, son derece yalın bir kavram ve yaratıcı düşüncenin parlak bir atılımıydı. Canlıların yapılarında rastlantısal değişmeler ortaya çıktığını, bu değişmelerle çevrelerine en iyi uyum sağlayabilen canlıların, hayatta kalıp üreyebildiklerini düşündüler. Onların buldukları bu açıklama, çok miktarda basit ve anlaşılır biyolojik bilginin birikmesini sağladı.

Ama sezgilere dayalı esin, çok dikkatli ve titiz gözlem olmazsa işe yaramaz. Titiz gözlemleri bile eğer araştırmacı gözlem üzerine fikir yürütemiyorsa ve fikirlerini deney ile irdelemiyorsa boşunadır. Ancak fikir iyi, deney de akıllıcaysa, cevapların şimdiye kadar bilinmeyen şeyleri açığa çıkartması olasıdır.

Din adamları ve filozofların bilinen geniş kapsamlı soruları, yine kapsamlı oldukları ileri sürülen ama ender olarak kanıtlanabilen ve evrensel kabul gören yanıtlara yol açarlar. Halbuki doğaya doğrudan ve açıkça yöneltilen sorulardan; tartışmasız, herkesçe kabullenilebilen, yalın sonuçlar elde etmek mümkündür. Bilim alanında bilgi birikimi böylece aşağıdan yukarı kurulur. Her yeni deneyle evrensel olarak kanıtlanabildiği için "gerçek" olan, ufak fakat sağlam bilgi parçalarından oluşur. "Gerçeği" bilim adamlarının kabul ettiği anlamda tanımlıyorum. İnsan deneyimlerinin gerçeğin başka çeşitlerini ortaya çıkaracağı ileri sürülecektir. Ama bu "gerçeklerin" başkaları

tarafından onaylanıp, kanıtlanabilmesi beklenemez. Bunlar, bazı insanlar için gerçek olsalar da bazılarına göre yalnızca kanaatlardır.

Bu kitap, canlı olma durumunu ve sürecini belirleyen temel ilkeler üzerine yoğunlaşacaktır. Bu yaşam yasaları, bütün biyolojiyi ve tıbbı aydınlatıp canlı olmanın anlamını, görünüşteki bütün karmaşık olguları anlamayı kolaylaştırmaktadır. Ayrıca bu ilkelerin; insana hoş gelen bir estetik yanı da vardır; Romalıların dediği gibi "Simplex sigillum veri: Yalınlık gerçeğin belirtisidir."

Hücre Üzerinde Odaklaşma

Yaşam üzerinde yalın ve gerçek olan şeyler üzerinde duracaksak hücre ile başlamalıyız. Çünkü hücre her biçimiyle yaşamın en küçük örgütlenmiş yapısıdır. **Hücreden daha basit hiçbir canlı yoktur ve hiçbir canlı, hücre aşamasından geçmeden karmaşık bir yapıya ulaşamaz.**

Bu önemli sözün doğruluğunu size kanıtlayabilmek için, adım adım, sizin kendi canlılığınızın özüne varmaya çalışayım. Bu öz, sizi oluşturan yapının başka bütün canlılar da bulunan vazgeçilmez kısmıdır.

1. Siz, kendinizin, çevrenizin, bu kitabı okumanız da dahil ne yaptığınızın bilincindesiniz. Bilinç, çok özel bir organın, yani beynin işidir. Bilincin varlığı tek başına karmaşık, gelişmiş bir biyolojik olgudur. Aslında bilincin nasıl çalıştığı hakkında hiçbir şey bilmiyoruz. Belki daha uzun bir süre için de, bilemeyeceğiz. Ancak canlı türlerin büyük çoğunluğunun, beyinlerinin varlığının bilincinde olmadıklarını sanıyoruz.

2. Bedeniniz bir organlar topluluğudur. Beyin, kalp, akciğerler, karaciğer, böbrekler, kaslar, kemikler, deri, endokrin bezleri vs organlar hep birlikte titizlikle ayarlanmış bir uyum içinde çalışırlar. Beden ısınız normal olarak sürekli 37° civarındadır. Beyniniz, sinirleriniz, adaleleri-

niz hareketlerinizi ayarlar ve sizi tam dengede tutar, belli bir metabolik denge içinde gıda ve oksijen alıp, atıkları atarak toplam ağırlığınızı sabit tutarsınız. Hemen hemen bütün memelilerde; kuşlar, kurbağalar ve balıklarda böyle eşsiz bir uyumla işleyen organlar vardır. Diğer yanda, çok daha basit bazı canlı türleri, bunlarsız da pekâlâ geçinip giderler.

3. Organlarınızın her biri ve dokularınız, özel işlevleri olan kalabalık hücre topluluklarından oluşmuş canlı parçalarınızdır. Beyin hücreleriniz iplik gibi uzayıp bir yerden bir yere elektrik mesajları iletme görevini yüklenirler. Deri hücreleri dayanıklı ve esnek hale gelerek bedenin dış korunmasını sağlarlar. Kemik hücreleri kendilerini sertleştirip bedeni taşıyabilmek için içlerinde kalsiyum fosfat biriktirirler. İşçi arılar ve asker karıncalar gibi özel işlevi olan hücreler, bir bütün olarak, sizi oluşturmak için belli bazı görevleri paylaşırlar. Çocuklarınızda kendinizi yeniden yaratmak, yani üretmek işi de vücudunuz da özel bir hücreler topluluğunun önemli bir görevidir. Hücrelerin uzmanlaşması (özelleşmesi), bitkiler ve denizlerdeki daha basit yaşam biçimleri dahil, bütün çok hücreli canlı varlıklar arasında çok yaygındır. Ama bir sürü ufak tefek yaratıklar da başka hücrelerle birleşmez ve uzmanlaşmazlar. Harikulade bir beceriklilikle üreme ve çok basit maddelerle beslenmek gereksinimlerini bağımsızca karşılayabilirler.

4. Yaşamaya başladığınızda, tıpkı tek hücreli basit yaratıklar gibi sizin kendi hücreleriniz de özerkti, kendi kendilerine yetip özgürce bölünüp artıyorlardı. Ana rahminin duvarına yerleştiğiniz zaman durum buydu. Bu hücrelere bakınca size benzer hiçbir yanları yoktu ama sizi oluşturmak için gerekli bütün bilgiyi taşıyorlardı. Döllenmiş bir yumurtanın bölünmesiyle oluşan o ufacık hücre kütlesi içindeki her bir hücre bir reçeteyi içeriyordu. Ve siz daha

ortada yokken ileri de sizi oluşturacak projenin yapımına çoktan başlanmıştı.

Annenizin vücudunda yaşamınıza başladığınız zaman ki durumunuz, bütün diğer yaratıklarla akrabalığınızı ortaya çıkaran ortak odak noktasıdır. Sizin yaşama başlangıcınızın, bu kitaptaki incelemelerde özel bir anlamı vardır. **En gelişmişinden en ilkeline kadar her canlı varlık, kendi kendisinin kopyasını yaratmak için bölünebilme yetkisine sahip bir hücreydi veya hücredir.** Daha karmaşık "gelişmiş" çok hücreli yaratıklar, kendi kopyalarını oluşturmak istediklerinde tek hücreler yapmak zorundadırlar (yumurta veya sperm). Değişik yaratıkların bu tür hücreleri arasındaki en büyük fark, bunların ileri de bakteri mi, sivrisinek mi, kurbağa veya insan mı olacağını belirleyen iç mekanizmayı anlatan "bilgi"yi içermeleridir.

Hücreler Nelerden Yapılmışlardır

Öyleyse dikkatimiz, canlılık niteliği taşıyan en küçük, en basit düzen olarak hücre üzerine odaklaşmalıdır. O halde hücrenin nelerden oluştuğu üzerinde açık bir fikrimiz olması gerekir. Bunlar artan karmaşıklık sırasına göre şöyledir:

1. Atomlar: Bilmemiz gereken beş temel atom şunlardır: karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen ve fosfor. Daha küçük miktarlarda bir sürü başkaları da vardır. Atomlar evrenin doğal elemanlarıdır ve hayatın oluşturduğu en küçük varlıklardır. Canlıların bu beş temel atomununun ortalama ağırlığı 15 atom ağırlığı birimidir. Öyleyse bunların büyüklüğüne "15" deyip biraz sonra sözedeceğim daha büyük moleküllerden ayıralım.

2. Basit moleküller: Bunlar atomların birleşimidir. Bazen canlı hücrelerdeki moleküllere organik moleküller de denir. Hücreler içinde yüzlerce farklı türden molekül

vardır. Ortalama olarak bunlar 150 büyüklüğünde, yani atomlardan on defa daha büyüktür.

3. Zincir moleküller: Bunlara da "molekül" deniyor. Zincirler oluşturacak şekilde birbirine eklenmiş basit moleküllerden oluşuyorlar. Bu zincirlerin en önemlileri ortalama 75.000 büyüklüğündedir. Basit moleküllerden 500 kat, atomlardan 5000 kat daha büyüktürler. Birkaç milyon birime ulaşabilen zincir moleküllerin en büyükleri, en güçlü elektron mikroskoplarıyla görülebilirler.

4. Strüktürler: Bunlar hücre içinde bir mimari düzeni olan, birbirine bağlı zincir moleküllerdir. Strüktürlerin en küçüğü 7,5 milyon büyüklüğünde, başka bir deyişle ortalama zincir moleküllerden 100 kat daha büyüktür. En büyük strüktürler bundan 10 kat ya da daha büyüktür. Sıradan ışık mikroskoplarıyla görülebilirler.

5. Hücreler: Bunlar, daha önce de söylediğimiz gibi, en küçük canlı strüktür örgütlenmeleridir (organizasyon). Çoğu hücreler gözle görülemeyecek kadar küçüktür ama basit bir mikroskopla, hatta iyi bir büyüteçle de kolaylıkla görülebilirler.

