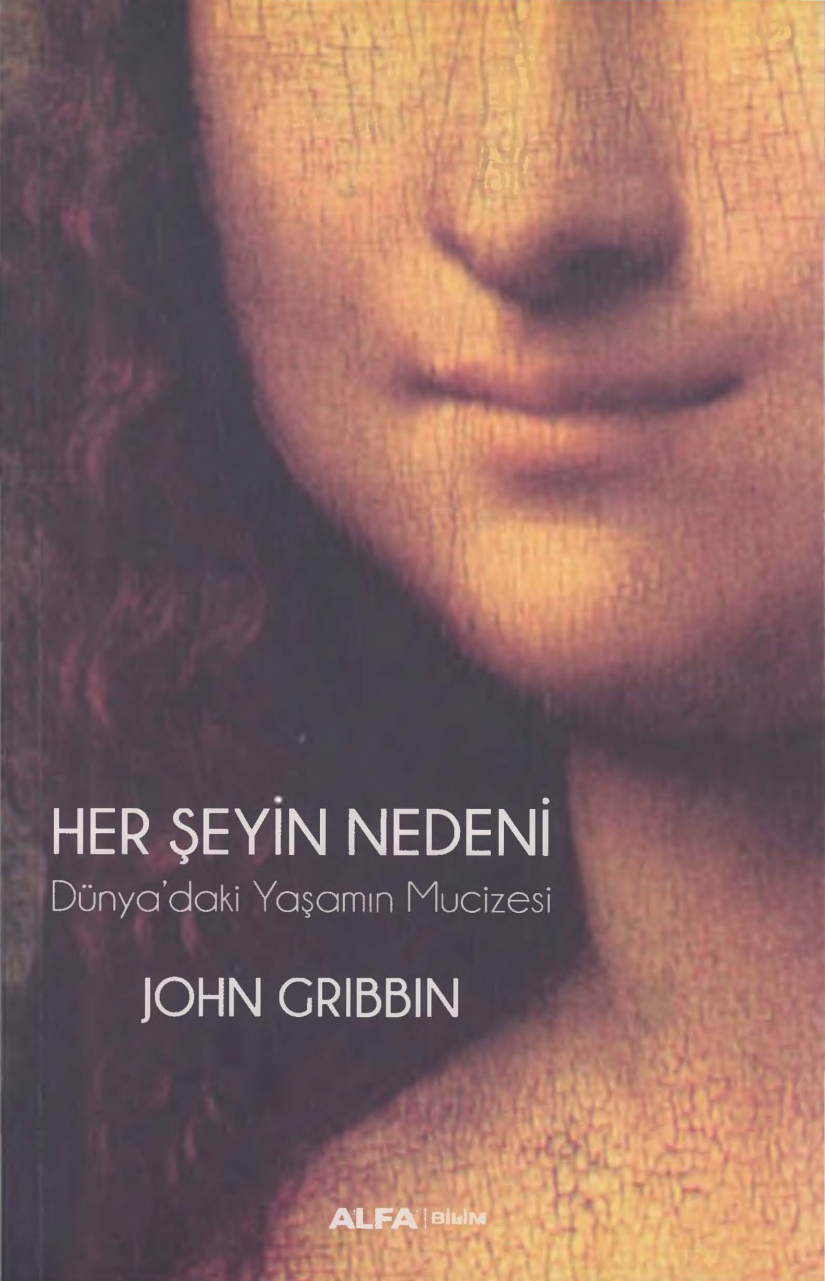


# HER ŞEYİN NEDENİ

## Dünya'daki Yaşamın Mucizesi

JOHN GRIBBIN

ALFA | BİLİM

*HER ŞEYİN NEDENİ*
*Dünya'daki Yaşamın Mucizesi*

## JOHN GRIBBIN

Tam zamanlı bir bilim yazarı olmadan önce Cambridge Üniversitesi Astrofizik Bölümünde eğitim gördü. Doktorasını Cambridge Astronomi Enstitüsünden aldı. *Nature* ve *New Scientist* için çalışmalar yapan Gribbin *The Times, The Guardian* ve *The Independent*'a bilim dalında makaleler yazdı. Ayrıca BBC için pek çok bilim dizisi hazırladı ve popüler bilim çalışmaları nedeniyle Ingiltere ve Amerika'da birçok ödül aldı. Halen Sussex Üniversitesi Astronomi Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.Yayımlanan pek çok kitabı arasından şunlar sıralanabilir: *In Search of Schrödinger's Cat* [*Schrödinger'in Kedisinin Peşinde*, Metis Yayınları], *Stephen Hawking: A Life in Science* (Michael White'la birlikte) [*Stephen Hawking: Bilim Dünyasında Bir Hayat*, İnkılâp Kitapevi], *In Search of Multiverse* [*Çoklu Evrenler*, Alfa Bilim], *The Firt Chimpanzee* [*İlk Şempanze*, Alfa Bilim], *Deep Simplicity* [*Derin Basitlik*, Alfa Bilim], *Schrödinger and Quantum Revolution* [*Schrödinger ve Kuantum Devrimi*, Alfa Bilim], *Science: A History* [*Bilim Tarihi*, Alfa Bilim]. 2000 yılında Royal Society Literatür üyesi olarak seçilen John Gribbin ayrıca *Innervisions* (Içgörü) dahil olmak üzere pek çok bilimkurgu eserinin de yazarıdır. Doğu Sussex'te yaşayan Gribbin evli ve iki çocuk babasıdır.

## ŞULE ÇİVİ

1984 yılında İstanbul'da doğdu. 2009 yılında ODTÜ Fizik Bölümünden mezun oldu. Halen Berlin Freie Üniversitesi Fizik Bölümünde yüksek lisansını sürdürmektedir. Çeşitli popüler bilim dergilerinde yazıları ve çevirileri yayımlanmıştır.

*Her Şeyin Nedeni: Dünya'daki Yaşamın Mucizesi*
© 2013, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

*The Reason Why: The Miracle of Life on Earth*
© 2011, John and Mary Gribbin
İngilizce ilk baskısı Penguim Books Ltd tarafından Ingiltere'de yapılmıştır.

Kitabın Türkçe yayın hakları Onk Ajans aracılığıyla Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti.'ne aittir. Tanıtım amacıyla, kaynak göstermek şartıyla yapılacak kısa alıntılar dışında, yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir elektronik veya mekanik araçla çoğaltılamaz. Eser sahiplerinin manevi ve mali hakları saklıdır.

**Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni** M. Faruk Bayrak
**Genel Müdür** Vedat Bayrak
**Yayın Yönetmeni** Mustafa Küpüşoğlu
**Dizi Editörü** Kerem Cankoçak
**Redaksiyon** Bilge Çelik, Mehmet Ata Arslan
**Kapak Tasarımı** Elif Cepikkurt
**Sayfa Tasarımı** Mürüvet Duma

ISBN 978-605-171-058-7
1. Basım: Mart 2015

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

**Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.**
Alemdar Mahallesi Ticarethane Sokak No: 15 34110 Fatih-Istanbul
Tel: 0(212) 511 53 03 Faks: 0(212) 519 33 00
www.alfakitap.com - info@alfakitap.com
Sertifika no: 10905

# HER ŞEYİN NEDENİ

## Dünya'daki Yaşamın Mucizesi

JOHN GRIBBIN

Çeviri
Şule Çivi

ALFA | BİLİM

*Galaksimiz adeta yaşam için gerekli yedek parçaların bulunduğu devasa bir ambarmış gibi görünüyor.*

James Lovelock, FRS

Simon Goodwin için; bunu benden önce yazmayacak kadar cömert davrandı!

# İÇİNDEKİLER

Teşekkür, 9
Önsöz: Tek Zeki Gezegen, 11

Giriş: **Trilyonda Bir,** 15
Samanyolu boyunca, 16; Sıcak jüpiterler, 19; Gezegen bolluğu, 23; Tozlu başlangıçlar, 26; Kozmik kimya, 30; Gaia yaşamı, 36; Diğer Gaiaları arayış, 39

I. **İki Paradoks ve Bir Denklem,** 43
Kozmik piyango ve Drake denklemi, 49; Denetim paradoksu ve Kopernik ilkesi, 55; Panspermia ve Fermi paradoksu, 60; Yanıt arayışı, 71

2. **Samanyolu'ndaki Yerimiz Hakkında Bu Kadar Özel Olan Şey Nedir?, 75**
Galaksilerin oluşumu, 78; Metallerin oluşumu, 81; Samanyolu'nda karışan metaller, 86; Samanyolu'ndaki yerimiz, 91; Galaktik Yaşanabilir Bölge, 96; Yıkıcı kuyrukluyıldızlar, 99

3. **Güneş Hakkında Bu Kadar Özel Olan Şey Nedir?,** 103
Dar yaşam bölgesi, 104; Güneş ortalama bir yıldız değildir, 107; Ortakları sarsmak, 110; Geçmişten gelen patlamalar, 114; Güneş metalliğinin gizemi, 117; Güneş ölene kadar, 119; Kıyamet Gününü ertelemek, 122

4. **Güneş Sistemi Hakkında Bu Kadar Özel Olan Şey Nedir?,** 125
Ele almak için fazla sıcak, 127; Güneş Sisteminin coğrafyası, 130; Gezegenlerin oluşumu, 135; Güneş Sisteminin oluşumu, 139; Dünya'nın oluşumu, 142; Özel olan, 146

5. **Dünya Hakkında Bu Kadar Özel Olan Şey Nedir?, 154**
Gökyüzündeki bir elmas gibi, 154; Gezegen yapbozu, 156; Kıtaların yaratımı, 161; Bir kuvvet alanı, 164; Venüs ve Mars, 169; Bir gezegen sabitleyicisi, 172; Levha tektoniği ve yaşam, 176

6. **Kambriyen Patlaması Hakkında Bu Kadar Özel Olan Şey Nedir?, 182**
I. Durumsallık ve Yakınsaklık, 182; Kambriyen Patlaması, 183; Burgess Şeyli, 185; Durumsallık, 187; Yakınsaklık, 192; Üçüncü yol, 196

7. **Kambriyen Patlaması Hakkında Bu Kadar Özel Olan Şey Nedir?, 199**
II. Sıcak Sera Venüs/Kartopu Dünya, 199; Derin donmanın ardından, 200; Dengeleri değiştirmek, 203; Dışarıdan mı içeriden mi?, 205; Arketipik çarpışma, 207; Kozmik bulutlar ve kuyrukluyıldız tozu, 209; Elmas tozu ve bir tanrıçanın yüzünü gerdirme, 213

8. **Bizim Hakkımızda Bu Kadar Özel Olan Şey Nedir?, 219**
Şans, zorunluluk ve ondalık sistem, 220; Moleküler saat, 222; Değişimin tetikleyicisi, 226; İnsan evriminin hız düzenleyicisi, 228; Teknolojik medeniyetin kaderi, 232; Dünya'nın kaderi, 237; İkinci bir şans yok, 241

Kaynakça, 243
Dizin, 249

# TEŞEKKÜR

Simon Goodwin, Douglas Lin, Charley Lineweaver, Jim Lovelock, Mac Low, Josep Trigo-Rodriguez ve Sussex Üniversitesi gökbilimcilerine görüşlerinden ve bu hikâyenin çeşitli kısımlarıyla ilgili önerilerinden dolayı teşekkür ediyorum. Son yıllarda Bernard Pagel'la aynı ofisi paylaşmak, yıldızların kimyasal bileşenleriyle ve zaman içerisinde nasıl değiştikleriyle ilgili tahmin ettiğimden çok daha fazlasını öğrenme fırsatı verdi. Her zaman olduğu gibi, Mary Gribbin kelimelerimin anlaşılır kılınmasında kilit rol oynadı ve Alfred C. Munger Vakfı seyahat ve diğer masraflarımız için katkıda bulundu.

# Önsöz

## TEK ZEKİ GEZEGEN

Varlığımızı bir "süper kuyrukluyıldız"ın 600 milyon yıl önce Venüs'le çarpışmasına mı borçluyuz? On yıl önce bu fikir belki de gülünç bulunuyordu. Fakat şimdi biliyoruz ki Güneş Sisteminin dış sınırlarındaki yörüngelerde Plüton büyüklüğünde donmuş nesneler bulunuyor. Biliyoruz ki Ay, Dünya'nın Mars büyüklüğünde bir nesneyle çarpışmasıyla oluştu. Kaos Kuramı bize Güneş'in etrafındaki hiçbir yörüngenin kararlı olmadığını söylüyor. En önemlisi de, bizim var olmamızı sağlayan yaşamın Dünya üzerindeki başlangıcından hemen önce, hem Venüs hem de Dünya'nın başına aynı anda yıkıcı bir felaket geldi. Rastlantı mı? Belki. Ama eğer öyleyse bu, Dünya üzerinde zeki yaşamı doğuran bir rastlantılar zincirinin en önemli halkası. Ve bu zincirin öyle zayıf halkaları var ki, evrende yıldızların ve gezegenlerin yaygınlığına rağmen bizim zeki bir tür olarak eşsiz olduğumuz anlamına gelebilir.

Samanyolu galaksimizde birkaç yüz milyar yıldız bulunuyor. İhtiyatlı bir tahminle bunların birkaç milyarı, yaşama olanak sağlayabilecek gezegenlerle çevrelenmiş durumda. Galaksideki Dünya üzerindeki insanların sayısından daha fazla yaşanabilir gezegen olabilir. Ancak "yaşanabilir" olması, "yaşanılıyor" olduğu anlamına gelmez. Bu kitabın savı zeki yaşamın yalnızca Dünya üzerinde var olduğudur. Bunun sebebi ise 600 milyon yıl kadar önce hem Venüs'ü hem de Dünya'yı etkileyen bir dizi kozmik olayla bağlantılıdır. Ancak bu hikâyenin yalnızca bir kısmı, Dünya'nın neden özel ve muhtemelen de eşsiz olduğuna dair astronomik ve jeofizik nedenlerden yalnızca birisidir.

Kopernik'ten bu yana bilimin ilerleyişi, insanoğlunu evrenin merkezinde konumlandıran görüşü istikrarlı bir şekil-

de değiştirmiştir. Yirminci yüzyılın sonunda mevcut inanış, hiçbir olağanüstülüğü olmayan bir galaksinin arka bahçesindeki sıradan bir yıldızın yörüngesinde bulunan sıradan bir gezegende yaşayan sıradan bir hayvan türü olduğumuzdu. Ancak, dünyanın ve insanlığın evrenin önemsiz bir parçası olduğu imgesi belki de hatalıdır. Elinizdeki kitap bu fikre meydan okuyor ve insanlığın her şeye rağmen özel olduğunu –galaksinin hiçbir yerinde ve muhtemelen bütün evrende şimdiye kadar ortaya çıkmamış bir dizi olağanüstü koşulun ürünü olduğunu– savunuyor. "Goldilocks Etkisi" adıyla bilinen bir görüş, evrenimizin bütünüyle ilgili tuhaf bir şey olduğunu söyler. Ancak bu tür yorumların benim tezimde yeri yok; evren sıradan olsa da olmasa da yaşayan Dünya'nın evrendeki yeriyle ilgili bir tuhaflık var.

En açık şekilde Gaia kavramıyla ifade edilen "yaşayan bir gezegen" olarak Dünya fikri, geniş halk kitlelerinin hayalgücüne hitap etmiş ve saygıdeğer bir disiplin olmuştur. Uzaydaki evimizin iç içe geçmiş bir yaşam sistemi olduğu fikrine alışkınız ve insan eylemlerinin Gaia'nın ölümüne sebep olabileceğine dair çok gerçekçi beklentilere karşı tetikteyiz. Bu tür fikirler Jim Lovelock'un son kitaplarında ele alınıyor. Çizdiği resim, Dünya üzerindeki yaşama dar bir bakış açısıyla bakıldığında oldukça kötü. Ancak tek bir gezegen kozmosun sonsuzluğunda gerçekten önem taşır mı?

Son yıllarda yakınımızdaki bir yıldızın yörüngesinde Dünya'nın yalnızca birkaç katı ağırlığında bir gezegenin keşfi* ve başka yıldızların yörüngesinde dolanan 200'den fazla Jüpiter benzeri dev gezegenin bulunması, evrenin başka yerlerinde zeki yaşam bulunması olasılığına dair ilgiyi körükledi. Birçok insan, oralarda bir yerlerde başka "güneş sistemlerinin" varlığının başka dünyaların da bulunduğu anlamına gelmesini umuyor ve eğer başka dünyalar varsa başka insanlar da olmalı, değil mi? Bu yanlış bir tez. Her şeyden önce, Dünya benzeri gezegenlerin nadir olması olası görünüyor. Ancak diğer dünyalar yaygın olsa bile bana göre yaşamın yaygın olma ihtimali varken Dünya'da ortaya çıkmış

* Ve bu kitap baskıdayken birkaç "başka dünyanın" daha!

olan zeki ve teknolojik medeniyet türü, en azından Samanyolu galaksimizde eşsiz olabilir.

Diğer Gaiaların Kozmos'ta görece yaygın olabileceği konusunda Lovelock'la aynı fikirdeyim. Ancak ben, bizim zeki yaşam türümüzün çok nadir olmasından dolayı yalnızca gezegenimize özgü olabileceği sonucuna vardım. Kozmik zamanın içinde bulunduğumuz anında zeki yaşam yalnızca Dünya üzerinde mevcut; Gaia diliyle Dünya, en azından bizim galaksimizde, tek akıllı gezegendir.

Bunun herhangi bir yerinde Tanrı'nın elini görüyor olsanız da olmasanız da, bu bizim evrende teknolojik olarak en gelişmiş medeniyet olduğumuz ve evrenin kökenini ve doğasını anlayan tek tanık olduğumuz anlamına gelir. Eğer insanlık ve Gaia mevcut krizlerden kurtulabilirse tüm Samanyolu galaksisi evimiz haline gelebilir. Aksi takdirde Gaia'nın ölümü tam anlamıyla evrensel önemde bir olay haline gelebilir.

Konuyu Samanyolu'yla sınırlamamın nedeni bu galaksinin –makul bir zaman ölçeğinde daha ilerisini fiziksel olarak keşfetmeyi ümit edemediğimiz uzaydaki bir adanın– astronomik arka bahçemiz olması değil, Samanyolu'nun ötesindeki evrenin muhtemelen sonsuz olmasıdır. Sonsuz bir evrende her şey mümkündür ama ilginç herhangi bir şey bizden ancak son derece uzak yerlerde gerçekleşiyor olabilir. Samanyolu galaksisi birkaç yüz milyar yıldız içermektedir ancak neredeyse kesin bir şekilde bir tek zeki medeniyete ev sahipliği yapar. Bu anlamda medeniyetimiz tek başına ve özeldir. İşte bu kitap size bunun nedenini anlatıyor.

# Giriş

## TRİLYONDA BİR

Evren büyüktür. 13,7 milyar yıl önce aşırı sıcak, aşırı yoğun bir durum olan Büyük Patlamadan yayılarak oluşan hâlâ genişlemekte olan bir uzay baloncuğu içinde yaşıyoruz. Bu baloncuk yalnızca 13,7 milyar yıldır var olduğundan, herhangi bir yönde görebileceğimiz en uzak yer, ışığın 13,7 milyar yıl boyunca yol aldığı mesafe kadar olacaktır. Mantıklı olarak bu 13,7 milyar ışık yılı eder. Burada bir ışık yılı, ışığın bir yılda aldığı yoldur; kabaca 9,5 milyar kilometre veya 5,9 milyar mil. Öyleyse gözlemlenebilir evren 27,4 milyar ışık yılı çapında Dünya merkezli bir balondur; her yıl, (iki tarafından birer ışık yılı olmak üzere) iki ışık yılı hızında büyüyen bir balon.*

Bu, evrenin merkezinde olduğumuz anlamına gelmez. Kara görmeyen bir denizcinin okyanusun merkezinde olmasından fazlası değildir; denizci kendi ufkunun oluşturduğu dairenin merkezindedir yalnızca. Okyanusun diğer bölgelerindeki denizcilerin her biri, bir ufkun çevrelediği kendi "gözlemlenebilir dünyalarının" merkezindedirler. Şüphesiz ki evren tıpkı denizin denizcinin ufkundan öteye yayılması gibi bizim kozmik ufkumuzun ötesinde yayılmaktadır ve (okyanusun aksine) sonsuz olabilir. Ancak kozmik ufkun ötesinde neler olduğuna dair bulmaca burada ele alacaklarımdan birisi değil.

Görünebilen evren balonu içinde, aşağı yukarı bizim güneşimize benzeyen parlak yıldızlar, galaksi denilen adalarda kümelenmiştir. Hubble Uzay Teleskobu gibi araçlarla yapılan gözlemlere dayanılarak gözlemlenebilen evrende milyar-

* Bu, evrenin genişleyişini hesaba katmayan fazlaca bir basitleştirme. Umarım kozmolog arkadaşlarım beni affeder.

larca, belki de trilyonlarca galaksi olduğu tahmin ediliyor. Çıplak gözle görebildiğimiz yıldızların tümü uzaydaki bu adalardan birinin, Samanyolu veya basitçe galaksi denilen kendi galaksimizin parçasıdır. Fakat gözlerimiz Samanyolu galaksisinin gerçek doğasını anlamak için son derece yetersizdir. Çok yuvarlak rakamlarla, galaksimizde gözlemlenebilen evrendeki galaksi sayısı kadar yıldız vardır. Astronomiye adım attığım 1960'larda, Samanyolu'nda bulunan yıldız sayısı için en çok tekrarlanan ortalama rakam yüz milyardı; zaman geçtikçe ve gözlem imkânları geliştikçe tahmini sayı iki yüz milyara ve sonra da "birkaç" yüz milyara yükseldi. Teleskoplarımız hassaslaşmaya ve gözlemlerimiz yeni şeyleri açığa çıkarmaya devam ettiği için sayıyı yuvarlayıp galaksimizin çok kabaca bir trilyon yıldız içerdiğini söylemek hiç de mantıksız görünmüyor. Bu, güneşimizin trilyonda bir olduğu ve aynı zamanda galaksimizin de trilyonda bir olduğu anlamına gelir. Üstelik bildiğimiz kadarıyla (daha sonra ele alacağım bazı önemli ve ufak tuhaflıkları olmasına rağmen) Güneş oldukça sıradan bir yıldızdır.

## SAMANYOLU BOYUNCA

Bir trilyon yıldız barındıran bu ada hem Dünya'da zeki yaşamın ortaya çıkışını konu edinen hikâyemin zeminini hem de evrende başka bir zeki yaşam olup olmadığına yanıt aranan bir bulmacayı oluşturuyor. İnsanlığın Kozmos anlayışının bu aşamasında, zekânın ortaya çıkışı hakkında bir açıklama ararken mantıklı olarak yapabileceğimiz tek şey, kendi galaksimizin tarihine ve coğrafyasına bakarak zekânın Dünya üzerinde neden ve nasıl ortaya çıktığını ve bunun Samanyolu'nda bir yerlerdeki başka "dünyalar" üzerinde medeniyetler bulma olasılığı hakkında bize anlattıklarını anlamaya çalışmaktır. Eğer evrenin tamamında yeterince yıldız ve gezegen mevcutsa, oralarda bir yerde muhakkak başka bir dünya olmalı. Peki, ama bizim kozmik arka bahçemizde bir yerlerde başka bir medeniyete ev sahipliği yapan bir dünya var mı?

Bu açıdan, galaksimizin birçok bileşeni olduğu halde bizim ilgilendiğimiz tablo, aşağı yukarı Güneş'e benzeyen yıldızların etrafında dönen aşağı yukarı Dünya'ya benzeyen gezegenlerdir. Güneş ve Güneş Sisteminin gezegenleri, evren şimdiki yaşının ancak üçte ikisini doldurduğu zaman, yani 4,5 milyar yıldan biraz uzun süre önce uzayda çöken bir gaz ve toz bulutundan meydana geldiler. Güneş Sisteminin oluşmasının bu denli uzun sürmesi tam anlamıyla bir tesadüf değildir. Büyük Patlamada kayda değer miktarlarda oluşan yegâne elementlerin hidrojen ve helyum olduğuna dair güçlü bulgular var. Daha ağır elementler ise o zamandan beri yıldızların içinde yıldız nükleosentezi denilen süreç sonucunda birikmiş ve bu yıldızlar öldüğünde uzaya saçılmıştır. Bu demek oluyor ki Dünya gibi bir gezegeni oluşturabilmek için silikon, oksijen, karbon ve nitrojen gibi elementler açısından yeterince zengin olan yıldızlararası bulutların oluşmasından önce, birkaç yıldız neslinin doğması, yaşaması ve ölmesi için zamana ihtiyaç vardı.

