Teach® Yourself

BİLİMİ ANLAMAK

Kozmik ışınlar (sayfa 12) Güneş sistemimiz (sayfa 22) Dünya'nın oluşumu (sayfa 28) İnsanın ortaya çıkışı (sayfa 47) DNA'yı keşfedin (sayfa 53) Hücre nasıl çalışır (sayfa 67) Dünya'nın temel yapısı (sayfa 104) Nanoteknoloji (sayfa 185) Modern genetiğe doğru (sayfa 190) Bilimsel sahtekârlık vakaları (sayfa 203) Bilimkurguda öngörüler (Sayfa 256) Yapay zekâ (sayfa 260) Uzayı kolonileştirmek (sayfa 289)



SON ARAŞTIRMALARIN SONUÇLARI

optimist

Teach® Yourself

Bilimi Anlamak

on Evans

eviren
yşecan Ay



ISBN 978-605-322-258-3
© 2011, Jon Evans
Orijinal adı ve yayıncısı: *Understand Science*, Hodder Teach Yourself

Optimist Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.
Sertifika no. : 11970
Telefon : 0216 481 29 17-18
Faks : 0216 521 10 64
e-posta : optimist@optimistkitap.com
www.optimistkitap.com
facebook.com/optimistkitap
twitter.com/optimistkitap
www.youtube.com/OptimistKitap
www.optimistkitapblog.com

Optimist yayın no. : 398
Konu : Kişisel Gelişim
Yayına hazırlayan : Cemal Engin

Basım : Nisan 2015, İstanbul
Düzenleme : Selim Talay
Düzelti : Özlem Başpehlivan
Sertifika no. : 13137
Baskı ve cilt : Tor Ofset San. ve Tic. Ltd. Şti.
Akçaburgaz Mah.
116. Sokak No: 2
Esenyurt–İSTANBUL
Tel: 0212 886 34 74

İçindekiler

Homo bilimselus'la tanışın *ix*

Birinci Kısım: Buraya Nasıl Geldik?

1 **Pat diye ortaya çıktık** 3
Genişleme ve soğuma 4
Kuarklar ve leptonlar 5
Güçlü çekirdek kuvveti 7
Elektromanyetik kuvvet 8
İlk atomik madde 9
Kütle çekim kuvveti 11
Ek okuma 11

2 **Uzaydaki moleküller** 12
Kozmik ışınlar 12
Yeni elementlerin oluşumu 14
Ek okuma 21

3 **Güneş sistemi tarifi** 22
Güneş sistemimiz 23
Dünya'nın oluşumu 28
Ek okuma 30

4 **Yaşam başlıyor** 31
ESOA 32
Yaşamın tanımı 34
Amino asitler nasıl birleşti? 36
Ek okuma 39

5 **Evrim ve yok oluş** 40
Yararlı mutasyonlar 41
Çevrenin rolü 42
Eşeyli üreme 45
İnsanın ortaya çıkışı 47
Ek okuma 48

İkinci Kısım: Her canlının kaderi

6 **Yaşamın dizilimi** 51
Yaşamı meydana getiren proteinler 51
DNA molekülü 53
İnsan Genom Projesi 58
Eksonlar ve intronlar 58
Genleri açıp kapamak 59
Ek okuma 61

7 **Sıfırdan** 62
Genom 62
Hücre nasıl çalışır 67
İnsan vücudunda bulunan farklı hücre türleri 68
Ek okuma 70

8 **Nasıl oluyor?** 71
Hücre çoğalması ve mitoz 71
Mayoz 72
Döllenme 75
Seksin evrimdeki rolü 79
Ek okuma 81

9 **Adam adama savunma** 82
Başlıca istilacılar 83
Ağız veya burun yoluyla giriş 85
Doğuştan gelen bağışıklık sistemi 86
Edinilmiş bağışıklık sistemi 88
Ek okuma 91

10 **Sinirlerin saldırısı** 92
Nöron 93
Nasıl görürüz? 97
Ek okuma 100

Üçüncü Kısım: Yeryüzü, rüzgâr ve ateş

11 **Ayaklarımızın altındaki yer** 103
Dünya'nın temel yapısı 104
Levha tektoniği 107
Ek okuma 112

12 Sallan yuvarlan 113
Depremler 114
Dalma-Batma 116
Volkanlar 119
Ek okuma 123

13 Kayaç gibi sağlam 124
Silikat grupları 125
Kayaçlar içindeki çeşitlilik 126
Bazalt ve granit 128
Başkalaşım kayaçları 129
Tortul kayaçlar 130
Kayaç döngüsü 131
Ek okuma 132

14 Havalar nasıl olursa olsun 133
Konveksiyon akıntıları 134
Sirkülasyon hücreleri 136
Hâkim rüzgârların yönü 136
Okyanustaki dairesel akıntılar 138
Ek okuma 140

15 Fırtınalar koparsa kopsun 141
Bulutlar ve hava durumu 141
Yağmur üretimi 144
Buz kristallerinin oluşumu 144
Gök gürültüsü ve şimşek 146
Siklonlar, kasırgalar ve tayfunlar 147
Ek okuma 149

Dördüncü Kısım: Gerekli teknolojiye sahibiz
16 Enerji dolu 153
Potansiyel enerji ve kinetik enerji 153
Enerji ve kuvvetler 155
Enerjiden ısıya 156
Enerji kaybı 160
Ek okuma 161

17 Dalga dalga 162
Dalga boyu, genlik ve frekans 163
Dalgalar ve enerji 164
Elektromanyetik radyasyon 164
Ek okuma 171

18 Aşırı enformasyon yükü 172
Boole ve mantıksal çıkarım 173
Ondalıklardan ikililere 176
Mikroişlemci 178
Ek okuma 179

19 Bas gaza 180
Katalizörler 180
Nanoteknoloji 185
Ek okuma 188

20 Canlı 189
Modern genetiğe doğru 190
Hayvanları klonlamak 194
Kök hücreler 195
Sentetik biyoloji 197
Ahlaki ikilem 197
Ek okuma 198

Beşinci Kısım: Bilim yoldan çıkarsa
21 Sahtekâr, dolandırıcı ve hayalperest 201
Diğer bilimsel sahtekârlık vakaları 202
Veri maniplasyonu 205
"Soğuk füzyon"un keşfi 206
Ek okuma 209

22 Şoklar ve Korkular 210
Sistem 1 ve Sistem 2 211
GD ürünler 215
KKK korkusu 218
Ek okuma 219

23 Sıcak bastı 220
İklim değişikliğinin prensipleri 221
Yükselen hava sıcaklıkları tartışması 223
Su buharının etkisi 225
Güneş radyasyonu 226
Gelecekte bizi bekleyen değişimler 227
Ek okuma 229

24 Yaklaşan kıyamet 230
Nükleer savaş 231
Nükleer tehditler 232
Kimyasal ve biyolojik saldırılar 233
Dünya'ya uzun vadeli zarar 235
Ek okuma 238

25 Her şeyin sınırı var 239
Bilimsel yöntem 239
Bilimsel yöntemin ötesinde 241
Bilimde bilgisayarların kullanımı 244
Kuantum teorisi 245
Ek okuma 247

Altıncı Kısım: Geleceğin bilimi
26 Geleceğe dönüş 251
Hatalı öngörüler 252
Neden roketlerimiz var? 255
Bilim kurguda öngörüler 256
Ek okuma 259

27 Yapay Zekâ 260
Robotlar ve zeki makineler 261
Yeni bilgisayar çipi türleri 263
Öğrenebilen bilgisayarlar 267
Ek okuma 268

28 İçimizdeki uzay 269
Kanserin altın nanoparçacıklarıyla tedavisi 270
Diğer hastalıklar için akıllı implantlar 273

Doku büyümesini uyarmak 274
Vücutlarımızı geliştirmek 276
Ek okuma 276

29 Bir uzay destanı 277
Roketi uzaya çıkarmak 278
Roketin uzayda seyahat etmesini sağlamak 278
Daha çabuk varmak 280
Ek okuma 287

30 Dünyamızın geleceği 288
Uzayı kolonileştirmek 289
Güneş enerjisinin daha fazlasını yakalamak 293
Güneş'in ölümü 293
Ek okuma 295

Homo bilimselus'la tanışın

Modern insanlar (*Homo sapiens*) ilk defa bundan 200.000 yıl önce belirgin olarak sahneye çıktılar ve biz, belli açılardan bakacak olursak, o zamandan bu yana pek fazla değişmedik. O zaman nasılsak esasen şimdi de öyle görünüyor, davranıyor ve düşünüyoruz. Fakat başka açılardan, tanınmayacak kadar farklıyız.

Geçirdiğimiz değişiklikler geride bıraktığımız 200.000 yıla eşit dağılmış değil; çoğunlukla son birkaç yüzyılda yoğunlaşmışlar. O 200.000 yıl boyunca tarımı, dini, kültürü, savaşı ve kentleri geliştirmiş olabiliriz ama oldukça yakın zamana kadar ortalama bir insanın hayatı bu süre içinde pek fazla değişmiş sayılmazdı. Sonra bilimi geliştirdik ve değişimin son sürat yaşandığı bir döneme girdik.

Evren hakkında sorular sormak ve sonra o soruları yanıtlamak için deneyler yapmak gibi basit bir çizgi izleyen bilim, dünyamızı ve yaşamlarımızı tamamen dönüştürdü. Evrene ve evren içindeki yerimize dair kavrayışımızı kökten değiştirdi ve daha önce hayal bile edemeyeceğimiz teknolojiler geliştirmemize olanak sağladı.

Tüm evrenin, hem mecazi olarak hem de gerçek anlamda, etrafımızda döndüğünü sanıyorduk; oysa şimdi biliyoruz ki Dünya sayısız galaksideki sayısız yıldızın uydusu olan sayısız gezegenden yalnızca biri. Evrenimiz bile sayısız başka evren içinden yalnız bir tanesi olabilir.

Özel olarak tasarlanmış olmadığımızı artık biliyoruz. Biz (Dünya üstündeki diğer bütün organizmalar gibi) sadece, bizi

belirli bir çevresel niş için (ki bizim durumumuzda bu Afrika savanası) törpülemiş olan kör, çarkıfelek benzeri bir sürecin talihli bir sonucuyuz. Yine de bu, özel olmadığımız anlamına gelmiyor; bildiğimiz kadarıyla, tüm evrendeki tek bilinç ve duygu sahibi varlıklar olabiliriz.

Her nesilde en ileri teknolojileri geliştirmek amacıyla, artan bilimsel bilgimizi kullandık. Bu bilimsel mucizeler yalnızca yaşamlarımızı daha uzun, kolay ve zevkli kılmakla kalmıyor aynı zamanda bilimsel teorilerimizin doğruluğunu da onaylıyor. Bilimsel teorilerimiz evrenin nasıl işlediğini oldukça büyük bir kesinlikle açıkladığı için hatasız uçan uçaklar inşa edebiliyor, hatasız iletişim kuran cep telefonları tasarlayabiliyor ve hatasız çıtırdayıp kıtırdayan kahvaltılık gevrekler üretebiliyoruz.

Bilim, hayal edebileceğimizden daha eski, daha büyük ve daha tuhaf bir evreni açığa çıkardı. Bizi zamanın başlangıcına geri götürdüğü kadar her şeyin sonuna da götürdü. Gerçekliğin derinliklerini araştırmamıza ve uzayın uçsuz bucaksız enginliğini keşfetmemize izin verdi. Bize, evrenin dizginlerini nasıl ele geçireceğimizi gösterdi; nasıl uçacağımızı, çok uzak mesafelerle nasıl iletişim kuracağımızı, dünyamızı nasıl ışıkla öreceğimizi öğretti.

Bilim bizi bugün olduğumuz hale getirdi ve bize modern dünyamızı verdi. Temel olarak, 200.000 yıl önce uzun adımlarla Afrika savanasına çıkanlarla aynı yaratıklar değiliz. Biz insandan fazlasıyız; aslına bakarsanız yeni bir türüz; biz *Homo bilimselus*'uz.

Bu kitap *Homo bilimselus*'a ve onun geçtiğimiz birkaç yüz yıl içinde başardıklarına bir giriştir. İzleyen 30 bölümde bilimin madde, uzay, enerji, yaşam, hava durumu, bilgi ve gelecek hakkında neler keşfettiğini ve bizim bu keşifleri modern

teknolojilere nasıl dönüştürdüğümüzü öğreneceksiniz. Güneş Sistemi'nin doğuşuna tanık olacak, okyanus akıntılarını binlerce kilometre boyunca takip edecek, ışık demetlerine binecek ve yunusların neden gezegendeki belki de en sapkın yaratıklar olduklarını öğreneceksiniz.

Peki ama yemek pişirmekle meşgulken neden bilimle canınızı sıkasınız ki? Bilimin değerli olduğunu anlıyorsunuz ve size verdiği tüm teknolojiler için de minnettarsınız ama hepsinin nasıl çalıştığını neden bilmeniz gereksin ki? Çalışıyor olması sizin için yeter de artar bile.

Bilimin, evrenin işleyişi hakkında ortaya çıkardıklarını gerçekten kavramalısınız, çünkü bilim, dünyamızın o denli ayrılmaz bir parçası ki bizler artık *Homo bilimselus*'uz. Bilimi görmezden gelemezsiniz çünkü bilim sizi görmezden gelmiyor.

Bilim, yaşamımızı iyi veya kötü çok farklı şekillerde etkiliyor. İyi ve kötü taraflar arasındaki sınırın nerede olması gerektiği hakkında bilgiye dayanan kararlar verebilmek için bilimi, teorilerini ve onun ürünü olan teknolojileri anlamamız gerek. Aslında, şu anda insanlığın karşı karşıya olduğu en önemli meselelerin birçoğunun güçlü bilimsel ve teknolojik tarafları var.

Küresel ısınma neden oluyor ve bu konuda ne yapabiliriz; klonlama yeni bir tıbbi teknoloji mi yoksa insanlığa hakaret mi; yapay yaşamın gelişimi büyük bir fırsatın mı yoksa büyük bir tehdidin mi habercisi, yoksa her ikisi de mi? Bu zorlukların ve ilerlemelerin nasıl ele alınması gerektiği konusunda söz hakkınız olmasını istiyorsanız, ardında yatan bilimi anlamanız gerekiyor.

Bu zorluklar ve ilerlemeleri nasıl ele alacağımız *Homo bilimselus*'un geleceğe uzanan yolunu belirleyecek. Bu yol uzun ve zaferlerle mi dolu, yoksa kısa ve yıkıcı mı olacak? Bilim,

geçen birkaç yüzyılda bu kadarını başardıysa, gelecek birkaç yüzyıl ya da birkaç bin yılda neler başarabileceğini bir düşünün. Yıldızlara yolculuk edebilir, yüzyıllarca yaşayabilir ya da zihinlerimizi ve bedenlerimizi sayısız şekilde geliştirerek *Homo bilimselus*'un vücut bulmuş halini yaratabiliriz. Kuşkusuz önce kendi kendimizi yok etmezsek.

Ama kendi kendimizi yok etmekten kaçınmayı becerebilsek bile en sonunda hâlâ evrenin merhametine kalmış durumdayız. Bilim, karşılaşacağımız birçok sonu çoktan ortaya koydu bile: Güneş sistemimizin sonu, galaksimizin sonu, evrenimizin sonu. Bu sonların ilki bile—yani güneş sistemimizin sonu—milyarlarca yıl sonra gerçekleşecek, fakat erken teşhis hayat kurtarır.

Homo sapiens olarak kalsaydık evreni acı sonuna kadar izlemeye mecbur kalırdık. Fakat *Homo bilimselus* olarak belki de bir kaçış yolu bulabiliriz.

Teşekkür

Bölümleri okuyarak bu kitap için bana yardım eden ve destek veren bütün bilim insanlarına teşekkür ederim: Andrew Liddle, Max Bernstein, Alan Boss, Matt Genge, Mike Benton, Jon Strefford, Jack Cohen, Julia Potter, David Rothery, Bob Marsh, Bob Henson, Egil Lillestøl, Sege Caron, Thom LaBean, Stuart Taylor ve Mauro Ferrari. Geride kalan hataların hepsi yalnızca bana aittir.

Ayrıca kitap için yardım eden Hodder Education'daki herkese teşekkür ederim. Sonuncu ama son derece de önemli, bütün sevgi ve destekleri için Sarah, Charlotte ve Claudia'ya teşekkür ederim.

I. Kısım

Buraya nasıl geldik

1

Pat diye ortaya çıktık

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *evrenin doğuşu ve Büyük Patlama teorisi*
- *kuarklar, leptonlar ve diğer atomaltı parçacıkların rolü*
- *evrenin nasıl genişlediği ve soğuduğu*
- *doğanın dört temel kuvveti*

Yaklaşık 14 milyar yıl önce hiçbir şey yoktu: İnsanlar yoktu, gezegenler yoktu, yıldızlar yoktu, uzay yoktu, zaman yoktu. Hiçbir şey yoktu. Sonra, hâlâ açıklanamayan nedenlerden dolayı, bütün evren aniden ve beklenmedik bir biçimde varlık buldu. Bilim insanları bunu "Büyük Patlama" olarak adlandırıyor.

Fakat başlangıçta, patlamaya dair aslında öyle çok da büyük bir şey yoktu çünkü evren ilk var olduğunda bir atomdan çok ama çok daha küçük bir hacme sahipti. Evren neredeyse hemen inanılmaz bir hızla genişlemeye başladı, fakat şişme olarak bilinen bu sürecin başlamasıyla bitmesi neredeyse bir oldu. Bir saniyeden çok daha kısa sürse de bu şişme dönemi boyunca evren büyüklüğünü 100 kere ikiye katlayarak yaklaşık 30 cm'ye ulaştı.

Bu hızlı genişleme döneminin son bulması muazzam miktarda enerji ortaya çıkardı ve bunun, bugün evreni dolduran bütün

maddenin yaratılması gibi yararlı bir sonucu oldu. Fakat bu madde sadece 30 cm'ye sıkışmış bulunduğu için, evren o aşamada şu an içinde yaşadığımız halinden çok farklıydı.

Genişleme ve soğuma

10^{27} derece sıcaklıkta (1 ve ardından 27 tane sıfır veya bin trilyon trilyon derece yazmanın daha kolay yolu), evren hayal edilemeyecek kadar yoğun bir minik parçacıklar çorbasından oluşuyordu. Gerçi çok uzun süre böyle kalmadı; şişme dönemi son bulmakla birlikte bugüne kadar devam eden daha yumuşak bir genişleme dönemi başlamıştı.

En son astronomik ölçümlere göre gözlemlenebilir evren (teleskoplarla görebildiğimiz evren anlamına geliyor) şu anda tüm yönlere doğru yaklaşık 14 milyar ışık yılı (ışığın bir yıl içinde katettiği mesafe ya da yaklaşık 1 trilyon kilometre) uzanıyor ve saniyede 74 km genişliyor.

Aslına bakarsanız, evrenin kökenini açıklamak üzere Büyük Patlama teorisinin oluşturulmasının nedeni evrenin genişlemekte olduğunun keşfiydi (*bak.* Kutu). Sav şöyle: Evren şu anda genişliyorsa geçmişte bundan daha küçük olmalı, yani genişlemenin yeteri kadar gerisine gidilebilirse evren esasen, tıpkı bir patlama sahnesini geri sarar gibi kendi başlangıcına doğru gözden kaybolur.

Bu genişleme, evren bir saniyenin on binde biri yaşındayken sıcaklığın bir trilyon dereceye düşmesine neden oldu. Bu sıcaklık hâlâ hayal edilemeyecek kadar yüksek olmakla birlikte, şimdi daha az yoğun olan bir minik parçacıklar çorbasında birkaç önemli değişikliğin meydana gelebileceği kadar düşüktü.

Edwin Hubble, 1889-1953

Eğer herhangi bir bilim insanının modern evren kavramına, yani onun çok büyük olduğu ve daha da büyümekte olduğu görüşüne öncülük ettiği söylenecekse, bu bilim insanı Amerikalı astronom Edwin Hubble'dan başkası olamaz.

Hubble'ın 1920'deki çalışmasından önce astronomlar, Samanyolu galaksimizin tüm evreni kapsadığını düşünüyorlardı. Hubble belli yıldız türlerinden yayılan ışık üzerinde çalışarak, o zamana dek kafaları karıştıran yıldız parçalarının Samanyolu'nda filan olmadığını, aslında milyonlarca ışık yılı uzaklıkta bulunan başlı başına galaksiler olduklarını gösterdi. Sonra bütün bu galaksilerin bizden uzaklaştığını, en uzaktaki galaksilerin ise en hızlı uzaklaşanlar olduklarını keşfetti. Bu, evrenin genişlemesine dair somut bir kanıt oluşturuyordu.

Hubble alışılageldik bir bilim insanı olmaktan epey uzaktı. Gençliğinde yetenekli bir sporcu olan Hubble, bir keresinde gösteri için Fransa milli boks şampiyonu ile boks maçı yaptığını bile öne sürmüştü. Sonrasında, bilimsel keşifleri kendisine belli bir şöhret kazandırınca Hubble, Charlie Chaplin ve Greta Garbo gibi zamanın ünlü film yıldızlarıyla Hollywood partilerinde boy göstermişti.

Başarıları bugün Hubble Uzay Teleskobu'nun adında yaşıyor.

Kuarklar ve leptonlar

Minik parçacıklardan kastımız atomaltı parçacıklardır. Diğer bir deyişle, atomları oluşturan parçacıklar. Topluca fermiyonlar olarak bilinen bu parçacıklar iki geniş gruba ayrılabilir: kuarklar ve leptonlar. Bu iki grup daha sonra üç aileye ayrılır

ve her bir grubun ilk ailesi en yaygın ve tanıdık atomaltı parçacık türlerini içerir.

En yaygın kuarklar yukarı ve aşağı kuarklar olarak bilinirken en yaygın lepton ise elektrondur. Bu en yaygın atomaltı parçacıklar etrafımızda gördüğümüz sıradan maddeyi oluşturur—yıldızlar, gezegenler, insanlar ve lahanalar. Daha az yaygın (müon, tau, nötrino ve tılsım, garip, üst ve alt kuarkları içeren) atomaltı parçacıklar genellikle maddenin daha egzotik, Dünya'da sadece parçacık hızlandırıcılarda yaratılan aşırı yüksek enerjilerde görülen formlarını oluştururlar (*bak.* Kutu).

Parçacık hızlandırıcılar

Evrenin başlangıç hikâyesinin parçalarını bir araya getirmek astronomik gözlemler, matematiksel modeller ve parçacık hızlandırıcıların bir bileşimini gerektiriyordu.

Bu devasa ve çok pahalı aletler, elektron ve proton gibi parçacıkları durağan bir hedefle veya daha yakın zamanda olduğu gibi birbirleriyle yüksek hızlarda çarpıştırarak, atomaltı dünyasının karmaşıklığını inceliyor. Bu çarpışmalarda açığa çıkan yüksek miktarda enerji, nötrinolar gibi egzotik parçacıkları da içeren başlı başına bir başka atomaltı parçacıklar yelpazesi yaratıyor.

10 Eylül 2008'de, o zamana kadar inşa edilen en büyük ve en güçlü parçacık hızlandırıcının tuşuna resmen basıldı. Yapımı 10 milyar dolar tutan ve çevresi 27 km uzunluğunda bir çemberden oluşan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) İsviçre'de Cenevre yakınlarında, yerin onlarca metre altında bulunuyor.

Bilim insanları, protonları bu çember boyunca ters yönlerde göndererek ve neredeyse ışık hızında birbirlerine çarpmalarını sağlayarak daha önce görülmemiş atomaltı

parçacıklar yaratmayı umuyorlar. Bilim insanlarının en ünlü beklentisi ise, normal maddeyi oluşturan parçacıklara kütle verdiği düşünülen bir parçacık olan Higgs bozonunu üretmek.

Güçlü çekirdek kuvveti

Evren, saniyenin on binde birinden daha gençken tüm bu parçacıklar o aşırı sıcak ve yoğun çorbanın içindeki bağımsız oluşumlardı. Fakat evren genişledikçe sıcaklık, bu parçacıkların bir araya gelerek daha büyük oluşumlar meydana getirmesine yetecek kadar düştü.

Çünkü sıcaklık, bir sistemdeki mevcut enerji miktarının bir ölçümüdür ve belli bir sıcaklığın üstünde atomaltı parçacıklarda çok fazla enerji bulunur. Parçacıklar öyle büyük bir kuvvetle çarpışıyorlardı ki sekiyorlardı. Fakat sıcaklık düştükçe, parçacıkların enerji düzeyi de düştü ve bu da birbirlerine yapışmalarını sağladı.

Kuarklar, doğanın dört temel kuvvetinden biri olan ve güçlü çekirdek kuvveti olarak bilinen kuvvet yoluyla bir araya geldiler. Evrenin sıcaklığı bir trilyon derecenin altına düştüğü zaman, güçlü çekirdek kuvveti işlemeye başladı ve yukarı ve aşağı kuarkları ikili ve üçlü şekillerde birleştirdi.

Sıcaklık daha da düştükçe, ikili kuark grupları, yalnız iki yukarı kuark ve bir aşağı kuark grubu ile iki aşağı kuark ve bir yukarı kuark grubu kalana kadar bölündü. Sonra bu grupların kendileri parçacık gibi işlemeye başladılar; ilk gruptaki kuarklar proton, ikinci gruptakiler ise nötron halini aldılar. Ama birçok nötron bozunarak protona dönüştüğü

için bu süreç, nötrondan çok daha fazla proton oluşmasıyla sonuçlandı.

Güçlü çekirdek kuvveti tüm aşağı ve yukarı kuarkları bir araya getirdikten sonra proton ve nötronları çeşitli permütasyonlar halinde birleştirmeye başladı. Bu, bir proton ve bir nötron, iki proton ve bir nötron ile iki proton ve iki nötronu içeriyordu, ama sonuncu birleşim en kararlı ve en uzun ömürlü olandı. Az miktarda oluşan üç veya dört proton ile birkaç nötron içeren birleşimler dışında daha büyük birleşimler hızla bölündü.

Bütün bunlar evrenin ömrünün ilk üç dakikasında meydana geldi. Bu noktada sıcaklık düşerek bir milyar derecelik bir ılıklığa kavuşmuştu. Bu sıcaklığın altında, güçlü çekirdek kuvvetinin artık daha fazla proton ve nötronu birleştirmesine yetecek kadar enerji yoktu. Ancak çoktan birleştirdiklerinin bir arada kalmasına yetecek kadar enerji vardı.

Evren, izleyen 380.000 yıl boyunca düzenli olarak genişleyip soğuyarak böyle kaldı. Bu süre boyunca evren, birbirini ıskalayarak uçuşup duran çeşitli proton ve nötron birleşimleriyle birlikte aşırı miktarda tek proton yükü ile çok sayıda elektron ve diğer leptonlardan oluşuyordu. Ayrıca karanlık madde gibi biraz olağandışı ve daha az anlaşılan madde biçimleri de barındırıyordu ama bunlar şimdilik bizi ilgilendirmiyor.

Elektromanyetik kuvvet

Kuarklar ve leptonlar arasındaki temel fark, kuarklar güçlü çekirdek kuvveti yoluyla etkileşime girerken leptonların girmemesidir. Örneğin, elektronlar sadece elektromanyetik kuvvet yoluyla etkileşime girer. Bu da doğanın, baskın kuvvetle

aynı sıralarda devreye giren bir başka temel kuvvetidir, fakat sıcaklık fazla yüksek olduğu için başlangıçta pek etki edememiştir.

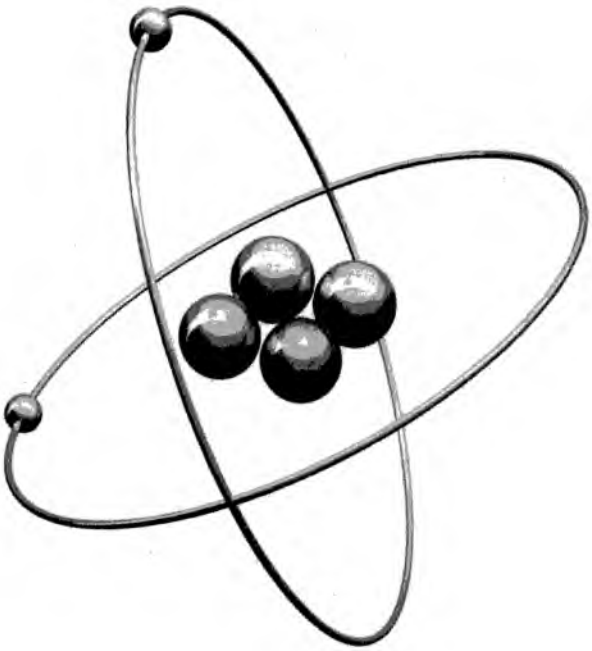
Elektromanyetik kuvvet, elektrik yükü olan tüm parçacıklar arasında açığa çıkar. Tüm yüklü parçacıklar ya pozitif ya da negatif yüke sahiptir: Zıt yüklü parçacıklar birbirini çekerken eş yüklü parçacıklar birbirini iter. Bu, iki mıknatısı tutmak gibidir: Zıt kutuplar birbirine yapışırken eş kutuplar birbirini iter.

Elektronlar negatif yüklüdür ve bu nedenle, tıpkı pozitif yüklü protonlar gibi elektromanyetik kuvvetten etkilenirler. Öte yandan nötronların elektrik yükü yoktur, bu nedenle elektromanyetik kuvvetten etkilenmezler.

Evren 380.000 yaşına geldiğinde sıcaklık 3.000 dereceye düşmüştü ve artık elektromanyetik kuvvet, atomları oluşturmaları için zıt yüklü proton ve elektronları bir araya getirmeye başlayabilirdi. Tüm atomlar, proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ile onu çevreleyen, yörüngesinde dönen elektronlar bulutundan oluşur. Atomlar her zaman eşit sayıda proton ve elektrona sahip olduklarından, toplamda bir yükleri yoktur.

İlk atomik madde

Böylece 380.000 yıl sonra ilk gerçek atomik madde ortaya çıktı. Tek elektronlar fazla protonlarla birleşerek hidrojeni, elektron çiftleri ise iki proton ve iki nötrondan oluşan gruplarla birleşerek helyumu oluşturdu (*bak.* Şekil 1.1). Az miktarda bulunan ve üç veya dört proton içeren daha büyük birleşimler de elektron kazanarak sırasıyla lityum ve berilyumu oluşturdular.



Şekil 1.1 Helyum atomu

Tüm bunların sonucunda yeni oluşan maddenin yaklaşık yüzde 77'si kadar büyük miktarda hidrojen, daha az miktarda helyum (yaklaşık yüzde 23) ve çok az miktarda (yüzde birden daha az) lityum ve berilyum oluştu. Bu genel madde dağılımı bugün de devam etmekte ve evren her şeyden çok hidrojen ve helyum içermektedir.

Ama atomik madde ilk ortaya çıktığında bile evrende eşit dağılmamıştı. Evrenin bazı alanlarında diğerlerine göre daha fazla madde vardı. Bunun nedeni, şişme döneminde meydana gelen rastlantısal dalgalanmalardı. Bu dalgalanmalar yeni oluşan ve evren genişledikçe kalıcılığını koruyan maddenin dağılımında farklılıklar ortaya çıkardı, sonunda da hidrojen

ve helyumun belli bölgelerde az da olsa daha yoğun kümeler oluşturmasına neden oldu.

Kütle çekim kuvveti

Bu kümeleşme eğilimi, doğanın dört temel kuvvetinden üçüncüsü olan kütle çekim kuvvetiyle arttı (dördüncüsü zayıf çekirdek kuvvetidir ve bazı radyoaktif bozunma formlarında etkilidir). Kütle çekimi, kütlesi olan gövdeler arasında etki eder, daha büyük kütleye sahip gövdelerin daha az kütleye sahip gövdeleri çekmesine neden olur. Hidrojen ve helyum kümeleri, çevrelerindeki bölgelere kıyasla daha fazla kütleye sahip olduklarından kendilerine doğru daha fazla madde çektiler, bu da kütlelerini artırdı ve daha da fazla madde çekmelerini sağladı.

Yüzlerce milyon yıldan sonra bu hidrojen ve helyum kümeleri, uçsuz bucaksız engin boşluklarla ayrılan ilk yıldızlar ve galaksiler oldular. En sonunda, bugün yaşadığımıza benzer bir evrenimiz oldu.

Ama buna rağmen, hikâyenin daha yalnızca başındayız.

Ek okuma

Singh, Simon, *The Big Bang: The most important scientific discovery of all time and why you need to know about it* (Londra: Harper Perennial, 2005)

2

Uzaydaki Moleküller

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *92 element nasıl oluştu*
- *nükleosentez tepkimeleri*
- *moleküler bulutlar ve yeni yıldızların doğuşu*

İngiliz saykodelik *rock* grubu *Hawkwind*'e göre uzay derindir. Ayrıca soğuk, karanlık ve çoğunlukla boştur da. Fakat uzayın derinliklerinde bile, yalnız gezen atomlar zaman zaman karşılaşıp birbirleriyle tepkimeye girerek birleşir ve molekülleri oluştururlar.

Kozmik ışınlar

Uzay, soğuk ve karanlık şöhretine karşın aslında morötesi (UV) ışık ve kozmik ışınlar olarak da bilinen atomaltı parçacık ve atom çekirdekleri akımlarıyla doludur. Bu morötesi ışık ve kozmik ışınlar yıldızlardan gelir. Bunlar hidrojen, helyum ve oksijen atomlarını elektronlarından ayırarak pozitif yüklü iyonlar oluştururlar. Bu iyonlar (*bak.* Kutu) -263°C kadar düşük sıcaklıklarda bile kimyasal tepkimelere girerler.

İyonlar

1. Bölümde, atomların eşit sayıda negatif yüklü elektron ve pozitif yüklü proton içerdiklerini, bu nedenle de normalde yükleri olmadığını öğrendik.

Fakat atomlar bazen fazladan elektron kazanabilir veya kaybedebilirler. Eğer bir veya birden fazla elektron kaybederlerse, protonları elektronlarından fazla olur ve böylece katyon olarak bilinen pozitif yüklü iyonlar haline gelirler.

Eğer bir veya birden fazla elektron kazanırlarsa, elektronları protonlarından fazla olur ve böylece anyon olarak bilinen negatif yüklü iyonlar haline gelirler.

Zıt yüklü iyonlar bir araya gelerek molekülleri oluşturabilir. Örneğin, sodyum katyonları (Na^+) ile klor anyonları (Cl^-) birleştiğinde sofra tuzu (NaCl) oluşur.

Bu tepkimeler, iyonlar birbiriyle çarpıştığında veya karbon, demir, azot ve silikon atomlarına çarptıklarında meydana gelir ve tepkime sonucunda karbonmonoksit, su ve silikatlar gibi basit moleküller (oksijen ve silikonun çeşitli birleşimleri, özellikle SiO_4) oluşur.

Silikatlar esasen minik kum tanecikleridir ve katı bir yüzey sağlarlar, bir sürü başka molekül bu yüzeyin üzerinde donarak buza benzer bir örtü oluşturur. Böylece, bu basit moleküller kümesinin tamamı birlikte tepkimeye girebilecek kadar yakınlaşmış olur. Enerji burada da UV ışığı ve kozmik ışınlar tarafından sağlanır. Bu tepkimeler metanol, amonyak ve formaldehit gibi daha karmaşık molekülleri oluşturur.

Eğer bu buz kaplı tanecikler daha sonra bir yıldızın yakından geçmesiyle ısınırsa, bu ısı biraz daha karmaşık moleküllerin birlikte tepkimeye girmesi için yeterli enerjiyi sağlar. Bu biraz daha karmaşık moleküller arasında glikolaldehit gibi basit şekerler; sirkenin ana bileşeni olan asetik asit ve Dünya üzerindeki bütün yaşamın ana yapıtaşı olan amino asitlerle bağlantılı amino asetonitrili sayabiliriz (*bak.* 4. Bölüm).

Yeni elementlerin oluşumu

Ama bekleyin bir dakika! Bütün bu oksijen, karbon, azot, demir ve silikon nereden geldi? 1. Bölümde, Büyük Patlama'nın çok sayıda hidrojen, oldukça çok helyum ve çok az miktarda da lityum ve berilyum ürettiğini öğrendik. Doğal yollarla oluşan diğer 88 element nereden çıktı da evren toplamda 92 element üretmiş oldu? Bu elementlerin her birinin kendine özgü proton ve elektron sayıları vardır ve bunlar bir araya gelip molekülleri oluşturarak bugün etrafımızda gördüğümüz ne kadar madde varsa hepsini meydana getirirler.

Basit yanıt şu: Bu diğer elementlerin çoğu, çok şiddetli koşulların hüküm sürdüğü yıldızların kızgın ocaklarında biçimlenmiştir. Yerçekimi sonucu geniş hidrojen ve helyum bulutları kümelenerek galaksileri oluşturdu, ardından da çökerek tek tek yıldızları ortaya çıkardı. Böylece ilk yıldızlar, Büyük Patlama'dan yaklaşık 300 milyon yıl sonra yanmış oldular. Bir bulut çöktüğünde çekirdeği gitgide daha çok sıkışır ve bu nedenle gitgide daha çok ısınır. Sonuç olarak, hidrojen ve helyum atomları (lityumu ihmal edebiliriz) birbirlerine çarpmaya başlarlar.

Yaklaşık 50.000°C'de atomlar birbirlerine öyle şiddetle çarparlar ki bu çarpışmalar atomların elektronlarını çekip

çıkararak bir elektron bulutuyla çevrili hidrojen ve helyum çekirdeklerinin bir karışımını oluşturur. Ama çökme ne olursa olsun devam eder: Hidrojen ve helyum çekirdekleri birbirlerine çarpmaya ve ısı artmaya devam eder.

10 milyon derecede, hidrojen çekirdeklerini oluşturan tekil protonlar birbirlerine kaynaşmaları için yeterli bir kuvvetle vururlar. Bu kuvvet aynı zamanda protonlardan birinin bozunarak nötrona dönüşmesine yol açar ve hidrojenin bir izotopu olan (*bak.* Kutu) döteryum atomunun çekirdeği oluşur. Böylece, helyum çekirdeklerinin oluşması için ısı hâlâ düşük olmasına rağmen yeni elementlerin oluştuğu nükleosentez denilen süreç başlar.

İzotoplar

Ünlü periyodik tabloda her elementin kendi yeri vardır. Ama gerçek dünyada ayrımlar bu kadar keskin değildir, çünkü birçok element pek çok farklı biçimde bulunur. Bu farklı biçimlere izotoplar denir.

Bir elementin bütün izotopları aynı sayıda elektrona ve protona fakat farklı sayıda nötrona sahiptir. Yani standart bir hidrojen atomunun sadece tek bir protondan oluşan bir çekirdeği vardır, ama iki hidrojen izotopu daha bulunur: bir proton ve bir nötronlu döteryum ile bir proton ve iki nötronlu trityum.

Farklı elementlerin, birden 10'a kadar (örneğin kalayın 10 tane) farklı sayılarda izotopları vardır. Bir elementin izotopları benzer şekilde davranma eğilimindedir fakat kimyasal tepkimelerde yer alma oranları değişebilir ve bu da bazı önemli sonuçlar doğurabilir.

Karbonun, karbon-12 ve karbon-13 olarak bilinen iki ana izotopu bulunur ve (sayılardan da anlaşılabileceği üzere)

bunların altı proton ve altı ya da yedi nötrondan oluşan çekirdekleri vardır. Dünya'daki yaşam karbon üzerine kuruludur ama yaşam, karbon-13'ten ziyade daha hafif olan karbon-12'yi kullanmayı tercih eder. Dolayısıyla kayaçlarda rastlanan karbon-12 bolluğu ister Dünya'nın ilk zamanlarında, isterse yabancı gezegenlerde oluşmuş olsun, kayaçlar oluştuğu zamanda yaşamın var olduğu anlamına gelebilir.

Artık döteryum çekirdekleri hidrojen ve helyum çekirdekleriyle birlikte etrafta uçuşmaktadır. Döteryum çekirdekleri protonlarla çarpışıp kaynaşmaya başlayarak iki proton ve bir nötrondan oluşan sıra dışı türde bir helyum çekirdeği oluşturur. Bu çekirdeklerin ikisi çarpıştığında, fazladan iki protonu dışarı fırlatıp kaynaşarak iki proton ve iki nötrondan meydana gelen standart bir helyum çekirdeği oluştururlar.

Helyum çekirdeği bu nükleosentez tepkimeleri silsilesinin son noktasıdır. Bu tepkimeler, gama ışınları biçiminde büyük miktarda bir enerji açığa çıkarır. Bu gama ışınları yıldızın içinden geçişleri boyunca, görünür ışık da dahil olmak üzere başka elektromanyetik radyasyon biçimleri alırlar (*bak.* 17. Bölüm) ve bu da çökmeye karşı koyan dışarı doğru bir kuvvet üretir. Yine de bu kuvvet, çekirdeğin çökmesini daha fazla engellemeye yetmez.

NÜKLEOSENTEZ VE YILDIZLARIN OLUŞUMU

Gelgelelim 25 milyon derecede, bu nükleosentez tepkimeleri çökmeyi durdurmaya yetecek kadar elektromanyetik radyasyon açığa çıkarır ve sabit, ışık yayan bir yıldız doğar. Yıldız, ömrünün geri kalanı boyunca, çekirdeğindeki hidrojen

deposunu yakıt olarak yakacak, onu helyuma dönüştürecek ve bu süreçte elektromanyetik radyasyon açığa çıkaracaktır. Fakat hidrojen çekirdeğin dışında yanmaz, çünkü asla yeteri kadar ısınmaz.

Bir yıldızın ömrünün uzunluğu büyüklüğüne bağlıdır. En büyük yıldızlar (Güneşimizden yaklaşık 60 kat büyük olanlar) en kısa süre yaşayanlardır. Çekirdeklerindeki hidrojeni yalnızca 60 milyon yıl içinde yakıp bitirir ve Güneşimizden 100.000 kat daha fazla parıldarlar. Bunun aksine, (Güneşimizin yalnızca onda biri boyutundaki) en küçük yıldızlar 800 milyar yıldan fazla yaşarlar ve Güneşimizin yalnız binde biri kadar parlaktırlar. Orta yaşlı Güneşimizin yaklaşık 10 milyar yıl parıldaması beklenmektedir.

Bir yıldızın ömrü sona erdiğinde, bütün hidrojen yakıtını kullanmıştır ve çekirdeği yeniden çökmeye başlar. Bu, sıcaklığın daha da artmasına neden olarak zincirleme nükleosentez tepkime dizilerini tetikler. 100 milyon derecede, helyum çekirdekleri karbon çekirdekleri oluşturmak üzere kaynaşmaya başlar. (Takılıp kalan okuyucular için: Periyodik tabloda helyum ve karbon arasındaki üç element—lityum, berilyum ve bor—yıldızlarda sentezlenmez. Bunun yerine, kozmik ışın parçalanması olarak bilinen bir süreçte, uzayın derinliklerindeki karbon ve azot gibi elementlerin içine hızla giren kozmik ışınlar tarafından üretilir.)

Çekirdek ısındığında, yıldızın dış katmanları da ısınır, bu da şimdiye kadar fazla soğuk olan katmanlardaki nükleosentez tepkimelerini tetikler. Artık çekirdekte ve dış katmanlarda meydana gelen tüm bu nükleosentez tepkimeleri muazzam miktarda elektromanyetik radyasyon üretir. Bu, geçici olarak çökmeyi durdurur ve dış katmanlarını şişirerek yıldızın bir kırmızı dev oluşturmak üzere 100 kat genişlemesine neden olur.

Fakat yıldız, nükleosentez yakıtlarının her birini kullanıp bitirdiği için çekirdek kısa zaman sonra yine büzüşmeye başlar. Bu da ısıyı artırır ve yeni bir dizi tepkimeyi tetikler. Acıması olmayan çekirdeğin sıcaklığı 100 milyon dereceden 6 milyar dereceye yükselerek periyodik tabloda oksijenden demire kadar olan 21 elementi oluşturur. Bu noktada, bütün nükleosentez süreci durma noktasına gelir, çünkü demir daha fazla tepkimede yer alamayacak kadar kararlıdır.

Onu destekleyecek hiçbir nükleosentez tepkimesi olmaksızın, çekirdek daha fazla çökemeyecek duruma gelene kadar çöker ve demir çekirdekleri ile elektronlarını, Güneşimizin altı katı büyüklüğünde bir çekirdek haline getirene dek sıkıştırır. Sonra çekirdek, yıldızı paramparça eden bir nötronlar ve atomaltı parçacıklar yağmuruyla patlar. Bu patlama onu süpernova adı verilen gürleyen bir ateş topuna dönüştürür ve birkaç ay boyunca bütün bir galaksiden daha çok parıldamasına neden olur.

Nötronlar ve atomaltı parçacıklar yıldızı yırtıp geçerken, artık dış katmanlarda nükleosentez yoluyla oluşan karbondan demire kadar bütün elementlerle çarpışırlar. Bu, geri kalan doğal yolla oluşan 66 elementi meydana getirir ve bu elementler de sonra uzayın derinliklerine fırlatılırlar.

Yalnızca en büyük yıldızlar—Güneş'ten en az 20 kat büyük olanlar—eksiksiz sentezleyerek 87 yeni elementin tamamını oluşturabilir. Güneş'ten on kat büyük yıldızlar çekirdeklerinde olsa olsa en fazla silikon sentezleyebilir ama yine de süpernovalar gibi patlarlar. Güneş'in üç katı büyüklüğündeki yıldızlar en fazla karbon sentezleyebilirken Güneş'in kendisi en fazla helyum sentezleyebilir. Ve çekirdeklerinin şiddetle patlamasından ziyade, yıldız rüzgârı olarak bilinen büyük proton ve elektron akımları yayarak usulca tükenirler.

12 milyar yıl önce ilk yıldızlar belirdiğinden beri sayısız yıldız nesli doğdu ve öldü—en büyükleri 20 Güneş'te bulunandan daha fazla madde fırlatan, 87 elementi evren boyunca saçan, büyük devamlı bir havai fişek gösterisinde patlayan milyarlarca yıldız. Buna rağmen, hidrojen ve helyum evrendeki belirlenebilir maddenin hâlâ büyük çoğunluğunu (yüzde 98,1) oluşturmaktadır. Helyumdan sonra en bol bulunanlar yüzde 1,4'ü oluşturan karbon, azot ve oksijendir. Geriye kalan 87 element ise yüzde 0,5 ile en sonda gelir.

Bu elementler uzay boyunca yayılarak, Büyük Patlama'dan arta kalan hidrojen ve helyum bulutlarıyla karışır ve yeni nesil yıldızların beşiği olan yoğun moleküler bulutları oluştururlar.

Sör Fred Hoyle, 1915-2001

Elementlerin yıldızlarda nasıl oluştuğuna dair ayrıntıların birçoğu 1940'lar ve 1950'lerde İngiliz astrofizikçi Fred Hoyle tarafından, nükleer fizik bilgisine dayanarak çözüldü.

Kariyerinin ilerleyen aşamalarında Hoyle, bilimsel yollardan biraz saparak basit yaşamın Dünya'da başlamadığını, buraya kuyruklu yıldızlar tarafından taşındığını savundu. Panspermi olarak bilinen bu görüş çoğu bilim insanı için fazla iddialıdır ve sağlam kanıtlarla desteklenmemektedir. Hoyle ayrıca Dünya'nın hâlâ Dünya dışından gelmekte olan bakteri ve virüslerin bombardımanına uğradığını, kanserleri ve küresel salgın hastalıkları bunların tetiklediğini iddia etmiştir.

Kendisini üne kavuşturan diğer haklı nedenler, "Büyük Patlama" terimini icat etmek—ki evrenin nasıl başladığına dair bu teorinin her zaman yanlış olduğunu düşünmüştür—ve birkaç bilim kurgu romanı yazmak olmuştur.

İlgi çekici yıldızlararası kimyanın büyük bir bölümü de yüzlerce veya binlerce ışık yılı boyunca uzanabilen bu yoğun moleküler bulutlarda gerçekleşir. Bunun nedeni, yoğun sıfatından da anlaşılacağı üzere, bu bulutların uzayın daha dağınık bölgelerine kıyasla daha yoğun bir madde içermesidir. "Yoğun", uzayın derinliklerinde görece bir terimdir çünkü bir moleküler buluttaki maddenin yoğunluğu, bilim insanlarının Dünya üzerinde üretebilecekleri en iyi vakuma karşılık gelmektedir. Yine de bu türden bulutlarda moleküller ve atomlar silikat tanecikleri üzerinde, uzayın daha dağınık bölgelerinde olduğundan daha düzenli çarpışır veya donarlar.

Bulutlar ayrıca, UV ışığı ve kozmik ışınların molekülleri yaratabildikleri kadar kolayca yok edebildikleri uzayın sert ortamına karşı bir derece koruma sağlarlar. Yoğun moleküler bulutların dışında yalnız karbonmonoksit ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) gibi dirençli moleküller uzun süre varlıklarını sürdürebilirler. PAH'lar büyük, kümes teli şekilli karbon bazlı moleküllerdir. Moleküler bulutlara girmeleri üzerine UV ışığı ve kozmik ışınlar enerjilerinin büyük kısmını çabucak kaybeder, bu da sonuçları yok etmeksizin kimyasal tepkimeleri ilerletmelerine olanak tanır.

Radyo ve kızılötesi teleskoplar kullanarak, özellikle de Avrupa Uzay Ajansı'nın Kızılötesi Uzay Gözlemevi ve NASA'nın Spitzer Uzay Teleskopu gibi yörüngeli teleskoplar kullanarak, bilim insanları bu moleküler bulutlarda sürekli yeni moleküller keşfediyorlar (*bak.* 17. Bölüm). Bu kitabın yazıldığı sırada, bu bölümün başında bahsedilenler de dahil olmak üzere 150'den fazla farklı molekül saptandı.

Etil format gibi en karmaşık moleküllerden bazıları, "Large Molecule Heimat" olarak bilinen bulut gibi daha yeni bir yıldız doğurmuş olan yoğun moleküler bulutlarda saptanmıştır. Bu,

böyle karmaşık moleküllerin buz kaplı taneciklerin ısınmasıyla ortaya çıktığı fikrini destekler.

Fakat metanol, su, amonyak ve karbonmonoksit gibi moleküllerle kaplı buz taneciklerinin ısıtılma simülasyonunu içeren laboratuvar deneyleri daha da karmaşık organik moleküller üretmiştir. Bunlar, aside maruz kaldığında anında amino asit oluşturan heksametilentetramin adlı bir molekülü de içerir.

Belki de amino asitler kadar karmaşık molekülleri tespit etmesi zor olduğundan, yoğun moleküler bulutlarda henüz amino asit kesin olarak saptanmamıştır. Fakat karbonlu kondrit olarak bilinen bir meteorit türünde biyolojik olarak önemli çok sayıda başka molekülle birlikte bulunmuşlardır. Karbonlu kondritlerin hiç yoğun ısıya maruz kalmadığı ve bu nedenle de muhtemelen, güneş sistemimizi doğuran yoğun moleküler bulutun bileşimini yansıttığı düşünülmektedir.

Biyolojik olarak önemli, benzer başka moleküller kuyruklu yıldızlarda da saptanmıştır. Bu toz ve buz yığınları güneş sistemimizin uzak bir köşesinde oluşmuştur ve onların da ebeveyn moleküler bulutun bileşimini koruduğu düşünülmektedir.

Yani yaşama yönelik bir eğilim daha en başında güneş sistemimize işlenmiş olabilir.

Ek okuma

Chown, Marcus, *The Magic Furnace: The search for the origin of atoms* (Londra: Vintage, 2000).

3

Güneş sisteminin tarifi

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *güneş sistemimiz nasıl oluştu*
- *Ay nasıl oluştu*
- *Sıcak Jüpiterlere neden böyle denir*

Lezzetli bir güneş sistemi yapmak için önce taze bir yoğun moleküler bulut alın. Bu bulut ağırlıklı olarak Büyük Patlama'dan arta kalan hidrojen ve helyumdan oluşmalı. Ama aynı zamanda civar süpernovalar tarafından püskürtülmüş, doğal yollarla oluşan çok daha az derişimde elementlerden bir tutam ve bu elementler arasındaki kimyasal tepkimelerle oluşmuş karbonmonoksit, su ve silikatlar gibi basit moleküller içermeli.

Sonra bu yoğun moleküler bulutu yakındaki bir süpernova tarafından üretilen şok dalgalarına maruz bırakın. Şok dalgaları, bulutun kütle çekim kuvvetinin etkisi altındaki bölgelerinin çökmesini tetikleyecektir. Sonra birkaç yüz bin yıl bekleyin. Bu sırada çöken bölgelerin merkezlerindeki sıcaklık, nükleosentezi tetiklemeye yetecek kadar yükselmiş olacak. Yeni yıldızların doğuşunun müjdecisi!

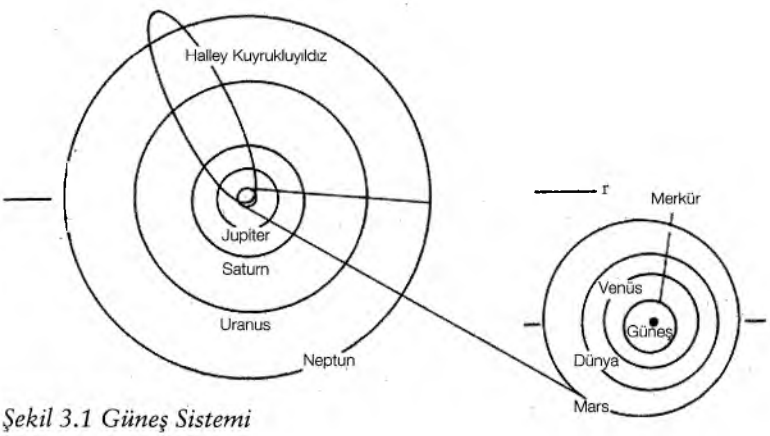
Çökme, aynı zamanda, yeni yıldızların giderek daha hızlı dönmelerine neden olacak. Oldukça büyük kütleli olduklarından çöken bölgelerin geri kalanını da kendileriyle birlikte dönmek

üzere sürükleyecekler. Bir zamanlar bir moleküler bulutun olduğu yerde artık yeni bir yıldızlar kümesi olacak. Bu yıldızların her birinin yörüngesinde milyarlarca kilometre boyunca uzanan devasa, düz genişlikler halinde dönen toz ve gaz bulunacak. Bunlar yıldız çevresi diskleri olarak bilinir.

Güneş sistemimiz

Sonra yaklaşık 100 milyon yıl boyunca pişmeye bırakın. Bu yıldız çevresi diskleri, bu süre zarfında doğal yollarla ağız sulandıran güneş sistemlerine dönüşecektir.

En azından, bilim insanlarımızın 4,5 milyar yıl önce güneş sistemimizin oluşumuna yol açtığını düşündüğü kozmik tarif bu. Güneş sistemimiz dört adet kayalık iç gezegen (Merkür, Venüs, Dünya ve Mars) ile gaz devleri olan dört adet dış gezegeni (Jüpiter, Satürn, Uranüs, Neptün) kapsamaktadır. Bunlar asteroit kuşağı ile ayrılır. Uzaklarda, Neptün'ün yörüngesinin ötesinde Plüton adında küçük buzlu bir gezegen daha bulunmakla birlikte gerçekten gezegen sayılıp sayılmaması gerektiği tartışma konusudur (*bak.* Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Güneş Sistemi

Plüton'un ötesinde Kuiper kuşağı olarak bilinen büyük, yörüngeli bir buzlu gövdeler grubu vardır. Çoğunlukla kuyruklu yıldızlardan oluşan Kuiper, Plüton'un boyutlarında küçük buzlu gezegenleri de içerir. Plüton'un gerçekten tam anlamıyla bir gezegen mi sayılması yoksa diğer küçük buzlu gezegenlerle birlikte cüce gezegen sınıfına mı sokulması gerektiğine dair tartışmanın nedeni de budur. Plüton'un resmi unvanı 2006'dan beri cüce gezegendir.

Bunun yanı sıra, daha da büyük bir kuyruklu yıldız grubu olan Oort bulutu vardır. Kuiper kuşağı düz bir halkada dönen muhtemelen milyonlarca kuyruklu yıldız içerirken, Oort bulutunun yörüngede küremsi bir yığın gibi hareket eden 100 milyar kuyruklu yıldız içerdiği düşünülür.

Güneş Sistemi'nde mesafeleri düşünürken kilometre, ölçü birimi olarak fazla küçük ama ışık yılı da fazla büyük kalmaktadır. Bu nedenle astronomlar mesafeleri astronomik birimlerle (AU) ölçmeyi tercih ederler. AU, Dünya ile Güneş arasındaki mesafeye eşittir, yani yaklaşık 150 milyon kilometredir. Bu ölçüyü kullanarak söyleyecek olursak, Merkür Güneş'ten 0,4 AU, Jüpiter 5,2 AU, Neptün ise 30,1 AU uzaklıktaki bir yörüngede dönmektedir. Kuiper kuşağı yaklaşık 30 AU ila 55 AU boyunca uzanırken Oort bulutu 2.000 AU ila 50.000 AU veya daha büyüktür.

BİR YILDIZ ÇEVRESİ DİSKİNİN GÜNEŞ SİSTEMİMİZE DÖNÜŞÜMÜ

Astronomlar aynı zamanda, yıldız çevresi diskini güneş sistemimize dönüştüren süreci de oldukça iyi anladıklarını düşünürler. Bu diskteki gaz, çoğunlukla hidrojen ve helyum ile biraz da oksijen, karbon ve azottan oluşurken toz çoğunlukla

demir ve magnezyum silikatları ile biraz da ilaveten karbon tanecikleri, PAH'lar ve metalik demirden oluşuyordu.

Toplamda, gaz yüzde 98,5 ve toz geri kalan yüzde 1,5'a karşılık gelmek üzere, toz ve gaz Güneş'in kütlesinin en fazla yüzde 10'una eşitti. Başlangıçta, diskin içindeki sarsıntı gaz ve tozun karışık halde durmasını sağlıyordu. Fakat genç Güneş iyice oluştuktan sonra bu sarsıntı dinmiş ve tıpkı içinde kum olan bir bardak suyu karıştırmayı bırakınca kumun hızla dibe çökeceği gibi toz yerine yerleşmeye başlamıştı. Bunun gerçekleşmesi yalnızca birkaç bin yıl sürdü. Bundan sonra yıldız çevresi diski, düz bir toz diski ile onu çevreleyen daha kalın bir gaz diskinden oluştu.

Toz ve gaz, yıldız çevresi diskinin içine çekilirken açığa çıkan ısı ile genç Güneş'in ürettiği ısı birleşince, diskin Güneş'e yakın bölgeleri uzaktakilere kıyasla daha çok ısınmak üzere diskin sıcaklığı yükselmeye başladı. Güneş sistemimizin en nihayet neye benzeyeceğini belirleyen de merkezde sıcaktan kenarlarda soğuğa doğru uzanan bu sıcaklık yelpazesi oldu.

Başka yerde farklı

Astronomlar, yıldız çevresi disklerini gördükleri için başka yıldızların etrafında var olduklarını; gezegenleri saptadıkları için de güneş sistemlerinin başka yıldızlar etrafında var olduklarını biliyorlar. Fakat başka yıldızların etrafındaki yıldız çevresi diskleri, bizim güneş sistemimizi oluşturmuş olan diske muhtemelen çok benzerken yabancı güneş sistemleri çok farklıdır.

Astronomların bugüne kadar başka yıldızların etrafında keşfettiği 400 gezegenin büyük çoğunluğu Jüpiter kadardır veya Jüpiter'den daha büyük olmakla birlikte yörüngeleri

yıldızlarına çok daha yakındır. Bu gezegenlerden sıcak Jüpiterler olarak bilinen bazılarının yörüngeleri yıldızlarına aşırı yakındır ve yıldızlarının etrafını on günden kısa bir süre içinde vızıldayarak katederler.

Günümüz tekniklerini kullanarak saptanması en kolay gezegenlerin bu türden sıcak Jüpiterler olduğu doğrudur, bu da neden sürekli bulunup durduklarını açıklar. Fakat astronomlar bu büyük kütleli gezegenlerin yörüngelerinin nasıl olup da yıldızlarına bu kadar yakın olduğunu hâlâ çözebilmiş değildir. En çok rağbet gören açıklama, kar çizgisinin ötesinde oluşup sonradan içeri doğru geçtikleri yönündedir.

BUZ ÖRTÜLERİ

2. Bölümde, uzayın derinliklerinde su ve karbondioksit gibi basit moleküllerin küçük silikat tanecikleri üzerinde hızla donarak bir buz örtüsü oluşturduğunu gördük. Bu örtü, basit molekülleri birlikte tepkimeye girmelerine yetecek kadar birbirine yaklaştırarak metanol, amonyak ve formaldehit gibi daha karmaşık moleküllerin oluşmasına neden olur.

Genç Güneş'in etrafındaki yıldız çevresi diskinde bulunan toz tanecikleri bu türden buz örtülerine sahip olabilirdi, ancak o örtülerin kesin kaderi, bir taneciğin diskin üstündeki yerine bağlıydı. Güneş'e Jüpiter'in bugünkü yörüngesinden (5,2 AU) yakın olduğundan, yıldız çevresi diskinin sıcaklığı donma sıcaklığının üzerinde olmuştur ve bu sıcaklık uzayda aşağı yukarı -50°C'dir. Böylece, yıldız çevresi diskinin iç kısmında bulunan taneciklerin üzerindeki buz örtüleri kısa sürede buharlaşarak gitmiş ve geride çıplak silikat tanecikleri bırakmışlardır. Kar çizgisi olarak bilinen, yaklaşık 5,2 AU'nun ötesinde, yıldız çevresi

diskinin sıcaklığı asla donma noktasının üzerine çıkmamış, dolayısıyla silikat tanecikleri buz örtülerini muhafaza etmiştir.

JÜPİTER'İN DOĞUŞU VE PROTO-GEZEGENLER

Yıldız çevresi diski genç Güneş'in etrafındaki yörüngede döndükçe, silikat tanecikleri birbirine yapışmaya başladı ve tepeden aşağı yuvarlanan bir kartopu gibi daha fazla tanecik süpürdükçe gitgide büyüyen küçük öbekler oluşturdu. Bu süreç yaklaşık bir milyon yıl sonra, kar çizgisi içerisinde Ay boyutundan Mars boyutuna kadar değişen yaklaşık 30 tane proto-gezegen meydana getirdi.

Gelgelelim, kar çizgisinin ötesinde proto-gezegenler çok daha hızlı oluşuyordu. Bunun basit bir nedeni vardı: Buz örtülü silikat tanecikleri çıplak silikat taneciklerinden biraz daha iriydi. Ayrıca, kar çizgisi içerisindeki silikat taneciklerinden buharlaşmış olan su ve diğer moleküller kar çizgisine ulaşır ulaşmaz, buz örtülerine daha da fazla kütle ekleyerek taneciklerin üzerinde gerisin geri yoğuşuyorlardı.

Sonuç olarak, bir milyon yıl sonra kar çizgisinde kütlesi on Dünya'dan fazla olan bir proto-gezegen oluşmuştu. Bu proto-gezegen artık etraftaki bütün gaz ve diğer maddeleri çekim kuvvetinin etkisiyle kendine doğru çekmeye başlayacak kadar iriydi. Bu süreç, bir sonraki bir milyon yıl içerisinde, proto-gezegeni Dünya'nın kütlesinin 30 katma çıkardı ve onu Dünya'nın kütlesinin neredeyse 288 katına eşit olan devasa bir gaz katmanıyla çevreledi. Jüpiter doğmuştu.

Benzer bir süreç diğer üç gaz devini de meydana getirdi ama giderek daha az etkili hale geliyordu. Bunun nedeni Jüpiter'in yıldız çevresi diskindeki gazın büyük kısmını zaten tutmuş, geri kalan gazın ise artık güçlü bir güneş rüzgârıyla uzaklara

sürükleniyor olmasıydı. Dolayısıyla Satürn, Uranüs ve Neptün'ün üzerlerine saracakları çok az gaz kalmıştı. Jüpiter Dünya'dan 318 kat daha iriyken, Satürn sadece 94 kat daha iridir. Uranüs ve Neptün ise Dünya'dan 20 kattan daha az iridir.

Kayalık proto-gezegenler hiçbir zaman, kar çizgisi içerisindeki daha sıcak bölgelerde devasa gazlı atmosferler edinecek kadar büyümediler. Onları ya oluşturan ya da yok eden fakat sürekli yinelenen çarpışmalara maruz kaldıklarından, yaşamları da daha şiddetliydi. En sonunda, yaklaşık yüz milyon yıl sonra bu yıkım yarışı, dört kayalık gezegenin ve asteroit kuşağı olarak bilinen bir döküntü yığınının oluşumuyla sonuçlandı.

Dünya'nın oluşumu

Bu kayalık gezegenlerin en büyüğü, tıpkı diğer kayalık gezegenler gibi ağırlıklı olarak bir silikatlar ve demir karışımından oluşan Dünya'ydı. Ardı arkası gelmeyen çarpışmalar Dünya'yı oluşturmakla kalmadı, yüzeyini de kocaman bir eriyik lav denizine çevirdi. Yüzeydeki yoğun ısı gezegenin iç kısmında ısının artmasına, bu da silikatlar ve demirin erimesine neden oldu. Demir silikatlardan daha yoğun olduğu için eriyik demir silikatların arasından aşağı akarak Dünya'nın çekirdeğine kadar indi. Dünya'nın bugünkü eriyik demirden çekirdeği işte böyle meydana gelmiştir (*bak.* 11. Bölüm).

Bu sürecin sonlarına doğru, Mars'tan biraz daha büyük bir proto-gezegenin Dünya'yı sıyırması sonucu Dünya'da büyük bir çarpışma gerçekleşti. Bu çarpışma proto-gezegeni yok etti ve Dünya'nın büyük bir parçasını koparark uzaya gönderdi. Bu parça bulunduğu yerde bir yörünge halkası oluşturdu. 10 milyon yıllık bir dönem boyunca bu kayalık döküntü yığını bir araya gelerek Ay'ı oluşturdu.

O dev patlamadan sonra, Dünya için durum biraz olsun sakinleşti. Bu sükûnet, sayısız kuyruklu yıldız ve asteroit Dünya'ya çarpmaya başlayana kadar sürdü. Bu ağır bombardıman, sonraki 500 milyon yıl boyunca devam etti. Buz örtülü tanecik öbeklerinden oluşan bu kuyruklu yıldızlar kar çizgisinin dışında oluşmuşlardı ve başlangıçta Güneş etrafında dairesel yörüngelerde hareket ediyorlardı.

Fakat gaz devlerinin büyümesi yörüngelerinin düzenini bozdu ve kuyruklu yıldızların her yere savrulmasına neden oldu. Kimi Güneş Sistemi'nin tamamen dışına savrulurken kimi de Oort bulutunu oluşturdu. Diğerleri ise hızla Güneş Sistemi'nin içine doğru ilerleyerek dört kayalık gezegenle çarpışmayı göze aldılar.

Gelgelelim, bu ağır bombardımanın Dünya için iyi bir tarafı vardı: Bu kuyruklu yıldızlar hem okyanusları dolduran suyu hem de en nihayetinde yaşamı ortaya çıkaran karbon bazlı maddelerin çoğunu beraberlerinde getirmişlerdi.