6. Organlar: Özel bir işlevi yerine getirmek için organizma içinde ortaklaşa çalışan hücre gruplarıdır.

7. Organizmalar: Belirli bir canlı formunun tam işlemesini sağlamak için gerekli en küçük hücreler düzenidir. Bir bakteri hücresi veya maya hücresi de bir organizmadır. Çünkü bu yaratıklar için tek bir hücre, kendi kendilerine yeterek yaşamaları ve özellikle de üremeleri için kâfidir. İnsanlarsa "tam" bir varlık olmak için 60 trilyon hücrenin uyumlu işbirliğine ihtiyaç duyarlar.

Kaos İçinde Düzen

Atomları bir araya getirip molekül, molekülleri ekleyip zincir, zincirleri düzenleyip strüktür, strüktürleri düzenleyip canlı hücre yapmak, çok büyük bir örgütlenme (or-

ganizasyon) işidir. Bu iş insanların beyinleri, elleri ve bilgisayarlarıyla başarabileceklerinden kat kat daha büyüktür. Ama bu inanılmaz olay, her an dünyanın her yanında yaşanıyor. Kuşkusuz yaşamın temelinde, canlı hücrelerin sürekli olarak yaratmaya, düzeni sağlamaya, örgütlenmeye, karmaşıklığa adanması vardır.

Fizikçilerin bize bildirdiğine göre, cansız evren sürekli olarak düzenini yitiriyor. Her şey milyarlarca yıllık zaman ölçeğinde kaosa doğru gidiyor. Termodinamiğin İkinci Kanunu, entropinin (düzensizliğin fizikteki adı) evrende her yerde sürekli arttığını belirtir.

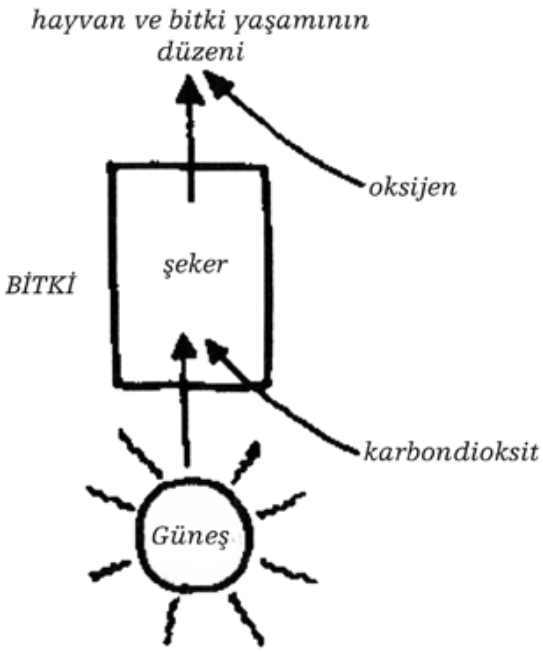
Evren neden düzensizliğe yönelmektedir? Bu, ilk bakışta görüldüğü kadar garip değildir. Şöyle bir örnek düşünelim: Sulandırılmış biraz mavi, biraz da sarı boyanız var ve bu iki boyayı aynı kaba boşalttınız; boya molekülleri, moleküllere özgü zıplamalarla, düzgün bir yeşil karışım oluşana kadar hareket edeceklerdir. Moleküller tümüyle rasgele düzensiz dağılmışlar, ama kendileri için olabilecek en dengeli biçimi almışlardır. Eğer işlemi tersine çevirmek; düzenli, raslantısal olmayan bir durum, yani ayrı ayrı mavi ve sarı sıvılar elde etmek isterseniz (diyelim ki altta mavi, üstte sarı olmak üzere ayırmak istiyorsunuz), sistemin karışmaya, rasgele, dengeli ve düzensiz yeşil haline varmaya yönelen çok güçlü "isteğine" karşı savaşmak zorunda kalabilirsiniz.

Evrendeki bütün atomlar ve molükeller için bu böyledir. Raslantısallığın Nirvana'sını, tam anlamıyla düzensizliği, erişilebilecek en son dengeyi ararlar. Kumdan yaptığımız kale yavaş yavaş bozulur, özelliğini yitirip dümdüz olur. Yanardağlar, tekdüzeliğin dengesini aramada dünyanın gürültülü sözcüleridir. Kayalar biz farketmeden kuma; kum da denizdeki tuza dönüşür. Kaçınılmaz bir şekilde evrende her şey son dengeye doğru ilerler.

Şimdi; rasgele karmaşıklık durumu ile denge, cansız maddeler için aynı şey olduğu halde, biz insanlar bu iki özelliği özdeş görmeyi sezgilerimize göre zor buluyoruz. Bu da çok doğal, çünkü yaşayan organizmanın bütün yönlendirmesi (dürtüsü), cansız doğanın raslantısallık güdüsüne karşıdır. Canlı varlık, sürekli olarak "dengesizlik" durumunu yaratmaya çalışır, Yaşam, raslantısallık karşısındadır ve düzen yaratır. Çok çok büyük ölçekte, sürekli olarak yeşil boyayı ayrıştırma yönünde çalışır.

Düzeni Sağlamak İçin Enerji Gerekir

Cansız doğanın düzensizliğe itmesine karşı, durmadan düzen kurmaya çalışan bir işlem ancak yardımla başarılı olabilir; "enerji" biçimindeki yardımla. Ufacık bir hücrenin



olağanüstü karmaşık, zarif iç yapısının oluşumu enerji gerektirir. Enerji güneşten gelir. Bitkiler güneş ışığını emerler. Bu ışık karbondioksiti şekere dönüştürmekte kullanılır. Şeker, karbondioksitten daha karmaşıktır (komplekstir), yani daha düzenlidir. Başka bir deyişle, güneş

ışığı şeker yapma makinesini çalıştıracak düzeni yaratır. Şekeri yapmak için enerji (güneş ışığı) gerektiğine göre, şekerin çözülmesi de enerjiyi geri verecektir.

Bitkiler ve hayvanlar, şekeri oksijenle "yakarak" çözerler, böylece karbondioksit serbest kalır. Bu üretilmiş enerjiyi, hayvan ve bitkiler kendi öz maddelerini yapmakta kullanırlar. Canlı hücreler, bütün karmaşık strüktürlerini bu enerji ile yaparlar.

Öyleyse şeker, düzenli yapısı nedeniyle çok daha fazla canlı düzen yaratmakta kullanılacak enerjiyi sağlar. Canlı bir hücrenin düzeni, şeker moleküllerinin düzeninden binlerce defa daha büyüktür. Enerji dengesini sağlamak için canlı nesneler, kendilerini oluşturmak için binlerce şeker molekülü tüketmek zorundadırlar.

Canlı olmanın anlamı, yalnızca düzen, organizasyon (örgüt), karmaşıklık (komplekslik) değildir. Daha önemlisi; kendisine karşı çalışan düşman bir çevrede yaratma yeteneği, düzeni kurma, organizasyonu sağlama demektir. Bir bakıma yeni bir hayatın yaratılması mucize niteliğindedir.

Düzeni Yaratmak için Plan Gereklidir

Hayat, evrende gerçekten düzen oluşturabilen tek şey midir? Cansız örneklere bakalım: Su soğuyunca katı olur. Buz molekülleri kendilerini çok güzel, narin ve karmaşık biçimlerde düzenleyebilirler. Çözelti içindeki bir tuz, çözeltiden ayrışarak kristalleşebilir ve bu işlem tuz molekülleri arasındaki düzeni arttırır. Bu türden birçok yalıtılmış örnek olmakla beraber, bunlar en basit hücrenin başarılarıyla karşılaştırılınca tek başlarına hiç de etkileyici değildir. Dahası, canlı hücrelerin düzen kuruşu, temelde bu kristalleşme işleminden farklıdır. Hücreler, daha önceden var olan bir planı izleyerek düzen kurarlar.

Boşlukta nesnelerin bir düzene girmeleri için, önce bir planın bulunması gerektiğini düşünmek akla yakındır. "Bir şeyler"in gerçekleşecek düzen hakkında bir "önbilgisi" olması gerekir.

Örneğin solda görülen kareler, çemberler ve üçgenlerin, rastgele olmayan herhangi bir şekilde düzenlenmesi istenirse, birilerinin veya bir şeylerin ne yapılması gerektiğini bilmesi gerekir; sağdaki düzen önceden tasarlanmış olmalıdır. Plan olduğu zaman, teorik olarak iş başarılabilir. Daha önce belirttiğimiz gibi yalnızca enerjiye gerek vardır.

Bir hücreye, tam bir canlı hücre olması için, atomlarını, moleküllerini, zincirlerini, strüktürlerini hatasız olarak düzenlemesini öğreten ve bu sürecin devamlılığını sağlamak üzere gelecek kuşaklara aktarılan bilgi nasıl bir şeydir? Bunun açıklamasını bilmemiz bana çok heyecan verici geliyor. Açıklama hem de çok akıllıca ve basit. Biyolojik bilginin özelliğinin açığa çıkartılması kuşkusuz modern biyolojinin en heyecanlandırıcı yönüdür. Bilim tarihinin en önemli olaylarından biri olan bu buluşu önümüzdeki bölümde tartışacağız.

II. BÖLÜM

Bilgi

Çocuklarımızın yüzüne aynaya bakar gibi bakıyoruz. Onlar bizim yeniden dirilişimizdir. Kendilerini tıpkı bize benzer yapabilmeleri için hücrelerinde bulunan, bizim fiziksel yapımızı belirleyen bilgiyi, onlara sperm ve yumurta olarak veriyoruz. Bu bilgi bizim geleceğe armağanımızdır.

Hücre yapımı için gerekli bilgi; harita, plan veya taslak niteliğindedir. Bir rehber, bir kitap, bir broşür gibi de denebilir. Bu rehber çok özel bir yaratmayı gerçekleştirecek olan aracının veya makinenin, canlı üretme makinesinin, "anlayacağı" eksiksiz bir bilgi anahtarı olmalıdır.