Bu nükleosentez sürecinin bir bölümü Güneş gibi bir yıldızın parlamasını sürdüren şeydir. Güneş'in kalbindeki aşırı yüksek sıcaklık ve basınç, hidrojen atomlarının çekirdeklerini birleşip helyum çekirdekleri oluşturmaya zorlar ve bu süreç sırasında enerji açığa çıkar. Diğer yıldızların yaşam döngülerinin farklı evrelerinde ise helyum çekirdekleri karbon, oksijen ve benzerlerini oluşturmak için bir araya gelir. Tüm bu olaylar yaklaşık 100 bin ışık yılı çapına yayılmış bir yıldız, gaz ve toz diskinde gerçekleşir. Astronomlar galaksinin içinden mümkün olduğu kadarıyla bu materyalin dağılımını ölçerek ve bunu dışarıdan görebildiğimiz diğer galaksilerin gözlem sonuçlarıyla karşılaştırarak, galaksimizin diskin merkezinden dışa doğru bükülen, (spiral kollar olarak adlandırılan) parlak, genç yıldızlardan oluşan kuşaklara sahip olan spiral bir yapısı olduğunu keşfettiler. Eskiden bunun dört ana kola ve birkaç daha küçük yaya sahip açık bir spiral yapıyı gösterdiği düşünülürdü; ama son zamanlarda yapılan gözlemler görüntünün çok daha düzensiz olduğunu, ana kolların bazılarından dışarı uzanan çıkıntıların, diğer kolla-

ra ait parçaların ve hatta Galaksinin ortası boyunca uzanan kollardan oluşan bir çubuğun bulunduğunu gösteriyor.

Hiç kimse spiral yapının nasıl oluştuğunu tam olarak bilmiyor ama bu galaksilerin genelinin ortak bir özelliğidir. En iyi tahmin, bunun Samanyolu merkezinin çevresinde dönen yıldızların ve gaz bulutlarının belli yerlere yığıldığı bir yoğunluk dalgası olduğu. Söz konusu durum, tıpkı bir otoyoldaki trafiğin ağır ağır ilerleyen muazzam bir yoğunluğun etrafında hareket etmekte olan bir trafik sıkışıklığında birikmesine benzetilebilir. Sürüklenen trafik sıkışıklığına yakalanan gaz bulutları sıkıştırılır ve bunların bazıları yeni yıldızlar oluşturmak üzere çöker; işte bunlar spiral yapının göze çarpmasını sağlar. Ne var ki yıldızlar tek başına bu bulutlardan çok daha küçüktür ve galaksinin merkezi etrafındaki aşağı yukarı daire şeklindeki güzergâhları üzerindeki yoğunluk dalgasının içinden etkilenmeden geçerler.

Kabaca konuşmak gerekirse, yıldızların galaksi boyunca dağılımı dört bölüm içinde açıklanabilir. Güneş'in de aralarında bulunduğu çoğu yıldız, Samanyolu'nun merkezinin çevresinde bulunan bir şişkin bölgenin içine doğru genişleyen, yaklaşık 1000 ışık yılı derinliğindeki ince bir diskte yoğunlaşmışlardır. Görüntüsü, sahanda pişmiş iki yumurtanın sırt sırta vermiş halini andırır. İnce disk ile merkezdeki şişkin bölge birlikte galaksimizin yıldızlarının aşağı yukarı yüzde 90'ını içerir. İnce olan disk, daha kalın ama daha seyrek bir yıldız diskine gömülüdür. Bu yıldız diski, en az 300 bin ışık yılı uzunluğunda olan ve içinde birkaç düzine çok yoğun yıldız kümesinin dağılmış olduğu küresel bir haleyle çevrilidir. Konu parlak yıldızlar olunca durum bundan ibaret. Ancak, parlak maddeler üzerindeki kütleçekim etkisiyle kendini belli eden, kendi çapında göz alıcı olan ama diğer dünyaların araştırılmasıyla bir ilgisi olmayan iki bileşen daha bulunur. İlki, Samanyolu'nun tam merkezinde bulunan ve çapı Dünya ile Ay arasındaki mesafenin yirmi katından daha uzun olan, güneşimizin birkaç milyon katı kadar kütleye sahip devasa bir kara deliktir. Kulağa etkileyici gelmesine rağmen bu kara delik, Galaksideki tüm parlak yıldızların

toplam ağırlığının yalnızca birkaç milyonda biri kadardır. Diğer uçta, Galaksinin tüm parlak bileşenleri Samanyolu'nu kütleçekimsel bütünlükte tutan bir karanlık madde bulutunun içine gömülü durumdadır. Bu madde birkaç yüz bin ışık yılı büyüklüğünde bir küreyi doldurur ve atom ölçeğinde minik parçacıklar içeren bir buluttan oluştuğu düşünülmektedir. Fakat bu küçücük parçacıkların hepsinin toplam kütlesi, Galaksideki tüm parlak yıldızlarda bulunan maddenin on katı kadardır.

Bugüne kadar diğer gezegenleri arama çalışmaları Samanyolu'nun ince diski boyunca Güneş'ten çok kısa bir mesafeye kadar uzanmıştır. Yirminci yüzyılın sonunda teknoloji ancak yakın yıldızların yörüngesindeki gezegenlerin etkilerine dair kanıtları araştırmak için yeterli hale geldi ve bu arayış (hiçbir şekilde homojen olmayan bir şekilde) birkaç yüz ışık yılı mesafeye –kabaca diskin çapının yüzde 0,1'i– kadar uzanmıştır. Fakat iyi haber şu ki, baktığımız her yerde gezegen buluyoruz. Bu bulgulara göre, muhtemelen görebildiğimiz bütün yıldızların en az yarısının yörüngelerinde dolanan gezegenleri var.

## SICAK JÜPİTERLER

Bugüne değin Güneş Sisteminin ötesindeki gezegenlerle ilgili kanıtlar hemen hemen her durumda dolaylı olmuştur. Yalnızca birkaç istisna dışında onları aslında göremiyor veya fotoğraflayamıyoruz. Üstelik böyle durumlarda bile görüntüler yalnızca bulanık lekeler halindedir; ama ana yıldız üzerindeki etkilerini saptayabiliriz. Yıldızının etrafında dönerken gezegenin yaptığı kütleçekim etkisi, yıldızın belli belirsiz ileri geri titreşmesine yol açar ve bu titreşme, yıldızdan gelen ışığın tayfının incelenmesiyle belirlenebilir. Yıldız bize doğru hareket ettiğinde tayfın özellikleri hafifçe tayfın mavi ucuna doğru, bizden uzaklaştığında ise tayfın kırmızı ucuna doğru kayar. Bu, astronomideki en kullanışlı yöntemlerden biri olan Doppler etkisinin bir örneğidir; bu yolla pek çok ışık yılı mesafede ölçülen hızların büyüklüğü, yaklaşık

bir olimpik koşucununki kadardır. Bu yöntemle en kolay keşfedilen gezegenler, ana yıldızlarına en çok etki edenlerdir, bu da yıldızlarına yakın olan büyük gezegenler oldukları anlamına gelir. Bu yüzden şu ana kadar keşfedilen birkaç yüz gezegenin büyük çoğunluğunun büyük ve ana yıldızlarına yakın olmasının şaşırtıcı olduğu söylenemez. Bununla birlikte zaman geçtikçe daha küçük gezegenler ve ana yıldızlarından daha uzak olan gezegenler de keşfedilmektedir.

Aslında keşfedilen ilk "Güneş dışı gezegenler" sıra dışı şeylerdi. Ancak ama ilk oldukları için şeref kürsüsünü hak ediyorlar. Çevresinde döndükleri yıldızın, Güneş'le uzaktan yakından alakası bile yok. Bu, nötron yıldızı denilen, PSR B1257+12 diye sıkıcı bir isme sahip bir nesnedir. İsmindeki PSR atarca anlamındadır ve rakamlar da nesnenin gökyüzündeki koordinatlarını verir (harita dizininin göksel eşiti). Bir atarca güneşimizden çok daha büyük bir yıldız yaşamının sonuna yaklaştığında oluşur. Yıldızın dış katmanları süpernova adı verilen bir patlamayla uzay savrulur ve iç kısmı çökerek yalnızca 10 km çapında ama aşağı yukarı güneşimizle eşit oranda kütleye sahip (Dünya'nın kütlesinin 330 bin katı kadar) bir nötron topu (adı da buradan gelir) haline gelir. Nötron yıldızı, atomun çekirdeğiyle aynı yoğunluktadır; ilk oluştuğunda çok hızlı döner ve yoğun bir manyetik alana sahiptir. Hızlı dönmesiyle birlikte yoğun manyetik alana sahip olması, kozmik bir deniz fenerinin ışını gibi gökyüzünü tarayan bir radyo gürültüsü demeti üretir; eğer bu demet bir şekilde Dünya'yı tarayacak şekilde sıralanırsa, radyo teleskoplarımız bunu düzenli tik-taklar[†] olarak algılar. Radyo gürültüsünün bu atımları [pulse] atarcalara[‡] adını vermiştir. Bazıları birkaç milisaniyede bir "tık"lar; PSR B1257+12 işte böyle bir atarcadır. 1992'de Penn Devlet Üniversitesinden Alex Wolszczan ve Dale Frail, bu atarcanın tıklama oranındaki ufak değişiklikleri ölçtü ve bu değişikliklerin ölmekte olan yıldızın etrafında dönen iki gezegenin etkisi nedeniyle

† Saat sesindeki tik tak yansıması gibi, düzenli uyaran anlamındadır –çn.

‡ İngilizce *pulsar* terimi yerine metin boyunca "atarca" ifadesi tercih edilmiştir –çn.

olduğunu açıkladılar. Birkaç yıl sonra ise sistemde üçüncü bir gezegenin keşfini bildirdiler. Bu gezegenlerin kütleleri sırasıyla Dünya'mn kütlesinin 4,3 ve 3,9 katı ve üçüncüsü ise Dünya kütlesinin 1/50'si kadar olup her 67, 98 ve 25 günde bir yıldız etrafındaki dönüşlerini tamamlarlar. 2005 yılında Wolszczan ve çalışma arkadaşı Maciej Konacki, bahsi geçen sistemde dördüncü bir gezegen keşfettiklerini duyurdular. Cüce gezegen Plüton'un kabaca 1/10'u kadar kütleye sahip olan (Dünya'nın kütlesinin yalnızca yüzde 0,04 kadarı) ve atarcanm etrafındaki dönüşünü 1250 günde tamamlayan küçücük bir nesne. Şu anda, en az bir atarcaya daha (PSR B1620-26) bir veya daha fazla gezegenin eşlik ettiği biliniyor.

Bu gezegenlerin atarcanın oluştuğu süpernova patlamasından kurtulmuş olmaları olası değildir. İlk yıldızın yörüngesindeki herhangi bir gezegen patlamada ortadan kalkmış olmalıdır. Dolayısıyla bizim gördüklerimiz patlama sonrasında nötron yıldızının etrafında kalan enkaz bulutundan meydana gelmiş olmalıdır. Bu, gezegenlerin iki yıldızın çarpışması veya yakın teması gibi daha egzotik süreçler yerine bir yıldızın etrafındaki enkaz bulutundan meydana gelebildiğinin ilk doğrudan kanıtıydı. Yıldızların yakın teması nadiren görüldüğü ve ama tüm yıldızlar yıldızlararası materyal bulutlarının çökmesiyle oluştuğu için, varılan sonuç gezegenlerin yaygın olarak yıldızlara eşlik ettiği şeklindeydi. Bu, kısa süre içinde daha fazla gözlemle doğrulandı.

Güneş benzeri bir yıldız etrafında dönen bir gezegenin doğrulanan ilk keşfi, 1995 yılında gerçekleşti. Yıldız, (kısaca 51 Peg diye bilinen) 51 Pegasi'ydi ve keşif Michel Mayor ve Didier Queloz adındaki iki İsviçreli gökbilimci tarafından Doppler yöntemi kullanılarak yapılmıştı. Şaşırtıcı olan, keşfin fazla kolay oluşuydu. Beklenenden daha kolay olmuştu, çünkü gezegen büyüktür ve ana yıldızına çok yakın bir yörüngede döner; bu, güçlü bir Doppler "sinyali" oluşturan bir birleşimdir. Güneş Sistemimizde, Güneş'e yakın yörüngelerde dört adet küçük kayalık gezegen ile Güneş'ten uzak dört gaz devi gezegen bulunur. Uzaklıkları, Dünya'mn Güneş'e olan ortalama uzaklığı olan astronomik birim (AU)

cinsinden ifade edilir, kütleleri ise Dünya'nın kütlesiyle karşılaştırılarak belirlenir. 0,39 AU uzaklığıyla Güneş'in en yakınında olan küçük gezegen Merkür'ün kütlesi Dünya'nınkinin yüzde 5'i kadardır. Ancak Güneş Sistemindeki en büyük gezegen olan Jüpiter'in kütlesi Dünya'nınkinin 300 katından daha fazladır; bu 5,2 AU uzağında dönmekte olduğu Güneş'in kütlesinin yaklaşık olarak yüzde 0,1'i eder. 51 Peg'in çevresinde keşfedilen gezegen, Jüpiter'in kütlesinin yarısından fazlasına sahiptir (Merkür'ün kütlesinin üç bin katı) ama yörüngesi yıldızından yalnızca 0,05 AU uzaklıktadır (Merkür'ün Güneş'e olan uzaklığının onda birinden yalnızca biraz daha fazla).

Hiç kimse, böyle (kısa süre içinde aldıkları isimle) 'sıcak jüpiterler' bulmayı beklemiyordu çünkü gaz devleri gezegenler, ana yıldızlarının yakınında oluşamazlar. Bu yüzden doğdukları yörüngelerden iç kısma doğru göç etmiş olmalıdırlar. Bunun evrende zeki yaşam araştırmasında önemli anlamları vardır; ancak bu keşfin ve onu izleyenlerin ilk önemli sonucu, gezegenlerin yaygın olmasıydı (bu günümüzde de geçerlidir).

İlk Güneş dışı gezegenler keşfedildiğinde haberler öyle heyecan vericiydi ki her bir yeni keşif haftalık *Nature* gibi saygın ve sık yayımlanan bilimsel bir dergide ayrı bir bilimsel makale olmaya layık görülüyordu ve sık sık genel basında manşetleri süslüyordu. On yıldan fazla bir süre sonra, bu kitabın yazımı sırasında yaklaşık dört yüz Güneş dışı gezegen bilinmektedir ve her yıl yaklaşık bir düzine kadar "yeni" gezegen keşfediliyor. Ne var ki haberler, yapılan keşifle ilgili özel bir şeyler olmadığı müddetçe (özellikle gezegen bilhassa Dünya'ya benziyorsa ya da ana yıldızı etrafında dünyanınkine benzer bir yörüngede bulunuyorsa) popüler basın şöyle dursun bilimsel dergilerde bile nadiren manşet yapılıyor. Güneş dışı gezegenlerin –ya da ötegezegenlerin– sayıları ve çeşitleri hakkındaki bütün hikâye, parçalarının toplamından çok daha büyük.

Hikâyenin bir parçası, diğer yıldızların etrafında dönen gezegenlerin keşfinde kullanılan farklı yöntemlerin çeşitli-

liğiyle ilgilidir. Denenmiş ve test edilmiş Doppler yönteminin yanı sıra, bazı gezegenler transit denilen bir çeşit mini tutulmada ana yıldızın önünden geçerken ondan gelen ışık üzerindeki etkileriyle tespit edilmişlerdir. Diğerleri, yıldızların etrafında bulunan, gezegenlerin oluştuğu toz diskleri üzerindeki kütleçekim etkileriyle tespit edilmişlerdir, bu da bizim gezegen oluşumu hakkındaki fikirlerimizi tatminkâr biçimde doğrular. Şu ana kadar çok az sayıda Güneş dışı gezegen kızılaltı teleskoplar kullanılarak elde edilen görüntülerde küçücük lekeler halinde doğrudan fotoğraflanmıştır. Ve başka yöntemler de vardır. Bununla birlikte, bu keşiflerin neredeyse tümünün ortak bir özelliği bulunmakta – bunlar şu ana kadar yeryüzündeki teleskoplar kullanarak başarılı olmuştur. Ancak artık, Güneş dışı gezegen araştırmalarına tahsis edilmiş uzay gözlemevleri bulunuyor (2009 yılında fırlatılan Kepler uzay aracı dahil) ve bunlar Dünya atmosferinin engelleyici katmanlarının üstünde gözlem yaptıkça keşiflerin sayısı çarpıcı biçimde artmaya devam ediyor. Bu yüzden şu an, ötegezegen gözlemlerindeki ilk aşamayı enine boyuna değerlendirmek için özellikle iyi bir zaman.

## GEZEGEN BOLLUĞU

Ötegezegen araştırmasının bu ilk aşaması, kaçınılmaz olarak sıra dışı yörüngelerde birçok büyük gezegen bulmuştur. Bu yüzden diğer dünyaların araştırılması açısından bakıldığında, şu an bilinen Güneş dışı gezegen sistemlerinin yirmiden fazlasının birden fazla gezegen içerdiğinin bilinmesi oldukça teşvik edici. Yaklaşık yüz gezegenin birçok gezegen sisteminde normal yıldızların etrafında döndüğü biliniyor. Hâlâ çoğunlukla büyük gezegenleri ("jüpiterleri") keşfediyor olsak bile bu, bu tür gezegenlerin tek başlarına oluşmadığını ve Güneş Sistemimizde olduğu gibi, bu jüpiterlerin en azından bir kısmına daha küçük kayalık gezegenlerin ("dünyaların") eşlik ettiğini akla getirir.

Bugüne kadar keşfedilen gezegenlerin çoğu, aşağı yukarı güneşimize benzeyen (ve tarihsel nedenlerle F, G veya K yıl-

dızı olarak bilinen) yıldızlar etrafında dönmektedirler (Güneş bu sınıflandırmada bir sarı $G_2$ cüce yıldızdır). Bunun bir nedeni, araştırmaya dahil olan gökbilimcilerin doğal olarak özellikle bu tür yıldızlarla ilgilenmeleridir. Fakat daha sonra ele alacağım gibi, Güneş'ten çok daha büyük ya da çok daha küçük yıldızların diğer dünyaların oluşumu için uygun şartları sunmadığını düşünmek için de nedenler var. Bugüne kadar keşfedilmiş gezegenlerin çoğunun Dünya'dan en az on kat büyük olmasına ve bazılarının Jüpiter'den çok daha büyük olmasına rağmen, kütlesi Dünya'nın yalnızca birkaç katı olan birkaç gezegenin bulunması bile (bunların saptanmasındaki güçlüklere rağmen), bu tür kayalık gezegenlerin aslında oldukça yaygın olduğu fikrini uyandırıyor.

Ne yazık ki kabaca Dünya boyutundaki bu gezegenlerin önemli kısmı, sıcak jüpiterlerde olduğu gibi ana yıldızlarına çok yakın yörüngelere sahiptir. Bunun doğal açıklaması, bunların yıldızlarından gelen ısının etkisiyle buharlaşıp yalnızca kayalık çekirdeği kalan sıcak jüpiterlerin kalıntıları olmalarıdır. Tipik bir örneği, ana yıldızının etrafında yalnızca 2,6 milyon km uzaklıkta 20 saatten biraz uzun bir sürede dolaşan COROT-7b gezegenidir. COROT-7 yıldızı, yalnızca yaklaşık 1,5 milyar yıl yaşında olan, Güneş'e benzeyen ama ondan biraz daha serin ve küçük bir sarı cücedir; COROT-7b'nin çapı Dünya'nın çapının iki katından biraz daha küçüktür ve yoğunluğu az çok bizim gezegenimizinki kadardır. Ancak gezegen, yıldızına öyle yakındır ki yüzey sıcaklığı muhtemelen 2000°C'yi aşar ve bu sıcaklık kayayı eritmeye yeter. Her halükarda, yörüngesi tam dairesel olmadığı ve yıldızına çok yakın olduğu için, gelgite neden olan kuvvetler ritmik olarak gezegeni sıkıştırır, iç kısmını ısıtır ve neredeyse kesin olarak yüzeyde sürekli volkanik hareketler üretir. Yaşam için olası bir yuva değil. Bilgisayar simülasyonları, COROT-7b'nin yaşamına şimdiki yörüngesinden yüzde 50 daha geniş bir yörüngede yaklaşık olarak Satürn'le aynı kütleye (kabaca Dünya'nın kütlesinin yüz katı) sahip olan bir gaz devi olarak başladığını gösteriyor.

Sıcak jüpiterlerin başlangıçta şaşırtıcı ama kolay olan keşfinden sonra, çoğu "jüpiterin" ('dünya' kelimesinin tüm küçük ve kayasal gezegenleri nitelemesi gibi, tüm büyük ve gaz halindeki gezegenleri karşılayan bir terim) esasında ana yıldızdan çok daha uzaktaki yörüngelerde bulunduğu görüldü. Aynı zamanda, kendi Güneş Sistemimizdeki Jüpiter ve Satürn'ün yörüngesine kabaca benzeyen yörüngelerde bulunan bu tür bir veya iki gezegene sahip sistemlerin nadir olmadığı ortaya çıktı. Belki onlara başka dünyalar eşlik etmektedir; yıldızların etrafında gezegen oluşumunu gösteren bilgisayar simülasyonları, gaz devlerinin yanında kaçınılmaz olarak daha küçük, kayalık gezegenlerin de bulunduğu gösteriyor. Şu anda bazı gökbilimciler, her Güneş benzeri yıldızın "yaşam kuşağı" denilen, bir yıldızın etrafında sıvı haldeki suyun var olabildiği bölgede en az bir "Dünya benzeri" gezegene sahip olduğunu düşünüyorlar. Ancak onlar "Dünya benzeri" teriminin içine yalnızca diğer gerçek dünyaları değil, Venüs ve Mars gibi gezegenleri de dahil ediyorlar. Gene de tek büyük fark, Jüpiter benzeri ötegezegenlerin yörüngelerinin Güneş Sistemi içindeki eş gezegenlerin yörüngelerine göre çoğunlukla daha eliptik (daha az dairesel) görünmesidir.

İki keşif daha evrenin başka yerlerinde yaşam olma ihtimaliyle ilgili söylentileri canlandırdı. Bunların birisi, Dünya'dan biraz daha büyük olan ama aslında güneşimizden çok daha soluk bir yıldızın etrafında dönen bir gezegenin keşfiydi. Yıldız, Gliese 581 adıyla bilinen sönük bir kırmızı cücedir; Güneş'in kütlesinin ancak üçte birine sahiptir ve bizden Terazi takımyıldızı doğrultusunda yalnızca 20 ışık yılından biraz fazla uzaklıktadır. Gezegen ise Dünya'nın yalnızca 1,9 katı bir kütleye sahiptir ve kırmızı cücenin etrafındaki dönüşünü 3,15 günde tamamlar, yani yıldızına, yüzeyinde sıvı halde su bulunamayacak kadar fazla yakındır. Fakat aynı sistemde bulunan diğer bir gezegenin kütlesi yalnızca yedi Dünya kütlesi kadardır ve yörüngesi de daha uzaktadır; her bir dönüşünü 66,8 günde tamamlar. Bir kırmızı cücenin sıcaklığın 0°C ve 40°C olduğu yaşam kuşağının tam göbeğinde

bulunur. Suyla kaplı olabilir. Uzaydaki komşularımız arasında kırmızı cüceler yaygındır ve kırmızı cüceler, Gliese 581'de olduğu gibi jüpiterlere değil, "süper dünyalar"a ev sahipliği yapıyorlar gibi görünmektedir. Bu durum onları, ötegezegen araştırmalarında öncelikli hedefler haline getirir, Güneş'ten çok daha küçük olsalar bile.

Yakın tarihteki gelişmelerden bir başkasının kalbinde ise su yatıyor. 2007'de gökbilimcilerden oluşan büyük bir ekip, sıcak jüpiterlerin birinin atmosferinde su tespit ettiklerini bildirdi. Bunu başarabilmişlerdi çünkü daha önceki araştırmaların birinde keşfedilmiş olan bu gezegen bizden 64 ışık yolu uzaklıkta *Tilkicik* olarak bilinen takımyıldızın istikametinde bulunan HD 189733 adındaki ana yıldızının önünden geçmişti. Yıldızdan gelen ışığın bir kısmı, yoluna devam etmeden önce dev gezegenin atmosferinin içinden geçti ve kızılaltı dalgalarda çalışan Spitzer Uzay Teleskobu tarafından yakalandı. Suyun gezegenin atmosferindeki etkisi, ışığın kızılaltı görüntüsünde açıkça görünüyordu.

Bu yeterince etkileyici değilmiş gibi, 2008 yılında Toronto Üniversitesinden bilim adamları Hawaii'deki Gemini Gözlemevini kullanarak, Güneş benzeri bir yıldızın yörüngesinde bulunan bir gezegenin ilk fotoğrafını elde ettiler.