Filozofun yağmur damlaları

Güneş ve Güneş Sistemi'nin aynı maddenin yayılmasından oluştuğu fikri kesinlikle yeni bir fikir değildir. İlk olarak Alman filozof Immanuel Kant tarafından 1755 yılında öne sürülmüş ve on yıl kadar sonra Fransız matematikçi Pierre Simon de Laplace tarafından geliştirilmiştir. Tüm gezegenlerin tek bir düzlemde, neredeyse dairesel yörüngeler üzerinde ve aynı yönde dönmesi bunun kanıtıydı, çünkü hepsinin tek bir döner madde diskinden evrildiğini gösteriyordu.

Bunun gerçekleşmesini sağlayan mekanizmayı belirlemek, çok sayıda bilim insanını ve birçok çıkmazı içeren biraz

daha dolambaçlı bir şeydi. Örneğin, 1905'te ABD'li iki bilim insanı, Forest Ray Moulton ve Thomas Chamberlain, gezegenlerin, bir başka yıldızın yakından geçişiyle Güneş'ten alınmış gazlı filamanlardan oluştuğunu öne sürdüler.

Ancak 1960'ların sonunda, Victor Safronov adlı bir Rus astronom Güneş Sistemi'nin oluşumuna dair modern açıklamayı derleyip toparladı. Hem de bunu bir bilgisayara başvurmadan, yağmur damlalarının Dünya'nın atmosferinde topaklanmasını çalışmak üzere geliştirilmiş bir teoriden yararlanarak yaptı.

Ek okuma

Boss, Alan, *Looking for Earths: The race to find new solar systems* (New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998).

4

Yaşam başlıyor

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *Dünya'daki yaşamın ilk işaretleri*
- *yaşamın tanımı*
- *amino asitlerin önemi*
- *RNA dünyası*

Yaklaşık 3,8 milyar yıl önce Dünya pek de hoş bir yer sayılmazdı.

Ağır bombardıman dönemi henüz yeni sona ermiş ve arkasında, 100°C'den yüksek sıcaklıklarda kaynayan bir kara ve deniz bırakmıştı. Her yerde, çok büyük miktarda buhar ve karbondioksit ile birlikte kükürt dioksit, hidrojen ve azot püskürten volkanlar vardı. Bu durum, çoğunlukla karbondioksit ve daha az miktarda metan, karbonmonoksit ve azottan oluşan ağır, boğucu bir atmosfer meydana getirmişti. Ardı arkası kesilmeyen asit yağmurları bu ağır gökyüzünü delip bardaktan boşanırcasına yağarak karadaki kayaçlara izini bırakıyordu. Bütün bu süre zarfında, kuyruklu yıldızlar ve meteoritler hâlâ ara sıra Dünya'ya çarpıyordu.

Fakat yine de, bu Dantevari görüntünün ortasında yaşam ilk defa sahneye çıkmış olabilir. En azından, bilinen en eski

kayaçlardan bazıları olan ve Grönland'da bulunan bu yaştaki kayaçlar, oluştukları zaman yaşamın var olduğuna dair kanıt içeriyorlar. Karbon-12'nin karbon-13'e (*bak.* 2. Bölüm) göre biraz daha bol bulunmasından oluşan bu kanıt, hararetli tartışmalara konu olmuştur, çünkü kayaçların uzun süre ısıya maruz kalarak büyük ölçüde değişime uğramış olması, kimyasal bileşimleri hakkında herhangi bir yorum yapmayı zorlaştırmaktadır.

Fakat yaşam tam o noktada var olmamışsa bile ortaya çıkmak için muhtemelen çok da uzun süre beklemedi. Avustralya'da neredeyse 3,5 milyar yaşındaki kayaçlar, küçücük bakterilerin fosilleşmiş kalıntılarına çok benzeyen mikroskobik yapılar içermekteyken bu türden bakterilerin stromatolitler olarak bilinen bazı fosilleşmiş kolonilerinin izi de yaklaşık aynı zamana kadar sürülebilmiştir.

Yani, başlamaya çalışan her yaşamı bitirebilecek nitelikteki şiddetli meteorit ve kuyruklu yıldız bombardımanından sonraki sadece 500 milyon yıl içinde Dünya'nın denizleri mikroplarla dolmuştu. Bu, cansız bir Dünya'dan yaşamla kaynayan bir Dünya'ya ulaşmak için şaşırtıcı derecede kısa bir süredir ve doğru koşullar sağlandığında yaşamın çok da zorlanmadan, kim bilir belki de 20 milyon yıl kadar kısa süre içinde bile ortaya çıkabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, tam olarak nasıl ortaya çıktığı hâlâ oldukça tartışmalıdır.

ESOA

Sorun şu ki, tarihin derinliklerinde kaybolmuş uzak bir geçmişe dönüp bakmanın hiçbir yolu yok. İlk bakteriler fosilleşmiş kalıntılar bırakmış olabilirler, fakat ESOA (en son ortak ata) olarak adlandırılan tam anlamıyla ilk yaşam formu bu türden

kalıntılar bırakmamıştır. Dolayısıyla, gerçekte neler olduğunu öğrenmek için parçaları birleştiren bilim insanları iki araştırma hattı izlerler.

İlk yaklaşım, yaşama yol açmış olan o "doğru koşullar"ın ne olduğunu keşfetmeyi içerir. Bilim insanları, Dünya'nın ilk dönemlerinde var olmuş olabilecek kimyasal bileşiklerin türünü ve aralarında meydana gelmiş olabilecek tepkimeleri çözerek, bu kimyasalların yaşamı oluşturmak üzere nasıl bir araya geldiklerini çözmeye çalışırlar. İkinci yaklaşım ise bugünkü yaşamın temel bileşenlerine bakıp bunların nasıl gelişmiş olabileceklerini belirlemek üzere geriye dönük çalışmayı içerir.

İlki, cansızlıktan canlılığa doğru gittiği için aşağıdan yukarıya, ikincisi ise canlılıktan cansızlığa doğru gittiği için yukarıdan aşağıya bir yaklaşım tarzı gibi görülebilir. Bu iki yaklaşımın, cansız kimyasallardan bakteriyle kaynayan denizlere uzanan yola dair akla yatkın bir açıklama üretmek üzere en nihayet ortada buluşacağı umut edilir. Bu türden bir yolun dış hatları belirginleşmeye başlamıştır bile.

Deney şişesinde Dünya'nın ilk zamanları

Yaşamın oluşumundaki olası aşamalardan birini yinelemek aslında oldukça kolaydır, en azından akademisyen bir kimyacı için. Tek yapmanız gereken, bir deney şişesini metan, amonyak, hidrojen ve (ilk dönem atmosferi taklit etmek için) su buharından oluşan bir karışımla doldurmak ve sonra da bu karışıma (volkanları ve şimşekleri taklit etmek için) tekrar tekrar ısı ve elektrik vermektir.

1953'te ABD'li genç bir kimyacı olan Stanley Miller bunu yaptıktan birkaç gün sonra suyun renginin kahverengiye

döndüğünü fark etti. Suyu analiz ettiğinde proteinlerde bulunan birkaç amino asit de dahil olmak üzere karmaşık organik moleküllerden oluşan geniş bir yelpaze saptadı. Bu deneyin depolanmış örnekleri 2008'de daha gelişmiş cihazlarla yeniden analiz edildiğinde daha da fazla amino asit türüne rastlandı.

Bugün bilim insanları Dünya'nın ilk zamanlarındaki atmosferinin muhtemelen metan ve amonyaktan çok karbondioksit içerdiğini düşünmektedir ve aynı deney bu gaz karışımıyla yapıldığında çok daha az sayıda organik molekül oluşmaktadır. Yine de Miller'ın deneyi, biyolojik olarak önemli moleküllerin basit bir gaz karışımından anında üretilebildiğini gösteren ilk deney olduğu için tarihteki yerini almıştır.

Yaşamın tanımı

Fakat bu yol boyunca gezinmeye başlamadan önce, yaşamla ne kastettiğimizi tanımlamak belki de yararlı olacaktır. Yaşamı, yaşam dışından ayırmak oldukça basit gibi görünse de —köpekler canlıdır, taşlar cansızdır—biçimsel bir tanım yapmak aslında oldukça zordur.

Yaşamın en bariz ölçütü belki de üreme yetisidir. Eğer bir şey canlıysa, kendisinin kopyalarını—bu kopyalar özdeş olabilir veya olmayabilir—üretebiliyor olmalıdır. Fakat bu ölçüt tek başına yeterli değildir çünkü kristaller de tuz çözeltilerine konulduklarında büyüyerek kendilerinin özdeş kopyalarını üretebilirler. Ama kimse çıkıp da kristallerin canlı olduğunu savunmaz.

Üreme yetisine, evrilme yetisini eklememiz gerekmektedir. Bir şeyin canlı olması için, kendisinden ürettiği kopyaların kuşaklar boyunca çevresel etmenlere bağlı olarak peyderpey değişmesi gerekir. 5. Bölümde evrim daha ayrıntılı açıklanacaktır. Fakat şu an için kısaca değinmek gerekirse evrim, Dünya'nın ilk denizlerinde yüzen basit bakterileri, yaşam formlarının bugünkü (ve bir noktada var olmuş olan) kalabalık çeşitliliğine dönüştürmüş olan şeydir.

YAŞAMIN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Artık basit bir yaşam tanımımız olduğuna göre, ilk yaşam formlarının da muhtemelen sahip olduğu temel özellikleri ayırt etmeye başlayabiliriz. Bu temel özelliklerin en temeli, Dünya üzerindeki bütün yaşamın organik moleküller olarak adlandırılan karbon ve hidrojen içeren moleküllerden meydana geldiğidir. Bilim insanları Dünya'nın ilk zamanlarına dair bir şeyden eminse, o da bol miktarda organik molekül stokunun var olduğudur.

Bu stok çok sayıda farklı kaynaktan gelmişti. Başlangıç olarak, genç Dünyamıza vuran meteoritler ve kuyruklu yıldızlar kendileriyle birlikte çok miktarda farklı organik molekül getirmişlerdi. Organik moleküller aynı zamanda, şimşek ve günışığından güç alan tepkimelerin sonucu olarak, ağır atmosferde doğal yollarla ortaya çıkmışlardı. Deniz altında ise hidrotermal bacalar, organik moleküllerin ortaya çıktığı yerler olmuştu. Hidrotermal bacalar Dünya'nın yüzeyinde bulunan, büyük miktarlarda karbondioksit ve başka çeşitli kimyasal bileşikler yayan çatlaklardır. Bu bileşikler tepkimeye girerek organik moleküller oluşturabilirler.

Yani ilk dönem Dünya'da, okyanuslardan su birikintilerine kadar her su kütlesi organik moleküllerle dolup taşıyordu.

Güneş veya volkanlarla ısınan bu moleküller birlikte tepkimeye girdiler. Bu pek çok durumda sadece müthiş bir karışıklıkla sonuçlanırdı, fakat kararlı bir tepkimeler sistemi ara sıra kendini göstermeye başlamıştı. Bu sistemde bir dizi tepkimenin sonucu diğer diziyi besliyordu. Böylece, kaostan ilk defa düzen çıkmış olmalı.

Amino asitler nasıl birleşti?

Amino asitler, Dünya'nın ilk zamanlarında da mevcut olan bir organik molekül ailesidir ve merkezi bir karbon atomunu çevreleyen karbon, hidrojen, oksijen ve azotun çeşitli birleşimlerinden oluşurlar. Bilim insanlarının bunu bilmesinin nedeni hem meteoritlerde hem de kuyruklu yıldızlarda geniş bir amino asit yelpazesi saptamış olmalarıdır. Dahası, genç Dünya'nın atmosferinde ve hidrotermal bacaların etrafında meydana gelmiş olabilecek türden tepkimeleri taklit eden deneyler de ayrıca amino asit üretir (*bak.* Kutu).

Bu çok ilginçtir, çünkü amino asitler proteinlerin yapıtaşlarıdır ve proteinler de bugün Dünya üzerindeki bütün yaşamın köşetaşıdır. Yaşam, proteinlerle kurulur ve proteinler sayesinde devam eder. Dünya üzerindeki tüm yaşam formları tarafından kullanılan binlerce proteinin tamamı, sadece 20 farklı amino asitten meydana gelen uzun zincirlerden oluşmaktadır.

Öyleyse bütün mesele, amino asitleri doğal yollarla bir araya getirerek bu uzun zincirleri oluşturan mekanizmayı bulmaktır. Bugün bu mekanizma, hücrenin genlerinde kodlanmış olan komutlara dayanarak hücrelerin içinde, çok sayıda farklı bileşen içeren karmaşık bir süreç içinde çalışmaktadır. Proteinler, tüm bu hücresel aygıt olmaksızın nasıl ortaya çıkabilmişti? Dahası, amino asitler öyle rastlantısal olarak

bir araya gelemezler; belirli özellikleri olan belirli bir protein üretmek için belirli bir düzen içinde bir araya gelmeleri gerekir. Öyleyse herhangi bir biyolojik yönlendirme olmaksızın bu nasıl gerçekleşmişti?

RNA VE KAYAÇLAR

Bir teoriye göre zaten en başta proteinlerle gerçekleşmiş değildi. Onun yerine, genleri oluşturan DNA'lara çok benzeyen RNA (ribonükleik asit) adında bir molekülle gerçekleşmişti. DNA gibi RNA da nükleotidler (*bak.* 6. Bölüm) olarak bilinen organik moleküllerden oluşur. Muhtemelen nükleotidler de (ya da en azından onları meydan getiren parçaları) Dünya'nın ilk zamanlarında etrafa saçılmış haldeydi.

RNA'nın proteinlere kıyasla avantajı, RNA'nın (6. Bölümde açıklanacak bir süreç aracılığıyla) kendini kopyalamak için gerekli komutlara teoride sahip olmasıdır. Bu, aynı molekülün yeniden ve yeniden üretilebilmesini olanaklı kılar. Dahası bilim insanları, belli RNA moleküllerinin, belli kimyasal tepkimeleri hızlandırmak da dahil olmak üzere proteinlerle aynı işlevlerin bazılarını yerine getirebildiklerini keşfetmiştir.

Dolayısıyla belki de önce RNA vardı. Belki RNA, daha sonra işi devralacak olan proteinleri sentezlemeden önce, yaşamın ilk biçimleri için bir zemin oluşturmuş ve "RNA Dünyası" olarak bilinen şeyi yaratmıştı. Ama bu açıklama bile, ilk kararlı tepkimeler ile RNA Dünyası'nın şafağı arasında hâlâ büyük bir uçurum bırakmaktadır; aradaki bağlantıyı ne kurmuş olabilir?

Bunun yanıtı "kayaçlar" kadar basit olabilir. Kararlı tepkimelerin—belki birkaç da nükleotid dahil olmak üzere—en son ürünlerinin, bir deniz veya gölün kıyısındaki kayaçlara düzenli olarak vurmuş olduğu düşünülmektedir. Burada,

kayaçların yüzeyi kalıp işlevi görüp molekülleri sıraya sokarak belirli şekillerde bağlantı kurmalarına yardım etmiş ve moleküller bir araya gelerek daha karmaşık moleküller meydana getirmiş olmalıdır. Kayaçların yüzeyi pek hızlı değişmediğinden ve aynı organik moleküller tekrar tekrar üzerlerine vurduğundan kayaçlar seri üretim hattı gibi davranarak devamlı aynı karmaşık molekülleri meydana getirmiştir.

Erken dönem Dünya'da bu sürecin onlarca veya yüzlerce milyon yıl boyunca tekrar etmesi sonucunda bir dizi RNA molekülünün (ya da başlangıçta biraz daha basit versiyonlarının) ortaya çıkmış olması çok da şaşırtıcı olmasa gerek. Artık geriye kalan tek şey bu moleküllerin bazılarının sudaki iri kabarcıkların içine girmesiydi ve vay canına, ESOA sahneye çıkmıştı işte.

Elbette bunların hepsi spekülasyondan ibarettir. Bilim insanları, teorilerini destekleyecek belli miktarda laboratuvar kanıtı bulmuşlardır. Bu kanıtlara, biyolojik olarak önemli belli moleküller ve başka RNA moleküllerini kopyalayabilen RNA molekülleri meydana getirmenin kimyasal rotaları dahildir. Buna rağmen, yaşam dışından yaşama geçişe dair akla yatkın bir rota bulmaktan hâlâ oldukça uzaktayız.

Gelgelelim, yaşam bir kere başladıktan sonra olanlara dair bolca kanıt vardır.

Hepimiz Marslı mıyız?

Bir başka teoriye göre ise yaşam zaten Dünya'da başlamamış, Mars'ta başlamış ve daha sonra Dünya'ya sıçramıştır. Mars'ın, tarihinin başlarında şimdi olduğundan çok daha ılık ve çok daha sulu olduğuna, ayrıca

karbondioksitten oluşan ağır bir atmosferi bulunduğuna dair bir hayli kanıt vardır. Gerçekten de, Mars'ın yaşam için gerekli koşulları Dünya'dan milyonlarca yıl önce geliştirmiş olması mümkündür.

Peki, eğer yaşam Mars'ta başlamışsa Dünya'ya nasıl gelmiştir? Mikrobiyal yaşam, bir meteorit veya kuyruklu yıldız darbesinden sonra Mars'ın yüzeyinden fırlamış olabilir. Fırlatma sırasında fazla ısınmamış olan bir kayaya yapışmış halde yol alan bu mikropların Dünya'ya ulaşması 8 milyon yıllarını almış olmalıdır. Bu süre zarfında ise uyku durumunda hayatta kalmış olabilirler. Tüm bunlar kulağa biraz zorlama gelebilir, ama Dünya'da yaklaşık 40 tane Mars kayacı bulunmuştur. Ve o kayaçlardan biri, ALH84001 olarak bilinen kayaç, bazı bilim insanlarının yaşam işaretleri olarak yorumladığı bileşik ve yapılar içermektedir. Fakat elbette bu yorum da son derece tartışmalıdır.

Ek okuma

Davies, Paul, *The Origin of Life* (Londra: Penguin, 2006).

5

Evrim ve yok oluş

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *üreme ve mutasyon*
- *Charles Darwin ve evrim teorisi*
- *çevrenin evrime etkisi*
- *fotosentez ve seksin rolleri*

Erken dönem Dünya'nın denizlerinde yaşayan ve üreyen ilk mikropların görülmesiyle birlikte doğal seçilim yoluyla evrim başlamış oldu.

Biyolojik olmayan dönemde bile, en sonunda yaşamın gelişimine yol açan bir tür kimyasal evrimin iş başında olduğu ileri sürülebilir. Ne var ki, ancak yaşam ortaya çıktığında evrimin gerçekten canla başla uğraşabileceği bir şey bulmuştu.

4. Bölümde gördüğümüz üzere yaşamın tanımlayıcı özelliklerinden biri üreme yetisidir. Fakat yaşayan bir organizmanın, hatta bir mikrobun bütün bileşenlerini yeniden üretmek, kristal gibi biyolojik olmayan basit bir yapıyı yeniden üretmekten çok daha karmaşıktır. Bunun nedeni, kristalin yeniden üretiminin yalnızca fiziksel bir modeli tekrar etmekten ibaret olmasıdır. Eklenen bu karmaşıklıkla birlikte hata olasılığı artar ve bu türden hatalar (ya da mutasyonlar) evrime yön verir.

Yararlı mutasyonlar

Mutasyonlar genellikle o kadar küçüktür ki mikrobiyal döllerde fark edilebilir bir etki ya çok az bırakır ya da hiç bırakmazlar. Fakat mutasyonlar sıklıkla mikrobiyal döllerin ebeveynlerinden biraz farklı olmasıyla sonuçlanır. Bu fark, döl için bazen zararlı olur ve çabuk ölüme yol açar ama çoğunlukla yararlıdır ve civardaki diğer mikroplara kıyasla bir avantaj sağlar.

Sonuç olarak bu yeni, yükseltilmiş mikrop hemcinsleriyle kaynaklar için girdiği rekabette üstünlük sağlayabilecek ve bu da daha hızlı büyümesini ve daha çok üremesini olanaklı kılacaktır. Böylece dölü, mikrobiyal popülasyona hâkim olacaktır, ta ki en sonunda her mikrobun yükseltilmiş bir versiyonu ortaya çıkana kadar. Bu süreç, her yeni kuşakla yeniden tekrar ederek mikropların değişmesine ve giderek yararlı mutasyonlar biriktirerek evrilmelerine neden olur.

İlk olarak İngiliz doğa bilimci Charles Darwin'in 150 yıldan uzun zaman önce (*bak.* Kutu) öne sürdüğü doğal seçilim yoluyla evrim temelde böyle işler. Üreme, bütün bu sürecin en önemli öğesidir. Üreme hem organizmaların değiştiği mekanizmayı hem de yararlı değişimlerin popülasyon içinde yayıldığı mekanizmayı sağlar, çünkü bu türden değişimler geçirmiş organizmalar geçirmemiş olanlara kıyasla daha çok üremektedir.

Charles Darwin, 1809-1882

Hem doğumunun 200. yılı hem de doğal seçilim yoluyla evrim teorisini ilk ortaya koyduğu çığır açan kitabı *On the Origin of Species*'in (Türlerin Kökeni) basımının 150. yılı olması nedeniyle 2009 Charles Darwin için çok önemli bir yıldı.

Evrim teorisi, Darwin'in köpeklerden solucanlara kadar birbirinden çok farklı organizmaları titizlikle incelediği yılların bir ürünüydü. Belki de en önemlisi 1831 ve 1836 yılları arasında HMS Beagle adlı gemiyle Güney Amerika'ya yaptığı seyahatti. Bu seyahatin bir parçası olarak Galapagos Adalarına geldiğinde her bir adanın nasıl da kendine özgü hayvan ve bitki türlerine sahip olduğunu fark etmişti.

Darwin, teorisini aslında 1838'de oluşturmuş ama olası etkilerini göz önüne alarak ilan etmeden önce neredeyse 20 yıl beklemişti. Ancak Alfred Russell Wallace adında genç bir doğa bilimci ona benzer düşünceleri olduğunu yazdığında cesaret bularak teorisini ilan etmişti.

Teorisi, tam da beklediği üzere deprem etkisi yaratmıştı. Dünya üzerindeki yaşamın tüm çeşitliliği ilk defa bir yaratıcının eli fikri olmaksızın, akla yatkın bir mekanizmayla açıklanıyordu.

Çevrenin rolü

Bir diğer baş aktör ise besin kaynakları, rakipler, yırtıcılar ve fiziksel habitat biçimindeki çevredir, çünkü hangi değişimlerin yararlı olup olmadığını belirler. Bireyin kendi belirli çevresinde faaliyet gösterme—yiyecek bulmasına, hemcinsleriyle rekabet etmesine, yırtıcılardan kaçınmasına ve habitatında güvenle gezinmesine olanak tanıyan—yetisini iyileştiren değişimler, yararlı değişimlerdir. Bu değişimler üreme olasılığını artırır.

Bu, belli bir çevrede yararlı olan değişimlerin başka bir çevrede zararlı olabilecekleri anlamına gelir. Örneğin, kaynayan bir hidrotermal bacanın yakınında yaşayan bir mikrop yüksek sıcaklıklara dayanabilme yetisinden epey yararlanırken, donmuş bir gölde yaşayan mikrop bunun pek bir yararını görmeyecektir.

Bu yüzden de yaşayan ve üreyen ilk mikroplar erken dönem Dünya'nın denizlerinde ortaya çıkar çıkmaz evrim onları değiştirmeye başlamıştır. İlk büyük evrimsel sıçrayış oldukça hızlı gelişmiş ve bazı mikropların fotosentez yapma yetileri evrildiğinde gerçekleşmiştir. Diğer bir deyişle, güneş ışığından aldıkları enerjiyle beslenen mikroplar, atmosferdeki fazla karbondioksiti alıp içinde yüzdükleri suyla tepkimeye sokabilmiş ve başta basit şeker formları olmak üzere organik moleküller üretebilmişlerdir.

SİYANOBAKTERİLER VE FOTOSENTEZ

Fotosentez yapabildiği bilinen ilk organizmalara siyanobakteriler adı verilmektedir (bugün hâlâ aramızdalar). Bunlar yaşamın ilk göstergelerinden bazılarını sunan stromatolitleri oluşturmuştur (*bak.* 4. Bölüm). Bu, fotosentez yapan siyanobakterilerin ilk olarak 3,5 milyar yıl önce ortaya çıkmış olabileceği anlamına gelir.

Fotosentez yapabilme yetisi inanılmaz derecede önemli bir ilerlemeyi temsil eder. Böylece kendi besinlerini üreten mikropların dış kaynaklara bağımlılığı, birçok başka kısıtlamayla birlikte ortadan kalkıyordu. Yeni yeni fotosentez yapmaya başlayan mikroplar daha hızlı büyüyebiliyor ve daha uzak mesafelere gidebiliyorlardı. Bütün gezegeni kolonileştirmeleri de böyle mümkün oldu.

OKSİJEN SEVİYELERİNDEKİ ARTIŞ

Görece yavaş gelişen fakat belki de daha önemli olan bir sonuç daha vardı. Fotosentez yapan tüm organizmalar gibi siyanobakteriler de karbondioksitteki karbonla sudaki hidrojeni birleştirerek şeker üretirler. Bu üretim sürecinden geriye çok miktarda oksijen kalır ve fotosentez yapan organizmalar da istenmeyen bu oksijeni basitçe atmosfere salarlar.

Tek bir siyanobakterinin ömrü boyunca saldığı oksijen miktarı elbette çok azdır fakat milyonlarca yıl boyunca sürekli oksijen salan sayısız siyanobakteri Dünya'yı giderek dönüştürmüştür. Salınan oksijen kayaçlarla tepkimeye girmiş, okyanuslarda çözünmüş ve sonra da atmosfere yerleşmiştir. Oksijen, bundan 3,5 milyar yıl önce atmosferin yalnızca yüzde 0,1'ini oluştururken 2 milyar yılda bu oran yüzde 3'e yükselmiştir (bugün ise yüzde 20'dir).

Oksijen seviyelerindeki bu artış bir sonraki büyük evrimsel sıçrayışı başlatmıştır. Bugün, oksijen, Dünya'daki yaşamın çoğu için gerekli olabilir, fakat aynı zamanda fırsatını buldukça biyolojik yapılara zarar veren aşırı derecede tepken bir elementtir. Bu nedenle ilk mikroplar, yüksek oksijen derişimleriyle başa çıkmalarını sağlayacak mekanizmalar geliştirmek zorunda kalmışlardır.

Bazı mikroplar bir adım daha ileri giderek oksijenden yararlanmanın yolunu bulmuşlar ve oksijenin yüksek düzeydeki tepkenliğini, organik molekülleri daha iyi parçalayabilmek için kullanmışlardır. Bu da daha fazla enerji açığa çıkarmış ve solunumun ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Diğer mikroplar daha güçlü olan hemcinslerinin içine sığınma eğilimindeydi. Bu mikroplar en sonunda bir oldular ve topluca ökaryotlar olarak adlandırılan daha büyük ve daha karmaşık mikropları oluşturdular. Bu süreç aynı zamanda Dünya'nın yaşam formları içindeki ilk büyük ayrılmayla sonuçlandı. Fotosentez yapan mikropların ev sahibi olan ökaryotlar tüm bitkilerin atası olan fotofitler haline gelirken, solunum yapan mikropların ev sahipleri tüm hayvanların atası olan protozoalara dönüştü.

Bütün bunlar yaklaşık 2 milyar yıl önce gerçekleşti. Bundan sonra yaşam bir sonraki evrimsel sıçrayış için bir 500 milyon yıl

daha beklemek zorundaydı, ama bu bekleyişe kesinlikle değdi çünkü yaklaşık 1,5 milyar yıl önce ökaryotlar seksi icat etti.

Eşeyli üreme

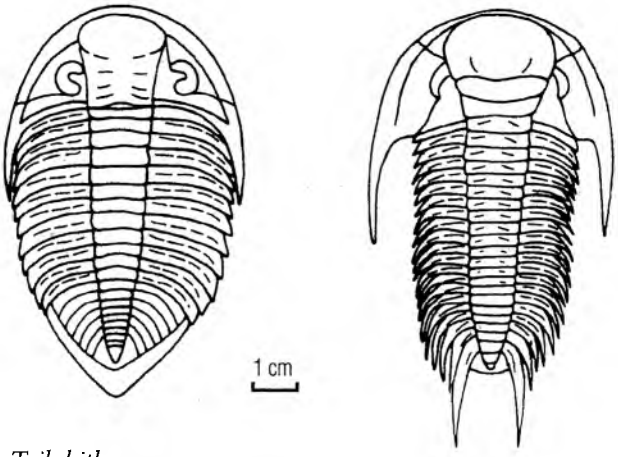
Seksin çok sayıda yararı olabilir (*bak.* 8. Bölüm) fakat burada bizi ilgilendiren, evrimi güçlendirmesidir. Eşeyli üreme, iki bireyin genetik özelliklerini karıştırarak ebeveynlerinden her zaman farklı olan döller üretir. Eşeysiz organizmaların evrilmesi rastlantısal hataların keyfine kalmış bir şeyken, değişim, eşeyli organizmaların varoluşunun bir parçasıdır.

Seks, evrimin önündeki fırsatları büyük oranda çeşitlendirmiştir. Hatta, yaşamın özellikle zor bir engel atladığı bir sonraki büyük evrimsel sıçrayış, seks olmasıydı muhtemelen olmazdı. Yaşam, Dünya üzerinde ilk defa 3,5 milyar yıl önce ortaya çıkmış olabilir, fakat ortaya çıktıktan 2,5 milyar yıl sonra da hâlâ denizde yüzen çok sayıda tek hücreli mikroptan ibaretti.

İLK ÇOK HÜCRELİ ORGANİZMALAR

Tek hücreli ökaryotlar, daha büyük gruplar ve koloniler oluşturmak üzere ancak bu noktada bir araya gelmeye başladılar. Başlangıçta, bu grupları meydana getiren ökaryotların hepsi birbirinin aynıydı. Gelgelelim ökaryotlar en sonunda ayrışmaya ve farklılaşmaya başladılar. Bu ayrışma ve farklılaşma, yaklaşık 750 milyon yıl önce ilk çok hücreli organizmaların oluşumuyla sonuçlandı.

Başlangıçta bunlar daha çok denizanası ve sünger türleriydi, fakat sonraki 150 milyon içinde trilobitler gibi dış iskelete sahip organizmalar ortaya çıkmaya başladı (*bak.* Şekil 5.1). Sadece 85 milyon yıl sonra denizler, ilk omurgalı balıklar da dahil olmak üzere çok sayıda farklı organizmayla dolup taşıyordu.



Şekil 5.1 Trilobitler

Bundan yaklaşık 100 milyon yıl sonra, bitkiler denizden çıkıp karaya göç etmeye başladılar. Bu göç, bitki örtüsünde patlamaya neden oldu.

Kara, yenilebilir bitkilerle kaplandıktan sonra hayvanlar da denizi terk etmeye başladı. Denizden ilk çıkanlar, 390 milyon yıl önce akrepler oldu. Onları kısa süre sonra böceklere evrilecek olan çok çeşitli omurgasızlar izledi. 30 milyon yıl sonra ise ilk balık, yüzgeçleri üzerinde sürünerek karaya çıktı ve önce amfibilere, ardından sürüngenlere evrildi.

KİTLESEL YOK OLUŞLAR

Evrimin hem kazananları hem de kaybedenleri vardır. Yani yeni yaşam türleri ortaya çıkarken bazıları da yok oluyordu. Yok oluş, evrimle el ele giden bir süreçtir: Türler, habitatlarının değişmesi veya daha etkili türlerle rekabet edememeleri sonucunda yok olurlar. Gelgelelim üstüne üstlük bazen çok sayıda farklı tür, birkaç yüz bin yıl gibi görece kısa süreler içinde yok olup gider.

Bu tür olaylar kitlesel yok oluşlar olarak bilinir. Şiddeti ve kapsamı önemli ölçüde değişiklik gösterebilmekle birlikte Dünya üzerindeki yaşamın neredeyse tamamını etkileyecek kadar şiddetli beş adet kitlesel yok oluş gerçekleşmiştir. Bu beş kitlesel yok oluşun kesin nedenleri hâlâ bilinmemekle birlikte şunların en az birini içerdiği düşünülmektedir: Bir meteorit veya kuyruklu yıldız darbesi, milyonlarca yıl süren büyük bir volkanik etkinlik ve buzul çağları.

Büyük volkanik etkinlikler ve meteorit veya kuyruklu yıldız darbeleri anında verdikleri zararların yanı sıra daha uzun vadeli zorluklara da neden olurlar. Meteoritlerin atmosfere fırlattığı devasa hacimli döküntüler güneş ışığını engelleyebilir ve bitki örtüsünün ölümüne neden olabilir. Volkanlar yüksek miktarda karbondioksit salarak Dünya'nın küresel ısınma yoluyla ısınmasına neden olabilir (*bak.* 23. Bölüm). Buzul çağlar ise düşen sıcaklıklar ve küçülen okyanuslar yoluyla zarar verir.

Bu kitlesel yok oluşların en iyi bilinenleri üçüncü ve beşinci yok oluşlardır. 250 milyon yıl önce gerçekleşmiş olan üçüncüsü, gelmiş geçmiş en büyük kitlesel yok oluştur ve yaşayan tüm organizmaların yüzde 90'ını yok etmiştir. 65 milyon yıl önce gerçekleşen sonuncusu ise herkes tarafından bilindiği üzere dinozorları yeryüzünden silmiştir.

İnsanın ortaya çıkışı

Fakat kitlesel yok oluşlar her zaman kötü haber değildir, çünkü evrimin tamamen yeni bir halkası için gerekli koşulları yaratırlar. Yakın zamana kadar çok sayıda türe ev sahipliği yapan habitatlar şimdi yeni türlerin kolonileşmelerine açıktır. Hatta çoğu zaman, bir kitlesel yok oluştan yalnızca 5-10 milyon yıl sonra yaşamın çeşitliliği kitlesel yok oluştan öncesine kıyasla daha fazladır.

Yakın bir örnek verecek olursak, dinozorların sonu, memelilerin pençeleriyle sıkı sıkıya tutundukları çok büyük bir fırsat oldu ve böylece tüm Dünya'ya yayıldılar. Ve yayıldıkça evrim geçirdiler, ta ki en sonunda yaklaşık 200.000 yıl önce modern insan ilk defa sahneye çıkana kadar.

Yaşlı fosiller

Bilim insanları Dünya üzerindeki yaşamın tarihini fosil kayıtlarına bakarak bir araya getirmiştir. Temel olarak fosiller, milyonlarca yıl önce yaşamış organizmaların mineral bazlı izleridir. Yeni ölmüş bitki veya hayvanların tortuyla, suda mil veya çamur, karada ise kum ve volkanik külle kaplanmasıyla oluşurlar.

Üstünde gitgide daha fazla malzeme biriktikçe, ölü organizmayı çevreleyen tortu sertleşerek kumtaşı veya kireçtaşı gibi tortul kayalara dönüşene kadar sıkışır. Et gibi organik malzemeler hızla çürüyüp yok olurken geride kemiklerin ve dişlerin mineral bileşenlerini ya da mineral tortularla dolu boşluklar bırakırlar. Orijinal organizma kayadaki mineral kopyasıyla böylece yer değiştirir.

Bütün bir dinozor iskeleti bulmanız zor olsa da küçük fosiller tortul kayaların olduğu her yerde bulunabilir. Örneğin, ilk fosillerden bazıları fosiller için sıcak bölge olmayı hâlâ sürdüren Lyme Regis civarındaki Dorset sahili boyunca bulunmuştur.

Ek okuma

Benton, Michael, *The History of Life: A very short introduction* (Oxford: OUP, 2008).

II. Kısım

Her canlının kaderi

6

Yaşamın dizilimi

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *genlerle proteinler arasındaki ilişki*
- *DNA'nın bileşenleri*
- *genlerin ve RNA'nın farklı işlevleri*
- *İnsan Genom Projesi ve hâlâ bilmediklerimiz*

Bilim insanları yıllar içinde zaman zaman, bilimin bir alanına dair kavrayışlarının, adeta o kavrayışın her açıdan tozunu attırmışlar gibi, zirvesinde olduklarını düşünme tuzağına düşmüşlerdir.

Fizik bu tuzağa 20. yüzyılın ilk yıllarında, bilim insanları atomaltı dünyanın klasik fizikle açıklanamayacağını keşfettikleri ve yeni kuantum fiziği alanının (*bak.* 25. Bölüm) önünü açtıklarında düşmüştü. Öyle görünüyor ki şimdi de sırada biyoloji var.

Yaşamı meydana getiren proteinler

Sorun DNA ile proteinler arasındaki ilişkide yatıyor. 4. Bölümde gördüğümüz üzere proteinler Dünya üzerindeki bütün hayatın köşe taşıdır. Yaşam proteinlerle kurulur ve proteinler sayesinde devam eder.

Yaşamın yararlandığı on binlerce farklı proteinin her biri, uzun molekül zincirleri oluşturmak üzere birbirine eklenen yalnızca 20 farklı tip amino asitten oluşur. Ortalama bir protein yalnızca birkaç yüz amino asit molekülü içerirken, en uzun protein zinciri 20.000'den fazla amino asit molekülü içerir. Fakat önemli olan, her bir protein zincirindeki amino asit diziliminin kendine özgü olmasıdır. Amino asitler, uçlarının yapışkan olması sayesinde zincirler oluşturmak üzere birbirlerine bağlanabilirler. Bu yapışkanlık bir kimyasal bağdan kaynaklanır ve her amino asit, molekülünü en yakın komşusuna iliştirerek uzun, yassı zincirler üretir.

Ama hepsi bu değil, çünkü amino asitlerden bazıları, başka kimyasal bağlar aracılığıyla zincirin başka, daha uzak parçalarındaki görevdeşleriyle de bağlantı kurabilirler. Bu kimyasal bağlar yassı amino asit zincirlerini bir tür moleküler origami gibi karmaşık üç boyutlu bir yapı haline getirir. Yapının son şekli sadece ve sadece amino asitlerin dizilimiyle belirlenir ve bir proteinin ne yapabileceğini belirleyen de bu son şekildir.

YAPISAL VE İŞLEVSEL PROTEİNLER

Temelde iki tip protein vardır: yapısal ve işlevsel. İsimlerinden de anlaşılacağı üzere yapısal proteinler kas, kıkırdak ve saç gibi biyolojik yapıları meydana getirir. Diğer yandan işlevsel proteinler yaşamın işler halde kalmasını sağlarlar. En önemlisi de bunu, besinleri parçalamak gibi yaşam için gerekli olan çok sayıda kimyasal tepkimeyi çok hızlandırarak (yani katalize ederek) yaparlar. Bu türden katalitik proteinlere enzim denir ve bu işlevi yerine getirmelerine olanak tanıyan şey kesin şekilleridir.

Proteinler hücreler içinde oluşur ve çoğunlukla hücreler içinde hareket ederler. Bu hem bakteriler gibi tek hücreli mikroplar

hem de vücudumuzu oluşturan yüz trilyon hücrenin (*bak.* 7. Bölüm) her biri için geçerlidir. Binlerce farklı proteinin üretim komutları her bir hücrenin genleri içinde bulunur. Eğer proteinler yaşamın işçileri ise genler yaşamın yöneticileridir.

DNA molekülü

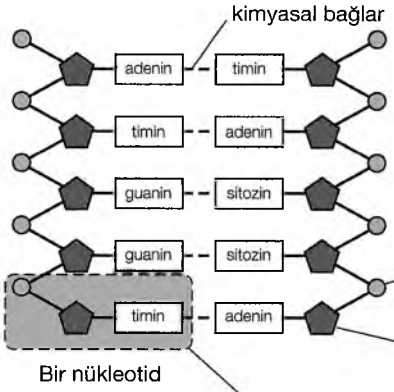
DNA'lardan (deoksiribonükleik asit) oluştukları için genler bütün bu proteinlerin üretimini yönetebilir. Tek bir DNA molekülü üç bileşenden oluşur: oksijen atomlarından birini kaybetmiş olan (deoksi ön ekini bu yüzden alır) riboz olarak bilinen bir basit şeker; fosfat grubu olarak bilinen, fosfor içeren küçük bir molekül ve çok özel bir molekül olan nükleotid bazı.

Riboz ve fosfat grubu, DNA'nın "omurga"sı gibi davranarak nükleotid bazına destek sağlar ve çok sayıda DNA molekülünü uzun zincirler oluşturacak şekilde birbirlerine bağlarlar. Fakat bir DNA molekülünün en önemli parçası nükleotid bazıdır. Bu baz dört farklı molekülden biri olabilir: adenin (A), guanin (G), sitozin (C) ve timin (T).

Yani proteinlere benzer şekilde, bir DNA zinciri belli bir dizilimde bir araya gelmiş dört farklı nükleotid bazından oluşur. Gelgelelim bu benzerlik rastlantı değildir, çünkü nükleotid bazların dizilimi bir proteindeki amino asitlerin dizilimiyle doğrudan ilgilidir ve protein üretmek için kodlanmış bir komut gibi davranır.

Bir DNA zincirinin proteinlerle arasındaki tek benzerlik bu değildir. Kimyasal bağlar nasıl farklı amino asitler arasında oluşabiliyorsa nükleotid bazları arasında da oluşabilir. Yalnız şurası önemli ki, adenin yalnızca timinle, guanin ise yalnızca sitozinle bağ kurabilir.

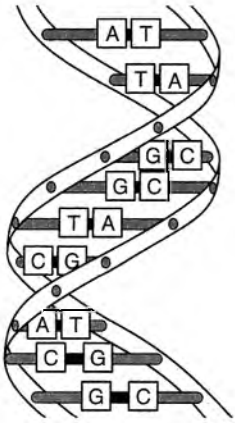
DNA, kimyasal bağlarla bağlanmış **bazlar** tarafından bir arada tutulan iki fosfat ve şeker (deoksiriboz) zincirinden oluşur. Bu birim DNA molekülünün uzunluğu boyunca tekrar eder.



Dört baz ancak şu sırayla birleşebilir:
- adenin-timin
- guanin-sitozin

Not: Modelde yalnız A-T veya T-A ve C-G veya G-C birleşimleri bulunur. Bu birleşimlere **baz eşleşmesi** denir.

Bir birim şeker, fosfat ve baza **nükleotid** adı verilir.



DNA **çift sarmal** şeklinde katlanır.

Şekil 6.1 DNA

Tüm bunların sonucu şudur: DNA, hücrenin içinde tek bir zincir olarak değil, nükleotid baz diziliminin her zaman "ayna görüntüsü" gibi bir dizilimle eşleştiği ikili, bitişik bir zincir halinde bulunur. Yani bitişik zincir boyunca A her zaman T ile, G ise her zaman C ile eşleşir (*bak.* Şekil 6.1).

Bu kurulum yalnızca kimyasal olarak kararlı olmakla kalmaz, aynı zamanda hücre bölünmesinin gerektirdiği üzere herhangi bir DNA diziliminin kopyasını üretmek için basit bir yol sunar (evrime yön veren mutasyonların nedeni bu kopyalama sürecindeki hatalardır; *bak.* 5. Bölüm). Dahası, iki zincirin birbirini sarmaladığı, DNA'ya özgül çift sarmal şeklini veren de budur. Bu ilk defa, İngiliz moleküler biyolog Francis Crick ve Amerikalı biyokimyacı James Watson tarafından 1953 yılında bulunmuştur.

Bu durumda çift zincirli DNA'yı bükülmüş bir merdivene benzetecek olursak değişken riboz ve fosfat grupları merdivenin iki dikey direğini, eşleşen DNA bazlarının dizilimi ise merdivendeki yatay basamakları temsil eder.

Soğanlarınızı tanıyın

DNA molekülleri çok küçük olabilirler, ama o kadar boldurlar ki çıplak gözle bile görülmeleri mümkündür. Bir soğanın DNA'sını çıkarıp görmek için şu adımları izleyin:

- Bir çay kaşığı tuzu 500 ml ılık su içinde çözün.
- Bir beyaz soğanın 30 gr'ını ve tuzlu suyun 100 ml'sini karıştırıcıya koyun. Büyük soğan parçalarının tamamı gözden kaybolunceya dek karışımı karıştırmaya devam edin. Sonra karışımı buzluğa koyarak 15 dakika bekleyin.

- Karışıma bir çay kaşığı sıvı bulaşık deterjanı ekleyin ve hafifçe karıştırın. Sonra karışımı, ikiye katladığınız tülbent veya ponje gibi sık dokunmuş bir kumaşın üzerinden dökerek küçük parçacıkları filtreleyin.
- Bu karışımı bir kaba boşaltın ve sonra eşit miktarda tuvalet ispirtosu ekleyin. Karışımı bir kürdanla karıştırın.

Birkaç dakika içinde karışımın yüzeyinde tel tel beyaz bir madde belirecektir. Bu, soğanın DNA'sıdır. Tuz ve sıvı bulaşık deterjanı soğanın hücrelerini parçalara ayırarak DNA'yı açığa çıkarır. DNA ise tuvalet ispirtosu içinde çözünmez.

DNA'NIN KODUNU ÇÖZMEK

Dolayısıyla şimdi soru şu: Nükleotid bazlarının dizilimi proteindeki amino asitlerin dizilimiyle tam olarak nasıl bağlantılıdır? Ya da diğer bir deyişle, bu kod tam olarak nasıl çalışmaktadır?

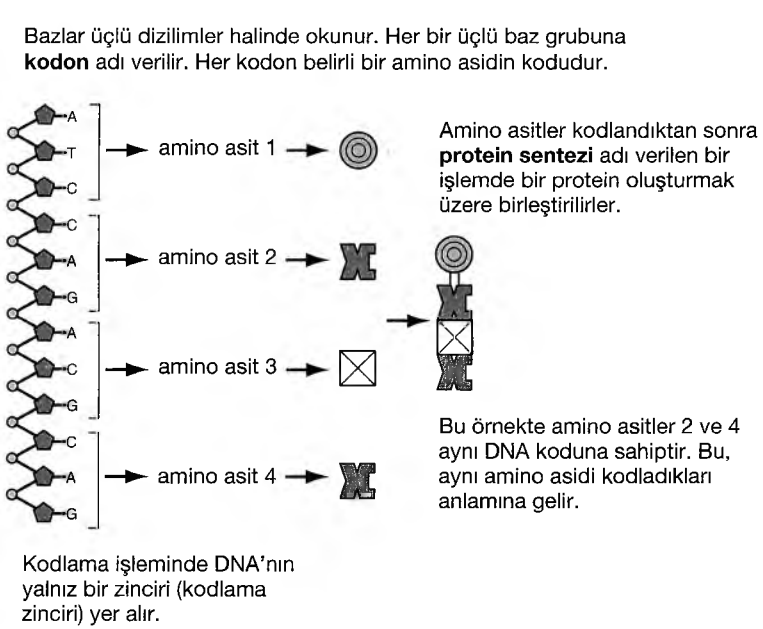
Öncelikle, DNA bazlarının uzun dizilimi genler olarak bilinen küçük gruplara ayrılır. Eğer DNA bazları harflerse, genler kelimelerdir: Daha kesin olmak gerekirse, farklı proteinlerin isimleridir.

Bu genlere ulaşmak için bir enzim iki DNA zincirini birbirinden ayırır. Gen bir kez açığa çıktığında, bir başka enzim o genin ayna görüntüsünü oluşturur, fakat bu ayna görüntüsü DNA'dan değil RNA'dan (ribonükleik asit) meydana gelir.

RNA, DNA'ya çok benzer. Tek farkı, riboz kısmında eksik bir oksijen atomu olmamasıdır. Tek bir zincir halinde bulunur ve nükleotid baz olarak timin yerine urasil içerir. Gelgelelim diğer her anlamda, üretilen RNA zinciri genin ayna görüntüsü bir kopyası gibi davranır.

Bu RNA zinciri daha sonra hücrenin ana gövdesinin içine doğru yol alır ve burada ribozom adı verilen bir organel tarafından yakalanır. Ribozom, RNA zincirini çepeçevre kıskaca alır ve sonra nükleotid bazlarının dizilimini okuyarak zincir boyunca ilerler.

Özellikle, bu bazları, kodonlar olarak bilinen üçlü gruplar halinde okur, çünkü üç bazlı her bir grup belirli bir amino aside karşılık gelir. Yani CAA dizilimi valine, UCG dizilimi ise serine karşılık gelir. Ribozom, RNA zinciri boyunca her kodonu okuyarak ilerlerken aslında karşılık gelen amino asidi yakındaki bir depodan getirir ve onu büyüyen proteine ekler (*bak.* Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Protein yapmak

İnsan Genom Projesi

İşte her şey hazır, zarif bir zafer gibi karşımızda duruyor: Genler protein üretmek için gerekli komutları içerirken RNA bu komutları hücrenin protein inşa eden makinesine fiziksel olarak taşıyor. Bütün işi proteinler yapmasına rağmen sözü geçen genlerdir. Kim olacağımızı ve neye benzeyeceğimizi genler belirler. Genler yaşamın ana planını içlerinde barındırır. Genleri anlarsanız yaşamı da anlarsınız.

İnsan genomu olarak bilinen, insan DNA'sını meydana getiren 3 milyar nükleotid baz çiftinin tamamının dizilimini saptamayı hedefleyen İnsan Genom Projesi'nin arkasındaki düşünce de buydu. İnsan genomu diziliminin taslak hali 2000 yılında ilan edildi, son hali ise 2003'te açıklandı. Fakat bu tamamlanmış dizilim, insanlığın merak edilen genetik sırlarını açığa çıkarmak yerine bilim insanlarının hâlâ ne kadar çok şeyi anlamadığını gözler önüne serdi.

Sorun şuydu: Bilim insanları Şekil 6.2'de ayrıntılandırılan protein üretim işlemine dayanarak, genler ve proteinler arasında, bireysel genlerin bireysel proteinleri kodladığı bire bir bir ilişki olduğunu varsaymışlardı. Hal böyleyken birçok bilim insanı, insan genomunun yaklaşık 100.000 gen içerdiğini tahmin ediyordu. Oysa insan genomu yalnızca 20.000'den biraz fazla gen içermektedir.

Eksonlar ve intronlar

Bilim insanları tek bir genin birden fazla proteini kodlayabileceğini bildiği halde bu büyük bir sürpriz oldu. Bir gen aslında, DNA'nın ekson olarak bilinen kodlama bölgelerinden ve intron olarak bilinen kodlama-dışı

bölgelerinden oluşur. Ayna görüntüsü RNA zinciri ilk üretildiği zaman hem eksonlara hem de intronlara sahiptir. Fakat enzimler hızla intronları çıkarır ve sonra eksonları geri birleştirerek RNA'nın tek bir kodlama parçasını meydana getirirler.

İşin hilesi şudur: Enzimler, eksonları çok farklı şekillerde birleştirebilir, böylece RNA zincirinin dizilimini değiştirerek aynı genden çok sayıda protein üretilmesini sağlarlar. Harf ve kelime analojimize yeniden dönecek olursak bu, aynı harf grubundan birkaç farklı kelime üretmeye benzer.

Bilim insanları bunun böyle olduğunu biliyorlardı, yalnızca oldukça nadir bir vaka olduğunu sanıyorlardı. Oysa bugün bu türden alternatif uç birleştirmenin tüm insan genlerinin yarısından fazlasında gerçekleşebildiği biliniyor.

Genleri açıp kapamak

Üstüne üstlük, genetik düzeneğin bugüne kadar sanılandan çok daha esnek olduğu anlaşılıyor. Bir hücrenin DNA'sı, statik bir bilgi havuzu olmak yerine kimyasal ve yapısal olarak sürekli değişim halindedir. DNA'nın bu dinamizmi, tüm gen şeritlerinin sürekli açılıp kapatılması ve protein üretimi üzerinde neredeyse mükemmel bir denetim sağlanmasıyla sonuçlanır.

Bugün bilim insanları, genetik tahtın ardındaki gerçek gücün mütevazı görünümlü RNA olabileceğini keşfetme aşamasındadır. Bilim insanlarını her zaman rahatsız eden bir soru vardır: İnsan genomunun çoğu neden yararsızdır? Genomumuzun yalnız yüzde 3'ü proteinlerin kodudur; geri kalan yüzde 97 çöp DNA olarak adlandırılır ve görünürde hiçbir işe yaramaz.

Bilim insanları bu çöp DNA'nın yalnızca bin yıllar içinde öylece oluştuğunu varsayıyorlardı. Ama şimdi, bu çöp DNA'nın bir kısmının hiç de çöp olmadığını ortaya çıkıyor. Dahası, protein üretmek yerine genlerin tek tek ne zaman açılıp kapanacaklarını doğrudan kontrol eden RNA zincirlerini kodluyorlar.

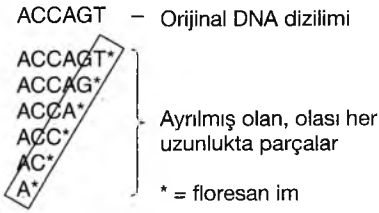
Bilim insanları artık, genlerle ilgili olarak, önemli olanın neye sahip olunduğu değil, eldekinin nasıl kullanıldığı olduğunu keşfediyor.

Dizi dizi gen

İnsan, genomu dizilenmiş olan çok sayıda bitki ve hayvandan yalnızca bir tanesidir. Şempanzeler, köpekler ve mısırlar da buna dahildir. Tüm bu organizmalar çok farklı olmalarına rağmen, genleri aynı dört nükleotid bazından meydana geldiği için tıpatıp aynı şekilde dizilebilirler.

1970'lerde İngiliz kimyacı Fred Sanger tarafından geliştirilen gen dizilemesi maharet gerektiren nazik bir işlemdir. DNA zincirinin çok sayıda kopyasını yaratıp bu kopyalama işlemini her seferinde rastlantısal bir noktada durdurmayı içerir. Dahası, her kopyadaki son nükleotid bazı kendiliğinden, baza bağlı olarak dört farklı renkte parlayan bir floresan bileşiğiyle imlenir.

Bunu yeterince çok tekrarlarsanız olası her uzunlukta, izleyen her parçanın bir öncekinden bir baz uzun olduğu DNA parçaları elde edersiniz. Sonra tek yapmanız gereken, bu parçaları uzunluklarına göre ayırmak—temel olarak bunu bir jel içinden süzerek yapabilirsiniz—ve her parçanın sonundaki floresan imin verdiği rengi kaydetmektir. Bu yolla orijinal zincirin dizilimini kurabilirsiniz (*bak*. Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Gen dizilemesi

Ek okuma

Watson, James, *DNA: The secret of life* (Londra: Arrow Books, 2004).

7

Sıfırdan

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *genomlar insanlar arasında nasıl farklılık gösterir*
- *bazı türlerin niçin diğerlerinden daha fazla kromozomu vardır*
- *Mendel'in bezelye deneyinin önemi*
- *ortalama bir hücrenin fiziksel yapısı*

Son bölümü okuduktan sonra aklınızı kurcalayan bir soru kalmış olmalı. Genlerin tek rolü proteinler için kodlama yapmaksa böyle bir işlem bizi nasıl meydana getirir? Hem de bunca benzersizliğimizle? Tüm farklı vücut dokuları ve organlarımızı nasıl oluşturur, gezegendeki diğer 7 milyar kişiden farklı olmamızı nasıl sağlar ya da insanların diğer milyonlarca türden farklı olmasını nasıl sağlar?

Genom

Bu soruyu yanıtlarken belirtilmesi gereken ilk nokta, Dünya'daki her türün genom adı verilen farklı bir gen dizisine sahip olduğudur. Dahası, eşeyli üreyen her tür içinde—bu bitki ve hayvanların çoğunu kapsar—o türün neredeyse her bir üyesinin kendine özgü genomu vardır.

Gelgelelim, bakteriler gibi eşeysiz üreyen organizmaların ürettiği döller doğrudan klonlardır ve bir ebeveynleriyle tıpatıp aynı genlere sahiplerdir (genetik mutasyonlar hariç). Eşeyli üreyen türler özdeş genomlara sahip döller üretebilir (insanlarda, özdeş ikizler tıpatıp aynı gen dizisine sahiptir). Fakat iki ebeveynli çoğu organizma genetik olarak eşsizdir.

GENOM ÇEŞİTLİLİĞİ

Genomlar, farklı türler arasında, aynı türün üyeleri arasında gösterdiğinden daha fazla farklılık gösterir. Yani ortalamada, farklı insanların genomları yalnızca yaklaşık yüzde 0,5 farklılık gösterir (İnsan Genom Projesi birkaç farklı insandan alınarak karıştırılmış bir genom dizilemiştir). Bu farklılıkların çoğu, bir gende bulunan tek bir nükleotid bazındaki çeşitlilik biçimini alır—bir kişide guanin varken, diğerinde timin olabilir. Bu çeşitlilikler tek nükleotid polimorfizmi (TNP'ler) olarak bilinir.

Farklı türlerin genomları arasındaki farklar daha fazladır ve farkın derecesi genelde türler arasındaki benzerliğin seviyesini yansıtır. İnsan genomları şempanze genomlarından yalnızca yüzde 1,2 farklıyken fare genomlarından yaklaşık yüzde 15 oranında farklıdır.

Yine de, yüzde 15'lik bir fark, insanların farelerden ne kadar farklı olduğunu düşünecek olursak pek de fazla değildir. Bu gösteriyor ki tek bir organizmanın genomundaki genlerin büyük çoğunluğu onu diğer organizmalardan ayırmaktan ziyade o organizmayı hayatta tutmakla meşguldür. Belki de pek şaşırtıcı olmayacak ama öyle görünüyor ki fareler de insanların ihtiyaç duyduğu proteinlerin çoğuna ihtiyaç duymaktadır. Arada bu kadar az fark olması, önemli olanın sahip olduğumuz belli genler değil onları nasıl kullandığımız olduğu kavrayışını da desteklemektedir.

İkinci nokta şudur: Tek bir organizmayı meydana getiren hücrelerin tümü birebir aynı gen dizisini içerir. Genom, vücudumuzu meydana getiren yüzlerce trilyon hücrenin her birinin içinde yer almasına karşın bir kişinin genomundan söz edebilmemizin nedeni de budur. Genom her hücrede aynı olduğu için her bireyin etkin olarak tek bir genomu vardır.

FARKLILAŞAN KROMOZOM SAYILARI

Tüm çok hücreli organizmaları oluşturan ökaryotik hücrelerde uzun bir eşleşmiş DNA molekülleri dizilimi içeren bu genom, zarla sınırlı bir organel olan çekirdekte bulunur. DNA dizilimi çok uzun olduğundan (insan genomu, düz durduğu takdirde boyu 2 metreyi bulan 3 milyar çift nükleotid bazı içerir) bölünerek histonlar adlı proteinleri sıkıca sarar ve çok sayıda kromozom oluşturur.

Farklı türlerin farklı sayılarda kromozomu vardır ve bu sayı, hücrelerinin çekirdeklerindeki DNA miktarını yansıtır. Genellikle, "daha karmaşık" türlerde "daha basit" türlere göre daha fazla kromozom bulunur fakat durum her zaman böyle değildir. Bir insanın 23 çift kromozomu varken farenin 20 çift vardır, fakat kobay faresinde 32 çift kromozom bulunur. Bu da önemli olanın neye sahip olduğunuz değil, sahip olduğunuzu nasıl kullandığınız olduğunun bir başka kanıtıdır.

KROMOZOM ÇİFTLERİ

Burada kromozom çiftlerinden bahsettiğimize dikkat edin; ökaryotik hücredeki her bir kromozomun neredeyse özdeş bir ikizi vardır. Bunun nedeni, eşeyli üremeyle meydana gelen organizmaların hücrelerinin her bir ebeveynden birer kromozom almasıdır.

Yaşam için asli olan proteinleri kodladıkları ve dolayısıyla her iki ebeveynde de aynı oldukları için bu kromozomlardaki genlerin çoğu özdeştir ya da özdeş olmalıdır. Aslında kromozom çiftlerine sahip olmak genetik bozukluklara karşı oldukça iyi bir savunmadır. Pek çok durumda, eğer bir genin kopyası iyi çalışıyorsa diğerinin bozuk olup olmaması fark etmez; yalnızca iki gende birden bozukluk varsa sorunlar ortaya çıkar.

Örneğin, orak hücreli anemisinde söz konusu olan budur. Orak hücreli anemisi, alyuvarların deforme olmasına neden olarak oksijen taşıma yetilerini azaltan genetik bir bozukluktur. Buna, protein kompleksinin hemoglobin adı verilen bir kısmını kodlayan tek bir gendeki bozukluk neden olur, fakat bozukluğun kendisini tamamıyla açığa çıkarması için her iki kromozomdaki genlerin de bozuk olması gerekir. Eğer sadece bir gen bozuksa kişi genelde sağlıklı kalır; aslında bu genin tek bir kopyasına sahip olmanın yararı da vardır çünkü göründüğü kadarıyla bu, sıtmaya karşı direnç sağlamaktadır.

BASKIN VE ÇEKİNİK ALELLER

Daha az temel özelliklerin genlerinin bazılarının kromozom çiftleri arasında biraz farklılık olabilir; bu türden genler aleller (çeşitli aleller çoğu zaman TNP'lerin sonucudur) olarak bilinir. Diğerleri çekinikken bir alel baskın olma eğilimi sergiler. Dolayısıyla baskın alel, çekinik alellerden her zaman daha fazla ifade edilecektir (*bak*. Kutu).

Gregor Mendel, 1822-1884

Organizmaların özelliklerinin basitçe birbirine karışmak yerine (sonradan genler adını alan) ayrık birimler şeklinde döle geçtiği fikri, ilk olarak Gregor Mendel adında mütevazı bir Alman rahip tarafından ortaya atılmıştır. Başlangıçta Mendel'in kendisi de dahil olmak üzere kimse keşfedilenin ne olduğunu tam olarak anlayamamıştır.

Mendel 1850 ve 1860'larda manastırının bahçesinde çeşitli özelliklere sahip bezelyeler yetiştirirken, bu bitkilerde belli özelliklerin basit oranlarda görüldüğünü keşfetti. Örneğin, eğer yeşil bezelyeleri sarı bezelyelerle çaprazlarsa dölün tamamı sarı bezelyelerden oluşuyordu. Ama eğer iki sarı bezelye dölünü çaprazlarsa, dölün dörtte üçü sarı bezelyeler ve dörtte biri yeşil bezelyeler oluyordu.

Bugün biliyoruz ki bunun nedeni, sarı bezelye geninin baskın, yeşil bezelye geninin çekinik olması ve yeşil bezelye geninin ancak iki yeşil bezelye genine sahip bir bezelyede ifade bulmasıdır. Fakat bilim insanlarının Mendel'in bulgularının tam olarak ne anlama geldiğini fark etmesi 35 yıl almış ve Mendel'in ömrü bunu görmeye yetmemiştir.

Çoğu insan niteliği (ya da özelliği) birkaç gen arasındaki etkileşim tarafından belirlenir, fakat birkaç özellik iki veya daha fazla alel halinde var olan belirli bir gen ile ilişkilendirilmiştir. Örneğin kepçe kulak geni baskın ve yapışık kulak geni çekinikse, kulağınızın kepçe mi yoksa yapışık mı olacağı bellidir.

Hücre nasıl çalışır

Ama bekleyin; protein üretimini kontrol eden genlerin nasıl farklı organlara, dokulara ve görünüşümüz de dahil olmak üzere bizi biz yapan biyolojik özelliklere yol açtığını hâlâ açıklamadık. Bunun için hücreyi biraz daha iyi tanımamız gerekiyor.

Ökaryatik hücrenin "beyni" gen içeren çekirdektir, fakat nasıl ki hayatta kalmak için beyne ek olarak kalbe, akciğere, deriye ve bir sürü başka organa ihtiyaç duyuyorsak hücrenin de işler kalması için bir sürü başka organele ihtiyacı vardır. Bu organeller, çekirdeğin dışarısında sitoplazma adı verilen ve hücrenin hacminin çoğunu oluşturan granüllü bir maddenin içinde yer alırlar.

Bu organellerden bir tanesi de, bir dizi kanaldan oluşan ve proteinler ile diğer biyolojik molekülleri hücre etrafında bu kanallar içerisinde taşıyan endoplazmik retikulumdur. İki tip endoplazmik retikulum vardır: Granüllü ve granülsüz. Granüllü endoplazmik retikulum protein üreten bir sürü ribozomla kaplıdır ve dolayısıyla protein üretir, sonra da bu proteinleri hücre etrafında taşır. Öte yandan granülsüz endoplazmik retikulum, lipidler olarak bilinen yağlı moleküller üretir ve bu lipidleri hücre etrafında taşır.

Ayrıca, proteinleri ve diğer biyolojik molekülleri, özellikle de hücreden çıkarılacaklarsa değiştiren, depolayan ve ulaşımını sağlayan Golgi aygıtı bulunur. Buna, molekülleri hücrenin fiziksel sınırı olan hücre zarından geçirmek de dahildir.

Hücre zarı iki kat lipid molekülü ve bunun içinde gömülü bulunan proteinlerden oluşur. Bu proteinler hücrenin içi ve dışı arasındaki tüneller gibidir. Bunun yanı sıra, bakteriler ve bitki

hücreleri de dahil olmak üzere bazı hücreler daha fazla güç ve koruma sağlayan bir dış hücre duvarına da sahiptir.

Bundan başka, lizozomlar olarak bilinen ve enzim içeren çeşitli torbalar vardır. Lizozomlar hücrenin içine getirilen besinleri sindirerek enerji üretmek (*bak.* aşağısı) ya da biyolojik moleküller için yapıtaşı olarak kullanmak üzere daha fazla parçalanabilecek bileşikler üretirler. Hücre, bina iskelesine benzer bir lif ağı olan hücre iskeleti tarafından bir arada tutulur.

Son olarak, mitokondri denen önemli organeller vardır. Mitokondri, glikoz gibi basit şekerleri parçalamak için oksijen kullanır, hücre için enerji üretir ve atık olarak da karbondioksit çıkarır. Vücudumuzdaki bütün hücreler enerji üretmek için mitokondri kullanır. Nefes alıp verirken havayı içimize çekip dışarı karbondioksit vermemizin nedeni de budur.

OKSİJEN VE KARBONDİOKSİT

Birçok bitki hücresi kloroplast adı verilen önemli organellere de sahiptir. Kloroplastlar atmosferdeki karbondioksiti glikoz gibi basit şekerlere dönüştürmek için güneş enerjisi kullanır ve yan ürün olarak oksijen üretirler. Böylece Dünya üzerindeki yaşam, hayvan hücrelerinin bitkiler tarafından üretilen şekerlere ve oksijene, bitki hücrelerinin ise hayvanlar tarafından üretilen karbondioksite bel bağladığı kocaman bir karşılıklı destek döngüsü oluşturur.

İnsan vücudunda bulunan farklı hücre türleri

İşte ortalama bir hücrenin düzeni böyledir; fakat öte yandan, ortalama hücre diye bir şey yoktur. İnsan vücudu boyut, şekil

ve işlev bakımından oldukça fazla değişiklik gösteren yaklaşık 220 hücre türünden oluşur.

Tükürük bezindeki gibi hücreler çok miktarda protein ve enzim üreterek bunları dış çevrelerine salgılarlar. Yani zengin bir granüllü endoplazmik retikulum sistemleri vardır. Kalbi oluşturan kas hücreleri gibi hücreler çok miktarda mitokondri içerir, çünkü kalbin çarpmaya devam etmesini sağlamak için çok fazla enerjiye ihtiyaç vardır. Bu arada yağ hücreleri de ağırlıklı olarak, yağ molekülleriyle tıka basa dolu olan, kesecik adındaki büyük torbalardan oluşur.