Genler

Genetik bilimi, her canlının özelliklerinin (örneğin göz rengi) kalıtımla geçtiğini, yani yavruda hassas bir şekilde yeniden ortaya çıktığını göstermiştir. Kişisel özellikleri-

ni düzenleyen bilgi, "genler" denilen özel varlıklarla nesilden nesile geçer. Her belirgin kalıtımsal özelliğin ayrı bir geni vardır. Genetik bilimin kurucusu Gregor Mendel 1860'larda, genlerin kalıtımla gerçek şeyler gibi; sulandırılmadan, bölünmeden, karışmadan aktarıldığını açığa çıkardı. Öyleyse genler, her biri organizmanın belirli bir özelliğini içeren, kalıtımla yavruya aktarılabilen küçük bilgi paketleridir diyebiliriz.

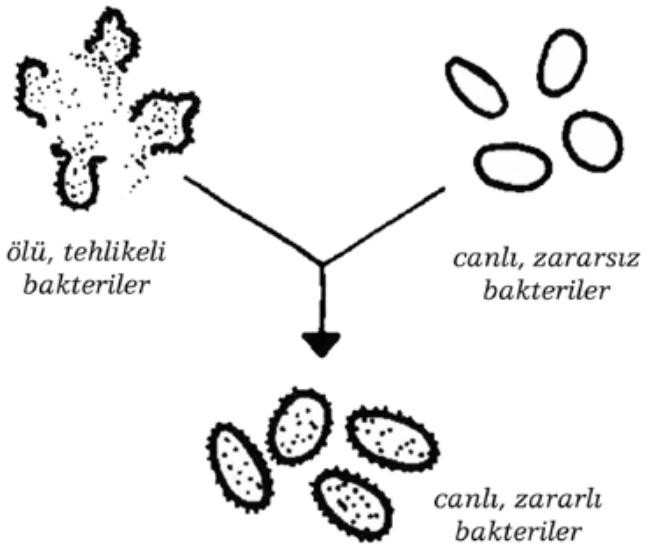
1920'lerde büyük genetikçi Thomas Hunt Morgan, genlerin hücre içindeki yerlerini buldu. Bütün hücrelerde, çekirdek dediğimiz kapalı bir kap vardır. Hücre bölünüp iki hücre haline gelirken, ilk önce bu çekirdeğin bölündüğü, dolayısıyla hücre içinde önemli bir rolü olduğu daha önce de biliniyordu. Yani, tek hücrenin servetini yeni hücrelere eşit bölüştürme işlemi, çekirdekte başlıyordu. Dahası; mikroskop, çekirdeğin içinde kromozom denilen iplik gibi strüktürleri açığa çıkardı. Bu strüktürler, çekirdek bölünmeden kendilerini bir kat artırıyorlar ve her kromozom dizini, bir yeni "yavru" hücrenin içine yerleşiyordu. Bu düzenleme yüzünden, kromozomların genlerin yuvaları olmalarından kuşkulanıyorlardı. Morgan, adî meyve sineklerini deney hayvanı olarak kullanarak bunun gerçekten de doğru olduğunu, bir dizi ince deneyle kanıtladı. Bu iş tamamlandığında, genlerin kromozom ipliklerinin etrafında top top sarılmış oldukları artık biliniyordu.

Genler Neden Yapılmışlardır?

Bu 1830'larda öğrenildi. Çok geçmeden bilim adamlarını heyecan verici bir soru sarmıştı; Kromozomlar (genler) neden yapılmışlardı?

Biyolojide kuşkusuz çok önemli bir yeri olan Oswald Avery'nin deneyleri, bu soruya çok açık ve parlak bir yanıt getirdi. Çalışmaları, şimdi "moleküler biyoloji" dediğimiz modern çağı açtı. 1940'ların başında Avery, iki taraflı za-

türreeye (akciğer iltihabı) neden olan bakteriyle uğraşıyordu (penisilin bulunmadan önce, en büyük ölüm nedenlerinden biriydi bu hastalık). Yaptığı deneylerde açıklayamadığı şaşırtıcı sonuçlar buldu. Ölü zatürree bakterileri, kötü niteliklerini, zatürree yapmayan türden canlı bakterilere geçirebiliyorlardı. Bu, tehlikeli ölü bakterilerin, canlı ve zararsız bakterileri tehlikeli hale getirebilmeleri demekti. Bu nitelik bir defa geçirilince artık kalıcı oluyor ve bir zamanlar iyi huylu olan bakterilerin gelecek kuşaklarına kalıtımla geçiyordu. Hastalığa neden olabilme kapasitesi, bir veya bir grup özellikten kaynaklanır. Bu özellikler, genler tarafından kontrol edilir ve kalıtımla geçirilirler. Avery, ölü bakterilerin parçalandıklarını, vücutlarının bilgi taşıyan kimsayal maddeler çıkardığını, canlı bakterilerin de bunları besin olarak kullandıklarını düşündü. Yani genler, canlı bakterilere girip onların kalıtımlarını belirliyorlardı. Avery ve arkadaşları, bu gene benzer maddeyi kesin olarak belirlemek üzere çalışmaya başladılar.



İnsan, tıp bilimi için, genlerin kimyasal özelliklerinin bulunmasından daha önemli bir problem olabileceğini düşünemez. Ancak bu kesinlikle insanlar, hattâ hayvanlar üzerinde de incelenebilecek bir problem değildi. Neyse ki

zatürree yapan bakteriler, Avery'e uygun bir sistem getirdiler. Bu iyi ve değerli bir model-deney sistemi örneği oluşturuyordu. Aslında, bütün genetik bilgi birikimi, 100 yıl önce Gregor Mendel'le başlangıcından bugünkü araştırmalara kadar, büyük ölçüde basit deney modellerine dayanır. Bezelyeler, meyve sinekleri, ekmek küfü ve bakteriler... Avery'nin üzerinde çalıştığı bakteriler genetik olarak birbirinin tıpkısıydı. Başka cinslerle karışmamış, safkan bakterilerdi bunlar. Hızla üreyebiliyorlardı, öyle ki kalıtım özelliklerini birçok kuşağın üzerinde izlemek olanaklıydı. Zatürreeye neden olma yetenekleri, farelere verilerek kolayca ölçülebiliyordu. Avery'nin yaptığı önemli deneylerden biri, probleme açık bir yanıt getirdi. Ölü bakterilerden dağılan bir molekül karışımını aldı ve içine DNA'yı "bozan" bir enzim ekledi. DNA'nın bozulması, karışımın zararsız bakterileri zararlı bakteriye çevirebilme yeteneğine bir son verdi. Buna ek bir deneyle Avery ve arkadaşları, zararsız bakterileri hastalık yapan bakteriye çeviren maddenin, "deoksiribonükleik" asit veya DNA olduğunu kanıtladılar.

DNA: Deoksiribonükleik Asit

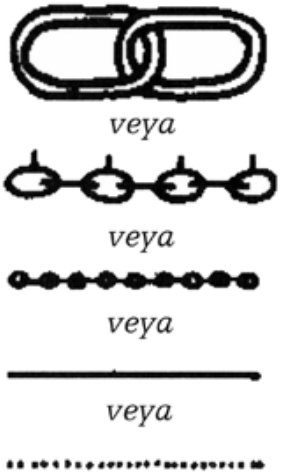
Aslında, DNA'yı Avery bulmamıştır. Bu iş, Avery'den altmış yıl önce Friedrich Miescher adında bir araştırmacı tarafından yapılmıştı. O ve onu izleyen bilim adamları bu konuda bir sürü kimyasal bilgi toplamışlardı. DNA'nın; zincir şeklinde birbirine bağlı, büyük miktarlarda fosforik asit içeren "nükleotid" denilen moleküllerden oluştuğu biliniyordu. Bunlar, o zamana kadar hücrede bilinen en büyük moleküllerdi. Avery, DNA'nın kalıtımın temel maddesi olduğunu gösterdi. Başka bir deyişle, "bir şeyi kalıtımla geçirmek demek, bir parça DNA aktarmak demektir." Genler DNA'dır. Bilgi DNA'dır ve DNA bilgidir.

Avery'nin ispatından beri, DNA konusunda bilinenler öyle şaşırtıcı bir hızla arttı ki, 1960'larda artık bilginin

DNA'da nasıl kodlandığını bu bilginin nasıl hücre maddesine dönüştüğü ve DNA'nın gelecek kuşakla paylaşılmak üzere nasıl kopya edildiğini biliyorduk. Bu zorlu yarışa birçok bilim insanı katıldı, ama James Watson ve Francis Crick'in DNA'nın doğru yapısının ikili sarmal, yani iç içe dönen iki zincir olduğunu düşünüp bulmaları en büyük aşamalardan biridir.

Öyleyse, işte DNA'nın temel özellikleri

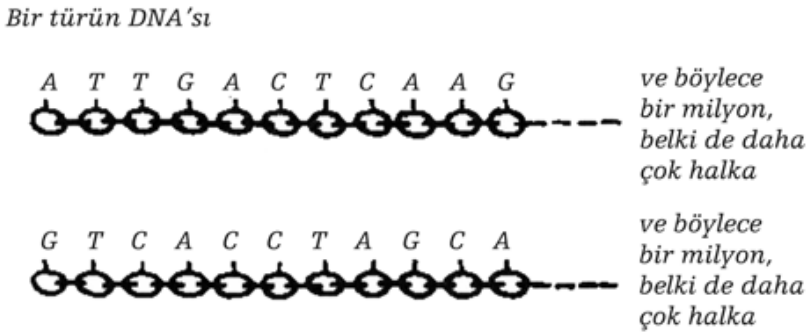
1. Zincir moleküldür. (Değişik basit molekül çeşitlerinin birbirine eklenmesinden oluşmuş zincir şeklinde bir madde).
2. Olağanüstü uzun ve son derece incedir. Hücrenin çekirdeği 100 defa büyütülseydi aşağı yukarı iğne ucu büyüklüğü civarında olacaktı, yani gözün ancak seçebileceği kadar. İşte bu küçücük çekirdek içinde katlanmış durumda bulunan DNA açılırsa, boyu, bir futbol sahasının boyu kadar olur.
3. Zincirde dört çeşit halka vardır (nükleotid denilen moleküller), isimleri adenilik asit, guanilik asit, sitidilik asit ve timidilik asit; kısaltmaları A, G, C ve T.
4. Bu dört tür halkanın bağlanma biçimi, adî bir zincirin halkaları gibi birbirinin aynıdır.
5. Halkaların şaşmaz bir düzeni vardır, bu kitaptaki harflerin düzeni gibi.