Her şeyi bir araya getirdiğimizde biliyoruz ki gezegenler yaygındır; yıldızların etrafındaki yaşam alanlarında kayalık gezegenler bulunmaktadır. Ve başka yıldızların etrafındaki gezegenlerde su vardır. Samanyolu galaksisindeki bir trilyon yıldızın ihtiyatlı bir tahminle milyarda biri (yalnızca yüzde 0,1'i) "ıslak dünyalar" diyebileceğimiz gezegenlerle çevrilidir. Yaşam, bunun gibi potansiyel bir gezegende nasıl tutunabilir?

## TOZLU BAŞLANGIÇLAR

Gezegenlerin oluşumu hakkında bildiğimiz her şey, yaşamın ıslak bir dünyanın oluşumunun neredeyse kaçınılmaz bir yan ürünü olduğunu akla getirir. Yıldızlar (ve gezegenler) uzaydaki çöken gaz ve toz bulutlarından oluşur. Samanyolu'nda bu maddeden bol miktarda bulunmaktadır, ne var ki bu çök-

meye başlamadan önce bir tetikleyiciye (bir çeşit sıkıştırmaya) ihtiyaç duyar. Ne var ki Dünya benzeri gezegenlerin oluşumu için vazgeçilmez olan toz, toplamın yalnızca küçük bir kısmı eder. Yıldızlar arasındaki bulutlar, neredeyse tamamı Büyük Patlamadan kalan hidrojen ve helyum olan yüzde 98 oranında gazdan oluşmaktadır, bu da diğer her şey için geride kalan yalnızca yüzde 2'lik kısmı bırakır. Yaklaşık 25 ışık yılı genişliğinde ve bizden 1400 ışık yılı uzaklıkta bulunan Orion Bulutsusu gibi bulutlarda genç ve yeni oluşmuş yıldızlar görebiliyoruz; bu bulutsu, yüzlercesi henüz Güneş gibi olgun bir evreye gelememiş olan binlerce genç yıldız içeriyor. Orion Bulutsusu Dünya'ya en yakın olan yıldız oluşum alanı olduğu için, bu nesnelerden bazıları oldukça ayrıntılı biçimde incelenebilmektedir. 150'den fazla örnekte tozlu malzeme diskleri tespit edilmiştir ve hatta bulutsu içindeki genç yıldızların etrafında bunların bazıları fotoğraflanmıştır. Yakın çevremizdeki başka yerlerde genç yıldızlarla bağlantılı benzer diskler de tanımlanmıştır.

Bu diskler yeni gezegenlerin oluşmakta olduğu bölgelerdir. Bazı durumlarda gezegenler, diskleri eğen, zaman zaman da bazı bölgelerin tozunu temizleyen kütleçekim etkileri sayesinde tespit edilmişlerdir. Böylece gezegenlerin bu disklerle bağlantılı olduğunu biliyoruz, bunlara da ilgili sebeplerden ötürü ön gezegen diskleri (PPD) adını veriyoruz. PPD'ler hakkında birçok bilgi kızılaltı dalga boylarında yapılan çalışmalardan elde edilir çünkü diskler yıldızlardan çok daha serindir; soğuk bir nesne sıcak bir nesneye göre daha uzun dalga boylarında enerji yayar. Diskler ana yıldızlarından daha kısa dalga boylarında gelen enerjiyle ısınırlar ve enerjilerini kızılaltı ışımayla yayarlar. Kızılaltı ışınımın doğası, bu sürece dahil olan toz taneciklerinin boyutunun çok küçük olduğunu ve çaplarının yaklaşık 10 mikrona –metrenin on milyonda biri– ulaşabildiğini gösteriyor. Bu kabaca bir bakteri boyutuna eşittir. Ancak diskler neredeyse tamamen tozdan oluşur çünkü ilk bulutta bulunmuş olan ama merkezdeki yıldızın içine doğru çökmemiş gazlar, genç yıldızın ışınımıyla sistemin dışına sürüklenir.

Yaklaşık 53 ışık yılı ötede Beta Pictoris olarak bilinen iyi incelenmiş bir sistemde, Dünya'nın kütlesinin birkaç yüz katı kütle (yaklaşık olarak Jüpiter'in kütlesi kadar) diskte toz halinde bulunmaktadır. Optik ve kızılaltı araştırmalar, diskin içindeki halkalarda belki de gezegen oluşum alanları olan daha yoğun toz kümelerinin bulunduğunu gösteriyor. Aslında gördüğümüz devasa miktarda toz, gezegenimsi olarak adlandırılan ve birbirleriyle çarpışarak sonunda büyük gezegenleri meydana getiren, sistemde oluşmuş ilk kayalık nesneler arasındaki çarpışmaların sonucu olabilir.

Bu bağlamda Beta Pictoris, tahminen yalnızca birkaç on milyon yıl yaşında olmasına rağmen görece yaşlı sayılır. Daha da genç olan HL Tauri yıldızı, çapı 2000 AU'yu aşan ve güneşimizin kütlesinin yaklaşık onda birini –Güneş Sistemimizdeki tüm gezegenlerin toplam kütlesinin on katını– içeren bir diske sahiptir. Bu muhtemelen Beta Pictoris'in çevresinde görülen ikinci tür toz değil, başlangıçtan beri var olan kozmik tozdur. 400 milyon yıldan daha genç olan yıldızların yaklaşık yüzde 60'ının kendisine bağlı toz diski bulunur ama 400 milyon yıldan daha yaşlı olanların yalnızca yüzde dokuzu bu disklere sahiptir. Bütün kanıtlar, disklerin gezegenlerin oluşumu esnasında mevcut toz süpürüldüğü için ortadan kalktığı yönündedir ve bir dizi araştırmadan çıkan sonuca göre söz konusu birkaç yüz milyon yıllık süreç Güneş Sisteminin oluşum süresiyle oldukça uyumludur (konuyla ilgili daha fazlası sonraya bırakılmıştır).

Peki ama toz ne içerir? İçerdiği en önemli maddelerden biri buz halindeki sudur. Evrendeki en yaygın element, ağırlığa göre yaklaşık yüzde 73'lük bir oranla hidrojendir. Sonraki en yaygın madde ise yüzde 25'le helyumdur. Bunların her ikisi de Büyük Patlama esnasında ortaya çıkmıştır ama helyum kimyasal tepkimelere girmediğinden yaşam sürecinde doğrudan rol almaz. Üçüncü en yaygın element yüzde 0,73 oranla oksijendir ve bunu yüzde 0,29'la karbon izler. Kütle açısından sonraki sırada bulunan element demirdir ama çevredeki atom sayılarına bakıldığında beşinci sırada nitrojen yer almaktadır. Gökbilimciler kimyasal inceliklere

karşı bir parça kendini beğenmiş bir tavırla yaklaşarak hidrojen ve helyum dışındaki tüm elementleri "metaller" adı altında toplarlar. Fakat adı ne olursa olsun önemli olan nokta, oksijenin hidrojenden sonra en tepkimeye açık element olması ve hidrojenle oksijenin suyu oluşturmak üzere hevesle tepkimeye girmesidir. Bu yüzden yıldızlararası taneciklerle PPD'lerdeki taneciklerin karbon tanecikleri (grafit) gibi katı parçacıkların yüzeyinde bir tabaka oluşturan bol miktarda su buzu içermesi kaçınılmazdır.

Bu tanecikler, neredeyse sigara dumanındaki katı parçacıklar kadar büyüktür. Buz uzayda su aşamasından geçmeden doğrudan doğruya gazdan katıya dönüşerek oluştuğu için, buz küplerinden çok kar tanelerine benzer ve bir "kar tanesi" diğeriyle çarpışınca yapışmaya ve daha büyük tanecikler oluşturmaya eğilimlidir. Taneciklerin yapışkanlık eğilimi desteklenir çünkü su molekülleri bir uçta artı diğer uçta da eksi elektrik yüküne sahiptir ve bu da tanecikleri küçük çubuk mıknatıslar gibi bir arada tutan elektrik kuvvetleri üretir. Gökbilim normlarına göre kısa süre içinde PPD'deki tanecikler kütleçekim kuvvetiyle birbirlerini çekmeye yetecek kadar büyürler ve gezegen oluşum süreci başlar.

Bu tür taneciklerin yüzeyinde oluşabilen molekül türleri şaşırtıcı bir biçimde karmaşıktır. Uzayda karmaşık moleküllerin varlığını yıldızlar arasındaki büyük toz ve gaz bulutlarının radyo dalga boylarında yapılan gözlemleri sayesinde biliyoruz. Tıpkı bir elementi oluşturan atomların görülebilen ışık tayfında barkot benzeri özgün izler üretmesi gibi, çeşitli karmaşık molekül türlerinin her biri, tayfın radyo dalga aralığında kendi özgün izlerini oluşturur. Bugüne kadar uzayda 140'tan fazla farklı molekül türü bu şekilde belirlenmiştir. Bunlar moleküler hidrojen ($H_2$) ve su ($H_2O$) gibi basit ve sıradan maddelerden n-propil siyanür ($C_3H_7CN$) ve etil format ($C_2H_5OCHO$) gibi her bir molekülde on veya daha fazla atom barındıran bileşiklere kadar değişir. Bu iki örnekte olduğu gibi bu karmaşık moleküllerin pek çoğu karbon, hidrojen, oksijen ve nitrojen atomlarının birleşimlerinden oluşur. Bu bir yandan şaşırtıcı değil, çünkü

bahsetmiş olduğum gibi bunlar evrende etraftaki atom sayılarına bakıldığında en yaygın dört tepkisel elementtir. Diğer yandan bu oldukça önemlidir çünkü "CHON"[5] adı verilen bu dört element yaşamın kimyasındaki en önemli elementlerdir. Bu açıkça, yaşamın ulaşılabilir kimyasal elementleri kullanmasıyla ilişkilidir. Ancak karbonun olağandışı kimyasal özellikleriyle de ilgisi vardır.

## KOZMİK KİMYA

Karbon atomlarının bir seferde diğer karbon atomları da dahil diğer dört atoma sıkıca bağlanma gibi olağanüstü bir yeteneği vardır. Bunu zihinde canlandırmanın en kolay yolu, bir karbon atomunun yüzeyinden dört kancanın çıktığını ve bunların her birinin bir kimyasal bağ kurmak üzere diğer atomları kavradığını hayal etmektir. En basit örnek olarak, metan bileşiğinin her bir molekülü, kendisine bağlarla bağlanmış dört hidrojen atomuyla çevrili tek bir karbon atomundan oluşmaktadır ($CH_4$). Ancak karbon atomları aynı zamanda zincirler oluşturmak üzere baş ve son kısımlarından birbirlerine bağlanabilirler; bu zincirdeki her bir karbon atomunu diğer iki karbon atomuna bağlar ancak iki bağı diğer atom türlerini kavramak üzere serbest bırakır ve zincirin iki ucunda her birisi üç ayrı bağa sahip iki karbon atomu bırakır. Veya zincir bir halka oluşturabilir; burada karbon atomları gevşek bir ilmek meydana getirir ve hâlâ halkadaki her bir atomun diğer bağlantılar kurması için mevcut iki bağ bulunmaktadır. Diğer halkalar ve zincirler içeren karmaşık karbon temelli moleküller bile diğer karbon zincirlerine ya da diğer halkalara tutunabilir. Yaşamın karmaşıklığını olası kılan şey, karbon kimyasının bu zengin potansiyelidir. Gerçekten de, kimyacılar yaşamın karmaşıklığını araştırmaya başladıklarında ve yaşamın en derininde karbonun saklı olduğunu fark ettiklerinde "organik kimya" terimi "karbon kimyasıyla" eşanlamlı hale gelmiştir.

---

[5] Carbon (karbon), Hydrogen (hidrojen), Oxygen (oksijen), Nitrogen (nitrojen) adlarının baş harflerinden oluşmaktadır –çn.

Yaşamın kimyasının iki anahtar bileşeni vardır. Biyolog olmayanlara göre en yaygın bilinen yaşam molekülü DNA, diğer adıyla deoksiribonükleik asittir. Bu bizim de dahil olduğumuz canlıların hücrelerinde kalıtım şifresini taşıyan moleküldür. Kalıtım şifresi, döllenmiş hücreye nasıl gelişeceğini ve erişkin hale nasıl geleceğini söyleyen, daha ziyade bir yemek tarifini andıran talimatlar içermektedir. Ancak aynı zamanda her bir hücrenin erişkin organizmanın işlevini sürdürmesi için doğru şekilde işlemesini sağlayan (örneğin nasıl karaciğer hücresi olacağını veya akciğerlerde nasıl oksijen emeceğini söyleyen) yönergelere sahiptir. Hücre mekanizması ayrıca bir başka molekül, yani ribonükleikasit ya da RNA içerir. Adından da anlaşılacağı gibi DNA molekülleri temelde RNA moleküllerinin aynısıdır ancak oksijen atomları içermez.

Ribonükleikasit adının "ribo" kısmı "riboz"dan gelmektedir (tam olarak söylemek gerekirse, adları riboznükleik ve deoksiriboznükleik asit olmalıdır). Riboz ($C_5H_{10}O_5$) basit bir şekerdir ama DNA'nın ve RNA'nın merkezinde yer alır. Ribozun her bir molekülü, dört karbon ve bir oksijen atomunun beşgen şeklinde bağlandığı bir çekirdekten meydana gelir. Beşgendeki dört karbon atomundan her biri, diğer atom ya da moleküllerle bağlanırken kullanılan iki boş bağa sahiptir. Ribozun kendi içinde bu bağlar, beşgeni hidrojen atomlarına, oksijen atomlarına ve bir adet daha karbon atomuna bağlayarak toplamda beş sayısına ulaşır ve bunun kendisi de daha fazla hidrojen ve oksijene eklenir. Ama bu bağlardan herhangi birinin yerine, kendileri de başka halkalara ya da zincirlere bağlanan karmaşık gruplarla olan bağlantılar da dahil başka bağlantılar gelebilir. DNA ve RNA'da her bir şeker halkası, fosfat grubu olarak bilinen, kendisi de başka bir şeker halkasına bağlı olan karmaşık bir yapıya bağlıdır. Öyleyse yaşam molekülerinin her ikisinin de temel yapısı birbirini izleyen şeker ve fosfat grupları zinciri ya da omurgasıdır; bu omurganın ucundan ilginç şeyler çıkar. Yaşamın şifresini taşıyan, mesajı gerçekte her bir harfin farklı bir kimyasal gruba karşılık geldiği dört harfli bir alfabeyle ileten, işte bu

ilginç şeylerdir. Ama burada incelenecek bir hikâye değildir bu; yıldızlararası kimya açısından bakıldığında önemli olan, DNA'nın temel yapı taşları, riboz molekülleridir.

Henüz hiç kimse uzayda riboz tespit edebilmiş değil. Fakat gökbilimciler glikolaldehit adında daha basit bir şekerin spektroskopik izini tespit etti. Glikolaldehit iki karbon, iki oksijen ve dört hidrojen atomundan oluşur (genellikle molekülün yapısını yansıttığı için $H_2COHCHO$ şeklinde yazılır) ve mantıklı olarak "iki karbonlu şeker" olarak bilinir. Henüz uzayda DNA'nın yapı taşlarını bulamadık ama yapı taşlarının yapı taşlarını bulmuş durumdayız.

Bir diğer "yaşam molekülü" proteindir. Proteinler vücudun yapısal malzemesidir; her zaman karbon, hidrojen, oksijen ve nitrojen atomları, çoğunlukla kükürt ve bazen de fosfor atomları içerir. Saç ve kas gibi maddeler, DNA ve RNA'daki uzun şeker ve fosfat zincirlerinden farklı olmayan uzun zincir şeklindeki proteinlerden meydana gelir. Kanınızda oksijeni taşıyan hemoglobin gibi tanecikler, zincirlerin kıvrılarak küçük toplar halini aldığı protein biçimleridir. Diğer küresel proteinler yaşamın yararına olan belirli kimyasal tepkimeleri destekleyen ya da yaşam için yıkıcı olan kimyasal tepkimeleri engelleyen enzimler olarak işlev gösterir. Proteinlerin çok büyük bir çeşitliliği vardır çünkü aminoasit denilen çok çeşitli alt birimlerden oluşurlar.

Aminoasit molekülleri tipik olarak bir karbon atomunun ağırlığının 12 olarak tanımlandığı standart ölçekte yaklaşık yüz birime karşılık gelen ağırlıklara sahiptir, ancak aynı ölçekte protein moleküllerinin ağırlıkları birkaç bin birimden birkaç milyon birime kadar değişir. Bu da bir protein molekülünü oluşturmak için kaç birim aminoasit gerektiği hakkında kaba bir fikir verir. Bunu anlamanın bir yolu, dünya üzerindeki tüm biyolojik malzemenin kütlesinin yarısının aminoasitler şeklinde olduğunu düşünmektir. Ancak belirli bir protein molekülü on binlerce veya yüz binlerce ayrı aminoasit birimi içeriyor olsa bile dünya üzerinde bulunan tüm yaşam formlarında bulunan tüm proteinler yalnızca yirmi farklı aminoasidin birleşimlerinden meydana gelmektedir. Aynı şekilde,

İngilizcedeki her bir kelime yalnızca 26 alt birimin, yani alfabenin harflerinin farklı birleşimlerinden oluşur. Başka birçok aminoasit türü vardır ancak protein oluşturmak amacıyla bildiğimiz şekliyle yaşam tarafından kullanılmazlar.

Eğer bir kimyacı laboratuvarda aminoasit sentezlemek istiyorsa formaldehit (HCHO), metanol ($CH_3OH$) ve formamit ($HCONH_2$) gibi bileşiklerle başlamak görece kolay ve hızlıdır. Bu bileşiklerin tümüne geniş bir kimyasal yelpazesine sahip bir laboratuvarda ulaşılabilir. Kolayca bulunabilen bu tip maddelerle en temelden (su, nitrojen ve karbondioksitten) başlamak çılgınca olurdu. Ancak bu kimyasalları bulabileceğiniz tek yer kimya laboratuvarı değildir. Moleküler bulutların araştırılmasının en çarpıcı sonuçlarından biri, aminoasitleri sentezlemek için laboratuvarda rutin olarak kullanılan bileşiklerin (az önce bahsedilen üç bileşik dahil) tümünün etil format ($C_2H_5OCHO$) ve n-propil siyanür ($C_3H_7CN$) gibi diğerleriyle birlikte uzaydaki varlığının keşfidir. Bir anlamda moleküler bulutlar, karmaşık moleküllerin tek tek atomlardan değil de kısmen daha az karmaşık alt birimlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulduğu geniş depolara sahip kimya laboratuvarlarıdır.

Bunun yanı sıra en basit aminoasit olan glisinin ($H_2NH_2CCOOH$) uzayda tespit edildiğine dair iddialar vardır. Daha karmaşık aminoasitlerin izleri bir yana, böyle karmaşık bir molekülün spektroskopik izini yakalamak oldukça zordur. Dünya'ya ara sıra göktaşı olarak düşen ve Güneş Sisteminin oluşumundan kalan uzay artıklarından gelen kayalarda aminoasitler bulunmuş olsa da bu iddialar gökbilimciler tarafından evrensel düzeyde kabul görmüş değildir. Yine de yakın zamanlarda uzayda glisinin kimyasal bir öncülü olarak kabul edilen amino asetonitrilin ($NH_2CH_2CN$) saptanmış olması bu iddiaları güçlendirmiştir. Ancak şüpheci yaklaşıp bu iddiaları bir kenara bıraksak bile bu durum –DNA'nın durumunu hatırlatan bir şekilde– henüz uzayda proteinin yapı taşlarını bulamamış olsak da formaldehit, metanol ve formamit gibi bileşiklerinin belirlenmesiyle yapı taşlarının yapı taşlarını bulmuş olduğumuz anlamına gelmektedir.

Karmaşık organik moleküller yalnızca moleküler bulutların içinde oluşabilir çünkü bu bulutlar gazın yanında toz da içermektedir. Eğer bulutlarda yer alan tüm maddeler gaz formunda olsaydı, hayal edemeyeceğimiz bir süreç sonunda $NH_2CH_2CN$ gibi karmaşık bir molekül ortaya çıkmış olsaydı bile nasıl gelişebilirdi ki? Bir oksijen molekülüyle ($O_2$) çarpışmanın glisin ($H_2NH_2CCOOH$) elde etmek için gereken ek atomların bazılarını yakalama fırsatı sağladığını düşünebilirsiniz. Ancak oksijen molekülünün etkisi muhtemelen amino asetonitrilin büyümesini sağlamak yönünde değil, onu parçalara ayırmak yönünde olurdu. Fakat karlı bir buz tabakasıyla kaplı (yalnızca su buzu hali değil, donmuş metan ve amonyak gibi şeyler de içeren) küçücük katı tanecikler, moleküllerin yapışabileceği ve uygun kimyasal tepkimelerin gerçekleşmesi için yeterince uzun süre boyunca yan yana tutunabileceği yerler sağlar.

Yaşlı yıldızlar yaşamlarının sonuna doğru şişer ve uzaya madde püskürtürler. Henüz belirlenememiş çok sayıda spektral özellik olmasına rağmen, spektroskopik çalışmalar bu maddenin katı karbon, silikat ve yıldızların çevresindeki tozda kesin olarak tespit edilmiş en yaygın katı bileşen olan silisyum karbür (SiC) tanecikleri içerdiğini göstermektedir. Uzayda bu tür maddelerin yüzeyindeki şartları benzetimleyen laboratuvar deneyleri, bunların uzayda tespit ettiğimiz karmaşık organik molekül çeşitlerinin üretilmesi için gereken kimyasal tepkime türlerinin meydana gelebildiği ortamı sağladığını doğrulamıştır. Bu çalışmalardan bazıları, taneciklerin yalnızca kimyasal tepkimelerin meydana gelebileceği bir yüzeyi sağlamadığını, aynı zamanda moleküller ile yüzeyin kendisi arasında kimyasal bağlar olabileceğini akla getirir. Bu durum, moleküler bulutların görece sıcak kısımlarında bile moleküllerin kimyasal tepkimelerin gerçekleşmesi için yeterince uzun süre boyunca nasıl yapışık kaldığına bir açıklama getirmektedir. Yapıştıkları müddetçe tepkimelerin gerçekleşmesi için fazlasıyla zaman vardır, çünkü moleküler bulutlar bazı kısımları yeni bir grup yıldız oluşturmak üzere çökmeden önce Galaksi'de milyonlarca –hatta milyarlar-

ca– yıl boyunca gezinebilir. Tanecikler yeni oluşan yıldızın sıcaklığıyla ısındığında karmaşık moleküller serbest kalarak radyo teleskoplarımızla tespit edilebildikleri moleküler buluta dağılabilir.

Bu bağlamda basit bir organik molekül olan metanın 2008 yılında sıcak jüpiterlerin birinin atmosferinde saptanmış olması neredeyse bir düş kırıklığı olsa da gene de önemlidir. Bu sürpriz olmamıştı çünkü metan Jüpiter'in kendi atmosferinin önemli bir bileşenidir. Fakat yine de bir dönüm noktası sayılıyordu. Net olarak ifade edersek, bahsi geçen gezegen daha önce suyun belirlendiği ve HD 189733 yıldızının etrafında dönenle aynı gezegendir. Spitzer Uzay Teleskobuyla çalışan gökbilimciler aynı zamanda genç yıldızların etrafında bulunan, gezegenlerin oluştuğu disklerde bol miktarda hidrojen siyanür, asetilen, karbondioksit ve su buharı tespit ettiler. Ayrıca Carnegie Enstitüsünden bir ekip Erboğa (Centaurus) takımyıldızı yönünde 270 ışık yılı ötedeki HR 4796A olarak bilinen yıldızın etrafındaki toz diskinin kırmızı renginin tolin[¶] adı verilen organik bileşiklerin varlığından kaynaklanıp kaynaklanmadığını anlamak için yıldızdan gelen ışığı Hubble Uzay Teleskobuyla analiz etti. Tolinler morötesi ışığın metan, amonyak, su buharı gibi daha basit bileşikler üzerindeki etkisiyle üretilen büyük, karmaşık organik moleküllerdir. Laboratuvarda sentezlenebilirler fakat günümüzde Dünya üzerinde doğal halde bulunmazlar, çünkü oluştukları anda atmosferdeki oksijenle tepkimeye girerek parçalanırlar. Ancak varlıkları, Satürn'ün uydusu Titan'ın kırmızıya çalan kahverengi tonunu açıklar; kuyruklu yıldızlarda ve göktaşlarında bulunurlar ve gençken büyük ihtimalle Dünya'da var olmuş olabilirler. Tolinler yaygın bir kanıyla Dünya'daki yaşamın öncülleri olarak görülür, bu da HR 4796A'nın çevresindeki diskte keşfedilmelerini çok önemli bir haber haline getirmiştir.