Alyuvarlar gibi bazı hücreler çekirdeklerini kaybeder. Başka hücreler, vücutta başka hiçbir hücrede bulunmayan moleküller üretir. Gözün retinasını oluşturan hücrelerin ışığa duyarlı pigmentler üretmesi buna örnektir.

Fakat bu birbirinden alabildiğine farklı hücrelerin hepsi tamamen aynı gen dizisine sahiptir, yani bir kalp hücresi teorik olarak bir retina hücresine dönüşebilir. Farklar, farklı hücrelerde farklı genlerin etkinleştiği veya ifade edildiği, bu şekilde belli bir tür hücreyi meydana getirip çalıştıran eşsiz bir protein karışımı ürettiği olgusuyla açıklanır. Işığa duyarlı pigment üreten gen her hücrede bulunur ama yalnız retina hücrelerinde etkinleşir.

Yalnız yarım kromozom dizisine sahip hücreler bile vardır. Fakat bu noktada durmalı, ışığı kısmalı, romantik bir müzik koymalı ve güzel kokulu mumlar yakmalıyız, çünkü cinsellik ve üremenin esrarlı ve heyecan verici dünyalarına girmek üzereyiz.

İnsan hücreleri ve doku hakkında beş ilginç gerçek

- Topluca yağ dokusu olarak bilinen yağ hücreleri normal bir erkeğin vücut ağırlığının yüzde 15-20'sini, normal bir kadının ise yüzde 20-25'ini oluşturur.
- Sinir sistemi 100 milyardan fazla sinir hücresinden oluşan karmaşık bir ağdır. Her bir sinir hücresinin diğer sinir hücreleriyle ortalama 1.000 adet bağlantısı bulunur.
- Deri hücreleri her 15-30 günde bir yenilenir.
- Gözün retinası, ışığa çok duyarlı olan fakat rengi algılamayan 120 milyon çubuk hücresi ile ışığa daha az duyarlı olan fakat farklı renkleri algılayabilen 6 milyon çubuk hücresinden oluşur. Bu da neden gündüzleri renkli görebildiğimizi fakat gece çoğunlukla siyah beyaz gördüğümüzü açıklar.
- Diş minesi insan vücudunun en sert bileşenidir. Ağırlıklı olarak hidroksiapatit (yüzde 96) olarak bilinen bir tür kalsiyum fosfat ve bunun yanı sıra daha az miktarda organik malzeme (yüzde 1) ve sudan (yüzde 3) oluşur.

Ek okuma

Wolpert, Lewis, *How We Live and Why We Die: The secret life of cells* (Londra: Faber and Faber, 2010).

8

Nasıl Oluyor?

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *hücreler mitoz ve mayoz yoluyla nasıl ürer*
- *farklı döllenme yöntemleri*
- *dünya üzerindeki çoğu organizma neden eşeyli ürer*

Cinsellik konusuna girip dağılmadan önce üremeyi ele alalım, çünkü ikisi kesinlikle aynı şey değildir. 4. Bölümde gördüğümüz üzere yaşayan her organizma üreyebilir, bu yaşamın tanımlayıcı özelliklerinden biridir. Fakat yaşayan her organizma seks yapmaz. İkisi arasındaki farkı saptayabilmek için bir süre daha hücre düzeyinde kalmamız gerekiyor.

Hücre çoğalması ve mitoz

Pek çok durumda, ister vücudumuzu meydana getiren hücrelerden biri olsun (gerçi vücudumuzdaki her hücre çoğalamaz) ister tek hücreli bir organizma olsun, tek bir hücre çoğalmak istediğinde basitçe ikiye bölünerek kendisinin doğrudan bir kopyasını üretir. Ökaryotik hücreler söz konusu olduğunda buna mitoz adı verilir. Bakteriler de ikiye bölünerek üreme adı verilen benzer bir işlemle bölünürler.

Bir hücre etkin biçimde mitoz yoluyla çoğalmıyorsa genellikle kendisini mitoz için hazırlıyordur. Bu hazırlık ağırlıklı olarak, hücrenin çekirdeğinde bulunan bütün DNA'nın bir kopyasını çıkarmasını içerir. DNA'nın "ayna görüntüsü" yapısı bu işlemi olanca açıklığıyla gösterir (*bak.* 6. Bölüm). Bu, bir insan hücresinde 46 kromozomun her birinin bir kopyası anlamına gelir.

KROMATİTLER

Mitoz işlemi tamamlandığında, her kromozoma aslının aynısı olan bir kopyası eşlik etmektedir. Bu aşamadan sonra orijinal kromozom ve kopyası kromatit adını alır; bu durumda ortalarındaki bir noktadan fiziksel olarak bağlanmışlardır.

Hücre bölünmeye başladığında, 46 kromatit ikizinin her biri iğ iplikleri adı verilen ve tüm hücreyi kateden uzun borumsu yapılar tarafından birbirinden ayrılarak hücrenin kutuplarına doğru çekilir. Ardından, hücre iki yarım arasında bir zar oluşturarak bölünür. Bir hücre, iki hücre haline gelmiştir ve her bir hücrede 46 kromozomluk tam bir dizi vardır.

Mayoz

Varlığının ilk 2 milyar yılı boyunca Dünya'daki yaşamın sahip olduğu tek üreme biçimi buydu. Ama yaklaşık 1,5 milyar yıl önce birkaç ökaryotik hücre alternatif bir yöntem buldu. İkiye bölünmek yerine dörde bölünmeyi denediler. Bugün bu işleme mayoz diyoruz (*bak.* Şekil 8.1).

Bu mümkündür çünkü ökaryotik hücrelerde her biri bir ebeveynden olmak üzere kromozom çiftleri bulunur; yani insan hücrelerindeki 46 kromozom aslında 23 çift kromozomdur (*bak.* 7. Bölüm).

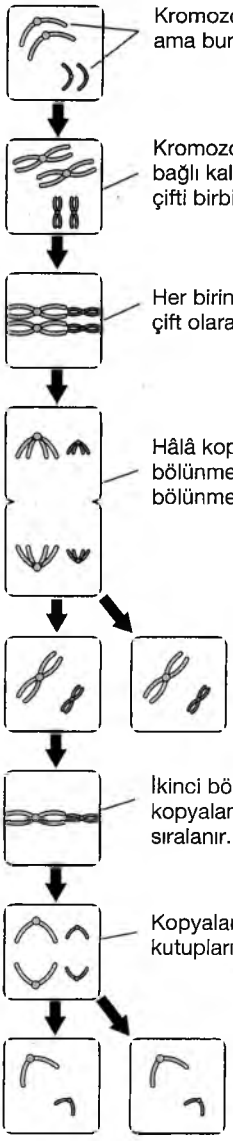
Mitozda olduğu gibi, mayozla çoğalacak olan hücre de önce çekirdeğindeki bütün DNA'yı kopyalar, öyle ki her kromozom iki özdeş kromatide dönüşür. İnsan hücresinde 23 çift kromozom vardır, artık her biri iki özdeş kromatitten oluşan kromozomlar toplamda 92 kromatit üretir (23 x 2 x 2).

Fakat bu noktada bir şey daha olur. 23 çift kromozomun her biri (her kromozom iki özdeş kromatit içerir) birbiriyle gen alışverişi yapmaya başlar. Bu işlemin sonucunda, her biri, her ebeveynin genlerinin eşsiz bir karışımını içeren yepyeni 92 kromatit ortaya çıkarır.

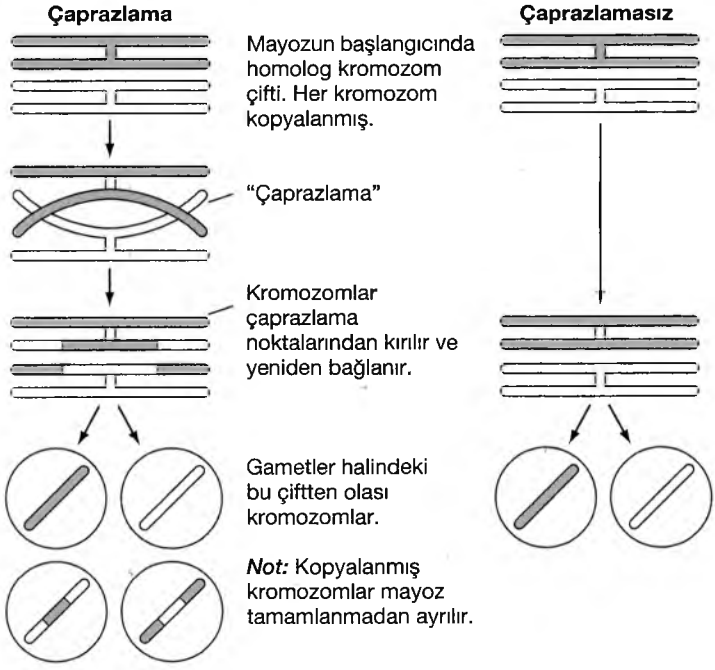
Sonra 23 çift kromozom ayrılır, birer dizi kromozom hücrenin her iki kutbuna doğru çekilir ve sonra bölünür. Yavru hücrelerin her biri artık standart mitoza geri döner. Yani her kromozomu oluşturan iki kromatit birbirinden ayrılır, her hücrenin iki kutbuna doğru çekilir ve sonra da bölünür. Bir hücre bu yolla dört hücre haline gelir ve hayati bir şekilde, dört adet dölün her biri 23 kromozomun her birinin yalnız bir kopyasına sahiptir.

Seksin denkleme dahil olduğu yer burasıdır, çünkü şimdi mayozun ne işe yaradığını soruyor olabilirsiniz. Eğer tek bir hücre mitozla sürekli ikiye bölünebiliyorsa, mayoz gibi karmakarışık bir işlem, hem de genetik olarak konuşacak olursak sadece yarım hücre üreten bir işlem ne işe yarar?

Mayoz şu işe yarar: Elde edilen (haploid hücre olarak bilinen) yarım hücre artık bir başka haploid hücreyle birleşerek (diploid hücre olarak bilinen) kromozom çiftlerinin tam takımına sahip bir hücre oluşturabilir. Bu yaklaşımın mitoza karşı üstünlüğü genetik olarak eşsiz bir diploid hücre üretmesidir. Bir ebeveynin doğrudan kopyası olmaktansa genlerinin her yarısını her iki ebeveynden alan bu diploid hücre iki ebeveynin karışımıdır.



Şekil 8.1 Mayoz



Şekil 8.1 Mayoz (devam)

Döllenme

Yani seks, iki farklı haploid hücrenin birleşmesinden ibarettir. Ama bu birleşme ya da döllenme nasıl gerçekleşir? İşte on puanlık uzmanlık sorusu budur ve evrim bu soruya sonsuz sayıda yanıtla karşılık vermiştir.

İlk ökaryotik hücreler kadim okyanuslarda seks yaptıklarında muhtemelen mayozdan sonra birleşme yerine birleşmeden sonra mayoz geçirdiler, tıpkı bugün hâlâ belirli tek hücreli organizmaların eşeyli üremenin keyfini sürdüğü gibi. Fakat çok hücreli organizmaların okyanusa teşrifiyle işler değişti,

çünkü mayoz artık belirli hücrelerle sınırlıydı ve dolayısıyla birleşmeden önce olması gerekiyordu.

ERKEK VE DİŞİ EŞEY HÜCRELERİNİN BİRLEŞMESİ

Dahası, haploid hücreler iki türe ayrıldı—erkekler tarafından üretilenler ve dişiler tarafından üretilenler—ve sadece erkek ve dişi eşey haploid hücreler, yani gametler birleşebiliyordu. Hayvanların durumunda bu gametler sperm ve yumurtalardır, bitkilerde ise polen (erkek) ve gametofitler ya da embriyo keseleridir (dişi).

Başlangıçta ilk deniz canlıları muhtemelen, spermlerini ve yumurtalarını suya bırakıp iyi sonuçlanmasını ummaya dayanan oldukça basit bir cinsel strateji izliyorlardı. Aslında denizkestanesi gibi günümüz deniz canlılarından bazıları hâlâ bu stratejiye güvenmektedir.

Bu yaklaşımdaki sorun belirsizliktir; sperminizin veya yumurtalarınızın kendi türünüzden biriyle başarılı bir şekilde birleşip birleşmediğini asla bilemezsiniz. Yumurtalarınızı ve sperminizi uygun bir anda bıraktığınızdan emin olmak, biraz daha az şansa dayalı bir yöntem olabilir. Örneğin, sudaki besinleri süzerek beslenen midye ve istiridyeler sperm veya yumurtalarını yalnız, suda karşı cins bir gamet tespit ettiklerinde bırakırlar.

Ancak bir erkek, spermini, bir dişi tarafından bırakılmış bir yumurta grubu üzerine doğrudan bırakırsa başarının kesinliği artabilir. Bu strateji pek çok balık ve amfibi tarafından benimsenmiştir. Bazen, balıkların durumunda olduğu gibi erkek, bağımsız spermlerini yumurtaların üzerine öylece bırakıverir. Fakat yengeç gibi diğer organizmalar spermatofor olarak bilinen özel sperm paketleri üretir ve dişi, bıraktığı yumurtaların üzerine bu paketleri sürter.

İÇ DÖLLENME

Bunlardan farklı olarak, bir organizma dış döllenmeden tamamen vazgeçip birleşmenin, organizmanın ve genellikle de dişi organizmanın içinde gerçekleştiği iç döllenmeye kayabilir. Burada başarı neredeyse garantilidir. Bu da, ahtapot ve yunuslar dahil olmak üzere pek çok deniz canlısı tarafından neden benimsendiğini açıklamaktadır. Hayvanlarda gametler yalnız herhangi bir sıvı içinde asılı halde birleşebildikleri için bu aynı zamanda, büyük su kütlelerinin içinde veya yanında yaşamayan organizmaların da sahip olduğu tek döllenme biçimidir.

Sapık hayvanlar

Görünüşe göre ortalama bir hayvan için seks, öncelikler listesinin oldukça altında yer almaktadır. Aç kalmamak ve yem olmaktan kaçınmak iyi bir seksten çok daha önemlidir, ama her zaman değil. Deniz filleri gibi bazı hayvanlar çiftleşme mevsimleri boyunca yemek yemeyi tamamen keserler. Örümcek ve peygamberdevesi gibi diğer bazıları ise yem olmayı göze alarak çiftleşirler; hem de bu yem olma çiftleşme boyunca, sonrasında ve zaman zaman da hemen öncesinde söz konusu olabilir (erkek peygamberdevesi başını dişiye kaptırdıktan sonra da seks yapmaya devam edebilir).

Evrim, seksi, öncelikler listesinde yukarı taşımak için son derece keyifli hale getirmiştir. Pek çok türün bazı üreme dışı cinsel hilelerden keyif alması bunun yan ürünüdür. Örneğin, hem erkek hem de dişi olmak üzere pek çok primat masturbasyondan düzenli olarak zevk alırken orangutanlar kendilerini yapraklar ve ince dallarla uyarma eğilimindedir.

Ama hayvan krallığındaki en aşırı cinsel maceracılar yunuslar olmalıdır. Erkek şişe burunlu yunuslar

kaplumbağa, köpekbalığı ve yılanbalığı da dahil olmak üzere, hareket eden neredeyse her şeyle seks yapabilir. Amazon nehir yunuslarının ise birbirlerinin hava deliklerinin içine girdikleri gözlemlenmiştir.

Pek çok omurgasız, hâlâ spermatoforlara başvuran bir tür iç döllenme geliştirmiştir. Örneğin, erkek akrepler zemine kanca ve yaylar içeren karmaşık bir spermatofor bırakır. Bir dişi, spermatoforun üzerinde çömeldiğinde spermatofor patlayarak spermi dişinin içine doğru fırlatır.

Pek çok örümcek benzer bir strateji benimseyerek küçük bir ağa sperm içeren küçük bir meni damlası bırakır. Sonra, ağızlarının her iki tarafında da bulunan kamçı adı verilen küçük uzantıları kullanarak bu küçük ağı dişiye taşır ve meniyi manüel olarak dişinin içine yerleştirir.

Bu tehlikeli bir hareket olabilir, çünkü erkek genellikle dişiden çok daha küçüktür ve dişi önüne gelen her şeyi yeme eğilimindedirr. Bu kaderden kaçınmak için erkek örümcekler binbir çeşit strateji geliştirmiştir. Erkeğin, spermini yerleştirirken dişinin dikkatini bir hediyeyle, çoğu zaman da bir tür yiyecekle dağıtması popüler bir stratejidir. Benzer bir tehlikeyle karşı karşıya olan diğer organizmalar daha yaratıcıdır: Bir sinek türü, dişisine oynaması için ipekten bir balon getirir.

Belki de en güvenilir ve insanların da en aşina olduğu yöntem, erkeğin spermini dişinin doğrudan içine bırakmasıdır. Bu genellikle, erkeğin bir uzvunu—çoğu zaman da bu işlev doğrultusunda evrimleşmiş penisini—dişideki bir açıklığın içine yerleştirmesini içerir.

Fakat durum her zaman böyle değildir. Kuğular, ördekler ve devekuşları hariç erkek kuşların çoğunun penisi yoktur; bunun yerine, erkek ve dişiler üreme organları olan açıklıklarını birbirine sürterek ilişkiye girerler. Başka organizmaların erkeklerinde spermi aktarmak için uzuv vardır fakat bunu dişinin özel bir açıklığından içeri sokmakla uğraşmazlar. Örneğin, korsan böceği olarak bilinen küçük böceklerin enjeksiyon iğnesi gibi bir penisi vardır ve böcek bunu dişinin vücut duvarından dümdüz içeri sokar.

Bazı organizmalar da bu farklı döllenme yöntemlerinden garip bir birleşim geliştirmiş gibidir. Örneğin, ahtapotun akrabası olan erkek argonotlar, bir tür ısıya duyarlı füze misali penislerini dişinin içine tam anlamıyla nişan alıp ateşler.

Seksin evrimdeki rolü

İyi de eşeysiz üreme çok hücreli organizmalar için bile çok daha basitken, organizmalar eşeyli üremek için neden bu kadar çok şeye katlanır? Bahçe salyangozu gibi bazı organizmalar hermafrodittir, yani hem sperm hem de yumurta üretebilirler, bu da potansiyel olarak kendi yumurtalarını kendileri dölleyebilecekleri anlamına gelir. Ama pek çok organizma bu seçeneği olduğu halde yalnızca son çare olarak kendi kendini döller; onun yerine eşeyli üremeyi tercih eder.

Dünya'daki organizmaların çoğunun o veya bu şekilde eşeyli üremesinin nedeni, seksin, evrimi daha sağlıklı kılmasıdır. Seks yeni genler üretemediği halde (yalnız mutasyon bunu yapabilir) yeni birleşimler üretmek için o genleri sürekli karıştırabilir. Bu yeni birleşimler farklı gen örüntülerinin ifade edilmesi ve farklı özelliklerin öne çıkmasıyla sonuçlanır; bunların bazıları da organizmaya yarar sağlar.

Bir türün, çevredeki değişikliklere hızla karşılık vermesi eşeyli üreme yoluyla mümkün olur. Bu, hastalıklara ve parazitlere karşı koymak açısından özellikle önemlidir. Sonuçta hastalığa neden olan bir patojenin bir nüfusu yok etmesi, eğer o nüfusun tüm üyeleri genetik olarak benzersizse çok zordur. Nüfusun en azından bazı üyeleri, onları doğal olarak bağışık kılacak bir gen birleşimine sahip olacaktır. Genetik olarak özdeş nüfuslarda ise bir üye bir hastalığa yakalanırsa üyelerin hepsi yakalanır.

İşte böyle. Eğer sağlığımızı korumak istiyorsak seks yapmaya devam etmemiz gerekiyor, hiç değilse tür olarak.

Carl Djerassi, 1923-2015

Hayvanlar, üreme dışı cinsel faaliyetin biraz tadına varmış olabilir ama yalnızca insanlar, cinsel ilişkiyi üremeden başarıyla ayırmıştır. Bu büyük oranda, doğum kontrol hapının fikir babalarından biri olan ABD'li kimyacı Carl Djerassi'nin sayesinde olmuştur.

Hamilelikten kaçınarak seks yapmak için doğum kontrol yöntemleri kullanmak yeni bir şey değildir: Hayvan bağırsaklarından yapılan prezervatifler en az ortaçağdan beri kullanılıyordu. Fakat Djerassi'nin 1951'de dişi cinsiyet hormonu progesteronun yumurtlamayı (yumurtaların bırakılmasını) engelleyen sentetik bir taklidini geliştirmesi, özellikle kadınlar için yeni bir cinsel özgürlük çağını müjdelemiştir.

Bu, Djerassi'nin kariyerinin yalnızca başlangıcıydı. 1959'dan itibaren Stanford Üniversitesi'nde kimya profesörü olan Djerassi aynı zamanda bilim ve bilimsel araştırma konusunda oyunlar ve romanlar kaleme almış ve bu türe kurgulu bilim (science-in-fiction) adını vermiştir.

Ek okuma

Judson, Olivia, *Dr Tatiana's Sex Advice to All Creation: The definitive guide to the evolutionary biology of sex* (Londra: Vintage, 2003).

9

Adam adama savunma

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *vücudunuz istilacılara karşı neden bu kadar saldırgan tepkiler verir*
- *virüs ve bakteriler vücudumuzun hücrelerine ne tür bir zarar verir*
- *istilacılar vücudumuzun savunmalarından nasıl sıyrılıp geçer*
- *bağışıklık sistemimiz nasıl karşı koyar*

En son soğuk algınlığı ya da hafif bir gribe yakalandığınız zamanı hatırlayın. Muhtemelen birkaç hapşırık ve öksürükle başladı, ama daha ne olduğunu anlamadan kendinizi yorgun hissetmeye başladınız; ateşiniz çıktı, başınız ve kaslarınız ağrımaya başladı ve boğaz ağrısı baş gösterdi. Bu yüzden yattınız ve birkaç gün boyunca uyumak dışında pek bir şey yapmadınız. Kalktığınızda kendinizi daha iyi hissediyordunuz. İlk belirtilerin üzerinden yaklaşık bir hafta geçtikten sonra kendinizi yeniden kuş kadar hafif hissetmeye başlamıştınız.

Tebrikler, az önce nezle ve gribe neden olan rinovirüs, koronavirüs (nezle) ve gribe adını veren grip (ing. "influenza") virüslerini de içeren pek çok virüsten birinin neden olduğu enfeksiyonu atlattınız. İstilacı virüsle başarıyla mücadele eden

ve onu yenen bağışıklık sisteminiz sayesinde hastalığı atlatmayı başardınız.

Öte yandan, enfeksiyonunuzun hoş olmayan neredeyse tüm belirtilerinin sorumlusu istilacı değil bağışıklık sisteminizdi. Maalesef bu, hayatta kalmak için ödemeniz gereken bir bedel.

Başlıca istilacılar

Aslında çoğu durumda rinovirüsler, koronavirüsler ve grip virüsleri bağışıklık sisteminizin başına fazla dert açmaz. Bu yüzden soğuk algınlığı ya da hafif bir grip vakasını yalnızca birkaç gün yatakta dinlenerek atlatabilirsiniz. Fakat vücudunuz düzenli olarak her çeşit istilacıyla karşı karşıya kalmaktadır. Bu istilacı çeşitlerine başka virüsler, bakteriler, mantarlar, protozoa ve hatta parazit solucanlar da dahildir ve bağışıklık sisteminizin bunların hepsiyle baş etmesi gerekmektedir.

Fakat vücudunuz, bu istilacıların verdiği rahatsızlığın ölçüsüne bakmaksızın, neden hep böyle saldırgan tepki verir? Üstelik bu tepki, enfeksiyonun hoş olmayan belirtilerinin çoğunun sebebi olduğu halde? Eğer vücudumuz sadece bir yaşa-ve-yaşat tavrı benimseseydi ne olurdu?

Bu patojenlerin en başta vücudumuzun içine girmek istemesinin nedeni vücudumuzun, patojenlerin üremesi için iyi ve rahat bir ortam sunmasıdır. Maalesef bu üreme genellikle vücut hücrelerimizin ve dokularımızın zarar görmesiyle sonuçlanır.

VİRÜSLER

Proteinden örtüler içinde barınan DNA veya RNA gruplarından biraz fazlası olan virüsler, hücrenin kendi üreme

mekanizmasını gasp etmek suretiyle yalnızca hücrelerin içinde üreyebilirler. Üremeleri tamamlandığında konak hücreleri parçalayıp içinden çıkarlar ve bu süreçte konak hücre ölür. Dahası, virüsler, enfeksiyon kapmış hücrelerin kanser hücreleriyle birleşmesine ve hatta kanser hücrelerine dönüşmesine neden olabilir. Virüsler, soğuk algınlığı ve grip kadar kızamık, suçiçeği ve AIDS'in de sorumlusudur.

BAKTERİLER

Bakteriler kendi kendilerine üreyebilirler, ama vücudumuzun hücreleri için zehirli olan bir dizi bileşik salmak gibi pis bir alışkanlıkları vardır. Çoğu bakterinin günlük etkinliklerinin istenmeyen yan ürünlerinden ibaret olan bu bileşikler, protein üretimini engelleyebilen sitotoksinleri ve hücre zarlarının dağılmasına yol açan lizinleri içerir. Bakteriler, Salmonella ve Listeria gibi pek çok gıda zehirlenmesi türünün yanı sıra tüberküloz ve koleranın da sorumlusudur.

PROTOZOA

Tek hücreli ökaryotik organizmalar olan protozoa, dokularımızı ve hücrelerimizi istila etmeye eğilimlidir. İstilaları, dokunun zarar görmesi ve hücre ölümüyle sonuçlanır. Amipli dizanteri ve sıtmadan sorumludurlar.

Eğer herhangi bir denetleme olmasaydı, bu istilacılar hızla üreyerek en sonunda bizi öldürebilirlerdi. Aslında bağışıklık sistemimiz böyle bir istilada bozguna uğrarsa ve modern ilaçlar da yardım eli uzatmazsa olacağı tam olarak budur. Bu nedenle bağışıklık sistemimiz istila emareleri için sürekli tetiktedir ve tanımlanamayan her yabancı organizmayı hızla yok eder.

Ağız veya burun yoluyla giriş

Elbette öncelikle istilacıların vücudumuzun içine girmesi gerekir ki bu hiç de kolay değildir. İlk savunma hattımız çok sayıda düz, sımsıkı duran hücreden oluşan ve çoğu istilacı için içinden geçilemez bir bariyer oluşturan derimizdir.

Böyle olunca istilacılar, vücudumuza girmek için deliklerimizden birini kullanmaya yönelirler. Bu delik de sıklıkla ya ağzımız ya da burnumuzdur. İstilacıları ya soluk alırken—belki de halihazırda enfeksiyon kapmış birinin öksürmesi veya hapşırmasıyla—içimize çekeriz, ya da tükettiğimiz gıdaların içerisinde girerler.

KAN PIHTILAŞMASI

Gelgelelim bu da risksiz bir giriş yöntemi değildir, çünkü burnumuzun ve boğazımızın içini kaplayan mukus başta bakteriler olmak üzere çok sayıda istilacıyı öldürebilen bileşikler içerir. Bu bileşiklere, bakteriyel hücre duvarlarını parçalarına ayırabilen lisozimler ve bakterilerin, büyümeleri için gereken belli besinleri kullanmalarını engelleyen transferin dahildir. Midedeki asidik ortam da gıdayla bünyemize giren istilacıların birçoğunu öldürmeye yardımcı olur.

İstilacılar aynı zamanda deri bariyerimizdeki her türlü aralıktan, örneğin kesiklerden içeri girebilir. Bunun olmasını önlemek için kanımız hızla pıhtılaşarak bir başka fiziksel bariyer görevi gören bir kabuk oluşturur. Pıhtılaşmanın buna ek olarak bir başka yararı da çok fazla kan kaybetmemizi önlemesidir.

Pıhtılaşma, trombositler olarak bilinen kandaki hücre parçalarının kan damarlarındaki çatlakların etrafında doğal yolla birikmesi sonucunda oluşur. Bu birikme, kan kaybını

durdurmak üzere anında tıpa işlevi görür. Daha sonra, trombositler fibrin olarak bilinen uzun, lifli bir yapının oluşumunu desteklerler. Fibrin, çatlak üzerinde, liflerden üç boyutlu bir ağ oluşturur. Bu ağ, trombositler ve içinde hapsedilen başka hücrelerle birlikte kabuğu meydana getirir.

Doğuştan gelen bağışıklık sistemi

Gelgelelim kişisel tecrübelerimizden de bildiğimiz üzere kan akışının durması, oldukça küçük bir kesik bile olsa birkaç dakika sürer. Bu süre zarfında istilacıların vücudun içine girmek için yolları açıktır. Vücut, bu potansiyel tehlikeden ötürü, deri bariyerinde bir çatlak saptar saptamaz bağışıklık sistemimizin ilk dalgasını, yani doğuştan gelen bağışıklık sistemini harekete geçirir.

Bu harekete geçiş, bozuk derinin etrafındaki mast hücreleriyle tetiklenir. Bu hücreler, gördükleri zararın sonucu veya başka hücrelerin gördüğü zararın yarattığı döküntüye karşılık olarak bir dizi kimyasal salgılar. Bu kimyasallar, nötrofiller ve makrofajlar dahil olmak üzere çeşitli bağışıklık sistemi hücrelerini bozulmanın olduğu bölgeye çekmek için çalışırlar.

Bu bağışıklık sistemi hücreleri normalde kanın içinde deveran ederler ve burada toplu olarak (tüm vücuda oksijen dağıtan alyuvarların tersine) akyuvarlar adını alırlar. Mast hücreleri tarafından salgılanan kimyasallardan biri de kan damarı duvarlarını daha geçirgen hale getiren histamindir. Histamin, çok büyük miktarlarda nötrofil ve makrofajın kan damarlarından dışarı çıkarak bozulmanın etrafındaki dokuya ulaşmasını ve aradan kaçmış olabilecek istilacıları avlamasını sağlar.

KALIP TANIMA RESEPTÖRLERİ (KTR'LER)

Vücudumuz, kalıp tanıma reseptörleri olarak adlandırılan (KTR'ler) bir dizi farklı bileşik barındırması sayesinde bunu yapabilmektedir. Bu reseptörler, bakterilerin yüzeyindeki karakteristik molekülleri ve viral DNA ile RNA'yı tanıyıp bunlara bağlanırlar. Bu KTR'lerin bazıları kan ve dokuda bağımsız olarak varlığını sürdürürken, diğerleri hücrelerin yüzeyinde bulunur, fakat bir istilacıya bağlandıklarında nötrofiller ve makrofajlar için yol gösterici görevi görürler.

Nötrofiller ve makrofajlar, KTR ile sınırlanmış bir istilacıyla karşılaştıklarında istilacıyı tüketirler. Bunu, esasen, onları massedip sonra da lizozom (*bak.* 7. Bölüm) adı verilen özel organellerin içinde sindirerek yaparlar. Eğer *The Blob* (Büyüyen Canavar) adlı filmi görmüşseniz ana fikri anlamışsınızdır. Nötrofiller ve makrofajlar ayrıca, hücre döküntülerini parçalayıp ortadan kaldırmak amacıyla dış çevrelerine sindirim enzimleri salgılarlar.

Bunun yanı sıra, vücut sıcaklığının artmasına neden olan hormonların salgılanmasını tetiklerler. Bu da bakteri büyümesini baskılar ve enfeksiyonla savaşmak için enerjimizi koruyabilelim diye uykulu hissetmemize yol açar.

Doğuştan gelen bağışıklık tepkisi hızlı ve etkilidir ama aynı zamanda oldukça da rasgeledir. Çok miktarda nötrofil ve makrofaj, olası enfeksiyon mahalline akın ederek yüksek derişimli sindirim enzimleri salgılar ve şüpheli görünen her hücreyi yalayıp yutarlar. Dolayısıyla birkaç sağlıklı hücrenin çapraz ateşte kalması çok da şaşırtıcı olmaz. Hatta bağışıklık sistemi hücrelerinin bu büyük akını, sonuçta meydana gelen sıvı ve ölü hücre birikimiyle birlikte bir kesik veya yaranın etrafında oluşan tipik enflamasyona (iltihaplanma) yol açar.

Edinilmiş bağışıklık sistemi

Eğer doğuştan gelen bağışıklık sistemi ağır topsa, bir sonraki dalga—yani edinilmiş bağışıklık sistemi—taktik vuruş kuvvetidir.

Edinilmiş bağışıklık sisteminin özel birlikleri, enfeksiyon mahalline nötrofil ve makrofajlardan sonra ulaşan ve lenfositler olarak bilinen akyuvarlardır. Taktik hassasiyetleri, her lenfositin yüzeyinde yalnızca belirli bir moleküle tepki veren eşsiz bir reseptör sınıfına sahip olmasından kaynaklanır.

Bu reseptör, reseptörü inşa etmek için gereken genlerin büyük bir akraba gen grubundan rasgele birleştirildiği akıllı bir genetik mekanizma tarafından üretilmiştir. Sonuç olarak her bir lenfosit eşsiz bir reseptör üreten farklı bir birleşime sahiptir. Biyologlar, ortalama yetişkin bir insandaki lenfositlerin muhtemelen 1 milyara kadar farklı molekülü tespit edebildiğini tahmin etmektedir.

Lenfositler de, nötrofiller ve makrofajlar gibi istilacı avlarlar. Bunu, özgül yüzey reseptörlerine bağlanan molekülleri arayarak yaparlar. Özgül yüzey reseptörleriyle istilacıyı tanıyamayan ve vücut hücrelerini yanlışlıkla düşman olarak algılayan lenfositler vücut tarafından yok edilir, çünkü lenfositteki reseptörlere yakalanan her molekül bir istilacıdan geliyor olmalıdır. Çoğunlukla bakteriyel hücre duvarları veya viral örtülerin proteinleri olan bu türden yabancı moleküllere antijenler adı verilir.

Belirli bir lenfosit, vücut dokusu içinde yüzen ya da başka hücreler tarafından sunulmuş bir antijen tespit ettiğinde hızla ürer. Bütün kopyalar orijinal lenfosit olarak aynı reseptöre sahip olsa da çok çeşitli işlevler görmek üzere olgunlaşırlar.

B lenfositleri olarak bilinen bazıları, reseptörlerinin çok sayıda kopyasını salgılamaya başlar. Antikor olarak adlandırılan bu kopyalar istilacılara bağlanırlar. Tıpkı KTR'ler gibi bu antikorlar da nötrofil ve makrofajların tüketmesi için istilacıyı işaretlerler. Sitotoksik T lenfositleri olarak bilinen diğerleri, hücre duvarları ve zarlarını yıkabilen proteinler ve de hücrelerin intihar etmesine neden olan kimyasallar salgılayarak hem istilacılara hem de enfeksiyon kapmış hücrelere doğrudan saldırmaya başlarlar. Başkaları, bellek lenfositleri olarak bilinen lenfositlere dönüşür. İlk enfeksiyon yenilgiye uğratıldıktan sonra bu bellek lenfositleri, aynı antijene sahip istilacıların olası bir tekrar saldırısına karşı sürekli tetikte kalarak vücut içinde deveran etmeye devam eder.

Edward Jenner, 1749-1823

Aşıların işe yaramasını bellek lenfositlerine borçluyuz. Anafikir, belirli bir istilacıdan bir antijeni, örneğin viral bir örtüden veya bir bakterinin hücre duvarından alınan bir proteini vücuda enjekte etmektir. Bu bir bağışıklık tepkisi başlatacak fakat enfeksiyona neden olmayacaktır.

Bu bağışıklık tepkisi antijene karşı çok sayıda bellek lenfositinin üretimini içerir. Bu bellek lenfositleri bağışıklık sisteminin gerçek bir enfeksiyon durumunda hızlı tepki vermesini, böylece istilacının daha soruna yol açma fırsatı bulamadan mağlup edilmesini sağlar. Aşı esasen, bağışıklık sistemini belli hastalıklara karşı hazırlamanın bir yoludur.

Aşının gelişmesine Edward Jenner adında bir İngiliz bilim adamı öncülük etmiştir. Jenner, inek çiçeği hastalığı kapan sütçü kadınların daha öldürücü olan ve o dönemde Avrupa'yı kasıp kavuran çiçek hastalığına yakalanmadıklarını fark etmişti. İnek çiçeğinin sebep

olduğu irinli lezyondan aldığı örneği James Phipps adında genç bir çocuğa enjekte etmiş ve çocuğun daha sonra çiçek hastalığına bağışıklık geliştirdiğini ortaya çıkarmıştı.

Jenner'ın bu aşıyı geliştirerek, bugüne kadar yaşamış herhangi birinden çok daha fazla hayat kurtardığı kabul edilmektedir.

İKİNCİL LENFOİD ORGANLAR

Aynı genel bağışıklık tepkisi istilacılar vücudumuza başka giriş noktalarından girdiklerinde de olur. Gelgelelim bu durumda vücudun bir sorun olduğunu fark etmesi daha zordur. Vücut bir kesikle anında savunmaya geçer ama istilacı ağızdan girerse böyle olmaz. Bu nedenle vücut bir sistem geliştirmiştir. Şüpheli antijenler vücudun çeşitli yerlerinde bulunan ve yüksek derişimde lenfosit içeren özel noktalara götürülürler. İkincil lenfoid organlar adı verilen bu organlardan bazıları dalak, bademcikler, apandis ve lenf düğümleridir.

Nezle veya hafif bir gribe yakalandığımızda ne olduğuna dair parçaları artık birleştirebiliriz. İlk belirtiler olan yüksek ateş, burun akıntısı, boğaz ağrısı ve eklem ağrısı doğuştan gelen bağışıklık sisteminin anında verilen ve ayrım yapmayan tepkileridir ve enflamasyona neden olurlar. Birkaç gün sonra, edinilmiş bağışıklık sistemi devreye girer ve istilacıları vücuttan atmaya başlar. Bu süre zarfında doğuştan gelen bağışıklık sistemi etkisini yitirir. Sonuç olarak kendimizi daha iyi hissetmeye başlarız.

Dahası, bellek lenfositleri daha önce karşılaştıkları istilacıları hemen tanıyıp icaplarına bakarak aynı enfeksiyonu ikinci kere kapmamızı önlerler. Bağışıklık sistemimizin acımasız olması bizim için şanstır.

Hatasız bağışıklık sistemi olmaz

Bağışıklık sistemimiz iyidir ama hatasız değildir. Her şeyden önce, insanlar sürekli bulaşıcı hastalıklara yakalanarak ölmektedir. Elbette bağışıklık sisteminin, yaşlılık veya kötü beslenme nedeniyle tam çalışmıyor olması bu ihtimali artırır.

Gelgelelim bazı durumlarda istilacılar bağışıklık sistemini mat etmek için özel stratejiler geliştirmiştir. Örneğin, tüberküloza ve Lejyoner hastalığına neden olan bakteriler de dahil olmak üzere belli bakteriler nötrofiller ve makrofajlar tarafından yutulsalar da sağ kalabilmektedir. Bunun nedeni kalın, enzime dayanıklı bir dış tabakaya veya kapsüle sahip olmaları veya lizozomlara girmelerini engellemenin yollarını bilmeleridir.

Diğer taraftan, bağışıklık sisteminin aklı karışabilmekte ve zararsız moleküllerin aslında tehlikeli antijenler olduğuna karar verebilmektedir. Eğer zararsız molekül, polen veya besin parçacıkları gibi vücudun dışında üretilmişse sonuç saman nezlesi gibi bir alerji olur. Eğer zararsız molekül vücudun kendi hücreleri tarafından üretilmişse egzama veya diyabet gibi bir otoimmün hastalıkla sonuçlanır.

Gelişmiş dünyada alerjiler ve otoimmün hastalıklar gitgide yaygınlaşmaktadır. Bunun olası bir açıklaması, hijyen ve temizliğe dair modern takıntımızın bağışıklık sistemlerimizi istilacılara yeterince maruz bırakmamasıdır. Onlar da sonuç olarak yanlış hedeflere saldırmaktadır.

Ek okuma

Crawford, Dorothy H., *Deadly Companions: How microbes shaped our history* (Oxford: OUP, 2009).

10

Sinirlerin saldırısı

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *farklı nöron türleri nasıl bağlanır*
- *nöronlar aksiyon potansiyellerini birbirlerine nasıl taşır*
- *etrafımızdaki dünyayı nasıl algılarız*

Öyle tahmin ediyorum ki okumak size gayet kolay geliyordur. Hatta bu sayfayı keyifle okurken bir fincan çay veya kahve içiyor, bisküvi yiyor ve belki de müzik dinliyorsunuzdur. Bu sizin için gayet doğal ve bunun için özel bir çaba sarf etmiyorsunuz.

Ama beyninizin ve sinir sisteminizin şu an aslında yapmakta olduğu onca şeyi düşünün. Gözleriniz sayfayı tarıyor, harfleri oluşturan çok sayıda açık ve koyu karışıtlığı seçiyor; eliniz bardağı, kupayı veya bisküviyi tutmak için dikkatlice uzanıyor ve dudaklarınıza götürüyor; burnunuz ve diliniz kahveyi, çayı veya bisküviyi oluşturan karmaşık kimyasal karışımı kayıt altına alıyor ve kulaklarınız sürekli değişmekte olan bir ses dalgası akışına tepki veriyor.

Sonra tüm bu duyular, bunları dış dünya algınızı inşa etmek için kullanacak olan beyne gönderiliyor. Beyin, açık ve koyu arasındaki karşıtlığı harflere, harfleri anlaşılabilir kelimelere ve cümlelere dönüştürüyor. Diliniz ve burnunuzdaki reseptörler

tarafından tespit edilen kimyasalları çekici aroma ve tatlara, ses dalgalarını ise hoş bir melodiye dönüştürüyor. Ve tüm bunları aynı anda, sizi sürekli hatta hiç düşünmek zorunda bırakmadan yapıyor. Az bir beceri sayılmaz.

Nöron

Daha da etkileyicisi bu beceri basit bir hücrenin etkinliğine bağlıdır ya da daha kesin konuşmak gerekirse beynimizi ve sinir sistemimizi meydana getiren 100 milyar sinir hücresinin ya da nöronun etkinliğine. Daha da kesin olmak gerekirse, tüm o etkileyici duyusal ve düşünsel yetilerimizi ve hatta başlı başına bilinçli olmamızı aslında bu 100 milyar sinir hücresi arasındaki 100 trilyon bağlantıya borçluyuz.

Yine de, klasik nöronunuz uzatılmış bir tür ağaç ya da uzaylı garip bir yaratık gibi göründüğünden oldukça iticidir (*bak.* Şekil 10.1). Çekirdek ve bildiğimiz diğer hücre düzeneğini barındıran merkezi bir hücre gövdesinden oluşur. Hücre gövdesinden, her biri çok sayıda kola ayrılabilen dendrit adında birkaç çıkıntı çıkar. Hücre gövdesinin altından ise akson olarak bilinen çok daha uzun tek bir çıkıntı çıkar ve ancak en uzak ucunda dallanır. Bu kolların her biri yumru şeklinde, terminal buton adı verilen bir yapıyla son bulur.

Fakat bu klasik tasarımın yanı sıra büyük bir çeşitlilik vardır. İnsan nöronlarının boyutları, beyinde bulunanların birçoğu gibi küçük olanlardan, omuriliğin aşağısından başlayıp ayak kaslarına kadar yaklaşık 100 cm esneyen büyüklüktekilere kadar uzanır.

Bir aksonu ve çok sayıda dendriti bulunan klasik nöronlara multipolar denir ve en yaygın bulunan türdür. Bunun dışında bir akson, bir dendrit ve ikisi arasında bulunan hücre

gövdesinden oluşan bipolar nöronlarla birleşmiş tek bir dendrit ve akson ve bir köşede de hücre gövdesinden oluşan psödounipolar (yalancı unipolar) nöronlar vardır.

Dahası klasik nöronunuzun diğer sinir hücreleriyle ortalama 1.000 bağlantısı bulunurken bazılarının çok daha fazla bağlantısı vardır. Örneğin, beynin beyincik adlı bir kısmında bulunan Purkinje hücresi olarak bilinen bir nöron türünün yaklaşık 200.000 bağlantısı vardır. Birbirinden farklı tüm bu nöron türlerinin ortak özelliği her birinin—kimi zaman birleşmiş de olsa—en az bir dendrit ve bir aksondan oluşmasıdır.



Şekil 10.1 Nöron veya sinir hücresi.

NÖRONLAR ARASINDAKİ BAĞLANTILAR

Bu basit yapı, farklı nöronların birbirlerine nasıl bağlandıklarına dair iyi bir fikir veriyor olmalı. Esasen, her nöronun aksonunun ucunda bulunan butonlar bir veya birden fazla başka nöronun üzerindeki dendritlere bağlanır. Gelgelelim çoğu durumda, dendritler ve aksonlar arasında doğrudan fiziksel bir temas yoktur. Onun yerine sinaps olarak bilinen ve ikisini birbirinden ayıran küçük bir boşluk vardır.

Öyleyse, özellikle de esasen temas etmedikleri halde iki nöronun bağlantılı olduğunu söylediğimizde neyi kastederiz? Bütün mesele, nöronun bir sinyal taşıyor olması ve bağlantılı nöronlar arasından geçirilen şeyin bu sinyal olmasıdır. Dahası bir nöron, bilgisayar gibi elektronik aletlerde bulunan kablolar ve devrelerdeki gibi bir elektrik sinyali taşır. Fakat elektronik aletlerde elektrik sinyali elektronlardan oluşurken, nöronlarda iyonlardan oluşur (*bak*. 2. Bölüm).

ANYONLAR VE KATYONLAR

Pozitif yüklü katyonlar ve negatif yüklü anyonlar, hücrelerin hem içinde hem de dışında olmak üzere bütün vücutta bulunurlar. Gelgelelim her hücrenin etrafında eşitsiz bir anyon ve katyon dengesi vardır. Nöronun içinde daha fazla anyon, dışında ise daha fazla katyon bulunur.

Sonuç olarak her nöronun iç kısmı negatif yüklüdür. Bunun kısmen nedeni, nöronların sodyum katyonlarını etkin biçimde hücreden dışarı taşıması ve hücre zarlarındaki özel gözenekleri kapalı tutarak geri dönmelerini engellemesidir.

Nöron, aksiyon potansiyeli olarak bilinen bir sinyal üretmek istediğinde aniden bu gözenekleri açarak sodyum katyonlarının

içeri doluşmasına ve böylece nöronu negatif yüklüden pozitif yüklüye çevirmelerine neden olur. Bu değişim, nöronun her yerinde aynı anda gerçekleşmez; nöronun belli bir kesiminde gerçekleşir. Fakat bir kesimde negatiften pozitife geçilmesi yanındaki kesimde bulunan gözenekleri açar ve böylece aksiyon potansiyeli, dendritlerden aksonlara inerek nöron boyunca yol alır.

Aksiyon potansiyeli geçtikten sonra gözenekler yeniden kapanır ve nöron sodyum katyonlarını dışarı doğru pompalamaya başlar. Bir sonraki aksiyon potansiyeli için hazırdır. Bütün bu işlem çok hızlı gerçekleşir, öyle ki ortalama bir nöron saniyede yaklaşık 200 aksiyon potansiyeli taşıyabilir.

NÖROTRANSMİTTERLER

Aksiyon potansiyeli aksona ulaştığında terminal butonları nörotransmitter adı verilen özel bir kimyasal salgılaması için uyarır. İnsan sinir hücreleri, dopamin gibi küçük moleküller ve insülin gibi küçük peptitler de dahil olmak üzere 50'nin üzerinde farklı türde nörotransmitter kullanırlar.

Bu nörotransmitterler sinaps boyunca yayılır ve komşu nöronun dendriti üzerindeki reseptörleri uyararak nörotransmitterin ve reseptörün doğasına bağlı olarak iki etkiden birine neden olur. Nörotransmitter ya diğer nöronu uyararak bir aksiyon potansiyelini teşvik eder ya da bir aksiyon potansiyelinin meydana gelmesini durdurarak engeller.

Herhangi bir zamanda, bir nöron çok sayıda başka nörondan kimi uyarıcı kimi engelleyici olan sinyaller alır. Yalnızca uyarıcı sinyaller engelleyici sinyallere ağır bastığında bir aksiyon potansiyeli aksonuna doğru nöron boyunca yol alır.

Dahası nöronlar birbirleriyle çok farklı türlerde bağlantı kurabilirler. Örneğin, akson terminal butonları yalnızca dendritlere bağlanmakla kalmaz, aynı zamanda hücre gövdeleri, aksonlar ve diğer terminal butonlarıyla da bağlanabilirler. Böylelikle nöronlar birbirlerinin etkinliği üzerinde hatırı sayılır ölçüde bir denetime sahip olabilirler.

Yani insan beyni ve sinir sistemi etkileşen nöronlardan meydana gelen son derece karmaşık bir ağdan oluşmaktadır. Bilim insanları bu ağı tamamen anlamanın hâlâ çok uzağındadır.

DUYU RESEPTÖRLERİ

Ama eğer nöronlar, aksiyon potansiyellerini yalnızca birbirlerine taşımakla ilgileniyorlarsa bu aksiyon potansiyelleri nasıl başlar? Eğer bir aksiyon potansiyelini en başına kadar geri sarabilseydik, en başı neresi olurdu? En başını ararken kendinizi, dünyayı bize gösteren duyu reseptörlerinde bulurdunuz: Gözdeki, ışığı algılayan çubuk ve konilerde (*bak.* 7. Bölüm); iç kulaktaki, ses dalgalarını algılayan küçük kıllarda; dilimizdeki tat reseptörlerinde ve burnumuzdaki koku reseptörlerinde ve son olarak da derimizi kaplayan çeşitli acı, sıcaklık ve basınç reseptörlerinde.

Tüm bu reseptörler nöronlara bağlıdır ve ışık ya da ses ya da belli bir kimyasal algıladıklarında o nöronda bir aksiyon potansiyeli uyarırlar. O aksiyon potansiyeli, karmaşık nöron ağı aracılığıyla en sonunda beyne ulaşır.

Nasıl görürüz?

Görmeyi ele alalım. Her bir çubuk ve koni retina ganglion hücresi olarak bilinen bir nöron türüne bağlıdır. İnsan gözünde

yaklaşık 126 milyon çubuk ve koni varken yalnızca 1 milyon ganglion hücresi bulunur. Böyle olunca da her bir ganglion hücresi çubuklar ve konilerden oluşan bir gruptan sinyaller alır.

Daha da önemlisi, her bir gruptaki çubuklar ve koniler aynı civarda yer alırlar. Bu da, her ganglion hücresinin retinanın çok küçük bir parçasından gelen tepkileri algıladığı anlamına gelir. Bu küçük parça, retinanın alıcı alanı olarak bilinir. Dahası bu alıcı alanlar üst üste biner ve ayrıca ışık yoğunluğundaki değişimlere de azami düzeyde duyarlıdır.

Bu retina ganglion hücrelerinin aksonları bir araya gelerek optik siniri oluşturur. Optik sinir her bir gözün arkasından çıkarak beyne ulaşır, en sonunda da görme merkezi olarak bilinen bir bölgeye, özellikle V_1 olarak adlandırılan bir alana varır. Burada, 1 milyon ganglion hücresi tarafından üretilen sinyaller işlenmeye başlar.

Ganglion hücrelerinin alıcı alanlarının, ışık yoğunluğundaki değişimlere azami düzeyde duyarlı olduğunu yukarıda öğrenmiştik. Bu çoğu zaman, bu harfler ve beyaz sayfa arasındaki köşelere benzeyen köşelere karşılık gelir. Görme merkezinin V_1'i, olası her açıdaki köşelere topluca tepki veren nöronlar içerir. Dolayısıyla ilk işleme düzeyinde beyin, sinyalde bulunan tüm köşeleri tespit eder.

Görme merkezinin diğer alanları sinyalin başka yönlerine tepki verir. Örneğin V_3 derinliğe, V_4 renge ve V_5 ise harekete tepki verir. Böylece ganglion hücresinden gelen sinyal, sırasıyla, görme alanının her biri farklı bir şeye tepki veren çok sayıdaki alanlarına geçer.

Kör noktanızı görmek

Her gözün retinasında, optik sinirin gözü terk ettiği bir delik vardır. Tahmin edilebileceği üzere retinanın bu bölgesinde çubuklar ve koniler yoktur, bu nedenle de buraya kör nokta denmektedir. Normalde kör noktayı fark etmeyiz çünkü her gözde farklı bir yerde bulunur. Yani bir gözün görme alanı diğer gözün kör noktasını telafi eder.

Ama kör noktanızı şu yolla bulabilirsiniz: Ayakta dururken başınızı bir masanın üzerine doğru eğin ve elinizde de ucu silgili bir kurşun kalem olsun. Bir gözünüzü kapatın ve kurşun kalemi masanın biraz üzerinde ve burnunuzun tam altında yatay olarak tutun. Masaya bakarken, kurşun kalemi açık olan gözünüzün olduğu yöne doğru hareket ettirin. Kurşun kalemi 15 cm kadar hareket ettirdikten sonra ucundaki silgi gözden kaybolacaktır. İşte kör noktanız orasıdır.

DUYULARIMIZ FAKA BASTIRIYOR

Beyindeki nöronlar, 1 milyon farklı aksiyon potansiyelini bu yolla tutarlı bir görsel imgeye dönüştürür. Benzer bir işlem, vücudun içindeki ve diğer alanlarındaki reseptörlerden gelen sinyallerle de gerçekleşir.

Ne kadar etkileyici olursa olsun tüm bunların sinir bozucu bir yanı da vardır, çünkü etrafımızda algıladığımız dünyanın aslında beynin bir kurgusu olduğu anlamına gelmektedir. Duyularımız bizi faka bastırır, dünyayı doğrudan algılayamayız. Beynimizin bize doğru bir suret sunduğuna güvenmekten başka şansımız yoktur.

Bize sunulan suretin tam olarak ne kadar doğru olduğunu belirlemek, binlerce yıl boyunca en parlak felsefecilerin

zihinlerini meşgul etmiştir. Bu aynı zamanda 1999 yapımı bilim kurgu filmi *The Matrix*'in de ana konusudur. Filmin kahramanı, normal hayatının bir yanılsama olduğunu ve aslında bir küp içinde bir tür insan batarya gibi yüzmekte olduğunu keşfeder.

Talihsizlikten ders çıkarmak

Bilim insanları insan beyninin işleyişini anlamak için yıllar boyunca sayısız yöntem kullanmıştır. Geçmişte bu yöntemler çoğunlukla beynin farklı bölgelerini doğrudan elektrikle uyarıp sonuçları kaydetmeyi içeriyordu. Bugünlerde bilim insanları, beyin faaliyetinin bir ölçüsü olarak, beynin farklı kısımlarına kan akışını izleyen pozitron emisyon tomografisi gibi müdahalesiz teknikler kullanmayı tercih etmektedir.

Bir başka yöntem ise kaza veya felç sonucu oluşmuş yerel beyin hasarlarının etkisini araştırmak olmuştur. Bu, beynin, farklı alanlarda aynı duyumsamanın—mesela bir görsel imgenin—farklı yönlerini işlediğini ortaya çıkarmıştır ve dolayısıyla bu farklı alanların aldığı hasar farklı tür etkilere yol açar.

Örneğin, görme merkezinin belli bir alanının aldığı hasar insanların ister gerçek, ister sanal olsun nesneleri tanıma yetisini kaybetmelerine neden olmaktadır. Başka bir alanın aldığı hasar insanların hareketi algılama yetisini kaybetmesine neden olmakta, öyle ki bardaktan akan su havada asılı görünmektedir. Yine başka bir alanın aldığı hasar ise insanların ellerini nesnelere doğru uzatma ve onları alıp kaldırma yetilerini kaybetmelerine neden olmaktadır.

Ek okuma

Gibb, Barry J., *The Rough Guide to the Brain* (Londra: Rough Guides, 2007).

III. Kısım

Yeryüzü, rüzgâr ve ateş

11

Ayaklarımızın altındaki yer

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *Dünya'nın temel yapısı nasıl değişti*
- *levha tektoniği ve kıtaların hareketi*
- *Dünya'yı çevreleyen manyetik alan*

Biz çelimsiz insanlar için kayaçların, dağların ve kıtaların jeolojik dünyası oldukça statik görünür, yaşamın sürekli değişen manzarası için adeta bir zemin sağlar. Fakat yüzlerce milyon yıllık bir zaman ölçeğinde bakıldığında Dünya coğrafyası çok daha dinamik bir hal alır.

Kıtalar Dünya yüzeyinde çarpışan arabalar gibi oradan oraya son hız gider, belirli aralıklarla birbirlerine çarparak devasa zincirleme kazalar halinde yığılır, sonra da aksi yönlere doğru fırlayıp uzaklaşırlar. Bu devasa çarpışmalar kıtalarda sıradağlar halini alan dalgalanmalar oluşturur, bunlar daha sonra rüzgâr ve yağmurla gitgide aşınarak yok olur. Çılgın sıcaklık değişimleri, yer yüzeyini, kavrulmuş çorak bir araziden buzulla kaplı bir kartopuna dönüştürür; manyetik kutuplar bile tekrar tekrar konum değiştirir. Ve bu nefes kesici hareketlilik Dünya'nın var olduğu ilk andan beri devam etmektedir.

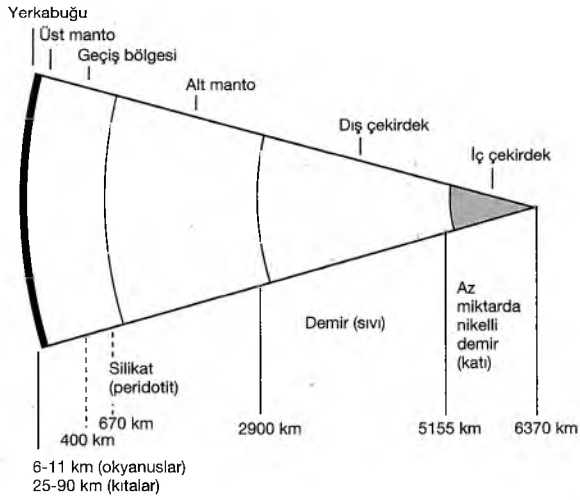
Dünya'yı 3. Bölümün sonunda (veya 4,5 milyon yıl önce) bıraktığımızda Güneş'in yörüngesinde dönen toz ve gaz diskinden topladıklarıyla en son kütlesine yeni ulaşmıştı. Sonlara doğru bu işlem epey şiddetlenmeye başlamıştı. Çeşitli boyutlarda kayalık gövdeler Genç Dünya'ya ardı ardına çarpıyordu, bunların bazıları küçük gezegenlerin boyutundaydı. Bu şiddetli bombardıman çok fazla ısı üreterek Dünya'yı dev bir eriyik ateş topuna dönüştürmüştü.

Dünya'nın temel yapısı

Bunun sonuçlarından biri şu olmuştur: Eriyik demir, eriyik silikattan daha yoğun olduğu için Dünya'nın içindeki demirin büyük kısmı onu çevreleyen silikatlardan ayrılmış ve Dünya'nın merkezinde toplanarak çekirdeği oluşturmuştu. Bu sırada Dünya'nın yüzeyi gitgide soğumakta ve eriyik silikatların dış katmanını katı bir kabuğa çevirmekteydi.

Yani Dünya bugüne kadar devam eden temel yapısını daha doğar doğmaz kazanmıştı (*bak.* Şekil 11.1). Dünya'nın merkezinde iç çekirdek adı verilen, 2.400 km çapında ve yaklaşık 5.500°C sıcaklığında katı bir demir küre vardır. Bunun etrafında dış çekirdek olarak bilinen, 2.300 km kalınlığında ve 4.000-5.000°C sıcaklığında sıvı bir demir katmanı bulunur.

Dünya'nın merkezindeki sıcaklık, demiri eritmeye yetip de artmasına rağmen buradaki büyük basınçlar iç çekirdeği katı halde tutar. Gerçekte, demir birkaç kristal biçimde bulunur. Ayrıca, demir en fazla bulunan bileşik olabilir (yaklaşık yüzde 80), ama çekirdek bunun yanı sıra muhtemelen (aşağıya demirle birlikte inmiş olan) yüzde 5-10 nikel, yüzde 7 silikon, yüzde 4 oksijen ve yüzde 2 kükürt içermektedir.



Şekil 11.1 Dünya'nın yapısı

DÜNYA'NIN YERKABUĞU

Çekirdeği çevreleyen 2.900 km kalınlığındaki sıcak kayaç katmanı manto olarak bilinir ve burada sıcaklık, derinlikle birlikte çarpıcı biçimde artar. Öyle ki yerkabuğuna yakın bölgelerin sıcaklığı yaklaşık 500°C iken bu sıcaklık çekirdeğin yakınlarında yaklaşık 3.700°C'ye kadar yükselir. Bunun üzerinde, bizim ve diğer her şeyin yaşadığı yerkabuğu yüzmektedir. Yerkabuğunun kalınlığı bugün 6 km ile 90 km arasında değişmektedir.

Gelgelelim başlangıçta yerkabuğu daha tek tip ve genel olarak daha kalındı, kalınlığı da 25 km ile 50 km arasında değişiyordu. Mantonun erimesiyle oluşmuş tek bir kayaç türünden, sadece bazalttan oluşuyordu.

Mantoyu meydana getiren kayaçlar inanılmaz derecede sıcak olsalar da Dünya'nın içindeki muazzam basınçlar (iç çekirdekte olduğu gibi) kayaçların, tıpkı çok koyu bir jel gibi az çok katı kalmasını sağlamaktadır. Bu basınca, üzerinde bulunan kayacın ağırlığı neden olmaktadır. Bu da basıncın derinlikle birlikte arttığı anlamına gelir.

Fakat Dünya'nın yüzeyine yakın yerlerde basınç mantodaki kayaçların eriyebileceği bir seviyeye düşmekte ve magmayı meydana getirmektedir. Bu magma, Dünya'nın ilk dönemlerinde yüzeyde soğuduğunda bazalta dönüşmüştür.

Dolayısıyla ilk zamanlarında Dünya hızla bazalttan katı bir kabukla kaplanmıştı, ama bu çekirdekten yükselen sıcaklığın artık bir çıkış noktası kalmadığı ve kabuğun altında birikmeye başladığı anlamına geliyordu. En sonunda çok fazla ısı birikti ve bu ısı birikimi, yerkabuğunu yumurta kabuğu gibi çatlatarak taze magmanın çatlaklardan fışkırmasına neden oldu.

YENİ MAGMA

Magmanın bu yukarı doğru akışı yerkabuğunun çatlayan kısımlarını birbirlerinden ayrılmaya zorladı. Fakat Dünya artık daha fazla büyümediği için o genişleyen kısımların uzak köşeleri birbirlerinin altına kayarak mantoya dönmeye başladı. Ve bir defa mantonun fırınına girince erimeye başladılar. Gelgelelim, mantoya giren tek şey bu bazalt yerkabuğu değildi, çünkü katı bir yerkabuğunun varlığı, kuyrukluyıldızlarla gelen suyun Dünya'nın yüzeyinde birikmeye başladığı anlamına geliyordu. Bu nedenle bazaltla birlikte çok miktarda su da mantoya girerek oluşmakta olan magmanın bileşimini değiştirdi.

Bu yeni magma ya çatlaklardan ya da çoğalmakta olan volkanlar aracılığıyla art arda yüzeye ulaştığında soğuyarak

granit gibi yoğunluğu bazalttan daha düşük olan kayaçlar oluşturdu. Hafif bir taşın yumuşak çamura ağır bir taş kadar batmaması gibi bazalttan daha az yoğun olan bu granit de, altta yatan jelimsi mantonun dibine o kadar batmadı. Yüzme derecesindeki bu farklılık nedeniyle daha yoğun olan bazalt, deniz seviyesinin altındaki tabanı, daha hafif olan granit ise daha yukarıda uzanan kıtaları meydana getirdi.

Levha tektoniği

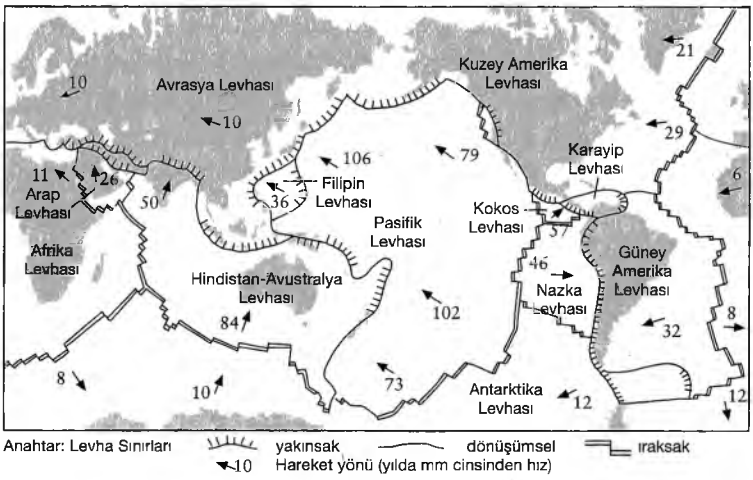
Yüzlerce milyon yıl içinde bu süreç bugün yaşadığımız kıtaları oluşturdu; aynı zamanda bu kıtaları harekete geçirdi. Yerkabuğunun çatlayan kısımları, aslında yerkabuğundan oluştukları halde, artık levhalar olarak bilinmektedir. Mantonun üst seviyesine ise topluca litosfer (taşküre) denmektedir. Bu levhalar, magmanın çatlaklar aracılığıyla mantodan yukarı çıkmasıyla büyümeye devam etmektedir. Artık sıradağ benzeri sırtlar halini almış bu levhaların çoğu okyanusların dibinde bulunmaktadır.

Aynı zamanda, bu levhaların uzak köşeleri de mantonun dibine batmaya devam etmektedir. Daha yoğun, bazalt bakımından zengin okyanus tabanının, daha hafif olan kıtasal yerkabuğunun altına daldığı bu sürece dalma-batma denilmektedir. Sonuç olarak, alttaki sıcak mantonun üzerine (ya da daha kesin konuşmak gerekirse, astenosferin yani litosferin altındaki manto katmanının üzerine) kaymak suretiyle bütün levha hareket etmektedir. Levha tektoniği olarak bilinen bu süreç taşıyıcı bant gibidir. Levha, mantonun bir ucunda belirmekte, diğer ucunda kaybolmakta ve hepsi mantonun içerisindeki ısı nedeniyle gerçekleşmektedir.

FARKLI TÜR SINIRLAR

Bugün Dünya'nın yüzeyi yedi tane ana levha ve birkaç tane de daha küçük levhadan oluşmakta ve bu görüntü, gelişigüzel bir deseni andırmaktadır (*bak.* Şekil 11.2). Bu levhalar üç farklı tür sınırda karşılaşır. Levhaların meydana geldiği sırtlar ıraksak sınırlar olarak bilinir, çünkü her sırttaki iki levha da aksi yönlere doğru hareket etmektedir. İki levhanın çarpıştığı yerler yakınsak sınırlar olarak bilinir. Dönüşümsel sınırlarda ise, tıpkı Kaliforniya'daki ünlü San Andreas fayında olduğu gibi iki levha aksi yönlere doğru, birbirlerini aşındırarak geçer.