Bundan sonra, zincirler üzerine söyleyecek çok şeyimiz olacak. Bir zinciri her resimleyişimizde, buradaki beş biçimden hangisi en uygun, en açıklayıcıysa onu kullanacağız. Kuşkusuz, gerçek zincirler bizim resimlerde gösterdiklerimizden çok daha uzundur.

DNA = Dil = Bilgi

Şimdi, dört çeşit halkası olan bir zincirimiz olsa ve bunun yeni bir bireyin oluşması için gerekli bütün bilgiyi içerdiğini bilsek, bu sırrın halkaların sıralanmasında veya düzeninde yattığı sonucunu çıkarmamız gerekir.



Zincirin bu kadar çok anlam taşımasının başka bir açıklaması olamaz. Bilgi, böylece harita veya plan olmak yerine, düz bir yüzey üzerinde iki boyutlu bir şeye, daha doğrusu tek boyutlu "yazılı" talimat dizinine dönüşür. Burada dille benzetme yapılabilir. DNA alfabesinin dört harfi var, ama bunlarla yazılabilecek mesajların sayısı sonsuzdur. Tıpkı iki harfli Mors alfabesiyle (nokta-çizgi) söylenebileceklerin sınırı olmadığı gibi.

Kitaplardaki harfler kağıt üzerindeki yerlerine göre diziler halinde bağlanmışlardır. DNA içindeki dört nükleotid halkası ise gerçek kimyasal bağlarla dizi halinde bağlanmıştır. Belli bir organizma içindeki toplam DNA'da bir kitap gibi düşünülebilir. Bu kitapta; bütün harfler, sözcükler, deyimler, cümleler ve paragraflar bir zincir oluşturacak biçimde birbirine eklidir. Organizmanın bütün

bölümleri ve bütün işlevleri böylece tanımlanır. Bu organizmanın özdeş bir ikizi varsa, o da aynı DNA'ları içerir, aynı kitaptan bir tane daha diye düşünülebilir; ikisi arasında ne bir harf, ne bir sözcük farklıdır. Aynı türün başka bir organizması da, gramerde sık sık ve göze çarpıcı farklar olduğu halde, benzer bir kitabı oluşturur. Değişik türlerin kitapları, içlerinde bir sürü benzer cümleler de olsa oldukça değişik öyküler anlatırlar.

Yukarıdaki benzetmede zincirin parçaları olan genler, aşağı yukarı cümlelerin karşılığıdırlar. Bir gen, organizmanın belirli bir yapısını oluşturan veya işlevini gören bir harf (nükleotid) dizidir. Genler, çok uzun bir DNA molekülünde arka arkaya eklenmiş cümleler gibidirler.

Bir İnsanın Oluşması İçin Ne Kadar Bilgi Gerekli?

Bilginin ne olduğunu gördükten sonra isterseniz, canlıları oluşturmak için ne kadar bilgi gerektiği üzerine kabaca bir fikir edinelim:

1. Bir bakteri, canlı yaratıkların en basitlerindendir, 2000 civarında geni vardır. Her gen 100 civarında harf (halka) içerir. Buna göre, bir bakterinin DNA'sı en azından iki milyon harf uzunluğunda olmalıdır.

2. İnsanın, bakteriden 500 kat fazla geni vardır. Öyleyse DNA en azından bir milyar harf uzunluğundadır.

3. Bir bakterinin DNA'sı bu hesaba göre, her biri 100.000 kelimelik 20 ortalama uzunlukta romana, insanın ki ise bu romanlardan 10.000 tanesine eşittir!

Dilden Maddeye

DNA dilinin anlamı, belirli bir canlı organizmayı tanımlamasındadır. Başka bir deyişle genler; maddenin, yaşamın gerçek özünün, gerçek canlı unsurun yaratılması için gerekli bilgiyi verirler. DNA dili fizik olarak yaşamaya, nefes

almaya, hareket etmeye, et üretmeye nasıl çevrilebiliyor? Bu soruyu yanıtlamadan önce, nelerden yapılmış olduğumuzu bilmemiz gerekir.

Proteinler

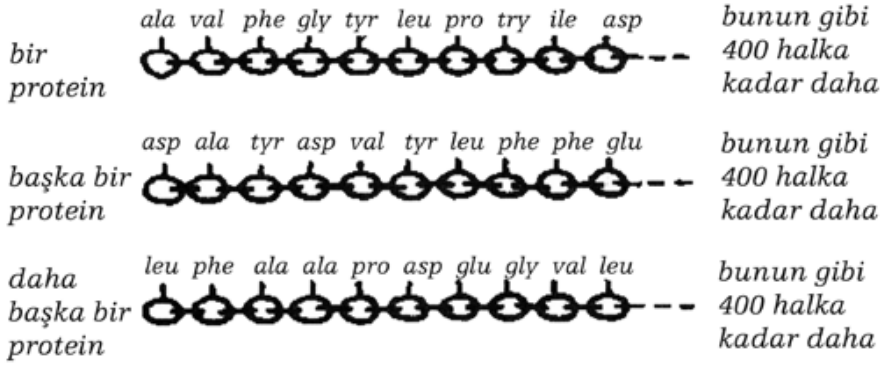
Bu konu zor görünebilir ama aslında öyle değil. Bizi oluşturan en önemli malzeme proteindir denilebilir. Diğer yapı maddelerimiz (su, tuzlar, vitaminler, metaller, karbonhidratlar, yağlar, vb), proteinlere destek olmak üzere bulunurlar. Proteinler yalnızca kütlemizin (suyu saymazsak) çoğunu oluşturmakla kalmayıp, aynı zamanda vücut ısımızı, hareketlerimizi ayarlarlar, düşüncelerimizin ve duygularımızın da temelini oluştururlar. Kısacası bizi oluşturan ve yaptığımız her şey proteinlere dayanır. Örneğin kedimi gözlüyorum: bütün kütlesi proteindir: Ne görüyorsam (kürkü, gözleri, hareket etmesi bile) proteindir.

İçindeki her şey de proteindir. Ayrıca kedime çok özel bir kişilik veren her şey de özel proteinlerle belirlenmiştir. DNA'nın yönlendirilmesiyle yapılan proteinler birey olmanın, tek olmanın, bütün türlerin fiziksel temelidir. Metal, otomobil için neyse, protein bizim için odur. Otomobilde başka malzemeler de vardır, ama yapıyı ve işlevi sağlayan en önemli eleman metaldir. Hem görünüşü, hem de işleme yeteneğini belirler. Bir arabanın diğerinden farkını; biçimi, niteliği ve metal kısımların durumu belirler.

Şimdi, yeni bir soru ve başka bir ayrıntılı inceleme için hazırız. Proteinler neden yapılmışlardır? İşte özelliklerinin listesi:

1. Zincir moleküldürler.
2. Uzundurlar ama DNA kadar değil.
3. Yirmi çeşit protein halkası vardır. Bunlara amino asitler denir.
4. Yirmi birimin de bağlantı biçimi tamamen aynıdır.
5. Yirmi birimin veya halkanın düzeni veya diziliş sırası hassas ve kesindir.

Bu düzen, hangi protein olduğunu ve sonuçta işlevinin ne olduğunu belirler.

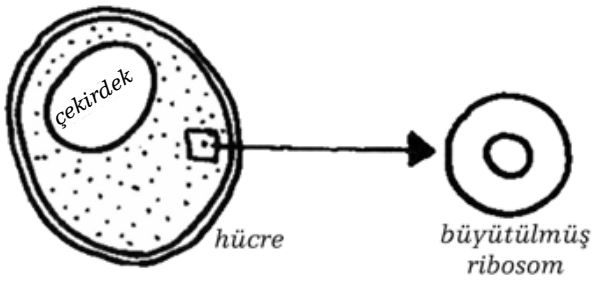


Amino asitler, isimlerinin ilk üç harfi eklenmiş zincir halkalarıyla gösterilirler. Yirmi amino asit şunlardır: fenilalanin, lösin, izolösin, metiyonin, valin, serin, prolin, treoinin, alanin, tirozin, histidin, glutamin, asparajin, lizin, aspartik asit, glutamik asit, sistein, triptofan, arjinin, glisin.

Çeviri

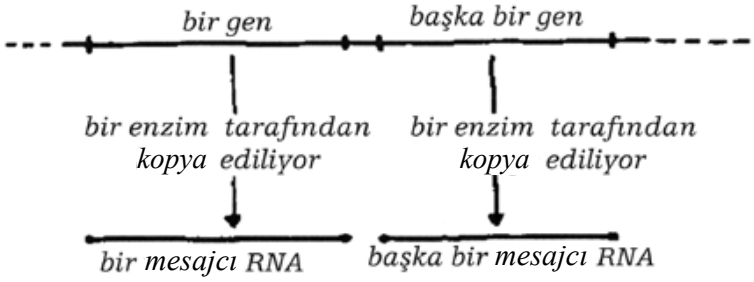
Bu beş özelliğin DNA zincirininkine ne kadar benzediğini gördünüz. Halkaları özel bir düzende olan zincirler, protein alfabesinde yirmi çeşit harften oluşuyor; DNA alfabesinde ise dört harf var. DNA bilgisinin protein maddesine dönüşmesinin aslında dildeki gibi bir çeviri işlemi olduğu hemen görülebilir. Dört harfli bir alfabedeki harf dizisinden, yirmi harfli bir alfabenin harf dizisine geçilmektedir. Mors dilinden (iki harfli nokta-çizgi alfabesinden) İngilizce gibi yirmi sekiz harfli alfabesi olan bir dile çeviri yapmaya da benzetilebilir bu.