Yine de bu, benzeri bileşikleri bir gezegende bulmakla aynı şey değildir. Dünya gibi gezegenler, büyüklüğü giderek artan kaya öbeklerinin yığılmasıyla oluşurken kayaların çar-

¶ *Tholin*, tolin olarak kullanılmıştır –çn.

pışması esnasında açığa çıkan kinetik enerjiden dolayı ısınır. Kayalık bir gezegen, yaşamına arınmış ve eriyik bir halde başlar; meydana geldiği materyalde bulunabilecek herhangi bir organik molekülü yok edecek kadar sıcaktır. Uzaydaki organik maddelere dair bütün gözlemler önemlidir, çünkü bunlar bize gezegenler karmaşık moleküllerin yaşamına izin verecek ölçüde soğuduktan sonra üzerlerine düşecek bu tür maddelerden oluşan muazzam bir kaynak bulunduğunu anlatır. Yaşam her yeni gezegen üzerinde su, karbondioksit ve nitrojenin temellerinden sil baştan "icat edilmek" zorunda değildir, tıpkı organik kimyacının aminoasitleri su, karbondioksit ve nitrojenin temellerinden sentezlemek zorunda olmadığı gibi.

## GAİA YAŞAMI

Gaia kuramının kurucusu olan, yaşamın doğası ve anlamı hakkında çoğu insandan daha derin düşünmüş olan James Lovelock'un deyişiyle, "Galaksimiz adeta yaşam için gerekli yedek parçaların bulunduğu devasa bir ambarmış gibi görünüyor." Dünya gibi bir gezegende yaşamın ne kadar çabuk tutunduğuna değinmeden önce, Lovelock'un büyük fikri Gaia'ya kısaca göz atmakta fayda var çünkü "diğer dünyalar"ın aranması birçok açıdan "diğer Gaialar"ı aramak anlamına gelir ve NASA'nın diğer Dünya benzeri gezegenleri tespit etme çalışmaları, Lovelock tarafından ortaya atılan Gaia kuramı kapsamında yaşam ve Evren arasındaki ilişkinin anlaşılınasına derinden bağlıdır.

Ne gariptir ki Lovelock konunun ana fikriyle çıkageldiğinde danışman olarak çalıştığı NASA'da hiç de hoş karşılanmamıştı. 1965 yılında NASA'daki görevi Mars'ta yaşam kanıtlarını araştırmak için yapılan deneylerin tasarımına yardım etmekti. İnsansız bir sonda aracılığıyla Mars'a algılayıcılar gönderilecekti ancak bu özel proje fırlatılıştan önce iptal edildi. Meslektaşları Dünya üzerindekilere benzeyen belirli yaşam biçimlerinin varlığının test edilmesi için deneyler üzerine yoğunlaşmışken Lovelock'un ilgisini gezegen

ölçeğinde yaşamın varlığına dair genel bir testin oluşturulması fikri çekmişti. Yaşamın temel özelliklerinden birinin kendisini ve çevresini kimyasal dengeden uzak bir halde sürdürmek olduğuna kanaat getirdi. Kişisel bir düzeyden bakıldığında, örneğin vücudunuz çevresinden daha sıcaktır. Küresel ölçekte belli bir örnek, Dünya'nın atmosferinde büyük miktarda oksijenin varlığıdır. Oksijen oldukça tepkiseldir ve Dünya üzerinde yaşam olmasaydı, kısa süre içinde su, karbondioksit ve nitrojen oksitleri gibi bileşikler içinde hapsolurdu. Oksijeni tüketildiği hızda havaya geri kazandıran şey, yaşamın kimyasal süreçlerini sürdürmek için Güneş'ten gelen enerjiyi kullanan yaşamdır.

O zamanlar, 1965'in baharında, hiç kimse Mars'ın atmosferinin nelerden meydana geldiğini bilmiyordu. Lovelock, gezegende yaşamın araştırılması için bir uzay aracı gönderme zahmetine katlanmaktansa Mars'ın tayfını kızılaltında tarama özelliğine sahip bir teleskop geliştirerek atmosferinde hangi gazların bulunduğu açığa çıkarmanın daha iyi bir yol olduğunu öne sürdü. Eğer bunlar karbondioksit gibi pasif gazlar olsaydı, geçmişinde ne olursa olsun Mars'ın şu anda ölü gezegen olduğu kanıtlanırdı.

Eylül 1965'te Fransız gökbilimcilerden oluşan bir ekip Lovelock'un fikirlerinden habersiz olarak Mars'ın atmosferinin kızılaltı tayfını inceledi ve neredeyse bütünüyle kimyasal denge halindeki karbondioksitten oluştuğunu ortaya çıkardı. En azından Lovelock'a göre bunun anlamı açıktı. Mars'ta yaşam yoktu ve araştırma için aletler göndermek anlamsızdı. Elbette Mars yüzeyinde araştırılacak diğer ilginç şeyler olabilirdi ama yaşamı tespit edebilecek deney düzenekleriyle dolu sondalar göndermek değerli kaynakların boşa harcanmasıydı. Bu sonuç kariyerlerini bu tür algılayıcılar tasarlamaya adayan bilim insanları arasında pek kabul görmedi ve günümüzde bile yani kırk yıldan daha uzun bir süre sonra NASA, Mars'a yaşam izleri arayan uzay araçları göndermeye devam ediyor.

Venüs'ün atmosferinde de karbondioksitin baskın olduğu ortaya çıkınca Lovelock, Dünya'yı özel kılan şeyin ne oldu-

ğunu düşünmeye başladı. Lovelock'un sözleriyle, "Soluduğumuz hava yalnızca biyolojik süreçler yoluyla kimyasal dengeden uzak, kararlı bir halde sürdürülen yapay bir madde olabilir." Lovelock canlıların atmosferin bileşimini sadece bugün değil, Dünya üzerindeki yaşamın tarihi boyunca –tam olarak milyarlarca yıldır– düzenlediği sonucuna vardı.

Bu o zamanlarda gökbilimcilerce "sönük genç güneş problemi" olarak bilinen gizemi çözmüş oldu. 1960'larda gökbilimciler yıldızların etkinlik biçimlerine dair hesaplamaları ve diğer yıldızlar hakkındaki çalışmaları sayesinde Güneş'in gençken günümüzde olduğundan yüzde 25 daha soğuk olduğunu zaten biliyorlardı. Diğer koşullar sabit olduğu takdirde, Dünya donmuş olurdu. Bilmecenin çözümü, Dünya gençken atmosferinin karbondioksit bakımından zengin olması ve güçlü bir sera etkisinin gezegenin yüzeyini sıcak tutmasıydı. Fakat o zaman da bilmece şu hale geliyor: neden Güneş ısındıkça kontrolden çıkan bir sera etkisi başlamadı ve Venüs'te olduğu düşünüldüğü gibi gezegenin yüzeyini kasıp kavurmadı? Lovelock'a göre yanıt yaşamın Güneş ısındıkça karbondioksiti yavaş yavaş ortamdan uzaklaştırıp Dünya'daki sıcaklıkları yaşam için uygun halde tutarak atmosferin bileşimini düzenlemiş olmasıdır.

Uzun yıllar sonunda bu bakış açısı Lovelock'un Dünya'nın canlı ve cansız bileşenlerinin yaşam için uygun koşulları sürdürmek için bir dizi geri besleme süreci içinde nasıl etkileştiğine dair eksiksiz bir kuram oluşturmasını sağladı; "Gaia" adından rahatsız olan bilim insanları buna "Dünya Sistemi Bilimi" adını verirler. Fakat işin içinde vücudunuzu aşağı yukarı sabit sıcaklıkta tutan birçok geri besleme işleminin bilincinde olduğunuzdan daha yüksek bir bilinç yoktur.

Gaia kuramından –veya Dünya Sistemi Bilimi de diyebilirsiniz– ilerleyen sayfalarda bahsedeceğiz. Buradaki esas nokta, Lovelock'un bakış açısının bize Güneş Sisteminin ötesinde yaşamı arama yollarını, Fransız gökbilimcilerin farkında olmadan Mars'ta yaşam bulunmadığını kanıtlamasıyla tam olarak aynı şekilde vermesidir. Üstelik NASA'daki

bilim insanlarının da artık Lovelock'un tam olarak arkasında olmaları da tatlı bir ironidir çünkü bu kez kariyerleri başka yerlerde yaşam arayışı için Gaia kuramının kullanımına bağlı durumda.

## DİĞER GAİALARI ARAYIŞ

Güneş dışı gezegenlerde yaşam kanıtı arama yöntemlerini kullanma, devasa bir büyütme işlemi içerir. Problemin bir parçası, tayfın karbondioksit, su buharı ve ozon (oksijenin üç atomlu yapısı) gibi ilginç moleküllerin izlerinin güçlü olduğu kızılaltı kısmında gözlemler yapmaktır. Ne yazık ki ışınımın kızılaltı dalga boyları Dünya'nın atmosferi ve Güneş Sisteminin iç kısmında bulunan tozlar tarafından emilir ve zayıf özellikleri ortaya çıkarmak güçleşir. Mars'ın atmosferini kızılaltı ölçekte çalışmak için ihtiyacınız olan tek şey Fransa'daki bir dağda Dünya atmosferinin engelleyici katmanlarının çoğunun üzerinde bulunan uygun durumdaki bir teleskoptur. Ancak Dünya boyutundaki Güneş dışı gezegenlerin atmosferlerini kızılaltı ölçekte incelemek için Jüpiter'in yörüngesinde Güneş Sistemiyle ilişkili tüm engellemelerden uzakta yer alan gelişmiş bir uzay teleskobuna ihtiyacınız var. Fransızların çığır açan çalışmasından yaklaşık yarım yüzyıl sonra nihayet işi başarmak için gerekli teknolojiye sahibiz; bunu kullanıma sunmak için ihtiyacımız olan tek şey para.

Hem Avrupa hem de Amerika uzay daireleri (ESA ve NASA) Güneş dışı gezegenlerin 1990'larda keşfedilmesinden hareketle böyle bir teleskobun ayrıntılı planlarını ürettiler. Avrupa sürümü "Darwin," ABD sürümü ise "Terrestrial Planet Finder" [Yerbenzeri Gezegen Arayıcısı] ya da TPF olarak adlandırılmıştı. Planları oldukça benzerdi ve eğer fikir plan aşamasından eyleme geçerse, bu başka bir ada sahip ancak aynı ilkeleri kullanan müşterek bir görev olacak. Yerbenzeri (Dünya benzeri) gezegenlerin en parlak olduğu aralık kızılaltı olduğu için (ana yıldızlarından soğurdukları enerji daha uzun dalga boylarında geri ışır çünkü gezegenler yıldızlardan daha soğuktur) teleskop kızılaltında çalışacak.

Yerbenzeri gezegenlerin saptanmasını mümkün kılmak için olabildiğince büyük bir teleskoba ihtiyacınız var. Neyse ki çok daha büyük bir teleskobun bazı özelliklerini taklit etmek için birbirine bağlı birkaç küçük teleskop kullanmayı mümkün kılan "interferometre [girişimölçer]" denilen bir teknik bulunmaktadır. Bu yöntem, bütün küçük teleskoplardan ışığı doğru şekilde toplamayı içermektedir; öte yandan bir teleskoptan diğerinin ışığını çıkarmak için de kullanılır. Gökbilimciler girişimölçer kullanma zorunluluğunu lehlerine çevirerek görüntü sahasının merkezinde nesneden gelen bütün ışığın sıfırlandığı zeki bir yöntem tasarlamışlardır. Böylece aslında yıldız kaybolur ve yıldızın yörüngesinde gezinen çok daha silik gezegenlere ait net bir görüntü ortaya çıkar.

Proje için yapılan ilk tasarımlar, her biri 1,5 metre çapında bir aynaya sahip, bir altıgenin köşelerinde eşgüdümlü halde uçan altı adet kızılaltı teleskoptan oluşan bir grubu içermekteydi. Bunlar birbirlerine ve bu dizilimin merkezindeki insansız bir uzay aracına lazer ışınlarıyla bağlı olacak, bu da onların merkezi uzay aracı verileri Dünya'ya geri gönderirken sıkı bir düzeni korumalarını sağlayacaktı. Bitişik uzay araçlarının arasındaki mesafe yaklaşık 100 metre olacaktı, ancak Güneş'in etrafında Dünya'dan 600 milyon kilometre uzaktaki bir mesafede dönerlerken konumlarını bir milimetreden daha yüksek bir hassasiyetle korumaları gerekecekti. Tasarımın daha sonraki biçimleri teleskop sayısını dörde düşürmüş ama her bir aynanın çapını 6 metre civarına çıkarmıştır; ancak sonuçta her ne karar alınmış olursa olsun, temel ilkeler aynı kalmıştır.

Şaşırtıcı bir şekilde, uzmanlar bu tür bir görevin iznin alınmasından sonraki birkaç yıl –kesinlikle on yıldan kısa bir süre– içinde başlayabileceği konusunda bizi temin ediyor. Fakat o zaman galaksimizin yakın çevresinde diğer dünyaların yerlerini belirlemek, çok aşamalı bir süreç içinde yıllar boyu süren itinalı gözlemler gerektirecek.

İlk adım yerbenzeri gezegenler bulmak olacak. Bu aşağı yukarı Dünya, Venüs ya da Mars boyutunda olan ve aşağı yukarı Dünya, Venüs ya da Mars'ınkine yakın yörünge-

lere sahip gezegenler anlamına geliyor. Merkür gibi gezegenler, bu teknolojinin kullanılmasıyla tespit edilmek için hem fazla küçüktür hem de ana yıldızlarına fazla yakındır. Gökbilimciler bizden yaklaşık 50 ışık yılı uzaklıkta gezegen sistemlerine sahip olmak için iyi adaylar olarak görülen 200 yakın yıldızın bulunduğu bir hedef listesi çıkardı. Bu yıldızların yörüngesinde dönen herhangi bir yer benzeri gezegeni tespit edebilmek için teleskobun birkaç on saat boyunca her bir sisteme bakması gerekir, bu yüzden listenin tamamını taramak ve gezegeni olmayan yıldızları elemek birkaç yıl alacaktır. Bunun ardından, işler ilginçleşmeye başlayacak.

Sonraki aşama, atmosferi olan gezegenleri aramak olacak. Bunun muhtemelen en belirgin izi, kızılaltı ışınımın hem güçlü bir soğurucusu hem de güçlü bir yayıcısı olan karbondioksitten gelecek; işte bu yüzden karbondioksit etkili bir sera gazıdır. Bir gezegenin tayfında karbondioksit izinin belirlenmesi her bir gezegen için yaklaşık 200 saatlik gözlem süresi demektir. Bu yüzden gelecek birkaç yıl boyunca bu şekilde en iyi seksen aday incelenecek. Şansımız yaver giderse programın bu aşaması gezegenlerin bazılarının atmosferlerinde su buharının varlığını da açığa çıkaracak.

En sonunda Lovelock testini uygulamak ise ancak o zaman mümkün olacak. Bir gezegenin atmosferinde oksijen gibi tepkisel bir gazın büyük miktarda bulunması, onun dengesiz bir durumda bulunduğuna ve yaşam için olası bir barınak olduğuna dair kanıt sunardı. Dünya üzerinde de olduğu gibi, eğer Güneş'e benzer bir yıldızın yörüngesinde dolanan herhangi bir yerbenzeri gezegenin atmosferinde oksijen bulunuyorsa, yıldızdan gelen morötesi ışınla etkileşimler oksijenin ($O_2$) bir kısmını ayırt edici kızılaltı bir ize sahip olan ancak karbondioksitin izinden çok daha zayıf olan ozona ($O_3$), yani oksijenin üç atomlu biçimine dönüştürür. Teleskop ozonun varlığını aramak için araştırmanın bir önceki aşamasında belirlenmiş en iyi yirmi adayın her birini sırayla gözlemlerken bir seferde yaklaşık 800 saat harcamaya birkaç yıl daha devam edecek.

Tüm bunları bir araya getirdiklerinde, gökbilimciler eğer yarın böyle bir görev için mucizevi bir fon bulunacak olsaydı dünyadan 50 ışık yılı mesafede diğer yaşam barındıran gezegenlerin –diğer Gaiaların– olup olmadığını kesinlikle bileceğimizden eminler. Bu, böyle bir proje için iç karartıcı bir zaman ölçeği gibi gelebilir ama bu paragrafı Ay'a ilk inişin kırkıncı yıldönümünde yazmış bulunuyorum. Şu andan diğer bir dünyanın keşfine kadar geçecek zaman, Apollo 11'den bugüne kadar geçen zamanın yarısından daha kısa olabilir; böylece bunların her ikisi de kendi yaşam sürem içinde gerçekleşebilir. Yıldızlar ve gezegenler hakkında şu anda bildiğimiz her şey göz önünde bulundurulduğunda, araştırma gerçek anlamda başladığında herhangi bir sonuç alınmazsa, bu bizim için son derece şaşırtıcı olacak. Diğer Gaiaların gerçekten de var olduğuna, Darwin/TPF projesi gibi şeylerden alınan veriler olmadan olabileceğim kadar eminim.

Ne var ki yaşam bulmak arayışın yalnızca bir kısmı. Dışarılarda bir yerlerde akıllı yaşam var mı? İşte bu, kitabın cevaplamaya koyulduğu soru. Şu ana kadar haberimiz olan tek zeki yaşam kendimizinki ve kesin olarak bildiğimiz tek şey Dünya'da zekânın ortaya çıkmasının çok uzun bir zaman almış olması. Eğer (ve bu oldukça büyük bir eğer) bu tipikse, belki de yaşamın gezegen tarihinin erken dönemlerinde tutunması önemlidir. Öyleyse yaşam Dünya'da nasıl başladı; bu bize başka yerlerde akıllı yaşam bulma olasılıkları hakkında ne anlatabilir? Güneş Sistemimiz gerçekten de trilyonda bir midir veya "onlar" dışarıda bir yerde bizden haber mi beklemektedir?

# 1

# İKİ PARADOKS VE BİR DENKLEM

Yaşam, Dünya'da neredeyse gereksiz bir telaşla tutundu. Gezegenimiz henüz gençken, yaşamın tutunamayacağı düşman bir çevre yaratan Güneş Sisteminin oluşumundan kalan enkazın bombardımanına uğradı. Bu bombardıman Ay'a da zarar verdi. Ay'daki krater oluşumuna dair araştırmalar ve diğer bulgular bize bu bombardımanın 3,9 milyar yıl önce, Güneş Sisteminin oluşumundan yaklaşık 600 milyon yıl sonra azalarak sona erdiğini söylüyor. Fakat bombardıman sona erer ermez yaşamın başladığına dair kanıtlar var.

En eski kanıt yaşamın kendisine değil ama yaşamın karakteristik bir izine ait. Karbon atomları izotop denilen, aynı kimyasal özelliklere ama farklı kütlelere sahip birkaç farklı biçimde görünür. Kararlı halde bulunan en yaygın hali karbon-12'dir ama karbon-13 denilen, biraz daha ağır olan, kararlı yapıdaki bir başka hal de vardır. Canlılar çevrelerinden karbon-12 almayı tercih eder, böylece çevresindekilerle kıyaslandığında daha hafif izotop fazlası üretir. Grönland'da 3,8 milyar yıldan daha yaşlı kayaçlar, tam olarak yaşamın bu izotopik izini içermektedir. Bu, bombardıman sona erdiği anda Dünya üzerinde biyolojik süreçlerin sürmekte olduğunu düşündürüyor. Bunun en makul açıklaması ise, bombardımanın yıldızları oluşturan gaz ve toz bulutlarında var olduğu bilinen kimyasal karışımda mayalanan yaşam tohumlarını beraberinde getirmiş olmasıdır.

Bu bulutlarda spektroskopiyle tespit edilmiş olan yaşamın öncüllerinden başka, günümüzde meteoritlerde* ve Dünya'nın atmosferinde yanan meteorların bıraktığı toz izinde hem aminoasitler hem de şekerler bulunmuştur. Bu

* Göktaşlarının Dünya'ya düşenlerine meteorit adı veriliyor –çn.

karmaşık organik moleküllerin kökeni aminoasitlerin yoğun yıldızlararası bulutlardakilere şartlara benzer şartlarda sentezlendiği NASA deneylerinde doğrulanmıştır. Bu organik moleküller proteinin başlıca kısımları olan glisin, alanin ve serin içermektedir. Nihayet 2009 yılında NASA bilim insanlarından oluşan bir ekip, Wild 2 kuyrukluyıldızından Stardust adlı uzay sondasıyla Dünya'ya geri getirilen materyalde glisin bulduklarını duyurdular. Bu, uzayda bir aminoasidin saptandığının ilk doğrulamasıydı. Böyle bir materyal genç Dünya'ya ilk bombardımanın sonunda yığınla yağmış olsa gerek. Stardust ekibinin bir sözcüsünün belirttiği gibi, "Keşfimiz, yaşamın bazı içeriklerinin uzayda oluştuğu ve uzun zaman önce Dünya'ya göktaşı ve kuyrukluyıldız çarpmalarıyla taşındığı kuramını destekliyor."

Böyle olsa bile yaşam hakkında konuştuğumuzda çoğu kişi canlı varlıkların doğrudan kanıtlarını ister –fosiller. Bilinen en eski fosil, stromatolit denilen bakteri kolonilerinin kalıntılarıdır. Bunlar Güneş Sisteminin oluşmasından bir milyar yıldan kısa ve ilk bombardımanın bitişinden 300 milyon yıldan kısa bir süre sonra oluşan, 3,6 milyar yıl yaşındaki kayaçlarda bulunur. Stromalitler yalnızca erken yaşamın doğrudan kanıtı değildir; aynı zamanda o sırada çoktandır çok çeşitli mikrop türlerinin iç içe yaşadığı ve birbirleriyle etkileşime girdiği karmaşık bir ekosistemin bulunduğuna da kanıt oluşturmaktadır. İzotop kanıtlarının gösterdiği gibi, yaşamın kendisinin 3,6 milyar yıldan bile çok daha önce başlamış olması gerektiği açıktır.

Ancak stromatolitler aynı zamanda Dünya'daki yaşamın en önemli özelliklerinden birini vurgular. Yaşamın kimyası her zaman dış dünyadan korunan özel bir ortamda meydana gelir. O özel yer hücredir, yani yaşamın tüm gereklerini içeren sulu bir sıvı dolu minicik bir kutu. Hücrenin içerisinde, DNA ve RNA kendilerinin kopyalarını yapma (üreme) ve protein moleküllerinin üretimi için komut verme işlerini sürdürebilirler. Bu, yaşamın olmazsa olmaz kimyasıdır. Ama güvenli bir ortamda tutulmalıdır.

Hücrenin önemini değerlendirmenin en iyi yolu, yaşamın temel kimyasal tepkimelerinin gerçekleşmesini destekleyen proteinler olan enzimlerin rollerine bakmaktır. Enzimler özellikle dayanıklı moleküller değildir. Çok soğuk veya çok sıcakta bozulurlar. Fazla asidik veya fazla alkalin bulunan ortamlarda bozulurlar. Eğer bozulurlarsa işlerine daha fazla devam edemezler ve yaşam sona erer. Dolayısıyla onların bazı moleküllerin girişine izin veren ancak bazılarını dışarıda tutan ve bazılarının dışarıya çıkmasına izin veren ama diğerlerini içeride tutan özel bir tür koruyucu duvarın sınırları içinde işlev göstermeleri gerekir. Bu duvar yarı geçirgen zar olarak adlandırılır ve bir hücre baloncuğunu çevreleyen işte bu duvardır. Yaşamın belirleyici özelliklerinden biri –belki de *tek* belirleyici özellik–, hücre içinde yaşam süreçlerinin sürdüğü bölgenin çevresiyle kimyasal denge halinde olmamasıdır. Denge, ölümle eşittir. Yaşam kendisini denge dışı bir durumda sürdürür. ABD'li biyolog Lynn Margulis bu durumu "yaşam kendine bağımlı bir sistemdir" şeklinde özetler.

Bunun Dünya üzerindeki yaşamın kökenini algılayışımıza derin etkileri olmuştur. Artık bir göktaşı ve kuyruklu yıldız yağmurunun ilk bombardımanın sonunda Dünya'ya yaşamın temel bileşenlerini bırakmış olduğu geniş ölçüde kabul ediliyor. Cansızlıktan canlılığa geçiş hakkındaki önermelerin çoğunda ilk olarak moleküllerin (sırayla olmasa da DNA, RNA ve proteinler) üretimi ve ardından hücrenin "geliştirilmesi" yer almaktadır. Popüler fikirlerden biri, karmaşık bileşenlerin ince bir materyal tabakasında yoğunlaşarak ya bir balçık katmanında sıkışmış ya da bir yüzeye yayılmış olduğu, işin geri kalanını da kimyanın hallettiği yönündedir. Bir diğer fikir ise hayati kimyasal tepkimelerin günümüzde volkanik hareketler yoluyla çok yüksek sıcaklıkta suyun üretildiği derin deniz bacalarında bulunanlara benzer sıcak ve kimyasal açıdan zengin ortamlarda gerçekleştiği yönündeydi. Konu hakkında hepsi de Charles Darwin'in Joseph Hooker'a 1871'de yazdığı bir mektupta yer alan yorumundan bahseden diğer çeşitlilikler vardır:

Küçük ılık bir su birikintisinde, her çeşit amonyak ve fosfor tuzunun, ışığın, ısının, elektriğin varlığında bir protein bileşiğinin kimyasal olarak oluşup daha da karmaşık değişiklikler geçirmeye hazır olduğu bir su birikintisinde oluşmuş olabiliriz.