Dahası, levhalar her çarpıştıklarında birbirlerinin altına dalmazlar. Dalma yalnızca, yoğun okyanus tabanı daha hafif olan kıtasal kabukla karşılaştıklarında gerçekleşir. Eğer iki kıtasal kabuk çarpışırsa, o zaman birbirlerine şiddetle bindirirler ve çarpışmanın kuvveti levha kenarlarını büker. Bu, 30 milyon yıl önce Hindistan alt kıtası ile çarpışan Güney



Şekil 11.2 Tektonik levhalar

Asya'da gerçekleşmeye devam etmektedir. Çarpışma, Himalaya Dağları'nın oluşumu ve süregelen büyümesiyle sonuçlanmıştır.

İnsanların zaman ölçeğinde levha tektoniği fazlasıyla yavaştır, öyle ki kıtalar, ayak tırnaklarınızın uzadığı hızda hareket eder. Birçok bilim insanının bunun gerçekleştiğine inanmayı uzunca bir süre reddetmesinin nedenlerinden biri de budur (*bak.* Kutu). Fakat jeolojik zaman ölçeklerinde, bu hareket hızı kıtaları tüm Dünya yüzeyi üzerinde patinaj yaptırmaya yeter.

Alfred Wegener, 1880-1930

Kıtaların hareket ettiği ve sıklıkla devasa süper kıtalar meydana getirdikleri fikri, ilk olarak 1915'te Alman jeofizikçi Alfred Wegener tarafından ortaya atılmıştır. Bazı kıtaların—örneğin Güney Amerika ve Afrika kıtalarının—yapboz parçaları gibi uyumlu olduğunu fark eden ilk kişi o değildi, ama bu içgörüyü mantıklı bir sonuca ilk o ulaştırmıştır.

O dönemde jeolog meslektaşlarının, özellikle de ABD'deki meslektaşlarının verdiği tepkilerin neredeyse tamamı olumsuzdu. Wegener'in kıtaların kayması olarak adlandırdığı teorisi, benzer kayaç ve hayvanların nasıl olup da Dünya'nın farklı yerlerinde bulunabildiği de dahil olmak üzere birtakım rahatsız edici bulguları açıklıyordu. Fakat teorisi, kıtaların hareket edebileceği akla yatkın bir mekanizma öne süremediği için güme gitmişti.

Fikrin, en sonunda 1950'ler ve 1960'larda geniş kabul görebilmesi için okyanus ortası sırtlarının keşfi, kıtalar arasındaki mesafelerin ayrıntılı ölçümü ve levha tektoniğinin gelişmesi gerekiyordu. O zamana kadar Wegener çoktan hayata veda etmişti. Wegener, Grönland'daki uzak bir bilim istasyonundan dönerken donarak ölmüştü.

SÜPER KITALAR

Levhaların hareketi, geçtiğimiz 4-5 milyar içinde en az iki (ve muhtemelen daha fazla) defa bütün kıtaların birbirine çarparak süper kıta olarak bilinen devasa bir kara kütlesi oluşturmalarına neden olmuştur. İlk süper kıtanın 1 milyar yıl önce oluştuğuna dair makul miktarda kanıt bulunmaktadır ve bu kıtaya Rodinia adı verilmiştir.

İlk bazalt kabukta da olduğu gibi aşağıdaki ısı birikimi nedeniyle kırılana kadar yaklaşık 200 milyon yıl geçmiştir. Yaklaşık 500 milyon yıl sonra, Pangea adı verilen ikinci bir süper kıta oluşmuştur. O da yaklaşık 180 milyon yıl önce kırılmış ve en sonunda bugün gördüğümüz kıta dağılımı ortaya çıkmıştır.

Kartopu Dünya

Kıtalar Dünya yüzeyi boyunca kaydıkça, özellikle de birleşip kutuplardan uzaklaştıklarında gezegenimizin iklimine önemli etkileri olur. Böyle olduğunda kıtalar şiddetli yağış alır. Bu şiddetli yağış kayaçları aşındırır ve atmosferdeki karbondioksiti ortadan kaldırır.

Karbondioksit bir sera gazı olduğundan (*bak.* 23. Bölüm) ortadan kalkması Dünya'nın soğumasına, bu da kutuplarda buz oluşmasına neden olur. Buz, beyaz olduğundan Güneş'ten gelen ısıyı uzaya geri yansıtarak Dünya'yı daha da soğutur. Normalde bu buzun kayaçları kaplayarak aşınma sürecini ve dolayısıyla atmosferdeki karbondioksitin ortadan kalkmasını da yavaşlatması gerekir. Ama kutupların yakınında kıtalar olmayınca, soğuma sürecini dizginleyecek hiçbir şey kalmadığından buz bütün Dünya'ya yayılır.

Bütün Dünya'nın en az iki defa, yaklaşık 750 milyon yıl önce ve 600 milyon yıl önce tamamen buzla kaplandığına

ilişkin kayaç-temelli bolca kanıt vardır. Her iki durumda da Dünya muhtemelen yaklaşık 10 milyon yıl boyunca buzla kaplı kalmıştır, ta ki volkanların karbondioksit çıkarması sonucu sıcaklık yeniden yükselene kadar. Yaşamın var kalabilmesi için bazı boşluklar kalmış olması gerektiğinden buz örtüsünün tam kalınlığı ve boyutu hakkında hararetli tartışmalar vardır.

Yani süper kıtalar 550-700 milyon yıllık bir döngü içinde oluşmaktadır. Bu da yeni bir tanesinin eşiğinde olduğumuz anlamına geliyor. Bir sonraki süper kıtanın ilk bileşenleri, Hindistan'ın Asya'ya ve Afrika'nın Avrupa'ya çarpmasıyla zaten yoluna girmektedir. Muhtemelen yaklaşık 250 milyon yıl içinde taşlar yerine oturacak ve son halini alacaktır. Amerika kıtaları ise hâlâ Avrupa'dan uzaklaşmaktadır ve bu uzaklaşma Amerika'nın en sonunda Asya'nın—giderek yakınlaştığı—uzak tarafına çarpmasıyla sonuçlanabilir.

DÜNYA'YI ÇEVRELEYEN MANYETİK ALAN

Yerin binlerce kilometre altında olmasına rağmen hâlâ yüzeydeki olaylar üzerinde önemli etkisi bulunan çekirdeği unutmayalım. Dış çekirdeği meydana getiren sıvı demirin hareketi Dünya'yı çevreleyen manyetik bir alan yaratmaktadır. Bu alan, dev bir çubuk mıknatıs gibi davranarak kuzey ve güney manyetik kutuplarını oluşturur.

Manyetizmaya duyarlı sayısız hayvana ve bize, yüzey üzerinde seyretmenin bir yolunu sunan bu manyetik alan, Güneş tarafından sürekli salınan yüklü parçacıkların akışına yani Güneş rüzgârına karşı bir kalkan oluşturur. Öyle ki bu kalkan olmasaydı yaşam Dünya'da muhtemelen tutunamazdı.

Dahası, bilim insanlarının hâlâ tamamen anlayamadığı nedenlerden ötürü manyetik alanın kutupsallığı tekrar tekrar tersine dönmekte, kuzey kutbu güney kutbu ve güney kutbu da kuzey kutbu olmaktadır. Yani bir sonraki tersine dönüşten sonra manyetik kuzeyi gösteren bir pusula aslında coğrafi güneyi gösteriyor olacaktır. Bu tersine dönüşlerin arasında geçen süreler epey değişkenlik gösterse de ortalama sürenin birkaç yüz bin yıl olduğunu söyleyebiliriz.

Dolayısıyla Dünya, jeolojik zaman ölçeğinde kesinlikle statik değildir. Bu yavaş jeolojik süreçlerin bazı sonuçları, insan zaman ölçeğinde bile son derece çarpıcı olabilmektedir.

Ek okuma

Fortey, Richard, *The Earth: An intimate history* (Londra: Harper Perennial, 2005).

12

Sallan yuvarlan

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *volkan ve depremlerin en yaygın olduğu yerler*
- *depremler neden olur, volkanlar neden püskürür*
- *neden bazı volkanik püskürmeler diğerlerinden daha patlayıcıdır*
- *depremler nasıl ölçülür*

İngiltere'de yaşayan insanlar genellikle hem meteorolojik hem de jeolojik bakımdan görece sessiz bir hayata alışkındır. Çoğunlukla, şiddetli sıcak veya şiddetli soğuğa katlanmak zorunda kalmazlar, kasırga gibi aşırı hava durumlarından mustarip değillerdir ve korkutucu tehlikeli hayvanlarla pek karşılaşmazlar. Dahası, ayaklarının altındaki sağlam zemin hareketsiz kalmayı sürdürür ve güvenlerini sarsmaz, ayrıca gökten yağan lavlardan kaçıp kurtulmaları da gerekmez.

Ama bu yeşil ve iç açıcı ülke bile Dünya'nın daha saldırgan eğilimlerine karşı tamamen bağışık değildir. İngiltere, 100 yılda bir azami büyüklüğü 5,4 olan 120 küçük depremle sallanmaktadır. Ama bu depremler olsa olsa hafif yapısal hasara ve hafif yaralanmalara neden olur.

Depremler

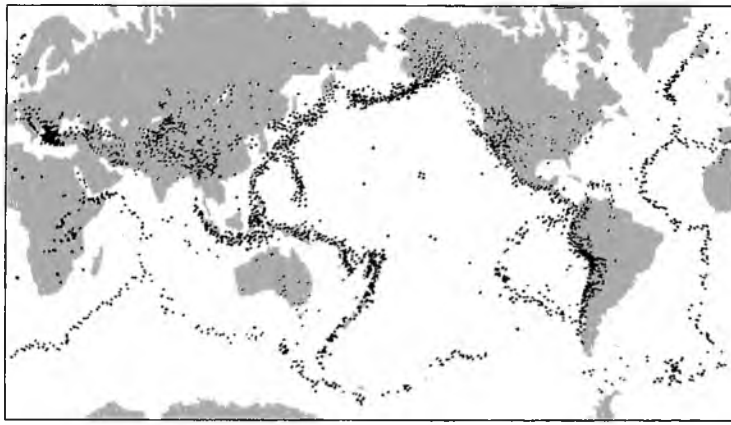
ŞİLİ DEPREMLERİ

Maalesef Dünya'nın başka bölgeleri bu kadar şanslı değildir (*bak.* Şekil 12.1). 27 Şubat 2010'da 8,8 büyüklüğünde bir deprem Şili'nin Pasifik sahilini vurdu. Elektrik, su ve telefon hizmetleri ülkenin büyük kısmında kullanılmaz hale geldi ve 1,5 milyondan fazla ev zarar gördü. Merkez üssü açık denizde bulunan deprem, aynı zamanda Hawaii, Kaliforniya, Japonya ve Yeni Zelanda'ya kadar ulaşan bir tsunami yarattı. Bu uzak yerlere ulaştığında tsunami gücünün çoğunu kaybetmiş ve kıyıya vuran dalgalar oldukça küçülmüştü. Fakat Şili sahilinin büyük bölümü canavar dalgalar tarafından dövüldü. Bu dalgalar bazı yerlerde normalden 1,8 m daha yüksekti. Mart 2010'un başında ölü sayısı 800'ün üzerindeydi; kayıp olduğu bildirilenlerin sayısı ise çok daha fazlaydı.

1900'den bu yana meydana gelen en büyük beşinci deprem olan bu deprem, Şili'nin uzun depremler tarihinin yalnızca son halkasıydı. Şili 1960'ta en büyük depremlerden birini yaşamış —9,5 büyüklüğündeydi—ve 1973'ten beri büyüklüğü 7,0 ve üzeri olan 13 deprem görmüştür. Dahası, Şili'de dağınık halde 50'nin üzerinde aktif volkan vardır. Aktif volkanlar olmaları, ilk püskürdükleri tarihin kayıt altına alınmış olduğu anlamına geliyor. Volkanlarından ikisi—Llaima ve Chaitén—2008'den bu yana bir püskürüp bir yatışarak civar alanların boşaltılmasına neden olmaktadır.

NEDEN ŞİLİ?

Depremler ve volkanik püskürmeler Şili'yi rahat bırakmazken neden İngiltere bir şekilde yakasını kurtarmaktadır? Yanıtı basit: Şili çarpışan iki tektonik levhanın üzerinde yer alırken



Şekil 12.1 Başlıca depremlerin konumları

İngiltere bir levhanın tam ortasında yer almaktadır. Son dönemde gerçekleşen depremlerin merkez üslerini ve aktif volkanların konumlarını işaretleyecek olursak, ağırlıklı olarak levhaların buluştuğu yerlerde veya levhaların oluşmakta olduğu yerlerde toplandıklarını görürüz (*bak*. Şekil 12.1 ve 12.2 ve bunları Şekil 11.2 ile kıyaslayın).

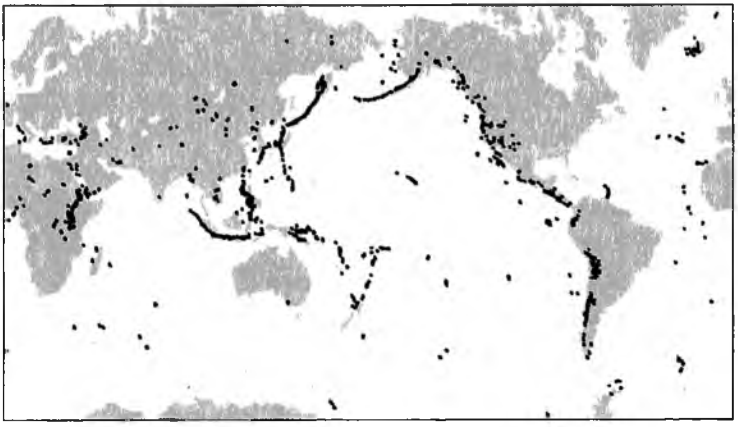
Aslında Şili, Pasifik Okyanusu etrafında bir sınır çizen ve jeolojik bakımdan Dünya'nın en aktif alanlarından biri olan "ateş çemberi" üzerinde yer almaktadır. Çemberin diğer tarafında Japonya bulunur. Üç levhanın birden sınırına yakın olduğu için Japonya'nın jeolojik olarak Şili'den daha lanetlenmiş olduğunu söyleyebiliriz. Sonuç olarak Japonya, Dünya'da açığa çıkan yıllık sismik enerjinin (yerkabuğu içerisindeki titreşimler) yüzde 10'una maruz kalmakta, her yıl 1.000 adet sarsıntı yaşamaktadır. Şili gibi Japonya'da da dağınık halde 50'den fazla aktif volkan vardır.

Dalma-Batma

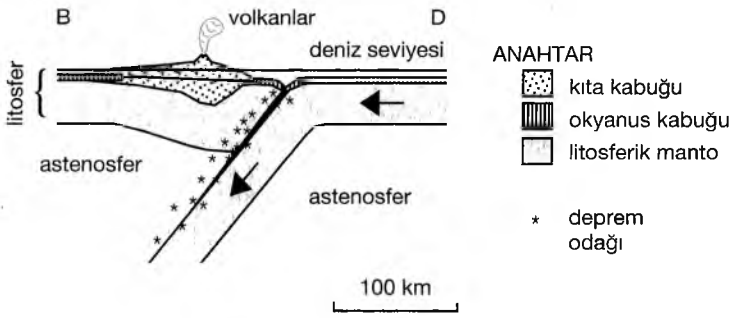
Şili'de meydana gelen son deprem yakınsak bir sınırdaki dalma-batmanın yan ürünüydü. Nazka levhasının yoğun okyanus tabanı, Güney Amerika'nın bütün Pasifik sahili boyunca Güney Amerika levhasının hafif kıtasal kayaçlarının altına dalmaktadır (*bak.* Şekil 12.3).

10. Bölümde bunun inanılmaz biçimde yavaş bir süreç olduğunu, hatta Nazka levhasının ayak tırnağımızın uzama hızında hareket ettiğini öğrenmiştik. Fakat bu, Nazka levhasının, Güney Amerika levhasının altına doğru tereyağından kıl çeker gibi kaydığı anlamına gelmez. Aksine, bu gayet dura kalka ilerleyen bir süreçtir.

Nazka levhası aşağı indikçe, üzerinde duran Güney Amerika levhasına yapışmaya devam eder. Bu yalnızca Nazka levhasının geri kalanı arkasında yığıldıkça gerilimin giderek birikmesiyle sonuçlanmaz, aynı zamanda Güney Amerika levhasının



Şekil 12.2 Başlıca volkanların konumları



Şekil 12.3 Batan levha

kenarını da aşağı doğru çeker. En sonunda gerilim öyle artar ki Nazka levhası kurtulur ve sarsılarak mantoya doğru iner.

Son Şili depreminde Nazka levhasının batan kenarı 20 metre dibe batmış olmalıdır. Nazka levhasının yılda yalnızca yaklaşık 50 mm hareket ettiğini düşünecek olursanız bu ciddi bir gerilim birikimidir. Bu aşağı iniş, Nazka levhasının tüm kenarı boyunca değil yalnızca belli bir kısımında gerçekleşmiş olmalıdır. Yine de bu, yüzlerce kilometre uzandığı anlamına gelir.

Nazka levhasının bu kısmı kurtulduğunda Güney Amerika levhası tıpkı bir ucu masaya sabitlenen cetvel gibi geriye doğru yaylanmış olmalıdır. Bu yaylanma, Dünya'nın 90 saniye boyunca şiddetle sallanmasına neden olarak deprem dediğimiz olayı meydana getirmiştir.

Tüm bunlar Pasifik Okyanusu'nun altında gerçekleştiği için Güney Amerika levhasının yönelimi üzerinde bulunan suyu hareketlendirerek tsunamiye neden olmuştur. Tüm tsunamilerde olduğu gibi hareketlenme okyanusun dibi boyunca ilerlediğinden, su yüzeyinde pek fazla işaret yoktu. Gemiler çoğu zaman tsunamilerin üzerinden geçtiklerini fark

etmezler bile. Tsunami yalnız kıyıya yaklaştığı zaman kendini belli eder.

DÖNÜŞÜMSEL SINIRLAR

Dünya'nın en büyük depremlerinin çoğunun sorumlusu dalma-batmadır ve bu depremlerden biri de 2004'te Noel'in ertesi günü Sumatra sahilini vuran ve devasa bir tsunami yaratarak 200.000'den fazla kişinin ölümüne yol açan 9,3 büyüklüğündeki depremdir. Fakat levhaların depremlere yol açmasının bundan başka yolları da vardır.

Kaliforniya'daki ünlü San Andreas fayının da depremlerde önemli bir payı vardır, fakat buradaki depremlerin nedeni dalma-batma değildir. Bunun nedeni San Andreas fayında karşılaşan iki levhanın yakınsak değil dönüşümsel bir sınır oluşturmasıdır. Birbirleriyle sürtünme içindedirler ve Pasifik levhası kuzeye doğru hareket ederken, Kuzey Amerika levhası güneye doğru hareket etmektedir.

Yine de, San Andreas fayında üretilen depremler hâlâ yapışmadan kaynaklanmaktadır, çünkü bu defa da levhalar birbirlerinin yanından öylece geçip gitmez, dura kalka ilerlerler. Levhaların karşı karşıya gelen kısımları birbirine yapışır ve bu, levhalar en sonunda kurtulup ilerleyene kadar gerilimin birikmesine neden olur. Açığa çıkan gerilim birikimi de deprem olmasına yol açar.

Ama depremin doğası farklıdır. Dalma-batma sonucu oluşan depremler, zemini hem dikey hem de yatay sallarken, dönüşümsel sınırların yol açtığı depremler zemini sadece yatay olarak sallar. Suyun altındaki dönüşümsel sınırlarda gerçekleşen depremler bu yatay hareket sayesinde tsunami üretmez.

Büyüklüğü ölçmek

Bir deprem hakkındaki haber bültenleri depremin büyüklüğünü her zaman belirtir: 27 Şubat 2010 günü Şili'yi vuran deprem 8,8 büyüklüğündeydi, 26 Aralık 2004 günü Sumatra sahilini vuran deprem ise 9,3 büyüklüğündeydi. Herkesin anladığı üzere büyüklük sayısı depremin gücüne karşılık gelmektedir: Yani Sumatra depremi Şili depreminden daha güçlüydü.

Daha az anlaşılan şey ise şudur: Moment büyüklük ölçeği olarak bilinen (ve daha çok tanınan Richter ölçeğinin bir versiyonu olan) bu büyüklük ölçeği, doğrusal değil logaritmik artar. Ölçekteki her adım, bir önceki adımdaki depremin 30 katından (açığa çıkan enerji bakımından) daha güçlü bir depremi temsil eder. Bu, 9 büyüklüğündeki bir depremin 7 büyüklüğündeki bir depremden 1.000 kat daha güçlü olduğu anlamına gelir.

Depremlerin büyüklüğü sismograf adı verilen bir cihazla ölçülür. Sismograf ilk olarak 1890'larda, Tokyo'da yaşayan İngiliz jeolog John Milne tarafından geliştirilmiştir. Bugün sismograflar hâlâ Milne'nin, hafif bir çerçeveye bağlanmış üç ağır ağırlıktan oluşan temel tasarımını korumaktadır. Deprem olduğunda çerçeve ağırlıklardan daha çok hareket etmekte ve hareketteki bu farklılık kaydedilmektedir. Daha güçlü depremler daha büyük farklar üretmektedir. Her ağırlık (iki yatay ve bir dikey) farklı yönde bir hareketi kaydeder.

Volkanlar

Yakınsak ve ıraksak sınırların aksine dönüşümsel sınırların volkanlarla da ilgisi yoktur (*bak.* Şekil 12.2). Bunun nedeni,

yakınsak ve ıraksak sınırlardaki fiziksel koşulların mantoyu eritmesi, bu erimenin yüzeye çıkabilecek magma üretmesi ve magmanın yüzeyde lav olarak püskürmesidir. Fakat dönüşümsel sınırlarda, alttaki manto erime eğiliminde değildir ve bu nedenle volkan oluşmaz.

Klasik bir volkan imgesi, tepesinde her yere lav püskürten bir krater bulunan dağ büyüklüğünde bir konidir ama aslında volkanlar çok değişkendir. Boyutları ve şekilleri püskürme sıklıklarına, püskürmelerinin ne kadar patlayıcı olduğuna ve ne kadar lav ürettiklerine bağlıdır.

LAV VE PİROKLASTİK PÜSKÜRÜK

Volkanlar, karakteristik lavanın yanı sıra, geniş bir alana püsküren incecik küllerden birkaç ton ağırlığındaki dev kayaç parçalarına kadar değişen boyutlarda kayalık malzeme de üretirler. Bir püskürme sırasında volkanın ürettiği kayalık malzemenin tamamına birden piroklastik püskürük adı verilir.

Bazı volkanlar lavdan çok piroklastik püskürük üretir. Bu tür bir volkan örneği, ABD şehri Seattle'ın 200 km güneyinde, Kuzey Amerika levhasının kenarında yer alan ve Mayıs 1980'de çarpıcı biçimde püskürmüş olan St Helens Dağı'dır. Bu püskürmenin gücü volkanın kenarının büyük kısmını havaya uçurunca, burada yan bir patlama gerçekleşmiş, bu püskürmede ortaya çıkan sıcak gaz ve kayalık döküntüler çevredeki 600 km^2'lik bir alanı harabeye çevirmiştir. Bunu, yüksekliği azami 26 km'ye ulaşan bir dikey piroklastik püskürme izlemiştir.

St Helen'in aksine Hawaii'deki Kilauea volkanı ağırlıklı olarak lav üretir ve 200 yıldan uzun süredir oldukça kesintisiz püskürmektedir, ama lav çoğu zaman patlamaktansa sadece dışarı sızmaktadır. Kilauea'da bilim insanları kendilerini

tehlikeye atmadan, yalnızca bir spatula yardımıyla lav örneği toplayabilirler.

PATLAYICI PÜSKÜRMELER

Bir volkanın gürültüyle mi yoksa iniltiyle mi püskürteceği, altında yatan magmanın yapısına bağlıdır. Bir püskürmenin patlayıcı olması için magmanın çok miktarda çözünmüş su ve karbondioksit gibi gazlar içermesi gerekir. Magma, mantodan yukarı çıktıkça azalan basınç sayesinde çözünmüş gazlar ve (buhar halinde) su açığa çıkarır. Bu süreç gaz giderme olarak bilinir ve magmanın içerisinde kabarcıklar oluşmasına neden olur.

Eğer magma yüzeye yavaş çıkıyorsa bu bir sorun teşkil etmez çünkü kabarcıkların kaçmak için yeterli zamanı vardır. Ama eğer kabarcıklar kaçamazsa magma yüzeye ulaştığında patlayıcı bir biçimde püskürecektir. Bu, gazoz kutusunu sallamaya benzer. Eğer hemen açarsanız ortalık batar ama eğer kabarcıkların dağılmasını beklerseniz patlama filan olmaz.

LEVHA ORTASI PÜSKÜRMELERİ

Volkanlar ve depremler yakınsak ve ıraksak sınırlar etrafında toplanma eğiliminde olsa da, kesinkes buralarda bulunur diye bir kaide yoktur. İngiltere gibi, bir levhanın tam ortasında yer alan bir ülke bile deprem yaşayabilir. Ve zirveleri dalgaların üzerinde yükselen büyük bir volkan grubundan başka bir şey olmayan Hawaii Adaları da Pasifik levhasının tam ortasında durmaktadır.

Bilim insanları bu küçük anomalileri açıklamakta hâlâ biraz sorun yaşamaktadır. Levhaların ortasındaki volkanların manto yükselmesinden, yani mantonun Dünya'nın derinliklerinden yükselen, sıcak, batmayan kısımlarından kaynaklandığını

düşünmektedirler. Bu yükselen kısımlardan biri yerkabuğunun alt kısmına ulaştığında, yerkabuğunu en sonunda yakarak delecek olan bir sıcak nokta oluşturur, bu da magmanın çıkmasını sağlar.

Fakat son araştırmalar, tüm levha ortası volkanların bu şekilde oluşmadığını gösteriyor; onun yerine, bazıları, magmanın yerkabuğundaki küçük çatlak ve faylardan kaçmasıyla oluşmuş olabilir. Kabuktaki benzer küçük çatlak ve fayların hareketi de muhtemelen levha ortası depremleri açıklamaktadır. Öte yandan bu yerel hareket, uzak levha sınırlarında gerçekleşen olaylar tarafından tetiklenmiş de olabilir.

Yani hiçbir yer, Dünya'nın saldırgan eğilimlerinden yeterince uzak ve güvenli değildir. Ara sıra yaşadığı depremlerin yanı sıra İngiltere ayrıca, her ne kadar milyonlarca yıldır püskürmemiş olsa ve artık sönmüş olduğu düşünülse de birkaç volkana ev sahipliği yapmaktadır. Fakat volkanlara güven olmaz: Her beş yılda bir, sönmüş olduğu düşünülen bir volkan püskürmektedir.

David Johnston, 1949-1980

Çoğu bilimsel disiplin özellikle tehlikeli değildir, ama volkan bilimi olarak bilinen volkan çalışmaları tehlikeli olabilir. Herkes püsküren bir volkandan kaçarken volkan bilimciler ona doğru koşarlar. Ve püskürmelerin, doğaları gereği tahmin edilemez olduklarını düşünecek olursak, volkan bilimciler tüm akıllıca önlemleri aldıktan sonra bile lavlara hedef olma riskini göze alırlar.

ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu'yla birlikte çalışan ve 1980'de St Helens Dağı'nda artan faaliyeti izlemek üzere gönderilen takımın bir üyesi olan volkan bilimci David Johnston'ın başına gelen de buydu. Söz konusu faaliyet,

yer sarsıntılarını ve volkanın kuzey cephesinde büyüyen bir çıkıntıyı içeriyordu.

Johnston güvenli olduğu düşünülen bir gözlem noktasına yerleştirilmişti ve buradan, volkanın açığa çıkardığı gazları izliyordu. Johnston, St Helens 18 Mayıs 1980 tarihinde püskürdüğü zaman, sıcak gaz ve kayalık döküntü saçan beklenmeyen bir yan patlamayla yok olup gitti. Cesedi hiçbir zaman bulunamadı.

Johnston'ın alan asistanı Harry Glicken'ın o sırada gözlem noktasında görev yapıyor olması gerekiyordu, ama o gün bir röportaja katılmak için izinliydi. Ne var ki Glicken de, 11 yıl sonra Japonya'daki Unzen Dağı püskürdüğünde aynı şekilde can verdi.

Ek okuma

Rothery, David, *Volcanoes, Earthquakes and Tsunamis: Teach Yourself* (Londra: Hodder Headline, 2010).

13

Kayaç gibi sağlam

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *peridotitler başka kayaçlara nasıl dönüşür*
- *kıtalar nasıl oluştu*
- *kayaçlar Dünya'nın yüzeyine ulaştığında ne oldu*
- *kayaçlar nasıl sınıflandırılır*

Zamanda yolculuğu konu alan filmlerde, karakterlerden birinin daha önceki bir sahneye geri döndüğü bir bölüm mutlaka vardır. Filmin bu bölümü, seyirciye, sahnenin farklı bir bakış açısından gelişimini görme imkânı tanır. Mantoya geri dönerek biz de benzer bir şey yapmak üzereyiz.

11. Bölümde, mantonun kalın ve sıcak bir kayaç katmanı olduğunu öğrenmiştik. Fakat bu, çoğu insanın anladığı anlamda bir kayaç değildir. Bilim insanları mantonun büyük kısmının—tamamı 2.900 km kalınlığındadır—yalnızca tek bir kayaç türünden, peridotitten oluştuğunu düşünmektedir.

Muhtemelen peridotit diye bir şey daha önce hiç duymadınız ve kayaç denilince de aklınıza daha ziyade granit, kayrak taşı ve kumtaşı geliyor. Peridotit, tüm bu daha iyi bilinen kayaçların kadim atasıdır ve milyonlarca yıllık bir süre zarfında onlara dönüşmüştür. Ama bunu nasıl yapar?

Silikat grupları

Bu soruyu yanıtlamak için önce kayaçtan ne kastettiğimizi tanımlamalıyız. Kayaç, mineraller olarak bilinen ve doğal yolla oluşan çeşitli kristal yapılar grubudur. Örneğin peridotit, olivin ve piroksen minerallerinin bir karışımını içerir.

Bu iki mineralin de asli bileşeni silika (SiO_2) adı verilen bir silikon ve oksijen birleşimidir ve silikat grubu (SiO_4) olarak bilinen bir yapı taşı oluşturmak üzere düzenlenir. Bu da çekirdeğin dışındaki Dünya'nın, yerkabuğunun yüzde 90'ı da dahil olmak üzere büyük çoğunluğunun neden silikat kayaçlardan meydana geldiğini açıklar. Ve Dünya'yı doğuran toz ve gaz diskinin büyük oranda silikat tanecikleri içerdiği düşünüldüğünde olması gereken de budur (*bak.* 3. Bölüm).

OLİVİN VE PİROKSEN

Hem olivin hem de piroksende, silikat gruplara çeşitli metaller katılır: Olivinde demir ve magnezyum varken piroksende demir, magnezyum ve kalsiyum bulunur. Fakat bu benzerliklere rağmen olivin ve piroksen çok farklı yapılara sahiptir.

Silikat grupları olivinde bağımsız birimler olarak bulunur. Bunun nedeni, silikat gruplarının ayrı ayrı negatif yüklü anyonlar olarak var olmasıdır, yani birbirlerini iterler ve hatta birbirlerine hiç temas etmezler. Olivinin düzenli, kristal yapısını meydana getirmek üzere silikat anyonlarının arasına sızan pozitif yüklü magnezyum ve demir katyonları tarafından bir arada tutulurlar.

Bunun aksine, silikat grupları piroksende uzun zincirler halinde birbirlerine bağlıdır, her bir grup en yakın iki komşusuyla bir oksijen atomu paylaşır. Ondan sonra demir, magnezyum ve

kalsiyum atomları bu zincirlerin arasına sızar. Bu, zincirlerin bir tür ofis oyuncağı gibi katlanıp birbirlerine bağlanmasına neden olarak piroksene düzenli, kristal yapısını kazandırır.

Her parlayan altın değildir

Mineraller yalnızca yaşlı ve çirkin kayaçların temeli değildir. Yerin altındaki yüksek basınç ve sıcaklıklarda oluşmuş minerallerin çoğu, kristal yapılarıyla son derece çekicidir ve değerli ya da yarı-değerli taşlar olarak kıymet görürler.

Örneğin, silikon ve oksijen her zaman kayaç oluşturmak üzere metal iyonlarıyla birleşmez. Silika olarak kendi içlerine de kapanabilirler. Böylece, belki de en iyi bilinen doğal kristal maddenin, yani kuvarsın temelini oluşturur. Kuvars kendi içinde pek değerli olmasa da demir gibi safsızlıklar kuvarsa çok çekici bir mor tonu verebilir, bu durumda da ametist adını alırlar.

Kayaçlar aynı zamanda yararlı metal yataklarına ev sahipliği yapabilir, bu durumda da cevherler olarak adlandırılır. Bu yatakların boyutu, farklı metaller için büyük oranda değişkenlik gösterir; onları yer altından çıkarmanın masrafları da değişir. Ucuz olan ve bol bulunan demiri yüzde 50 oranından az demir barındıran cevherlerden çıkarmaya değmez. Alüminyum için bu oran yüzde 30'dur; kurşun için yüzde 5, bakır için yüzde 1 ve gümüş için yüzde 0,01. Altın ve platin için ölçek milyonlu kesirleri bulmaktadır (her 1 metrik ton kayaç için 1 gram altın).

Kayaçlar içindeki çeşitlilik

Peridotitte olivin ve piroksen kristalleri güçlü, iç içe geçmiş bir ağ oluşturmak üzere bir araya gelirler. Ama aslında peridotit

de dahil olmak üzere tüm kayaçlar son derece değişkendir, yani aynı kayaçlar bile özdeş değildir.

En başta, minerallerin kimyasal yapısında, başka maddelerde bulunmayan bir esneklik vardır. Glisin gibi bir amino asit her zaman aynı sayıda aynı düzende karbon, oksijen, hidrojen ve azot atomu içerecektir.

Olivinde ise, silikat anyonlarını bir arada tutanın demir katyonları mı yoksa magnezyum katyonları mı olduğu önemli olmadığı için magnezyumun demire oranı asla sabit değildir. Kimi olivin, demirden çok magnezyum içerecektir ve tabi bunun tam tersi de doğrudur. Yani glisinin kimyasal formülü NH_2CH_2COOH iken olivinin kimyasal formülü $(Mg,Fe)_2SiO_4$ olarak yazılır, çünkü demir ve magnezyum birbirinin yerine geçebilir. Fakat bununla birlikte, bolluktaki doğal farklılıklardan dolayı mantodaki olivin genellikle demirden çok magnezyum içerir.

Üstüne üstlük, peridotitteki olivin ve piroksen oranı da, tek tek mineral kristallerin boyutu da değişkenlik gösterebilir. Bu, mantonun büyük çoğunluğu peridotitten oluştuğu halde o peridotitin son yapısının epey değişebileceği anlamına gelir. Bu iyi haberdir çünkü peridotitin, yerkabuğunun büyük bölümünü oluşturan farklı silikat kayaç türlerine nasıl dönüşebildiğini açıklamamıza yardım eder.

MANTONUN KISMİ ERİMESİ

11. Bölümde gördüğümüz gibi, mantonun ağırlıkla peridotitten oluşan sıcak kayacı, Dünya içerisindeki—derinlikle birlikte artan—muazzam basınç nedeniyle aşağı yukarı katı halde kalır. Dolayısıyla, mantonun yerkabuğuyla buluştuğuna benzer daha sığ derinliklerde basınç o kadar yüksek olmadığı için peridotit erimeye başlar.

Peridotit, değişen kimyasal bileşimlere sahip iki farklı mineralin karışımından oluştuğu için bu erimenin tamamı, tıpkı buzda da olduğu gibi aynı anda gerçekleşmez. Peridotitin farklı kısımları kimyasal bileşimlerine bağlı olarak farklı sıcaklık ve basınçlarda erir. Buna kısmi erime adı verilir.

Kısmi erimenin sonuçlarından biri şudur: Mantonun kısmi erimesiyle oluşan magmanın kimyasal bileşimi asıl peridotitinkinden farklıdır. Özellikle de silika içeriğinin artmasıyla sonuçlanır: Peridotit yaklaşık yüzde 45 silika içerirken, kısmi erimeyle ondan üretilen magma yaklaşık yüzde 49 silika içerir.

Bazalt ve granit

Bu magma, sırtlarda yüzeye doğru yükselirken soğuyarak topluca bazalt olarak bilinen kayaçları oluşturur. Bazalt Dünya'nın ilk dönemindeki yerkabuğunun temelini oluşturmuş, şimdi de okyanus tabanlarını meydana getirmektedir. Kısmi erime kimyasal bileşimde değişimlere neden olduğundan, bazalt yalnızca olivin ve piroksenden oluşmaz, aynı zamanda feldispat gibi başka mineraller de içerir.

Bazalt en sonunda, dalma-batmayla mantoya geri döner ve burada tekrar kısmen eriyerek silika içeriği daha da yüksek olan bir magma (yüzde 52-66) üretir. Bu magma yüzeye yükseldiğinde soğuyarak topluca andezit olarak bilinen kayaçları meydana getirir. Andezitlerin yoğunluğu bazaltınkinden azdır ve farklı bir mineral grubundan oluşur.

Yoğunlukları daha az olduğundan, bu kayaçlar mantoda daha iyi iş çıkararak kıtasal kabuğu oluşturur. Kısmi erime daha da yüksek silikat içeriğine (yüzde 66'nın üstü) sahip kayaçlar

da üretir ve topluca granit olarak bildiğimiz bu kayaçlar aynı zamanda kıtasal kabuğu oluşturur.

Bazalt, andezitler ve granit soğuyan magmadan oluştukları için magmatik kayaçlardır. İkisi de en sonunda bu magmatik kayaçlardan türemiş olan iki temel kayaç türü daha vardır: başkalaşım kayaçları ve tortul kayaçlar.

Başkalaşım kayaçları

Başkalaşım kayaçları, mevcut kayaçlar uzun süre boyunca yüksek basınç ya da yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında oluşur. Bu, magmanın doğrudan yerkabuğundaki fayların ve çatlakların arasından yükselmesiyle meydana gelebilir, bu durumda mevcut kayaçlar magmanın ısısına maruz kalırlar. Yüzeydeki kayaçlar sonradan gelen lav veya tortu yatakları tarafından gömüldüklerinde ya da dalma-batma sırasında daha alçak derinliklere çekildiklerinde de meydana gelebilir. Bu, üzerlerindeki basıncı artırır.

Bu sıcaklık ve basınçlar, kısmi erimeyi tetiklemek için yeterli olmasalar da kayacın içindeki minerallerin yapısını değiştirebilir. Bu türden erimesiz bir yeniden kristallenme, başkalaşım olarak bilinir. Başkalaşım, kayrak taşı ve mermer gibi iyi bilinen örnekleri de içeren bir dizi yeni kayaç türü meydana getirebilir.

Yine de kayaçlar açısından durum ancak yüzeye ulaştıklarında tehlikeli hale gelir. Kayaçları oluşturan mineraller ancak ilk kristalleştikleri sıcaklık ve basınçlarda kararlıdır. Bu sıcaklık ve basınçların altında, mesela Dünya'nın yüzeyinde, kararsızdır ve kimyasal olarak bozunmaya başlarlar.

Su, özellikle de çözünmüş karbondioksit içeriyorsa bu sürece yardım edebilir. Su karbondioksit içerdiğinde az da olsa asidik hale geldiğinden kayacı çözebilir. Bu süreç, katı kayacı kaolinit gibi kil minerallerine dönüştürebilir.

Kimyasal bozunmanın yanı sıra bir de hava koşullarının tahrip edici fiziksel etkileri vardır. Su buza dönüştüğünde genleştiği için suyun donması ve buzun çözülmesinin tekrar etmesi kayaları çatlatabilir ve pul pul dökülmelerine neden olabilir. Kayaçların, günün ısısıyla genleşip gecenin soğuğunda büzülmesi de çatlak ve pullara neden olur. Yaşayan organizmalar bile yapacaklarını yapar: Bitkiler kökleriyle kayacı küçük parçalara ayırırken bazı mikroplar da kayaçlardan beslenir.

Tortul kayaçlar

En sonunda tüm kayaçlar yavaş yavaş aşınarak sayısız küçük parçacığa dönüşür ve bu parçacıklar ya nehirler tarafından sürüklenir ya da rüzgâra kapılıp uçarlar. Genellikle ya kum ya da kil mineralleri olan parçacıklar bir noktada çöker. Eğer nehirler aracılığıyla yol almışlarsa nehrin dibinde, sıklıkla da nehrin denize kavuştuğu yerde bir tortu katmanı oluşturacaklardır; eğer rüzgâr tarafından taşınmışlarsa, kumullar halinde toplanmaya eğilimlidirler.

Bu tortu katmanları milyonlarca yıl boyunca birikerek daha aşağıdaki katmanları sıkıştırır ve ısıtır. Bu durum, katmanlarda çeşitli kimyasal ve fiziksel değişimleri körükler. Bu değişimlerin en önemlisi bütün suyun dışarı atılmasıdır, öyle ki en sonunda yumuşak tortunun sert kayaca dönüşmesine neden olur. Kumtaşı ve kiltaşı, açıklama gerektirmeyecek kadar açık tortul kayaç örnekleridir.

Yaşayan organizma kalıntıları sıklıkla bu tortul katmanların içine yerleşirler. Eğer o organizmaların, birçok mikroskobik plankton türünde olduğu gibi kalsiyum karbonattan oluşan kabukları varsa, sonuç kireçtaşı olur. Bu da onu sonunda mantodan türemeyen tek kayaç türü yapar. Eğer bitki ve alg kalıntıları çürümeye fırsat bulamadan gömülerek katmanlara yerleşirse, milyonlarca yıllık ısı ve basınç onları petrol, doğalgaz ve kömür yataklarına dönüştürür.

Kayaç döngüsü

Yani Dünya'nın kayaçları devamlı bir geri dönüşüm süreci içindedir. Mantodan çıkan magma soğuyarak magmatik kayaçları oluşturur, bunlar en sonunda tortul kayaçlar veya başkalaşım kayaçlarına dönüşür ve bu ikisi (bu arada kabukları kireçtaşına çevirerek) tekrar tekrar birbirlerine dönüşebilir. En sonunda bu kayaçlardan bazıları dalma-batma yoluyla mantoya geri dönebilir ve bu durumda süreç yeniden başlar.

Bu sürece kayaç döngüsü adı verilmektedir ama pekâlâ kocaman bir dejavu vakası da denebilir.

Hangi kayaç?

Diyelim ki yolda yürüyorsunuz ve bir taş veya kayaç parçası buldunuz; ne tür bir kayaç olduğunu nasıl bilebilirsiniz? Öncelikle dokusuna bakarak olasılıkları daraltabilirsiniz.

Magmatik kayaçlar, rasgele konumlanarak iç içe geçmiş mineral kristallerinden oluşma eğilimindedir. Başkalaşım kayaçlarında, ısı ve basınca maruz kalmak çoğunlukla minerallerin kendilerini katmanlarda yeniden konumlandırmalarıyla sonuçlanır. Yani kayaç, paralel çatlak hatları boyunca yeniden yapılanmaya eğilimlidir. Bunun

aksine çoğu tortul kayaç, iç içe geçen kristallerden ziyade iç içe geçmeyen taneciklerden oluşur.

Daha sonrasında tüm bu kayaçlar mineral kristallerin ya da taneciklerin boyutuna göre gruplandırılabilir. Magmatik kayaçlar ve başkalaşım kayaçlarını iri taneli (ortalama kristal boyutu 2 mm'den fazla), orta taneli (0,25-2 mm) veya ince taneli (0,25 mm'den az) olarak sınıflandırabiliriz. Tortul kayaçlar ise tanecik boyutuna bağlı olarak iri kaya parçaları, iri taşlar, çakıllar, kum, mil veya kil olarak sınıflandırılabilir.

Yine de resmi bir sınıflandırma yapabilmek için genellikle bileşen kristal mineralleri veya tanecikleri mikroskopla incelemek gerekir. Ancak böylece şekil ve renklerine göre tespit edilebilirler. Hiçbiri işe yaramazsa, bilim insanları, kayacın kimyasal bileşimini tespit edebilmek için uzman analitik tekniklere başvururlar.

Ek okuma

Rothery, David, *Understand Geology: Teach Yourself* (Londra: Hodder Headline, 2010).

14

Havalar nasıl olursa olsun

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *okyanus ısıyı Dünya'nın etrafında nasıl taşır*
- *rüzgârlar nasıl meydana gelir*
- *Coriolis kuvveti rüzgâr ve akımları nasıl etkiler*
- *okyanus sirkülasyon sistemi çöpleri nasıl deveran ettirir*

Okyanus 320 milyon mil küp sudan oluşup Dünya yüzeyinin yüzde 70'ini kaplayacak kadar devasa olabilir fakat ne işe yarar? Besin, eğlence, ulaşım ve hatta sanatsal ilham... Bize çok şey sunduğu kesin ama bahsettiğimiz bu değil. Eğer okyanusun bir amacı olduğunu söyleyecek olsaydık, bu amaç ısıyı etrafa taşımak, özellikle de ısının ekvatordan kutuplara taşınmasına yardım etmek olurdu.

Eğer bu ısı hareketi olmasaydı, birçok yaşam formunun yaşam alanı Dünya'nın ortasından geçen ince bir bantla sınırlı olurdu. Bunun ötesindeki hava fazla soğuk olurdu; hatta okyanus ısıyı deveran ettirmese, Dünya'nın büyük bölümü muhtemelen buzla kaplı olurdu.

Ekvatordan, Kanada'daki Calgary ile aynı uzaklıkta olan Londra'yı ele alalım. Calgary'de kara kış etkisini gösterdiğinde sıcaklık her zaman -10°C'nin altına düşer ama Calgary'nin

aksine Londra'da ortalama kış sıcaklığı genelde donma noktasının üzerinde seyreder.

Konumu düşünüldüğünde, İngiltere'nin görece ılıman havasının nedeni Gulf Stream ve Kuzey Atlantik Akıntısı (KAA) adlı okyanus akıntılarının arasında, Atlantik'in diğer tarafındaki Karayipler'den gelen ılık sudur. Onlar olmasaydı İngiltere ve Batı Avrupa'nın büyük kısmı çok farklı görünür ve havası da çok farklı olurdu.

Konveksiyon akıntıları

Okyanus, konveksiyon sayesinde ısıyı Dünya'nın etrafında taşıyabilir. Su ısındığında genleşir ve yoğunluğu azalır. Böylece daha soğuk ve daha yoğun suyun üzerine çıkar. Bu süreç, konveksiyon akıntılarını harekete geçirir. Bunu su dolu bir cam bardakta bile görebilirsiniz. Bardağın altındaki su ısındığında yukarı çıkarak soğuk suyun yerini alır, soğuk su da aşağı inerek ısınır. Bu yolla ısı tüm bardağın içinde dolaşmış olur.

Bardaktakine benzer bir süreç okyanusta yaşanır: Su, ekvatorda ısınır ve kutuplarda soğur. Fakat okyanusta suyun tuzluluk derecesi onun yoğunluğunu etkiler, çünkü ısı ve su akışı gibi etkenlere bağlı olarak deniz suyunun tuzluluk oranı aslında oldukça fazla farklılık gösterir. Ortalama deniz suyu 1.000 g suya 35 g tuz içerir, ama bu miktar, suyun soğuk olduğu Baltık Denizi ve Kuzey Buz Denizi'nde daha düşük, suyun sınırlanmış olduğu Akdeniz ve Kızıldeniz'de ise daha yüksektir. Yani en yoğun su soğuk ve tuzlu olandır, en az yoğun su ise ılık ve taze olan.

TERMOHALİN SİRKÜLASYONU

Okyanusta, konveksiyon, ısı yerine soğukla da hareket eder ve bu sürece termohalin sirkülasyonu adı verilir. Önce

kuzey yarımküreye bakalım. Gulf Stream ve KAA tarafından getirilen su yalnızca ılık değil, aynı zamanda oldukça tuzludur ve yalnızca Batı Avrupa sahillerine taşınmaz. KAA Kuzey Atlantik'te ayrılır; suyun bir kısmı Batı Avrupa'ya giderken bir kısmı da Kuzey Buz Denizi'ne, İzlanda ve Grönland civarına gider.

Burada, kuzey buz örtülerinden sapan dondurucu rüzgâr suyun ısısını alarak tuzlu ılık suyu yoğun tuzlu soğuk suya dönüştürür ve o da okyanusun dibine çöker. Grönland'ın sahilinden çağlayan uçsuz bucaksız bir denizaltı şelalesi hayal edin. Suyun bu sürekli batışı bir derin su akıntısına yol açar ve bu akıntı, Dünya'yı güney yarımküreye kadar baştan başa kateder.

Su güneye doğru yol aldıkça gitgide ısınır ve difüzyon (parçacıkların yüksek derişimden düşük derişime göç etme eğilimi) yoluyla yüksek tuz derişimini kaybeder. Su ılınıp tazeleştikçe yoğunluğu da azalır ve yavaşça yüzeye doğru yeniden yükselmeye başlar. En sonunda yüzeye ulaştığında kaderini başka bir tür akıntının ellerine bırakır.

Şimdi bakışlarımızı okyanustan biraz yukarı, atmosfere çevirmeliyiz. Su nasıl ki ısındığında genleşip yükseliyorsa hava da aynı şeyi yapar. Ekvatora cömert davranan Güneş, havayı ısıtarak yükselmesine neden olur. Doruk noktasına geldiğinde bu hava kulesi ikiye ayrılarak her iki kutba doğru akmaya başlar. Bu hava akımı soğudukça Dünya'ya düşer ve tekrar ikiye ayrılarak yüzey akımı olarak ekvatora geri döner veya kutba doğru devam eder. En sonunda, kutba doğru giden yüzey akımı kutuptan gelen soğuk havayla karşılaşır. Bu karşılaşma tekrar yükselmesine ve yüksek irtifada ayrılarak ekvatora geri dönmesine veya kutba doğru akmasına neden olur.

Sirkülasyon hücreleri

Tüm bunlar, hem kuzey hem de güney yarımkürenin boru biçiminde üç hava akımı tarafından sarmalanmasıyla sonuçlanır. Ekvatordan kutuplara uzanan bu akımlar sirkülasyon hücreleri olarak bilinir. Her bir hücrede, hava, geniş dairesel bir yörünge içinde fakat komşularının aksi yönünde hareket eder. Ekvatora ve kutuplara yakın hücrelerde, hava yüksekteyken ekvatordan (kutuplara doğru) uzaklaşır ve yüzeyde ekvatora doğru yaklaşır. Fakat orta hücrelerin her birinde hava yüksekteyken ekvatora yaklaşır ve yüzeydeyken ekvatordan uzaklaşır. Bu hücreler sık örülmüş atmosferik çarklar gibidir, birinin hareketi komşularında aksi hareketi yaratır.

Okyanus gibi, bu hücreler de ısıyı ekvatordan kutuplara taşır fakat bunu okyanus kadar etkili bir biçimde yapmazlar (okyanusun üstteki 2,5 metresi bütün atmosferin tuttuğu kadar ısı tutar). Bu hücrelerin oluşturduğu yüzey hava akımları da rüzgârları oluşturur.

Hâkim rüzgârların yönü

Yukarıdaki açıklamadan, bu hâkim rüzgârların yüzeyde nerede olduğunuza bağlı olarak doğrudan kuzeye ve güneye esmesi gerektiğini çıkarırdınız. Ama öyle değildir. Hâkim rüzgârlar, kuzey yarımkürede tropiklerde ve kutup yakınlarında kuzeydoğudan ve orta enlemler olarak bilinen aradaki noktalarda güneybatıdan esme eğilimindedir. Güney yarımkürede ise durum tam tersidir. Hâkim rüzgârlar tropiklerde ve kutup yakınlarında güneydoğudan ve orta enlemlerde ise kuzeybatıdan eserler.

Bunun nedeni, Dünya'nın—ekvatorda en hızlı, kutuplarda en yavaş olmak üzere—dönüyor olmasıdır. Yani rüzgârlar kuzeye veya güneye estiğinde, Dünya'yı aşağıdaki yeryüzünden daha hızlı dönmüş olurlar. Bu da onların bir açıyla esmesine neden olur. Bu, saat yönünde dönen bir atlıkarıncanın ortasındaki bir çocuğun kenardaki bir çocuğa top atmasına benzer. Atlıkarıncanın biraz uzağındaki birine göre top düz bir çizgide gider, ama kenarda duran çocuk için biraz sola kayarak gidiyor gibi görünür. Buna Coriolis kuvveti denmektedir.

Rüzgâr yalnızca şapkaları ve uçurtmaları uçurmaz, aynı zamanda yüzey suyunun dolaşmasını da sağlar. Sirkülasyon hücreleri tarafından üretilen hâkim rüzgârlar okyanusun yüzeyindeki daimi akıntıları harekete geçirir. Termaholin sirkülasyonunun uçurumdaki nehirlere benzeyen dip akıntılarının aksine bu akıntılar geniş ve daireseldir. Bunun nedeni yine, hem hâkim rüzgârlara hem de sonuçta oluşan yüzey akıntılarına etki eden Coriolis kuvvetidir.

The Simpsons'a inanmayın

The Simpsons'ın bir bölümünde Lisa, Bart'a kuzey yarımküredeki tuvaletlerde suyun saat yönünün aksine, güney yarımkürede ise saat yönünde aktığını, bunun nedeninin de Coriolis kuvveti olduğunu söyler. Bart önce "su senin kurallarına uymaz" diye karşı çıkar, sonra da Avustralya'daki herhangi bir çocuğu arayarak farklı tuvaletlerde sifonu çekmesini ister. Bart, diplomatik krize neden olmasının yanı sıra Lisa'nın haklı olduğunu keşfeder.

Ama değildir. Suyun kuzey ve güney yarımkürelerdeki tuvalet veya lavabolarda aksi yönlerde aktığı, biraz şehir efsanesi haline gelmiştir ve çoğu şehir efsanesi gibi doğru

değildir. Ana bölümde gördüğümüz gibi Coriolis kuvveti suyun hareketini etkiler ama bu yalnız 1 km'nin ötesindeki büyük ölçeklerde fark edilebilen bir etkidir. Coriolis kuvveti, klozette veya lavaboda klozetin şekli ve suyun nasıl girdiği gibi suyun hareketini etkileyen küçük ölçekli etkenler tarafından kolayca bastırılır.

Okyanustaki dairesel akıntılar

Bunların sonucu olarak yüzey suyu, bütün okyanusta, döngüler olarak bilinen devasa dairesel akıntılar halinde yol alır. Örneğin Atlantik ve Pasifik okyanuslarının tam ortasında uzanan alt tropikal döngüler vardır. Karanın varlığı rüzgâr güdümlü bu akıntıların yoluna çıkabilir, bu da farklı akıntı tiplerini harekete geçirebilir. Antarktik Dolaykutupsal Akıntısı olarak bilinen güçlü yüzey akıntısının sürekli Antarktika etrafında döndüğü Güney Kutbu'nda olan da budur.

Antarktik Okyanusu'ndan aşağı itilen su, şartlara bağlı olarak yol boyunca herhangi bir noktada yüzeye çıkabilir. Örneğin Akdeniz sürekli dönen tuzlu su diskleri dağıtmaktadır, bunlar Arktik'ten gelen soğuk suyu yakalayıp Atlantik'in diğer tarafına kadar taşıyabilirler. Fakat eğer su olaysız bir yolculuk geçirirse, yüzeye çıkmadan Antarktika'ya kadar gidecektir.

Burada, ya Antarktik Dolaykutupsal Akıntısı tarafından yakalanıp Pasifik Okyanusu'nda inişe geçmeden veya Atlantik'e dönmeden önce Antarktika etrafında birkaç defa döndürülecek ya da Antarktika'dan çıkan donmuş hava tarafından soğutulacak ve yine okyanusun dibine batacak, sonra da Atlantik, Pasifik ve Hint okyanuslarına doğru itilerek gitgide yükselecek ve bu okyanuslarda bulunan çeşitli döngülere yakalanacaktır.

Su en sonunda Karayipler'e ulaşacak ve burada yeniden Gulf Stream ve KAA boyunca sürüklenerek yolculuğuna yeniden başlamak üzere Grönland ve İzlanda'nın buz gibi sularına kavuşacaktır. Dünya'nın etrafını dolaşması muhtemelen toplamda 1.000 yıldan fazla sürmüş olacaktır.

Soğuk ve yoğun su yalnızca iki yerde okyanusun dibine çöker: Kuzey Atlantik'in kutup sularında ve Antarktika yakınlarındaki Weddell Denizi'nde. Su yalnızca burada okyanusun en dibine batacak kadar soğuk ve yoğun olur, dibe batarken de ılık suyu tropiklerden uzağa sürükler. Ilık ve soğuk suyun bu basit hareketi, hâkim rüzgârlar tarafından üretilen yüzey akıntılarının desteklediği karmaşık okyanus sirkülasyon sisteminin tamamına yön verir.

Bilim insanları, uydu görüntüleri ve dip akıntılarını izlemek için gerekli derinliklere batabilen robot şamandıralardan daha yeni yeni yararlanmaya ve bu sayede, okyanus sirkülasyon sistemini olanca karmaşıklığıyla anlamaya başlamıştır. Hareketin her ölçekte meydana geldiğinin anlaşılması da buna dahildir. Örneğin okyanus aynı zamanda, ömrü yalnızca birkaç yıl olan binlerce anafor—ısıyı ve tuzu 50-200 km gibi uzaklıklara taşıyarak dönen su sirkülasyon sistemleri—oluşturur.

OKYANUSTA KİRLİLİK

Bilim insanları ayrıca, ozonu yok eden kötü şöhretli KFK'lar (kloroflorokarbonlar) gibi uzun süreli kirletici maddelerin su yoluyla dağılmasını izleyerek, okyanus sirkülasyon sistemini ayrıntılarıyla açıklamışlardır. Daha açık bir kirlilik dağılımı Pasifik'in ortasında, Kuzey Pasifik Döngüsü'nün Pasifik'e atılan plastik çöplerin çoğunu topladığı ve merkezindeki görece sakin sulara boşalttığı yerde bulunabilir. Bu süreçte meydana gelen kirlilik, artan çöp miktarlarıyla birlikte Teksas'ın iki katı büyüklüğünde bir alanı kaplar.

Okyanus, ısının Dünya çapındaki ana dağıtıcısı olduğu kadar besin, eğlence, ulaşım ve sanatsal ilham kaynağı da olabilir. Fakat biz onu giderek dev bir çöplüğe de çeviriyoruz.

Gelgitli zamanlar

Gelgitler, okyanusların tanımlayıcı özelliklerinden biridir. Dünyanın her tarafında günde iki defa deniz karaya doğru biraz ilerleyip sonra yine geri çekilerek yüksek ve alçak gelgitleri meydana getirir. Bunun nedeni, tamamen Dünya ile Ay ve daha az da olsa Güneş arasındaki etkileşimdir.

Gelgitler hem Dünya ve Ay arasındaki çekim kuvveti hem de Ay'ın Dünya'nın yörüngesinde dönerken açığa çıkan merkezkaç kuvveti tarafından oluşturulur. Yörüngede dönen iki gövde arasındaki çekim kuvveti mesafeyle birlikte azalırken, merkezkaç kuvveti iki gövdenin ortak dönme merkezinden uzaklaşıldıkça artar.

Dünya dönerken, Ay'ın yerçekimi kuvveti Dünya'nın ona bakan tarafında her zaman daha güçlüdür, öyle ki bu tarafta okyanusu kaldırarak bir yüksek gelgit meydana getirir. Aynı sırada, Dünya'nın Ay'a bakmayan diğer tarafında merkezkaç kuvvet en güçlüdür ve yine okyanusları kaldırarak bir yüksek gelgit oluşturur. Ay'a dik açı yaptıklarında iki kuvvet birbirini iptal ederek alçak gelgit oluştururlar.

Zaman zaman, Güneş de Ay'la birlikte sıralanarak alçak ve yüksek gelgitleri abartır ve bahar gelgitleri adı verilen gelgitleri meydana getirir.

Ek okuma

Kunzig, Robert, *Mapping the Deep: The Extraordinary Story of Ocean Science* (Londra: Sort of Books, 2000).

15

Fırtınalar koparsa kopsun

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *yüksek ve alçak basınç hakkındaki her şey*
- *bulutlar nasıl oluşur ve nasıl yağmur ve kar üretir*
- *kar tanelerinin neden farklı şekilleri vardır*
- *yıldırım ve şimşeğin, kasırga ve hortumların gizemleri*

Okyanus ve atmosfer arasındaki etkileşimin hepsi tek yönlü değildir. Hâkim rüzgârlar nasıl okyanus yüzey akıntıları üretiyorsa (*bak.* 14. Bölüm) okyanus yüzeyi de hava durumumuzda önemli bir rol oynar. Bu sürecin en açık göstergesi bulutlardır.

Bulutlar ve hava durumu

Bulutlar su damlacığı topluluklarıdır ve bu damlacıkların çoğu (yaklaşık yüzde 80'i) okyanustan (geri kalanı ise göllerden ve diğer su kütlelerinden) gelir. Güneş ışığının okyanusu ısıtması yüzeydeki suyun buharlaşarak su buharı oluşturmasına neden olur. Su buharı havaya yükseldikçe soğur ve havayı dolduran pek çok toz, duman ve tuz parçacıkları üzerinde yoğuşarak su damlacıklarını oluşturur.

Bu süreç bütün okyanus üzerinde gerçekleşir, fakat (yüzey sularının en sıcak olduğu) ekvator etrafında ve alçak basınç bölgeleri olan "alçakların" yakınında yoğunlaşır. Atmosfer tüm Dünya üzerinde eşit dağılmaz, daha ziyade bazı bölgelerde toplanarak yüksek basınç bölgeleri meydana getirir. Daha dağınık bulunduğu bölgelerde ise alçak basınç bölgeleri oluşturur. Bu yüksekler ve alçaklar, yüksek atmosferde faaliyet gösteren ve küreyi dolaşan, dar rüzgâr akışları olan jet akımları ile Dünya'nın etrafında dolaşırlar.

ALÇAK BASINÇ SİSTEMLERİ

Hem yüksekler hem de alçaklar rüzgâr üretir, fakat aksi yönlerde üretirler. Alçak basınç sistemleri havayı içlerine ve yukarı çekerken, yüksek basınç sistemleri havayı aşağı ve dışarı doğru üfürürler. Dahası, Dünya'nın dönmesinden kaynaklanan Coriolis kuvveti rüzgârları biraz yana doğru iter. Kuzey yarımkürede yüksek basınç sisteminden çıkan rüzgârlar saat yönünde dönerken, alçak basınç sistemine giren rüzgârlar saat yönünün aksine döner (güney yarımkürede durum tam tersidir).

YÜKSEK BASINÇ SİSTEMLERİ

Dolayısıyla bir alçak basınç bölgesi okyanus üzerindeyken yüzeyde oluşan su buharını yukarı ve içine çeker, bu da bulutların oluşmasına neden olur. Aksine yüksek basınç bölgeleri, açık gökyüzleriyle ilişkilendirilir, çünkü su buharı aşağı çekiş kuvvetiyle uçup gider. Bu şekilde, yüksekler, hem karada hem de denizde, yere düşen güneş ışığına ve yukarıdan aşağıya gelen havanın sıcaklığına bağlı olarak çoğunlukla ya çok ılık ya da çok soğuk hava dönemleri yaratır.

Kimi El Nino der, kimi El Niña

Okyanuslar yalnızca fırtına ve kasırgalar üretmezler, aynı zamanda çok sayıda büyük ölçekli hava sistemlerinde de parmakları vardır. Bunlardan en ünlüsü muhtemelen El Niño'dur.

Su ve rüzgârlar genellikle Güney Pasifik'in her iki tarafı arasında güvenilir biçimde dolaşır. Ilık su, hâkim rüzgârlarla Avustralya ve Endonezya'nın doğu sahillerine uçarak Güney Amerika'nın batı sahili boyunca soğuk suyun yüzeye çıkmasına neden olur.

Her 4-7 yılda bir, pek de iyi anlaşılamayan nedenlerden ötürü, bu durum tersine dönmektedir: Hâkim rüzgârlar zayıflar ve hatta yön değiştirir, ılık suyun bütün Pasifik Okyanusu üzerine dağılmasına imkân tanıyıp soğuk suyun yukarı çıkışını durdurur. Bu olay El Niño olarak bilinmekte ve genelde bir ya da iki sene sürmektedir.

El Niño Avustralya ve Güneydoğu Asya'da kuraklığa, Kuzey ve Güney Amerika'nın batı sahili boyunca da normalden yoğun yağışlara neden olma eğilimindedir. Hatta Afrika'daki kuraklıklar gibi çok daha uzak coğrafyalardaki olağan dışı hava durumlarıyla da ilişkilendirilmiştir. Bir de La Niña adında bir anti-El Niño vardır ki normal akışı düzenli aralıklarla şiddetlendirerek Güneydoğu Asya'da yoğun yağışa ve Amerika kıtasının bazı bölümlerinde kuraklığa neden olmaktadır.

FIRTINA BULUTLARI

Eğer su yeterince ılık ve alçak basınç bölgesi yeterince genişse, sonuçta oluşan bulutlar oldukça çok büyüyerek en sonunda iri fırtına bulutları oluşturabilirler. Bu fırtına bulutları yukarıdan aşağıya 16 km'den daha uzun olabilir. Bu bulutlar denizin

üzerinde oluştuktan sonra alçak basınç bölgesiyle birlikte karaya göç edebilir. Ama fırtına bulutları doğrudan kara üzerinde, özellikle de (çoğunlukla denizden esen) sıcak nemli havanın daha serin ve daha kuru havayla karşılaştığı yerlerde de oluşabilir.

Fırtına bulutlarının altında sıcaklık rahat bir 15°C olabilir, fakat yükseklik arttıkça hava soğuduğundan en büyük fırtına bulutlarının en tepesinde sıcaklık -60°C'ye kadar düşebilmektedir. Bu aşamalı sıcaklık değişimi, bulutun içinden ve etrafında esen rüzgârları şiddetlendirmekle kalmaz, fırtına bulutlarının haklı olarak şöhretlerini ya da kötü şöhretlerini borçlu oldukları yağmur ve kar oluşumuna neden olur.

Yağmur üretimi

Su buharı rüzgârla birlikte yukarı çıkabilir, fakat yoğuşmayla oluşan su damlacıkları fazla ağırlaştıkları zaman aşağı düşmeye başlarlar. Yağmur damlacıkları bulutun içinden yağmur olarak çıkmadan önce, bulutun içinden geçerken birleşerek daha da büyük damlacıklar meydana getirir. Her yağmur damlası binlerce ayrı yağmur damlacığından oluşur.

Neredeyse her boyutta bulut, yeteri kadar yüksek bir su buharı derişimine sahip olması koşuluyla yağmur üretebilir. Örneğin, hafif yağmur veya çiseleme yalnızca 300 m kalınlığındaki bulutlar tarafından oluşturulabilir. Daha büyük bulutlar, haliyle daha fazla su tutabilir ve dolayısıyla daha fazla yağmur üretirler: Tek bir fırtına bulutu 500 milyon litreden fazla su bırakabilir.

Buz kristallerinin oluşumu

Ortaya çıkan tek şey yağmur olsa bile, büyük fırtına bulutlarının içerisinde üretilen tek şey yağmur değildir.

Görmüş olduğumuz gibi fırtına bulutlarındaki sıcaklık belli yüksekliklerde hızla donma noktasının altına düşebilir; bu noktada su buharı yoğuşarak buz kristalleri oluşturur.