Bütün olan biten aslında bu kadar. Hücrelerin protein zincirleri içinde binlerce çok ufak, son derece basit çeviri makinesi var. Bunlara "ribozomlar" deniyor. Şu şekilde çalışırlar: Önce DNA bilgisinin bir bölümü, bir gen, bir enzim

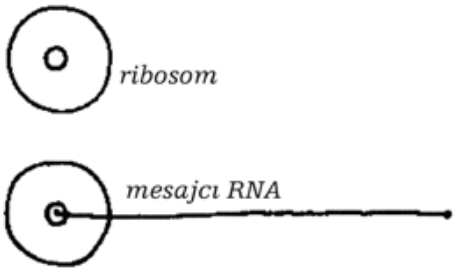


(bu işlemin hızlanmasına yardım eden bir protein) tarafından kopya ediliyor. Mesajcı RNA (mesajcı-ribonükleik asit) denilen bu gen kopyası da bir zincirdir. RNA molekülleri, DNA moleküllerinin hemen hemen aynı zincir moleküllerdir, ama onlar kadar uzun değildirler. Bir DNA molekülü birçok geni içerir, bir mesajcı RNA molekülü ise yalnızca bir tek genin kopyasıdır. Bu RNA moleküllerine "mesajcı" denir, çünkü genin mesajını, ribozomlar yolu ile DNA'nın hücredeki yeri olan çekirdekten, proteinlerin yapıldıkları hücrenin çekirdek dışındaki kısmına (stoplazma) taşırlar.

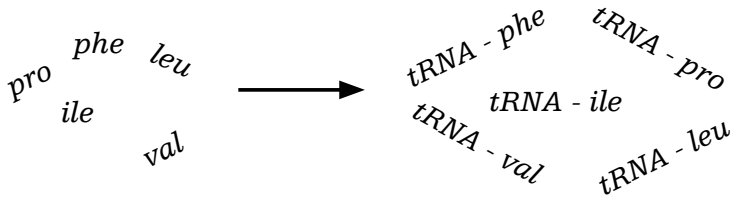
uzunluğu 2 gen dolayında olan bir DNA parçası (2000 nükleotid) bir çizgi olarak gösterilmiştir



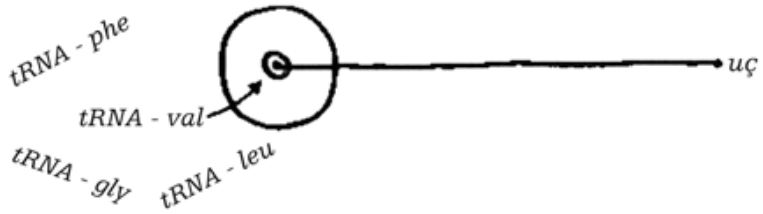
Gen kopyası mesajcı RNA'nın bir ucunu ribozoma bağlar.



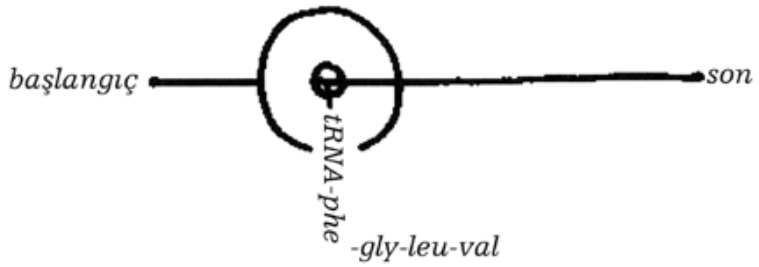
Ribozom okuyucudur; mesajcı RNA'nın içindeki nükleotidlerin (harflerin) dizilişini okur, ama bildiğimiz anlamlı bir sözcük çıkarmak yerine protein çıkarır. Bu şu şekilde gerçekleşir: Özel enzimler amino asitleri "transfer" RNA (tRNA) denilen küçük bir RNA molekülüne bağlarlar. Yirmi amino asidin her biri özel RNA molekülüne bağlanır.



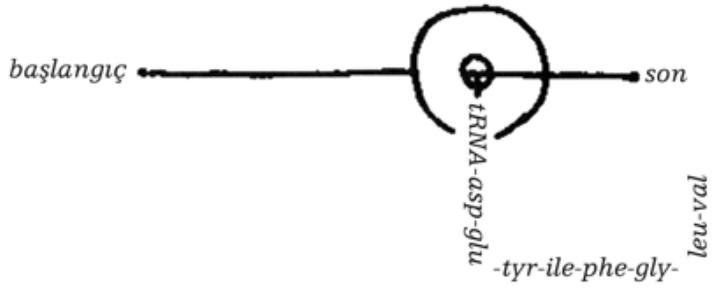
Amino aside bağlanmış tRNA'lar kendilerini ribozoma yöneltirler.



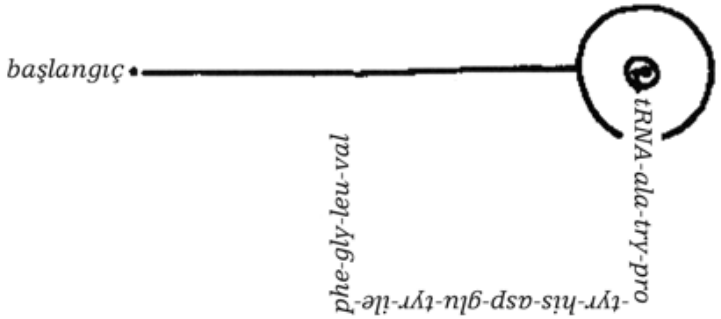
Ribozom, gerekli tRNA'yı (bağlı amino asitlerle birlikte) o anda mesajcı RNA'dan okuduğu deyimlere uygun olarak seçer. Yani, eğer ribozom mesajcıdan ala amino asitini (alanin) belirleyen bir grup nükleotid mesajını okumuşsa, bu amino asitin bağlı olduğu gruba uygun nükleotidleri olan bir tRNA seçer. Mesajcı nükleotidin, belli bir amino aside uygunluğu, nükleotidlerin doğal uygunluk ilişkilerine dayanır. Mesajcı üzerindeki her nükleotid dizisi, transfer RNA üzerindeki uygun nükleotid dizisiyle mükemmel bir şekilde eşleşir. Her yeni amino asit ve onun tRNA'sı ribozoma gelip uygun biçimde yerleştikçe, amino asit kendisinden önce ribozoma gelmiş olan amino asitle kimyasal olarak birleşir.



Böylece halkalar sırayla birer birer bağlanırlar. Ribozom mesajı okudukça protein zincirinin boyu durmadan uzar.



Mesaj zincirinin okunması bitince, bütün protein halkası serbest bırakılır.



Böylece yeni bir protein doğmuş olur. Bir gen-boyu DNA'nın içindeki nükleotid dizilişi, bir protein içindeki amino asit dizisini tam olarak belirler. Bir gen; bir protein. Bir gen; bir protein kavramı bizim proteinlerin nasıl oluştuğunu öğrenmemizden çok uzun zaman önce bulunmuştu. 1930'larda ekmek küfü üzerine bir dizi parlak deney yapan biokimyacı George Beadle, bir tek gen içindeki

değişikliklerin, bir tek proteinde bozulmaya yol açtığını göstermişti. Buna dayanılarak yapılan çalışmalar bakteri kullanılarak ilerletildi ve genişletildi. Bu büyük çalışma ve burada anlatacağımız niceleri, Herman Müller'in 1920'lerdeki DNA'daki değişmelerin (mutasyon), istenildiğinde canlı sistemleri X-ışınlarına tutarak sağlanabileceğini gösteren önemli buluşu olmasaydı başarılamazdı. DNA, bir hücrede bulunan değişik proteinler kadar gen içerir (bakteride 2000; insanda 200.000).

Protein yapan makinenin bu çeviri işlemindeki şaşmayan hatasızlığı, kuşkusuz dikkate değer. Bir hücrenin yaşaması için gerekli binlerce proteinin üretilmesinde ancak bir-iki yanlışlığa yer olabilir, insanların yaptığı hiçbir makine, bunun gibi 200 romana eşdeğer bir yazıyı bu kadar az yanlışla yazamaz.

tRNA'nın Bulunması

Hocam Paul Zamecnik ve ben, 1956'da transfer RNA'yı birlikte bulduk ve neye yaradığını açıkladık. Zamecnik daha önce ribozomların, üzerinde proteinlerin biraraya getirildiği strüktürler olduğunu göstermişti. Ben de bu tarihten bir yıl önce amino asitlerin özel bir dizi enzimle aktif hale getirilebildiğini (yani diğer amino asitlerle reaksiyona hazırlandığını) kanıtlamıştım (bu dördüncü bölümde anlatılıyor). Ama arada eksik bir şey vardı: amino asitlerin bağlanabileceği ve onlara, mesajcı RNA'ların gösterdiği yerlere yerleştirilmelerini sağlayan kimliği kazandıracak bir şey.

Paul Zamecnik'le birlikte, hücreler içinde amino asitlere önemli bir yatkınlığı olan, yani onlarla olağandışı bir sıkılıkla bağlanabilen küçük RNA molekülleri olduğunu gördük. Proteinin yapılışındaki eksik olan halkayı bulduğumuzu hemen anladık. Bir sürü yoğun ve zevkli deneyden sonra, ondan sonraki yılın sonlarına doğru, tRNA'nın

protein yapımına katılım yönteminin size daha önce açıkladığının oldukça tam bir resmini elde ettik.