Ancak bu tip bir bileşiğin başına ne gelirdi? Diğer karmaşık moleküllerle birleşip ilginç şeyler yapmasındansa büyük ihtimalle temizlenir veya yok edilirdi. Yaşama yol açan ilginç şeyler yalnızca korunaklı bir çevrede ortaya çıkabilirdi. Hücrenin içinden daha iyi neresi vardı? Bana kalırsa, ilk olarak yarı geçirgen zardan oluşan baloncuklar biçimindeki hücrelerin ortaya çıkmış olması ve bunların yaşam tarafından ele geçirilmiş olması daha büyük olasılıktır. Üstelik bu görüşü destekleyen güçlü kanıtlar var.

NASA'nın Ames Merkezinde bulunan araştırmacılar, yirminci yüzyılın sonunda yaklaşık olarak ayakkabı kutusu büyüklüğündeki vakumlanmış odacıkların mutlak sıcaklığın 10 derece üstüne (-263 °C) kadar soğutulduğu deneyler yaptılar. Odacığın içindeki su, metan, amonyak ve karbondioksit karışımı, buzun yıldızlararası bulutlardaki toz taneciklerinde oluşumunu benzetimleyerek odacıklardaki alüminyum veya sezyum dioksit parçaları üzerinde dondurduldu. Ardından molekül karışımı, genç yıldızların ışınımına benzetilerek morötesi ışınıma maruz bırakıldı. Sonuçta alkolleri, ketonları ve aldehitleri de içeren bir yığın organik molekülün ve atomları kırk kadar karbon bağıyla bağlanmış olan çok büyük moleküllerin meydana gelmesi sizi şaşırtmayacaktır. Haberler kısa süre sonra Santa Cruz'da bulunan California Üniversitesinden David Deamer adında bir diğer araştırmacının dikkatini çekti. Deamer yıllar önce 1980'lerde, 1969 yılında Avustralya'ya düşen ve Murchison meteoriti olarak bilinen göktaşıyla ilgili çalışmalarıyla astrobiyologlar arasında heyecana yol açmıştı. Organik madde arayan Deamer, meteoritten alınan kayanın bir kısmını öğüterek toz haline dönüştürmüş ve organik molekülleri ayrıştırmak için suyla yıkamıştı. Her biri balonlar gibi ikili bir "deriden" oluşan suda yüzen yüzlerce mikroskobik kürecik bulduğunda şaşkınlığa uğradı.

Ve Deamer Ames deneyinden gelen donmuş materyalin bir kısmını sıcak suya koyduğu zaman –kesecik olarak bilinen– tam olarak aynı türden balonları veya hava kabarcıklarını buldu. Bunlar 10 ila 40 mikrometre boyunda, yaklaşık olarak alyuvar boyutundaydılar ve temelde Murchison göktaşından elde edilen keseciklerden ayırt edilmeleri olanaksızdı. Hücre gibiydiler ama canlılık kimyasından yoksundular.

Devam eden araştırmalar, keseciklerin meydana gelmesi için nelerin olup bittiğini gün ışığına çıkardı. Hem laboratuvarlarda (kesinlikle) hem de uzayda (muhtemelen) morötesi ışığın buz parçacıkları üzerindeki etkisi yoluyla üretilen daha karmaşık moleküllerin bazıları, lipit† adıyla anılan, minik bir kurbağa yavrusu gibi "baş" ve "kuyruk" kısımları olan bir ailenin üyeleridir. Molekülün baş kısmı su tarafından çekilirken kuyruk kısmı itilir. Bu tür moleküller suyun içine konulduklarında doğaları gereği, baş kısmı dışarı doğru kuyruk kısmı ise içeri doğru bakacak şekilde ikili bir katman oluştururlar. Bu çift katmanlı "duvarlar" hemen küçük toplar haline gelecek şekilde kıvrılır. Genç Dünya'nın sıcak sularında da aminoasit ve şeker gibi maddeler yaşamı oluşturan işlemlerin meydana gelmesinin mümkün olduğu kapalı bir ortamda, yani kesecikler içinde hapsedilmiş olmalı. Bu bariyerler olmasaydı yaşamın önemli molekülleri okyanusta o kadar seyrelirdi ki hiçbir ilginç kimyasal olay meydana gelemezdi. İşin bir iyi yanı da şu ki hammaddeler dikkate alındığında bu gibi küçük toplar baloncuğun derisine daha fazla lipit enjekte edilerek büyür ve yeterince büyümeleri durumunda kendiliğinden iki küreye bölünürler.

Hatta –bu, Dünya'da yaşamın nasıl başladığına ilişkin açıklama için gerekli olmasa da– keseciklerin kuyrukluyıldızlarda var olması ve böylece yaşamın yalnızca ön kimyasının değil, kendisinin de ilk bombardımanla Dünya'ya taşınmış olması mümkündür. NASA'nın Ames Laboratuvarından bir ekip (Max Bernstein, Scott Sandford ve Louis Allamandola), *Scientific American* dergisinin Temmuz 1999 sayısında benzer bir konuyu tartıştılar:

† Lipit, yağ anlamına gelmektedir –çn.

> Kuyrukluyıldızın içinde yaşam sürecinde yer almaya hazırlanan organik maddelerin üretimi merak uyandırıcı bir olasılıktır .... Halley gibi periyodik kuyrukluyıldızların Güneş'e yaklaşırken tekrarlayan ısınma dönemleri ve karmaşık moleküllerden oluşan çok zengin bir karışımın oluşması için yeterince zaman vardır .... Hatta daha büyük kuyrukluyıldızlarda kısa dönemler için su bulunmuş olması akla yatkındır .... kuyrukluyıldızların yaşamın kökeninde çok daha önemli etkin bir rolünün olduğu kabul edilebilir.

Bu fikrin en uç hali, 1970'lerde ve 1980'lerde Dünya'daki yaşamın uzaydan gelen yaşamla filizlendiğinden emin olan Fred Hoyle ve Chandra Wickramasinghe tarafından ortaya atılmıştı. Bu yorumlar doğru olsa da olmasa da vurgulanması gereken önemli nokta, bugünün tutucu görüşün, Dünya'nın tarihin çok eski zamanlarında yaşamdan yalnızca bir adım ötedeki karmaşık organik moleküllerle tohumlandığını söylemesidir. Yaşamın Dünya'da sıfırdan karbondioksit, su ve metan gibi basit moleküllerin karışımından doğmuş olması şart değildir.

Cansızlıktan canlılığa geçiş adımının atılması, bir kesecik içinde koruyucu sınırlarında bile olası görünmeyebilir. Fakat genç Dünya üzerinde yüz milyarlarca kesecik var olmuş olmalıdır ve bunun yalnızca bir kere gerçekleşmesi gerekli olmuştu! Darwin'in *Origin of Species* [*Türlerin Kökeni*] adlı kitabının sonunda belirttiği gibi;

> Bu dünya üzerinde herhangi bir zamanda yaşamış olan organik oluşumların muhtemelen hepsinin soyu, yaşamın ilk olarak bahşedildiği bir ilkel türden geliyor.

Bu görüş o zamandan beri çok çeşitli canlılardan alınan genetik materyale (DNA) ve tüm canlılarda tam olarak aynı temel kimyayı (örneğin enerjinin işlenmesi) kullanan hücrenin kendisinin işleyişine dair araştırmalarla yeterli düzeyde doğrulanmıştır. Ne ilginçtir ki bu kanıt aynı zamanda "ilk hücre"nin sualtındaki bir volkanik bacanın yakınında canlanmış olan ısı-sever bir bakteri olduğunu akla getirir. Genç Dünya suyla kaplı ve jeolojik açıdan bir hayli aktif olduğu

için, bu şaşırtıcı değildir ve yaşamın kimyasının uzaydan gelen bir kesecik içinde başladığı fikriyle bütünüyle tutarlıdır. Bize yalnızca yaşam başladığında o keseciğin nerede olduğunu söyler.

## KOZMİK PİYANGO VE DRAKE DENKLEMİ

Tüm bunlar evrende başka bir yerdeki yaşam ihtimaline dair herhangi bir şey anlatabilir mi? Tek örneğimiz olan Dünya'dan yola çıktığımız için dışarıdaki yaşamla ilgili evrensel sonuçlar çıkarmanın imkânsız olduğunu düşünüyor olabilirsiniz. Belki de yaşamın kök salması çok kolay ve tüm Dünya benzeri gezegenler yaşam barındırıyor ya da belki de hayatın başlaması çok zor ve bizimkisi yaşanılan tek gezegen. Bu olasılıkların herhangi birisi ve bu iki uç durumun arasındaki her olasılık yaşamın yalnızca bir tek gezegende var olduğuna dair kanıtlarla bağdaşıyor; istatistikçilerin de dediği gibi, tek bir örnekten genelleme yapamazsınız. Ama belki de, yapabilirsiniz. Bazı gökbilimciler, özellikle de Avustralya Ulusal Üniversitesinden Charles Lineweaver, Dünya'daki yaşamın başlama hızının, burada yaşam olduğu gerçeğine eklenecek önemli bir ek kanıt olduğunu öne sürmektedir.

Çoğu gökbilimci, Ay'ın Güneş Sistemi oluştuktan yaklaşık 100 milyon yıl sonra Mars boyutundaki bir nesneyle Dünya arasındaki muazzam bir çarpışma sonucu meydana geldiği konusunda hemfikirdir. Çarpışmadan doğan enerji Dünya'nın kabuğunu eritmiş ve gezegeni arıtmıştı, böylece yaşamın başlaması için "beyaz bir sayfa" açılmıştı. Bu olaydan sonra aşağı yukarı 600 milyon yıl boyunca Dünya ağır ama giderek azalan bir bombardımana maruz kalmaya devam etti. Bombardıman sona ermeden önce yaşamın birkaç kez başlamış ve yok olmuş olması olasıdır. Bu sürecin sona ermesinden önce *Geç Dönem Ağır Bombardıman*[1] adıyla anılan nihai bir yıkımın gerçekleştiğine dair bazı tartışmalı kanıtlar var, fakat Lineweaver bu fikri destekleyen herhangi bir kanıt bulmamıştır. Üstelik Geç Dönem Ağır Bombardı-

[1] Ay tufanı –çn.

man gerçekleşmiş olsa da olmasa da, sonraki sav etkilenmez. Her iki durumda da uzun bombardıman sona erince yaşam başladı. Lineweaver, eğer yaşam evrende nadir olsaydı "biyojenezin Dünya'da olduğu kadar hızlı gerçekleşmesinin" olanaksız olduğu yönündeki ortak düşünceye bilimsel bir açıklama getirir.

Lineweaver istatistiğin nasıl işlediğini gösterebilmek için bir piyango örneği verir. Eğer bir kumarbaz üç gün boyunca her gün piyango bileti alır, ilk iki gün kaybeder ancak üçüncü gün kazanırsa, istatistikçiler bundan kazanma olasılığının 1'e yakın olmasının olanaksız olduğunu ve yaklaşık 100'de 1 olmasındansa yaklaşık 3'te 1 olmasının daha muhtemel olduğu sonucunu çıkarır. Eğer çok sayıda kumarbazın her birisi 12 ardışık gün boyunca piyango bileti alırsa ve ardından içlerinden seçtiğimiz birinin ilk üç günde en az bir kez kazanmış olduğunu keşfedersek, kazanma olasılığının muhtemelen çok yüksek olduğu sonucuna varırız. İstatistikçiler olasılıkların ne derece iyi olduğunu "güvenirlilik düzeyi" üzerinden belirleyebilirler. Örneğin yüzde 95'lik bir güvenirlilik düzeyi, varılan sonuçların 20 seferde 19 kez doğru olduğu anlamına gelir çünkü yüzde beş, yüzde yüzün yirmide birine denk gelir. Yüzde 95'lik aralık iyi bir ölçü olarak düşünülür. Bahsedilen örnekte uygun istatistiksel sonuç, herhangi bir biletle piyangoyu kazanma şansının yüzde 95 güvenirlilik düzeyinde en az 0,12 olduğudur. Bu da sizin her on denemede bir kereden biraz daha fazla kazanmayı bekleyebileceğiniz anlamına gelir. Dolayısıyla eğer ödül bir biletin maliyetinin en az on katı olsaydı, bahsettiğimiz bu piyangoya girmeye değerdi.

Biyojenez dikkate alındığı kadarıyla, Samanyolu galaksisindeki her dünya benzeri gezegen bizim kumarcılar örneklemimiz ve Dünya'nın kendisi de piyangoyu çok önceden kazanmış olan seçilmiş bireyimizdir. Yaşam kesinlikle bombardımanın sona ermesinden sonraki 600 milyon yıl içinde –belki çok daha da erken– ortaya çıktı (piyango kazanıldı). O zaman istatistiksel hesaplama, yüzde 95 güvenirlilik düzeyinde en az bir milyar yaşında olan bütün Dünya benzeri ge-

zegenlerin en az yüzde 13'ünün yaşam barındırdığı ve yaşam barındıran bu tür gezegenlerin oranının "büyük olasılıkla bire yakın olduğu" sonucuna varır. Günlük dilde söylemek gerekirse, yaşam evrende yaygındır.

Aynı sav yaşamın Dünya'da mı ortaya çıktığı, yoksa uzayda ortaya çıkıp kuyrukluyıldızlarla mı Dünya'ya taşındığı veya bir başka gezegende ortaya çıkıp Galaksi boyunca kozmik moloz parçaları üzerinde otostopla mı dağıldığı (panspermia), hatta akıllı uzaylılar tarafından kasten mi dağıtıldığı (yönlendirilmiş panspermia) sorularında da uygulanır. Yaşam Dünya'da nasıl başladıysa başlasın, bunu o kadar hızlı yaptı ki diğer gezegenlerde de var olması hayli yüksek bir olasılıktır. Bu bazılarınca, evrenin diğer yerlerinde akıllı yaşam bulma şansını hesaplamak için gökbilimci Frank Drake tarafından tasarlanan bir denkleme eklenecek önemli bir bilgi olarak görülür. Bu "Drake Denklemi"nin yararlılığı konusunda şüphelerim var; ama en azından konuyla ilgili bilgisizliğimi özetleyen derli toplu bir yol sunuyor.

Drake Denklemi, 1950'lerin sonuna doğru ilk yapay Dünya uydularının fırlatılmasıyla beliren uzay heyecanının bir sonucuydu. O zamanlar Frank Drake, Virginia'daki *Green Bank* radyo gözlemevinde çalışıyordu ve yalnızca başka akıllı medeniyetlerin bulunma olasılığıyla değil, onlarla radyo teleskoplar kullanarak iletişim kurma ihtimalleriyle de ilgileniyordu. Başlarda, fikri ciddiye alan bir avuç gökbilimci, çalışmalarından bekledikleri sonucu anlatan Dünya Dışı Akıllı Yaşamla İletişim (CETI)[§] terimini icat etti. 1974'te Puerto Rico, Arecibo'daki devasa radyo teleskoptan "oralarda bir yerdeki" bir varlığın tespit etmesi ve yanıt vermesi umuduyla uzaya sinyaller gönderildi. O "bir günün" gelmesi çok uzun sürecek; asla anlayamadığım nedenlerden ötürü sinyal Herkül takımyıldızı yönündeki M13 olarak bilinen yıldız kümesine doğru gönderildi. Yıldız kümesi 25 bin ışık yılı uzaklıktadır ve radyo dalgaları ışık hızıyla (c) yol alır; bu yüzden uzaylılar mesajı alsa ve hemen cevap yollasa bile buraya 50

[§] *Communication with Extraterrestrial Intelligence* teriminin baş harflerinin kısaltmasıdır -çn.

bin yıldan önce ulaşamayacak! Bu bile birçok insan için fazlasıyla erken. Uzaylılarla gerçekte iletişim kurma ihtimali bazı çevrelerde o kadar büyük bir alarma neden oldu ki özellikle ABD'deki politikacıların ve kamuoyunun bu varlıkların arkadaş canlısı olmayabileceği şeklindeki algısı, proje isminin ufak bir değişiklikle Dünya Dışı Akıllı Yaşam Araştırması (SETI)[1] haline gelmesine yol açtı. Bugünlerde bazı radyo gökbilimciler hâlâ uzaylı sinyalleri dinliyor fakat yıldızlara mesaj yollamıyorlar. Eğer diğer medeniyetler de aynı şekilde paranoyaklarsa ve herkes dinliyor ama hiç kimse konuşmuyorsa, bu çok kötü!

Bununla birlikte, Drake CETI (veya SETI) ihtimallerine adanan ilk bilimsel konferansı 1961 yılında Green Bank'ta organize ettiğinde, bu isim henüz ortaya çıkmamıştı. Toplantının amacı olasılıklar hakkında farkındalığı artırmak ve araştırma fonlarının yükselmesi için propaganda yapmaktı. Drake toplantının temel tartışma konusu olarak şimdi kendi adını taşıyan denklemi ortaya atarak bu amacı ustaca yerine getirdi.

Bu, iki şeyin aynı anda gerçekleşme olasılığının, birinin gerçekleşme olasılığı ile diğerinin gerçekleşme olasılığının çarpımına eşit olmasına dayanıyor. Örneğin bir zar atıldığında üç gelme olasılığı 1/6'dır çünkü zarı attığınızda gelebilecek yalnızca altı olası değer vardır. İkinci bir zarda üç gelme olasılığı da 1/6'dır. Öyleyse iki ayrı zar atıldığında her ikisinde de üç gelme olasılığı 1/6×1/6, yani 1/36'dır. Çok basit. Aynı temel kural, bir olaylar zinciriniz varsa ve hepsinin aynı anda olma olasılığını hesaplamak istiyorsanız da geçerlidir.

Drake yıldızlararası iletişim kurabilecek teknolojide bir medeniyetin galaksimizde ortaya çıkışında etken olabilecek tüm faktörleri düşünmeye çalıştı. İşe Samanyolu galaksisindeki $N^*$ adını verdiği yıldız sayısıyla başladı. Ondan sonra güneşimize benzer yıldızların kesiri geldi: $f_s$. Ardından, gezegenlere sahip yıldızların oranını, $f_p$'yi tahmin etmemiz gerekiyor. Ana yıldızlarının yaşam alanında bulunan geze-

[1] *Search for Extraterrestrial Intelligence* teriminin baş harflerinin kısaltmasıdır –çn.

genlerin kesiri $n_e$'yle gösterilir. Lineweaver'ın hesabı sonraki sayıya, yani üzerinde gerçekten yaşamın doğduğu gezegenlerin kesirine ulaşır: $f_i$. Salt varsayım, bizimkine benzer akıllı yaşamın doğduğu gezegenlerin kesirine dair herhangi bir tahmine ulaşır: $f_c$. Ve Drake, pakete bir joker ekler gibi, diğer akıllı yaşamlarla iletişim kurabilecek ve kurmayı isteyecek bir medeniyetin barındığı bir gezegenin yaşam süresi yüzdesinin tahminini içeren bir sayı da ekledi; bu sayıya $f_l$ dedi.

Hepsi bir araya geldiğinde, bugün Samanyolu'nda iletişim kurma ihtimalimiz olan Dünya dışı medeniyetlerin sayısı olan $N$, şöyle hesaplanır:

$$N = N^* \times f \times f_p \times n_e \times f_i \times f_c \times f_l$$

Bu, Drake denklemidir.

Çok sayıda yıldızla başlıyor olmamız iyi haber; $N^*$, en azından birkaç yüz milyar, belki de bir trilyona eşit. Daha da iyisi, 1961'de Güneş dışı gezegenler bilinmemesine rağmen şimdi gezegen sistemlerinin yaygın olduğunu biliyoruz ancak Dünya benzeri gezegenlerin yaygın olup olmadığına dair kesin bir yargıya varılabilmiş değil. Eğer Lineweaver'ın istatistiksel savını göründüğü gibi kabul edersek, $f_i$ muhtemelen 1'e yakındır ve neredeyse kesinlikle 0,13'ten büyüktür. Kötü haber ise şu: denklemdeki diğer sayılardan birinin bile sıfır olması durumunda, bütün diğer rakamlar ne kadar büyük olursa olsun, N = 0 olur.

Neredeyse aynı ölçüde kötü olan şey, kitabın devamında aşağı yukarı bunu yapmaya çalışacak olsam da, diğer sayılara hangi değerleri vereceğinizin bir anda anlaşılmamasıdır. En kötüsü de Drake, bizimki gibi akıllı yaşamın olduğu gezegenlerin oranını tahmin ederken yalnızca tek bir sayı ($f_c$) kullanarak çok fazla basitleştirme yapmıştır (1961'de yapmaya çalıştığı şey ve bilinen şeyler bağlamında tamamıyla haklı, ama artık geçerli değil). Bu sayı en iyi biçimde Dünya üzerindeki yaşamın tarihinde kendi medeniyetimizin doğuşuna yol açmış çeşitli olayların olasılıklarını gösteren uzun bir rakam dizisinin ürünü olarak anlaşılmaktadır ve açıklayacağım gibi, bu sayılardan herhangi biri sıfıra yakın ola-

bilir, bu da $f_c$'yi kendisi yapar ve dolayısıyla da $N$'yi mutlak şekilde küçük kılar.

İnsan tecrübesine dayanarak, eşitlikteki son sayı olan $f_l$'nin de küçük olduğunu söyleyebiliriz. ABD'li Michael Sherıner'ın medeniyetin ne olduğuna ilişkin, birçok kişininkinden farklı bir yorumu var. Bir açıdan bakıldığında tüm insanlık medeniyeti sürekli bir bütündür ama Sherıner, yazılı tarih başladığından beri birçok ayrı medeniyetin doğmuş ve batmış olduğuna ve yalnızca birinin, örneğin radyo vericisini yapacak kadar yüksek bir teknolojiye erişmiş olduğuna işaret eder. Sümerlerden Babil, Mısır, Antik Yunanistan ve Roma'ya, modern çağda ise Çin'de on bir, Afrika'da dört, Hindistan'da üç, Japonya'da iki, Güney ve Orta Amerika'da altı ve Avrupa ve Amerika'da altı modern devlete kadar, toplam altmış dünya medeniyetinin yaşam süresini incelemiştir. Altmış medeniyetin toplam yaşam süresi 25.234 yıldır, bu da 420,6 yıllık ortalama bir yaşam süresi olan $f_l$ sayısını verir. Maalesef, Roma'nın düşüşünden sonraki yirmi sekiz medeniyetin ortalama yaşam süresi 304,5 yıldır; üstelik radyo sinyali gönderme ve alma yeteneği yalnızca bir kez doğmuştur. Bu bağlamda Sherıner, Drake denklemindeki diğer sayılara dair iyimser tahminlerle bile günümüzde Galakside en fazla üç adet daha radyo vericisi olan medeniyet olabileceğini hesaplar.

Bunların hiçbiri insanları denklemin sağ tarafındaki sayılar için kendi tercih ettikleri tahminleri kullanarak $N$'yi hesaplamak için Drake denklemini ya da onun belli bir çeşidini kullanmaktan alıkoyamadı. Elde ettikleri "sonuçların" sıfırdan birkaç yüz milyara kadar değişmesi, bu yaklaşımın nafile olduğunun bir göstergesidir. Drake denklemi, en iyi biçimde galaksimizdeki teknolojik medeniyetlerin sayısının gerçekçi bir ölçüsünü vermesi için gerçekten de çözülebilecek bir denklem olarak değil, diğer yerlerde akıllı yaşam bulma olasılığı üzerine düşünürken hesaba katmamız gerekenlerin bir anımsatıcısı olarak görülür. Belki de işin içindeki zorluklarla yüz yüze kalan bazı insanların ellerinde birtakım ürkütücü sonuçlarla birlikte istatistiklere ve olasılık kuramına dayanan savlara dönmeyi tercih etmesi şaşırtıcı değildir.

## DENETİM PARADOKSU VE KOPERNİK İLKESİ

Drake denkleminde en önemli sayılardan biri, bir teknolojik medeniyetin yaşam süresini simgeleyen $f_l$'dir. Bu değer için en iyi tahmininiz muhtemelen kendi medeniyetimizin kaderi hakkında ne kadar iyimser olduğunuza bağlıdır. Zamanının Kraliyet Derneği Başkanı'ndan daha az yetkin olmayan Sir Martin Rees, belki de yüz yıldan daha az bir zamanımızın kaldığını söyleyecek kadar karamsardı. Fakat insanlığın karşımıza çıkan sorunların üstesinden gelebileceğine ve Güneş Sistemi kaynaklarını milyonlarca, hatta on milyonlarca yıl boyunca geliştirebileceğine inanan (birçoğu bilim kurgu yazarı olan) iyimserler bulmak da mümkün. Olasılık kuramı bu tür önsezilerle gelişebilir ve medeniyetimizin yaşam süresi hakkında aşağı yukarı bir fikir verebilir. Ayrıca otobüs yakalamaya uygulanan istatistiklerin aynısını kullanarak geçmişimizle ilgili fikirler sunabilir.