Gelgelelim buz kristalleri ancak doğru yapıya sahip parçacıklar üzerinde oluşabilir ve bunlar da genellikle toz parçacıklarıdır. Diğer parçacıklar üzerinde ise sıcaklık donma noktasının altında olmasına rağmen, su buharı sıvı damlacıklar olarak yoğuşmaya devam ederek aşırı soğumuş su damlacıklarını oluşturur. Buz kristalleri, su damlacıklarından farklı olarak birbirlerine çarparak büyümez. Daha da fazla su buharı toplarlar ve topladıkları bu su buharı doğrudan donarak buz kristaline dönüşür.

Donma noktasının altında sıcaklığa sahip kısımları olan tüm bulutlar buz kristalleri üretir. Fakat bulutun hem içindeki hem de dışındaki sıcaklık yeteri kadar düşükse bu kristaller genelde yalnızca kar olarak düşer. Aksi takdirde, buz kristalleri yere düşmeden önce eriyerek yağmur haline gelir. Eğer erimiş buz kristalleri yere ulaştıklarında hâlâ çok soğuklarsa anında yeniden donabilir ve dondurucu yağmur ve buz fırtınalarına yol açabilir. Ya da yere yakın, sığ birçok soğuk hava katmanıyla karşılaşabilir ve bu da yere inmeden önce yeniden donarak sulu sepken kar oluşumuna neden olur.

KAR TANELERİ

Eğer kar düşerse, kar tanelerinin tam şekli oluştukları sıcaklığa bağlıdır—klasik altı kenarlı taneler yaklaşık -18°C'nin üzerinde oluşur, bunun altındaki sıcaklıklarda taneler altıgen plakalar halinde olur. Ve yaygın kanının aksine her kar tanesi benzersiz bir şekle sahip değildir, çünkü çifti olan kar taneleri keşfedilmiştir.

Buz kristalleri de aşırı soğumuş su damlacıklarıyla birleşip daha büyük ve daha amorf kar taneleri üretebilir. Ayrıca bazı fırtınalar, güçlü rüzgârların su buharını buluta çıkarmasının sonucu olarak bol miktarda aşırı soğumuş su damlacıkları üretebilir. Bu damlacıklar hızla donup buz kristallerine dönüştüğünde dolu tanelerinin toplanması bir hayli olasıdır. Bazı dolu taneleri büyük bir greyfurt büyüklüğüne erişebiir.

Gök gürültüsü ve şimşek

Buz kristalleri aynı zamanda fırtına bulutlarının belki de en karakteristik özelliğinden sorumludur: gök gürültüsü ve şimşek. Bulutun içindeki buz kristalleri birbirlerine çarptıkları zaman elektrikle yüklenir: Bir buz kristali elektronlarını bir başkasına kaptırır, bu da ilkinin pozitif ikincisinin negatif yüklenmesine neden olur. Halı üzerinde yürüdüğümüz zaman oluşan statik elektrikten de aynı süreç sorumludur.

Halen tamamen anlaşılamayan nedenlerden ötürü bu elektrik yüklü buz kristalleri bulutun içinde üç farklı katman oluşturur: bulutun üzerinde kalın, pozitif yüklü bir katman, ortada aynı kalınlıkta negatif yüklü bir katman ve bulutun altında ince pozitif yüklü bir katman. Negatif yüklü katman yeteri kadar yüklendiğinde yeryüzüne lider olarak bilinen bir elektron akımı gönderir.

Fakat bu akım aslında hiçbir zaman yeryüzüne ulaşmaz; tam vurmadan önce yeryüzünden pozitif yüklü bir iyon akımı çeker ve bu akım yükselerek buluta çarpar. Yıldırım olarak gördüğümüz ve geri boşalım olarak bilinen olay aslında bu pozitif yüklü iyon akımıdır.

Bu elektrik yükünün boşalımı inanılmaz bir kuvvet üretir: Ortalama bir gök gürültülü fırtına bir trilyon vatlık

yıldırım gücü üretir, bu da ABD'deki bütün elektrik enerjisi jeneratörlerinin toplam çıktısından fazladır. Tek bir yıldırım, etrafındaki havayı yaklaşık 30.000°C'ye kadar ısıtarak havanın hızla genleşmesine ve gök gürlemesine neden olur.

Siklonlar, kasırgalar ve tayfunlar

Fırtına bulutlarının daha az bilinen bir karakteristiği de Coriolis kuvvetinin sonucu olarak çoğunlukla dönmeleridir. Düşündüğünüz zaman bu aslında gayet açıktır, çünkü fırtına bulutları spiral hareketli rüzgâr üreten alçak basınç bölgelerinin üzerinde oluşur. Tüm fırtınalar döndüğü halde, dönen fırtınaların tipik örneği, oluştukları yere bağlı olarak farklı isimlerle anılan tropikal siklonlardır. Atlantik'te ve Pasifik Okyanusu'nun kuzeydoğusunda kasırga, Pasifik Okyanusu'nun kuzeybatısında tayfun ve Pasifik Okyanusu'nun güneybatısı ile Hint Okyanusu'nda ise siklon olarak adlandırılır.

Tropikal siklonlar tüm fırtınaların "büyüğü" sayılır ve saatte 74 mil'den hızlı esen rüzgârları içeren fırtınalar olarak tanımlanır. İsimlerinden de anlaşılacağı üzere tropikal sularda (sıcaklığın genellikle 26°C'nin üstünde olduğu yerlerde), yalnızca ekvatorun kuzeyinde veya güneyinde oluşurlar (Coriolis kuvveti ekvatora etki etmediği için orada oluşamazlar). Her fırtına gibi su buharını denizden yukarı çekerek oluşur, hatta genelde normal tropikal fırtınalardan kaynaklanırlar.

Bazı tropikal fırtınaların siklonlara dönüşmesine neden olan etmenler tam olarak anlaşılmış değildir. Göründüğü kadarıyla, yükselen sıcak su buharının, içine daha da fazla su buharı çeken güçlü rüzgârlar oluşturduğu kaçak bir süreç söz konusudur. Bu süreç her sene farklı şiddetlerde 80-90 tropikal siklon

üretmekte ve bunlar yüzlerce mil boyunca uzanabilmektedir. Bu fırtınaların yıkıcı gücü, özellikle karaya ulaştıklarında daha iyi anlaşılır: 2005'te meydana gelen Katrina Kasırgası 1.300'den fazla kişinin ölümüne ve on milyarlarca dolarlık hasara yol açarak New Orleans'ı yerle bir etmişti.

Bu türden bir yıkımın nedeni, saatte 200 mil hıza ulaşabilen yüksek rüzgârlar, şiddetli yağmur ve daha da önemlisi, kasırga ölümlerinin yüzde 90'ının fazlasından sorumlu olan fırtına dalgasıdır. Tropikal siklonun gözü olarak bilinen merkezinde hava basıncı inanılmaz derecede alçaktır ve deniz suyunu içine çeker. Buna ek olarak, şiddetli rüzgârlar deniz suyu kütlelerini siklonun önüne katıp uçurur. Sonuç olarak siklon karaya ulaştığında, beraberinde, yüksekliği 10 metreyi aşabilen muazzam bir su duvarı getirmiş olur.

Bazı kasırgalar ise havanın huni biçimini alarak çılgınca dönmesine yol açar ve bu durumda hortum olarak adlandırılır. Hortumlar, kasırgalardan daha yıkıcı olabilir. Çok daha küçük bir alan üzerinde olsa da hortumdaki rüzgârlar saatte 300 milden daha hızlı esebilir. Hortumların enleri 60 metrenin altındadır ve tükenmeden önce 16 km'den az yol giderler. Öte yandan, 100 km'den fazla yol alan hortumlara da rastlanmıştır.

Her fırtına hortum üretebilir. Yani fırtınaların yaygın olduğu yerlerde, özellikle de Avrupa, Hindistan'ın kuzeydoğusu ve Kuzey Amerika'da hortumlar da yaygındır. ABD, hortuma bilhassa yatkındır: Yılda yaklaşık 1.000 hortum vakası yaşanmakta ve bunların çoğu Teksas, Oklahoma ve Kansas boyunca uzanan "hortum geçidi" denilen yerde gerçekleşmektedir.

Kasırgalar geniş çapta yıkıma yol açarken hortumlar daha küçük olduklarından, daha nokta atışı vurur ve daha

değişkendir. Bir evi yıkıp hemen yanındaki komşusuna dokunmayabilir; arabaları ve otobüsleri havaya fırlatıp bir turşu kavanozunu kırmadan 40 km boyunca özenle taşıyabilirler.

Şiddetli hava durumunda ne yapılmalı?

Tropikal siklon söz konusu olduğunda en büyük tehlike fırtına dalgasından gelir. Bu yüzden, sahilden uzaklaşmanız ve yüksek bölgelere çıkarak sığınak aramanız gerekir. Fırtınanın ilk görünümüne aldanmayın, içinde hava son derece sakin olabilir fakat siklonun diğer tarafının gelmesi fazla uzun sürmeyecektir.

Hortumda doğru yere sığınmanız önemlidir. Yerin altında veya sağlam inşa edilmiş bir binanın penceresiz bir iç odasına sığınmak idealdir. Burada kendinizi battaniye veya yastıklarla kaplayarak düşen moloz parçalarından korunabilirsiniz.

Eğer şimşek çaktıktan sonra 30 saniyeden az bir süre içinde gök gürültüsü duyuyorsanız yıldırım muhtemelen size çarpabilecek kadar yakındadır. Eğer içerideyseniz, kapılardan ve pencerelerden uzak durun ve kablolu telefon kullanmayın. Eğer dışarıda yakalandıysanız, yüksek zeminden, açık alandan ve ağaçlardan kaçının ve vücudunuzun mümkün olabildiğince az kısmının yere değdiğinden emin olarak çömelin.

Ek okuma

Henson, Robert, *The Rough Guide to Weather* (Londra: Rough Guides, 2007).

IV. Kısım

Gerekli teknolojiye sahibiz

16

Enerji çok

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *potansiyel enerji ve kinetik enerji*
- *termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu*
- *raftan bir vazo düştüğünde ne olur*
- *ısının karanlık yüzü*

Teknoloji harikalarımız, enerji kaynakları olmaksızın pek bir işe yaramazdı: Arabaların benzine, televizyonların elektriğe ve bisikletlerin de pedal çevirecek birine ihtiyacı vardır. Biyolojik organizmalar da aynıdır: Besin şeklinde enerji alamazlarsa çalışmayı hemen durdururlar.

Ama nedir enerji? Aslında zaten tanımlamış olduk, çünkü enerji, iş yapma kapasitesinden ibarettir. Bu ister arabayı hareket ettirmek olsun, ister televizyonu çalıştırmak, isterse de protein sentezlemek.

Potansiyel enerji ve kinetik enerji

Enerjinin iki temel türü vardır: potansiyel enerji ve kinetik enerji. Potansiyel enerji iş yapmaya hazır, depolanmış enerjidir: Yüksek bir raftaki vazonun yerçekimi etkisi nedeniyle potansiyel enerjisi vardır. Kinetik enerji hareketin enerjisidir,

etkin biçimde iş yapar: Eğer vazo raftan düşerse, yere çakılırken kinetik enerjisi vardır.

Gerçekte olan, vazonun potansiyel enerjisinin düşerken kinetik enerjiye dönüşmesidir, çünkü potansiyel enerji ve kinetik enerji birbirlerinin yerine geçebilir. Vazoyu rafa kaldırmak için, hareket eden kol kasları suretinde kinetik enerji kullanılır; vazo rafa konduğunda ise potansiyel enerji olur. Bu potansiyel enerji vazo yere düşerken tekrar kinetik enerjiye dönüşür.

Vazo ilk düşmeye başladığında potansiyel enerjisi kinetik enerjisinden büyüktür, fakat düşmeye devam ettikçe potansiyel enerjisinin daha fazla bölümü kinetik enerjiye dönüşür, yere hemen düşmeden önce bütün potansiyel enerjisi kinetik enerji halini almıştır. Bu noktada da, söz konusu kinetik enerji vazoyu parçalara ayırır. Bilim insanları enerjiyi iş yapma kapasitesi olarak tanımlıyabilir ama bu, işin yararlı olması gerektiği anlamına gelmez.

POTANSİYEL ENERJİNİN FARKLI TÜRLERİ

Esasen, potansiyel ve kinetik enerjinin pek çok farklı türü vardır. *Yerçekimi potansiyel enerjisine* ek olarak, bükülmüş veya sıkılmış olan esnek bir nesnede depolanmış enerji anlamına gelen *elastik potansiyel enerji* de vardır. *Kimyasal potansiyel enerji*, atomları bir arada tutarak molekülleri oluşturmalarını sağlayan kimyasal bağlarda bulunan enerji; *nükleer potansiyel enerji*, atom çekirdeklerindeki proton ve nötronların sahip olduğu enerji; *elektriksel potansiyel enerji* ise bir elektrik alanında bulunan pozitif ve negatif yüklü parçacıkların enerjisidir.

KİNETİK ENERJİNİN FARKLI TÜRLERİ

Kinetik enerji, doğrusal bir yoldaki hareketin enerjisi olan *öteleme kinetik enerjisi* ve dairesel hareketin enerjisi olan *dönme kinetik enerjisi* olmak üzere ikiye ayrılabilir. Potansiyel enerjide olduğu gibi kinetik enerji de en küçük ölçeklerde geçerlidir. Öyle ki hem atomlar hem de elektronlar kinetik enerjiye sahiptir.

İÇ ENERJİ

Sonuç olarak kırılan vazonun yerdeki parçaları enerjiden yoksun değildir. Artık yerçekimi potansiyel enerjisine veya kinetik enerjiye sahip olmayabilirler ama hâlâ hem kimyasal hem de nükleer potansiyel enerjileri vardır ve bileşen atomlarının çekirdekleri etrafında dönen elektronlarında kinetik enerji bulunur. Bu enerji, toplu olarak bir maddenin iç enerjisi olarak bilinir.

Enerji ve kuvvetler

Farklı potansiyel enerji biçimlerinin her biri 1. Bölümde açıklanmış olan, doğanın dört temel kuvvetiyle ilişkilendirilir, çünkü bir nesnenin enerjisi olması için onu daha az enerji konumuna geri çeken bir kuvvet olması gerekir.

Bu en kolay, yerçekimi potansiyel enerjisiyle anlaşılır. Burada kütle çekim kuvveti vazoyu raftan (yüksek enerji konumu) yere (düşük enerji konumu) doğru çekmektedir. Bu aynı zamanda, elektromanyetik kuvvete dayanan kimyasal ve elektriksel potansiyel enerji ile güçlü çekirdek kuvvetine dayanan nükleer potansiyel enerji için de geçerlidir. Tıpkı farklı yükseklikteki raflarda duran vazolar gibi bazı kimyasal bağlar ve atom çekirdekleri de diğerlerinden daha fazla potansiyel enerjiye

sahiptir, yani o kimyasal bağları veya atom çekirdeğindeki proton ve nötronları yeniden düzenleyerek enerji açığa çıkartılabilir.

Enerji, devamlı kinetik ve potansiyel arasında gidip geldiği için yaratılamaz veya yok edilemez. Evrende mevcut olan enerjinin tamamı en başta da oradaydı, en sonda da orada olacaktır. Bu, enerjinin korunumu olarak bilinir ve termodinamiğin, yani enerjinin pek çok yönüne hükmeden bir kanunlar dizisinin birinci kanunudur.

Enerjiden ısıya

Fakat kinetik ve potansiyel enerji arasındaki dönüşümün içerdiği bir şey daha vardır, geniş kapsamlı sonuçları olan bir şey: Isı. Vazo yere düşüp kırıldığında, potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşmüş olur. Bu kinetik enerjinin bir kısmı, vazoyu bir arada tutan kimyasal bağların bir bölümünün koparılması için kullanılır, geri kalanı ise ısı olarak açığa çıkar.

Düşen vazonun kinetik enerjisi vazo ve yerin iç enerjisinde asimile olur; vazoyu kırarak, vazo ile yeri meydana getiren moleküllerin daha hızlı hareket etmesini sağlar. Bu moleküller katı bir madde içinde sıkıca tutulurken daha hızlı hareket edemez, yalnızca daha güçlü titreşir. Gaz halindeki bir maddede ise, eğer moleküllerin kinetik enerjisi artarsa bu moleküller gerçekten daha hızlı hareket eder.

Biz, moleküler hareketteki bu artışı sıcaklıktaki artış olarak deneyimleriz: Molekülleri hızlı hareket eden veya güçlü titreşen maddeler, daha az etkin moleküllere sahip maddelere göre daha sıcaktır. Moleküller, bu kinetik enerjiyi, çarpmak veya itmek suretiyle civardaki moleküllere aktarabilir. Demir bir çubuğun bir ucunu ısıttığınızda ısının çubuk boyunca aktarılması da böyle gerçekleşir.

Fakat atomlar aynı zamanda elektromanyetik radyasyon (*bak.* 17. Bölüm) yayarak kinetik enerjilerini gitgide kaybeder, bu da o atomların oluşturduğu maddenin soğumasına neden olur. Sıcak bir demir çubuktan yayılan ısı olarak hissettiğimiz şey aslında elektromanyetik radyasyondur.

FOSİL YAKITLARDAN ISI ÜRETME

Isının bu açığa çıkışı çok yararlı olabilir; aslına bakarsanız, kullandığımız enerjinin neredeyse tamamını üretmek için ona güveniyoruz. Sözgelimi 2007 yılında enerjimizin yüzde 97'sinden fazlası o veya bu biçimde ısı tarafından üretildi. Bunun yüzde 90'ından fazlası kimyasal potansiyel enerjiden, ağırlıkla da petrol, kömür ve doğalgazda saklı olan kimyasal potansiyel enerjiden elde edildi. 13. Bölümde gördüğümüz üzere topluca aldıkları adla bu fosil yakıtlar, milyonlarca yıl boyunca kayaçların altında sıkışmış olan bitki ve alglerin kalıntılarıdır. Biz şimdi bu kalıntıları yakarak kimyasal bağlarını yeniden düzenlemekte ve ısı üretmekteyiz.

Bu fosil yakıtlar bir zamanlar yaşamış olan organizmalardan elde edildiği için maalesef bol miktarda karbon içerir. Fosil yakıtlardaki kimyasal bağları yeniden düzenlerken ortaya çıkan moleküllerden biri de karbondioksittir ve küresel ısınmadan sorumlu tutulmaktadır (*bak.* 23. Bölüm).

Yanan kömür ve doğalgazın ortaya çıkardığı ısı, yemek pişirmek veya evleri ısıtmak için doğrudan kullanılabilir, fakat genellikle suyu buhara dönüştürerek elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Bu buhar bir türbini döndürmek için kullanılmakta, türbin de buna karşılık elektrik jeneratörüne güç vermektedir.

Olan şudur: Hızlı hareket eden buhar püskürmeleri bir türbindeki pervanenin kanatlarını döndürür. Bu dönme

kinetik enerjisi daha sonra, mıknatısların metal bir bobin içinde döndüğü bir elektrik jeneratörüne aktarılır. Elektrik ve manyetizma bir madalyonun iki yüzü olduğu için bu hareket elektrik üretir (*bak.* Kutu).

Elektrik nedir?

Temel olarak elektrik, yüklü parçacıkların varlığı ve akışı sonucunda meydana gelen, birbiriyle ilişkili bir dizi olayın hepsine birden verilen addır. Elektrik akımı dediğimiz şey, negatif yüklü elektronların hareketiyle oluşur, ama bu hareket, akmakta olan bir akarsuyun hareketine benzemez.

Aslında elektronlar görece yavaş, saniyede 1 mm'den az bir hızla hareket eder. Gelgelelim bu yavaş hareket neredeyse ışık hızında yayılan bir elektrik alanı tarafından yönlendirilir. Yani elektronlar enerji santrallerinden evimize akmaz, daha ziyade enerji santralleri halihazırda elektrikli aletlerimizin içinde bulunan elektronların hareketini uyaran güçlü bir elektrik alanı üretir. Elektrik akımını üreten ve bu aletlere güç veren de işte bu uyarılmış harekettir.

Bu işlem elektromanyetik kuvvet içerdiğinden, elektrik alanının etkisi altındaki elektronların hareketi bir manyetik alan üretir. Bunun tersi de geçerlidir. Manyetik alan içinde hareket ettirilen metal bir bobinin elektrik üretmesinin nedeni de budur.

Öte yandan petrol, ağırlıkla taşımacılıkta yakıt olarak kullanılmaktadır. Isı yine merkezî öneme sahiptir, ama bu defa patlayarak açığa çıkar. Arabada, bu patlama pistonu aşağı yukarı hareket ettirir, dişliler de bu öteleme kinetik enerjisini tekerlekler için dönme kinetik enerjisine dönüştürür. Jet

uçağında ise patlama, yüksek hızda sıcak hava çıkararak itme kuvveti üreten bir türbini çevirmek için kullanılır.

BİYOYAKITLAR

Isı ayrıca bitki ve atık maddeleri yakarak elde edilebilir. Tıpkı kömür ve doğalgaz gibi, bu ısı da doğrudan veya elektrik üretmek için kullanılabilir. Fakat petrol gibi bu ısının da taşıtlara güç vermek için kullanılabilmesi için, bitkiler ve atık maddelerin önce biyoetanol ve biyodizel gibi sıvı biyoyakıtlara dönüştürülmesi gerekir.

NÜKLEER POTANSİYEL ENERJİ

Son olarak ısı, nükleer enerji santrallerinde atomların ayrılmasıyla nükleer potansiyel enerjiden elde edilebilmektedir. Bu işlem, nükleer fizyon olarak bilinir ve uranyum atomlarını nötronlarla çarpıştırarak uranyum atomunun çekirdeğindeki proton ve nötronları bir arada tutan bağların koparılmasını içerir. Bu işlem baryum ve kripton gibi yeni atomlar, daha fazla uranyum atomu ayırmaya devam eden daha fazla nötron ve bol miktarda ısı üretir. Tıpkı kömür ve doğalgaz gibi bu ısı da elektrik üretmek için suyu buhara dönüştürmede kullanılır.

ISI TARAFINDAN ÜRETİLMEYEN ENERJİ

Sonuç itibarıyla kullandığımız enerjinin ısı tarafından üretilmeyen miktarı yüzde 3'ün altındadır. Bu, rüzgâr, dalga, gelgit ve hidroelektrik gücü kapsamakta ve aslında hepsinde de elektrik üretmek için hâlâ türbin kullanılmaktadır. Fakat bunlar türbini çalıştırmak için buhar yerine suyun veya rüzgârın hareketini kullanır.

Ne ısı ne de türbin kullanan tek bir enerji teknolojisi vardır, o da güneş enerjisidir. Güneş enerjisinde, solar veya fotovoltaik

hücre adı verilen bir alet güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürmek için silikonun yarı iletken özelliklerinden (*bak.* 18. Bölüm) yararlanır.

Enerji kaybı

Evrendeki kullanılabilir enerji miktarını giderek azalttığı için ısının bir de karanlık tarafı vardır. Bu karanlık taraf, kendisini mevcut enerji teknolojilerimizin verimsizliğinde gösterir. Görülebildiği üzere, elektrik üretmek için bir türbini döndürmek; türbini döndürmek için suyu buhara dönüştürmek; buhar için ısı üretmek; ısı için kömür yakmak gerekir ve kömürün içindeki saklı kimyasal potansiyel enerjinin çok verimli bir kullanımı sayılmaz.

Tipik bir jeneratör tarafından üretilen elektrik, buharı üretmek için kullanılan enerjinin en fazla yüzde 38'ine sahiptir. Yani kimyasal potansiyel enerjinin yüzde 62'si kaybolup gitmektedir. Dahası, enerjinin bir yüzde 5-10'u da çok sıcak olabilen kablolar nedeniyle, elektriği iletmenin sonucu olarak kaybolur. Neticede elektrikli bir su ısıtıcısında su kaynatmak, aynı miktarda suyu ateşte kaynatmanın üç veya dört katı enerji tüketimine neden olur.

Güneş enerjisi de dahil olmak üzere mevcut enerji teknolojilerimizin tümü büyük miktarlarda enerji kaybetmektedir. Bu enerji, doğada ısı olarak kaybedilir ve bir kez kaybedildiğinde bir daha kullanılamaz. Yoğun ısının iş yapmasını sağlayabiliriz, ama dağınık ısı hiçbir şeye yaramaz. Bu kullanılamaz ısı şeklindeki enerji kaybı, bilim insanları tarafından entropide artış olarak bilinir ve termodinamiğin ikinci kanununun temelidir.

Genellikle Dünya için geçerli olan, evren için de geçerlidir. Güneş gibi yıldızlar muazzam miktarda enerji üretir, ama

bunun çoğu uzayda kaybolup gider. Bunun da evrenin biraz ısınmasından başka pek bir yararı yoktur. Bundan dolayı evrendeki kullanılabilir enerji miktarı kararlı bir şekilde azalmaktadır. Bu azalma, evrenin olduğu kadar bizim de uzun vadeli geleceğimiz açısından potansiyel olarak endişe verici olası sonuçlara gebedir (*bak.* 30. Bölüm).

$E = mc^2$

Hiç kuşku yok ki bu, tüm bilimsel denklemler içinde en ünlüsüdür: Tişörtleri ve posterleri süslediği gibi *rock* müzik grubu Big Audio Dynamite'ın da 1986 tarihli hit şarkısının adıdır. Almanya doğumlu büyük fizikçi Albert Einstein tarafından 1905'te hesaplanan $E = mc^2$, özünde, tüm maddenin enerjiden ibaret olduğunu söyler.

"E" enerjiyi, "m" kütleyi, "c" ise ışık hızını temsil eder ve "c" kendisiyle çarpılır veya karesi alınır. Denklem, maddeden teorik olarak ne kadar enerji açığa çıkabileceğini göstermek suretiyle yeni enerji teknolojilerinin gelişimi için bir kılavuz görevi görmüştür.

Doğrudan, enerji üretmek için atom çekirdeklerinin ayrılabileceği veya birbirleriyle birleştirilebileceği fikrine yol açmış, bu da atom bombası ve nükleer güçle sonuçlanmıştır. Ayrıca, maddeyi enerjiye dönüştürmekle kalmayıp enerjiyi de maddeye dönüştürebilen ve artarak güçlenen parçacık hızlandırıcılara yol açmıştır.

Ek okuma

Coopersmith, Jennifer, *Energy: The subtle concept* (Oxford: OUP, 2010).

17

Dalgalar dalga

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *enine ve boyuna dalgalar*
- *radyo dalgalarından gama dalgalarına kadar elektromanyetik radyasyon*
- *gökyüzü neden mavidir ve gökkuşağı neden rengârenktir*
- *radyo sinyali nasıl üretilebilir*

Enerjiyi uzun mesafelerde aktarmak için dalgalara ihtiyacınız vardır. Neredeyse 150 milyon kilometre uzaklıktaki Güneş'ten yayılan ışık ve ısı dalgalarının keyfini çıkarmayı seven herkes bunu anlayacaktır.

Dalgalar bir mesafe boyunca dağılan salınımlardır ve atomlardan moleküllere, gitar tellerinden Dünya'nın yerkabuğunun kısımlarına kadar belli nesnelerin görece sınırlanmış hareketinden kaynaklanabilirler. Durgun bir havuza taş atıldığında oluşan dalgalanma klasik bir dalga örneğidir. Görülen dalgalanma enine dalgalar olarak bilinir, çünkü salınımlar dalganın hareketine dik açıyla gerçekleşir (dalgalanma aşağı yukarı doğru dikey hareket ederken yatay olarak yayılır).

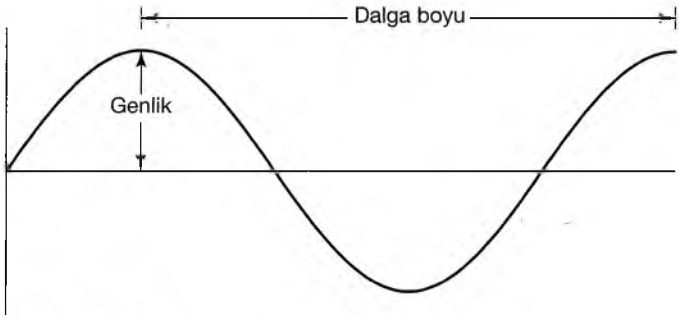
Bir başka klasik dalga türü ise boyuna dalga olarak bilinir ve burada salınma, dalgayla aynı yönde hareket eder. Boyuna dalgalar ince telden meydana gelen spiral bir tüp içinde, tüpün

bir ucunun ileri geri hareket ettirilmesiyle kolayca üretilebilir. Bu, tellerin, tel boyunca devam etmek için sıkıştığı bir bölge oluşmasına, bu da tellerin daha dağınık bulunduğu bir başka bölge oluşmasına neden olur. Bu boyuna bir dalgadır ve ses dalgaları, yüksek ve alçak basınç bölgelerini kapsayarak yol aldıkları havada bu biçimi alırlar.

Dalga boyu, genlik ve frekans

Hem enine hem de boyuna dalgalar üç ana özelliğe sahiptir: dalga boyu, genlik ve frekans. Bu özellikleri açıklamanın en kolay yolu, en basit enine dalga türü olan sinüs dalgasını ele almaktır (*bak.* Şekil 17.1). Sinüs dalgasının bilinen matematiksel bir tanımı olmakla birlikte "dalga" dendiğinde çoğu insanın aklına o gelir.

Art arda iki tepe arasındaki mesafenin metre cinsinden ölçülmesine benzer şekilde dalga boyu da, dalganın tek bir devirde katettiği mesafedir. Genlik, denge konumuna referansla azami salınımdır: Enine dalga için metre cinsinden tepenin yüksekliği veya çukurun derinliği, boyuna dalgalar için ise azami veya asgari sıkışma anlamına gelir. Frekans, sabitlenmiş



Şekil 17.1 Sinüs dalgası

bir noktadan bir saniyede geçen dalga sayısıdır ve hertz cinsinden ölçülür (1 hertz ya da Hz saniye başına bir dalgaya ya da bir devire denktir).

Dalganın bir diğer önemli özelliği ise yayılım hızıdır ve frekansın dalga boyuyla çarpılmasıyla kolayca hesaplanabilir. Yani frekansı 5 Hz ve dalga boyu 2 m olan bir dalga saniyede 10 m hızla yayılır.

Dalgalar ve enerji

İster bir atomun içinde olsun, isterse Dünya'nın yerkabuğunun bir parçasında olsun, hareket üretmek için enerji gerekir. Benzer şekilde, takip eden dalga da enerjiye sahiptir ve bu enerjinin miktarı, dalganın genliğiyle frekansına bağlıdır. Genliği daha fazla olan dalgaların sahip olduğu enerji miktarı da daha fazladır. Genliğin doğrudan ses yüksekliğiyle ilgili olduğu ses dalgaları buna örnektir. Bir başka örnek ise sahile vuran dalgalardır: Küçük olduklarında ayaklarınızı yalayıp geçerler, fakat büyük olduklarında insanı yere devirebilirler. Frekans da bir etkendir, çünkü frekans arttıkça belirli bir süre zarfında belirli bir noktaya çarpan enerjiye sahip dalga sayısı artar.

Dolayısıyla, elektromanyetik radyasyonda da görülebileceği üzere daha yüksek frekans ve genliğe sahip dalgalar üretmek için daha fazla enerji gerekir.

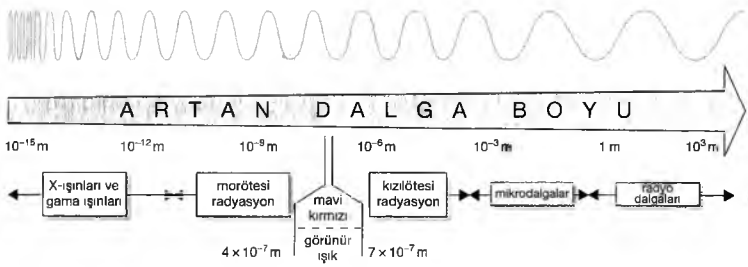
Elektromanyetik radyasyon

Dünya'nın yerkabuğunun hızla hareket eden kısımları deprem üretir, hızla hareket eden gitar telleri müzik üretir, hızla hareket eden atomlar ve moleküller ise elektromanyetik radyasyon üretir. Daha açık olmak gerekirse, elektromanyetik radyasyon,

atomları ve molekülleri meydana getiren yüklü elektronlar ve protonların hareketleri sonucunda oluşur.

Elektromanyetik radyasyon bir enine dalgadır ve dalga boyları binlerce kilometreyle ölçülen 100 Hz'lik radyo dalgalarından tutun da, dalga boyları bir nanometrenin kesirleriyle ölçülen 10^{20} Hz'lik gama dalgalarına kadar birbirinden çok farklı dalga boylarına ve frekanslara sahip olabilir (*bak*. Şekil 17.2). Öte yandan en fazla aşina olduğumuz elektromanyetik radyasyon biçimi görünür ışıktır ve dalga boyları 400 nanometre (nm) ila 700 nm değişen, frekansları ise 400-800 trilyon Hz olan çok ince bir elektromanyetik spektrum bandından oluşur.

Elektromanyetik radyasyon ışık hızında (saniyede 300.000 km; yine de *bak*. Kutu) yol alır. Bir dalganın yayılma hızı basitçe dalga boyu ile frekansın çarpımı olduğu için bu, frekans ile elektromanyetik radyasyonun dalga boyunun neden ters orantılı olduğunu açıklar. Tüm elektromanyetik radyasyon biçimlerinin ışık hızında yol alması için (ve hiçbir şey ışık hızından daha hızlı hareket edemez) dalga boyu düştükçe frekansın artması gerekir ve bunun tam tersi de geçerlidir.



Şekil 17.2 Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik radyasyon bir enine dalga olmasına rağmen aslında iki kısımdan oluşur: bir elektrik kısmı ve bir de manyetik kısmı. Hatta elektromanyetik radyasyon, en iyi, boşlukta salınan elektrik ve manyetik alanlar olarak anlaşılabilir. İki kısım eşevrelidir (yani elektrik dalgasının tepe noktaları, manyetik dalganın tepe noktalarıyla eşleşir) fakat birbirlerine dik açıyla yol alırlar (bu nedenle manyetik dalga, elektrik dalgasının bir tür gölgesi gibi görünür).

FARKLI FREKANSLAR

Atomlar ve moleküller sadece tek bir frekansta değil farklı frekanslarda elektromanyetik radyasyon yayarlar ve bu frekansların tam aralığı ne kadar enerjik hareket ettiklerine bağlıdır. Hızla (bolca kinetik enerjiyle) hareket eden veya titreşen atom ve moleküller daha yavaş titreşen atom ve moleküllere göre daha yüksek frekanslarda elektromanyetik radyasyon yayarlar.

Elektromanyetik radyasyon tek bir frekansta klasik bir sinüs dalgası olarak var olur, ama eğer radyasyon bir dizi frekansta yayılıyorsa tek tek sinüs dalgaları üst üste binerek daha karmaşık dalgalar meydana getirirler. Bunlar klasik sinüs dalgalarından daha düzensizdir; tam şekilleri, tekil sinüs dalgalarının tepe ve çukurlarının birleşme şekli tarafından belirlenir. Yine de, her elektromanyetik radyasyon farklı sinüs dalgalarının birleşimlerinden ibaret olduğu için teorik olarak tek tek frekanslarına ayrılabilir.

IŞIK VE RENKLER

Dar bir frekans aralığından oluştuğunu öğrendiğimiz görünür ışığı ele alalım. Görünür ışığı bileşen frekanslarına ayırmak için tek yapmanız gereken bir prizma tutmaktır. Prizma, beyaz ışığı

gökkuşağının tüm renklerine dönüştürür (bunun nasıl olduğuna dair açıklama için *bak.* Kutu). 400 trilyon Hz'lik kırmızı ışıktan tutun da 800 trilyon Hz'lik mor ışığa kadar gördüğümüz bütün renkler elektromanyetik radyasyonun farklı frekanslarından ibarettir.

Gökkuşakları

Prizmanın beyaz ışığı ayırabilmesinin nedeni elektromanyetik radyasyonun uzay boşluğunda ışık hızında yol almasıdır. İçinden geçtiği herhangi bir madde onu yavaşlatır. En fazla yavaşlatan katı maddeler, en az yavaşlatan ise gazlardır. Bu, bir bardak su içinde duran pipetin neden kırılmış gibi göründüğünü açıklar: Işık, sudan havaya doğru yol alırken hızdaki değişim nedeniyle ışığın yönü değişmektedir.

Dahası, elektromanyetik radyasyonun ne kadar yavaşlayacağı da frekansına bağlıdır. Yani beyaz ışık şeffaf bir prizmadan geçerken, yüksek frekanslar ışığı düşük frekanslara göre daha çok yavaşlattığı için ışığın gökkuşağı renklerine ayrılmasına neden olurlar. Yağmur damlaları prizmanın yerini aldığında aynı süreç, gökyüzünde oluşan gökkuşakları için de geçerlidir.

Işık ayrıca moleküller ve diğer minik parçacıklar tarafından da saçılabilir ve saçılma miktarı da yine ışığın frekansına bağlıdır: Yüksek frekanslar düşük frekanslara göre daha çok saçılır. Gökyüzünün mavi olmasının nedeni, atmosferdeki gaz moleküllerinin yüksek moleküllü mavi ve mor ışığı düşük frekanslı kırmızı ışıktan daha fazla saçmasıdır, bu da mavi ışığın gökyüzündeki bütün noktalardan geliyor gibi görünmesine neden olur.

Çevremizde gördüğümüz renkli dünyayı tamamen faklı maddelerin farklı dalga boylarındaki ışığı soğurmasına ve yansıtmasına borçluyuz. Yani tişörtünüz, kırmızı ışığı yansıttığı ve diğer tüm frekansları soğurduğu için kırmızı görünür.

KIZILÖTESİ FREKANSLAR

Atomlar ve moleküller elektromanyetik radyasyonu sadece yaymaz, aynı zamanda soğurur da. Farklı atom ve moleküller farklı frekansları soğurur (*bak.* Kutu). Sonuç olarak daha hızlı hareket ederler, bu da sonsuz bir döngü içinde daha fazla elektromanyetik radyasyon yaymalarına neden olur.

Frekansları soğurmak

Belirli moleküllerin elektromanyetik radyasyonu belirli frekanslarda yayma veya soğurma eğilimi, tespit edilmeleri için bir araç oluşturur. Örneğin birçok ışık yılı uzaktaki moleküler bulutların içindeki molekülleri (*bak.* 2. Bölüm) tespit edebilmek gibi parmak ısırtan bir yeteneğe sahibiz ve bunu, moleküllerin elektromanyetik radyasyonu belirli radyo frekanslarında ve kızılötesi frekanslarda yayma ve soğurma eğilimine borçluyuz.

Arka plandaki bir yıldızın ışığıyla aydınlanan yoğun bir moleküler buluta bir radyo veya kızılötesi teleskop doğrultmak, farklı frekanslarda elektromanyetik radyasyonun spektrum olarak bilinen okumasını sunar. Bulut olmaksızın bu spektrum farklı frekansların eşit bir karışımını içerirdi. Fakat buluttaki moleküller farklı frekanslarda elektromanyetik radyasyonu soğurduğu ve yaydığı için esasen tepeler ve çukurlar içerir.

Belirli bir frekanstaki ışığı yayan bir molekül spektrumda bir tepe olarak görünür; belirli bir frekanstaki ışığı soğuran bir molekül ise çukur olarak görünecektir. Bilim insanları,

bu spektrumları Dünya üzerindeki laboratuvarlarda üretilenlerle karşılaştırarak tepeler ve çukurlardan sorumlu moleküllerin çoğunu kendilerinden emin bir şekilde tespit edebilmektedir.

16. Bölümde gördüğümüz üzere konak madde ister gaz, ister sıvı, isterse katı olsun, daha hızlı hareket eden atom ve moleküller konak maddede sıcaklık artışı anlamına gelir. Eğer bir madde elektromanyetik radyasyonu soğuruyorsa ısınacaktır. Bu da güneşli bir günde neden hemen her şeyin ısındığını açıklar. Daha sonra da, genelde de görünür ışığın frekanslarının hemen altındaki kızılötesi dalga boylarında (yaklaşık 400 trilyon Hz ila 1 trilyon Hz) elektromanyetik radyasyon salarak soğuyacaktır.

RADYO DALGALARI

Kızılötesi frekansların altında mikrodalgalar (yaklaşık 300 milyar Hz ila 300 milyon Hz) ve bunun da altında, tüm uzun mesafeli iletişim biçimlerinin temelini oluşturan radyo dalgaları bulunur. Daha önce de söylediğimiz gibi, düşük frekanslarda elektromanyetik radyasyon üretmek, yüksek frekanslarda üretmeye göre daha az enerji ister. Sadece metal bir antene değişken elektrik akımı uygulanarak birkaç milyon hertzlik frekansa sahip radyo dalgaları üretilebilir. Sonuçta antende oluşan elektron akışı radyo dalgalarını meydana getirir, dalgaların frekansı da akımın değişim hızına bağlıdır.

Yani bir radyo sinyali üretmek için tek yapmanız gereken, konuşma veya müzik gibi ses dalgalarını değişken bir elektrik akımına dönüştürmenizi sağlayacak bir mikrofon kullanmaktır. Bu genellikle ses dalgalarına diyafram gibi duyarlı olan bir

şeyi elektrota bağlayarak yapılır ki diyaframın hareketi bir elektrik akımı üretsin. Sonra bu sinyalin doğrudan antene aktarılmasıyla radyo dalgaları elde edilir.

Birkaç bin hertzlik frekansa sahip radyo dalgaları enerjilerini kaybedip yavaşça yok olmadan önce 1.600 km kadar yol alabilirler. Bu da, radyo dalgalarının alıcı bir antende küçük elektrik akımları üreteceği ve iletim işleminin aksi yönünde belli bir uzaklıktaki bir alıcı tarafından alınabilecekleri anlamına gelir. Bu akım daha sonra elektrik sinyalini ses dalgalarına dönüştüren kulaklık veya hoparlörlere aktarılır.

SES DALGALARINI RADYO DALGALARINA DÖNÜŞTÜRMEK

Radyodan televizyona, cep telefonlarından kablosuz bağlantıya kadar uzun mesafeli iletişimin neredeyse tüm biçimleri radyo dalgalarını bu şekilde kullanır. Elbette buraya varmak için birçok teknik engelin aşılması gerekiyordu. İlk engellerden biri de, birkaç bin hertzlik frekansa sahip ses dalgalarının birkaç milyon hertzlik frekansa sahip radyo dalgalarına nasıl dönüştürüleceğiydi.

İlk radyo mühendisleri bunu yapmak için modülasyon adını verdikleri bir işlem geliştirdiler. Bu işlemin ilk biçimi, yüksek frekanslı bir dalganın genliğini düşük frekanslı bir dalganın tepe ve çukurlarıyla eşleşmesi için değiştirmeyi içeriyordu ve hâlâ genlik modülasyonu (genlik, İngilizcede *amplitude* olduğundan AM) olarak bilinmektedir. Bunun, frekans modülasyonu (FM) olarak bilinen alternatif bir versiyonu da yüksek frekanslı dalganın frekansını değiştirerek aynı şeyi yapar ve parazitlerden daha az mustarip olmak gibi bir avantajı vardır. İşte bugün AM ve FM radyolarımızın olmasının nedeni budur.

TELEVİZYON

Televizyonda daha da büyük bir güçlük söz konusuydu, çünkü sesle birlikte görüntülerin de iletilmesi gerekiyordu. Mühendisler bunun için de aynı temel tekniği benimsediler, yalnız bu defa daha geniş bir frekans aralığı vardı. Böylece siyah beyaz görüntüler, birlikte görüntü oluşturan yüzlerce farklı kare ya da pikselin parlaklığını temsil eden dalgalar biçiminde bir dizi frekans üzerinden gönderiliyordu. Renk, ses ve eşleme işaretlerinin birlikte farklı sinyallerle eşleşmesi için daha sonra hepsi farklı frekans dizileri üzerinden gönderiliyordu.

Gelgelelim, radyo dalgaları artık giderek ses dalgaları veya görsel imgelerin fiziksel temsilleri yerine birler ve sıfırlardan oluşan dizileri iletir hale gelmiştir.

Dijital çağa hoş geldiniz.

Ek okuma

Baker, Joanne, *50 Physics Ideas You Really Need to Know* (Londra: Quercus Publishing, 2007).

18

Aşırı enformasyon yükü

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *ikili sayılar ve Boole cebiri*
- *CD'ler ile DVD'ler nasıl çalışır ve dijital çağ nedir*
- *bilgisayarın doğuşu*

ABD Kongre Kütüphanesi'nden İngiltere taşrasında tıngır mıngır ilerleyen en küçük gezici kütüphaneye kadar dünyanın tüm kütüphanelerindeki tüm kitapları düşünün. O kitaplarda bulunan onca enformasyonu bir düşünün: Sayısız sözcükle ifade edilmiş bilgi, fikir ve deneyimin muazzam bir birikimi.

Aslına bakarsanız tüm o kitaplar, şu anda insanlık tarafından üretilmekte olan toplam enformasyon miktarının sadece çok küçük bir kısmını oluşturmakta ve bu kısmın oranı da sürekli düşüş halinde. Bu devasa enformasyon kütlesi ise özenle işlenmiş sözcükler yerine yalnızca sıfır ve bir dizilerinden, 0'lar ve 1'lerden oluşuyor.

Kulağa inanılmaz mı geliyor? New Mexico'da kurulu tek bir teleskopla gökyüzünün yüzde 25'ini haritalandırma çabası olan Sloan Dijital Gökyüzü Araştırması (SDSS) 2000 yılında hayata geçmesini izleyen ilk haftalar içinde, daha önce tüm astronomi tarihi boyunca biriktirilenden çok daha fazla veri üretti. On yıl sonra arşivi 140 terabaytlık veri (140.000 gigabayt; *bak.* Kutu)

içeriyordu. 2016'da SDSS'nin yerine geçecek olan Şili'deki Büyük Sinoptik Araştırma Teleskopu, 140 terabaytlık veriyi her beş günde bir üretecek.

Birçok büyük perakende satış şirketi gibi Wal-Mart da müşterilerinin satın alımlarının kaydını tutmaktadır. Saatte 1 milyondan fazla işlemden bahsediyoruz. Wal-Mart'ın veritabanları şu anda tahminen 2,5 petabaytlık (2,5 milyon gigabayt) veri içermektedir, bu da Kongre Kütüphanesi'ndeki kitapların 167 katına eşdeğerdir.

Her gün gönderdiğiniz ve aldığınız tüm e-postaları düşünün; yaptığınız tüm kredi kartı işlemlerini, izlediğiniz DVD'leri ve oynadığınız bilgisayar oyunlarını; interneti düşünün. Sonuç itibarıyla bunların tümü, ikili sayılar olarak bilinen basit 0 ve 1 dizileri halindeki enformasyondur. Aynı zamanda hızla büyümektedir: İnsanlığın 2005'te 150 eksabaytlık (150 milyar gigabayt) enformasyon ürettiği tahmin edilmektedir. Sadece beş yıl sonra muhtemelen 1.200 eksabayt civarında bir miktar üretir hale gelmiştik.

Boole ve mantıksal çıkarım

Peki, bu noktaya nasıl geldik? Pek çok bakımdan, mevcut enformasyon selinin izlerini, 1930'ların sonunda Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde okurken elektrik anahtarlarına merak salan Amerikalı genç mühendis Claude Shannon'ın içgörüsüne kadar takip edebiliriz. Shannon özellikle de elektrik anahtarlarını Boole cebiri denilen sembolik bir mantık biçiminin uygulanmasında kullanmakla ilgileniyordu.

On dokuzuncu yüzyılın ortalarında, İngiliz matematikçi George Boole tarafından geliştirilen Boole cebiri, mantıksal çıkarımın matematik cinsinden ifade edilmesine olanak tanır. Mantıksal

çıkarım, belirli bir ifadenin doğru veya yanlış olmasının belirli başka ifadelerin doğru ve yanlış olmasına bağlı olarak belirlenmesini içerir, yani tüm rasyonel argümanların temelidir. Basit bir örnek verecek olursak, "Tüm köpekler memelidir" doğrudur ve "Labrador bir köpektir" ifadesi de doğrudur, öyleyse "Tüm Labradorlar memelidir" de doğru olmalıdır.

Boole, bu türden mantıksal çıkarımların matematik denklemleri olarak yeniden kurulabileceğini gösterdi. Bu matematik denklemlerinde belirli ifadelerin doğruluğu veya yanlışlığı, doğru veya yanlış olabilen çıktılar üreten mantıksal kuralların girdileridir. Yukarıdaki örnek, VE kuralının uygulamasını göstermektedir: Eğer iki girdi ifadesi de doğruysa çıktı ifadesi de doğrudur; ama eğer ifadelerin biri ya da ikisi birden yanlışsa, örneğin "memeli"yi "sürüngen"le değiştirirsek, o zaman çıktı ifadesi de yanlış olacaktır (Tüm Labradorlar sürüngen değildir).

Alan Turing, 1912-1954

Claude Shannon modern programlamanın öncülerinden biri olmuş olabilir, fakat Atlantik'in her iki tarafında başkaları da vardır. İngiliz öncülerden biri de matematikçi Alan Turing'di. Biraz gizemli bir matematik konusu olan bilgiişlem sayıları üzerine 1936 tarihinde yazdığı bilimsel makalesinde ilk defa modern bilgisayarın teorik tasarımını ortaya koymuştur. Artık Turing makinesi olarak bilinen bu tasarım, dışsal talimatlara ve kendi içsel durumuna göre belli işlevleri yerine getiren mekanik bir nesneden oluşuyordu.

Turing 1950'de, bir bilgisayarın zeki olup olmadığını belirlemek için Turing testi adıyla anılan bir test tasarladı. Test kapsamında bir deneyci, görünmeyen bir insan ve bilgisayara sorular yöneltiyor, eğer cevapların insandan mı yoksa bilgisayardan mı geldiğini ayırt edemezse bilgisayar zeki addedilebiliyordu.

Turing, İkinci Dünya Savaşı sırasında da, kötü şöhretli Enigma kodları da dahil olmak üzere Almanya'nın askeri kodlarından bazılarını kırarak önemli bir rol oynadı. Genç yaşta ölümü tam bir trajedidir. Eşcinsel olduğu gerekçesiyle dava açılması üzerine intihar ederek hayatına son vermiştir. Eşcinsellik o dönemde yasaya aykırıydı.

TRANSİSTÖRÜN GELİŞİMİ

Boole cebrinde girdiler ve çıktılar doğru ve yanlış olmak üzere yalnızca iki değer alabildiğinden Shannon, ya açık ya da kapalı olabilen elektrik anahtarlarıyla temsil edilebileceklerini fark etmişti. Bu da, eğer yeteri miktarda elektrik anahtarını bir araya getirirseniz mantıksal çıkarım yapabilecekleri anlamına geliyordu. Fakat bu fikrin gerçek bir sıçrama yapabilmesi için 10 yıl daha zaman ve transistörün gelişmesi gerekiyordu.

Bir transistör esasen, silikon veya germanyum temelli yarı iletken maddelerden yapılan küçük bir elektrik anahtarıdır. Adından da anlaşılacağı üzere bir yarı iletken belirli koşullara bağlı olarak elektriği bazen çok iyi iletir, bazen de hiç iletmez. Bu koşullar denetim altına alınarak transistörün iletken olduğu ve iletken olmadığı durumlar arasında gidip gelmesi, yani bir anahtar gibi davranması sağlanabilir.

Bilim insanları, bu küçük anahtarları edindikten sonra artık belirli mantıksal işlevleri yerine getirmek üzere onları birleştirebilir ve mantıksal kapılar adını verdikleri sistem elemanlarını üretebilirlerdi. Bir VE kapısının doğru veya yanlış yerine 1 veya 0 olan iki girdisi vardır ve bunlar, elektrik akımının sırasıyla varlığını veya yokluğunu temsil eder. Eğer iki girdi de 1 ise çıktı da 1'dir. Eğer girdilerin biri veya ikisi birden 0 ise çıktı da 0'dır.

Diğer iki temel mantık kapısı da VEYA kapısı ile DEĞİL kapısıdır. Bir VEYA kapısında girdilerin biri veya ikisi de 1 ise çıktı 1'dir, eğer iki girdi de 0 ise çıktı sıfırdır. Bir DEĞİL kapısının yalnızca bir girdisi ve bir çıktısı vardır, o da basitçe girdinin karşıtıdır: Yani 1 0 olur ve 0 da 1 olur. Bu girdi ve çıktı örüntüleri her mantıksal kapı için tablolaştırılabilir. Bu tablolar doğruluk tabloları olarak adlandırılır.

Hepsi kulağa çok basit geliyor, öyle değil mi? Ama eğer birkaç mantıksal kapı birbirine bağlanarak basit devre oluşturulursa, örneğin bir mantıksal kapının çıktısı başka bir mantıksal kapının girdisi olursa, o zaman aritmetik gibi basit hesaplama işlevlerini yerine getirebilirler. Elbette elimizde yalnızca 0 ve 1 olduğu için bu aritmetiğin alışık olduğumuz, 10'un katlarına dayanan ondalık sistem yerine ikili sayı sistemine göre yürütülmesi gerekir.

Ondalıklardan ikililere

Ondalık sistemde sayılar sola doğru büyüyerek artar, eklenen her rakam 10'un katlarında bir artışı temsil eder. Yani 351 sayısı birlerde bir, onlarda beş ve yüzlerde üçten oluşur; eğer 3'ün soluna bir sayı daha eklersek o sayı binleri temsil eder. İkili sistemde de aynıdır, ama burada eklenen her sayı ikinin katlarında bir artışı temsil eder. Yani 1101 sayısı birlerde bir, dörtlerde bir ve sekizlerde birden oluşur (ikinci konumdaki sıfır bu sayıda ikiler olmadığı anlamına gelir). Böylece, 1101 ondalık sistemdeki 13'e (1+4+8) karşılık gelir.

Her ondalık sayının ikili sistemde bir karşılığı vardır, bu da mantıksal kapı gruplarının toplama, çıkarma, çarpma ve bölme yapabilmesine olanak tanır. Fakat bu, buzdağının yalnızca görünen kısmıdır, çünkü ikili biçime dönüştürülebilen yalnızca

ondalık sayılar değildir. Her tür enformasyon 1'ler ve 0'lardan oluşan dizilere dönüştürülebilir.

SESİ 1'LERE VE 0'LARA DÖNÜŞTÜRME

Ses dalgalarını ele alalım (*bak.* 16. Bölüm). 1'ler ve 0'lara dönüştürülmeye direnç gösterecek gibidirler, çünkü ses dalgalarının sürekliliği olduğunu, 1'ler ve 0'ların ise tek başlarına sayılar olduklarını düşünürüz. Oysa aslında tek yapmanız gereken, dalgayı bir sürü ince şeride ayırmak ve sonra da o küçük şeritlerde dalganın genliğini ölçmektir. Bu, zamanla değişen bir ondalık sayılar dizisi ortaya çıkaracaktır ve gördüğümüz üzere, ondalık sayılar ikili sisteme kolayca dönüştürülebilir.

Eğer bu 1'ler ve 0'lar düz plastik bir diskin üzerindeki küçük oyuklarla (oyuğun varlığı 0, yokluğu 1 olmak üzere) temsil edilirse bir CD'niz olur. Bu oyuklar yalnızca ses dalgalarını değil parlaklık ve rengi de kodluyorsa bir DVD'niz var demektir.

VERİ DEPOLAMAK İÇİN İKİLİ HANELERİ KULLANMAK

Görünen o ki her türlü enformasyonu kodlamanın, depolamanın ve iletmenin en etkili yolu bitler (*bak.* Kutu) olarak da bilinen ikili sayılardır ve rastlantı sonucu da olsa bunu kanıtlayan Shannon olmuştur. Diyelim ki 1'den 999'a kadar tüm sayıları fişlerle göstermek istiyorsunuz, en az kaç fişe gerek duyardınız? Eğer sayıları ondalık sistemde göstereceksiniz 29 fiş gerekirdi (0 ila 9'dan iki set ve 1 ila 9'dan bir set).

Öte yandan, eğer sayıları ikili sistemde göstereceksiniz sadece 20 fişe gerek duyarsınız (1'ler ve 0'lardan onar set) çünkü bu

durumda 1.024'e (2'nin 10 defa kendiyle çarpımı, ya da 2^{10}) kadar her sayıyı temsil edebilirsiniz. Tüm bilgiler için aynısı geçerlidir: Kodlamanın ikili sistemden daha ekonomik bir yolu yoktur.

Mikroişlemci

Shannon duruma bir kere açıklık getirdikten sonra artık dönüş yoktu: Gelecek, dijitaldi. Transistörler küçülüp tek bir silikon çipe sığabilir hale geldikçe, bilim insanları, bu ikili sayıları çok daha ileri yöntemlerle işleyebilecek daha karmaşık devreler tasarlayabildi. Böylece mikroişlemci doğmuş oldu. Bugün en ileri mikroişlemciler 1 milyardan fazla transistör içermektedir.

Dahası, bu işlemenin sonuçları başka transistörler tarafından ikili sayılar halinde depolanabilmekte ve böylece belleği oluşturmaktaydı. İkili sayılar daha sonra bu bellek deposu ve mikroişlemci arasında yol alabilir, ayrıca mikroişlemcinin farklı bileşenleri arasındaki bağlantıları denetleyebilen bir bilgisayar programı şeklinde dışarıdan da getirilebilirdi. Modern bilgisayar doğmuştu.

Bugün bilgisayar her yerdedir ve olağanüstü bir güce sahiptir: Modern bir cep telefonunda, 1969'da insanı Ay'a taşıyan programlama gücünden çok daha fazlası vardır. Bilgisayarlar işten eğlenceye, iletişimden ilişkilere kadar hayatımızın her alanını dönüştürdü. Ayrıca daha önce eşi benzeri görülmemiş miktarlarda enformasyonu işlememize ve üretmemize olanak tanıdılar; öyle ki şu an fiziksel depolama kapasitemizi aşan miktarlarda veri üretmekteyiz.

Bitler ve baytlar

Bit terimi, (İngilizcede ikili sayı anlamına gelen) *binary digit*'in daraltılmış halidir ve bir 1'ler ve 0'lar dizisindeki her bir haneye işaret eder. Bit, temel dijital enformasyon birimini temsil eder ve Claude Shannon'ın kanıtladığı üzere herhangi bir mesajın enformasyon içeriğini ölçmek için kullanılabilir.

Bunun temelde iki bileşeni vardır. İlki, bir mesajın uzunluğunu ikili yazımda belirlemektir, çünkü daha uzun mesajlar daha fazla enformasyon içerebilir.

Fakat açık ki bu yeterli değildir, çünkü mesajın içeriği de dahil edilmelidir, yoksa uzun, anlamsız bir mesaj kısa, anlamlı bir mesajdan daha bilgilendirici addedilebilir. Dolayısıyla mesajın uzunluğunun, o mesajın doğru olma veya gerçekleşme olasılığıyla çarpılması gerekir: Anlamsız bir mesajın gerçekleşme olasılığı ve dolayısıyla enformasyon içeriği de yoktur.

Sonuç olarak Shannon tarafından geliştirilen denklem internet de dahil olmak üzere enformasyonu tasarlamak ve iletmek için çok daha etkili sistemler geliştirilmesine ön ayak olmuştur.

Bilgisayarlarda, bit dizilimleri sekizli gruplara ayrılarak baytları oluşturur. Baytlar ise bir rakamı veya bir harfi kodlamak için gereken biti temsil ederler. Baytlar artık dijital bellek için ölçü birimi olarak kullanılmaktadır; yani 200 gigabaytlık bir sabit disk 200 milyar bayttan ya da 1,6 trilyon bitten oluşur. Aslında bu tamamen doğru değildir, çünkü hâlâ ikili sistemde çalıştığımız için bir gigabayt aslında 2^{30} (ya da 1 milyardan biraz fazla) bayttır. Yine de yeteri kadar yakın sayılır.

Ek okuma

Von Baeyer, Hans Christian, *Information: The new language of science* (Londra: Phoenix, 2004).

19

Bas gaza

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *katalizörler tepkimeleri nasıl hızlandırır*
- *homojen ve heterojen katalizörler arasındaki fark*
- *altın neden partideki sarhoşa benzer*
- *nanoteknoloji nasıl işe yarayabilir*

Bu kısımda şu ana kadar bahsettiğimiz teknolojiler, açıkça modern dünyanın düzeninin temelini teşkil etmektedir. İçinde yaşadığımız dünya, enerji, iletişim ve programlama teknolojileri olmaksızın çok farklı görünürdü. Bu bölümde, eşit derecede önemli fakat çok daha az bilinen bir teknolojiden, katalizörlerden bahsedeceğiz.

Katalizörler

Katalizörler olmasa plastiğimiz, modern ilaçlarımız, toz deterjanımız ya da benzinimiz olmazdı ve çok daha az yiyeceğimiz, giyeceğimiz ve boyamız olurdu. Katalizörler olmasa ileri enerji, iletişim ve programlama teknolojilerinin gelecek neslini geliştireceğimize dair umudumuz da olmazdı.

Bunun nedeni moleküllerin doğaları gereği derbeder olmasıdır, birbirleriyle tepkimeye girerek yeni maddeler oluşturma

zahmetine girmek yerine tembellik etmeyi tercih ederler. Molekülleri yerlerinden kaldırmak için onlara ısı vererek enerji yüklemesi yapmak veya bir katalizörün yaptığı gibi dostça bir yardım eli uzatmak gerekir. Çoğu zaman her ikisi de gerekir.

KATALİZÖRLER NE YAPAR?

Katalizör, kendisi kimyasal değişime uğramadan belirli bir kimyasal tepkimeyi teşvik eden veya hızlandıran bir maddedir. Yukarıda listelenen ürünleri üretmek için gereken tepkimelerin neredeyse hiçbiri katalizörler olmadan, en azından makul bir süre zarfında gerçekleşemezdi. Bu tepkimelerin çoğu hâlâ ısı biçiminde enerji eklenmesine gereksinim duyar, fakat katalizörler olmasa daha da fazla ısı gerekirdi. Bilimsel bir dille söyleyecek olursak, katalizörler, bir tepkimenin başlayabilmesi için aşılması gereken enerji sınırı olan aktivasyon enerjisini aşağı çekerler.

Katalizörlerle ilgili bir diğer özellik ise ivme kazandırdıkları tepkimeler konusunda bir hayli titiz olmalarıdır. Bu, bir katalizör grubunun başlangıçtaki kimyasal maddeyi, genellikle de petrolü, modern dünyada kullanılan geniş çaplı kimyasal ürünlere dönüştürmek için çoğunlukla bir sırayla çalışması gerektiği anlamına gelir. Katalizörler olmasa küresel petrol ve kimya endüstrilerinin de var olamayacağını söylemek abartı olmaz.

HOMOJEN VE HETEROJEN KATALİZÖRLER

Çok sayıdaki farklılıklarına rağmen katalizörler, genişçe iki türe ayrılarak sınıflandırılabilir: homojen ve heterojen katalizörler. Homojen katalizörler tepkimeye giren kimyasallarla aynı fiziksel halde yani gaz, sıvı veya katı halde bulunurken heterojen katalizörler farklı bir haldedir. Pratikte, homojen katalizörler genellikle sıvıdır ve sıvı halinde tepkimeye

girenlerle birlikte çalışırlar. Heterojen katalizörler ise genellikle katıdır ve sıvı veya gaz halinde tepkimeye girenlerle birlikte çalışırlar.

Bir katalizörün bir tepkimeyi hızlandırması için tepkimeye giren kimyasallarla etkileşime girmesi gerekir. Tepkimeye giren kimyasalların, heterojen katalizörün bir şekilde üzerinden geçmeleri veya içine nüfuz etmeleri gerekir. Oysa sıvı halde tepkimeye girenler, sıvı haldeki bir homojen katalizörle öylece karışıverir. Bu nedenle homojen katalizörlerin, tepkimeye giren kimyasallarla etkileşime girmesi, heterojen katalizörlere göre kesinlikle daha kolaydır.

Dolayısıyla, çok sayıda asit içeren homojen katalizörler heterojen katalizörlerden daha etkili olma eğilimindedir. Dezavantajları, katalizörü son üründen ayırmanın zorluğudur, özellikle eğer o da sıvıysa. Ayrıca bilim insanları homojen katalizörlerden çok heterojen katalizörler konusunda deneyim kazanmıştır, dolayısıyla ilkini geliştirmek kolaylarına gelmektedir. Sonuç olarak, heterojen katalizörler en yaygın kullanılan katalizör türüdür.

Yine de yeni bir heterojen katalizör geliştirmek bilimden ziyade bir ustalık işidir, çünkü tepkimeleri tam olarak nasıl hızlandırdıklarına dair ayrıntılı bir bilgiden ziyade daha önce neyin işe yaradığına dair deneyime dayanır.

YÜZEYDE ETKİLEŞİM

Bilim insanlarının bildiği bir şey varsa o da her şeyin katalizörün yüzeyinde gerçekleştiğidir, çünkü yüzey tepkimeye giren moleküllerin, belki önce daha küçük moleküllere ayrıldıktan sonra birbirleriyle etkileşime girdikleri yerdir. Katalizör, tepkimeye giren moleküllerin arasında elektronları

etkin bir biçimde getirip götürerek, yani kimyasal bağları kırıp oluşturarak bu sürece yardım eder.

Yüzeyde bütün işi yapan genellikle metallerdir (çoğunlukla da metal oksit olarak oksijenle birleşim halindeki metaller) çünkü metaller, elektronları ileri geri taşımak konusunda özellikle iyi iş çıkarır. Neredeyse her heterojen katalizör çeşitli birleşimler içinde bulunan bir veya birden fazla metal içerir ve demir, çinko, krom, nikel, titanyum ve alüminyum dahil olmak üzere pek çok metal bir tür katalitik kapasiteye sahiptir. Dolayısıyla bilim insanları, sadece bu metallerin farklı birleşimlerini deneyerek belirli tepkimeler için katalizörler geliştirebilmektedir.

Doğa da oldukça benzer şekilde çalışır, çünkü hücrelerin içinde gerçekleşen tepkimelerin çoğu, örneğin protein sentezi, katalizörler olmadan gerçekleşemezdi. Bu durumda katalizörler enzimler olarak bilinen proteinlerdir (*bak.* 6. Bölüm). Pek çok enzim metalik bir çekirdeği saran amino asit zincirlerinden oluştuğu için metaller, tıpkı endüstriyel katalizörlerde olduğu gibi burada da önemli rol oynarlar. Ancak ondan sonra enzimin özgün yapısı tepkimeye giren moleküllerin bu çekirdekte bir araya getirilmesini sağlar.

YÜZEY ALANINI ARTIRMAK

Her şey heterojen bir katalizörün yüzeyinde gerçekleştiğinden bilim insanları bu yüzeyi olabildiğince geniş tutmak ister. Bunu yapmanın en iyi yolu da katalitik maddeyi küçük parçacıklara bölmektir. Böylece başlangıçtaki maddeye kıyasla daha büyük bir birleşik yüzey alanı elde edilir (Açıklama için *bak.* Kutu).

Yüzey alanının açıklanması

Küçük parçacıkların daha geniş göreli yüzey alanına sahip olduğunu göstermek için basit bir kutu yeterli olacaktır. Diyelim ki kenarları 10 cm uzunluğunda olan kare şeklinde bir kutunuz var; bu kutunun hacmi 1.000 cm^3 (10 x 10 x 10) ve toplam yüzey alanı 600 cm^2 (kenarlar 10 x 10 x 6) olacaktır.