Zincirlerden Üç Boyutlu Varlıklara

Buraya kadar öykü yeterince doyurucu; canlı mekanizmalar, zincirleri dil olarak kullanırlar. Plandan bitmiş üretime geçmek, basit bir çeviri işidir. Ama hâlâ aşmamız gereken bir engelemiz var. Çeviri bir simgeyi başka bir simgeye, tek boyutu tek boyuta, bir zinciri başka bir zincire, nükleotidleri amino asitlere dönüştürüyor. Zincirden "maddeye" nasıl varabiliriz? Protein moleküllerinin görevlerini yerine getirmelerine, dokunabildiğimiz, kavrayabildiğimiz şeylere, tohumlara, çiçeklere, kurbağalara, size, bana, bir boyuttan üç boyuta sıçramak zorundayız demek ki.

Yanıt, protein zincirleri içindeki halkaların yani amino asitlerin özelliğinde yatıyor.

Protein molekülleri, zincir oldukları halde aslında (fiziki olarak) gerçek zincirlerde olduğu gibi üç boyutlu strüktürlerdir. Proteinin yirmi değişik amino asidi, etkisiz simgeler değildirler. Her birinin kendine özgü kimyasal özellikleri vardır. Bazıları zincirdeki ikiz eşleriyle kimyasal bağlar yapmayı yeğlerken, bazıları daha çok asit, bazıları da alkali özelliğini gösterir. Kimi suyu aramak eğilimindeyken, kimi de sudan kaçar. Bazıları öyle biçimlendirilmişlerdir ki zinciri bükebilirler. Birkaç tanesinin de bir proteinin yalnızca bir tek işe yaramasına katkıda bulunacak özel marifetleri vardır. Bu amino asitler zincirdeki yerlerine göre zincirin son biçimini belirlerler. Zincirler tamamlandıkları zaman, bir çeşit ip yumağı oluşturmak için kendi kendilerine iç içe dolanıp katlanırlar. Çözülmüş zincirdeki amino asitlerin "sırası," molekülün katlanmak için hazır olduğu zaman nasıl davranacağını, ne yapacağını "şaşmaz" bir şekilde belirler.

Katlanma biçimi de protein molekülünün şeklini, özelliklerini, işlevini belirler.

Kas proteinler için, bir gen, protein yapar makinelere son bitmiş biçiminde katlanabilecek ve komşu liflerin üzerinden kayabilecek çok uzun bir protein zinciri yapmasını emreder. Böylece kasılabilen uzun lifler oluşur. Kan hücrelerindeki oksijen taşıyan protein zinciri hemoglobin, özel bir üç boyutlu katlanma biçimine sahiptir. Böylece yalnızca kendisine özgü bir yolla oksijeni tutma ve serbest bırakma işlevini yerine getirebilir. Sonuç olarak her birinin sıralanışı, genler içindeki nükleotidlerin sıralanışıyla belirlenmiş binlerce protein zinciri, özel biçimlerde katlanıp, özel işlevler elde ederler.

Düzen Yaratmak Çoğu Kez Zincir Yapmaktır

Birinci bölümde düzen konusunda söylediklerimizi hatırlayın: Yaşam, sürekli düzensizliğe giden bir evrende düzene yönelik çalışır. Şimdi bunun ne demek olduğunu çok daha açıkça görebiliriz. Canlı olmak, daha önceden şaşmaz bir kesinlikle tanımlanmış bir düzenle, halkaları zincire eklemektir. Düzen bir defa kurulunca, son biçimin ve işlevin elde edilmesi hemen hemen kendiliğinden gelir diye düşünülebilir, isterseniz, bu düzeni bir parçayı bir başka parçanın önüne koymak, kendiliğinden sonuca götürüyor diye düşünebiliriz.

Zayıf Kimyasal Bağlantıların Önemi

Hücrenin önemli molekülleri yani DNA, RNA ve proteinler üzerine yapılan bir çalışmadan çok ilginç bir genelleme ortaya çıkmıştır. Aslında "zayıf' kimyasal bağlantılar, yaşam için son derece önemli işlevler taşırlar. Güçlü bağlantılar, amino asitleri protein içinde birbirine bağlayanlar cinsinden veya RNA ve DNA içinde nükleotidle-

ri bağlayanlar cinsinden olanlardır. Bunlar zincirin her halkasında komşuyu sıkıca tutarlar. Zayıf bağlantılar ise bütün büyük zincirlerde katlanma noktalarını belirleyen ve molekülün biçimini sağlayanlardır. DNA'da iki zinciri, çift sarmalı oluşturmak için birarada tutan nükleotidler arasında zayıf halkalar vardır. Bunlar ilerde göreceğimiz gibi RNA üretiminde çok gereklidirler. Proteinin içinde, onu işlevine uygun katlanmış biçimlerde tutan amino asitler arasındaki bağlantılarda zayıftır. Ribozomlar üzerinde yeni protein yapımında, transfer RNA molekülleri, nükleotidlerini mesajcı RNA üzerinde tamamlayıcı biçimdeki nükleotidlere uydurarak, tam yerlerini "bulurlar." Bu önemli bağlantıların özelliği, zayıf oluşları yüzünden çok kısa sürmeleridir. Görevlerini yaparlar ve sonra kolayca çözülüp yeniden kullanılabilirler.

Hayatla İçli Dışlı Cansız Varlıklar: Virüsler

Virüsler, ya DNA'lı ya da RNA'lı proteinden yapılmışlardır. Yani ya DNA ya da RNA biçiminde bilgiyi içerirler ve protein biçiminde bir şeylerin yerine geçebilen bir kimlikleri vardır. Ama yardımcısız kendi kendilerine üreyemezler. Yardım canlı hücreler tarafından sağlanır. Virüsün proteinleri, onun bir hücre bulup içine girmesine yol açar. Virüs, orada kendisini üretecek makinaları; hücrenin makinalarını bulur. Üreme işini tamamladıktan sonra kendisi ve yeni virüsler, aynı tatsız işi başka hücrelerde yinelemek üzere o hücreden çıkarlar. Bu olaylar sırasında virüs, "ev sahibi" hücreyi öldürebilir, ona zarar verebilir, değiştirebilir veya hiçbir şey yapmaz; bu virüsün ve hücrenin cinsine bağlıdır. Bir virüsün hücrede neden olabileceği önemli bir değişiklik de onu kansere dönüştürmesidir. Bu esrarlı olay, sekizinci bölümde göreceğimiz gibi en son kanser araştırmalarındaki yoğun çabaların temelinde yatmaktadır. Hücrelerden daha basit oldukları halde,

virüslerin daha ilkel olmadıklarının sanıyoruz. Çok uzak geçmişte bir zaman, normal hücrelerin parçalarıyken kopup kendi asalak "yaşama" biçimlerini kurmuş olmaları mümkün görünüyor. Virüslerin bağımsız olarak üreme yetenekleri olmadığı için kendi başlarına canlı olduklarını düşünemiyoruz.

Ölümlülük ve Ölümsüzlük

Şimdi, bir bireyin yaratılmasının bir dizi yazılı talimat gerektirdiğini biliyoruz. Bunlar milyonlarca yıldır dikkate değer bir bağlılıkla tekrar tekrar kopya edilmişlerdir, ama her birey yalnızca birkaç on yıl içinde yaşar ve ölür, o zaman bu talimatların ölümsüz olup olmadıklarını sorabiliriz. En azından, bir biyolog için herhangi bir şey ne kadar ölümsüz olabilirse, genetik bilgi de o kadar ölümsüzdür diyebiliriz. Aslında ölümlü her birey, gelecek kuşaklara geçirilecek tarifnamenin geçici koruyucusudur; sopanın DNA olduğu bir bayrak yarışında koşucu... Bir birey yaşamının, ancak atalarından çocuklarına geçirdiği bilgi kadar önemi vardır. Bazı güveler ağızsız doğarlar ve doğdukları andan başlayarak açlıktan ölüme mahkûmdurlar. Tek işlevleri, çiftleşip daha çabucak yumurtlayarak güve bilgisini gelecek kuşağa geçirmektir.

Eğer DNA ölümlünün ölümsüzlüğü ise, insanların inatçı merakı, daha ötesini de sormadan edemez; Bütün bunlar nasıl başladı?

III. BÖLÜM

Başlangıç

Hangisi önce geldi, tavuk mu yumurta mı? Bu çok duyulmuş bir sorudur, ama yanıtlanamaz. Yanıtlanamamasının sebebi "tavuk yumurtadan, yumurta tavuktan, vs" diye zaman içinde bitmez tükenmez bir geriye doğru sayış gerektirmesi değil, bu şekilde geriye giderken biriken küçük değişikliklerle tavuğun tavukluktan, yumurtanın da yumurta olmaktan çıkmasıdır. Tavuğun bir milyar yıl gerilere giden soyağacını incelersek; tüylü arkadaşımızı, hayal gücümüzü ne ölçüde zorlarsak zorlayalım adına "tavuk" diyemeyeceğimiz atalara bağlayan bir değişimle karşılaşırız. Benim tahminim, bir milyar yıl önceki tavuk atasının herhalde, topluiğne başından küçük ve okyanusta yaşayan bir yaratık olduğu. Kendi soyumuzu gerilere doğru izlersek, yine buna benzer bir sonuçla karşılaşırız.

Ne kadar geriye gidebiliriz? Bir başlangıç olduğunu düşünmemiz gerek. Bundan önceki bölümde sözü edilen, DNA'nın ölümsüzlüğü benzetmesine şimdi daha iyi bir perspektiften bakmalıyız. Dünyamızın şimdiki canlı biçimlerini doğuracak tüm bilgiyi taşıyan bu kocaman moleküllerin, çok uzak bir geçmiş zamanda, alçakgönüllü bir başlangıçları olması gerek.