Hepimizi saatler boyu bir otobüsü bekleme ve sonra da ikisinin (hatta üçünün) arka arkaya geldiğini görme tecrübemiz olmuştur. Otobüse bindiğiniz çoğu seferde, bir şekilde, iki otobüsün gelmesi arasındaki ortalama sürenin yarısından daha uzun süre bekler gibi görünürsünüz. Bu nasıl böyle olabilir? Şüphesiz ki dengelenmesi gerekir; kimi günler bir sonraki otobüs erken gelir, diğerlerinde ise bekleme süresi daha uzundur. Fakat konu üzerinde biraz kafa yormak, ortalama olarak otobüsünüz için "ortalamadan daha uzun" süre beklediğinizin doğru olduğunu gösterir.

Bu şöyle olur: Sizin bulunduğunuz güzergâhtaki otobüslerin düzenli olarak 10 dakikalık aralıklarla ana duraktan hareket ettiklerini varsayın. Belki trafiğe takılabilirler ama ortalama ara hâlâ 10 dakikadır; eğer bir otobüs 2 dakika gecikirse öndekiyle arasında 12 dakikalık aralık olur ama o zaman da arkasındakiyle arasında 8 dakikalık aralık olacaktır, öyleyse ortalama aralık hâlâ 10 dakikadır. Eğer otobüs durağında gün boyunca bekler ve otobüslerin geliş süreleri arasındaki ortalamayı ölçerseniz bulacağınız şey, değişen ancak ortalaması 10 dakika olan zaman boşluklarıdır. Fakat siz otobüse binerken bu böyle olmaz. Herhangi bir zamanda

otobüs durağına varırsınız ve gelen ilk otobüse binersiniz. Eğer otobüsler eşit aralıklarla işleseydi ortalama bekleme süreniz 5 dakika olurdu: otobüsler arasındaki sürenin yarısı. Fakat otobüsler eşit aralıklarla işlemediği için otobüs durağına kısa bir aradansa, uzun süreli bir arada varmanız daha muhtemeldir. Eğer bir otobüsten sonra 20 dakikalık bir aralık olur ve iki otobüs bir dakika arayla birbirinin peşi sıra gelirse, durağa uzun süreli ara esnasında varmanız kısa süreli olandan 20 kat daha olasıdır. Bu nedenle muhtemelen otobüsler arasındaki ortalama aranın yarısından daha uzun süre beklemek zorunda kalırsınız. Bu açıdan ele alındığında bu sağduyudur; olasılık kuramcıları bunun tamamını nicelendirebilir ve bu duruma "denetim paradoksu" adını vermişlerdir.

Denetim paradoksu aynı zamanda Shakespeare zamanında ortalama insan ömrü kısa olmasına rağmen çevrede neden o kadar çok yaşlı insan olduğunu da açıklayabilir. Doğumda beklenen ortalama yaşam süresi düşüktü çünkü birçok çocuk ve bebek erken yaşlarda ölüyordu. Yaşayıp da yetişkinliğe ulaşan birinin oldukça ileri yaşlara erişme şansı yüksekti. Doğumdaki ortalama yaşam beklentisinin örneğin 20 yıl olduğu bir nüfusta bile 70 yaşında veya daha yaşlı insanlar olacaktır. Kaç yaşında olursanız olun sizin de beklenen bir yaşam süreniz vardır ve herhangi bir yaşta toplam yaşam beklentiniz, genel nüfus için doğumdaki yaşam beklentisinin üstündedir. Denetim paradoksunun diğer bir örneği de herkesin yaşam beklentisinin ortalamadan daha uzun oluşudur. Bunu okuyan her sağlıklı insan ortalamadan daha uzun yaşam beklentisine sahip olduğunu bilerek rahatlayabilir. Aynı sebeple, medeniyetimizin hâlâ "canlı" olduğu gerçeği, Samanyolu galaksisinde var olmuş tüm medeniyetlere kıyasla ortalamadan daha yüksek bir yaşam beklentisine sahip olduğu anlamına gelir; fakat bu çıkarım, Michael Shermer'ın karşı olduğu, tüm insanlık tarihinin bir tek "medeniyeti" temsil ettiği fikrine dayanmaktadır. Bir matematikçi olan Amir Aczel'in, Dünya'da yalnızca insanlık medeniyetinin değil yaşamın uzunluğuna da atfen bu pers-

pektifi kabul ederek belirttiği gibi, "kendimizi inceleyebilme yeteneğimiz, bu gezegende uzun bir süredir bulunmamızın bir sonucudur [ve] buralarda diğer medeniyetlerden daha uzun zamandır bulunmamızın koşullu olasılığı .... yüksektir." ve "diğer medeniyetlerin var olduğu farz edilirse galaksimizde bu seviyede bir gelişmişliğe ilk ulaşanlar arasında olmamız muhtemeldir." İlginçtir ki, bir medeniyeti oluşturan öğeler hakkında tamamen farklı bir varsayımla başlayıp Shermer'la aynı sonuca –Galakside muhtemelen yalnız olduğumuz sonucuna– varmıştır!

Ne var ki bu bize yalnızca geçmişle ilgili şeyler anlatır. Peki ya insan medeniyetinin geleceği?

1993 yılında Princeton Üniversitesinden Richard Gott, önde gelen bilim dergilerinden *Nature*'da, türümüzün toplam yaşam süresini tahmin etmek için bu tür bir istatistiksel akıl yürütme kullandığı bir makale yayımladığında bir tartışma başlatmış oldu. *Homo sapiens*'in yüzde 95 güvenirlilik düzeyinde toplam olarak (bizim bugüne kadarki tarihimiz de dahil) 200 bin ila 8 milyon yıldır var olduğunu hesapladı; bu aralığın en alt kısmı neslimizin aşağı yukarı yarın tükeneceğine tekabül ediyor, hatta üst sınırı bile astronomik bir yaşam cetvelinde pek etkileyici olmayan bir yerde.

Gott'un hesaba kattığı tek varsayım, sizin bugüne kadar ortaya çıkan bütün akıllı gözlemcilerin rastgele bir örneği olduğunuzdur. O buna, evrende özel bir yerde olmadığımız görüşünü kastettiği "Kopernik İlkesi" adını verir. Aslında Kopernik yalnızca evrende merkezi bir yerde olmadığımızı söylemişti ama bu fikrin özel olmayan bir yerde olduğumuz anlamındaki uzantısı oldukça yaygındır. Bu bazen de daha az süslü bir ifadeyle sıradan bir galakside bulunan sıradan bir yıldızın yörüngesindeki sıradan bir gezegende olduğumuz fikrini anlatan "Dünyasal Sıradanlık İlkesi" olarak adlandırılır.

Gott, bu düşüncenin sonuçlarını göstermeden önce bu yaklaşımın gücünü kendi hayatından iki örnekle anlatır. Öne sürülen görüşün temeli, eğer bir şeyi rastgele biçimde ilk defa izliyorsanız, onu yaşam süresinin ortasındaki yüzde

95'lik kısımda izliyor olma şansınızın yüzde 95 olduğudur. Onu, sürenin yalnızca yüzde 2,5'luk kısmında yaşamının başlangıcında ve sürenin yalnızca yüzde 2,5'luk kısmında yaşamının sonuna doğru görüyor olabilirsiniz. Eğer izlediğiniz şeyin ilk gördüğünüz zaman kaç yaşında olduğunu biliyorsanız, yaşamının son sınırını belirleyebilmek için bu rakamları kullanabilirsiniz; otobüs "paradoksu"nda kullanılanlara benzer standart olasılık hesaplarıyla, gözlediğiniz şeyin gelecekteki yaşam süresi, yüzde 95 güvenirlilik düzeyinde geçmiş yaşam süresinin 1/39 katı ile 39 katının arasında olmalıdır.

Gott, Avrupa'ya 1969'da yaptığı bir yolculukta Stonehenge ve Berlin Duvarı'nı ilk kez gördü. Stonehenge yaklaşık 3700 yaşındadır ve 1969'da Berlin Duvarı sekiz yaşındaydı. Bu tür bir hesap Stonehenge'in en az yüzlerce yıl daha ömrünün olduğu, Berlin Duvarı'nın ise (1969'da) birkaç yüz yıldan fazla ömrü olmadığı sonucuna götürür. Duvar 1989'da yıkılmıştır ama Stonehenge bu öngörülerle uyumlu olarak hâlâ yerindedir.

Aynı mantığı insanoğluna uygulayan Gott, fosil kanıtlara dayanarak modern insan olan *Homo sapiens sapiens*'in 200 bin yıldır yaşadığı yönündeki öngörülerle başlar. Bu, bizim en az 5 bin yıl, ama en çok da 8 milyon yıl boyunca buralarda olacağımızı öne sürer. Gott, bir memeli türünün ortalama 2 milyon yıl yaşam süresi olduğunu ve bir önceki atamız olan *Homo erectus*'un 1,5 milyon yıldan çok daha kısa bir süre boyunca dünyada olduğuna dikkat çeker. Bu nedenle hesaplamaları fosil kayıtlarından öğrendiklerimizle oldukça uyumludur. Belki de ardıllarımız, bizden *erectus* ile günümüz insanı kadar farklı olan bir şeye evrilecek ve hâlâ teknolojik bir medeniyete sahip olacaklardır. Ne var ki Gott, sonraki hesaplamalarıyla iç karartıcı bir resim çiziyor.

Aynı tür istatistik argümanları, Dünya'da bugüne kadar doğmuş ve doğacak insanların sayısıyla karşılaştırılarak, şu anda yaşamakta olan insan sayısı için de uygulanır. Bu durumda siz, bugüne kadar doğmuş olan ve bundan sonra doğacakların içinden seçilmiş herhangi bir "gözlemcisiniz-

dir." Olasılık denklemleri bize bu türden tüm "gözlemcilerin" yüzde 50'sinin, nüfus en üst değerinin en az yarısındayken doğduğunu söyler. Şimdiki dünya nüfusu neredeyse 7 milyar ve gezegenin tahmini taşıma kapasitesi yaklaşık 12 milyar. Buna dayanarak, bugün canlı olmanız şaşırtıcı değil. Bu örnek geçmişteki, günümüzdeki ve gelecekteki tüm akıllı gözlemciler içinden şans eseri seçilmiş herhangi bir akıllı gözlemci olduğunuz gerçeğine bir örnektir. Gott, 1993'te önceden zaman cetvellerine uygulanmış olan hesaplamanın bir çeşidini kullanarak doğacak insan sayısının en azından 1,8 milyar olduğunu hesapladı ve yirminci yüzyılın ilk on yılında bu toplama ulaşılacağını öngördü. Aynı hesaplamayı bugüne uygularsak, en az 2 milyar insan daha doğacak ve bu kabaca bir on yıl daha alacak. Eğer Gott haklıysa er ya da geç (muhtemelen yakında) bir nüfus patlaması yaşanacak ve medeniyet çökecek. Bu diğer medeniyetler için böyle büyük bir şiddette gerçekleşmeyebilir, ancak Gott'un SETI taraftarlarına daha kötü haberleri var.

SETI yandaşları hâlâ esas umutlarını radyo iletişimine bağlıyor. 2004 yılında bu yandaşların en sadıklarından birisi olan Microsoft milyarderi Paul Allen, "Allen Array" adı verilen özel bir SETI radyo teleskopunun kuruluşuna daha önceki toplam 11,5 milyon dolarlık bağışlara ek olarak 13,5 milyon dolar daha bağış yaptı. Fakat parasını boşa harcamış olabilir (neyse ki Allen Array geleneksel radyo astronomi için de kullanılabiliyor). Medeniyetimiz yalnızca 120 yıldır radyo kullanabiliyor ve olasılık hesabı, radyo sinyali gönderebilen bir medeniyet olarak gelecekteki yaşam süremizin muhtemelen üç ile beş bin yıl arasında olduğunu söylüyor. Bu, medeniyetimizin çökeceği anlamına gelmek zorunda değil; belki de sonraki nesiller tıpkı bizim artık dumanla haberleşmeyi kullanmamamız gibi radyo iletişiminden daha üstün bir şey kullanırlar. Fakat bu ET'yle iletişim kurma şansımızın çok sınırlı olduğu anlamına geliyor.

Gott, radyo sinyalleri gönderen sıradan bir medeniyet olduğumuzu düşünüp, bu sayıyı kendi Drake denklemi uyarlamasına yerleştirerek Galaksideki bugün radyo sinyalleri gön-

deren medeniyet sayısının 121'den fazla olmadığını öngörür. Eğer Gott'un hesaplamaları doğruysa, bu medeniyetlerden birinin sinyal aralığında bulunma olasılığı, herhangi bir radyo SETI projesini faydasız kılacak kadar düşüktür. Argümanındaki en olası çatlak Kopernik ilkesinin ta kendisi olduğu için, çabalar herhangi bir durumda da boşuna olabilir. Sonuçta belki de sıradan gözlemciler değiliz. Bu, en ünlü ET "paradoks"unun açık bir şekilde Enrico Fermi tarafından formüle edilen en olası çözümüdür ve aslında üzerine uğraşan ilk kişi olmamasına rağmen onun adını almıştır.

## PANSPERMİA VE FERMI PARADOKSU

Fermi yirminci yüzyılın en önemli fizikçilerinden biriydi. Birçok başarısının yanı sıra nötrino denilen parçacığın varlığını öngören o oldu** ve 1938'de radyoaktivite ve nükleer tepkimeler üzerine yaptığı çalışmalarla Nobel Ödülü aldı. Avrupa'da savaşın belirmesiyle faşist İtalya'ya dönmek yerine ailesiyle birlikte, Stockholm'deki Nobel Ödülü töreninden ABD'ye gitti. Fermi burada Chicago Üniversitesinde o zamanlar "atom pili" olarak bilinen ilk nükleer reaktörü yapan ekibin başına geçti. Pil, 2 Aralık 1942'de saat 14.20'de "kritik değere ulaştı."

Fermi'nin, bir sorunun özünü görmeye ve karmaşık fikirleri basit bir dilde açıklamaya çok büyük bir yeteneği vardı. Karmaşık sorunların çözümüne dair (büyüklük mertebesi hesabı olarak bilinen) kaba tahminler yapma sanatının bir uzmanıydı ve bu özelliği onu Fermi paradoksuna götürdü. Bununla o kadar ünlü oldu ki, benzer bilmeceler genellikle "Fermi soruları" olarak anılır. Basit bir Fermi sorusu şöyledir: 1 litrelik kavanozu kaç çubuk şeker doldurur? Asıl nokta tam rakamı vermek değil, bilgiye dayalı bir tahmin yürütmektir. Bir çubuk kabaca silindir şeklinde, yaklaşık 2 cm uzunluğunda ve 1,5 cm çapındadır (0,75 cm yarıçapında). Bu

** Nötron bozunumlarında dedektörlerde gözlemlenemeyen ekstra bir parçacığın olması gerektiğini 1930 yılında W. Pauli öne sürmüştü. 1933 yılında E. Fermi, beta bozunumu kuramında bu parçacığa nötrino ismini verdi –yn.

boyutta bir silindirin hacmi, $\pi=22/7$ yaklaşımını kullanırsak $\pi$'yle yarıçapın karesinin çarpımının silindir uzunluğuyla çarpımına eşittir ve yaklaşık 25/7 $cm^3$ olur. Fakat çubuklar kavanoza sıkı bir biçimde sığmaz, o yüzden hacmin yüzde 20'sinin hava olduğunu söyleyebiliriz. Bir litre 1 $cm^3$'e eşittir, öyleyse çubuklar gerçekte $cm^3$ yer kaplar ve iş için gerekli çubuk sayısı da 800 bölü 25/7, yani 220 civarındadır (tam değeri 224'tür ama "yanıt"ı bu kadar kesin biçimde dile getirmek akılsızca olurdu). Gökbilimciler, bir galaksideki yıldız sayısı gibi değerleri tahmin etmek için hepsini gerçekten saymak yerine işte bu tür bir hesaplama kullanır; Fermi de ünlü bilmecesini ortaya koyarken bunu kullanmıştır.

Fermi kendi paradoksunu oluşturduğu zamana dair yazılı bir belge bırakmadan 1954'te henüz 53 yaşındayken ölmesine rağmen, hikâyenin kesin ayrıntıları fizikçi Eric Jones tarafından, Fermi'nin çağdaşlarıyla yapılan röportajlar temelinde *Physics Today* dergisinin Ağustos 1985 sayısında anlatıldı. Olay, Fermi'nin birkaç yıl önce ilk atom bombasının yapıldığı yer olan Los Alamos laboratuvarında bulunduğu 1950'nin yazında yaşandı. Bu, savaş sonrası dönemde, gizli uzay araçlarının görülmesiyle halkın ilgisinin uçan dairelere (UFO'lara) kaydığı sıralardaydı. Ayrıca New York caddelerinden bir sürü çöp kutusu yok olmuştu ve *New Yorker* tam o sıralarda çöp kutularının uzaylılar tarafından çalındığını ima eden bir karikatür yayımlamıştı. Fermi ve çalışma arkadaşları öğle yemeğine giderken karikatürle ilgili gülüşüyorlardı ve bu sohbet onları ışık hızının üzerine çıkma imkân(sızlığ)ı hakkında bir tartışmaya sürükledi. Yemekten sonra sohbet başka meselelere döndü. Sonra aniden Fermi yüksek sesle bir soru sordu: "Herkes nerede?" Çalışma arkadaşları, dünya dışı akıllı canlıları kastettiğinin farkına vardılar ve soru soran Fermi olduğu için ciddiye aldılar. Hızlıca bir büyüklük mertebesi hesabı yaptı; uzaylılar ışık hızından daha yavaş hareket ediyorlarsa bile uzun süredir tüm Galaksiyi kolonileştirmiş olmalıydılar ve Dünya birçok kez ziyaret edilmiş olmalıydı. Fermi paradoksunun en derli toplu özeti şu soruda gizlidir: "Eğer oradaysalar, neden burada değil-

ler?" Diğer bir deyişle, dünya dışı akıllı canlılar varsa neden bizi ziyaret etmediler?

1975 yılına kadar kahve aralarında konu etmek dışında bulmacayı çok ciddiye alan olmadı. Sonra, iki otobüsün art arda gelmesi gibi, çok daha geniş bir tartışma başlatan iki bilimsel makale ortaya çıktı. David Viewing, *Journal of the British Interplanetary Society*'deki[††] yazısında Fermi'den övgüyle bahsederken bulmacayı tekrar ifade etti. Aynı yıl Michael Hart, *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*'de[‡‡] soruyu biraz farklı şekilde ifade ettiği bir makale yayımladı: neden bugün Dünya üzerinde diğer dünyalardan gelmiş hiçbir akıllı ziyaretçi yok? Bununla birlikte Hart, Viewing'den farklı olarak bulmacanın izahı için dört olası kategori önerdi:

1. Oradan buraya gelmek fiziksel olarak imkânsız olabilir.
2. Oradalar ama bizimle iletişim kurma arzuları yok.
3. Oradalar ama bize ulaşmak için henüz zamanları olmadı.
4. Buraya geldiler ama hiçbir iz bırakmadılar ve şu anda burada değiller.

Özünde Hart'ın 4 numaralı kategorisinin bir çeşitlemesi olan, başka bir olasılık daha var; belki de uzaylılar biziz. Bu daha önce de bahsedilen Panspermia fikrine yaklaşmanın bir diğer yoludur. Ve bu kitabın ana fikrini etkilemeyecek olsa bile yalnızca kendi açısından etkileyici olmakla kalmayıp tüm bu devasa kozmik zaman aralığı dikkate alındığında yaşamın Samanyolu galaksisi boyunca yayılmasının ne kadar kolay olduğuna dair güçlü bir sezi sunar.

Panspermia kelimesi "her yerdeki yaşam" anlamına gelmektedir ve yaşamın her yerde olma olasılığıyla ilgili yorumların geçmişi antik zamana kadar uzanır. Ne var ki panspermia biliminin 1871 yılında *British Association for the Advancement of Science*[§§] toplantısında William Thomson'ın –daha sonra Lord Kelvin olarak bilinir– yaptığı başkanlık ko-

[††] İngiliz Gezegenlerarası Derneği Dergisi –çn.
[‡‡] Kraliyet Astronomi Derneği Dergisi –çn.
[§§] İngiliz Bilimsel Gelişme Birliği –çn.

nuşmalarındaki bazı yorumlarla başlamış olduğu görülebilir. Thomson, Louis Pasteur'ün 1860'larda yaptığı, en sonunda canlıların kendiliğinden cansız şeylerden türemediğini –örneğin larvaların çürümüş etin ürünü olmadığını ama sineklerle taşınan yumurtalarla geldiğini– kanıtlayan çalışmaları izliyordu. Yaşamın tümünün yaşamdan geldiğini, yani tüm canlıların birer atası olduğunu söyledi. Thomson'ın da dediği gibi, "ölü madde, daha önce canlı olan bir maddenin etkisine maruz kalmadan canlanamaz. Bu bana, kütleçekim kanunu kadar kesin bir bilim öğretisi gibi görünüyor." Şimdi, çok uzun zaman önce ve en azından bir kez cansızlıktan doğan bir canlı molekülün bulunduğunu söylerdik, fakat bu, Thomson'ın savının bir sonraki hamlesini etkilemez.

Thomson, yaşamın yeni oluşan bir volkanik adada ortaya çıkma biçimiyle bir analoji kurdu. Ölü kayalarda kendiliğinden ortaya çıkmasındansa, "tohumun oraya hava yoluyla sürüklendiğini veya bir sal üzerinde yüzdüğünü varsaymakta tereddüt etmeyiz." Ona göre Dünya için de aynı durum söz konusudur:

> Günümüzde ve ezelden beri kendimizinkinin yanında yaşam dolu birçok dünyanın olduğuna kuvvetle inandığımız için, uzayda hareket halinde olan sayılamayacak kadar çok tohum taşıyıcı göktaşının bulunmasını çok yüksek bir olasılık olarak görmeliyiz. Eğer şu anda Dünya'da yaşam olmasaydı, körü körüne doğal nedenler olarak adlandırdığımız şeyler yüzünden, yüzeye düşen böyle bir taş onun bitki örtüsüyle kaplanmasına neden olabilirdi.

Thomson'ın çağdaşlarından çok azı bu fikri ciddiye aldı. Onlardan biri, 1903 yılında elektroliz üzerine yaptığı çalışmalarla Nobel Ödülü alan, aynı zamanda atmosferdeki "sera etkisi"nin öncü bir kâşifi olan İsveçli Svante Arrhenius idi. Torunu Gustaf Arrhenius da tesadüf eseri Dünya'daki ilk yaşamın izotopik kanıtları üzerine çalışan insanlardan birisiydi.

Svante Arrhenius, tohumların göktaşları içinde uzayda taşındığını varsaymak yerine, bakteri gibi mikroorganizmaların Dünya'nın atmosferinin üst kısımlarına taşınmış ve

Güneş'in ışınım basıncından dolayı uzaya fışkırarak kaçmış olabileceğini dile getirdi. Bu tür organizmalar hayata dönmeden önce uzun dönemler boyunca, belki de yıldızlararası boşluktan geçerek bir başka Dünya benzeri gezegene inmek için yeterince uzun bir süre, canlılık bulgusu göstermeden kalabilir. Arrhenius bu tür yaşam tohumlarının Dünya'dan başlayan yolculuk sürelerinin yaklaşık değerlerini Mars'a 20 gün, Jüpiter'e 80 gün ve Güneş'e en yakın yıldız olan Alpha Centauri'ye 9000 yıl olarak hesapladı. Ve eğer bir yönde gidebiliyorlarsa, neden Dünya'ya uzaydan mikrobik hayatı getirecek şekilde diğer yönde de gitmesinler?