Şimdi diyelim ki bu kutuyu hacim olarak yarısı büyüklüğünde iki kutuyla değiştirdik. Her kutunun hacmi 500 cm^3 olur. Her kutunun kenarı 7,94 cm uzunluğundadır (7,94 x 7,94 x 7,94 = 500) ve yüzey alanı ise 378 cm^2'dir (kenarlar 7,94 x 7,94 x 6). Bu da iki kutunun yüzey alanının toplam 756 cm^2 olduğu anlamına gelir.

Yani sadece tek bir kutuyu yarı büyüklüğünde iki kutuyla değiştirerek toplam yüzey alanını yüzde 25'ten fazla artırabiliriz. Ayrıca yüzey alanının hacme oranı, her iki küçük kutu için (0.756:1) tek bir büyük kutu için (0.6:1) olduğundan daha fazladır.

Belirli bir miktardaki maddeyi daha küçük parçalara ayırdıkça, her bir parçacığın yüzey alanının hacmine oranıyla birlikte parçacıkların birleşik yüzey alanı da büyür.

Ondan sonra bu küçük parçacıklar, çoğunlukla silika (*bak.* 13. Bölüm) veya karbondan yapılmış katı bir taşıyıcı üzerinde yayılır. Katı haldeki taşıyıcı, parçacıkların mümkün olduğunca geniş bir alana yayılmasını sağlamanın yanı sıra katalitik etkilerini de artırabilir. Bunu, parçacıkları kimyasal olarak değiştirerek ve elektronların aktarımına yardım ederek yapabilir. Öte yandan pek çok durumda, etkiyi artırma mekanizmasının tam olarak nasıl işlediği bilinmemektedir.

Geçtiğimiz yirmi yıl içinde bilim insanları, her zamankinden çok daha fazla birleşik yüzey alanına sahip ve her zamankinden küçük parçacıklar üretme becerilerini geliştirdiler. Bu yalnızca mevcut katalitik maddelerin verimliliğini artırmakla kalmadı, aynı zamanda önceden katalitik olmayan maddelerin katalitik kapasitelerini de ortaya çıkardı.

Nanoteknoloji

Nanoteknoloji, maddelerin nano ölçekte manipülasyonudur. Nano ölçek 1-100 nanometre (nm) boyutlarında anlamına gelirken 1 nm, bir metrenin milyarda biridir. Günümüzde bilim insanları yeni geliştirilen bir dizi teknoloji kullanarak bu boyutlarda, tanımlı şekilleri ve yapıları olan parçacıklar üretebilmektedir. Ve ayrıca bilim insanları topluca nanoparçacıklar olarak bilinen bu küçücük parçacıkların pek çoğunun birtakım yararlı ve şimdiye kadar var olduğu bilinmeyen özellikleri olduğunu keşfetti.

ALTIN

Altını ele alalım. Herkes altının altın renginde olduğunu bilir, her kimyacı da altının atıl olduğunu yani kolay kolay tepkimeye girmediğini bilir. Ama eğer bir parça altını sayısız nanoparçacığa dönüştürürseniz durum değişmektedir.

O zaman altın, yayılan ışığın tam rengine (veya frekansına), nanoparçacığın boyut ve şekline bağlı olmak üzere bir dizi farklı renkte parlayacaktır. Örneğin yalnızca 20 nm eninde ve 60 nm boyundaki çubuk biçimli altın nanoparçacıkları parlak kırmızı bir ışık yayar. Bu floresans olarak bilinir ve normal altın bunu yapamaz.

Altın nanoparçacıkları ayrıca katalitiktir ve en basit formlarında, bir moleküle oksijen atomları eklemeyi içeren oksitlenme tepkimelerini başlatabilirler. Örneğin, altın nanoparçacıkları karbon monoksiti karbondioksite dönüştürebilir.

Bu, tıpkı partideki utangaç bir insanın birkaç kadehten sonra ortamın neşe kaynağı haline gelmesi gibi önceden sıkıcı, atıl olan bir madde için şaşırtıcı bir dönüşümdür. Bu dönüşüm hem yüzey alanındaki büyük artışın hem de belli etkilerin, özellikle de kuantum etkilerinin küçük ölçeklerde daha önemli hale gelmesinin bir sonucudur (*bak.* 25. Bölüm). Bu etkiler büyük ölçeklerde pek fazla etki yaratamayacak kadar zayıf kalır, fakat nanometre ölçeğinde, altının floresans ışığı yaymasına ve tepkimeleri katalize etmesine olanak tanırlar.

GELİŞTİRİLMİŞ KATALİTİK ÖZELLİKLER VE HİDROJEN

Başka maddeler de nano ölçekte eşit derecede etkileyici özellikler sergiler (*bak.* Kutu). Fakat geliştirilmiş katalitik özellikler, hidrojene dayalı olacak yeni nesil enerji teknolojilerini müjdeleyebilecekleri için, fosil yakıtlardan çok daha yararlı olabilir (*bak.* 16. Bölüm).

Keçileri kaçıran karbon

Yeni nanomadde gruplarının en ilginç ve en fazla yararlı olma potansiyeline sahip olanlarından biri karbon nanotüplerdir. Nanotüpler, tamamen karbon atomlarından oluşan küçük tüplerdir. Bu karbon atomlarından her biri, komşularından üçüyle bir kimyasal bağ oluşturarak tekrar eden altıgen bir örüntü meydana getirir.

Nanotüplerin iki türü vardır: tek duvarlı karbon nanotüpler (TDKN'ler) ve çok duvarlı karbon nanotüpler (ÇDKN'ler).

TDKN'ler, altıgen bir örüntüde karbon atomlarından oluşan ve kıvrılarak 2-10 nm enindeki bir tüpe girmiş, atom kalınlığında bir grafit katmanı gibi düşünülebilir. ÇDKN'ler ise ağaç halkaları gibi birbirinin içine istiflenmiş çok sayıda TDKN'den oluşur.

ÇDKN'ler ve TDKN'ler hafif fakat sağlamdır. Aslına bakacak olursanız çelikten bile sağlamdırlar ve zaten bu yüzden, tenis raketleri ve motorlu araçlar gibi ürünlerin dayanıklılığını artırmak için kullanılırlar. Ayrıca TDKN'ler altıgen örüntünün yönelimine bağlı olarak metal gibi iletken ya da silikon gibi yarı iletken davranabilmektedir. Bu nedenle de bilim insanları onları yeni nesil transistörler ve devreler üretmek için kullanmaktadır.

Hidrojen, yakıt hücreleri olarak bilinen aletlerde elektrik üretebilir. Bu, hidrojen atomlarını, elektrot olarak bilinen bir metal iletkende proton ve elektronlarına ayırmayı ve sonra onları farklı yollardan su üretmek üzere oksijenle birleşecekleri başka bir elektrota geçirmeyi içerir. Elektronların gittiği yol onları bir dış devrenin etrafından götürerek bir elektrik akımı yaratır.

PLATİN VE ALTERNATİFLERİ

Her zaman olduğu gibi tepkimeler iki elektrotta da aynı anda gerçekleşmez. Yalnızca bir katalizör olduğunda aynı anda gerçekleşirler ve her iki tepkime için de en etkili katalizör, elektrotların üzerine kaplanan platindir. Bu kurulumun sorunu, platinin çok pahalı olmasıdır ve bu da yakıt hücrelerinin uygulanabilir bir enerji teknolojisi olmasını engeller.

Hidrojenin de bir yerden gelmesi gerekir ve en doğa dostu kaynak sudur. Ana fikir, suyu ışıkla çalışan bir katalizör

kullanarak bileşenleri olan hidrojen ve oksijen atomuna ayırmaktır. Bu türden katalizörler vardır, fakat bunlar da platine dayalıdır.

Bugün nanoteknoloji platin yerine nanoparçacıklara dayanan daha ucuz katalizörler kullanma olanağını sunmaktadır. Seçeneklerden biri, platini bakır ve kobalt gibi daha ucuz metallerle karıştıracak nanoparçacıklar üretmektir. Bakır yönünden zengin bir çekirdeği çevreleyen, platin yönünden zengin bir kabuktan oluşan nanoparçacıklar saf platine kıyasla çok daha etkili bir yakıt hücresi katalizörü olduklarını çoktan kanıtlamıştır.

Bir başka seçenek ise platinden tamamen kurtulmaktır. Örneğin, titanyum dioksitten yapılan nanotüplerin, suyu hidrojen ve oksijene ayırmada etkili olduğu görülmüştür. Daha da etkileyici olan şey ise, aynı zamanda karbondioksit, su buharı ve güneş ışığından metan (doğal gaz) üretebilmeleridir.

Gelgelelim katalizörler, nanoteknolojinin yardımıyla bile, muhtemelen modern dünyamızın isimsiz kahramanları olarak kalacaktır.

Ek okuma

Ball, Philip, *Molecules: A very short introduction* (Oxford: OUP, 2003).

20

Canlı

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *genler organizmalar arasında nasıl aktarılabilir*
- *genetiği değiştirilmiş organizmalar nasıl yaratılır*
- *koyun Dolly ve diğer klonlar*
- *insan kök hücreleri hakkındaki tartışmalı araştırma*

20 Mayıs 2010'da ABD'li bilim insanları ilk sentetik yaşam formunun gerçekleştirildiğini ilan ederek bilim tarihine geçtiler. Dünya gazetelerinin çoğunun manşeti bu olsa da aslında öyle bir şey yapmamışlardı, yani tam olarak öyle olmamıştı.

Aslında yaptıkları, sentetik bir genom yaratıp onu bir bakteri hücresine başarıyla naklederek bakterinin kendi genomunun yerine geçirmekti. Genom tamamen yapaydı, sentetik DNA'dan üretilmişti, ama bakterinin geri kalanı tamamen doğaldı. Sentetik genom aynı zamanda bütünüyle özgün değildi, doğal bir bakteri genomunun neredeyse birebir kopyasıydı. Öte yandan bu bakteri üreyebiliyordu, yani dölleri bütünüyle sentetik genomun kontrolü altındaydı.

Dolayısıyla bu bakteri ilk sentetik yaşam formu olmasa bile yine de önemli bir atılımı temsil etmekte ve bilim insanlarının doğayı kontrol etme becerisindeki artışı

yansıtmaktadır. Artık tıpkı bilgisayarları ve arabaları programlayıp özelleştirebildiğimiz gibi yaşamı da programlayıp özelleştirebildiğimiz bir döneme girmekteyiz.

İnsanlık biyolojiden binlerce yıldır yararlandığı, örneğin ekmek ve bira üretmek için maya kullandığı halde her zaman organizmaların doğal kapasiteleriyle sınırlıydık. Maya, şekeri alkole dönüştürebilir ve ekmeği kabartan karbondioksiti üretebilir, ama şekeri benzine dönüştüremez.

Çok yakında, bilim insanları modern genetik teknikler kullanarak tam da bunu yapabilen bir maya türü tasarlayabilir. Ya da belki, petrol sızıntıları gibi kirlilikleri temizleyebilen ya da ilaçlar gibi başka yararlı kimyasal ürünler üretebilen türler yaratırlar. Organizmaları kurcalayabilecek, onları özelleştirebilecek ve isteğimize göre eğip bükebileceğiz. Ne istersek onu yaptırabileceğiz, niyetimizin iyi veya kötü olması fark etmeyecek.

Modern genetiğe doğru

GEN AKTARIMI

Bizi bu noktaya taşıyan çalışmalar neredeyse 40 yıl önceye, bilim insanlarının bireysel genleri türler arasında ilk defa aktardığı zamana dayanıyor. 6. Bölümde de gördüğümüz üzere genler, yaşamın hem yapıtaşları hem de katalizörleri olan proteinlerin yapımı için talimat niteliği taşır. Bir organizmanın tüm genleri, yani genomu, o organizmayı kurmak ve işletmek için gerekli olan eksiksiz bir kullanma kılavuzu sunar.

Neredeyse tek tek her organizmanın kendi eşsiz genomu olduğu halde, her bir genom sadece farklı düzenlenmiş olan tıpatıp

aynı dört DNA bazından oluşur. Buna göre, temelde yatan programlama dili aynı olduğu için, bir organizmanın başka bir organizmaya aktarılan geni aynı derecede iyi çalışmalıdır. Eğer o gen asıl organizmaya yararlı bir beceri kazandıran bir proteini kodluyorsa, o geni bir başka organizmaya aktarırken beceri de aktarılmalıdır.

PLAZMİD VEKTÖRLER KULLANMA

Organizmalar arasında gen aktarmanın iki temel yolu vardır: plazmid vektörler ve viral vektörler. Plazmidler pek çok bakteride bulunan dairesel DNA zincirleridir, ana bakteri kromozomundan bağımsız var olur ve ürerler. Bakteriler, plazmidleri doğal yollarla birbirlerine aktarır ve antibiyotik direnci gibi belirli genetik becerilerin bakteriler arasında hızla yayılmasının nedeni de bu mekanizmadır.

1970'lerin başında bilim insanları, bir geni bir organizmanın genomundan kesip çıkararak onu özel olarak hazırlanmış bir plazmide dahil etmek ve daha sonra da o plazmidi bir bakteri hücresine, mantar hücresine veya ökaryotik hücreye yerleştirmek için teknikler geliştirdiler. Plazmid, doğasına bağlı olarak, ya konak hücrenin kromozomundan bağımsız kalır ya da ona dahil olur. Her halükârda plazmid, özgün genin protein yapan düzenekte ifade edileceği şekilde tasarlanabilir, bu da hücreye özgün beceriyi kazandırır.

Zor kısım plazmidi hücrenin içine yerleştirmektir, ama bunu yapmanın birkaç yolu vardır. Gen aktarımı bakımından bakteriler oldukça kolaydır, büyüme ortamlarına eklenen her plazmidi memnuniyetle toplarlar, ama mantarlar ve ökaryotik hücreler biraz daha seçici olma eğilimindedir. Plazmidleri bu hücrelerin içine yerleştirmek için ya hücre duvarında veya dış zarda delikler açmak (bu da kısa bir elektrik şoku uygulayarak

yapılabilir) ya da plazmidleri hücrelerin memnuniyetle alacağı araçların, örneğin lipozomlar adı verilen yağlı kabarcıkların içine saklamak gerekir. Başka bir seçenek ise plazmidi mikroskobik metal parçacıklara iliştirerek hücrenin içine tam anlamıyla ateş etmektir.

VİRAL VEKTÖRLER KULLANMA

Viral vektörler kullanarak tüm bu sürecin üstesinden gelebiliriz. Bu durumda özgün gen viral DNA'ya eklenir. Kaldı ki virüsler bir protein örtü tarafından çevrelenmiş bir DNA (veya RNA) zincirinden fazla bir şey değildir. Fakat virüsler, temel olarak hücre zarı veya hücre duvarına enjekte etmek suretiyle DNA'larını hücrelerin içine sokmak konusunda çok iyidir. Viral DNA bir kere içeri girince ya hücrenin genomuna dahil olur ya da hücrenin protein inşa eden kendi düzeneğini kandırarak genlerini proteinlere çevirmeye ikna eder.

Farklı virüsler farklı hücre tiplerine hastalık bulaştırmakta uzmanlaştığından bilim insanları viral vektörlerin temeli olarak birkaç virüs kullanır. Bu virüsler, gen taşıyan vektörler olarak becerilerini geliştirmek ve her zaman hatasız olmasa da zarar verme becerilerini ortadan kaldırmak üzere değiştirilmiştir (*bak*. Kutu).

GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ (GD) ORGANİZMALAR

Bilim insanları plazmid ve viral vektörler kullanarak yıllar içinde yabancı genleri olan bir sürü organizma yarattı. Biz bunları genetiği değiştirilmiş (GD) organizmalar olarak biliyoruz. İnsülin, insan büyüme hormonları ve kanın pıhtılaşmasına yardımcı olarak hemofili tedavisinde kullanılan Faktör VIII dahil olmak üzere terapötik (sağaltıcı) proteinler üretmek için çeşitli GD mikroorganizmalar yaratılmıştır. Genellikle belirli

bitkikıranlara karşı dirençli olması veya doğal böcek ilacı üretmek için değiştirilmiş olan mısır ve soya fasulyesi gibi GD kültür bitkileri artık bütün dünyada yetiştirilmektedir. GD hayvanlar bu kadar yaygın olmamakla birlikte insan genlerine sahip GD fareler, insan hastalıklarını araştırmak amacıyla laboratuvarlarda düzenli olarak kullanılmaktadır.

Gen tedavisi

Genetiği değiştirilen yalnızca mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar değildir. İnsanların da genetiği değiştirilmektedir. Gen tedavisi olarak bilinen bu genetik değiştirme türü hatalı genlerin neden olduğu hastalıkları tedavi etmeyi amaçlamakta ve bunu o genlerin doğru versiyonlarını ortaya çıkararak yapmaktadır.

Gen tedavisi henüz emekleme döneminde olmakla birlikte daha şimdiden bazı önemli aksaklıklar yaşanmıştır. Sorun şu ki viral vektörler, genleri insan hücrelerinin içine yerleştirmenin en etkili yoludur, fakat bilim insanları bu vektörlerin güvenli olmasını sağlamak için ellerinden geleni yaptıkları halde bazı trajik vakalar meydana gelmiştir. 1999'da genetik karaciğer hastalığını tedavi etmek için yürütülen bir gen tedavisi denemesinde yer alan ABD'li bir genç, viral vektöre kötü tepki vererek hayatını kaybetmiş; başka denemelerde ise viral vektör bazı katılımcıların lösemi geliştirmesine neden olmuştur. Deneyler hâlâ devam etmektedir.

İdeal olarak, gen tedavisi embriyolar üzerinde uygulanabilir ve böylece genetik hataların daha rahimdeyken düzeltilmesi mümkün olabilirdi. Fakat bu, ebeveynlerin yalnızca genetik hataları düzeltmekle yetinmeyip çocuklarını daha yakışıklı veya daha zeki kılacak genlere başvurarak döllerini geliştirmek isteyebilecekleri endişesini doğurmaktadır.

Hayvanları klonlamak

Genetik teknoloji de ilerlemeye devam etmiştir. Biraz tartışmalı da olsa bilim insanları artık tıpatıp bir genetik kopya üreterek hayvanları klonlayabilmektedir. Bilim insanlarının temelde yaptığı şey, zaten doğmuş olan bir organizmanın özdeş bir ikizini yaratmaktır.

Bunu yapmak için bir yumurtanın, yani bir dişi gametin (*bak.* 8. Bölüm) çekirdeği çıkartılarak yerine klonlanan hayvanın bir hücresinin, örneğin deri hücresinin çekirdeği konulur. Daha sonra bölünmeye başlamasını sağlamak için yumurtaya kısa bir elektrik şok verilir. Dört veya beş gün boyunca bölündükten sonra blastokist adı verilen bu çok genç embriyo, aynı türün bir dişi üyesinin rahmine yerleştirilir ve bir süre sonra bir klon doğar.

Klonlanan ilk memeli 1996'da doğan ünlü koyun Dolly'ydi (*bak.* Kutu). O zamandan beri domuzlar, atlar ve köpekler de dahil olmak üzere pek çok başka memeli klonlanmıştır. Tek başına klonlamanın yalnızca sınırlı pratik yararları vardır, ama aynı teknik, büyük tıbbi potansiyele sahip olan kişiselleştirilmiş kök hücreleri üretmek için de kullanılabilir.

Koyun Dolly, 1996-2003

Ian Wilmot ve ekibi tarafından İskoçya'da Edinburgh yakınlarındaki Roslin Enstitüsü'nde üretilen Dolly başarıyla klonlanan ilk memeliydi. Dolly, ana bölümde açıklanan teknik kullanılarak altı yaşındaki bir koyunun meme bezi hücresinden klonlanmış ve bu nedenle de büyük göğüsleriyle ünlü *country* şarkıcısı Dolly Parton'ın adını almıştı.

Dolly, bir memeli klonlamanın güçlük ve tehlikelerini gözler önüne sermektedir. En başta, 277 klonlama girişimi içinde

yetişkinliğe erişebilen tek kuzuydu. Ayrıca, koyunların ortalama yaşam süresi 12 yıl olmakla birlikte, akciğer rahatsızlığı ve akut artritten mustarip olan Dolly bir koyuna göre çok erken öldü.

Gelgelelim, klon olmasının bu sağlık durumunu ağırlaştırıp ağırlaştırmadığı hâlâ bilinmemektedir. Basitçe, yetişkin hücreler zaten bir yaşlanma dönemi geçirmiş oldukları için bir yetişkin hücreden elde edilen klonun daha kısa bir hayat süreceği öne sürülmüştür.

Kök hücreler

EMBRİYONİK KÖK HÜCRELER (EKH'LER)

Kök hücreler, sonsuz olarak çoğalabilen vücut hücreleridir. Vücutlarımız çok farklı kök hücresi türleri içerir. Bu hücreler, ölen hücrelerin yerine geçmeleri için yeni hücreler yaratır, fakat çoğu yalnızca sınırlı çeşitliliğe sahip hücre tipleri üretebilir. Kök hücrelerinin altın standardı embriyonik kök hücrelerdir (EKH'ler) ve isimlerinden de anlaşılacağı üzere yalnızca genç embriyolarda bulunurlar.

EKH'ler hücresel boş sayfalardır, insan vücudunda bulunan 220 farklı hücre tipinden herhangi birini üretebilirler. Bunu sürekli bölünerek ve hem daha fazla kök hücre hem de artarak uzmanlaşan hücreler üreterek yapar, en sonunda da belirli bir hücre tipi haline gelirler. Bu beceriye sahip oldukları için EKH'ler pluripotent olarak tanımlanırken, daha az çeşitliliğe sahip hücre üreten daha az esnek kök hücreler multipotent veya unipotent olarak tanımlanır.

Mesele, klonlama teknolojisini kullanarak, dejeneratif bir hastalıktan mustarip olan hastaya genetik olarak özdeş blastokistler yaratmaktır. Sonra EKH'ler bu blastokistlerden alınarak laboratuvarda belirli hücre tipleri üretmek için kullanılır ve daha sonra hastaya nakledilir. Bu hücreler hastanın kendi hücreleriyle genetik olarak özdeş olacağından bağışıklık sistemi onlara saldırmayacaktır. Örneğin EKH'ler nöronlara dönüştürülecek olursa, çok sayıda nöron kaybetmekten kaynaklanan Alzheimer hastalığının tedavisinde kullanılabilir. Bu alanda çok fazla çalışma yapılmasına ve aslı çıkmayan bir başarı iddiası bulunmasına karşın (*bak.* 21. Bölüm) bilim insanları klonlanmış insan EKH'leri üretmeyi henüz başaramamıştır.

UYARILMIŞ PLURİPOTENT KÖK (UPK) HÜCRELERİ

Tartışma, insan blastokistlerinin bu işlemde yok olmasından kaynaklanmaktadır. Blastokistler yalnızca birkaç yüz hücrelik gruplardan oluştuğu halde, pek çok insan sırf yok edilmek üzere embriyolar yaratılmasını ahlaken tartışmalı bulmaktadır. Son dönemde yapılan bir keşif bu duruma olası bir çözüm sunmaktadır: Deri ve yağ hücreleri de dahil olmak üzere belirli yetişkin hücreler, sadece üç veya dört gen verilmek suretiyle EKH'lerle aynı özelliklerin çoğunu paylaşan hücrelere dönüştürülebilir. Bunlar uyarılmış pluripotent kök (UPK) hücreleri olarak bilinmektedir.

Bu çalışma henüz ilk aşamalarındadır. Öyle ki bilim insanları hâlâ EKH ve UPK hücrelerinin tam olarak ne kadar benzer olduğunu araştırmakla meşguldür. Fakat UPK hücreleri kök hücre elde etmek için olasılıkla daha az tartışmalı bir yol sunmaktadır. Bu doğru olsa bile, kök hücrelerinin herhangi bir tedavinin temelini oluşturmasına daha çok var, çünkü bilim insanları EKH'lerin farklılaşarak belirli hücre tiplerine

dönüştükleri süreci henüz denetleyemiyor. Sürecin, moleküllerin belirli birleşimlerine tepki olarak gerçekleştiği bilinse de bu birleşimlerin çoğunun düzeni henüz ortaya çıkarılamamıştır.

Sentetik biyoloji

Son dönemde gerçekleşen bir başka ilerleme ise, bilim insanlarının organizmalara artık sadece tek genler değil yabancı gen grupları da yerleştirebilmesidir. Aynı zamanda mevcut genlerin etkinliğini artırarak daha fazla protein üretmelerini sağlayabiliyor veya etkinliklerini azaltabiliyorlar. Bu "ekstrem" genetik mühendislik sentetik biyoloji olarak bilinmekte ve bilim insanlarının, organizmalara daha da ileri düzeyde beceriler kazandırmasına olanak tanımaktadır. Örneğin, bilim insanları şekerleri belirli endüstriyel kimyasallara ve yakıt benzeri bileşiklere dönüştüren GD organizmalar geliştirdiler bile. Bu gelişmeler, çalışma genomları sıralanmış olan organizma sayısının artmasıyla (*bak.* 7. Bölüm) hız kazanmaktadır, çünkü bilim insanlarına bilinen genlerin daha büyük bir havuzunu sunmaktadır.

Bilim insanları ayrıca dört DNA bazını da kimyasal olarak sentezleyebilmekte ve onları birleştirerek zincirler haline getirebilmektedir. Bu da belirli DNA dizilerinin artık istek üzerine üretilebileceği anlamına gelmektedir. Bilim insanlarından oluşan ABD'li bir ekip, sentetik DNA zicirlerini sentetik biyoloji teknikleriyle birleştirerek sentetik genomunu üretmeyi başarmıştır.

Ahlaki ikilem

Artık amaç, doğal genomların kopyalarından ibaret genomlar üretmek yerine, konak organizmaya, şekeri benzine dönüştürmek gibi tamamen özgün beceriler kazandıracak

bütünüyle özgün yapılar üretmektir. Fakat kök hücrelerde olduğu gibi, yaşamı programlama ve özelleştirmeye yönelik bu yeni becerimiz, büyük ahlaki ve etik meseleleri beraberinde getirmektedir. Gerçekten de cesur yeni bir dünyanın eşiğindeyiz.

Ek okuma

Henderson, Mark, *50 Genetics Ideas You Really Need to Know*, (Londra: Quercus Publishing, 2009).

V. Kısım

Bilim yoldan çıkarsa

21

Sahtekâr, dolandırıcı ve hayalperest

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *yasadışı yollarla insan yumurtaları satın alan kök hücre araştırmacısı*
- *Piltdown Adamı ve orangutan çenesi*
- *Sonuçsuz kalan süperiletken araştırması*
- *bilim insanların neden her zaman doğru söylemez*

2009'un Ekim ayında, Güney Koreli kök hücre araştırmacısı bilim adamı Woo Suk Hwang araştırma fonlarını zimmetine geçirmek ve yasadışı yollarla insan yumurtası satın almak suçlarından mahkûm edildi ve iki yıl hapse mahkûm oldu (cezası sonra tecil edildi).

2004 ve 2005 yıllarında *Science* dergisinde yayınlanan iki araştırma makalesinin geri çekilmesinden sonra bilimsel kariyeri zaten mahvolmuş durumdaydı. Söz konusu makaleler Hwang'ın çığır açan kök hücre çalışmasını ayrıntılandırıyordu. İlk makalesinde, sağaltıcı klonlamanın kutsal kâsesi sayılan klonlanmış bir insan blastokistinden embriyonik kök hücreleri türettiğini iddia ediyordu (*bak.* 20. Bölüm). İkinci makalede ise diyabet ve omurilik hasarı gibi rahatsızlıklardan mustarip olan hastaların bağışladığı dokulardan embriyonik kök hücreler

üreterek bu çalışmasını genişlettiğini iddia ediyor, bunlar ve o tarihte tedavisi zor başka hastalıklar için olası bir tedavi yolu öneriyordu.

Hwang bu çalışması sayesinde Güney Kore'de ulusal kahraman ilan edilirken dünya çapında da büyük sevinç uyandırdı. Sorun şu ki çalışmanın pek çok kısmı sahteydi; Seoul Ulusal Üniversitesi'ndeki araştırma ekibinin belli üyeleri de dahil olmak üzere Hwang verinin çoğunu uydurmuştu. Kök hücreler ya yoktu ya da klonlanmış blastokistlerden türetilmemişlerdi. Ayrıca Hwang çalışmada kullanılan insan yumurtalarının çoğunu satın almış, hatta bu yumurtaların bazıları kendi kadın araştırmacılarından alınmıştı. Bu ciddi bir tıbbi etik ihlaliydi.

Diğer bilimsel sahtekârlık vakaları

Bu belki de son birkaç yılın en ciddi ve en meşhur bilimsel sahtekârlık vakasıydı fakat kesinlikle tek değildi. 2006 yılında, daha önceleri Burlington'daki Vermont Üniversitesi'nde menopoz ve obezite araştırmacısı olan Eric Poehlman, hasta ölümüyle sonuçlanmadığı halde bilimsel görevi suistimalden hapishaneye giren ilk ABD'li bilim insanı oldu. Bunu daha sonra, 15 hibe başvurusunda ve çok sayıda bilim dergisi makalesinde verileri tahrif ettiğine dair itirafı izledi. Bu tahrifata basitçe hasta uydurmak da dahildi.

Ayrıca 2006'da, daha önce Oslo Üniversitesi'nin ağız kanserinde uzmanlaşmış Norveç Radyum Hastanesi'nde araştırmacı olan Jon Sudbø önemli birkaç dergi makalesindeki veriyi tahrif ettiğini itiraf etti. İlerleyen zamanlarda bir inceleme heyeti Sudbø'nun yayınlanmış dergi makalelerinin çoğunun düzmece olduğunu ortaya çıkardı; Poehlman gibi Sudbø da çalışmalarında yer verdiği hastaların çoğunu uydurmuştu.

BİLİMİN BAŞKA ALANLARINDAKİ BİLİMSEL SAHTEKÂRLIKLAR

Bilimsel sahtekârlık biyotıp alanında daha sık görülmekle birlikte yalnızca bu alanla sınırlı değildir. Bunun nedeni belki de, finansal kazanç ve saygınlık açısından, insan yaşamını daha uzun vadelerde iyileştiren bilimsel alanlara göre bahislerin daha yüksek olması, bunun da uydurma iddiaları teşvik etmesidir. Belki de biyotıpta açıklığa yapılan güçlü vurgu, hilelerin açığa çıkarılma olasılığını artırıyordur.

Fakat kimya, fizik, çevre bilimi, psikoloji ve arkeoloji de (*bak.* Kutu) dahil bilimin neredeyse her alanında sahtekârlıklara tanık olunmuştur. Örneğin son dönemlerin önemli bir sahtekârlığı organik elektronik alanında, yani elektronik ve programlama cihazlarını silikon yerine plastik gibi karbon bazlı maddelerden üreten ve geliştiren alanda yaşanmıştır (*bak.* 27. Bölüm).

1990'ların sonunda ve 2000'lerin başında ABD, New Jersey'deki saygın Bell Laboratuvarları'nda genç bir fizikçi olan Jan Hendrik Schön, ilk organik elektrikli lazer de dahil olmak üzere organik elektronikte önemli gelişmeler olduğunu duyuran bir dizi makale yayınladı. Ayrıca *bucky* küreleri (*bak* 28. Bölüm) adlı karbon nanoparçacıklardan, süperiletken olarak bilinen ve elektriği iletmekte son derece etkili olan bir madde ürettiğini duyurdu. Çoğu süperiletken yalnızca çok düşük sıcaklıklarda çalışır, fakat Schön *bucky* küresi süperiletkeninin çok daha yüksek sıcaklıklarda çalıştığını iddia ediyordu. Schön yalnızca 2000 yılı boyunca, en saygın iki bilim dergisi olan *Science* ve *Nature*'da tam sekiz makale yayınladı.

Aslında var olmayan kayıp halka

Belki de tüm zamanların en ünlü bilimsel sahtekârlığı —öyle büyük ki sahtekârlıktan ziyade aldatmaca olarak tanımlanan—Piltdown Adamı'dır. 1912'de, bir İngiliz hukuk görevlisi ve amatör arkeolog olan Charles Dawson, maymunlar ve insanlar arasındaki kayıp halkaya ait gibi görünen kadim bir kafatasının parçalarını keşfettiğini duyurdu. Sözüm ona kazılıp çıkartıldığı küçük Sussex köyü Piltdown nedeniyle, kafatasına Piltdown Adamı adı verildi.

Bazı bilim insanları kafatasının sahiciliğini neredeyse anında sorguladılar, fakat kafatası, sonraki 40 yıl boyunca bir ilk insanın kafatası olarak genel kabul gördü. Gerçek ilk insan kalıntılarına dair sonraki bulgular Piltdown Adamı'nın insanın evriminde en azından bir anomali olduğunu gösterdi.

Daha sonra 1953'te kullanılan, dönemin son analitik teknikleri kafatasının bir tahrifat olduğunu kanıtladı. Kafatası aslında ortaçağa ait çenesiz bir insan kafatasıyla ona iliştirilmiş, dişleri törpülenmiş bir orangutan çenesinden oluşuyordu. Aldatmacanın faili hâlâ bilinmemekle birlikte kanıtların çoğu sözde kâşif Charles Dawson'a işaret etmektedir.

Schön, bu buluşlar nedeniyle ödüllere boğulmuştu ve Nobel Ödülü kazanma yolunda olduğu herkes tarafından kabul ediliyordu. Maalesef hepsi bir yalandı; Schön, iddia ettiği buluşların hiçbirini yapmamıştı. Başka araştırma grupları çalışmasını tekrarlayamadığı zaman şüphe uyanmaya başlamışsa da Schön'ün sonunu getiren, farklı makalelerde farklı bulguları göstermek için tıpatıp aynı grafiği kullanması olmuştu. 2002 yılında tüm bunlar ortaya çıktığında Schön, Bell Laboratuvarları'ndan derhal kovuldu.

Veri manipülasyonu

Bu türden büyük bilimsel sahtekârlık vakaları oldukça nadir görülse de veri maniplasyonu ve veri uydurmaya dair daha küçük örnekler daha yaygındır. Bilim insanları kabahatlerini kabul etmek konusunda anlaşılır şekilde pek istekli olmadıklarından, güvenilir rakamlara rastlamak zordur fakat yıllar içinde bu türden faaliyetlere yönelik birkaç anonim araştırma yapılmıştır.

2009 yılında, İskoçya'daki Edinburgh Üniversitesi'nde bir araştırmacı bu mevcut araştırmaların çoğunu yeniden gözden geçirmiş ve sorgulanan bilim insanlarının toplamda yalnızca yüzde 2'sinin en az bir kere veri uydurduğunu, çarpıttığını veya değiştirdiğini kabul ettiğini bulmuştur.

Gelgelelim daha da endişe verici olanı, bilim insanlarının yüzde 34'ü "daha önceki araştırmasıyla çelişen veriyi sunmama" ve "içindeki sesin hatalı olduğunu söylediği gözlem veya veri noktalarını analizden çıkarma" gibi başka tartışmalı araştırma pratiklerini dile getirmiştir. Dahası, meslektaşlarının davranışlarını bildirmeleri istendiğinde bilim insanlarının yüzde 14'ü veri uyduran, çarpıtan veya değiştiren birini tanıdığını, yüzde 70'i ise başka tartışmalı araştırma pratiklerine başvuran birini tanıdığını kabul etmiştir.

Öyleyse tam olarak neler oluyor? Sorun kısmen, dünyanın dağınık ve gürültülü bir yer olmasıdır. Bilim insanları çoğunlukla gürültü adı verilen sayısız başka değişken ve kaçınılmaz dalgalanmanın ortasında küçük, belirli bir etkiyi ararlar. O etkinin kesin kanıtına ulaşmak zor olabilir ve tüm diğer değişkenleri ve gürültüyü ayırmak çoğunlukla karmaşık istatistiksel çözümlemeler gerektirir.

Bazen bilim insanları, basbayağı çizgiyi aşarak dünyanın davranması gerektiğini düşündükleri gibi davranmasını bekler ve onlara istedikleri sonuçları vermesi mümkün olmayan verileri ortadan kaldırır veya değiştirirler. Bu, bir golf oyuncusunun, golf topunun nereye düşmesi gerektiğini bildiği için topu gizlice kaba çimden dışarı, sahanın esas oyun alanının üzerine atmasına benzer.

Ayrıca bilim insanları her ne kadar gerçeği arayan yansız özneler olduklarını düşünmekten hoşlansalar da, gerçekte çoğu zaman hepimiz gibi para, saygınlık, ün, ödül ve kariyerde ilerleme gibi dünyevi kaygılarla yaşarlar. Bilim insanları için bu kazanımlara giden yol, önemli bilimsel bulgu ve ilerlemelerle daha sonra saygın dergilerde bunlar hakkında yaptıkları yayınlardan geçer. Veri pek izin vermese bile, söz konusu bulgulara ulaşmaları için onları teşvik eden de budur.

Her ne kadar hiç istenmese de küçük bir veri maniplasyonu ile büyük bir sahtekârlık arasında epey bir mesafe vardır. Fakat çoğu bilim insanı sahtekârlık yapmak üzere yola koyulmaz, daha ziyade çalışmalarının özgün olduğuna inanır ve tam olarak istedikleri sonuçları almamış olduklarını kabullenemez.

"Soğuk füzyon"un keşfi

Bilimsel sahtekârlıkların çoğu sadece hüsnükuruntuyla başlar. Örneğin belli ki Hwang, daha sonra böyle olmadığı anlaşılmış olsa da, ürettiği ilk kök hücrelerin klonlanmış blastokistlerden türediğine ikna olmuştu. Gelgelelim en uç örneklerde hüsnükuruntu bile bilim insanlarını sıkıntıya sokabilir.

1989'da, ABD'nin Utah Üniversitesi'nden iki kimyacı, Stanley Pons ve Martin Fleischmann "soğuk füzyon"un keşfini ilan

ettiklerinde dünyanın enerji sorunu çözülmüş gibi görünüyordu. 2. Bölümde gördüğümüz gibi, nükleer füzyon yıldızların merkezinde, atom çekirdeklerinin daha büyük çekirdekler meydana getirmek üzere birleştikleri yerde gerçekleşmekte ve bu süreçte muazzam miktarda enerji açığa çıkmaktadır.

Bilim insanları, döteryum izotoplarını birleştirip helyum oluşturmak suretiyle bu süreci Dünya'da tekrar etmenin hayalini uzun zamandır kurmaktaydı. Bir hidrojen izotopu olan döteryum, okyanuslarda doğal olarak bulunur ve ağır su olarak bilinen şeyi oluşturur. Sorun şu ki sürdürülebilir bir füzyon tepkimesi, muazzam seviyelerde sıcaklık ve basınç gerektirir ve bu koşullar, yıldızların merkezinde doğal olarak sağlanırken Dünya üzerinde uzun süreler boyunca sürmelerini sağlamak o kadar kolay değildir.

Gelgelelim 1989'da Pons ve Fleischmann, oda sıcaklığındaki bir ağır su tankı içinde füzyon gerçekleştirdiklerini ilan ederek dünya çapında manşetlere taşındılar. Yöntemleri, ağır su içindeki iki paladyum elektrotu arasından elektrik geçirmekten, yani elektroliz adlı iyi bilinen tekniğin bir versiyonundan ibaretti. Fakat bu iki kimyacı, kendi versiyonlarının, nötron ve normal kimyasal tepkimelerin açıklayabileceğinden çok daha fazla enerji ürettiğini iddia ettiler. Yürüttükleri mantığa göre, negatif elektrot tarafından soğurulan döteryum çekirdekleri o kadar çok sıkışıyorlardı ki birleşerek enerji ve nötronları üretiyorlardı.

BİLİMSEL DERGİLERİN ETRAFINDAN DOLANMAK

Sorun şu ki, bu buluş yalnızca fiziğin bilinen kanunlarıyla çelişmekle kalmıyordu, Pons ve Fleischmann bunu *Science* veya *Nature* sayfalarında değil, bir basın toplantısında ilan etmişlerdi. Bu büyük bir bilimsel adap ihlaliydi, çünkü yeni bilimsel araştırmalar her zaman bir bilim dergisinde yayınlanan

bir makale olarak dünyaya duyurulur. Böylelikle hem araştırma hakem değerlendirmesinden geçer, yani birkaç uzman makaleyi gözden geçirerek büyük hatalar veya eksiklikler barındırmadığından emin olur hem de araştırma, başka bilim insanlarının onu tekrarlayabileceği kadar ayrıntılı tarif edilir.

Pons ve Fleischmann bu süreci atlamanın acısını çektiler. Basın toplantısında soğuk füzyon yöntemlerinin tüm ayrıntılarını açıklamadıkları halde, başka bilim insanlarının ne yapmış olduklarına dair iyi bir fikir edinmesine yetecek kadar bilgi vermişlerdi. Daha sonra aynı çalışmayı yineleyen bilim insanları aynı bulguları elde edemediler.

Başlangıçta Pons ve Fleischmann bunun kendi yöntemleriyle tekrarlar arasındaki belirtilmemiş farklılıklardan kaynaklandığını savundular. Fakat gittikçe daha fazla bilim insanı soğuk füzyona dair herhangi bir kanıt bulamadıkça ve Pons ve Fleischmann'ın kendi deneylerinin eksiklikleri açığa çıktıkça, iki kimyacının yalnızca kendilerini kandırdıkları ortaya çıktı.

Eğer Pons ve Fleischmann çalışmalarını bir dergiye göndermiş olsalardı, bu eksiklikler hakem değerlendirmesi sırasında muhtemelen belirlenir ve böylece iki kimyacı oldukça büyük bir utançtan kurtulmuş olurdu. Fakat hakem değerlendirmesinin elinden de daha fazlası gelmez: Kasten sahtekârlık yapan bir çalışma her zaman tespit edilemez, çünkü değerlendirme yalnızca deneysel yöntemin geçerli olup olmadığını tespit etme amacı taşır, bilim insanlarının veriyi uydurup uydurmadığını değil.

Neyse ki bu türden sahtekârlıklar bilim insanlarının birbirlerinin çalışmalarını, özellikle de büyük keşiflere yol açan çalışmaları tekrarlama eğilimleri sayesinde açığa çıkmaktadır. Pek çok bilimsel sahtekârlık vakasında ilk şüphe uyandıran, başka araştırma gruplarının bulguları tekrarlayamaması olmuştur.

Genel olarak hayatta olduğu gibi bilimde de yalancının mumu yatsıya kadar yanar.

Yola devam

Yalnız öyle bir bilimsel sahtekârlık ve hüsnükuruntu örneği vardır ki çok yaygındır ve modası asla geçmez: devridaim makinesi. Bu makinenin birden çok biçimi olsa da hepsinin esasen yaptığı serbest enerji yaratarak termodinamik kanunlarından birini veya birden fazlasını ihlal etmektir (*bak.* 16. Bölüm). Diğer bir deyişle gerçek bir devridaim makinesi imkânsızdır.

Ne varki bu, insanları bir devridaim makinesi icat ettiklerini iddia etmekten alıkoymaz. Hatta bu makinelerin en az 17. yüzyıla kadar uzanan köklü ve saygıdeğer bir geçmişi vardır. 17. yüzyılda Robert Fludd isimli bir hekim, bir su çarkının hem un öğütüp hem de suyu yukarı, geldiği yüksekliğe geri pompalanmasını sağladığını, böylece sınırsız bir güç kaynağı meydana getirdiğini öne sürmüştü.

Devridaim makinesinin sonraki versiyonları daha karmaşıktı ve çoğunlukla mıknatıs dizileri içeriyordu, fakat su çarkından daha başarılı değillerdi. Bugün bile, çeşitli şirketler devridaim makinesinin modern versiyonlarının reklamını yapmaktadır ve görünen o ki, bu makineler günümüzde kabul gören bilimsel teorilerin açıklayabileceğinden daha fazla enerji üretmektedir. Gelgelelim bu makinelerin açıklamalarının hiçbir bilim dergisinde yer bulmaması ilginçtir.

Ek okuma

Park, Robert. *Voodoo Science: The road from foolishness to fraud* (Oxford: OUP, 2000).

22

Şoklar ve Korkular

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *neler hakkında endişe ederiz*
- *neden hızlı kararlar veririz*
- *haberlerdeki hikâyelerden ve bilimsel raporlardan nasıl etkileniriz*

Korku dolu bir dünyada yaşıyoruz. Biz gelişmiş dünya vatandaşları genel olarak, eskisinden daha müreffeh, daha sağlıklı ve daha uzun yaşamlar sürüyor olabiliriz, ama endişelerimizin de sonu yok gibi görünüyor ve sonu gelmeyen bu endişelerimizin çoğu teknolojiye ilişkin: GD ürünler, insan yapımı kimyasallar, hava enerji hatları, cep telefonları, nükleer enerji ve aşılar. Meme implantları bile tüylerimizi ürpertmeye yetiyor.

Refahımız, sağlığımız ve yaşam süremizdeki artışı büyük oranda, bizi şimdi bu denli endişelendiren teknolojilere borçlu olmamız ironik. Çok değil sadece 100 yıl önceki yaşamın bile neye benzediğini kavrayamıyoruz: yaygın yoksulluk, açlık ve hastalık, doğum esnasında ölen kadınların oranı ve beşinci yaşını göremeden ölen çocuklar ve çok daha kısa yaşam süreleri.

Bu gerçek korkuların tümünden su arıtma, aşı, böcek ilaçları ve suni gübre gibi teknolojiler sayesinde kurtulduğumuzu

unutuyoruz. Onun yerine refahımızı, sağlığımızı ve uzun yaşamlarımızı verili kabul ediyor ve bu yaşam kurtaran teknolojilerin önemsiz, hatta çoğu zaman hiç olmayan tehlikelerine odaklanıyoruz.

Sistem 1 ve Sistem 2

Ama böyle düşünmemek elimizde değil. Son birkaç yıl içinde bilim insanları, riskleri çoğu zaman, özellikle de o riskler modern teknoloji içeriyorsa, mantıklı ve rasyonel bir şekilde değerlendiremediğimizi keşfetti. Bunun nedeni, insanların iki ayrı düşünme sistemine sahip olması. Bilim insanları bu sistemleri yaratıcılıktan oldukça yoksun bir biçimde Sistem 1 ve Sistem 2 olarak adlandırdılar.

Sistem 1 esas olarak sezgi veya içgüdüsel duygudur. Avantajı, hızlı ve kararlı olmasıdır, ama pek derin düşünmez; hatta genelde onun farkına bile varmayız. Hal böyle olunca, Sistem 1 bir tehdidi değerlendirirken, karar vermeden önce bütün kanıtları serinkanlılıkla dikkate almaz, çünkü bunu yapmak fazla uzun sürer. Onun yerine, hızlıca bir karar vermek için —bilim insanlarının höristik yöntemler adını verdiği—temel bazı pratik kurallara başvurur.

Sistem 1'in aksine Sistem 2, tamamen kanıtları serinkanlılıkla dikkate almakla ilgilidir. Mantıklı ve sistematiktir, ama aynı zamanda yavaştır ve çok fazla zihinsel çaba gerektirir. Eğer içimizden gelen sese dayanarak anlık bir karar verirsek bu Sistem 1'dir. Eğer bir şeyleri uzun süre düşünür, destekleyen ve karşı çıkan argümanları titizlikle tartarsak bu Sistem 2'dir. Dolayısıyla, bilim de dahil olmak üzere, insanlığın görece daha etkileyici olan bütün başarılarını Sistem 2'ye borçluyuz.

Sorun şu ki, Sistem 1 tarafından hızlıca ulaşılan yanıtlar neredeyse her zaman, Sistem 2'nin daha yavaş ve daha derin düşünüp taşınarak ulaştığı yargılara rengini verir. Yani Sistem 2 sürece müdahil olsa bile, çoğu zaman Sistem 1'in verdiği kararlara uyar. Sistem 1'in kararını gözden geçirse bile Sistem 1'i iptal etmektense alınan kararı yalnızca düzeltme veya uyarlama eğilimindedir. Yani Sistem 2 düşünme sistemimizin mantıklı, rasyonel yönünü temsil etmesine karşın aslında sözü geçen hızlı ve gevşek Sistem 1'dir.

Sistem 1 hızlı yargılara varabilmek için bilinçaltında işler, çünkü bilinçli düşünce onu yavaşlatır. Bu da çoğunlukla verdiğimiz kararları nasıl verdiğimizi bilmediğimiz anlamına gelir. Sistem 2'nin, Sistem 1'in çoktan vermiş olduğu kararlar için genellikle akla yatkın açıklamalar bulabilmesi sayesinde anlık kararlarımızı rasyonelleştirebiliriz. Görüldüğü üzere süreç karardan açıklamalara doğru işler, açıklamalardan karara doğru değil.

Öyleyse Sistem 1'in kullandığı bilinçaltı pratik kurallar veya höristik yöntemler nelerdir? Çok sayıda davranışsal deney (*bak.* Kutu) tarafından belirlenen üç ana yöntem vardır: demirleme ve ayarlama höristik yöntemi, temsil edebilirlik höristik yöntemi ve mevcut olma höristik yöntemi. Demirleme ve ayarlama yöntemi, daha yeni öğrendiğimiz bir bilgiyi referans noktası gibi kullanarak bir ilk yargıya varma eğilimimizi yansıtır. Temsil edilebilirlik yöntemi tipik olayları olası olaylarla bir tutma eğilimimizi, mevcut olma yöntemi ise kolayca anımsanan olayların oldukça yaygın olduğunu varsayma eğilimimizi yansıtır.

Sistem 1 araştırmaları

Sistem 1'in höristik yöntemleri ve önkabülleri bilinçaltında işlediği için bilim insanlarının, Sistem 1'in düşünme süreçlerimiz üzerindeki etkisini ortaya çıkarabilmek için zekice deneyler tasarlaması gerekiyordu.

Örneğin bir çalışmada bilim insanları, insan gruplarına Hintli siyasi lider Mahatma Gandhi'nin öldüğü zaman dokuz ya da 140 yaşından yaşlı mı yoksa genç mi olduğunu sordular. Bu sorular açıkça aptalca sorulardı fakat bilim insanları daha sonra aynı insanlardan, Gandhi'nin öldüğü zaman aslında kaç yaşında olduğunu tahmin etmelerini istediğinde, ilk sordukları sorunun, insanların ikinci soruya verdikleri yanıtı etkilediğini gördüler. Gandhi öldüğü zaman dokuz yaşından genç mi yoksa yaşlı mı olduğu sorulan insanlar, 140 yaşından genç mi yoksa yaşlı mı olduğu sorulan insanlara göre Gandhi'nin daha genç yaşta öldüğünü söylediler. İşte demirleme ve ayarlama höristik yöntemi fiiliyatta böyle işlemektedir.

1982 tarihli bir çalışmada bilim insanları, bir konferans için bir araya gelmiş olan siyaset uzmanlarından oluşan gruplara önlerindeki sene ABD ve Sovyetler Birliği arasındaki diplomatik ilişkilerin tamamen askıya alınmasının mı yoksa Sovyetler'in Polonya'yı işgalini takiben diplomatik ilişkilerin tamamen askıya alınmasının mı daha olası olduğunu sordular. Mantıken birinci senaryo daha olası olması gerektiği halde uzmanlar ikinci senaryoyu daha olası bulduklarını belirttiler, çünkü ikinci senaryo birincinin bir altkümesinden ibaretti. Bu da temsil edebilirlik höristik yönteminin fiiliyatta nasıl işlediğini örneklemektedir.

Üstüne üstlük Sistem 1 yargılarda bulunurken çok sayıda "önkabule" ya da eğilime başvurur. Bunlar dışkı ve çürüyen maddelerden iğrenme eğilimimizi ve doğrulama önkabulü olarak da bilinen, mevcut inançlarımıza karşılık gelen enformasyonu arama eğilimimizi içerir. Ayrıca risk ve faydanın ters orantılı olduğuna inanma eğilimindeyizdir: Yani riskli şeyler faydalı olamaz ve faydalı şeyler de riskli olamaz.

Bu höristik yöntemler ve önkabuller beyinlerimizle bütünleşik donanımlar, yani evrimin ürünleri gibi görünmektedir. Ve modern insan ilk olarak 200.000 yıl önce ortaya çıktığında muhtemelen çok değerliydiler. O noktada, eğer Afrika savanasında yürürken ilerideki çalılıkta bir hareket görürseniz hareketin nedeninin lezzetli bir antilop mu yoksa aç bir aslan mı olduğuna hızlı karar vermeniz gerekiyordu. Sistem 1'in höristik yöntemleri ve önkabulleri bu kararı vermede çok kullanışlıydı.

Eğer birinin bir aslandan bahsettiğini duymuşsanız ve orası size tipik bir aslan bölgesi gibi görünüyorsa ve son dönemde bir aslan saldırısı olduğunu hatırlıyorsanız, oradan mümkün olabildiğince hızlı bir şekilde uzaklaşmak muhtemelen sağduyulu bir davranış olurdu. Fakat aslan saldırıları çok sık olmuyorsa, etrafı biraz daha kolaçan etmek iyi olabilirdi. İşte Sistem 1'le bu zahmetli düşünme sürecinden geçmez, içinizdeki ses iyi şeyler olmayacağını söylediğinde oradan kaçarsınız.

Bugün dünya çok farklı bir yer olabilir, fakat evrim yavaş bir süreç olduğundan, Sistem 1 hâlâ bu höristik yöntemleri ve önkabulleri kullanmaktadır. Yine de, Sistem 1 höristik yöntemlerini ve önkabullerini uzmanlığınız olan bir alanda uyguladığında hem hızlı hem de bilinçli kararlar vermenizi mümkün kılarak fayda sağlayabilir. Bilim insanları, itfaiyeciler ve hava trafik kontrolörü gibi yüksek stres içeren ortamlarda çalışan insanların sıklıkla hızlıca doğru kararlar verdiklerini,

fakat bu kararları nasıl verdiklerini açıklayamadıklarını keşfetmiştir. Ancak Sistem 1 höristik yöntemlerini, yeni teknolojinin riskleri gibi insanların hakkında daha az bilgi sahibi olduğu alanlara uyguladığında, son derece kuşkulu sonuçlara varabilmekte ve Sistem 2 de bunları sıklıkla düzeltmemektedir.

SİSTEM 1 BİZİ EVHAMLANDIRDIĞINDA

Özellikle artık dünyanın her köşesinden bilgi edinebilmemiz Sistem 1'i bozguna uğratmaktadır. Çocuk kaçırma hakkındaki televizyon haberlerini izlemenin, çocuğumuzun kaçırılma olasılığını artırmayacağını mantıken bilebiliriz, fakat Sistem 1 bunu bilmez. Sadece mevcut olma höristik yöntemini kullanır ve bir çocuk kaçırma haberinin, kaçırma olayının nerede gerçekleştiğine bakmaksızın çocukların kaçırılmasının yaygın olduğu anlamına geldiği çıkarımında bulunur. Bu nedenle, çocuğumuz sokakta oynarken biri onu kaçıracak diye evhamlanırız. Bilim insanları, insanların cinayet, sel ve yangın gibi gazetelerde ve televizyon haberlerinde yer verilen şekillerde ölme olasılıklarını gözlerinde devamlı olarak büyüttüklerini keşfetmiştir.

Geçtiğimiz son birkaç yılın teknoloji kaynaklı sağlık endişelerinin çoğunun altında aynı türden şüpheli düşünceler yatar. Bu sağlık endişelerinin neredeyse tümünün gerçekte asılsız olduğu anlaşılmış olsa da hepsi, Sistem 1'in tehlike çanlarını çalmasına neden olan niteliklere sahiptir.

GD ürünler

GD ürünler 10 yıldan uzun süredir ne çevreye ne de insan sağlığına zarar vermeden yaygın biçimde yetiştirilmekte ve tüketilmektedir. 2009 yılında, tüm dünyada 25 ülkede 134 milyon hektar GD ürün ekilmiştir. Fakat ilk GD ürünlerin

tüketicilerden ziyade yalnız üreticilerin yüzünü güldürmüş olmasının yanı sıra, belli GD ürünleri yiyen hayvanlarda gözlenen olumsuz etkilere odaklanan çok tartışmalı birkaç çalışmanın öne çıkarılması, Avrupalıların GD ürünlere sırtlarını dönmesi için yeterli olmuştur.

Çevre gruplarının ateşe körükle gittiği bir diğer endişe ise, ister böcek ilaçları gibi kasten salınan kimyasallar olsun, ister endüstriyel kimyasallar gibi basitçe doğaya sızanlar, insan yapımı kimyasalların doğadaki yoğunluğudur. Gelişmiş dünyada yaşayan insanlar üzerinde yapılan testlerde, bu insanların kanlarında, bazıları zehirli veya kansere yol açması olası insan yapımı kimyasallar bulunduğu tespit edilmiştir.

Kulağa ne kadar ürkütücü gelirse gelsin, aslında ortada endişelenmek için bir neden yoktur. Hepimizin vücudu insan yapımı kimyasallarla kirlenmiş olmasına rağmen bu kimyasallar çoğu insanda o kadar düşük düzeydedir ki hiç zararları dokunmaz. Dahası, doğanın ürettiği kimyasal bileşiklerin birçoğu, yemeklerimize girenler de dahil olmak üzere, yeteri kadar yüksek yoğunluklarda zehir veya kansere yol açma olasılığı içermektedir, fakat kimse bu doğal kimyasallar hakkında fazla endişe etmez.

Amerikan Kanser Cemiyeti tüm kanserlerin yalnızca yüzde 2'sinin insan yapımı veya doğal yolla oluşan çevresel kirleticilere maruz kalmaktan kaynaklandığını tahmin etmektedir. Bunun aksine sigara kullanımı, alkol tüketimi, beslenme, obezite ve egzersiz gibi yaşam tarzı etmenleri kansere yakalanma olasılığını çok daha önemli oranlarda etkilemektedir. Yine de insanlar pervasızca sigara içip, alkol alıp, kremalı pastaları mideye indirirken, vücutlarında eser miktarda bulunan çevresel kirleticilerin etkilerinden daha çok endişe duymaktadır.

Peki ya çevre?

İnsan yapımı kimyasalların sağlığımız için oluşturduğu riskler oldukça az olsa da çevre için oluşturduğu riskler çok daha ciddi olabilir.

Örneğin ABD'nin orta batısındaki tarlalara uygulanan, azot bakımından zengin suni gübreler civardaki nehirlere sürüklenmekte, sonra da Meksika Körfezi'nde son bulmaktadır. Her bahar ve yaz, bu suni gübre akını okyanustaki bütün oksijeni emen yosunların büyümesinde büyük bir artışa neden olmaktadır. Sonuç: Körfezin 1,5 milyon hektarını kapsayan ve hiçbir şeyin hayatta kalamayacağı devasa bir ölü alan.

Cep telefonlarına yönelik güvenlik endişeleri de gündeme gelmiş, telefonların ürettiği elektromanyetik alanların kansere yol açıp açmayacağına dair endişeler dile getirilmiştir. Fakat GD ürünlerin aksine bu endişeler, insanları yürürken bile telefonda muhabbet etmekten alıkoymamıştır.

Teknolojiye verilen bu akıldışı tepkilerin tümünün izi Sistem 1'in kullandığı buluşsal yöntemler ve önkabüllere kadar sürülebilir. Yeni bir teknolojinin güvenliği hakkında şüphe uyandıran herhangi bir haber, bu şüphelerin sonradan asılsız olduğu anlaşılsa bile, Sistem 1'in kullandığı höristik yöntemleri tetiklemek ve teknoloji hakkında hemen kötü bir his uyandırmak için yeterlidir.

Dahası, insanlar risk-yarar yanlılığı nedeniyle, GD ürünler gibi kendileri için doğrudan bir yararı bulunmayan teknolojilerin riskli olduğunu kabul etmek konusunda daha istekliler.

Öte yandan, cep telefonları gibi doğrudan yarar sağlayan teknolojilerin tehlikeli olabileceğini kabul etmek konusunda o kadar istekli değiller.

Doğrulama önkabulü nedeniyle, birisi bir kez bir teknolojiye karşı cephe aldığında fikrini değiştirmek çok zor olabilir, çünkü yalnızca teknolojinin bir risk olduğuna dair inançlarını güçlendiren enformasyona dikkat ederler. Bunu çoğu zaman o teknolojinin güvenli olduğuna dair verilen güvenceleri basitçe reddederek yaparlar. Maalesef bu şüpheci duruş, sığır sponjiform ensefalopatisi (daha iyi bilinen adıyla deli dana hastalığı) gibi verilen güvenlik teminatlarının yanlışlığının kanıtlandığı birkaç vaka sonucunda itibar görmüştür.

KKK korkusu

Gelgelelim akıldışı tepkiler bazen ciddi sonuçlar doğurabilmektedir. 1998 yılında İngiltere'de bir doktor, kızamık, kızamıkçık ve kabakulağa karşı uygulanan ve KKK adıyla bilinen üçlü aşı ile otizm olarak bilinen davranışsal rahatsızlığın başlangıcı arasında bir bağlantı olduğunu öne sürdü. İngiliz hükümetinin, ebeveynleri KKK aşısının güvenli olduğuna dair temin etmesine ve hatta bu teminat, KKK aşısı ve otizm arasında hiçbir bağlantı olmadığını saptayan çok sayıda çalışmayla desteklenmesine rağmen birçok ebeveyn çocuklarının aşı olmamasının daha güvenli olacağına karar verdi.

Sonuç olarak, İngiltere'de kızamık ve kabakulak vakaları hızla arttı (neyse ki kızamıkçık hâlâ ender görülüyor). İngiltere Sağlık Koruma Ajansı'na göre kızamık vakaları 1998'de 56'dan 2009'da 1.144'e yükselirken, kabakulak vakaları 1998'de 121'den (2005'te 45.000 vakayla en üst seviyeye ulaşarak) 2009'da 7.628'e yükseldi. Kızamık ve kabakulak son derece

kötü hastalıklar olarak kalmaz, kızamık zaman zaman ölümle de sonuçlanabilir.

KKK ve otizm arasındaki bu son derece kurgusal ve sonradan asılsız olduğu anlaşılan bağlantı, ebeveynleri, çocuklarını üç önemli hastalığa karşı aşılatmaktan alıkoymaya yetmiştir. Neyse ki korku azaldıkça KKK aşı oranları da önceki seviyelerine geri döndü.

Açıkça, Sistem 2 Sistem 1'in akıldışı tepkilerine üstün gelebilir. Fakat bu durumda bile Sistem 1 bizi tedirgin etmeye devam edebilir. Ben bile, çok sayıda çalışmanın KKK ve otizm arasında bir bağlantı bulamadığını bildiğim halde, çocuklarımı KKK aşılarını olmaya götürürken tedirgindim.

Bilim insanları genellikle, insanları bir teknolojinin güvenli olduğu konusunda ikna etmek için Sistem 1'e karşı savaşırlar, fakat bazen de aynı savaşı, insanların bir tehdidi daha ciddiye alması için verirler. Küresel ısınma konusunda da durum budur.

Ek okuma

Gardner, Dan, *Risk: The science and politics of fear* (Londra: Virgin Books, 2009).

23

Sıcak bastı

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *küresel ısınma ve iklim değişikliği ne anlama geliyor*
- *sera gazları dünyayı nasıl etkiliyor*
- *artan karbondioksit seviyeleri*
- *gelecekte neler olabilir*

Buraya kadar, kitabın çoğunda, bilimin büyük ölçüde kabul görmüş alanlarına odaklandık. Bilim insanlarının mevcut teorileri ve kavrayışlarına dair makul oranda uzlaşma sağladıkları alanlara eğildik. Belirli noktalarda hâlâ biraz belirsizlik kalmış olsa da büyük resim ortaya çıkmış durumda.

Bilim insanları DNA'nın nasıl kopyalandığını, kıtaların nasıl hareket ettiğini, atomların nasıl yapılandığını biliyorlar ve hatta evrenin oluştuğu ilk saniyelerde neler olduğuna dair de epeyce fikre sahipler. Fakat bilimin bazı alanları genel kabul görmüş olmaktan henüz çok uzak; bu alanlara belirsizlik, kargaşa ve çelişki hâkim, dolayısıyla tartışmalar hararetli ve gerilim yüksek. İklim değişikliğinin günümüzdeki durumu da aynen böyle.

Son yirmi-otuz yılını bir ıssız adada geçirmiş olanlar için anlatalım: İklim değişikliği, çoğunlukla enerji için fosil yakıtlar kullanmamız sonucunda artan karbondioksit ve diğer gaz derişimlerinin Dünya'nın ısınmasına yol açtığına dair bir

teoridir. Bu teori aynı zamanda küresel ısınma olarak da bilinmektedir.

İklim değişikliği, neredeyse diğer tüm bilimsel alanlardan daha fazla hiddet ve anlaşmazlığa neden olmaktadır. Ayrıca insanların tercihe zorlandığı bir alan gibi görünmektedir: İklim değişikliğine ya inanıyorsunuz ya da inanmıyorsunuzdur, ortası yok gibidir. Bunun neticesinde iki taraf arasındaki husumet seviyesi de hayli yüksektir.

İklim değişikliğinin ilkeleri

Tartışmanın aksine iklim değişikliğinin temel ilkeleri esasen son derece basit ve tartışmasızdır. Karbondioksit tıpkı (doğalgaz olarak da bilinen) metan ve nitrik oksit gibi bir sera gazıdır. 17. Bölümde gördüğümüz gibi farklı moleküller elektromanyetik radyasyonu farklı frekanslarda soğurur ve yayar; ve şu işe bakın ki karbondioksit, metan ve nitrik oksitin hepsi radyasyonu kızılötesi frekanslarda soğurur.

Karbondioksit, metan ve nitrik oksitin üçü de atmosferde bulunmakla birlikte derişimleri çok azdır (günümüzde karbondioksit atmosferin neredeyse yüzde 0,04'ünü oluştururken metan ve nitrik oksit bundan bile düşük derişimlerde bulunur). Atmosferin büyük çoğunluğu, sırasıyla yüzde 78 ve yüzde 21 olmak üzere azot ve oksijenden oluşur, fakat bunların ikisi de kızılötesi radyasyonu soğurmaz.

SERA GAZLARI

Bu gazlar, kızılötesi radyasyonu soğurarak ısının Dünya'dan kaçmasına engel oldukları ve bu bakımdan bir sera gibi davrandıkları için sera gazı olarak adlandırılıyor. Bu kızılötesi radyasyon, güneş ışığı ile ısınan Dünya yüzeyi tarafından yayılır

(*bak.* 17. Bölüm). Güneşli günlerde çok ısınan asfalt bu türden yüzey ısınmasına iyi bir örnektir.

Eğer atmosfer yalnızca azot ve oksijenden oluşsaydı, bu kızılötesi radyasyon uzaya geri dönerdi. Fakat kızılötesi radyasyonun çoğu sera gazı molekülleri tarafından soğurulur, bu da moleküllerin daha hızlı hareket etmesine ve yeryüzüne doğru daha fazla kızılötesi radyasyon yaymasına neden olur. Bu yolla karbondioksit, metan ve nitrik oksit Dünya'nın üzerini örten bir termal battaniye gibi davranarak yüzeyin soğumasını engeller.

Bilim insanları, bu sera gazları atmosferde bulunmadığı takdirde yüzeydeki ortalama sıcaklığın -18°C'ye kadar düşebileceğini hesaplamıştır. Yani sera gazları Dünya'yı yaşanabilir bir yer haline getirmekte önemli rol oynar.