En iyi tahminlere göre yaşam; bundan üç milyar yıl önce, o zamanlar iki milyar yaşında olan dünya canlıları barındıracak kadar soğuduğunda başladı. Son derece küçük ve oldukça basit deniz yaratıklarının iki milyar yıldan daha eski fosilleri var. Bu fosilleşmiş yaratıkların ataları herhalde daha da küçüktü. En ilkel canlı biçimi, belki de bugün bolca bulunan basit tek hücreli canlılara hiç benzemeyen bir tek-hücreliydi.

Öyleyse bizim yoğunlaşacağımız soru şu: bir hücre, yaşamaya ilk olarak nasıl başlamış olabilir, bu nasıl **mümkün olabilir?** Soru "hücre nasıl yaşamaya başladı?" değil; bu hiçbir zaman yanıtlanamayacak bir sorudur. Çünkü bu olaya tanıklık edecek kimse yoktu o zaman, ama yaşamın nasıl oluşabileceğini sormak hakkımızdır. Akıllıca tahminler ve olasılıkları gösteren deneyler yapabiliriz.

Gerekli Maddeler

Jeologların, paleontologların, fizikçilerin, biyologların çalışmalarına dayanarak, dünyanın üç milyar yıl önce nasıl bir yer olabileceği konusunda oldukça iyi bir fikrimiz var. Bilim kurgu kitapları ve filmleri olayı çok canlı ve belki de doğru resimliyorlar; lav ve kayalardan oluşmuş, gri, tümüyle kısır, hiç yeşili olmayan manzaralar, patlayan yanardağlar, sivri dağ tepeleri, buharlaşan denizler, alçak bulutlar, arada çakan şimşeklerle gürültüyle parçalanan ve sürekli yağan yağmurlar. Herhangi bir canlı tarafından görülmemiş ve duyulmamış olaylar. Kuşkusuz bu, sizin ve

benim için çok sefil bir ortam olurdu. Ama yaşamın başlangıcı için iyi bir düzendi. Her şeyi harekete geçirmek için gerekenler şunlardı:

1. Ilık bir ortam.
2. Çok miktarda su.
3. Gerekli atomların kaynakları (karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen ve fosfor).
4. Enerji kaynağı.

Su ve ısı, sorun değildi. Dünya soğurken, milyonlarca yıllık yağmur okyanusları doldurmuş, hâlâ sıcak olan dünya bu okyanusları ısıtmıştı. Şimşekler bol bol enerji sağlıyorlardı. Bulutlar aralandığı sıralarda da güneşten utraviyole ışınları geliyordu. (Bu ışınlar o zaman şimdi olduklarından çok daha güçlüydüler, çünkü atmosferimizi saran ozon tabakası henüz oluşmamıştı. Ozon, yeryüzünde bitki yaşamının sonucu olarak yavaş yavaş birikmiş bir oksijen tabakasıdır. Bu tabaka ultraviyole ışınlarını geçirmez.)

Bu koşullar; kuşkusuz başlangıçta, en basit birimlerin, bilgi zincirlerinin (DNA) ve hücre maddesi zincirlerinin (protein) oluşması için yeterince basitti. Ama zincirlerimiz olmadan önce halkalarımızın olması gerekir. Önce DNA nükleotidleri ve proteinlerin amino asitleri oluşmalıdır. Bildiğimiz gibi, bu halkalar ufak moleküllerdir. Bunlar, karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen ve fosfor elemanlarının kimyasal olarak bağlanıp düzenlenmeleriyle oluşurlar.

Basit Moleküllerin Doğuşu

Öyleyse işte senaryomuz: Deniz suyunda erimiş karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen ve fosfor içeren basit bileşikler, ultraviyole ışınları ve şimşeklerle sürekli bombardıman ediliyorlar. Bu arada bir kısmı kalıcı ve dengede olan, değişik kombinasyonlara da zorlanıyorlar.

İşlem yüz milyonlarca yıl boyunca sürerken, deniz, elemanlarının değişik kombinasyonları yönünden giderek zenginleşiyor. Yeni moleküller, bu arada nükleotidler ve amino asitler birikiyor. Sonunda, denizin son derece bol ve bütün yeni molekül çeşitlerini içeren koyu bir çorbaya dönüştüğü bir zaman geliyor.

Zamanın Önemi

Sözkonusu süreçte zamanın önemini kavramak için biraz duralım. Zaman ne kadar uzun olursa bir şeylerin olması da o kadar olasıdır. Kimyasal reaksiyonlar için de bu doğrudur. Zaman sınırlaması olmazsa, yeterince uzun süre beklenirse en olanaksız reaksiyonlar gerçekleşebilir. Eğer bu reaksiyonların ürettikleri bileşikler kalıcı (dengeli) iseler, deniz suyunun nispeten değişmez maddeleri haline geleceklerdir.

İçinde Canlı Olmadığı İçin Çorba Varlığını Sürdürebilir

Şimdi denizin çorba gibi olması düşüncesi size aşırı görünebilir. Bunun bugünkü deneyimlerimizle karşılaştırılabilecek hiçbir yanı yoktur. Böyle zengin bir oluşumun birikmesi, canlılar onu hemen yiyip bitireceği için bugün belki de olanaksızdır. Bakteriler ve diğer açgözlü yaratıklar şimdi çok kalabalıklar ve ne zaman iyi bir besin kaynağı belirse, hemen onu tüketiyorlar. Kaynak kuruyana kadar üreyip sayılarını arttırıyorlar. Görüyorsunuz ki eskiden yaşam olmadığı için okyanuslar çorba gibi olabilirdi.

Eski Olayların Laboratuvardaki Benzerleri

Aslında, anlattıklarımız hiçbir zaman kanıtlanamayacak bir hipotez. Yine de biz, laboratuvarda bunların olabileceğini gösterebiliriz. Eskiden olduğu öne sürülen koşul-

ların laboratuvarda istenen tepkiyi sağlaması kuşkusuz olanaklıdır. Üç milyar yıl önce denizde bulunduğu düşünülen basit bileşikler bir cam kapta suda eritilebilirler. Kap, şimşeklerin enerji katkısını sağlamak üzere bir elektrik kaynağına bağlanır.

Sistemin bütün parçaları hiçbir canlı hücre olmadığından emin olabilmemiz için önceden strezile edilir. Sonra kaptakilerin bir süre pişmesi için elektrik verilmeye başlanabilir. Sonunda kap açılıp içindekiler incelenir.

Bu deneyin yapılmış olduğunu ve sonucun tümüyle inandırıcı olduğunu sevinerek söyleyebilirim. Hem nükleotidler hem amino asitler beş elemandan bu şekilde oluşturulabildiler. Yani yaşam zincirlerinin halkaları, deniz ve benzeri bir ortamda şimşeklerin enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla üretildi.

Zincir Moleküllerin Doğuşu

Bundan sonraki adım, açıkça görülüyor ki halkaları, DNA gibi ve protein gibi zincirler oluşturmak için birleştirmektir. İlkel koşulların laboratuvarda yapılmış benzerlerinin, halkaların oluşumu aşamasını sağlamasına bakarak, çalışma ilerletilirse halkaların zincir biçiminde eklenebileceğini de düşünmek akla yakındır.

Nitekim kısa zincirlerin oluştuğunu görüyoruz. Basit kimyalarıyla bugünün DNA'larına ve proteinlerine benziyorlar.

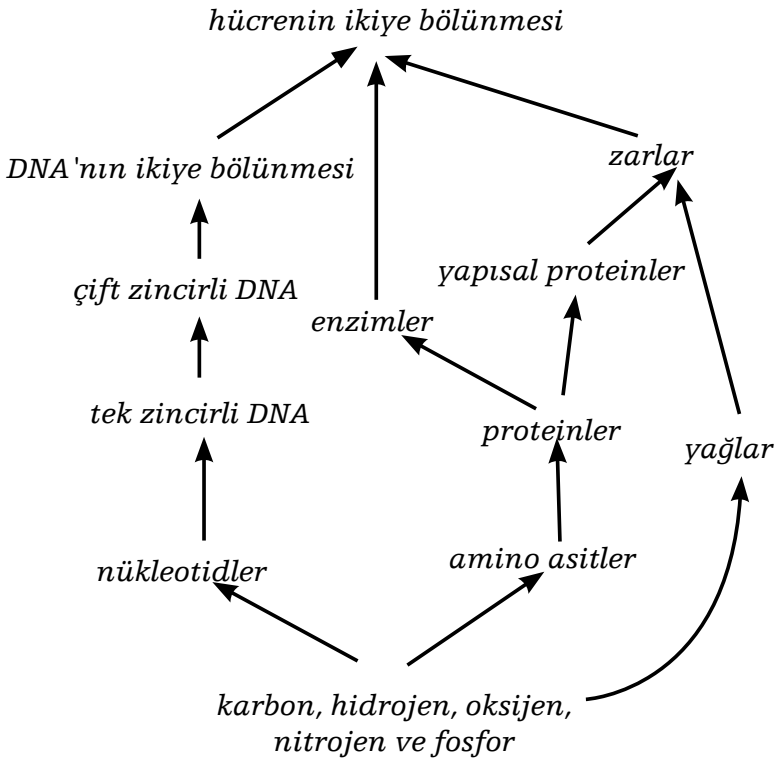
Yine de hatırlayalım, bu deneyler yalnızca ne olabileceğini gösterir, ne olduğunu değil.

Durum Thor Heyerdahl'in; Polinezya adaları halkının Güney Amerika'dan batıya yelken açarak, şimdiki yurtlarını buldukları savını kanıtlamaya çalışırken karşılaştığından farklı değil. Sal üzerinde aynı yolculuğu başarıyla yaparak, yalnızca Polinezyalıların gerçekten bu yolculuğu

yaptığını kanıtlamış olmadı, benzer taşıt kullanan herhangi birinin de aynı işi yapabileceğini gösterdi.