Panspermia astrobiyolojide hiçbir zaman ana akım olmadı ama Thomson ve Arrhenius'un hipotezlerinden beri insanlar zaman zaman farklı bağlamlarda bu fikre döndüler ve tam anlamıyla ikna edici bir gerekçe göstermeden onun bilimsel geçerliğini güçlendirdiler. Konuya getirilen bir değişiklik, Arrhenius'un asıl fikrini alır ve onu, yaşamın uzaydaki yolculuğunda karşılaşma olasılığı olduğunu bildiğimiz durumları hesaba katmak için uyarlar. Güneş gibi bir yıldız, uzaya kaçan mikroorganizmalar için ölümcül olan büyük miktarda morötesi ışınım üretir. Fakat Washington State Üniversitesinden Jeff Secker ve Kanada Waterloo Üniversitesinden çalışma arkadaşları Paul Wesson ve James Lepock, mikroorganizmaların ufak buz ya da toz tanecikleri içinde saklanması durumunda neler olabileceğini hesapladılar. Bu gene de Güneş gibi bir yıldızın ışınımından korunmaları için yeterli olmazdı. Ancak bir yıldız yaşlandığında şişerek, parçacıkları uzay boyunca itmeye yetecek kadar parlak olan ancak zarar verici morötesi ışınlar üretmeyen bir kırmızı dev olmaya evrilir. Secker ve arkadaşları, yaşam tohumu taşıyan bu gibi taneciklerin uzaydaki yolculuk süresini her bir milyon yıl için yaklaşık 20 ışık yılı olarak hesaplamaktadırlar. Güneş'e 20 ışık yılı mesafede düzinelerce yıldızın bulunması, yaşamın bir gezegen sisteminden diğerine kolayca atlayabilmesi ve birkaç milyar yıl içerisinde yaşamı her yere yayarak tüm Galaksiyi geçebilmesi anlamına gelir.

Organizmaların daha iyi korunması, şüphesiz ki daha uzun yaşayabilmeleri demektir. Arizona Üniversitesinden Jay Melosh, büyük kayaların derinliklerinde mikroorganizmaların milyonlarca yıl yaşayabildiklerini göstermiştir. Bu Güneş Sistemimiz bağlamında dikkat çekicidir, çünkü uzaydan gelen büyük darbeler bir gezegen yüzeyinden tam da bu tür büyük kaya parçalarını fırlatabilir. Gerçekten de Dünya üzerinde bulunan bazı meteoritlerin (kısmen izotop kanıtıyla) Mars'tan geldiği belirlenmiştir. Mars'tan gelen bu kaya parçalarından ALH 84001 olarak adlandırılan bir örnek, kayadaki mikroskobik tüp benzeri yapıların fosilleşmiş bakterilere benzediği iddialarından ötürü yoğun araştırma konusu oldu. Bu iddiayı doğrulamak için çok az kanıt bulunmaktadır. Fakat ALH 84001 gibi göktaşlarının Dünya üzerindeki varlığının anlattığı şey, eğer Mars'ta yaşam olsaydı, onun bir çarpmanın etkisiyle Mars yüzeyinden fırlayarak iç Güneş Sisteminde milyonlarca yıl boyunca gezindikten sonra Dünya'ya bu şekilde taşınabileceğidir. Yaşamın Dünya'dan Mars'a ya da başka herhangi bir yere bu yolla taşınması, Dünya'nın çekim gücü daha yüksek olduğu için biraz daha zordur ve ne yazık ki büyük kara parçalarının Güneş Sisteminden kurtulup da diğer gezegen sistemlerine yaşam tohumlarını taşıması pratikte imkânsızdır.

Tohumların kasten uygun gezegenlere yönlendirilmesi çok daha kolay olurdu. "Yönlendirilmiş panspermia" denilen bu fikir, DNA'nın yapısının kâşiflerinden Francis Crick ve bir diğer moleküler biyolog Leslie Orgel tarafından ortaya atıldı. Dünya'da başarılı bir yaşam formu olduğunu kanıtlamış olan mavi-yeşil alg dolu araçları ilginç görünen bir gezegen sistemine doğru göndermek, bizimkinden yalnızca birazcık daha gelişmiş bir teknolojiyle gerçekten kolay olurdu. Ve eğer mavi-yeşil alglerin Dünya'daki yaşamın uygun temsilcileri olduğunu düşünüyorsanız, Galaksiyi "kolonileştirmenin" de hızlı bir yolu olurdu. Öyleyse bizler koloniciyiz? Atalarımızdan kalan ilksel hücrelerimiz Dünya'ya bir diğer medeniyetin hediyeleri olarak mı geldi? 'Onlar' biz onlar olduğumuz için mi buradalar? Bu teknik olarak kesin-

likle mümkündür. Fakat asıl soru şu: neden akıllı bir varlık bunu yapar ki? Crick ve Orgel bile bu soruya hiçbir zaman tatminkâr bir cevap verememiştir ve *Life Itself* [*Yaşamın Kendisi*] adlı kitabında Crick "bir kuram olarak bu [yönlendirilmiş panspermia] henüz tam gelişmemiştir" itirafında bulunur. Orgel de aynı şekilde dogmatik değildir. Şöyle dediği bilinir: "Kozmos'ta yaşam olasılığıyla ilgili herhangi bir şey bilmemizin hiçbir yolu olmadığı kanısındayım. Her yerde olabilir veya biz yalnız olabiliriz."

Ben, Crick'in çıkarımına katılıyorum. Ancak yönlendirilmiş panspermia fikrini göz ardı etmedim, çünkü gerekçe ne olursa olsun bir uzaylı medeniyetin ya da medeniyetlerin diğer gezegen sistemlerini ziyaret etmek üzere uzay araçları göndermeye karar verebileceği görüşünü ortaya atıyor. Bu olasılık, Fermi paradoksunun nihai çözümü olduğunu düşündüğüm şeyi sağlar. Bununla birlikte çözümü açıklamadan önce, yalnızca bunların neden mantıksız olduğunu anlatmak için bulmacanın çözümü için öne sürülmüş diğer "yanıtlar"dan bahsetmek adil olacaktır.

Fermi paradoksu için önerilen en ayrıntılı ve erişilebilir "yanıtlar" listesi, Açık Üniversite'de[11] bir fizikçi olan Stephen Webb tarafından *Where is Everybody?* [*Herkes Nerede?*] adlı kitabı için hazırlanmıştır. Eğer burada yer verdiğim birkaç örnek, bu tür yorumlara olan iştahınızı kabartıyorsa, her ne kadar bazı önerilerin tuhaflığı kendi savıma destek olsa da daha derine inmenin tam yeridir.

Elbette birçok kişi uzaylıların burada olduğuna, hatta bazılarının uçan daireleriyle insan kaçırma alışkanlığı olduğuna inanıyor. Bunun için kayda değer bir kanıt yok. Hatta bazı çevrelerde *Unidentified Flying Object* [*Tanımlanamayan Uçan Nesne*] ya da UFO terimi "uçan daire" ile eş anlama gelmesine rağmen, UFO meraklıları bir noktayı atlıyorlar; bir şeyin yalnızca tanımlanamıyor olması, onun uzaylılara ait bir uzay aracı olduğu anlamına gelmez. Eğer bir araba yanımdan modelini göremeyeceğim kadar hızlı ge-

[11] *The Open University*, Birleşik Krallık'ta lisans düzeyinde yaygın eğitim veren, kısmen devlet destekli bir öğretim kurumudur –çn.

çerse, benim için bir bakıma tanımlanamayan hareketli bir nesnedir, ama bu onun çok gizli, roket güdümlü bir prototip olduğu anlamına gelmez. Mantıklı olan önerme, daha yakından incelediğimde onu bilinen bir araba modeli olduğunu belirleyebilecek olmamdır. İncelemelerin ardından o kadar çok UFO ihbarının bilinen atmosfer olayları, hava balonları, hava araçları ve benzeri şeyler –hatta (şaka yapmıyorum) Venüs gezegeni– olarak tanımlanabilir olduğu ortaya çıkıyor ki, henüz resmen tanımlanamamış olan küçük bir yüzdenin en basit açıklaması, onların da doğal olaylardan kaynaklandığıdır. Fakat tıpkı benim hızla giden arabanın hangi model olduğuna karar vermek için yeterli bilgimin olmaması gibi, onların hangi kategoriye ait olduğuna karar vermek için de yeterli bilgimiz yok.

Uçan daire hikâyesiyle yakından ilgili bir başka fikir, bizim gibi ilkel canlıların, kendi hızlarında gelişmeye bırakıldığı kozmik bir hayvanat bahçesinde veya bir tür vahşi yaşam alanında yaşıyor olduğumuz görüşüdür. Bu genellikle *Star Trek* [*Uzay Yolu*] film serisi de dahil birçok bilim kurgu öyküsünde açıkça görülen, bir kez belli bir teknolojik yetenek seviyesine ulaştığımızda (veya belki de birbirimizle savaşmayı bırakacak kadar büyüdüğümüzde), kıdemsiz bir üye vasfıyla da olsa bir tür galaktik gelişmiş medeniyetler kulübüne davet edileceğimiz çıkarımını beraberinde taşır. Bu fikre yapılan birçok itirazdan biri şudur: neden galaktik kulüp Dünya'yı yalnızca tek hücreli yaşam formlarıyla dolu olduğu milyarlarca yıl içinde ele geçirmedi? Bizi yalnızca birkaç milyon yıl önce primatlar açıkça zeki olmaya doğru ilerlerken mi keşfettiler? Ayrıca neden Samanyolu galaksisinin yıldızları arasındaki etkinliklerine dair hiçbir kanıt yok?

Galaktik kulüp görüşünün karşıt ucunda da, tüm uzaylı medeniyetlerin uzay seyahatiyle ilgilenmedikleri için evlerinde kaldıkları görüşü bulunuyor (daha önce şakaya vurarak ima ettiğim, herkesin bir sinyal beklediği ama kimsenin göndermediği yönündeki temanın bir çeşitlemesi). Bu tezin, ancak tek bir uzaylı medeniyet hakkında düşünüyorsak tutar tarafı olabilir. Fakat medeniyet dediğimiz şeyin evrende

yaygın olduğuna inanmak istiyorsanız, o zaman o medeniyetlerin hiçbirinin çevrelerini araştırmak istemediğini kabul etmelisiniz, çünkü –daha sonra açıklayacağım gibi– Samanyolu galaksisinde iz bırakmak çok kolaydır. Eğer Martin Rees'in kasvetli kehanetlerinin doğru olmadığını gösterirsek ve içinde bulunduğumuz yüzyılı atlatabilirsek, biz de böyle yapacağız.

"Uzaylılar oradaysa burada da olmalıdırlar" görüşüne karşı en ciddi itiraz, yıldızlararası seyahatin meşakkatli ve zor olmasıdır –Fermi'nin düşüncesinin en önemli noktası, onun basit büyüklük mertebesi hesaplarıyla bunun (Dünya'daki yaşamın zaman ölçütü bir yana) insan medeniyetinin zaman ölçütünde görece çabuk ve bir derece kolay olduğunu fark etmesi olsa da. Hatta insanlık tarihinde –daha doğrusu tarih öncesi dönemde– konuyu aydınlatan örnekler de vardır.

Yıldız seyahatinin zor yanı, bunu bir insan ömrü içerisinde tamamlamaktır; bunu yapmak ve eve geri dönmekse en az iki kat zordur. Ne diğer yaşam formlarının bizden çok daha uzun ömürlü olması ve birkaç yüzyıl süren bir seyahati en fazla bizim Atlantik ötesi bir uçuşu bulacağımız kadar meşakkatli bulması ihtimalini, ne de genel görelilik kuramının izin verdiği uzay zamandaki kestirmelerden yararlanacak veya gemilerine güç sağlamak için uzay boşluğunun kuantum alan enerjisini kullanacak kadar gelişmiş olan bir medeniyet ihtimalini göz ardı etmemeliyiz. Her iki olasılık da uzaylıların Galaksiyi kolonileştirmesini çok daha olası hale getirir. Fakat bu, bizimkinden biraz daha gelişmiş bir teknolojiye sahip bize benzer varlıklar tarafından yapılabilir. Olası itki sistemleri, nükleer-elektrik roketleri, füzyon roketlerini, yıldızlararası ramjet motorunu[***] ve (benim favorim olan) gezegende konuşlu güçlü lazerler yardımıyla yapılacak "yıldız yelkenlisi"ni[†††] içeriyor. Olasılıklara dair modası biraz geçmiş ama düzenli bir bakış, Robert Forward ve Joel

[***] Yapımında hareketli parça kullanılmayan, havanın fan yerine aracın hareketiyle sıkıştırıldığı basit bir motor çeşidi. Yüksek hızlı füzelerde kullanılır –çn.

[†††] Starsailing –çn.

Davies tarafından *Mirror Matter* [*Ayna Madde*] adlı kitaplarında sunulmaktadır (kendisi de bir fizikçi olan Forward, yıldız yelkenlisinin önde gelen savunucularından biridir). Ben burada detaylarına girmeyeceğim. Önemli olan şey, itki aracınız ne olursa olsun, yeterince yavaş gitmeniz halinde en yakındaki yıldızlara çok fazla çaba harcamadan gidebilmenizdir. Ve eğer o yıldızların yörüngelerindeki gezegenlerde koloniler kurulursa, kendilerine yakın ama bize uzak olan yıldızlara çok fazla çaba harcamadan ulaşabilirler.

Galaksiyi kolonileştirmenin yolu, geri gelmemenizdir. İnsanın tarih öncesi döneminden arketipik örnek, Polinezyalı insanların Pasifik boyunca adadan adaya dağılma ve en sonunda Yeni Zelanda'ya ve hatta en yakın karadan 1800 kilometre uzaktaki izole bir ada olan Paskalya Adasına[†††] ulaşma biçimidir. Yeni adalara uğrayıp geri dönmediler; yeni adalara yerleştiler ve oraları sırayla, daha uzaktaki adalara yerleşecek insanları gönderdikleri üsler olarak kullandılar. Bunların hiçbiri planlı değildi. Bu, Pasifik'i kolonileştirmek için büyük bir planın parçası değildi. Sadece, nüfus baskısı yüzünden ya da ufkun ötesinde ne olduğunu merak eden basit bir dürtüden doğdu.

Benzer şekilde atalarımız Doğu Afrika'da evrimleşmesine rağmen, sonraki nesiller yürüyerek tüm dünyaya yayıldı. Hatta şimdiki Sibirya ve Alaska arasındaki kara köprüsünü geçerek Güney Amerika'ya kadar giden yolu aştılar. Polinezya seferleri gibi bunların da hiçbiri planlanmamıştı. Kendiliğinden her bir nesilde (veya yalnızca bazı nesillerde) birkaç insan yemek ve su arayarak ya da sadece bir sonraki tepenin ardında ne olduğunu görmek için yahut da kalabalıktan kaçmak için komşularından biraz uzağa taşındı. Sürecin tamamı yaklaşık 30 bin yıl sürdü. Stanford Üniversitesinden Avustralya doğumlu radyo gökbilimcisi Ronald Bracewell bunu, insanların Afrika'dan Güney Amerika'ya yürümesinin, insan düzeyindeki zekânın Güney Amerika'da bağımsız olarak evrimleşmesinden daha çabuk olduğunu ifade ederek özetlemiştir. Yolculuğun bugünkü Kanada'dan Patagonya'ya

[†††] Easter Island –çn.

kadarki son kısmı, aşağı yukarı 13 bin kilometreyi bulur; bu mesafe yılda yalnızca 13 km'lik bir hızda sadece bin yılda kat edilebilir. Bracewell, akıllı yaşamın birkaç (veya birçok) farklı gezegende birkaç (veya birçok) defa evrimleşmiş olmasındansa, Galaksiye ilk "akıllı gezegen"den yayılmasının daha mümkün olduğu sonucuna varır.

Bracewell bu sonuca varırken, Michael Hart tarafından yapılan ve 1975 yılında *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society* dergisinde basılan makalesindeki bir hesaplamadan yararlanmıştır. Hart, Galaksinin gelecekte dünya tarafından kolonileştirilmesi örneğini kullanır. Hart, fizik kanunlarının izin verdiği olası itki sistemleriyle ilgili mantıklı varsayımlarda bulunarak en sonunda hepsi de Güneş'e yaklaşık 20 ışık yılı mesafedeki "en yakın 100 yıldızın tümüne keşif seferleri gönderdiğimizi" varsayar. "Bu kolonilerin her birinin er ya da geç kendi keşif gezilerini yapma potansiyeli vardır ve sırasıyla onların kolonileri de kolonileştirebilir ve bu şekilde devam eder." Yolculuklar arasında duraklama olmadan, "uzay keşfinin sınırları kabaca yarıçapı 0,10 *c* [ışık] hızında büyüyen bir kürenin yüzeyine yayılmış olurdu. Bu hızda galaksimizin büyük kısmı 650 bin yıl içinde geçilmiş olurdu." Şüphesiz ki geziler arasında duraklama olmaması fazla iyimser bir varsayım, ama yolculuklar arası zaman, bir yolculuğun kendi uzunluğuyla aynı büyüklük mertebesinde olsaydı bile Galaksiyi kolonileştirmek için gereken zaman yalnızca iki katına, yani 1,3 milyon yıla çıkardı. Bu süre Galaksinin yaşının sekiz binde birinden fazla değildir. Gerekli olan zamana dair kolonilerin kurulmasının ne kadar süreceğine dayalı olarak yapılan daha karamsar tahminler, birkaç milyon yıldan 500 milyon yıla uzanabilir; fakat bu bile Galaksinin yaşıyla kıyaslandığında çok kısa bir süre. Ve Fermi'nin değerlendirdiği gibi, tam sayılar değil, yalnızca büyüklük mertebesi önemli. Eğer biz bunu yapabiliyor olsaydık, onlar da yapabiliyor olurdu. Öyleyse, neden burada değiller?

Yaşayan varlıkları yıldızlararası yolculuğun sıkıcılığı ve tehlikelerine maruz bırakmaya bile gerek olmadığını fark ettiğinizde, bu sav daha da güçlü biçimde dikkati çekiyor.

## YANIT ARAYIŞI

Galaksimizde başka teknolojik medeniyetlerin var olmadığına dair en güçlü tez, ikisi de hem bilgisayar bilimine, hem de İkinci Dünya Savaşı'ndaki Müttefik zaferine büyük katkılarda bulunan iki matematik dehasının çalışmaları sonucu ortaya çıktı. Alan Turing, Buckinghamshire'daki Bletchley Park'ta savaş süresince Alman şifrelerini kıran ekibin önde gelen üyesi olan bir kriptograf olarak hatırlanmaktadır. Fakat 1936 gibi erken bir tarihte, bilgisayar hesaplamalarının temel ilkelerini ortaya koyan *"On Computable Numbers"* (Hesaplanabilir Sayılar Üzerine) adlı bilimsel bir makale yazmıştı. Turing, uygun makine diliyle ifade edilebilen herhangi bir problemi çözebilen (artık evrensel Turing makinesi olarak adlandırılan) bir makinenin yapılmasının prensipte mümkün olduğunu kanıtladı. Kişisel bilgisayarlarla yetişen bir kuşak için bu tüm çıplaklığıyla ortadadır; fakat bilim ve teknolojiyi çağdaş bilgisayarlara götüren şey, bu tür makinelerin yapılabileceğinin kanıtlanmasıydı. Turing'in kendi cümleleriyle, doğru program yüklendiği takdirde, evrensel makineye "özel amaçlı herhangi bir makinenin işi yaptırılabilir, yani herhangi bir hesaplama görevini yerine getirmesi sağlanabilir." Şifre kırma çalışmalarının bir parçası olarak Bletchley Park'ta geliştirilen bilgisayar, yalnızca tek bir görevi gerçekleştirmek için tasarlanmış özel amaçlı bir makinenin bir örneğiydi. Fakat ilk genel amaçlı bilgisayar, başka birçok şeyin yanında ilk nükleer bombanın yapıldığı Manhattan Projesi'nde de çalışan Macaristan doğumlu John von Neumann'ın yardımıyla kısa süre içinde geliştirildi.

Von Neumann'ın her problemi çözebilecek bir bilgisayar fikrine olan ilgisi, onu zekânın ve yaşamın doğası hakkında düşünmeye itti. Zeki varlıklar, çok sayıda farklı problem türünü çözebildikleri için bir anlamda evrensel Turing makineleridir ancak ek olarak üreme yetenekleri vardır. Oralarda biyolojik olmayan anlamda kendi kendine üreyen Turing makinelerinin var olması prensipte mümkün müydü? Von Neumann, bunun gerçekten de mümkün olduğunu kanıtladı. Süreç yalnızca birkaç basit adımdan oluşuyor. İlk ola-

rak makinenin bellek bankalarında depolanmış bilgisayar programı, programı kopyalaması ve bir çeşit bellek bankasında (bugünlerde bunun bir harici hard disk olduğunu düşünebiliriz) saklaması için makineye emir verir. Daha sonra program, makineye kendisinin belleği boş olan bir kopyasını çıkarması için emir verir. Son olarak, makineye programın kopyasını depolama aygıtından yeni makineye aktarmasını söyler. 1948 kadar eski bir tarihte Von Neumann, canlı hücrelerin de üreme aşamasında tam olarak aynı yolu izlemesi gerektiğini göstermişti. Şimdi de nükleik asitleri hücrenin "programı," proteinleri de hücrenin "makine aksamı" olarak anlıyoruz. İlk önce DNA kopyalanıyor. Ardından hücre ikiye bölünürken, DNA'nın kopyası yeni hücreye taşınıyor.

Kendi kendine üreyen, biyolojik olmayan bir otomaton, artık genellikle bir "von Neumann makinesi" olarak anılmaktadır. Ne Turing ne de von Neumann bu fikirlerin geliştirildiğini görecek kadar yaşayabildi. Turing 1954'te eşcinselliğinden dolayı yetkililerin yıllarca süren tacizlerinden sonra intihar ettiğinde henüz 41 yaşındaydı; von Neumann ise 1957'de 53 yaşında kanser nedeniyle yaşamını yitirdi. Samanyolu galaksisinin keşfi için insansız uzay araçlarının kullanılabileceğini söyleyen Ronald Bracewell oldu ve bu tür von Neumann makinelerinin Galaksideki her ilginç gezegeni ne kadar hızlı ziyaret edebileceğini gösteren savın tam etkisini ortaya koyan ise ABD'li Frank Tipler oldu.

Anahtar nokta, bir teknolojik medeniyetin Samanyolu'nun tamamını (vekâleten) kolonileştirmek için yalnızca bir ya da iki adet insansız uzay aracı inşa etmek zorunda olmasıdır. Böyle bir uzay aracı, kendisinin kopyalarını üretmek ve bu kopyaları diğer gezegen sistemlerini keşfetmek üzere uzaklara göndermek için bir gezegen sistemindeki asteroitlerle diğer kozmik molozun arasında bulduğu hammaddeleri ve ek olarak da ana yıldızın enerjisini kullanmaya programlanabilir. Dünya'dan Mars ve Jüpiter arasındaki Asteroit Kuşağı'na gönderilen bir veya iki uzay aracı, yakınlardaki yıldızları araştırmak üzere harekete geçebilecek bir özdeş uzay aracı filosu inşa etmek amacıyla radyo yoluyla yeryüzüyle kurdu-

ğu iletişimi sürdürerek oradaki hammaddeleri toplayabilir. Bunların birisi, yeni bir gezegen sistemine her vardığında, bulgularını rapor etmenin yanında kendisinin kopyalarını üretmeye girişerek süreci tekrar eder. Çok alçakgönüllü bir varsayımla, uzay araçlarının ışık hızının kırkta biri hızla gidebildiğini ve çevresinde gezegen olan yıldızları seçmeye programlandığını düşünürsek, (10 milyar yıl yaşındaki bir galakside) ilk aracın yapılışından itibaren Galaksideki her ilginç gezegenin ziyaret edilmesi 10 milyon yıldan daha kısa bir zaman alır. Üstelik tüm masraf, bir başlangıç aracının (veya en fazla yedek birkaç kopyasını) yapımından ibarettir.

Şu anki teknolojimizle bile en yakın yıldıza yeterli büyüklükte bir araştırma aracı gönderebiliriz. Buna göre, araç Jüpiter'in çok yakınından geçer ve hızlanmak için Jüpiter'in kütleçekim kuvvetini bir sapan gibi kullanırdı; Güneş'in çekim kuvveti sayesinde daha fazla hızlanabileceği şekilde Güneş'in yanından geçer ve sonra da ışık hızının yaklaşık yüzde 0,02'sine karşılık gelen bir hızda Güneş Sisteminden çıkardı. Hedef yıldıza vardığında ise yavaşlamak için yıldızın ve gezegenlerinin çekim kuvvetini kullanabilirdi. Aracın hedefine ulaşması birkaç bin yıl alırdı, ancak eğer ana gezegende medeniyet hâlâ mevcutsa ve birileri hâlâ ilgiliyse, radyo kanalıyla yalnızca kopyasını (veya kopyalarını) değil, gelişmiş, daha hızlı bir örneğini inşa etmek üzere programlanabilirdi (aracın gönderilmesinden sonraki bin yılda dünyadaki teknolojinin geliştiğini varsayarsak). Belki ilk uzay aracından veya araçlarından ilginç haberlerin gelmesi binlerce yıl alabilirdi; bununla birlikte onlar çoğaldıkça ve Galaksi boyunca giderek daha hızlı bir şekilde dağıldıkça, her yıl birkaç kez farklı gezegen sistemlerinden haber yağardı.