Mars'a şöyle bir bakmak bu noktayı doğrulamaya yetecektir. Karbondioksit Mars atmosferinin ana bileşenidir (yaklaşık yüzde 95'ini oluşturur), fakat bu, Mars atmosferinin bizimkinden 100 kat daha ince olması ve bu nedenle çok daha az ısı tutabilmesi olgusuyla dengelenir. Sonuç olarak Mars'ın yüzeyinde ortalama sıcaklık -65°C'dir.

Gelgelelim, güzel şeylerin de fazlası zararlı olabilir. Venüs'ü ele alalım: Onun da atmosferinin ana bileşeni karbondioksittir, ama atmosferi bizimkinden 100 kat daha yoğundur. Sonuç olarak Venüs'ün yüzeyindeki sıcaklık fırın gibi bir 460°C'dir. Yani kabaca söyleyecek olursak, atmosferinizde ne kadar sera gazı varsa yüzeyin yakınında o kadar ısı tutulur.

ARTAN KARBONDİOKSİT SEVİYELERİ

Başta karbondioksit olmak üzere, Dünya'nın atmosferindeki sera gazlarının derişimi artmaktadır. Daha önce belirttiğimiz

gibi bu da tartışmasız bir bulgudur. Atmosferdeki karbondioksit seviyesi 1950'lerden bu yana ölçülmekte ve 1959 yılında milyonda 317 parçacıktan (ppm) 2009 yılında 387 ppm'e yükselerek düzenli bir artış göstermektedir. Bu artışla petrol, kömür ve doğalgaz gibi karbon bakımından zengin ve yakıldığında karbondioksit üreten fosil yakıtlarının kullanımı arasındaki bağlantı ise tartışma götürmez bir başka konudur.

Arktik ve Antarktika'dan alınan buz çekirdeklerinde hapsolmuş hava kabarcıkları üzerinde yapılan çalışmalar da bu konuda daha fazla kanıt sağlamaktadır. Bunlar, atmosferin yüz binlerce yıllık bir kaydını sunmakta ve karbondioksit derişiminin son 250 yıldır, yani sanayi devriminin başlangıcından bu yana arttığını göstermektedir. Buz çekirdekleri ayrıca, karbondioksit derişiminde doğal dalgalanmalar olduğunu gösterse de karbondioksit derişimi bugün en az 600.000 yıldır olmadığı kadar yüksek seviyelerde seyretmektedir.

Yükselen hava sıcaklıkları tartışması

Tartışmayı hararetlendiren, yüzeydeki ortalama hava sıcaklıklarının yükseldiği ve bunun suçlusunun da yükselen karbondioksit seviyeleri olduğu iddiasıdır. Her ne kadar, kabaca söyleyecek olursak, daha fazla karbondioksit daha fazla tutulan ısı anlamına gelse de, karbondioksit, yüzeydeki hava sıcaklığını etkileyen birçok etmenden yalnız bir tanesidir. Sıcaklık ve karbondioksit arasındaki kesin ilişki son derece karmaşık ve bilim insanlarının hâlâ tam olarak kavrayamadığı bir ilişkidir.

Buz çekirdekleri yalnız karbondioksit seviyelerinin bir tarihini sunmakla kalmaz, aynı zamanda sıcaklıkların tarihi hakkında da bilgi sağlar, çünkü farklı oksijen izotopları sıcaklığa bağlı olarak

buzda farklı hızlarda yerleşir. Bu sıcaklık kaydını karbondioksit kaydıyla karşılaştırdığımızda, ikisinin birbirlerine ayak uydurarak dalgalandığını görürüz. Fakat buz çekirdekleri ikisi arasındaki kesin bir ilişki ortaya koymaz: Sıcaklık, dalgalanan karbondioksit seviyelerine tepki olarak mı dalgalanmaktadır, yoksa tam tersi midir; ya da daha olası görünen biçimde, ikisi arasında karmaşık bir etkileşim mi vardır?

Söz konusu sıcaklık kaydı oldukça kabadır, fakat yüz binlerce yılı kapsadığı düşünüldüğünde, bu pek şaşırtıcı olmasa gerek. Son dönem tarihe ait daha ayrıntılı kayıtlar için bilim insanlarının ağaç halkaları gibi başka doğal kaynaklara yönelmesi gerekmektedir. Bu işaretler yalnızca ağacın yaşını vermekle kalmaz, halkaların kalınlığı sıcaklık tarafından belirlendiği için ağacın yaşam süresi boyunca maruz kaldığı sıcaklıkları da verir.

Bilim insanları çeşitli kadim ağaçların ağaç halkalarını kullanarak son 1.000 yılın ortalama küresel sıcaklıklarının kaydını çıkarmıştır. Asıl mesele yine dalgalanmalardır, fakat bu her zaman genel bir ortalamanın etrafında dile getirilir.

Gelgelelim bu durum 150 yıl önce, insanlık ilk defa hava sıcaklıklarını düzenli ölçmeye başlamasıyla değişmiştir. Bugün dünya çapındaki binlerce hava istasyonunda ve uydular tarafından yapılan bu ölçümler (her ne kadar sıcaklıklar 1940'ların ortasından 1970'lerin ortasına kadar sabit seyretse de) genel olarak artan sıcaklıkları göstermektedir. Geçtiğimiz 100 yıl boyunca Dünya'nın yüzeyindeki hava neredeyse 0,7°C ısınmıştır.

Eleştirenlerin çoğu için bu, kulağa şüphe uyandıracak kadar uygun gelmektedir. Özellikle de bu son ısınmanın ağaç halkalarına yansımaması şüpheleri artırmaktadır. Yıllar içinde, etrafındaki taşralardan daha sıcak olma eğiliminde olan

kasaba ve kentlerin çoğunlukla, önceleri yalıtılmış konumda bulunan hava istasyonlarının çevresinde kurulmuş olmasıyla bu ısınmanın bir ilgisi olduğu düşünülmektedir. Gelgelelim iklim değişikliği üzerine çalışan bilim insanları ortalama sıcaklık kayıtlarını bir araya getirirken bu kentsel ısınmayı—örneğin, en büyük kentsel alanlardaki istasyonlardan gelen değerleri dışarıda bırakarak—dikkate aldıklarını savunmaktadır.

Yüzeydeki hava sıcaklığı artıyor olsa bile tek suçlu yükselen karbondioksit seviyeleri olmak zorunda değildir. Her şeyden önce, gördüğümüz üzere karbondioksit tek sera gazı değildir. Hatta karbondioksit hem metandan hem de nitrik oksitten daha az etkili bir sera gazıdır, fakat atmosferde daha fazla bulunduğu için daha önemlidir. Genel olarak, metan küresel ısınmaya yüzde 24 katkıda bulunurken, karbondioksit yüzde 70 katkıda bulunmaktadır.

Su buharının etkisi

Fakat karbondioksitten bile daha önemli bir sera gazı varsa o da, atmosferde daha yaygın bulunması nedeniyle su buharıdır. Dolayısıyla, eleştirenler, su buharı yüzeydeki hava sıcaklıkları üzerinde çok daha fazla etkiye sahip olduğundan karbondioksit seviyelerinde küçük bir artışın görece önemsiz olduğunu savunmaktadır. Ama durum o kadar basit değildir.

En başta, su buharının, yükselen karbondioksit seviyelerinin neden olduğu herhangi bir ısınmayı güçlendirmesi gerekirdi, çünkü daha yüksek bir yüzey sıcaklığı okyanuslarda daha fazla buharlaşmaya ve dolayısıyla daha fazla su buharına neden olmaktadır. Öte yandan, 15. Bölümde gördüğümüz gibi, su buharı hızla yoğuşarak bulutları oluşturur ve bulutlar, özellikle de beyaz bulutlar gelen güneş radyasyonunu yansıtarak yüzeyin

soğumasına yardımcı olur. Fakat bununla birlikte bulutlar yeryüzü tarafından yayılan kızılötesi radyasyonun birazını tutabilir de.

Dolayısıyla, her ne kadar bilim insanları genel olarak daha fazla su buharının muhtemelen daha yüksek sıcaklıklara yol açtığını düşünse de su buharının sıcaklık üzerinde çelişkili etkileri vardır. Öte yandan karbondioksit, en azından Dünya'nın yüzeyinin yakınında, yalnızca ısınmaya yol açmaktadır.

Güneş radyasyonu

Eleştirenler, benzer bir mantıkla, Dünya'nın Güneş'ten aldığı —ve farklı ölçeklerinde değişiklik gösteren—radyasyon miktarının, yüzey hava sıcaklıkları üzerindeki etkisinin, karbondioksit seviyelerinden çok daha fazla olduğunu savunmaktadır. Eğer Dünya ısınmaktaysa bunun başlıca nedeninin Güneş'ten daha fazla enerji alması olduğu düşünülmektedir.

Fakat son yirmi-otuz yıl içinde Güneş'ten gelen güneş enerjisinde çok az değişme olduğunu gösteren güneş gözlemleri ve bilgisayar tabanlı iklim modellerinin bulguları bu tezle çelişmektedir. Bu modeller, atmosferi ve Dünya'nın yüzeyini üç boyutlu hücreler halinde ince ince doğrayıp sonra da o hücrelerde çeşitli fiziksel süreçleri yineleyerek iklimin işleyişini taklit etmeye çalışmaktadır.

Bu tür modeller, özellikle de her hücrenin 100 km^2'nin üzerinde bir alanı kapsadığı düşünüldüğünde gerçek iklimin sadece çok genel bir kestirimini sunabilmektedir, fakat geçtiğimiz 100 yıl içinde görülen ısınmayı yinelemekte oldukça iyi iş çıkartmış oldukları da bir gerçektir. Tabii bunu yalnız yükselen karbondioksit seviyelerini dahil ederek yapabilirler. Modellere

göre, Güneş radyasyonundaki dalgalanmalar gözlemlenen ısınmayı tek başlarına açıklayamazlar.

Gelecekte bizi bekleyen değişimler

Tüm modeller bir miktar ısınmaya işaret etmekle birlikte gelecekte ne olacağına dair belirsizlik hâkimdir. Bu belirsizliğin nedeni büyük oranda, iklimin nasıl işlediğine dair hâlâ pek fazla bir şey bilmeyişimizdir. Öyle ki, karbondioksit tarafından yüzeyde tutulan onca ısıya ne olduğunu bile bilmiyoruz.

Isının yalnızca çok küçük bir bölümü atmosferin alt katmanında kalarak küresel ısınmaya katkıda bulunuyor, büyük çoğunluk okyanuslar tarafından soğurulur. Bu da ısınmalarına veya kutuplarda eriyen buzullara ve buz örtülerine doğru gitmelerine neden oluyor. Fakat hâlâ açıklanamayan çok şey var. 2010 yılında *Science* dergisinde çıkan bir çalışma, bilim insanlarının, son yıllarda biriktiğine inanılan ısının aşağı yukarı yarısını hâlâ açıklayamadığını ortaya koymuştur.

Yine de, bu belirsizliklere rağmen hükümlere varılabilir. Hükümetlere iklim değişikliği hakkında bilgilendirme yapmak üzere kurulmuş bir kuruluş olan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli 2007'de yayınlanan son raporunda 2100 yılına kadar ortalama küresel sıcaklıkların 1,1°C ila 6,4°C artacağı tahmininde bulunmuştu. Kulağa pek fazla değilmiş gibi gelebilir ama etkileri çok çarpıcı olabilir.

Deniz seviyeleri yükselmeye başlayacak, pek çok kıyı bölgesi sular altında kalacaktır. Buna hem ısınan okyanuslar—çünkü su ısındığında genleşir—hem de eriyen deniz buzu ve buzulları neden olacaktır. Aslına bakarsanız bu süreç yaşanmaya başladı bile. Uydu ölçümleri, halihazırda denizlerin yılda 3 mm'den fazla yükseldiğini göstermektedir.

Yükselen okyanus sıcaklıkları ve eriyen deniz buzu okyanus sirkülasyon sistemini de değiştirebilir (*bak.* 14. Bölüm). Bunu yaparken de termohalin sirkülasyonunu olasılıkla yavaşlatabilir ve hatta (2004 tarihli felaket filmi *Yarından Sonraki Gün*'de çarpıcı fakat bilimsel olarak gerçekten uzak sonuçlar doğurarak gerçekleştiği gibi) durdurabilir. Her ne kadar bunun gerçekleşmekte olduğuna dair henüz bir işaret olmasa da, Batı Avrupa'yı çok daha fazla soğutmak gibi ironik bir etkisi olurdu.

Hemen her yer daha sıcak olacaktır. Gerçi bu ısınmanın etkileri geceleyin ve kışın, gün içinde ve yazın olduğundan muhtemelen daha çarpıcı olacaktır. Daha yüksek sıcaklıklar okyanuslardaki suyun buharlaşmasını artırarak yağmur yağdığı zaman daha şiddetli yağmasına neden olacak, fakat aynı zamanda çoğu iç kesimde de buharlaşmayı artıracağından kuraklıkların daha ağır geçmesine neden olacaktır.

Yaşam alanları değiştikçe pek çok bitki ve hayvan acı çekecektir. Eğer karbondioksit seviyeleri yükselmeye devam ederse, 2050'ye kadar bitki ve hayvan türlerinin yüzde 37'ye yakınının yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalacağı tahmin edilmektedir. Atmosferde daha fazla karbondioksit bulunmasının, bitkilerin daha hızlı büyümesine neden olabileceği doğrudur, fakat bunun daha yüksek sıcaklıklar tarafından dengelenmesi olasıdır. Bunun sonucunda besin stokumuz olumsuz etkilenebilir: En önemli besin ürünlerimizin rekolteleri, sıcaklıklar 30°C'nin çok üzerine çıktığında çarpıcı oranlarda düşmektedir.

Devam etmekte olan tartışmaya rağmen, İngiltere Kraliyet Derneği ve ABD Ulusal Bilimler Akademisi dahil olmak üzere dünyanın neredeyse tüm bilimsel toplulukları, küresel ısınmanın önemli bir sorun olduğunu ve en büyük suçlunun da, fosil yakıtlarının yakılması sonucu yükselen karbondioksit seviyeleri olduğunu kabul etmektedir. Dolayısıyla da tartışmayı,

küresel ısınmanın olup olmadığından uzaklaştırıp bu konuda ne yapmamız gerektiğine getirmeye çalışmaktadırlar.

Bu konuda ne yapabiliriz?

Bağlayıcı hedefler koyan küresel girişimlerin akıbetleri karışık olmuşsa da artık pek çok ülke karbondioksit salımını azaltması gerektiğini kabul etmektedir. Şüphesiz bir ülkenin karbondioksit salımını azaltmasının en iyi yolu fosil yakıt kullanımını azaltmaktır.

Bu genel olarak, kömür ve doğalgaza dayalı çalışan elektrik santrallerinin yerine daha temiz enerji üretim biçimleri koymak anlamına gelir. Bu temiz enerji üretim biçimleri, her ne kadar kendi içinde sorunları olsa da nükleer enerji ile güneş, rüzgâr ve gelgit gibi yenilenebilir enerji teknolojilerini içeriyor (*bak.* 16. Bölüm). Temiz enerji ayrıca, petrol yerine bitkisel kaynaklı maddelerden üretilen biyoyakıt kullanımının teşvik edilmesi ve hidrojen gibi daha da temiz ulaşım yakıtlarının geliştirilmesi anlamlarına da gelebilir.

Kişisel düzeyde, tükettiğiniz enerji miktarını azaltarak karbondioksit salımınızı azaltabilirsiniz. Evinize ısı yalıtımı yapmak, kullanmadığınızda elektrikli aletleri ve ışıkları kapatmak, yakındaki mağaza veya dükkânlara giderken araba kullanmak yerine yürümek gibi basit tedbirler alarak bunu yapabilirsiniz. Bu basit tedbirler milyonlarca kişi tarafından uygulandığında salımda büyük oranda azalma sağlanabilir. Para tasarrufu da cabası.

Ek okuma

Henson, Robert, *The Rough Guide to Climate Change* (Londra: Rough Guides, 2008).

24

Yaklaşan kıyamet

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *nükleer savaşın etkileri*
- *kimyasal ve biyolojik silahların tehlikeleri*
- *Dünya'ya uzun vadeli zarar verebilecek nedir*

Küresel ısınmanın da açıkça ortaya koyduğu üzere, insanlığın teknolojik hünerleri tüm gezegeni tehdit edebilecek bir seviyeye ulaşmıştır. Ve sorun sadece küresel ısınma da değildir: Artık dünyamızı nükleer savaştan genetiği değiştirilmiş hastalıklara ve hatta kara deliklere kadar tuhaf ve harika onlarca yolla yok etmemiz mümkün. Hatta yeteri kadar talihsizsek evrenin geri kalanını da kendimizle birlikte yok edebiliriz.

Fakat çeşitli küresel yok oluş seçeneklerimizi değerlendirmeden önce başlıca iki senaryo arasında ayrım yapmamız gerekir. Görece daha az yıkıcı senaryoda yok olan, Dünyamızdan ziyade modern uygarlığımız olur. Bu senaryo tek başına, bir trajediyi takiben insanlığın teknolojik olarak gerilemesini içerebilir. Fakat aynı zamanda insanlığın, muhtemelen pek çok başka türle birlikte Dünya yüzünden silinmesini de içerebilir.

Bütün olarak Dünya bu ilk senaryodan sağ çıkardı. Muhtemelen şu veya bu tür bir yaşam formu da hayatta kalır ve kitlesel yok oluşlardan sonra olduğu gibi (*bak.* 5. Bölüm)

belli bir süre sonra yeniden gelişirdi. Tabii insanlık orada olup bunu göremezdi. Daha yıkıcı olan ikinci yok oluş senaryosu Dünya'nın fiziksel yıkımını içerir ve açıkça hiçbir şey bu yıkımı sağ atlatamaz.

Nükleer savaş

Uzun yıllar boyunca ilk senaryodaki küresel yok oluşun en beklenebilir nedeni nükleer savaştı. 1980'lerin ortasında ABD ve Sovyetler Birliği'nin (bugünkü Rusya) birlikte yaklaşık 65.000 adet nükleer savaş başlığına sahip oldukları tahmin edilmektedir. Bu miktar, gezegendeki kişi başına 3 ton TNT'nin patlayıcı gücüne eşdeğerdir.

Bir nükleer tepkimenin ürettiği enerji, kilogram başına bir kimyasal patlamanın ürettiği enerjiden bir milyon kat daha etkili olduğundan nükleer silahların yıkıcı gücü muazzamdır. Atom bombasındaki patlamaya da, nükleer enerji santrallerinde meydana gelen ve uranyum atomlarının nötron bombardımanıyla bölündüğü fisyon tepkimelerinin (*bak.* 16. Bölüm) aynısı neden olur. Atom bombasının farkı, bu tepkimelerin kontrolden çıkarak 10.000 tonluk TNT patlamasına eşdeğer büyük bir patlamayla çok miktarda ısı ve atom parçacığı açığa çıkarmasıdır.

HİDROJEN BOMBASI

Hidrojen bombası gibi daha gelişmiş nükleer silahlarda patlamaya hem fisyon hem de füzyon tepkimeleri neden olur. Atom çekirdeklerinin (yıldızların çekirdeklerinde olduğu gibi; *bak.* 2. Bölüm) kaynaştığı füzyon tepkimeleri, fisyon tepkimelerinin tam karşıtıdır ama yine de atom parçacıkları ve ısı halinde çok miktarda enerji açığa çıkarırlar. Fisyon ve füzyon tepkimelerini birleştirdiğinizde, füzyon tepkimeleri

hidrojen izotopları içerdiğinden, tek bir hidrojen bombası milyonlarca ton (megaton burada işe yarar) TNT'ye denk bir patlama üretebilir.

Fakat nükleer silahları bu denli korkutucu kılan yalnızca ilk patlamanın boyutu değildir. Modern bir hidrojen bombasının neden olacağı patlamanın gücü, yol açacağı büyük yangınlarla birlikte, büyük miktarda maddeyi duman, kaya ve toprak biçimde atmosfere gönderecektir. Bunlar büyük olasılıkla yukarıda yıllarca kalabilir ve güneş ışığını bloke ederek hayatta kalanlar için yaşamı zorlaştıracak bir nükleer kışı başlatabilir. Özellikle de azalan güneş ışığı ve düşen sıcaklıklar, ürün yetiştirme kapasitemizi önemli ölçüde azaltacaktır.

İYONLAŞTIRICI RADYASYON

Bir nükleer patlama aynı zamanda yüksek seviyelerde iyonlaştırıcı radyasyon açığa çıkarır. Bu radyasyon, kimyasal bağlara zarar verebilecek kadar muazzam miktarda, son derece enerjik atom çekirdekleri ve atomaltı parçacıklar biçiminde açığa çıkar. Geniş bir alana yayılan bu iyonlaştırıcı radyasyon, hayatta kalanlar için hem o anda hem de uzun vadede hasara yol açacaktır. Bu hasarlara, yanıklar ve kanser gibi hastalıklara yüksek oranlarda yol açabilecek genetik hasarlar da dahildir. Doğuştan engelli olma riskini de büyük oranda artırarak gelecek nesilleri de etkileyecektir. Açıkça görülüyor ki küresel bir nükleer savaş, insanlığın çoğunun ve pek çok başka türün olmasa bile modern uygarlığımızın kökünü kazıyacaktır.

Nükleer tehditler

Soğuk Savaş'ın bitmesi ve özellikle her iki tarafın da nükleer stoklarını istikrarlı bir şekilde azaltmasıyla birlikte bu kâbus senaryosunun yaşanma olasılığı da azalmış oldu. Fakat her ne

kadar nükleer silahlar yoluyla küresel yok oluş tehdidi geçmiş görünse de bir yerlerde birilerinin nükleer silah kullanma olasılığı hâlâ geçerlidir.

Nükleer bomba geliştirdiğini iddia eden Kuzey Kore ve birçok kişinin bomba geliştirmek üzere çalıştığını düşündüğü İran gibi istikrarsız ve dengesiz rejimlerden bu beklenebilir. Bu istikrarsız rejimlerden veya eski Sovyet stoklarından bomba temin eden terörist gruplar da olabilir.

Soğuk Savaş'ın daha küçük çaplı versiyonları hâlâ yürürlüktedir. Bugün hem Hindistan hem de Pakistan nükleer silahlara sahiptir ve iki ülke, tartışmalı bölge Keşmir nedeniyle bir açmaz içindedir. İran gerçekten bir nükleer bomba geliştirirse, çoğu insanın zaten nükleer silahları olduğuna inandığı İsrail ile açmaza girmesi olasıdır. Bu ülkeler arasındaki bir nükleer çatışma küresel yok oluşla sonuçlanmaz fakat yine de milyonlarca insanın ölmesine yol açar.

Kimyasal ve biyolojik saldırılar

Çok sayıda insan kimyasal ve biyolojik silahların kullanıldığı saldırılarda da ölebilir. Her ne kadar bu tür silahlar Kimyasal Silahlar Sözleşmesi ile Biyolojik ve Zehirleyici Silahlar Sözleşmesi uyarınca artık yasak olsa da açıkça bu, teröristler ve meczup tarikatlar için bir engel teşkil etmez.

Engel teşkil etmedi de. 1995 yılında Aum Shinrikyo adında bir Japon tarikatı Tokyo metrosunda bir sinir gazı olan sarin salarak 12 kişinin ölümüne sebep oldu. Fakat kimyasal silahlar kadar berbat olan biyolojik silahlar, hastalık yapıcılar olan patojenlere dayandığından daha fazla tehdit teşkil eder. Kimyasal saldırı ancak yakın çevredeki insanları

etkilerken biyolojik saldırının etkilerinin çok geniş alanlara yayılma olasılığı vardır. Bunun nedeni hem bulaşıcı biyolojik patojenlerin kişiden kişiye yayılabilmesi hem de otoriteler bir sorun olduğunu kavrayana kadar günlerin geçebilmesidir.

TASARIM PATOJENLER

Doğal patojenler yeterince öldürücüdür. Örneğin, çiçek hastalığı son derece bulaşıcıdır ve bulaştıklarının yaklaşık üçte birini öldürür; neyse ki yaygın aşılama insanlığın bu eski belasını neredeyse silmiştir (*bak.* 9. Bölüm). Fakat büyümekte olan tehlike, birinin çıkıp modern genetik ve sentetik biyoloji tekniklerini (*bak.* 20. Bölüm) kullanarak doğanın bugüne kadar tasarladığı her şeyden daha bulaşıcı ve ölümcül, özgün tasarlanmış bir patojen yaratma olasılığıdır.

AIDS virüsünün cinsel ilişki yoluyla değil de hava veya dokunma yoluyla bulaşabilen bir versiyonunu ya da grip virüsünün bulaştıklarının üçte birini veya daha fazlasını öldüren bir versiyonunu hayal edin. Bu tür bir enfeksiyon, tıpkı 2009'da tüm kontrol altına alma çabalarına karşın domuz gribinde olduğu gibi modern bir şehirde yayılırsa dünyayı silip süpürebilir. Bunun sonucunda yüz milyonlarca kişi ölebilir.

FELAKET SONUÇLAR

Fakat bir nükleer veya biyolojik saldırının modern uygarlığımızı tehdit etmek için milyonlarca kişiyi öldürmesi gerekmez; daha küçük bir saldırının neden olacağı bir aksama da bunu yapabilir. Hatta kimsenin ölmediği bir saldırı da aynı işi görür. Mesele şu ki pek çok açıdan modern, teknolojik uygarlığımız oldukça kırılgandır ve enerji tedariki, gıda dağıtımı ve iletişim teknolojileri gibi şeylere fena halde bağımlıdır.

Küçük bir nükleer veya biyolojik saldırı tüm bunları aksatarak muhtemelen yıkıcı sonuçlar doğurabilir. Küresel bilgisayar ağımızı yerle bir edecek bir siber saldırı da anında can kaybı olmaksızın neredeyse aynı şeyi yapabilir. İngiltere'de, ortaya çıkabilecek bir kaosun neye benzeyebileceği zaten görüldü.

2000 yılında, öfkeli İngiliz kamyon şoförleri yüksek yakıt ücretleri nedeniyle yakıt rafinerilerini abluka altına aldılar. Birkaç gün içinde İngiltere'deki tüm yakıt istasyonları kurudu ve ülke durma noktasına geldi. Gönderiler yerine ulaşamadığı için insanlar panikle alışveriş yapmaya başlayınca dükkânlarda gıda ürünleri de tükenmeye başladı. Neyse ki işler gerçekten sarpa sarmadan abluka kaldırıldı.

Küçük bir nükleer veya biyolojik saldırı, daha uzun süreli çok daha büyük bir kargaşaya neden olurdu. Muhtemelen yaygın elektrik kesintileri ve ciddi oranda yiyecek kıtlığı da yaşanırdı. Modern toplumlar bir anda yüzlerce yıl geriye dönerdi ve toparlanmak uzun zaman alırdı.

Dünya'ya uzun vadeli zarar

Yine de bu binbir çeşit kıyametin hiçbiri Dünya'ya büyük ve uzun vadeli bir zarar vermezdi. Soğuk Savaş'ın kızıştığı dönemde ABD ve Sovyetler Birliği'nin elinde bulunan on binlerce nükleer silahı ateşlemek bile Dünya için pek fazla sıkıntı yaratmazdı. 65 milyon yıl önce dinozorların kökünü kazımakla suçlanan asteroit, bir milyon hidrojen bombasına eşdeğer enerji açığa çıkarmıştır. Meksika sahilini ayıran 200 km genişliğindeki bir krater olarak gördüğümüz ufak göçmeyi saymazsak Dünya bu çarpmayı sağ salim atlatmıştı.

Yani insanlığın Dünya'yı yok etmesinin kesinlikle hiçbir yolu yok. Aslında var ve olası tehlikenin kaynağı oldukça şaşırtıcı.

1. Bölümde gördüğümüz gibi, fizikçiler evrenin temel yapısını ve güçlerini belirlemek amacıyla atomaltı parçacıkları Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (BHÇ) gibi parçacık hızlandırıcılarda ışık hızına yakın bir hızla çarpıştırıyor.

Kıyameti değerlendirmek

Kıyametleri nasıl serinkanlılıkla değerlendirebilirsiniz? Farklı kıyametlerin şiddetini karşılaştırarak bir kıyametin gerçekleşmesini engellemek için atılması gereken adımları nasıl belirleyebilirsiniz? Öyle görünüyor ki ister kasırga olsun, ister asteroit çarpması, isterse de nükleer savaş, insan kaybına yol açabilecek her tehdidin şiddetini ölçmek için çok basit bir yöntem vardır.

Tehdidin gerçekleşme olasılığını tehdidin (genellikle olası kayıp sayısı cinsinden) büyüklüğüyle çarparsınız. Bu yöntemle hesaplandığında, yalnızca birkaç kişiyi öldürecek fakat gerçekleşme olasılığı oldukça yüksek bir tehdit ile gerçekleşmesi pek de olası olmayan fakat çok daha fazla insanı öldürecek bir tehdit aynı derecede şiddetli çıkar.

Bu da, Dünya'ya yakın nesneler olarak bilinen ve Dünya'nın yörüngesinden geçebilecek tüm asteroit ve kuyruklu yıldızları kataloglama çabalarını açıklar. Dinozorları Dünya üzerinden silen asteroit çarpması türünden bir çarpma, ortalama her 100 milyonda bir meydana gelen çok nadir bir olay olmakla birlikte açıkça kıyamet benzeri sonuçları olmaktadır.

KARA DELİKLER, STRANGELETLER VE DİĞER FELAKETLER

Bu çarpışmalar küçük bir an için, evrenin doğuşundaki koşulların aynısını yineleyerek muazzam miktarda enerji

üretir. Mesele şu ki, bu yüksek enerjili çarpışmalar Dünya'nın sonunu getirme potansiyeline sahiptir. Bunun teorik olarak gerçekleşebileceği birkaç yol var.

Yüksek enerjili çarpışmalar mikroskobik bir kara delik yaratabilir ve bu kara delik Dünya'yı yutabilir. Kara delikler genellikle büyük yıldızların ömürleri tükendiğinde çökmeleriyle oluşur. Uzaydaki bu bölgelerde çekim kuvveti o kadar güçlüdür ki ışık bile kaçamaz, yani fazla yaklaşan her şey içeri çekilir.

Bunun yerine, normalde proton ve nötronları meydana getiren kuarklar yeniden birleşerek strangelet olarak bilinen bir tür garip madde formu oluşturabilirler. Bu da diğer tüm maddeleri değiştirerek Dünya'yı yalnızca 100 metre çapında muazzam yoğunlukta bir küreye dönüştürebilir. Ya da çarpışmalar, evrenin tamamını vakum kabarcığı olarak bilinen ve atomların var olamadığı yeni, kararlı bir duruma getirebilir. Son olarak da manyetik tek kutuplar adı verilen parçacıklar üretebilirler. Bazı teorilere göre bu, protonların dağılmasına, dolayısıyla da atomların eriyip gitmesine yol açabilir.

Tüm bu olası felaketler mevcut teorilerle aşağı yukarı tutarlı olsalar da son derece spekülatif olduklarından bilim insanları bunlara itibar etmez. Ayrıca, benzer yüksek enerjili çarpışmalar, kozmik ışınlar (*bak.* 2. Bölüm) Dünya'nın atmosferindeki atomlara çarptıkça doğal yolla ve sürekli gerçekleşmektedir, ama bu çarpışmalar henüz Dünya'yı yok etmemiştir.

Yine de, birdenbire kendinizi hiper-yoğun bir garip madde topağına dönüşmüş halde bulursanız kimi suçlayacağınızı artık biliyorsunuz.

Ama ya zombiler?

Henüz göz önünde bulundurmadığımız bir başka kıyamet senaryosu ise ölülerin mezarlarından kalkıp yaşayanlarla beslenmeye başlayacağı büyük ölçekli bir zombi saldırısı. Bu senaryoda, ölen herkes zombi olarak geri gelir ve bir zombi tarafından ısırılan herkes ölür ve sonra zombi olarak geri gelir.

Demek ki zombiler, hastalığın ete kemiğe bürünmüş halini; insan biçimindeki bakteri ve virüsleri temsil ediyor. Tek bir zombi pek fazla tehdit teşkil etmeyebilir; tehlikeli olan, sayıları arttıkça onlardan kaçınmanın zorlaşmasıdır. Öyle ki zombi filmlerinin çoğunun karanlık sonları vardır. Filmin sonunda neredeyse tüm karakterler zombi olur ve insanlığın lanetlendiği varsayılır.

Bu kasvetli son, yakın bir zamanda olası bir zombi saldırısının matematiksel modelini geliştiren Kanadalı bilim insanları tarafından onaylanmıştır. Çalışma gösteriyor ki eğer hızla (beyinlerini imha ederek) her zombinin kökünü kurutmazsak uygarlığımız çöker ve herkes ya ölür ya da zombiye dönüşür.

Ek okuma

Rees, Martin, *Our Final Century: Will civilization survive the twenty-first century?* (Londra: Arrow Books, 2004).

25

Her şeyin sınırı var

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *bilim insanları nasıl çalışır*
- *şu anda karşı karşıya oldukları büyük sorular*
- *bilgisayarlar kontrolü nasıl ele geçirdi*
- *anlayamadıklarımız*

Bilimsel yöntem

Bilim insanlarının bilimi, dini vahiyler ve felsefi tefekkürlere kıyasla, evren hakkındaki en doğru ve güvenilir bilgi kaynağı olarak görmesinin nedeni bilimsel yöntemdir. Aslında bilimsel yöntem gayet basittir: Bilim insanı evrene dair belli gözlemler yapar, bu gözlemlere dayanarak evrenin nasıl işlediğine ilişkin bir hipotez geliştirir ve sonra o hipotezi test etmek için deneyler yapar.

Basit görünebilir ama bu yöntem (çoğu bu kitapta açıklanan) çok temel bazı içgörülere ulaşmamızı sağlamıştır. Dahası, bu içgörülerin doğruluğunu kanıtlarcasına bugün tadını çıkardığımız teknolojiyi geliştirmemizi olanaklı kılmıştır.

Aslında pratikte, yöntem az önce tarif ettiğimizden biraz daha karmaşıktır. Her şeyden önce bu yinelemeli bir süreçtir: Belirli

bir hipotezi test etmek için uygulanan deneylerin sonuçları çoğunlukla baştaki hipotezde değişiklikler yapılmasına veya yeni bir hipotez oluşturulmasına yol açar, bu ise daha da fazla deney anlamına gelir. Dahası tüm bu hipotezlerin bir noktada, evrenin neden şu an olduğu gibi olduğunu doğru açıklayan kapsayıcı bir teoride birleşmesi gerekir. İdeal olarak, bu teori daha da fazla deneyle test edilebilecek öngörülerde bulunmalıdır.

DENEYLERE SINIRLAMALAR GETİRMEK

Bilimsel yöntemin düzgün işleyebilmesi için evreni belirli bir biçimde sınırlandırmak gerekir. Bilimsel yöntem, esasında neden-sonuç ilişkilerini keşfetmek demektir: Bilim insanı, bir deneyde belirli bir eylemin belirli bir sonucunu arar. Bunu yapmak için de başka hiçbir şeyin sonucu etkileyemeyeceğinden emin olması gerekir.

Örneğin, eğer bir bilim insanı yükselen sıcaklıkların buğday gibi bir kültür bitkisi üzerindeki etkisini incelemek istiyorsa, bitkiyi etkileyebilecek diğer tüm etmenler üzerinde sıkı bir denetim kurması gerekir. Bu etmenler şunlardır: nem; topraktaki besin ve su seviyeleri; güneş ışığı yoğunluğu ve karbondioksit seviyeleri. Aksi takdirde bilim insanı bitkide kaydedilen herhangi bir değişikliğin, yükselen sıcaklıklardan mı yoksa diğer etmenlerin biri veya birkaçından mı kaynaklandığını ayırt edemez.

Fakat gerçek dünya böyle bir yer değildir. Gerçek dünyada, bitkiler tüm etmenlerden aynı anda ve birleşik halde etkilenir. Öyle ki, bitki üzerindeki etkiyi esasen belirleyen de bu etmenler arasındaki etkileşimdir. Tüm bu etmenleri ayrı ayrı incelemek indirgemecilik olarak bilinir. İndirgemecilik, bilim insanlarının evrenin—hücre içindeki çeşitli organeller gibi—ayrı

ayrı parçalarının nasıl işlediğine dair ayrıntılı hesaplamalar yapmalarını mümkün kılmıştır. Fakat bilim insanları bu farklı parçaların birbirleriyle nasıl etkileştiklerine ve iç içe geçtiklerine dair çok daha az şey bilmektedir.

Bilimsel yöntem ayrıca bilim insanının incelediği süreçten veya ilişkiden bağımsız olduğunu, yani onu hiçbir şekilde etkilemediğini varsayar. Yükselen sıcaklıkların buğday bitkisi üzerindeki etkisi, bilim insanları kaydediyor olsun veya olmasın tıpatıp aynı olacaktır.

DİN VE FELSEFEYE KARŞI BİLİM

Bu sınırlamalara ve varsayımlara karşın bilimsel yöntem, evrene dair bilgi birikimi edinmekte diğer tüm yöntemlerden üstün olduğunu kanıtlamıştır. Dini vahiyi gölgede bırakır, çünkü teoriler deneyle test edilebilir; yetersiz olduğu ortaya çıkanlar, dini öğretilerin aksine yenileriyle değiştirilir veya tamamen terk edilir. Felsefi tefekkürü gölgede bırakır, çünkü teorileri, oturup bir şeyler hakkında düşünmek yerine deneysel kanıtlar üzerine kuruludur.

Bilimsel yöntemin ötesinde

Gelgelelim son dönemde bilimsel yöntem, en azından klasik haliyle bilime dar gelmeye başlamıştır. Bunun birkaç nedeni vardır: Kısmen, tüm temel keşifler zaten yapılmış olduğu için; kısmen, modern teknoloji, özellikle de bilgisayarlar evreni incelemenin yeni yollarını sunduğu için ve kısmen de modern bilim artık bilimsel yöntemin varsayımlarının geçerli olmadığı alanları araştırdığı için.

Bilimin, evrenin nasıl işlediğine dair bütün temel keşifleri zaten yapmış olduğunu öne sürmek son derece küstahça olur. Aynı zamanda bu kesinlikle doğru değildir. Bilim dergisi *Science*

2005'te 125. yıldönümünü kutlamak için, bilimin karşı karşıya olduğu ve henüz yanıtlanmamış 25 büyük sorudan oluşan bir liste (*bak.* Kutu) oluşturdu, kaldı ki bu liste başlangıçta 125 sorudan oluşan bir listeden seçilmişti.

Büyük sorular

Bilimin karşı karşıya olduğu 25 büyük soru 2005'te *Science*'taki editör kadrosu tarafından derlendi. Özellikle de sorular bu kitapta tartışılmış olan konuların birçoğuyla ilgili olduğu için liste bir hayli ilginç. Elbette bilim insanı olmayan biri için soruların tamamı bir anlam ifade etmeyebilir, fakat hâlâ çözülmesi gereken meselelerin kapsamının genişliğine dair iyi bir göstergedir.

1 Evren nelerden oluşur?
2 Bilincin biyolojik temeli nedir?
3 İnsanların neden bu kadar az geni vardır?
4 Genetik çeşitlilik ve kişisel sağlık ne ölçüde bağlantılıdır?
5 Fizik kanunları tek bir kanunda birleştirilebilir mi?
6 İnsanın yaşam süresi ne kadar uzatılabilir?
7 Organ yenilenmesini ne kontrol eder?
8 Bir deri hücresi nasıl sinir hücresine dönüşebilir?
9 Tek bir somatik hücre nasıl bütün bir bitki haline gelir?
10 Dünya'nın iç kısmı nasıl çalışıyor?
11 Evrende yalnız mıyız?
12 Dünya üzerinde yaşam nasıl ve nerede ortaya çıktı?
13 Türlerin çeşitliliğini ne belirler?
14 Hangi genetik değişiklikler bizi eşsiz biçimde insan haline getirdi?
15 Anılar nasıl depolanır ve geri çağrılır?
16 İşbirliği davranışı nasıl evrimleşti?
17 Biyolojik veri denizinden büyük resimler nasıl çıkar?
18 Kimyasal kendi kendine kurulmayı daha ne kadar ileri götürebiliriz?
19 Konvansiyonel hesaplamanın sınırları nelerdir?

20 Bağışıklık tepkilerini seçerek devre dışı bırakabilir miyiz?
21 Kuantum belirsizliği ve lokasyonsuzluğun altında daha derin prensipler mi yatıyor?
22 Etkili bir HIV aşısı yapılabilir mi?
23 Sera dünyası ne kadar sıcak olacak?
24 Ucuz petrolün yerini ne alabilir—ve ne zaman alabilir?
25 Malthus yanılmaya devam edecek mi?

Yani açıkça görülüyor ki, keşfedilecek daha çok şey var. Fakat listeye bakacak olursanız o keşiflerin doğasının değişmekte olduğunu hemen görebilirsiniz. Örneğin, listedeki "İnsan bilincinin biyolojik temeli nedir?" ve "Sera dünyası ne kadar sıcak olacak?" maddeleri gibi. Bunlar tek başlarına karmaşık sistemlerin farklı yönlerini inceleyerek değil, ancak o sistemlerin bir bütün olarak incelenmesiyle yanıtlanabilecek sorular.

Yani tüm büyük bilimsel keşifler yapılmış filan değildir, ama indirgemeci bir yaklaşım benimsersek, yapılabilecek tüm büyük keşifler sahiden de yapılmış olabilir. Elementlerin yıldızlarda nasıl oluştuğunu biliyoruz; DNA ve proteinlerin yapısını çözdük ve bazı maddelerin elektriği diğerlerinden neden daha iyi ilettiğini kavrıyoruz. Bu kavrayış, her bir olayın belirli yönlerini inceleyen sayısız deney sonucunda oluşmuştur.

Gelgelelim bu yaklaşım, farklı unsurlar arasındaki etkileşimin, unsurların kendisinden daha önemli olduğu insan bilinci ve iklim gibi karmaşık sistemlerin işleyişini belirlemede yeterli olmayacaktır. Tek bir nöronun nasıl çalıştığını anlamak insan bilincini açıklamadığı gibi karbondioksitin kızılötesi radyasyonu nasıl soğurduğunu anlamak da iklimi açıklamaz.

Bilimde bilgisayarların kullanımı

İşte burası bilgisayarların kendini gösterdiği yerdir, çünkü bilim insanlarının karmaşık sistemleri derinlemesine araştırmasının bir yolu da bilgisayarlı modellerini geliştirmektir. 23. Bölümde bahsedilen iklim modellerine benzeyen bu modeller, sistem içinde bilinen fiziksel veya biyolojik süreçler ve aralarındaki etkileşimi yineleyerek gerçek sistemin basitleştirilmiş bir uyarlamasını temsil eder. Bu türden bilgisayarlı modellerin üretilebilmesi, tamamen özgün bilimsel disiplinlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Örneğin, hücrelerdeki—genler ve proteinler dahil olmak üzere—pek çok biyolojik molekül arasında meydana gelen karmaşık etkileşimlerin tamamını anlamayı amaçlayan sistem biyolojisi.

Aslında bilgisayarlar bilimsel keşif sürecinin gitgide daha büyük kısmını üstleniyor. Protein analizi ve astronomik araştırmalar gibi pek çok bilimsel deney artık tamamen otomatiktir ve büyük miktarlarda veri üretmektedir. Hatta öyle ki bilim insanları veriyi çözümlemek ve eğilimleri vurgulamak için de bilgisayarlara ihtiyaç duymaktadır.

ROBOT BİLİM İNSANI ADAM

Son dönemde bilgisayarlar bilimsel yöntemin, veri toplamadan hipotez oluşturmaya ve daha fazla veri toplamaya kadar her aşamasında yer almaya başlamıştır. 2009'da İngiliz bilim insanlarından oluşan bir ekip Adam isminde bir robot bilim insanı geliştirdi. Maya üzerine deneyler yapan, sonuçlara dayanarak hipotezler geliştiren ve yeni deneyler tasarlayan Adam, bu sayede maya genomu hakkında yeni bilgiler keşfetti.

Açık ki bilgisayarlara bağımlılığın artmasındaki olası sorun, bilim insanlarının, bilgisayarların ne yaptığının ve ürettikleri sonuçların gitgide daha azını anlayacak olmasıdır. Bilgisayar

modelleri, bilim insanları nasıl olduğunu anlamadan, karmaşık bir sistemin belirli yönlerini tam olarak yinelediklerinden zaten biraz kara kutudur. Ama yine de, bilgisayarlar ve bilgisayar modelleri muhtemelen karmaşık sistemleri incelemek için asıl araçlar olacak ve bunu başlı başına indirgemecilik olarak görmek de durumu değiştirmeyecektir.

Kuantum teorisi

Eğer karmaşık sistemleri anlamak zorsa kuantum dünyasını anlamak tamamen imkânsızdır. Amerikalı fizikçi Richard Feynman'ın herkesçe bilinen sözünde olduğu gibi: "Eğer birisi kuantum teorisini bildiğini iddia ediyorsa, anlamamıştır." Kuantum mekaniği olarak da bilinen kuantum teorisi, atom ve atomaltı seviyede madde ve enerjinin davranışını açıklar ve bu küçücük ölçeklerde normal dünyamızın tüm kesinliklerinin yerle bir olduğunu söyler.

DALGA-PARÇACIK İKİLİĞİ

17. Bölümde görünür ışığın bir tür elektromanyetik radyasyon olduğunu ve dolayısıyla bir dalga gibi davrandığını öğrendik. Bu gösterilebilir ve deneysel olarak kanıtlanmış bir olgudur. Fakat bazı koşullarda görünür ışık foton olarak bilinen bir parçacık gibi de davranır. Bu da gösterilebilir ve deneysel olarak kanıtlanmış bir olgudur. Kulağa saçma gelebilir ama ışık bazı durumlarda dalga, bazı durumlarda ise parçacık gibi davranır. Bu durum, dalga-parçacık ikiliği olarak bilinir.

Daha da şaşırtıcı olan, bu şekilde davrananın yalnız ışık olmamasıdır. Elektronlar, protonlar, atomlar ve hatta moleküller de bu şekilde davranır. Yani bazen dalga gibi, bazen de parçacık gibi davranırlar. Bu, kuantum dünyasının bir başka rahatsız edici yönünü açıklamaya yardımcı olur: Normal

dünyadakinin aksine, elektron gibi bir kuantum biriminin hem konumunu hem momentumunu (ya da hızını) bilemeyiz. Hatta bir elektronun momentumunu ne kadar çok bilirsek konumunu o kadar az biliriz ve bunun tersi de doğrudur. Aslında elektronun, dalga gibi davrandığında momentumunu, parçacık gibi davrandığında ise konumunu bilebildiğimiz ortaya çıkmıştır.

Dahası bu hem dalga hem de parçacık gibi davranma eğilimi diğer özelliklere de yansır. Öyle ki tek bir atomaltı parçacık çelişen iki özelliğe aynı anda sahip olabilmektedir. Örneğin, elektronun spin [dönme hareketi] adı verilen bir özelliği vardır ve spin ya yukarı ya da aşağı olabilir. Fakat bu özellik ancak aşağı veya yukarı olduğunda ölçülür, ondan önce elektronun spini aynı anda hem yukarı hem de aşağıdır. Bu hallerin "süperpozisyonunda" var olabilme becerisi, kuantum bilgisayarların gelişimi için temel teşkil eder (*bak.* 27. Bölüm).

Bu aynı zamanda, bilim insanlarının kuantum dünyasını incelerken nesnel ve bağımsız olamadıkları anlamına gelir. Kendi hallerindeki atomaltı parçacıklar, hallerin süperpozisyonunda var olur. Ancak bilim insanları bu parçacıkları gerçekten derinlemesine araştırdığında belirli bir pozisyon veya spin gibi tanımlı bir hale bürünürler. Dolayısıyla bilim insanları kuantum dünyasını etkilemeksizin onu çalışamazlar, bu da bilimsel yöntemin zorunlu olarak yetersiz kalması anlamına gelir.

Bu nedenle, bilim insanlarının kuantum dünyası hakkında anlamadığı hâlâ çok şey vardır. Örneğin, kuantum dünyasının belirsizliği nasıl olup da nesnelerin çelişen özelliklere sahip olmadığı ve hem pozisyonlarını hem de momentumlarını bilebildiğimiz normal dünyamızın belirliliğine dönüşmektedir? Belki de kuantum dünyası hiçbir zaman tam anlamıyla anlayamayacağımız kadar farklı (*bak.* Kutu).

Yine de bilim insanları, klasik bilimsel yöntemin çok ötesine geçmeleri gerekse bile, bunu anlamaya çalışmaktan veya yanıtsız kalan diğer pek çok soruyu araştırmaktan asla vazgeçmeyecektir. Her ne kadar bilim kurgu pek çok durumda erken davransa da gelecek, bilim için sayısız heyecan verici olasılık barındırmaktadır.

Ne kadarını anlayabiliriz?

Kuantum dünyasının tuhaf ve kafa karıştırıcı doğası insanların hiçbir zaman anlayamayacağı şeyler bulunduğu olasılığını gündeme getirmektedir. İri beyinlerimiz Afrika düzlüklerinde gruplar halinde hayatta kalabilmemize yardımcı olmak üzere evrimleşmiştir, evrenin sırlarını açığa çıkarmamız için değil. Belki de gerçekliğin en derinlerine inecek zihinsel kapasiteye sahip değiliz; balıkların cebirden anlamalarını da beklemiyoruz sonuçta.

Bunun yerine, belki de evreni anlamanın çok çeşitli yolları var ve beyinlerimiz o yollardan yalnızca birini algılayabiliyor. Farklı beyinlere sahip uzaylı yaşam formları evreni tamamen farklı fakat hâlâ tutarlı biçimde algılıyor olabilir. Ya da belki de evrene yapı dayatıyoruz; protonlar ve elektronlar yalnızca bilimsel araçlarımızda ve teorilerimizde varlar. Böyle bir durumda da bilimsel bilgiyi keşfediyor değil, icat ediyor oluruz.

Ek okuma

Barrow, John D., *Impossibility: Limits of science and the science of limits* (Londra: Vintage, 1999).

VI. Kısım

Geleceğin bilimi

26

Geleceğe dönüş

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *doğru öngörülerde bulunmanın ne kadar zor olabileceği*
- *bazı teknolojilerin neden hayat bulmadığı ve bazılarınınsa neden hiç öngörülmediği*
- *bilim kurgunun bilimsel geleceğimizi etkilemede ne denli büyük bir rol oynadığı*

Şimdiye kadar uçan arabalarımız, uzay üslerimiz ve zihinsel telepatimiz olmalıydı. Onun yerine yağmura duyarlı pencere sileceklerimiz, uydu kanallarımız ve cep telefonlarımız var; hepsi de etkileyici teknolojiler ama öngörülenlerden çok farklılar.

"Öngörüde bulunmak çok zordur, özellikle de gelecek hakkında" aforizması Nobel ödüllü fizikçi Niels Bohr'dan ABD'li beysbol oyuncusu ve koçu Yogi Berra'ya kadar pek çok farklı insana atfedilir. Her halükârda yeterince doğrudur, hatta gelecek teknolojileri için daha da doğrudur.

Kesin teknolojik öngörülerde bulunmanın bu kadar zor olmasının nedenlerinden biri, bir teknolojinin teorik olarak mümkün olmasının bir gün mutlaka geliştirileceği veya yaygın olarak benimseneceği anlamına gelmemesidir.

Hatalı öngörüler

GÖRÜNTÜLÜ TELEFONLAR

Telefonun 100 yıldan uzun zaman önce icat edilmesinden bu yana görüntülü telefonların çıkması an meselesiydi. Kaldı ki ABD'li iletişim şirketi AT&T 1960'larda çalışan bir görüntülü telefon geliştirmişti. Fakat ancak şimdi, internetin ve Skype gibi hizmetlerin yükselişiyle birlikte konuştuğumuz kişiyi görebilir hale geldik.

AT&T'nin görüntülü telefonu tutmadı, çünkü sistem oldukça pahalıydı ve çoğu insan hattın diğer ucundaki kişiyi görme ihtiyacı duymuyordu. Görüntülü telefonun modern, internet versiyonu standart bir telefon aramasından daha pahalıya gelmediğinden (hatta çoğu zaman daha ucuza geldiğinden) insanlar internet versiyonunu kullanmaya çok daha fazla eğilimliler.

Ekonomi, yeni bir teknolojinin başarılı olup olmamasında belki de tek başına en önemli etmendir. Pahalı olan yeni teknolojinin mevcut teknolojilerin üzerinde ve ötesinde somut yararlar sunması gerekir. Eğer ilgi çekiciyse ama gerekli değilse, çoğu insan o teknolojinin ucuzlamasını bekler ve elbette bu hiçbir zaman gerçekleşmeyebilir de.

ELEKTRİKLİ ARABALAR

İster şarj edilebilir pilli olsun ister yakıt hücreli (*bak.* 19. Bölüm) elektrikli arabaların günümüzdeki durumu tam da böyledir. Elektrikli arabalar yıllardır müjdelenmiş olmasına karşın içten yanmalı motorlarla boy ölçüşmeye henüz hazır değildir. Gerekli teknoloji olduğu halde elektrikli araba

çok pahalıdır ve alışılagelmiş arabaların performansıyla yarışabilecek duruma henüz gelememiştir.

Elektrikli arabaların yakıt yükleme altyapısı da elverişli değildir, çünkü bunlar ya elektrik yükleme noktaları ya da yakıt hücreleri için yakıt (muhtemelen metan veya hidrojen) sağlayan pompalar şeklindedir. Kendisiyle bağlantılı bir altyapı gerektiren yeni teknolojiler için bu daimi bir çıkmazdır. Şirketler ana teknoloji için güçlü bir talep olmadıkça altyapıyı üretmek istemez, tüketiciler de altyapı elverişli olmadıkça o teknolojiyi satın almaz.

Gelgelelim bir noktada eksiler ve artılar dengesi elektrikli arabaların lehine dönecek ve ondan sonra piyasada üstünlük kurmaları muhtemelen çok hızlı olacaktır. Bunun nedeni de elektrikli araba teknolojisindeki gelişmeler, maliyetlerinin düşmesi, performanslarının artması ve petrol fiyatlarının yükselmesi olacaktır. Hükümet mevzuatı da gerekli altyapıyı kurmak kadar bu sistem değişikliğini teşvik etmede de rol oynayabilir.

UZAYIN KEŞFİ

Ekonomik gerçeklikle başı belaya girebilen yalnızca tüketici teknolojileri değildir. 1967'de, kendini gelecek hakkında düşünmeye adamış ABD'li bir dergi olan *The Futurist* seçtiği önemli insanlardan, izleyen on yıllarda ne olacağına dair öngörülerde bulunmalarını istedi. 1997'de bu öngörülerin 34 tanesinin doğruluğunu değerlendiren *The Futurist* editörü 23 tanesinin "isabet", 11 tanesinin ise "ıska" olduğu sonucuna vardı. Iskaların çoğundan tek bir etmen sorumlu tutuluyordu: İnsanlı uzay keşfindeki yavaşlama.

21 Temmuz 1969'da Ay'a ilk defa ayak basıldıktan sonra, 20. yüzyılın sonuna gelindiğinde Ay üzerinde, hatta Mars

üzerinde ilk kalıcı kampların kurulacağı zannediliyordu. Bunun gerçekleşmemiş olmasının ana nedeni Ay'a insan göndermenin maliyetinin çok yüksek olmasıydı. Bu maliyetin ödenmeye değer olduğunun düşünülmesinin tek nedeni ise oraya Sovyetler'den önce ulaşmaktı, zaten bundan başka da rasyonel bir temel yoktu.

Eğer Ay üzerinde büyük miktarlarda petrol veya (daha gerçekçi olarak) değerli mineraller bulunsaydı her şey farklı olabilirdi. Fakat mevcut durumda Ay'a insan göndermek veya orada kamp kurmak için bizi zorlayan bir neden yok. Pek çok yorumcunun da vurguladığı üzere hükümetlerin paralarını harcamaları gereken çok daha önemli şeyler var.

UÇAN ARABALAR

Öngörülen diğer teknolojilerin ise basitçe ya uygulanamaz ya da kullanışsız olduğu ortaya çıktı. 19. yüzyılın sonunda uçan arabalar sanki her yerdeydi, her nedense özellikle de Fransa'da. Gelecek görüntüleri sergileyen Fransız sigara kâğıtlarının üzerinde görebilirdiniz, Eyfel Kulesi'nin etrafında 1940'ta hayatın neye benzeyeceğine dair bir çizimde veya 2000'de Paris operasından çıkan insanları gösteren bir baskıda.

İçten yanmalı motor 19. yüzyıl sonlarında icat edildikten sonra motorlu arabaların havalanması an meselesi gibi görünüyordu. Fakat açıkça bunu yapmak için kolay bir mekanizma hâlâ yoktur. 1920'lerde ilk modern helikopterlerin üretilmesi, kişisel helikopterlerin biraz daha gerçekçi bir görüntüsüne yol açtı, ama o da aslında tam olarak gerçekleşmedi. Acı gerçek şu ki, çok sayıda aracın yerde seyahat etmesi çok daha kolay, daha ucuz, daha güvenli ve daha uygundur.

Neden roketlerimiz var?

Öngörülen pek çok teknoloji hiç gerçekleşmezken, kimi önemli teknolojiler de sessiz sedasız gerçekleşmektedir. 1937'de ABD Ulusal Bilimler Akademisi gelecek teknolojik buluşları öngörmeyi amaçlayan bir araştırma organize etmişti. Araştırma bazı başarılara imza atmış olsa da gelecek teknolojilerin bilgisayarlar, jet uçakları, antibiyotikler, roketler ve nükleer enerji gibi en çığır açıcı olan bazılarını öngörmekte tamamen başarısız olmuştur.

Tüm bu bilgisayarlar nereden geldi?

Bilgisayar, herkesi şaşırtan bir teknoloji oldu. Gördüğümüz üzere ABD Ulusal Bilimler Akademisi'nin gelecek buluşlara dair araştırması bilgisayarları öngörmekte tamamen başarısız oldu. 1930'ların bilim kurgu hikâyeleri robotlar, uzay gemileri ve ışın tabancalarıyla dolu olsa da bilgisayarlardan neredeyse hiç söz edilmiyordu. *The Futurist*'in editörü Edward Cornish bilgisayarı "tarihin en büyük gizli icadı" olarak tanımlıyordu.

1940'ların sonunda gerçeklik kazandıktan sonra bile kimse, bilgisayarları bizzat geliştirenler dahi, bilgisayarların ne kadar küçük veya ne kadar yaygın olacağını öngörememişti. Yalnız 1949'da ABD dergisi *Popular Mechanics* "Gelecekte bilgisayarlar 1,5 tondan daha fazla tartmayabilir" diyecek kadar ileri gidebiliyordu.

İddiaya göre, 1940'larda IBM'in kurucusu Thomas J. Watson, ABD'nin tamamında bir avuçtan fazla bilgisayara gerek olmayacağını söylemişti. 1970'lerde bile DEC'nin başkanı, "İnsanların evinde bilgisayar olması için bir neden göremiyorum" diyordu.

İKİNCİ DÜNYA SAVAŞI'NIN ETKİSİ

Ama bu çok büyük bir sürpriz olmasa gerek, çünkü teknolojik öngörülerde bulunmak konusunda bir başka önemli zorluğa işaret etmektedir: Bazen beklenmedik tek bir olay teknolojik manzarayı tamamen dönüştürür. İkinci Dünya Savaşı tam da böyleydi. Bilimler Akademisi'nin araştırmasından birkaç yıl sonra başladı ve öngörülememiş tüm bu teknolojilerin gelişmesi için itici güç oldu.

Kod kırma faaliyetleri kısmen bilgisayarların ortaya çıkışını, atom bombası nükleer enerjinin ortaya çıkışını ve savaş da roketler ve jet uçaklarının gelişimini hızlandırdı. Her ne kadar ilk antibiyotik olan penisilin 1920'lerde keşfedilmiş olsa da, asıl değeri savaş sırasında yaralılar tedavi edilirken anlaşıldı. Savaşın aksattığı ve değişime uğrattığı öncelikler, bilimsel ve teknolojik araştırmayı tamamen yeni ve öngörülmemiş yönlere sevk etti, o da bizi en sonunda modern dünyamıza ulaştırdı.

Bilim kurguda öngörüler

Elbette önerilen pek çok gelecek teknolojisi belirli öngörüler olarak değil, bir hikâyedeki öğeler olarak sunulur. Bilim kurgu geçerli bir janr olmadan önce bile yazarlar fütürist teknolojilerin, sonradan gerçek dünyada karşımıza çıkacak olanların uyarlanmasının hayalini kuruyordu.

Örneğin, ilk İngiliz bilim insanlarından Francis Bacon 1627'de basılan ütopyacı kitabı *Yeni Atlantis*'te bilim, teknoloji ve ticaretin öncülüğünde yaşayan; sakinlerinin buzdolaplarından, uçaklardan ve denizaltılardan faydalandığı rasyonel bir toplum hayal etmişti. Fransız yazar Cyrano de Bergerac 1655 tarihli kitabı *Öteki Dünya: Ay Devletleri ve İmparatorlukları*'nda sıra sıra yanan roketler kullanarak kitabın kahramanını Ay'a

göndermişti. Bu yöntem bugün kullanılmakta olan çok aşamalı roketlerle kavramsal olarak benzerlik göstermektedir.

Gelgelelim, yazarlar fütüristik spekülasyonlarını ancak sanayi devriminin başlangıcında kendi dönemlerinin bilimsel bilgisine dayandırmaya başladılar. 19. yüzyılda Jules Verne ve H.G. Wells bu yaklaşımın en iyi bilinen öncüleridir, fakat ikisi de bilimsel gerçekliğin iyi bir hikâyenin önüne geçmesine izin verecek kadar ileri gitmezdi.

Verne, *Ay'a Seyahat*'te karakterlerini Ay'a ateşleyerek fırlatmak için 300 metre uzunluğunda bir top kullanıyordu, fakat gerçekte ani ivmenin onları öldüreceğini biliyordu. Wells'in *Ay'daki İlk İnsanlar* adlı kitabında karakterlerden biri yerçekiminin etkilerini geçersiz kılan bir madde icat eder ve onu Ay'a seyahat etmek için kullanır.

Bu ara sıra ortaya çıkan hayal ürünlerine rağmen iki yazar da gelecek teknolojilerini doğru öngörmüştür. Verne'in *Denizler Altında 20.000 Fersah*'ında modern denizaltıları, Wells'in ise *Özgür Bırakılan Dünya*'da nükleer enerji ve atom bombasını öngörmüş olması meşhurdur.

O zamandan beri bilim kurgu yazarları güneş enerjisi, robotlar, televizyon, nanoteknoloji ve su yatakları dahil olmak üzere çok çeşitli gelecek teknolojilerini doğru öngördüler. Hatta Amerikalı yazar Robert Heinlein'ın birkaç bilim kurgu hikâyesindeki su yatağı tasvirleri o denli ayrıntılıydı ki ilk pratik su yatağının mucidi bunun patentini alamadı.

BİLİM KURGUDAN OLGUYA

Geleceği öngörmek konusunda, bilim kurgu yazarlarının diğer teknoloji tahmincilerine kıyasla bazı önemli avantajları

vardır. En başta, o kadar çok fütüristik teknoloji ileri sürerler ki sonunda bazılarının gerçekleşmesi şaşırtıcı değildir. Ayrıca o teknolojinin hangi zaman ölçeğinde karşımıza çıkacağını belirtmek gibi bir zorunlukları yoktur.

Bu bazen de bilinçli yapılır. 1945'te İngiliz bilim kurgu yazarı Arthur C. Clarke yörüngede hareket eden haberleşme uyduları için ciddi bir teklif yayınladı. Başka bilim insanları da aynı yönde düşündükleri halde, bu teklif bugün Dünya'nın çevresini saran ticari ve askeri uyduların ilk biçimlerini gölgeledi.

Rus roket öncüsü Konstantin Tsiolkovsky'nin 1920'de basılan romanı *Beyond the Planet Earth* (Dünya Gezegeninin Ötesinde), sıvı hidrojen ve oksijen karışımından oluşan roket yakıtı da dahil olmak üzere uzay uçuşu için sonradan benimsenen teknolojilerin pek çoğunu genel hatlarıyla çizmişti. Fikirleri, başta Sovyetler Birliği'ndekiler olmak üzere pek çok gelecek uzay bilimcisi üzerinde etkili oldu.

Fakat çoğunlukla bilinçli değildir; uygulamalı çalışan pek çok bilim insanı ve mühendis bilim kurgu hayranıdır ve okudukları veya gördüklerinden ilham alır. Televizyon programı *Uzay Yolu* bu bakımdan özellikle etkili olmuştur: Anlaşılan o ki yalnızca otomatik kapılarda artışa neden olmakla kalmadı, aynı zamanda kapaklı cep telefonları da fena halde *Uzay Yolu* iletişimcilerini andırıyor.

William Thomson (Lord Kelvin), 1824-1907

Lord Kelvin 19. yüzyıl İngiliz biliminin devlerindendir. Termodinamik kanunlarının formüle edilmesine yardımcı olmuş, elektriğin matematiksel analizi üzerine önemli çalışmalar yapmış ve ilk transatlantik telgraf kablosunun

çekilmesi için gösterilen çabada önemli rol oynamıştır. Ayrıca insanlığı "mutlak sıfır" (- 273°C) kavramıyla tanıştırmıştır. Mutlak sıfır, bütün moleküler hareketin etkili biçimde durduğu, mümkün olan en düşük sıcaklıktır. Fakat Lord Kelvin öngörülerde bulunmak konusunda pek iyi sayılmazdı.

1900 yılında, Londra'da *Royal Institution*'da yaptığı kötü şöhretli konuşmada, ufukta görünen yalnız iki kara bulut dışında klasik fiziğin aşağı yukarı tamamlanmış olduğunu söylemişti. Ne var ki, bu iki kara bulutu çözmek en sonunda kuantum teorisini ve Albert Einstein'ın izafiyet teorisini getirdi, bu da fizikte çığır açarak, fiziğin tamamlanmış olmaktan henüz çok uzak olduğunu gösterdi.

Dahası, 1896 yılında "havadan ağır uçan makinelerin imkânsız olduğunu" ilan etmişti. Ayrıca her ne kadar sonradan bu konuda fikrini değiştirmişse de yeni keşfedilen X-ışınlarının hile olduğunu öne sürmüştü.

Ek okuma

Wilson, Daniel H., *Where's My Jetpack?* (Londra: Bloomsbury, 2007).

27

Yapay Zekâ

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *yapay zekâ nedir*
- *silikon çiplerin son kullanma tarihlerine neden az kaldı*
- *kübitlerle paralel işlem*
- *bilinçli robotlar geliştirmeye ne kadar yakınız*

Bilim kurgu filmlerinde, robotlar ve zeki makineler genellikle iyi bir imaj çizmez. Ya *2001: Bir Uzay Destanı* filmindeki bilgisayar HAL gibi delirip bizi öldürmeye çalışırlar ya *Yaratık* filmindeki android Ash gibi—alçakça bir komplonun parçası olarak—bizi öldürmek için programlanmışlardır ya da *Terminatör* filmlerinde olduğu gibi ikinci sınıf olduğumuzu düşündükleri için insanlığın tümünü öldürmeye çalışırlar. Fakat eğer şanslıysak, *Matrix* filmlerinde olduğu gibi bizi yalnızca esir almakla yetinebilirler.