Bir Hücreye Doğru

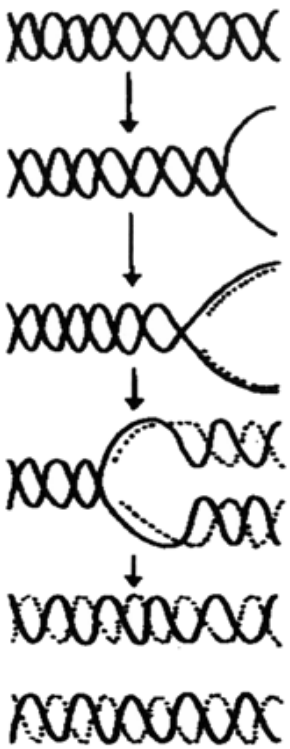
Bu noktadan sonra, hücreyi daha çok tanımak için beş önemli adıma daha göz atabiliriz.



1. Enzimlerin ortaya çıkması: Enzimler, hücre içindeki bütün kimyasal reaksiyonları hızlandıracak özel protein moleküllerdir. Bugün canlı hücre; her biri kendi özel işini yapan, besin maddelerini parçalayan, besinden enerji üreten, basit moleküllerden zincir yapımını kolaylaştıran ve sayısız başka işler yapan binlerce enzim içerir. Olayların denizdeki başlangıç çağlarında yavaş gelişimleri, ancak enzimlerle hızlandırılabilirdi. İlk enzimler, raslantısal olarak birbirine eklenmiş kısa amino asit zincirleri olsa gerek. Tekrar tekrar "deneme-yanılma yoluyla" bu kombinasyonların bazıları; birtakım reaksiyonları hızlandırabilecek, yalnız kendilerine has bir yeteneği elde etmiş olmalılar.

2. DNA'nın çift kat oluşu: Okyanuslar boyunca DNA zincirinin rasgele eklenen nükleotidlerle yavaş yavaş uzamasını gözünüzün önüne getirmeye çalıştığınızda bazı anlamlı diziler oluşacaktır. Burada "anlamlı," birkaç yeni ilkel proteini yapmak için gereken bilgiyi içermek olarak kullanılmıştır. Bunlardan bazıları, yararlı enzimler veya önemli strüktürlerin parçaları olacaklardır. Bu narin DNA molekülleri ne kadar uzun olurlarsa, kopma tehlikesi de o kadar büyüktür. Bir korunma yolunun raslantı olarak belirmesi ve onları dengeye ulaştırması iyi olacaktır. Basit bir çift kat halinde birleşme bunu sağladı. Birbirine sarılmış ipliklerin zarar görmesi, ayrı ayrı tek başlarına oldukları zamandan daha az olasıydı. Dahası, çift kat olmak, DNA'nın üremesi için gereklidir.

3. DNA'nın çoğalması: Bu, çift sarmal DNA zincirindeki her ipliğin, kendisinin tıpatıp bir kopyasını yapması, sonuçta ikinci bir çift sarmalın oluşması demektir.



çift kat DNA

çözülüyor

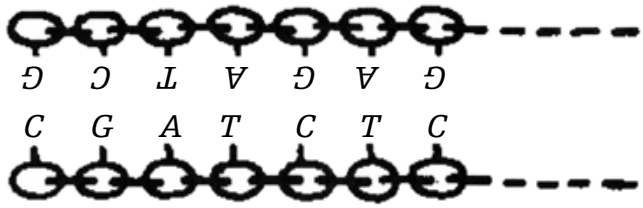
her zincir boyunda yeni nükleotidler yerleşiyor

yeni nükleotidlerin eklenmesi sürüyor. Yeni çift kat DNA zincirleri oluşuyor

eskilerin aynısı iki yeni zincir oluşuyor. Her biri, bir kat yeni, bir kat eski zincir içeriyor.

Son derece basit ve zarif olan bu işlem, bir halatın çözülüp ayrılışı gibi (resimde gösterilmiştir) iki zincirin birbirinden ayrılmasıyla başlar. Yeni nükleotidler, eski zincirlerin her biri boyunca düzenli bir şekilde sıralanırlar ve sonra birbirine eklenirler. Nükleotidlerin her yeni zincirdeki dizilişleri, şaşmaz bir biçimde eski zincirdeki nükleotidlerin dizilişiyle belirlenir. Bunun nedeni; bağlanmak üzere gelen yeni nükleotidlerin, yalnızca eski zincir üzerinde kendilerine karşılık gelen türden nükleotid ile ikili oluşturabilmelidir.

Bu iş bitince, her biri, bir eski bir yeni zincirden oluşmuş çift katlı iki zincir ortaya çıkmış olur. Bir çift katlı zincir, diğer çift katlı zincirin her yönüyle aynıdır. (Hücre içinde bu iş tamamlandığında, hücre ikiye bölünmeye hazırdır. Bölünmeden sonra iki yeni hücrenin her birinde birbirinin eşi birer çift DNA zinciri olacaktır.)



adenilik asit (A) her zaman timidilik asitle (T) eşleşir.
guanilik asit (G) her zaman sitidilik asitle (C) eşleşir.

DNA'nın iki katına çıkması, DNA molekülleriyle nükleotidlerin kendi başlarına yapabilecekleri bir iş değildir. Şimdi olduğu gibi sanırız yaşamın başlangıç aşamalarında da bütün diğer hücre reaksiyonlarında olduğu gibi enzimler gerekliydi.

4. Temel maddelerin paketlenmesi: Hücre genetiği içinde kritik bir olay, önemli moleküllerin çevrelerinin bir sargı veya zarfla çevrelenmesidir. Bu; hem DNA'nın, hem proteinlerin, hem de diğer önemli moleküllerin korunmasına yarar. Onları birlikte daha etkin çalışabilsinler diye

birbirlerine yaklaştırır. Proteinler ve yağlar "zar" denilen hücre sargısının en önemli elemanlarıdır. Yağlar, hücrenin çevresinden yalıtımını, yani su geçirmezlik niteliğini sağlarlar.

5. Hücrenin ikiye bölünmesi: Molekülleri bir "zarla" sararsak, hücreye çok benzer bir şey elde ederiz. Ama hücre bölünemiyorsa hiçbir işe yaramaz. Gerekli olanlar şunlardır: Yeni bir hücre yapabilmek için bölünebilen bilgi, önemli hücre işlevlerini yerine getirecek enzimler ve bunların hepsinin bir zar içinde toplanıp korunması. Bu paketin bölünmesi, çok karışık bir işlemde bütün bileşenlerin işbirliğini gerektirir ki, bunun nasıl gerçekleşebildiğini, bugün bile anlamış değiliz. Ama bölünebilen hücreler bir kez ortaya çıkınca, günümüze kadar gelen yol açılmış oldu.

Hayat Yalnızca Bir Defa Ortaya Çıktı

Bu olağanüstü yaratılıştan tek bir olaymış gibi söz ediyorum. Belki de öyleydi. Böyle söylemek için iki neden var. Birincisi bugün her canlı yaratık (istisnasız hepsi) aynı yapı malzemelerini kullanıyorlar: Aynı dört nükleotidi, yirmi amino asidi ve diğerlerini. Aynı genel makinelerle protein moleküllerini yapıyorlar (ribozomlar, transfer RNA, mesajcı RNA) ve yaşamın diğer işlerini yönlendiriyorlar. Hayatın bir defadan fazla başlangıcı olduğunu düşünsek, her başlangıcın değişik yapı malzemeleri, makineleri olacaktı. Bütün canlı yaratıkların aynı yapı malzemeleri ve makinelerini içermeleri gerçeği, tek bir başlangıç savını güçlendiriyor.

Tek başlangıca inanmanın ikinci nedeni de canlıların en erken biçimlerinin, içinde oluşturdukları çorbayı çabucak tüketecekleridir. Böylece kendileri ve onlardan üreyenler, milyonlarca yılda elde edilmiş zengin çevreyi harcayacaklardır. Ufacık hücre ve yavrularının, o koca ok-

yanuslar dolusu iyi besini yok edebileceklerine inanmak biraz zor olabilir. Ama hemen bunun olabileceğini gösteren bir örneğe bakabiliriz. Çok rastlanan E. koli bakterisi, kendisi için uygun besin olduğu zaman, her yirmi dakikada bir nüfusunu iki katına çıkarabilir. Bu demektir ki şu anda yalnızca bir tek hücreyle başlasak, yirmi dakika sonra iki, bir saat sonra sekiz hücremiz olur, iki saatte 64, üç saatte 512, dört saatte 4096, beş saatte 32768 ve böylece sürüp gider. Hücre kütlesindeki artışın bir atomik zincir reaksiyonu olduğunu görebilirsiniz. Aslında, E. kolisi bolca besinle yirmi dört saat üremeye devam etse, üreyen hücreler dünyanın yüzeyinde bir mil uzunluğunda kabuk oluştururlar. Burada önemli olan nokta, basit bir hücrenin besin stoku bitene kadar veya atıkları kendisini zehirleyene kadar, yiyip bölünebilmesidir. Tüketilecek gıda kütlesinin sınırı yoktur. Böylece oldukça kısa bir zamanda, ilkel bir hücre ve ondan üreyenler, okyanuslardaki bütün besini tüketebilir. Artık yeni canlıların ortaya çıkmasına olanak kalmaz.

Enerjinin İşe Katılması

Enerjinin, yaşamın başlaması için gerekli olduğunu belirtmiştik. Şimşeğin çakışı, bir ultraviyole patlaması, moleküllerin zincir moleküller oluşturmak üzere birbirine bağlanmasına neden olabilir. Bu zincirlenme ve yaşama işleminin temeli ve varlığı için çok önemlidir ve her zaman da önemliydi.

Birinci bölümde, bir de şekil çizerek, rasgele dağılmış nesneler arasında düzeni sağlamak için bilgiye gereksinimimiz olduğunu gösterdik. İkinci bölümde, bilginin gerçekte ne olduğunu öğrendik. Enerjiye de gereksinimi olduğunu gördük. Şimdi, canlı dünyada enerji akışını daha ayrıntılı inceleyebiliriz.