Şüphesiz ki *Yıldız Savaşları*'ndaki R2-D2 ve C-3PO ve *Uzay Yolu: Yeni Nesil*'deki Data gibi daha az saldırgan olan istisnalar da vardır. Fakat tıpkı *Bıçak Sırtı* filmindeki "replikantlar" [insan görünümlü robotlar] gibi insanlığa hizmet etmesi amaçlanan makineler bile gerektiğinde oldukça ölümcül olabilir, dolayısıyla onlara güvenmememiz gerekir. Bilim kurgu, bize, makinelerin insanlardan daha zeki ve daha güçlü olur olmaz bize düşman kesileceklerini söyler.

Gelgelelim bu sert uyarılara rağmen bilim insanları ve mühendisler kendi kendilerine hareket edebilen, düşünebilen ve öğrenebilen, daha da ileri bilgisayarlar ve robotlar geliştirmek için gece gündüz çalışmaktadır. Bilgisayar biliminin bu dalı yapay zekâ (YZ) olarak bilinir.

Robotlar ve zeki makineler

Amaç, kurgusal muadilleri kadar zeki, otonom ve marifetli, fakat dileğimiz o ki düşmanlık beslemeyen makineler üretmektir. Bu tür makineler, şu anda çözülemeyen sorunları çözmekten eşyaların tozunu almaya kadar her şeyi yapmamıza yardımcı olabilir. En sonunda, tüm niyet ve amaçlar için bilinçli makineler bile üretebiliriz. Kuşkusuz, bunun bir yığın ahlaki ve etik meseleyi de beraberinde getireceği açıktır.

Gözcünün robot rehberi

Bilim kurgu film ve kitaplarında, otonom makinelerden bahsedilirken robotlardan androidlere ve sayborglara kadar bir sürü farklı terim kullanılır. Peki, aralarındaki fark nedir?

Robotlar esasen doğrudan insan denetimi olmadan hareket eden makineler; androidler, insan gibi görünen robotlar; sayborglar ise hem mekanik hem de biyolojik parçaları olan makinelerdir. Yani R2-D2 bir robottur; *Yaratık* filmlerindeki Ash ve Bishop android; orijinal *Terminatör* ise bir sayborgdur.

SİLİKON ÇİPLERİN KISITLARI

Bilim insanları böyle fütüristik makineler yaratmak için yalnızca mevcut bilgisayarların daha güçlü versiyonlarını üretmekle kalmamakta, aynı zamanda tamamen yeni programlama teknolojileri geliştirmektedir.

18. Bölümde gördüğümüz gibi modern bilgisayarlar, silikonun (ve germanyumun) yarı iletken özelliklerine dayanarak ve yaygın silikon çipler şeklinde imal ediliyor. Bilim insanları ve mühendisler, silikon çiplerin içine daha da fazla sayıda transistör sıkıştırarak gitgide kısalan sürelerde çok daha karmaşık işlemler yürütebilen, giderek daha fazla güçlenen bilgisayarlar üretiyor. Fakat bilim insanları artık bu gidişatın devam etmesini zorlaştıracak fiziksel kısıtlarla karşılaşmaya başlamıştır.

Doğrusu transistörlerin boyu hâlâ küçülmeye devam ettiği halde, silikon çiplerin hızı 2005'ten bu yana aşağı yukarı aynı seviyede seyretmektedir. Bunun nedeni, silikon çipin hızının ne kadar hızlı açılıp kapanabildiğine bağlı olmasıdır, bu da transistöre uygulanan voltaja bağlıdır. Artık bu voltajın hem daha fazla küçülüp hem de hâlâ güvenilir bir şekilde transistörleri açıp kapatmaya devam edemediği bir noktaya gelmiş durumdayız.

Dahası, transistörler çok uzun bir süre daha küçülemeyebilirler. Işık demetleri kullanarak silikon çiplerin içine oymayı içeren mevcut transistör imal etme yöntemleri temel sınırlarına ulaşıyor gibi görünüyor. Transistörlerin moleküler düzeyde küçülmesiyle bu sınırlar aşılabilse bile giderek kuantum etkilerinin tuhaf ve harika dünyasına maruz kalacaklar.

Bu kuantum etkilerinden biri de, elektronların olasılıksal doğasının fiziksel bariyerler tünelinden geçmesine neden olduğu

elektron tünellemedir. Sonuç olarak, transistörlerin kapalı olduğu düşünülse bile elektrik akımı transistörler boyunca sızmaya başlayacaktır. Yani bilim insanları son derece zeki, bilinçli bir bilgisayar üretmenin yanına yaklaşana kadar silikon son kullanma tarihine yaklaşıyor olabilir.

Yeni bilgisayar çipi türleri

Dolayısıyla bilim insanları buna benzer kısıtlara daha az yatkın olan yeni bilgisayar çipi türleri üzerinde çalışmaktadır. Örneğin silikonun yerine karbon nanotüpler gibi nanomalzemeler kullanmayı gözden geçiririyorlar, çünkü teorik olarak, bizzat nanomalzemeler transistörler ve devreler oluşturmak üzere bir araya gelebilir. Ayrıca elektrik devreleri yerine de ışık demetlerinin kullanılması gözden geçiriliyor. Işık demetleri (ışık hızında hareket ettiğinden) daha hızlıdır, fakat maniple ve kontrol etmesi daha zordur.

Daha da radikal yaklaşımları araştıranlar da var. Eğer silikon transistörler moleküler ölçeklerde işlerken sorun çıkarıyorsa, belki de çözüm onların yerine gerçek moleküller kullanmaktır. Moleküler hesaplamanın ardındaki fikir budur ve bilim insanları VE, VEYA ve DEĞİL (*bak.* 18. Bölüm) dahil olmak üzere çeşit çeşit farklı mantıksal kapıyı kopyalayabilen moleküler sistemler ürettiler bile.

Basit yaklaşım, eğer bir veya birden fazla başka molekülle (girdiler) birleşirse, elektriği iletmek ya da ışık yaymak (çıktı) gibi yalnızca belirli bir işlem gerçekleştiren bir molekül tasarlamaktır. Silikon temelli mantıksal kapılarda olduğu gibi bu moleküler mantıksal kapılar, toplama ve çıkarma gibi daha karmaşık işlemler yürütmek üzere bir araya gelebilir.

Mantıksal kapılar, bir tür veri deposu gibi davranabilme avantajına sahip olan DNA ve RNA gibi biyolojik moleküllerden de üretilmiştir. Burada, girdiler genellikle enzimler gibi biyolojik moleküller ve çıktı ise ikiye yarılmak gibi bir şekilde değişime uğramış DNA ya da RNA zinciridir.

PARALEL İŞLEM

Fakat moleküller yalnızca konvansiyonel hesaplamayı yürütmek için yeni bir yol sunmaz, ayrıca tamamen yeni bir tür hesaplama olasılığı da getirir. Mevcut silikon temelli bilgisayarlar basit işlemleri çok hızlı yürütebilir, fakat bunu ancak teker teker yapabilir. Modern bilgisayar işlemcilerin bölümlere ayrılmış olması farklı kısımların aynı anda farklı işlemler yürütebilmesine olanak tanır. Yine de konvansiyonel bilgisayarlar doğaları gereği sıralıdır: Her kısmın bir sonraki işleme geçmeden bir öncekini tamamlaması gerekir.

Bu, bilgisayarların karmaşık matematiksel hesaplamalar yapmakta çok iyi oldukları fakat başka tür problemler, özellikle de paralel işlem gerektiren problemler çözmekte o kadar da iyi olmadıkları anlamına gelir.

Birkaç şehir arasındaki en kısa yolu belirlemekle ilgili "seyyar satıcı" problemi iyi bir örnektir. Kurye şirketleri bu türden bir problemle her gün karşı karşıya kalmaktadır, fakat kovansiyonel bilgisayarlar bu problemi yalnız olası her seçeneği titizlikle karşılaştırarak çözebilir. Eğer çok fazla şehir varsa, güçlü bilgisayarlar bile bir çözüm bulmakta zorlanır.

Öte yandan, tüm olası seçenekleri aynı anda değerlendirebilen bir moleküler bilgisayar tasarlanabilir. Bu, her bir çözümü temsil eden moleküller veya DNA zincirleri yaratıp sonunda yalnız doğru çözüm kalacak şekilde birbirleriyle tepkimeye

girmeleri sağlanarak yapılabilir. Kulağa gerçek olamayacak kadar güzel geliyor olabilir, fakat bu şekilde çalışan moleküler bilgisayarlar, silikon bilgisayarların karmaşık bulduğu basit mantıksal problemleri çoktan çözdü bile.

KÜBİTLERLE İŞLEM

Gelgelelim bilim insanları gerçek bir paralel işlem için yüzlerini kuantum dünyasına dönerek bitleri kübitlerle değiştiriyor. 18. Bölümde gördüğümüz üzere tek bir bit ya 1 ya da 0 olabilir. Bir kuantum biriminin hallerin süperpozisyonunda var olabileceği olgusuna dayanarak (*bak.* 25. Bölüm) tek bir kübit hem 1 hem de 0 olabilir.

Bunun içerimleri sarsıcıdır: 10 bit 1.000'den fazla farklı halde (210) fakat teker teker bulunabilirken, 10 kübit 1.000'den fazla halde aynı anda bulunabilir. Sadece 300 kübit aynı anda evrendeki atomların sayısından (2^{300} veya 10^{90}) daha fazla sayıda halde bulunabilir.

Bu muazzam paralel işlem becerisinden faydalanmak zor olacaktır, ama kesinlikle imkânsız değildir. Bilim insanları fotonlar, elektronlar ve tek tek iyonlar dahil olmak üzere çeşitli parçacıkları olası kübitler olarak çoktan inceledi. Tek ihtiyacımız, parçacıkların 1 ve 0'ı temsil etmek üzere iki halde var olabilen özellikler barındırmasıdır; örneğin elektronlar ya aşağı ya da yukarı olabilen spin özelliğine sahiptir.

Bilim insanları ayrıca tekil kübitleri maniple edecek ve onları bir hesaplama yapabilmek için kurabilecek teknolojiye sahiptir. Örneğin, tekil atomlar ve iyonlar optik frekans tarağı olarak bilinen lazerler ve aletler tarafından maniple edilebilir, bu da belirli frekanslarda ışık üretir.

KUANTUM HESAPLAMALAR KULLANMAK

Daha da çetin bir sorun herhangi bir kuantum hesaplamasının sonucunun nasıl okunacağıdır, çünkü bir kübit dizisi herhangi bir şekilde müdahaleye uğramadığı müddetçe yalnız süperpozisyonda var olabilir. Bir bilim insanı bu kübitlere müdahale ettiğinde süperpozisyon çöker ve her kübit tıpkı bir bit gibi ya 0 ya da 1 olan sabit bir değer kazanır. Bu problem, moleküler hesaplamaya benzer biçimde koşulların, süperpozisyonun doğru cevabı temsil eden 0'lar ve 1'ler zincirine dönüşmek üzere otomatikman çökeceği şekilde kurulmasıyla aşılabilir.

İlgili bir başka problem de kübitlere herhangi bir müdahalenin, hatta başıboş bir fotonun çarpmasının bile süperpozisyonun çökmesine ve rastlantısal bir 0'lar ve 1'ler karışımına neden olacağıdır. Bu problemin olası bir çözümü, bir kübitin tek bir parçacık yerine hepsi aynı kuantum halinde bulunan bir parçacıklar grubu tarafından temsil edilmesidir.

Bu tür gruplar trilyonlarca ve trilyonlarca atom içerebilir. Hepsi aynı kuantum haline sahip oldukları için hâlâ tek bir kübit gibi davranabilir ve trilyonlarca oldukları için de müdahalelere karşı daha dirençlidirler. Örneğin, su dolu bir deney tüpündeki (protonlar olarak da bilinen) tüm hidrojen çekirdeklerini aynı kuantum haline sokmak için nükleer manyetik rezonans olarak bilinen bir teknik kullanılabilir.

Bilim insanları, bu tür teknikler kullanarak, sayıları çarpanlarına ayırmada (bir sayıyı, birlikte çarpıldığında kendisini veren daha küçük sayı dizilerine ayırma) özellikle usta olduğunu kanıtlamış, işleyen kuantum bilgisayarlar geliştirdi bile. Silikon temelli bilgisayarlar bunu büyük sayılarla gerçekleştirmekte zorlanır. Çarpanlarına ayırmanın, güvenli internet bankacılığı işlemleri yürütmemize olanak tanıyan kriptolama sistemlerinin temelini oluşturmasının nedeni de budur.

Öğrenebilen bilgisayarlar

Tüm bunlarla birlikte, kendini zeki makineler geliştirmeye adamış bilim insanları silikonu bırakmaya henüz hazır değil. Mevcut bilgisayarlar yüksek düzeylerde zekâ, yaratıcılık ve öğrenme sergileyebilecek karmaşıklık ve güce temelde fazlasıyla sahip olabilir; tek yapmamız gereken onları bu yeteneklere programlamanın etkili bir yolunu bulmaktır.

Bilim insanları zaten öğrenebilen bilgisayarlar geliştirmiştir. Bunu yapmanın yollarından biri, insan beynini taklit etmeyi hedefleyen sinir ağlarıdır. Bunlar, girdileri belirli çıktılara dönüştüren dev bir ağ içinde birbirine bağlanmış belirli değerleri olan çok sayıda düğümden oluşur. Düğümlerin değerleri ve aralarındaki bağlantıların kuvveti değiştirilebildiğinden ağ, deneyim sonucu değişir ve bu da ana bilgisayarın öğrenmesine olanak tanır.

Bu sinir ağları, üzerinde farklı şekiller bulunan küçük blokları bulma ve onları ayırt etme gibi belirli görevler yapmayı öğrenebilen robotlar yaratmakta zaten kullanılıyor. Bu durumda sinir ağının girdileri, bir video kamera ve mikrofon tarafından sağlanan görsel ve işitsel enformasyon; çıktısı ise doğru davranıştır.

Bu türden bir yaklaşım bir gün bilinçli makinelere bile yol açabilir. En güçlü süperbilgisayarlar bile bilinçli değilken insanların bilinçli olmasının olası nedenlerinden biri, doğumumuzdan itibaren etkileşime girebildiğimiz zengin bir duyusal çevre içinde yetişmemizdir. Eğer makineler de bu türden zengin bir duyusal deneyim edinebilseydi, onlar da doğal olarak bilinç geliştirebilirdi.

Belki de bu noktada, esenliğimizden ciddi olarak endişe duymalıyız.

Esnek arkadaşlar

Bazı bilim insanları ise daha güçlü bilgisayarlar geliştirmektense elektroniği tamamen yeni yerlere taşımayı amaçlamaktadır. Bunu yapmanın yollarından biri, silikonun yerine plastik kullanmaktır.

Plastiklerin çoğu yalıtkandır, yani elektriği iletmez. Elektrik kablolarının, kaçak akımı engellemek için plastikle kaplanmasının nedeni budur. Fakat bilim insanları belirli bir moleküler yapıya sahip plastiklerin yarı iletken gibi davrandığını keşfetmiş ve çok sayıda farklı örnek geliştirmiştir. Ayrıca bu yarı iletken polimerlerin, transistörler kadar organik ışık yayan diyotlar olarak bilinen güneş pilleri ve küçük ışık kaynakları üretmek için de kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Yarı iletken plastiklerin silikona göre en önemli avantajlarından biri esnek olmalarıdır, silikon çipler ise çok büküldüklerinde çat diye kırılır. Bunun yanı sıra bu yarı iletken plastiklerin çoğu suda dağılabilir, yani mürekkep püskürtmeli bir yazıcı aracılığıyla yüzeylere basılabilir. Bu da elektroniğin, silikonun ulaşamadığı yerlere uzanma olasılığını sunmaktadır. Örneğin kâğıt ve kumaşta ve de katlanabilen ekranlar ve basınca duyarlı deriler gibi aletler üretmede.

Ek okuma

Wilson, Daniel H., *How to Survive a Robot Uprising: Tips on defending yourself against the coming rebellion* (Londra: Bloomsbury, 2005).

28

İçimizdeki uzay

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *nanoparçacıklar kanser tedavisinde nasıl kullanılıyor*
- *silikon, nanoparçacıkların kanser hücrelerine ulaşmasına nasıl yardımcı oluyor*
- *diğer hastalıkların tedavisinde ilaç salım şekilleri*

Birbirimizi yok etmekten veya süper zeki bilgisayarlar tarafından esir alınmaktan kurtulsak bile, akılsız nanoölçek robotlar ya da nanorobotlar tarafından silinip gidebiliriz. Bu, ilk olarak ABD'li nanoteknoloji öncüsü Eric Drexler tarafından öne sürülmüş ve ardından Michael Crichton'ın romanı *Av* gibi çeşitli kurgu eserlerle ün kazanmış olan "gri yapışkan" senaryosudur.

Bir petrol sızıntısının temizlenmesi gibi iyi bir amaç için geliştirilmiş kendi kendini kopyalayarak çoğalabilen özerk nanorobotlar kontrolden çıkmış halde çoğalmaya başlayarak yolları üstündeki her şeyi tüketmeye yönelebilirler. Drexler'a göre bu nanorobotlar her 1.000 saniyede bir çoğalırlarsa on saat içinde sayıları 70 milyara çıkar, bir gün içinde 1 ton ağırlığa ulaşır ve iki gün içinde Dünya'nın ağırlığını geçerler.

Bunun, özellikle de bu tür kendi kendine çoğalabilen özerk nanorobotların organik versiyonlarının zaten var olduğu

düşünüldüğünde oldukça uzak bir olasılık olduğu açıkça görülebilir. Bakteri ve virüsler, oldukça yaygın olmalarına rağmen bugüne kadar çılgınca çoğalarak bütün gezegeni tüketmiş değiller.

Daha az yıkıcı olmakla birlikte bu nanorobotların çoğalmayan versiyonlarının, özellikle de vücutlarımız gibi sınırlı alanlarda kullanılması daha gerçekçi bir olasılıktır. Bu versiyonlar vücudumuzda hastalık, hücre hasarı veya kanserli tümörlerin büyümesine yol açan anormal hücre bölünmesi gibi kontrolden çıkan şeylere ait göstergeler arayarak sağlığımızı sürekli izleyebilirler. Vücudumuzun bağışıklık sistemiyle birlikte çalışarak bu süreçleri henüz gelişme aşamasındayken durdurabilir, böylece hastalıkları defederek yaşamlarımızı büyük ölçüde uzatabilirler.

Kanserin altın nanoparçacıklarıyla tedavisi

Küçük robot cerrah ve doktorlara kadar daha çok yolumuz olsa da, belirli hastalık ve rahatsızlıkları tedavi etmek için tasarlanan çok daha basit versiyonları halihazırda geliştirilmektedir. Örneğin bilim insanları kanser tedavisinde altın nanoparçacıkların (*bak.* 19. Bölüm) etkileyici yeteneklerinden yararlanmaktadır.

Amaç, altın nanoparçacıkları tümörün etrafında toplanacakları şekilde teşvik etmek ve ardından onlara kızılötesi ışık tutmaktır; kızılötesi ışık kullanılmasının nedeni, görünür ışığa kıyasla insan dokusunun içinden daha iyi geçmesidir (aksi takdirde yarı saydam olurduk). Bu kızılötesi ışığı soğurmak altın nanoparçacıkların kızılötesi frekanslarda floresan ışığı yaymasına neden olur, bu da doktorların tümörün tam yerini ve boyutunu tespit etmesine olanak tanır.

Bunun da ötesinde kızılötesi ışığın soğurulması aynı zamanda altın nanoparçacıkların ısınmasını getirir ve altın nanoparçacıklar da yeteri kadar ısındıklarında kanser hücrelerini öldürür. Hızlı bir kızılötesi ışık çakması tümörün görüntüsünü verir, daha uzun bir çakma ise onu kavurur.

İşin hilesi, altın nanoparçacıkların yalnızca tümörün etrafında toplanmasını sağlayarak sağlıklı hücrelerin zarar görmediğinden emin olmaktır. Bunu yapmanın iki yolu vardır. En kolay yolu, tümörleri besleyen kan damarlarının duvarlarındaki gözeneklerin normal kan damarlarındakilere kıyasla daha büyük olmasından yararlanmaktır. Dolayısıyla tek yapmanız gereken normal kan damarlarından kaçamayacak kadar büyük, fakat tümörlerin etrafındaki kan damarlarından kaçabilecek kadar küçük altın nanoparçacıklar üretmektir. Daha hedefe yönelik bir yaklaşım ise altın nanoparçacıkları, yalnızca kanser hücrelerinin yüzeyinde bulunan proteinlerin veya çok daha yüksek derişimlerde bulunan proteinlerin antikorlarıyla kaplamaktır.

Alternatif bir tedavi biçimi ise içi boş nanoparçacıklar üretip içlerini, tümöre ulaştıklarında dışarı salacakları bir kanser ilacıyla doldurmaktır. Bu, kanser ilacını yerine ulaştırmanın çok daha güvenli bir yolunu sunar, fakat kanser ilaçlarının çoğu kanser hücreleri için olduğu kadar sağlıklı hücreler için de zehirlidir; kemoterapi gören kanser hastalarının yaşadığı şiddetli fiziksel acının nedeni budur. Bu yaklaşımın ilk versiyonlarında kanser ilacı, lipozom adı verilen yağlı kabarcıkların veya doğal kan proteinlerinin içine yerleştirilmektedir ve bu versiyon kliniklerde halihazırda uygulanmaktadır.

Nanoparçacıkların bu şekilde kullanımı, tümörlerin, bu son derece zehirli ilaçların çok daha küçük miktarlarıyla sağlıklı

hücreler ilaca maruz bırakılmaksızın yok edilmesini sağlar. Bir kez daha nanoparçacıklar, "sızdıran" kan damarlarından yararlanarak veya kanser hücrelerini hedef alan antikorlarla kaplanarak tümöre yönlendirilebilir. Hâlâ aşılması gereken çok sayıda zorluk vardır ve bilim insanları bu zorlukları aşabilmek için her seçeneği araştırmaktadır.

BAĞIŞIKLIK SİSTEMİNİ ATLATMAK

Her şeyden önce, nanoparçacıkların gerçekten tümöre ulaşabilecekleri kesin değildir. İronik bir biçimde, bunun nedeni vücudun kendi bağışıklık sistemidir. Bu sistemin yabancı parçacıkların üzerine atlamada epey hızlı olduğunu 9. Bölümde görmüştük. Dolayısıyla nanoparçacıkların tümöre ulaşabilmek için önce makrofajlar tarafından yutulmaktan veya enzimlerin saldırısından sakınması gerekir.

Bunu yapmanın yollarından biri, nanoparçacıkları insan bağışıklık sisteminin tehdit olarak görmediği ve saldırmadığı bir malzemenin içine yerleştirmektir. Kulağa garip gelebilir ama silikon tam da böyle bir malzemedir ve Amerikalı bilim insanları, nanoparçacıkları mikroskobik bir silikon parçacığın içine yerleştirmenin, vücudun içinde engellere takılmadan yol almalarına olanak tanıdığını göstermiştir. Silikon parçacığı belirli bir zaman diliminden sonra ayrışmak ve böylece içindeki nanoparçacıkları salmak üzere tasarlanır.

Fakat bu da başka bir meseleyi gündeme getirmektedir: Nanoparçacık en sonunda tümöre ulaştığında kanser ilacının nasıl salınacağı meselesi. Eğer nanoparçacık geçirgense ilaç kolayca dışarı yayılabilir, ama eğer ilacın yalnızca tümörde salınmasını istiyorsanız bu işe yaramaz. Ya da, silikon parçacıklarında olduğu gibi nanoparçacıkları, belirlenmiş bir sürenin sonunda ayrışmak üzere tasarlayabilir ve bu sürenin,

nanoparçacıkların tümöre ulaşmasına yetecek kadar uzun olmasını sağlayabilirsiniz. Fakat bu biraz gelişigüzel olacaktır.

Alternatif olarak, yalnızca belirli bir işaret algıladığı zaman ilacı etkin biçimde salan bir nanoparçacık tasarlarsınız. Bu işaret bir doktor tarafından dışarıdan, örneğin, nanoparçacıklara kızılötesi ışık tutularak verilebilir. Veya tümör hücrelerinin etrafındaki çevre tarafından içsel olarak verilebilir. Tümör hücrelerinin çevresi, sağlıklı hücrelerin çevresine göre daha asidik olmak gibi farklılıklar gösterir.

Amerikalı başka bir grup bilim insanı tarafından tam da böyle bir nanoparçacık geliştirilmiştir. Bunlar, her biri kanser ilacıyla dolu olan, küçük gözeneklerle kaplı silika nanoparçacıklarıdır. Her bir gözeneğin duvarında, normalde gözeneği tıkayan ve ilacın kaçmasını engelleyen ışığa duyarlı, kürek şeklinde moleküller bulunur. Fakat ışığa maruz kaldıklarında kürek şekilli moleküller sağa sola sallanarak ilacı etkin biçimde gözeneklerin dışına taşır.

Diğer hastalıklar için akıllı implantlar

Diğer uzun süreli hastalık ve rahatsızlıklardaki zorluk, bir ilacı belli bir yer ve zamanda salmaktan ziyade gerektiği zaman tekrar tekrar salmaktır. Bilim insanları bunu yapmak için, hastalığa özgü bir işarete karşılık uygun tedavileri etkinleştirebilen akıllı implantların gelecek neslini geliştirmektedir.

Vücudun silikonu zararsız görmesi, bu türden akıllı implantları geliştirmede çok işe yaramaktadır, öyle ki silikon çiplerin hesaplama gücünden yararlanabilmemizi sağlayabilir. Örneğin, bilim insanları yaklaşan bir kalp krizinin, kalbin anormal

davranışı veya belirli tipik proteinlerin kandaki varlığı gibi ilk fizyolojik belirtilerinde hayat kurtaran ilaçlar salabilecek çipler geliştirmeye çalışmaktadır. Bunun dışında, akıllı implantlar esnek yarı iletken plastiklerden de (*bak.* 27. Bölüm) yapılabilir, bu plastikler sert silikon çiplerin aksine vücudun iç kısmının şekline uyum sağlayabilir.

Kalbin davranışı, vücudun içine yerleştirilen kalp pilleri ve defibrilatörler tarafından artık takip edilebiliyor. Hem kalp pilleri hem de defibrilatörler kalbi elektrikle uyararak anormal atmasını engeller. İkisi de, bir ana istasyonla kablosuz olarak hem etkinlikleri hem de kalbin davranışı hakkında düzenli iletişim halindedir. Ana istasyon bu enformasyonu internet üzerinden bir doktora gönderir, böylece kalp düzgün çalışmamaya başladığında erken müdahalede bulunulabilir.

En sonunda vücutlarımız, sürekli yaşamsal işlevlerimizi takip eden, birbiriyle ve dış dünyayla kablosuz olarak iletişim içinde olan ve elektrik uyarımından ilaç salımına kadar uygun tedaviyi kendiliğinden tetikleyebilen akıllı implant gruplarından oluşabilecektir. Bu sistem daha sonra muhtemelen, daha önce bahsettiğimiz, sürekli deveran halindeki tıbbi nanorobot gruplarına dönüşebilecektir.

Doku büyümesini uyarmak

Gelgelelim, o zamana kadar kimi büyük miktarlarda doku kaybı hatta başlı başına organ kaybıyla sonuçlanabilecek hastalık ve rahatsızlıklardan mustarip olmaya devam edeceğiz. Mevcut durumda tek seçenek kayıp doku ve organların yerine, ya hastanın kendi vücudundan ya da genellikle ölümden sonra başkalarının vücudundan alınan parçanın nakledilmesidir. Fakat insanın kendi vücudundan devşirilebilecek yedek

malzeme miktarı belli ki sınırlıdır ve bağışlanan organ tedarikine de doğası gereği güven olmaz.

Bilim insanları bu nedenle, laboratuvarda yedek doku ve organ üretmenin yolları üzerinde çalışmaktadır. Örneğin bilim insanları artık hastanın normal kemiği üzerinde fazladan bir kemik büyümesini uyarabilmektedir; bu fazladan kemik daha sonra devşirilerek hastalık veya kaza sonucu kaybedilmiş kemiğin yerine konabilir.

Alternatif bir yaklaşım ise, doku hücrelerinin üzerinde büyüyebileceği bir şey sağlamak adına hastanın vücuduna bir tür yapı iskelesi nakletmektir. Bu işlem, kalpteki küçük delikleri onarmak için zaten yapılabiliyor: Deliğin üzerine bir tür örtü yerleştirilir ve kalp hücreleri en sonunda ayrışacak olan bu örtü üzerinde büyür. Bilim insanları şimdi bunu daha büyük ölçeklerde ve üç boyutlu olarak yapmaya çalışıyor.

YENİ HÜCRELER ÜRETMEK İÇİN HİDROJEL KULLANMAK

Bilim insanları düz örtüler yerine hidrojel olarak bilinen bir malzemeden yapı iskeleleri inşa etmeye yöneliyor. Bu, birbiriyle bağlantılı uzun bir molekül ağından oluşan son derece emici bir jeldir. Sentetik veya biyolojik olabilen bu malzemenin ağırlığı yüzde 99'a kadar sudan oluşabilir.

Amaç, hidrojeli hastanın vücuduna sıvı gibi gösterip kızılötesi ışığa maruz bırakarak jele dönüşmesini sağlamaktır. Ondan sonra hidrojel yeni hücrelerin büyümesi için üç boyutlu bir yapı iskelesi görevi görecektir. Belki de, hastanın kendi hücreleri ve büyümeye yardımcı çeşitli kimyasallar hidrojele eklenerek bu süreç teşvik edilebilir.

Bilim insanları zaten, yeni kıkırdak—yani pek çok eklemin bir ana bileşeni olan kemiksi dokuyu—üretmek için hidrojelleri yapı iskelesi olarak kullandılar. En sonunda bilim insanları, hastanın kendi hücrelerini kullanarak laboratuvarda başlı başına organlar üretmeyi ve sonra bu organları hastaya nakletmeyi amaçlamaktadır.

Vücutlarımızı geliştirmek

Kim bilir belki de bütün bu yeni implant teknolojisi bizi yalnızca sağlıklı kılmakla kalmaz, bizi geliştirebilir de. Bunun kurgusal karşılığı, 1970'lerin televizyon programı *Altı Milyon Dolarlık Adam*'da işlenmiştir. Programda, eski bir astronota biyonik uzuvlar ve gözler verilerek gücü, hızı ve görüşünün artması sağlanmaktadır.

Bilim insanları şimdi bu türden biyonik uzuvlar geliştirmekte, fakat şu anda mevcut fiziksel yeteneklerimizi kopyalamakta bile zorlanmaktadır. Yine de dahili görüntülü kontakt lens gibi geliştirilmekte olan belli teknolojiler, artırılmış yetenekler sunacaktır. Ek olarak, bilim insanları, karbon nanotüpler üzerinde üretilmiş kemik gibi gerçeğinden daha sağlam olan biyolojik malzeme versiyonları geliştirmiştir. Zekâyı ve hafızayı artırmak için beyne elektronik aletler nakletmekten bile bahsedilmektedir.

Eğer bir sonraki büyük teknoloji atılımına girişeceksek, yani uzayın derinliklerine seyahat edeceksek vücutlarımızı bu şekilde geliştirmek gerekli olabilir.

Ek okuma

Jones, Richard A.L., *Soft Machines: Nanotechnology and life* (Oxford: OUP, 2007).

29

Bir uzay destanı

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *roketler uzayda nasıl yol alıyor*
- *fisyon roketleri ve iyon itme teknolojisinin gelişimi*
- *güneş yelkenlisi, ramjet veya jenerasyon gemisiyle uzayda seyahat*

Filmlerde, yıldızlararası uzayın uçsuz bucaksız enginliğini bir uçtan diğer uca katetmek hiç zor değildir. *Atılgan*'a veya *Milenyum Şahini*'ne atlar, uzay motorunu açar veya hiperuzaya bodoslama bir atlayış yaparsınız ve başka bir yıldız sistemine ulaşmışsınızdır bile. Gerçekte, bu tür bir uzay aracı teknolojisi geliştirmekten çok uzağız, hatta geliştirmemiz tamamen imkânsız da olabilir.

Gelgelelim bu, insanlığın bir noktada tüm galaksi boyunca seyahat etmeyeceği anlamına gelmiyor. Bu sadece biraz zaman alabilir.

Galaksiyi acele etmeden kolonileştirmek için bile özgün uzay aracı türleri ve itme sistemleri geliştirmemiz gerekecektir. Şu anda, uzaya gitmek için havai fişekle aynı çalışma prensibine sahip olan roketlere gereksinim duyuyoruz. Kimyasal bir roket yakıtı, hızla hareket eden çok miktarda molekülden oluşan ve

roketin arkasından çıkan sıcak gaza dönüşüyor, bu da roketi aksi yönde yani yukarı doğru hareket ettiriyor.

Roketi uzaya çıkarmak

Bu tamamen 17. yüzyılda yaşamış İngiliz bilim dehası Isaac Newton tarafından formüle edilen etki ve tepki ilkesiyle ilgilidir. Newton'ın üçüncü hareket yasasına göre her etkiye karşılık her zaman eşit ve zıt bir tepki vardır. Bu, eğer bir roketin arkasından sıcak gaz püskürtürseniz roketin ileri doğru hareket edeceği anlamına gelir.

Sıcak gazın bu hareketi sağlaması için herhangi bir şeye yüklenerek güç alması gerekmez; eğer öyle olsaydı, roketler uzay boşluğunda hareket edemezdi. Basitçe, bir yönde kuvvet uygulamak aksi yönde eşit bir kuvvet üretir.

Roketlerde çok sayıda farklı türde roket yakıtı kullanılabilir, fakat uzaya çıkması planlanan roketlerin çoğunda sıvı hidrojen ve sıvı oksijen karışımı bir yakıt kullanılmaktadır. Sıvı hidrojen ve oksijenin yüksek sıcaklık ve basınçlarda birlikte tepkimeye girmesi, sıcak bir su buharı patlaması yaratır. Roketin arkasından çıkmak üzere yönlendirilen bu su buharının hızı saniyede 4-5 kilometreye (km/sn) kadar çıkabilir.

Roketin uzayda seyahat etmesini sağlamak

Bu, uzay aracına, Dünya'nın 11,2 km/sn (saatte 40.000 kilometreden fazla) olan yerçekimi kuvvetini yenmesi için gerekli hıza ulaştıracak ivmeyi sağlar. Roket bir kere uzaya çıkınca genelde ateşlemeyi durdurur, çoğunlukla ayrılarak gerisin geri Dünya'ya düşer ve uzay aracı aynı hızda yoluna devam eder. Uzay aracı neredeyse bomboş bir vakum içerisinde

yol aldığından, yani sürtünme olmadığı için yavaşlamaz. Günümüz uzay araçlarının kendi küçük roket motorları vardır ama bunlar genelde manevra yapmak için kullanılmaktadır.

Gelgelelim bir uzay aracı uzaydayken de ivme kazanabilir ve bunu yerçekimsel sapan etkisinden yararlanarak yapar. Diğer bir deyişle, bir gezegenin etrafında dolanarak hız kazanır. Uzay aracı bu yolla, gezegenin Güneş'in yörüngesinde hareket ederken sahip olduğu momentumunun bir kısmını elde eder. Venüs ve Dünya etrafında birkaç sapan hareketi yapmak, NASA'nın Cassini uzay aracının saniyede yaklaşık 32 km hızla Jüpiter'e gitmesini sağladı.

GEZEGENLER ARASINDA SEYAHAT ETMEK

Gezegenler arasında seyahat etmek bu hızlarda bile uzun zaman alır. Ay'la aramızdaki 384.400 km'yi katetmek astronotların üç gününü almış olabilir fakat şu anda bir uzay aracının Mars'a gitmesi en az 180 gün sürer. Bize en yakın yıldız olan ve 4,3 ışık yılı (40 trilyon kilometre) uzaklıkta bulunan Proxima Centauri'ye bu hızla ulaşmak 40.000 yıl sürerdi.

Uzay aracı uzaya girdikten sonra da roket motorlarını ateşlemeye devam edebilse, bu yolculuklar çok daha hızlı olurdu. Bu, daha uzun bir süre ivme kazanmasına ve böylece daha yüksek hızlara ulaşmasına olanak tanırdı, fakat çok fazla yakıt gerektirirdi. Mevcut kimyasal roketleri kullanarak Proxima Centauri'ye 130 yılda gitmek ve tek bir atomu 10.000 km/sn (ışık hızının yüzde 3'ü) hıza çıkartmak için gerekli ivmeyi sağlamak ancak 10^{434} atomluk roket yakıtıyla mümkün olabilirdi. Bu, gözlemlenebilir evrende var olan atom sayısının çok üzerindedir.

Daha çabuk varmak

FİSYON ROKETLERİ

Eğer güneş sistemimizdeki gezegenlere daha hızlı ulaşmak istiyorsak ve özellikle de yıldızlara gitmek istiyorsak başka itme araçlarına ihtiyacımız var demektir. Kimyasal roketler yerine nükleer roketler kullanmak bir alternatiftir. 24. Bölümde gördüğümüz gibi nükleer tepkimeler enerji üretmede, kimyasal tepkimelere göre bir milyon kat daha verimlidir.

En basit yaklaşım, mevcut roketleri çeşitlendirmek olabilirdi. Hidrojeni birkaç bin dereceye kadar ısıtmak için bir fisyon reaktörüyle hızlı hareket eden ve roketin arkasından dışarı ateşlenen hidrojen molekülleri elde edilebilir. 1960'lar ve 1970'lerde prototip fisyon roketleri üzerinde yapılan testler, sıcak hidrojen moleküllerinin saniyede 70 kilometreye varan hızlarda çıkabildiğini gösterdi. Fisyon reaktörünün yerine füzyon reaktörü kullanarak daha da yüksek fırlatma hızlarına (belki de saniyede birkaç bin kilometreye varan hızlara) teorik olarak ulaşılabilir, fakat 21. Bölümde keşfettiğimiz üzere bilim insanları, sürdürülebilir bir füzyon tepkimesi hâlâ üretememektedir.

İYON İTME

Yüksek maliyetlerin yanı sıra çeşitli pratik sorunlar, ABD'li bilim insanlarının 1970'lerde fisyon roketlerini geliştirmeyi neden bıraktığını açıklıyor. Fakat son dönemde, iyon itme olarak bilinen yeni bir tür itme sisteminin uygulamasında elde edilen başarı, nükleer güçle çalışan yeni bir tür uzay aracının kapılarını aralayabilir.

İyon itmede, bir elektrik jeneratörü, ksenon gibi bir gazın atomlarını elektronlarından ayırarak atomları pozitif yüklü katyonlara dönüştürür. Bu katyonlar negatif bir elektrota doğru çekildiklerinde uzay aracının arkasından dışarı ateşlenerek itme kuvveti sağlarlar.

Katyonlar 100 km/sn'ye varan hızlarda çıkabildiği halde ürettikleri itme kuvveti çok azdır, bir kâğıdı üfleyerek havada tutacak kuvvet kadardır. Mevcut iyon itmeli motorların, küçük bir uzay aracını, sıfırdan saatte 100 km'ye çıkaracak ivmeyi kazanması dört gün sürer. Bu, iyon itmeli motorlara sahip uzay araçlarının uzaya hâlâ sıradan roketler kullanarak fırlatılması gerektiği anlamına gelir.

İtme kuvvetinin yetersizliğinin nedeni, katyonlar yüksek hızda çıkabildikleri halde sayılarının az olmasıdır. Bu, yalnızca roket yakıtı olarak kullanılan ksenon gazı miktarının oldukça az—30 kg'dan daha azı Mars'a uzay aracı göndermek için yeterli—olacağı anlamına gelmez, aynı zamanda motorların her zaman ateşlenebileceği anlamına da gelir. Motorların her zaman ateşlenebilmesi, hafif de olsa sabit ivme sağlar. Zaman içinde, bu hafif ivme etkileyici hız artışları üretebilir.

NASA'nın yakındaki bir asteroite seyahat etmiş olan Derin Uzay I aracı ile Avrupa Uzay Ajansı'nın Ay'a seyahat etmiş olan *Smart-I* aracının iyon itmeli motorları vardı. Daha yakın zamanda NASA'nın asteroit kuşağına seyahat eden Şafak uzay aracı, sekiz yıl sürecek görevi boyunca, uzay aracının hızını 10 km/sn'den fazla artırması beklenen bir iyon itmeli motorla çalışmaktadır.

Elektrik jeneratörü yerine fisyon reaktörü kullanmak teorik olarak fırlatma hızlarını 1.000 km/s'ye yükseltebilir, bu da bir uzay aracını Proxima Centauri'ye 100 yılda göndermek

için yeterlidir. Fakat fisyon reaktörüne yakıt sağlamak için muazzam miktarlarda uranyum gerekir: 10 tonluk (Cassini'nin yaklaşık dört katı büyüklüğünde) bir uzay aracı için 50 milyon ton uranyum gerekir. Bu, Dünya'nın bilinen uranyum kaynaklarından katbekat fazladır.

Moral bozucu gerçek şu ki, bize en yakın yıldıza bir insan ömründen kısa sürede ulaşmak için en az 30.000 km/sn (ışık hızının yüzde 10'u) hızlara ulaşabilecek bir uzay aracına gereksinimimiz var ve şu an bu gereksinimi karşılayabilmek, mevcut teknolojik yeteneklerimizin çok ötesinde. Gelgelelim bu, bilim insanlarını bu hedefe ulaşmak için olası yollar düşünmekten alıkoymuş değil.

ENERJİ ÜRETMEK İÇİN ANTİMADDE KULLANIMI

Antimaddeden yararlanmak da bir fikirdir. Antimadde, normal madde ile tıpatıp aynıdır, fakat zıt fiziksel özelliklere sahiptir. Yani bir pozitron bir elektronun tıpatıp aynısıdır, yalnızca negatif değil pozitif yüklüdür. Bir parçacık ile antimadde eşdeğeri karşılaştıklarında birbirlerini yok eder ve Albert Einstein'ın ünlü denklemi $E = mc^2$ (*bak.* 16. Bölüm) ile uygun olarak bütün kütlelerini enerjiye dönüştürürler.

Dolayısıyla, antimaddenin yok olması enerji üretmek için mümkün olan en verimli yoldur. Öyle ki nükleer fisyondan binlerce kat daha verimlidir. Eğer antimadde yok olması sıvı roket yakıtını sıcak gaza dönüştürmek için kullanılsaydı, bir tonluk bir uzay aracına 30.000 km/sn için ivme vermek yalnızca dört ton roket yakıtı ve yaklaşık 12 kg antimadde gerektirirdi.

Maalesef, bu kadar az miktarda antimadde üretebilmenin bile çok uzağındayız. Antimadde, yalnızca parçacık

hızlandırıcılarda, yılda bir gramın yalnızca milyarda biri miktarda üretilebiliyor.

GÜNEŞ YELKENLİSİ VE RAMJET

Eğer süregelen sorun roket yakıtı miktarıysa belki de en iyi seçenek roket yakıtından kurtulmaktır. Hem güneş yelkenlisi hem de ramjetin altında yatan mantık da budur.

Güneş yelkenlisi, ışık fotonlarının yansıtıcı bir yüzeyden sekerken uyguladıkları küçük kuvvetten yararlanır. Güneş yelkenlisi, bir uzay aracına bağlanmış ince, yansıtıcı bir yüzeyden meydana gelir. Güneş'in yaydığı fotonlar tıpkı sıradan bir yelkenlideki rüzgâr gibi, güneş yelkeninden yansıyarak ileri doğru momentum yaratmaya yetecek kadar büyük bir birleşik kuvvet uygularlar.

Güneş yelkeninin, kendisine ve ilişik uzay aracına ivme kazandırmasına yetecek kadar foton yansıtabilmesi için çok büyük—boydan boya birkaç yüz metre—olması gerektiği açıktır. Bu aynı zamanda, güneş sisteminde görkemli bir biçimde yelken açmış astronotlara dair çekici bir geçmiş-gelecek imgesi akla getirmektedir. Bu astro-gemiciler Güneş'in yerçekiminden yararlanarak istedikleri her yöne, hatta Güneş'e doğru gitmek için bile güneş yelkenini kullanabilirler. Bu kulağa bilim kurgu gibi gelse de, çaprazlamasına yalnızca 20 m olan ilk prototip güneş yelkenlisi Haziran 2010'da uzaya çıkmıştır.

Güneş yelkenlisi ayrıca teorik olarak bir uzay aracını başka bir yıldıza götürebilir, fakat bu durumda yelkenin 30 km genişliğinde olması ve Güneş'in sağlayabileceğinden çok daha yoğun bir foton kaynağı tarafından itilmesi gerekir. Uzayda inşa edeceğimiz ve güneş enerjisiyle çalışan devasa bir lazer, güneş yelkenine çok güçlü bir lazer ışını ateşleyerek 30 yıl

içinde 60.000 km/sn (ışık hızının yüzde 20'si) hıza ulaştıracak ivme kazandırır, bu da Proxima Centauri'ye 50 yıl içinde ulaşmamızı sağlardı.

Daha da büyük, çok bileşenli (yaklaşık olarak Fransa büyüklüğünde) bir güneş yelkeniyle uzay aracı varış noktasına ulaştığında yavaşlatılabilir ve Dünya'ya geri dönebilirdi. Eğer güneş yelkeninin merkezi bir kısmı, ana yelkenin arkasından fırlasaydı ve ışık, ana yelkenden bu daha küçük yelkenin üzerine yansısaydı, lazerin kuvveti aracı yavaşlatırdı. Daha büyük olan yelken aynı zamanda araca ışık hızının yüzde 50'si (150.000 km/sn) ivme kazandırırdı.

Ramjet ise, temel olarak, füzyon gücüyle çalışan fakat bütün yakıtını uzaydan toplayan bir rokettir. 1. Bölümde gördüğümüz üzere hidrojen evrende açık ara en yaygın bulunan elementtir, yoğun moleküler bulutları oluşturur ve yıldızlararası uzayda geniş bir alana yayılmıştır.

Bir ramjet, önünde Dünya büyüklüğünde bir manyetik alan yaratıp mevcut bütün hidrojeni, füzyon reaktörüne aktararak oluşan enerjiyi ürünlerin arkadan atılması için kullanır. En akıllıcası ise ramjetin hızlandıkça daha fazla hidrojen toplaması, böylece daha fazla ivme kazanmasıdır. Daha hızlı gittikçe, daha da hızlı gidebilecektir. Hesaplamalara göre bir yıllık seyahatten sonra bir ramjet 270.000 km/sn (ışık hızının yüzde 90'ı) ivmeye çıkabilir.

Ramjet ivme kazandıkça ışık hızına gitgide daha çok yaklaşır fakat hiçbir zaman onu geçemeyecektir. Çünkü Albert Einstein'ın kanıtladığı gibi, hiçbir şey ışıktan daha hızlı yol alamaz: 300.000 km/sn evrenin azami hız sınırıdır. Yani uzay aracınıza atlayıp hızla başka bir yıldız sistemine uçmak muhtemelen kurgu olarak kalacaktır (yine de *bak*. Kutu).

Kestirmeden gitmek

Evrende her zamanki rotayı izlersek ışık hızından daha hızlı seyahat edemeyebiliriz ama ya kestirme yola saparsak?

Solucan delikleri muhtemelen tam da böyle kestirme yollar sunar. Solucan delikleri binlerce ışık yılı uzaklıklarla ayrılmış olabilecek iki bölgeyi birleştiren, uzay dokusundaki yarıklardır. Birinci katta bulunan bir yatak odasında ayakta durduğunuzu ve tam altınızda yer alan mutfağa gitmek istediğinizi düşünün. Mutfağa inmek için merdivenlerden aşağı inebilirsiniz, ama yatak odasının zeminindeki bir delikten aşağı atlayabilseydiniz mutfağa daha hızlı varırdınız.

Solucan delikleri henüz tespit edilmemiş olsa da varlıkları mevcut fizik teorilerimizle çelişmez. Maalesef, solucan delikleri eğer gerçekten varsa da muhtemelen son derece kararsızdır ve yalnızca saniyenin küçük bir dilimi kadar sürüyordur. Gelgelelim bilim insanları, kuantum teorisine göre çok küçük ölçeklerde sürekli yaratılıp yok olduğunu öne sürdükleri "egzotik madde" adında bir maddenin, solucan deliklerini kararlı hale getirerek bir uzay aracının içinden geçmesine izin verebileceğini öne sürmüştür.

NESİL GEMİLERİ

Işık hızında gitsek bile Proxima Centauri'ye ulaşmak 4 yıldan uzun sürecekken, galaksimiz Samanyolu'nun merkezine ulaşmak 27.000 yıl sürecektir (yine de *bak*. Kutu). Fakat bu, insanlığın, çok daha yavaş hızlarda da olsa en sonunda galaksiyi kolonileştirmeyeceği anlamına gelmez. Yüzlerce veya binlerce insanı ve BÜTÜN ekosistemleri barındıran devasa uzay gemileriyle, tek bir gidiş binlerce yıl sürse bile birden fazla nesil

yıldızlar arasında seyahat edebilir. Nesil gemileri adıyla anılan uzay gemilerinin altında yatan fikir işte budur.

O kadar hızlı değil

Her ne kadar ışık hızıyla yol alan bir uzay aracının, galaksimizin merkezine ulaşması 27.000 yıl sürse de bu süre güvertedekilere o kadar uzun gelmezdi. Çünkü yine Albert Einstein'ın kanıtladığı üzere, ne kadar hızlı hareket ederseniz zaman o kadar yavaşlar.

Bu, hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı gidememesinin nedenidir. Aksi takdirde, eğer ışığın yarı hızında giden bir uzay aracında seyahat ediyor olsaydınız ve farları yaksaydınız, takip eden ışık demeti ışığın bir buçuk katı hızında hareket ediyor olurdu. Ama öyle olmaz çünkü zaman yavaşlar.

Bu yavaşlamayı düşük hızlarda algılamak çok zor olmakla birlikte, uçaklarda son derece hassas atom saatleri kullanılarak deneysel olarak kanıtlanmıştır. Öte yandan ışık hızına yaklaşıldığında sonuçlar çarpıcı bir hal almaktadır.

Zaman, ışık hızının yüzde 86'sında normal hızının yarısında geçmekte; ışık hızının yüzde 99,5'inde ise normal hızının yalnızca onda biri hızda geçmektedir. Hatta, ışık hızına yakın bir hızla yol alan bir uzay aracının güvertesindekiler için galaksinin merkezine ulaşmak yalnızca 20 yıl sürmüş gibi görünecektir.

Yıldızlararası yolcular bir yıldız sistemine gidip onu kolonileştirebilir. Bin yıl sonra da, soylarından gelenlerin bazıları yeni bir yıldız sistemine doğru yola çıkabilir. Bu yolla, yıldızlar arasında seyahat etmek birkaç bin yıl sürse

bile insanlığın 100 milyon yıl içinde bütün galaksiye yayılmış olacağı tahmin edilmektedir. Kulağa uzun bir zaman gibi gelebilir, ama dinozorlar Dünya'ya bundan daha uzun süre hükmetmişlerdi.

Ek okuma

Rogers, Lucy, *It's Only Rocket Science: An introduction in plain English* (New York: Springer, 2008).

30

Dünyamızın geleceği

Bu bölümde şunları öğreneceksiniz:

- *gelecekte neler olacak*
- *asteroit kuşağından nasıl yararlanabiliriz*
- *Mars'ta nasıl yaşayabiliriz*
- *her şey nerede son bulacak*

"Geçen yüzyılda, bir önceki yüzyıla göre daha çok değişim oldu. Yeni yüzyıl, son yüzyıldakileri gölgede bırakacak değişimlere tanık olacak." İngiliz bilim kurgu yazarı (ve aynı zamanda bu bölüme başlığını veren 1936 yapımı aynı adlı filmin senaryosunun yazarı) H.G. Wells 1902 yılında yaptığı bir konuşmada böyle söylüyordu.

Öngörüsü doğruydu ve teknolojik gelişme hızımız artmaya devam ettiği için yakın gelecekte de doğru olmaya muhtemelen devam edecek. 19. yüzyıl beraberinde demiryollarını, elektriği, fotoğrafı ve motorlu arabaları getirdi, ama 20. yüzyıl beraberinde uçakları, nükleer gücü, genetik değişimi ve interneti getirdi. Gelecek 100 yılda, 1.000 yılda ya da 10.000 yılda neler başarabileceğimizi hayal edin. Tabii bu süre zarfında kendi kendimizi yok etmezsek (*bak.* 24. Bölüm).

Gelecekte neler başaracağımızı hayal etmek, yalnızca bilim kurgu yazarlarının tekelinde değildir. Bazı bilim insanları

da insanlığın nasıl ilerleyeceğine ve geliştirebileceğimiz ileri teknolojilere dair öngörülerde bulunmuştur. Maalesef, bir diğer ünlü İngiliz bilim kurgu yazarı Arthur C. Clarke'ın hayaleti bu öngörülerin üzerinde dolaşmaktadır. Ünlü sözü tam olarak şöyledir: "Yeterince ilerlemiş bir teknoloji büyüden farksızdır."

Bu tür öngörülerin cazibesi, birkaç bin yıl içinde insanlığın teknolojik olarak, şu an akıl almaz görünen şeylerin neredeyse hepsini yapabilecek kadar ilerlemiş olacağı varsayımıdır. Bilim insanları, pek çok bilim kurgu yazarının aksine, öngörülerinin mevcut fizik teorilerimizin hiçbiriyle çelişmemesine dikkat ederek kendilerini bu cazibeye kaptırmamaya çalışmaktadır. Öngörüleri, mevcut teknoloji seviyemizde pratik olarak imkânsız olabilir, ama teorik olarak imkânsız olması gerekmez.

Gelgelelim bu, birkaç bin yıl içinde bilim ve teknolojimizin, ışık hızından daha hızlı seyahat etmek gibi, şu an için akıl almaz olan şeyler başarabileceğimiz bir aşamaya ulaşamayacağı anlamına gelmez. Fakat öngörülerde bulunurken kendi kendinize birkaç sınırlama getirmek çoğu zaman yarar sağlar. Dolayısıyla, mevcut bilimsel anlayışımıza dayanarak, bu bölümde ayrıntılandırılan ileri teknolojilerin hepsi teorik olarak mümkündür.

Uzayı kolonileştirmek

İster bilim kurgu yazarları olsun ister bilim insanları, insanlığın geleceğine bakan hemen herkesin hemfikir olduğu şey, bir noktada, muhtemelen 29. Bölümde ayrıntılandırılan özgün itme teknolojilerinden bazılarını kullanarak uzaya doğru büyük bir atılım yapacağımızdır. 1960'larda, 21. yüzyılın başına kadar Ay üzerinde ve hatta belki de Mars'ta üslerimiz olacağına inanmış

olduğumuzu düşünecek olursak bu riskli bir öngörü olabilir. Gelgelelim bir noktada uzayı kolonileştirmenin avantajları, dezavantajlarına ağır basmaya başlayacaktır.

ASTEROİT KUŞAĞI

Birkaç yüz yıl daha vaktimiz olabilir ama insanlık, Dünya'nın sunabildiğinden daha fazla yaşam alanı ve doğal kaynağa ihtiyaç duymaya başlayacağı bir noktaya gelecektir. Bu sıkıntıların her ikisini de çözmenin en basit yolu Mars ve Jüpiter arasında yörüngede hareket eden asteroit kuşağındaki iri kayalara yönelmek olabilir.

Bu asteroitler, Dünya ile aynı toz ve gaz diskinden oluştukları için Dünya'da bulunan maddelerin pek çoğu bakımından zengindir. Bu maddelere demir, silikon, nikel, bakır, kurşun ve çinko kadar karbon, su, hidrojen ve azot da dahildir. Yani Dünya'nın yerkabuğundan kolayca çıkarılabilen bu madde stoklarımızın tamamını tükettiğimizde, bunları asteroitlerden elde etmeye başlayabiliriz.

Bunu yapmanın iki yolu vardır. Ya hâlâ kuşağın içindelerken, çapı 1 km'den fazla olan birkaç bin asteroit üzerinde maden kolonileri kuracağız ya da asteroitleri Dünya'ya taşıyacak ve onları yörüngede parçalarına ayıracağız. Bunu yapmak için küçük asteroit parçalarını uzaya fırlatmak yeterli olacaktır. Etki ve tepki ilkesine göre (*bak.* 29. Bölüm) bu, asteroite zıt yönde ivme kazandıracak ve muhtemelen Dünya'ya kadar getirecektir.

Dahası, uç bir geridönüşüm örneği olarak, bir asteroit maden çalışmalarıyla boşaltıldıktan sonra bir yaşam alanı olarak kullanılabilir. Koloniciler yerçekimini taklit etmesi için dönmeye ayarlanan asteroitin iç duvarları üzerinde yaşayabilir. Asteroit kuşağında bulunan ve çapı 1 km'den fazla olan

binlerce asteroitin toplam yüzey alanı Dünya'daki tüm kıtaların yüzey alanından büyüktür.

UZAY YAŞAM ALANLARI

Alternatif olarak, asteroitlerden elde edilen kaynaklar özel tasarlanmış yaşam alanları inşa etmek için kullanılabilir. Bilim insanları bu türden olası yaşam alanı tasarımları yaptılar bile. 1970'lerde, Gerard O'Neil adında Amerikalı bir fizikçi, silindirik bir uzay yaşam alanı tasarladı. Bu tasarımda insanların eşit aralıklarla ayrılmış, silindir boyunca uzanan üç şerit üzerinde yaşayacakları düşünülmüştü. İkamete elverişli bu şeritler birbirinden, eşit boyutlarda üç şeffaf duvar şeridiyle ayrılacaktı.

Silindirin dışında ve silindir boyunca uzanan üç alüminyum ayna, şeffaf duvarlardan gelen güneş ışığını ikamete elverişli şeritlere yansıtacaktı. Ayrıca, bu aynalar şeffaf duvarları örtmek üzere hareket ettirilerek içeri giren bütün ışığı kapatıyor ve geceyi taklit edebiliyorlardı. Asteroitlerde olduğu gibi, yaşam alanı yerçekimini taklit etmek için her dakikada bir, tam bir dönüş yaparak kendi ekseni etrafında dönecekti. Bu arada enerji ihtiyaçlarının tümü, silindirin bir ucunda konuşlanmış olan bir sıra güneş paneli tarafından karşılanacaktı.

O'Neil bu uzay yaşam alanlarını birkaç farklı boyutta tasavvur etti. En küçüğü 1 km uzunluğunda ve 200 m genişliğindeydi ve 10.000 kişi barındırıyordu; en büyüğü ise 32 km uzunluğunda ve 6,4 km genişliğindeydi ve 1 milyon kişi barındırıyordu. Bu yaşam alanlarına motorlar eklemek onları 29. Bölümde bahsedilen türden yıldız yolcusu nesil gemilerine dönüştürecekti.

MARS'TA YAŞAM

Ya insan nüfusu fazla arttığı ya da Dünya'nın büyük bölümünü yaşanamaz hale getirdiğimiz için topraklarımız gerçekten yetmemeye başlarsa, tek seçeneğimiz Mars'a taşınmak olur. Fakat taşınmadan önce Mars'ı yaşanabilir hale getirmemiz gerekir, çünkü şu anda sıvı halde suyu ya da nefes almaya elverişli bir atmosferi yok ve ortalama yüzey sıcaklığı da -65°C. Toprak oluşturma olarak bilinen bu işlem uygulanabilir görünse de muazzam bir girişime ihtiyaç olacaktır.

1990'ların başında NASA'daki bilim insanları tarafından yürütülen bir araştırmaya göre, Mars'ın atmosferine ozonu yok eden kloroflorokarbonlar (KFK'lar) gibi bir sera gazından on milyarlarca ton pompalanması gerekecektir. Bu, atmosferi yoğunlaştıracak ve küresel ısınmayı başlatarak gezegenin ortalama sıcaklığını yaklaşık 20°C'ye yükseltecektir. Sonuç olarak, hem kutuplardaki buzullar hem de Mars'ın yüzeyini kaplayan donmuş toprak erimeye başlayacak, hapsolan karbondioksit açığa çıkacak ve bu da küresel ısınmayı artıracaktır. Bu sert koşullarda gelişmek için tasarlanmış sentetik veya genetiği değiştirilmiş bakteriler gezegene tohum gibi serpilerek daha fazla sera gazı elde edilebilir.

Kutuplardaki buzulların üzerine güneş enerjisini odaklamak da eriyen buzu su buharına dönüştürerek küresel ısınmayı daha da artıracaktır. Bu su buharı yoğuşarak bulutları ve sonra şiddetli yağmurları oluşturacak, daha sonra da Mars'ın yüzeyinde nehirleri, denizleri ve okyanusları meydana getirecektir. En sonunda da, atmosfere oksijen salmaları için bitkiler devreye girecektir. Bu toprak oluşturma çabası muhtemelen 1.000 yıldan uzun sürecektir.

Güneş enerjisinin daha fazlasını yakalamak

O zamana kadar insanlık yalnızca toprak ve kaynak sıkıntısı değil, enerji sıkıntısı da çekiyor olacaktır. Mevcut tüm enerji kaynaklarımız sonuç itibarıyla Güneş kaynaklıdır, fakat Dünya, Güneş'in ürettiği enerjinin milyarda birinden daha azını almaktadır. Gelecekte, uzayda devasa güneş panelleri inşa ederek Güneş'in enerjisinin daha fazlasını yakalayabileceğiz, fakat en sonunda bu da yeterli olmayacaktır.

1973 ile 2007 arasında insanlığın enerji tüketimi her yıl ortalama yüzde 0,01'in biraz üzerinde artmıştır. Eğer bu artış hızı devam ederse 300.000 yıl içinde Güneş'in saldığı enerjinin tamamına denk bir enerji kullanıyor olacağız.

Güneş'in enerjisinin tamamını yakalamak için tek seçeneğimiz, etrafına, yarıçapı Güneş ile Dünya arasındaki mesafeye eşit olan devasa bir küre inşa etmektir. O zaman insanlık bu kürenin iç yüzeyinde yaşayabilir. Yüz milyarlarca, hatta trilyonlarca insan alabilecek bir alandan bahsediyoruz. Dyson küresi adı verilen bu kürenin adı, bu fikri ilk defa öne süren ABD'li fizikçi Freeman Dyson'dan gelmektedir.

Gerçekte, o boyutlardaki katı bir küre kararlı olamaz. Bu nedenle Dyson, Güneş'i birlikte tamamen çevreleyebilecek bir halkalar sistemi önermiştir. Bu devasa halkaların inşasında kullanılacak malzemeyi elde etmek için maalesef Güneş Sistemi'ndeki birkaç gezegeni parçalarına ayırmamız gerekecektir.

Güneş'in ölümü

Gelgelelim çok uzun vadede, insanlığın geleceğini korumak için Dyson küreleri bile yeterli olmayacaktır. Başlangıçta, yaklaşık

6 milyar yıl içinde, Güneşimizin ömrü dolacak; önce devasa bir kırmızı deve, sonra da beyaz cüce olarak bilinen küçücük tükenmiş bir yıldıza dönüşecektir. Umarız ki o zamana kadar insanlığın bütün galaksiyi kolonileştirmiş olması, Güneş'in ölümünü ve ana gezegenimizin yok oluşunu daha az travmatik kılacaktır. O noktaya gelindiğinde insanlık hem doğal evrim hem de genetik mühendislik sonucunda çok sayıda farklı türe ayrılmış olabilir ve her tür, kendi özel yıldız sisteminin koşullarına uyum sağlamış olabilir.

İnsanlık, galakside yıldızlar olduğu müddetçe enerji tedariki bakımından muhtemelen sıkıntı çekmeyecektir. Fakat maalesef durum her zaman böyle olmayacak. 16. Bölümde öğrendiğimiz üzere evrendeki entropi düzenli olarak artmaktadır: Kullanılabilir enerji kullanılamaz enerjiye, dağınık ısıya dönüşmektedir. Bu, pratik anlamda, yeni yıldızların doğum alanı olan devasa moleküler toz bulutlarının giderek tükendiği anlamına gelir. Hesaplamalara göre yıldız oluşumu dönemi yaklaşık yüz trilyon yıl içinde sona erecektir.

BİLDİĞİMİZ ANLAMDA EVRENİN SONU

Bu noktada, Samanyolu beyaz cüceler, kahverengi cüceler (çekirdeklerinde nükleer füzyon ateşleyemeyen küçük yıldızlar), gezegenler, asteroitler ve diğer her şeyi yutan çok büyük kara deliklerden (*bak.* 24. Bölüm) oluşacak. Oldukça uzun bir süre boyunca, yaklaşık 10^{27} yıl kadar, bu büyük kara deliklerden enerji elde etmemiz mümkün, ama en sonunda onlar da buharlaşıp gidecek.

Hem başka galaksilerde de aynı süreç yaşanıyor olacağından hem de o zamana kadar çok uzağımızda kalacaklarından, başka galaksilere kaçmamız da mümkün olmayacak. Son dönemde yapılan astronomik gözlemler, belki de "karanlık

enerji" denebilecek gizemli bir kuvvetin etkisiyle, evrenin genişlemesinin hızlandığını göstermiştir. Eğer durum gerçekten böyleyse, uzak gelecekte bir noktada, bugün görebildiğimiz diğer galaksilerin hepsi ufukta kaybolmuş olacak (en yakın komşu galaksimiz Andromeda hariç, onun yaklaşık 6 milyar yıl içinde Samanyolu ile çarpışması olasılık dahilindedir). Evrende tamamen yapayalnız kalacağız.

Peki, evren giderek çözülürken insanlığın hayatta kalmasının hiçbir yolu yok mu? Aslında olabilir. Bazı bilim insanlarının öne sürdüğü teoriye göre, büyük bir yıldız çökerek bir kara delik ürettiğinde bu, yeni bir evrenin, bizim mevcut evrenimizden tamamen farklı bir evrenin oluşumunu tetikleyebilir. Eğer insanlık bir kara deliğin içinde bir şekilde seyahat edebilirse—belki de bizim yarattığımız bir kara deliğin içinde—kendini yeni bir evrenin başlangıcında bulabilir.

Ve ben, sahneye işte tam da burada girmiş olduğumuza inanıyorum.

Ek okuma

Impey, Chris, *How it Ends: From you to the Universe* (New York: W.W. Norton & Co., 2010).

Teach® Yourself

BİLİMİ ANLAMAK

Bu kitapta bilimin; madde, uzay, enerji, yaşam, fizik, biyoloji, gelecek ve çok daha fazlası hakkında neler keşfettiğini ve bizim bu keşifleri modern teknolojilere nasıl dönüştürdüğümüzü öğreneceksiniz. Güneş Sisteminin doğuşuna tanık olacak, okyanus akıntılarını binlerce kilometre boyunca takip edecek, ışık demetlerine binecek ve yunusların neden gezegendeki belki de en ilginç yaratıklar olduklarını öğreneceksiniz. Akıl almaz bilimsel gerçeklere giriş yapmak için doğru yerdesiniz.

Jon Evans

Jon Evans aralarında *New Scientist*'in de olduğu birçok bilimsel yayına düzenli içerik sağlayan bir bilim yazarıdır.

Esnek
Öğrenmeye ilginizi çeken kavramlardan başlayın





Yüksek kalitede
En yeni bilimsel araştırma sonuçlarıyla karşılaşın

Özlü
Gerçekten ihtiyaç duyduğunuz bilgiyle karşılaşın





Anlaşılır
Kolay anlaşılır bir dille kavramları hızla öğrenin

Uzman
Konuya hâkim bir uzmanın kaleminden okuyun





Pratik
Güncel örneklerden haberdar olun

ÖDÜNÇ-
1 004001 30667