Bu şimdiki teknolojik yetkinliğimize o kadar yakın ki en fazla birkaç on yıl içinde (medeniyet çökmezse) bu süreci başlatabileceğimiz son derece açık. Üstelik "biz" derken kastettiğim ille de NASA gibi devlet destekli kurumların tüm kudreti olmak zorunda değil. Paul Allen gibi bireyler hali hazırda ET'yi araması için radyo teleskoplara para ödüyorlar; gelecek kuşağın Paul Allenları da Galaksideki her gezege-

ni keşfetmek (ya da en azından bu keşifleri başlatmak) için ödenek sağlayabilir. Böyle bir birey, milyonlarca yıl sonra ne olacağını umursamaktansa, yaşadığı süre içinde en yakın gezegen sisteminden haber almayı umuyor olabilir. Fakat bütün Galaksiyi incelemek en yakın gezegen sistemini incelemeye göre gerçekten de daha pahalıya gelmiyorsa kim işi sonuna kadar götürmeye karşı çıkar ki?

İşte bu yüzden von Neumann uzay araçlarının yapılma olasılığı, Samanyolu'nda yalnız olduğumuz savını güçlendiren kuvvetli bir kanıttır. "Onlar"ın orada oldukları, ama hangi sebeple olursa olsun bizimle temasa geçmekten kaçındıkları yönündeki tüm görüşler, her teknik medeniyetin varlıklarını gizlemek için diğer medeniyetlerle birlikte çalışmasını gerektirir. Fakat birliği ortadan kaldırmak ve Galaksiye birkaç uzay aracı göndermek için yalnızca bir medeniyete ihtiyaç duymanız söz konusu değildir. Gereken tek şey birisinin bir araç göndermesidir ve her ilgi çekici gezegen birkaç milyon içinde ziyaret edilecektir.

Fermi, "Eğer oradalarsa burada neden değiller?" diye sormuştu. Bulmacanın yanıtı şudur: onlar orada değiller. Fakat bu çok daha önemli bir soru doğuruyor, bu da "Yalnız mıyız?" değil, "Neden yalnızız?" sorusu. Eğer onlar orada değilse biz neden buradayız? Hem mekânda hem de zamanda, Evrendeki yerimizle ilgili özel olan ve Galaksideki tek teknolojik medeniyetin oluşumuna izin veren şey nedir? İşte bu, kitabın geri kalanının konusu –neden böyle sorular sormak üzere burada olduğumuz.

# 2

# SAMANYOLU'NDAKİ YERİMİZ HAKKINDA BU KADAR ÖZEL OLAN ŞEY NEDİR?

Neden Samanyolu galaksisinde zeki yaşam var? Varlığımız Samanyolu'nun yapısıyla ve Güneş'in Samanyolu'ndaki konumuyla yakından bağlantılıdır. Burada diğer galaksilerdeki olası yaşamlarla ilgim olmasa da, içinde yaşadığımız galaksi olan Samanyolu'nu anlamak, galaksilerin genel olarak oluşma biçimini ve zaman içinde nasıl değiştiklerini (evrildiklerini) anlamaktan geçiyor. Teleskoplar zaman makineleri gibi davrandığı için gökbilimciler bütün bunlara en azından ana hatlarıyla hâkimler. Eğer bir nesne, diyelim ki yüz ışık yılı uzaklıkta ise bu, ışığın o nesneden bize gelmesinin yüz yıl süreceği anlamına gelir, dolayısıyla biz bugün o nesneyi ışığın yola çıktığı zamanki, yani yüz yıl önceki haliyle görürüz. Bu, "geçmişe bakış süresi"* olarak bilinir. Bazı gökyüzü teleskopları o kadar hassastır ki, ışığın yaklaşık 13 milyar yıl önce bildiğimiz anlamda Evrenin doğduğu Büyük Patlamanın hemen sonrasında terk ettiği galaksileri görebilirler. Böylece biz genç galaksileri oluştuktan hemen sonra görebiliriz ve şüphesiz ki bütün düşük mesafelerdeki galaksileri evrimlerinin sonraki aşamalarında görebiliriz. Bireysel galaksilerin zamanla değişimini göremeyiz ama galaksileri gelişimlerinin tüm aşamalarında görebilir, bu bilgiyi fizik kanunlarını anlayışımız ve bilgisayar simülasyonlarıyla birleştirip Samanyolu gibi bir galaksinin bugünkü haline nasıl geldiğini çözmede kullanabiliriz. Buna çok benzer bir şekilde, biyologlar da olgunlaşmış meşe ağaçlarının bulundukları duruma

* İngilizce literatürdeki "look back time" ifadesinin Türkçe karşılığı olarak "geçmiş bakış süresi" kullanılmıştır –çn.

nasıl geldiklerini anlamak için bir tek meşe ağacını, meşe palamudu halinden itibaren izlemek zorunda değillerdir; bir ormanda meşe ağaçlarını gelişimlerinin her aşamasında görebilir, bu gözlemlerle bir meşe ağacının yaşam döngüsünü çözümleyebilirler.

Günümüzde parlak yıldızlar ve galaksiler üzerindeki kütleçekim kuvvetiyle açığa çıkartılan karanlık madde, evren gençken galaksilerin oluşumunda kilit bir rol oynadı. Karanlık madde yalnızca kütleçekim etkisiyle açığa çıkan, bizim meydana geldiğimiz atom ve moleküllerden farklı bir madde biçimidir. Karanlık maddenin doğasını araştırmak, bugün gökbilimcilerin başlıca ilgi alanıdır, fakat mevcut bağlamda önemli tek şey onun orada bulunuşu ve onsuz Samanyolu gibi galaksilerin oluşamamasıdır. Karanlık madde yığınları, tıpkı suyun bozulmuş bir yoldaki bir dizi çukura akışı gibi, atomik madde dalgalarına bir çekim kuvveti uyguladı. Bu atomik madde dalgaları yalnızca Büyük Patlamada ortaya çıkan hidrojen ve helyumdan meydana geliyordu; varlığımız için çok gerekli olan ağır metallerin hiçbiri yoktu. Sonuç, kendi ağırlıkları altında (yalnızca karanlık madde yüzünden değil) çökmeye başlayan ve böyle yaptıkça bisiklet pompasındaki havanın sıkıştığında ısınmasına çok benzer bir şekilde giderek ısınan devasa gaz bulutlarıydı. Merkeze doğru olan çekim kuvveti sıcak gazın neden olduğu basınçla dengelendiğinde bulutlar çökmeyi bırakmak zorundadır ve yalnızca hidrojen ile helyum karışımından oluşan bulutlar için bu, bulutlar hâlâ çok büyükken gerçekleşir çünkü onların uzayda enerji yaymaları zordur. Günümüzde yıldızlar çok daha küçük bulutlardan oluşur çünkü bu bulutlardaki karbon gibi daha ağır elementlerin varlığı ısının daha verimli yayılmasına ve bulutun büzülmesine olanak sağlar. Fakat simülasyonlar, Büyük Patlamadan sonra oluşan ilk yıldızların Güneş'ten yüzlerce kat fazla kütleye ve yaklaşık 10 bin Kelvin civarındaki yüzey sıcaklıklarına sahip olduğunu ve uzayda bulunan kızılaltı teleskoplar kullanılarak bugün bile hâlâ tespit edilebilen bir radyasyon parlaması ürettiğini göstermektedir.

Yıldızın parlamayı sürdürmesi, çekirdeğinde meydana gelen, hafif elementleri ağır elementlere çeviren ve süreç sırasında enerji açığa çıkaran nükleer tepkimeler yüzündendir. Bir yıldız ne kadar ağırsa kendisini taşımak için nükleer "yakıt"ını o kadar hızlı yakmalıdır; işte bu nedenle ağır yıldızlar kısa ömürlüdür. Büyük Patlamadan sonraki yaklaşık 250 milyon yıl içinde, ilk yıldızlar yakıtlarını tüketip bahsi geçen ağır elementlerin bazılarını içeren dış katmanlarını yakınlardaki gaz bulutlarına saçarak patladı. Patlamalardan kaynaklanan dalgalar daha fazla bulutun çöküşünü tetikledi ama artık çöken bulutlar, daha fazla ışınımın kaçmasına izin veren ağır elementlerin varlığından dolayı öncekilerden daha çok büzüşebiliyordu. Bulutlar büzüştükçe daha küçük parçalara ayrıldı. Bunlar, bugün Samanyolu galaksisinde gördüklerimize benzeyen ilk yıldızları meydana getirdiler. Gerçekten de galaksimizde gördüğümüz bazı yıldızlar galaksi oluşumunun bu erken evresinden kalmış olabilir. Galaksimizde çok az ağır element içeren en yaşlı yıldızların 13,2 milyar yıldan daha yaşlı olduğu tahmin edilmektedir, bu da Büyük Patlamadan sonraki 500 milyon yıl içerisinde oluştukları anlamına gelir. Yalnızca çok düşük oranda ağır element içeren (terimin astronomik anlamında "metal" yoksunu) yıldızlar tarihsel nedenlerle Popülasyon II adıyla bilinmektedirler.

Fakat Popülasyon II yıldızlarının oluştuğu ortam, ilk metallerin varlığından ayrı olarak, ilk yıldızların oluştuğu ortamdan zaten oldukça farklıydı. Güneş'in yaklaşık 250 katı kütleye sahip bir yıldız öldüğünde, dış katmanlarının büyük bir patlamayla fırlamasına rağmen maddenin çoğu çöker ve Güneş'in yüz katından daha fazla kütleye sahip bir kara delik oluşturur. İlk yıldızlar o zamanlarda evrendeki maddenin en yoğun olduğu yerlerde oluşmuş olmalıdır, bu yüzden bu kara deliklerin çoğu birbirine yakınlaşırdı ve çok daha büyük nesneler oluşturmak için birleşirdi. Samanyolu'nun kendisi de dahil olmak üzere bizimki gibi bütün galaksilerin kalbinde süper-kütleli kara deliklerin olduğuna dair zengin bulgular var. Bu kara deliklerin nereden geldiklerini kesin

olarak söylemek imkânsız, ama büyük olasılıkla Büyük Patlamadan sonraki birkaç yüz milyon yıl içinde ölen ilk yıldızların oluşturduğu kara delik birleşmelerinden oluştular.

## GALAKSİLERİN OLUŞUMU

Yaklaşık 13 milyar ışık yıllık geçmişe bakış süresine karşılık gelen mesafelerde, en parlak astronomik nesneler dışında hiçbir şey görmek kolay değildir. Fakat kuasar olarak bilinen bu tür parlak nesnelerin gözlemleri, kütlesi güneşimizin en az bir milyar katında ve çevresinde yıldızların oluşabildiği atomik madde bulutları bulunan kara deliklerin evren bir milyar yaşına varmadan daha önce var olduğunu gösterir. Bu muazzam uzaklıklarda, görülemeyecek kadar soluk pek çok benzer ancak daha küçük nesneler de var olmuş olmalıdır; simülasyonlar, atomik madde bulutları kara deliklerin kütleçekimine yakalandıkça kara deliklerin galaksilerin üzerinde büyüdüğü çekirdekleri nasıl oluşturduğunu gösteriyor. Hubble Uzay Teleskobuyla yapılan gözlemler, Samanyolu'ndan daha küçük ve içinde çok sayıda sıcak genç yıldız barındırdığı için masmavi olan bu eski galaksilerin birkaçını ortaya çıkarmıştır. Fakat ilk önce kara deliklerin oluştuğunu, sonra da galaksilerin onların etraflarında büyüdüğünü düşünmeyin; süreç daha iyi bir biçimde kara deliklerin ve onları çevreleyen galaksilerin tek bir ilksel madde bulutundan birlikte geliştiği bir tür birlikte evrimleşme olarak zihinde canlandırılabilir. Hem kara deliğin hem de çevresindeki galaksinin kütlesi, başlangıçtaki bulutta ne kadar malzeme olduğuna bağlıdır.

Hesaplamalar böyle bir sürecin, merkezi kara deliğin güneşimizin en az bir milyon katı kütleye sahip olması şartıyla, birkaç milyar yıl içinde Samanyolu kadar büyük bir nesne üretebileceğini gösterir. Samanyolu'nun merkez bölgesinin gözlemleri, galaksimizin kalbindeki yıldızların görünmeyen bir nesne etrafında çok hızlı döndüklerini göstermektedir. Hareket hızları bize, kontrolünde oldukları merkezi nesnenin güneşimizin kütlesinin aşağı yukarı 3 milyon katına sa-

hip olduğunu, ama yarıçapının Ay ile Dünya arasındaki mesafenin yaklaşık olarak yalnızca yirmi katı, yani 7,7 milyon kilometreyle sınırlı olduğunu söyler. Bu yalnızca bir kara delik olabilir. Taşlar yerine tam anlamıyla oturuyor. Fakat yaşam söz konusu olduğunda, merkezdeki kara delik galaksinin doğması için gerekli olsa da, galaksi bir kez oluştuğunda önemli olan şey onun dış bölgelerinde, kara delikten uzakta meydana gelenlerdi.

Bunların tümü galaksimizin şişkin bölgesinin (tavada pişen yumurtanın sarısına benzeyen bölge) nasıl oluştuğunu ve benzer şişkin bölgelerin diğer galaksilerde nasıl oluştuğunu açıklar. Bu aynı zamanda diski olmayan bir disk galaksinin şişkin bölgesine benzeyen (veya beyazı olmayan sahanda yumurtanın sarısına benzeyen), galaksi ailesinin eliptik galaksiler olarak bilinen daha küçük üyelerinin kökenlerini de açıklar. Hayalgücünden uzak biçimde düzensizler olarak adlandırılan küçük, düzensiz biçimli yıldız toplulukları haricinde tüm ilksel galaksiler, eliptik şişkin galaksiler olarak doğmuş gibi görünmektedir, ancak hepsi disk geliştirmemiştir. Muhtemelen bu, yakınlarda merkezi şişkinliğin çevresindeki bir diskin içine alınabilecek yeterli maddenin olup olmamasına bağlıydı.

Her şey bir kerede olmadı. Samanyolu gibi disk galaksiler, merkezdeki şişkin bölgeye zamanla ufak tefek döküntülerin eklenmesiyle oluşmuş gibi görünür. Yıldızların galaksimizin diski etrafında hareket etme biçimlerinde buna dair doğrudan kanıtlar bulunur. Gökbilimciler, diskteki yıldızların çoğunun bir kulvardaki koşucu kalabalığı gibi düzenli biçimde birlikte hareket ettiğini ortaya çıkarmasına rağmen, birbirine benzeyen ama arka plandaki yıldızlardan biraz farklı kompozisyonu olan ve birbirleriyle aynı yönde ancak diskteki çoğu yıldızın hareketine açı yapacak biçimde hareket eden birkaç uzun ince yıldız akıntısı seçebilirler. Bugün bu akıntılardan bir düzine kadarı biliniyor. Bir akıntıdaki madde miktarı, birkaç bin güneş kütlesinden güneşimizin kütlesinin yüz milyon katına kadar değişir, uzunlukları ise 20 bin ışık yılından bir milyon ışık yılına kadar değişiklik gösterir.

Bunlar Samanyolu'na fazla yaklaşmış ve galaksimizin kütleçekim kuvveti yüzünden bozulmuş olan galaksilerin kalıntılarıdır. Bu yıldızlar dağıldıkça Samanyolu'nun geri kalanıyla kaynaşır ve komşularından ayırt edilemez duruma gelirler. Bu, Samanyolu'nun şimdiki büyüklüğüne kendinden daha küçük komşularını yutarak, bir anlamda kozmik yamyamlıkla ulaştığı anlamına geliyor; yakınımızdaki disk galaksiler üzerine yapılan çalışmalar, oralarda da tam olarak aynı sürecin sürdüğünü gösteriyor. Bu, başka şeylerin yanı sıra, yalnızca yaklaşık 10 milyar yıl önce doğmuş olan bir galakside neden 13 milyar yaşında yıldızlar bulunduğuna açıklık getirir; büyüdükçe daha yaşlı yıldızları yutmuştur.

Samanyolu ve benzer galaksiler Büyük Patlamadan 3 veya 4 milyar yıl sonra, yani 10 milyar yıl önce var oluşmuştu. Kozmik yamyamlık sonucunda gelişmeye devam ediyorlardı (hâlâ da ediyorlar!), bununla birlikte belirgin şişkin bölge ve disk yapısı zaten mevcuttu ve disk üzerinde Popülasyon I olarak bilinen, metal yönünden gittikçe zengin hale gelen yıldızlar vardı. Zaman geçtikçe diskte bulunan gaz, yıldız nesillerini takip ederek ağır elementler yönünden giderek zenginleşti, öyle ki bu sayede yaklaşık 5 milyar yıl önce, Samanyolu bugünkü yaşının yaklaşık yarısındayken Güneş oluştuğunda, artık gezegenleri oluşturmak ve en azından birisi üzerinde insanları meydana getirmek için yeterli miktarda "metal" bulunuyordu.

Bu, hikâyenin sonu değil. Samanyolu'ndan kat kat büyük, devasa eliptik galaksiler, disk galaksiler arasında gerçekleşen, disklerin yapısının ortadan kalktığı birleşmelerden meydana gelmiş gibi görünüyor. Belki bu, Andromeda takımyıldızı yönünde yakın komşusu olan M31 adındaki galaksiyle çarpışma rotasındaki bizim kendi galaksimizin de kaderidir. Fakat bu önümüzdeki birkaç milyar yılda gerçekleşmeyecek ve neden burada olduğumuz sorusuyla doğrudan bir ilgisi yok. Konuyla asıl ilgili olan şey, yıldızların hidrojeni ve helyumu nasıl daha ağır elementlere çevirdiği ve gelecek nesil yıldızların ve gezegen sistemlerinin hammaddesine katılmak üzere nasıl uzaya saçtığıdır.

## METALLERİN OLUŞUMU

Büyük Patlamadan yaklaşık 10 milyar yıl sonra doğmuş olan Güneş gibi bir yıldızda bile sınırlı miktarda ağır element bulunur. Kütlesine bakıldığında Güneş yaklaşık yüzde 71 oranında hidrojen, yüzde 27'den biraz fazla helyum ve yüzde 2'nin biraz düşük bir oranda diğer her şeyden oluşmaktadır. Güneş'in iç yapısı, tıpkı Dünya'nın iç yapısının deprem dalgalarının analiziyle incelenebilmesi gibi, yüzeyindeki dalgaların analiziyle incelenebilir. Gökbilimciler ayrıca Güneş'in merkezindeki koşulların neye benzediğini fizik yasaları, Güneş'in bilinen kütlesi ve parlaklığı yardımıyla hesaplayabilirler. Bu iki yaklaşımın birleşimi bize, Güneş'in yarı kütlesinin çekim kuvveti nedeniyle merkezden yüzeye olan mesafenin yalnızca çeyreğine kadar uzanan ve Güneş'in toplam hacminin sadece yüzde 1,5'ini kaplayan bir çekirdeğe sıkıştırıldığını söyler. Güneş'in tamamı Dünya'nın çapının kabaca 108 katıdır, bu da hacminin Dünya'nınkinin yaklaşık bir milyon katı, kütlesinin ise Dünya'nınkinin yaklaşık 330 bin katı olduğu anlamına gelir. Öyleyse, 165 bin dünyaya eşit bir kütle Güneş'in kalbinde, Dünya'nın yalnızca 25 katı büyüklüğündeki bir hacme sıkıştırılmıştır.

Bu çekirdeğin içinde, elektronlar geride çıplak çekirdekler bırakarak atomlarından tamamıyla kurtulmuşlardır ve ortaya çıkan çekirdek ve elektron karışımı kurşunun 12 katı bir yoğunluğa sıkışmıştır. Sıcaklık, Güneş'in merkezinde 15 milyon Kelvin civarındadır, çekirdeğin dış katmanında ise 13 milyon Kelvin'e düşer. Hidrojeni helyuma çeviren bir dizi nükleer tepkime bu uç koşullar altında gerçekleşir. Bu çok aşamalı süreç, dört adet hidrojen çekirdeğini (proton olarak da bilinir), iki proton ve iki nötrondan oluşan tek bir helyum çekirdeğine (alfa parçacığı olarak da bilinir) dönüştürür. Kritik nokta, bu her meydana geldiğinde Einstein'ın o ünlü denklemine uygun olarak başlangıçtaki dört protonun kütlesinin yüzde 0,7'sinin enerji olarak açığa çıkmasıdır. Güneş'in parlamasını sürdüren şey budur ve bu nedenle Dünya'da temiz enerji üretmek için Güneş'in kalbindeki sürecin taklit edildiği füzyon reaktörlerinin geliştirilmesine büyük çabalar harcanmaktadır.

Güneş'in merkezindeki koşullarda bile bu süreç oldukça nadir görülür. Bugünkü hızla Güneş'in çekirdeğindeki hidrojenlerin tamamını bu şekilde yakmak yaklaşık yüz milyar yıl sürerdi, fakat çekirdekteki helyum "külü" birikiminden dolayı bu asla gerçekleşmeyecek. Ancak Güneş'in içerisinde o kadar çok proton vardır ki her saniye yalnızca ufak bir kısmı helyum çekirdeğine dönüşmesine rağmen, bu gene de enerjiye dönüştürülen ve dışarı yayılan 5 milyon ton kütleye karşılık gelir. Her saniye, Güneş'in kalbinde 700 milyon ton hidrojen 695 milyon ton helyuma dönüştürülür. Bu süreç Güneş Sistemi meydana geldiğinden beri yaklaşık 4,5 milyar yıldır sürmektedir ama bugüne kadar başlangıçtaki proton deposunun yalnızca yüzde 4 kadarı tüketilmiştir.

Düzenli olarak hidrojeni helyuma dönüştüren Güneş gibi bir yıldızın "Anakol"[†] yıldızların bir üyesi olduğu söylenir. Bir yıldızın Anakolda ne kadar süre kalabileceği kütlesine bağlıdır. Daha küçük yıldızlar daha sönüktür ve yakıtlarını daha yavaş tüketirler; büyük olanlarsa daha parlaktır ve yakıtlarını daha hızlı tüketirler. Bunun neden burada olduğumuzla çok net bir bağlantısı var, çünkü zekânın Dünya üzerindeki evrimi yaklaşık 4 milyar yıl sürdü ve eğer Güneş birkaç milyar yıl önce yakıtını tüketmiş olsaydı bu hiç gerçekleşmeyecekti. Fakat Güneş aşağı yukarı Anakolun ortalarındadır ve aynı zamanda bir Anakol yıldızı olarak ömrünün kabaca yarısındadır. Bilgisayar simülasyonları ve diğer yıldızlarla kıyaslamalar, Güneş'in içindeki bu düzenli hidrojenden helyuma dönüşme sürecinin 4 veya 5 milyar yıl daha sürebileceğini söylemektedir. Ardından helyum birikimi yıldızın çekirdeğinin yeniden düzenlenmesine neden olur, bunun da Güneş ve Dünya üzerindeki yaşam üzerinde –gelecek bölümde anlatacağım– ciddi etkileri olacaktır.

Güneş gibi bir yıldız yaşamının sonraki aşamasında helyumu "yakarak" karbon ve oksijene dönüştürür. Bu, Güneş için hikâyenin sonudur ve tüm helyum yakıtı tükendiğinde, beyaz cüce denilen, yaklaşık Dünya büyüklüğünde ve soğumakta

[†] Anakol Yıldızları (Main Sequence Stars): Beyaz Cüce, Kırmızı Dev ve Süper Dev gruplamaları dışındaki en kalabalık yıldız kategorisi –çn.

olan kor halindeki bir yıldız topu halini alır. Fakat daha büyük kütleli yıldızlar nükleer füzyon sürecini devam ettirebilir çünkü daha büyük yıldızlar için bir yıldızın çekirdeğindeki yoğunluk ve sıcaklık daha fazladır. Onlar demir ve nikele kadar her türden daha ağır metal elde etmek için çekirdekleri füzyonla bir araya getirerek enerji yayabilirler. Bir yıldız, yaşamının sonraki evreleri boyunca şişer ve uzaya materyal bulutları savurur, böylece gökbilimi fotoğrafçılığı için göz alıcı güzellikte nesnelere hayat verirken daha da önemlisi yıldızların içinde üretilen elementleri, geri dönüştürülüp yeni yıldızlar ve gezegen sistemleri oluşturan maddelerin bir kısmını meydana getirecekleri uzayın içlerine yayar.

Fakat en büyük yıldızlar, çok daha olağanüstü bir şey yapar. Patlar ve böylece tüm elementleri demirden daha ağır hale getirirler.

Enerji, hidrojenden demire kadar çekirdeklerin daha ağır çekirdekler halinde birleştirilmesiyle salınabilir, ancak azalan verim diye bir tür kanun var. Bu, hidrojenden helyuma giden sürecin ilk adımı için (söz konusu her bir parçacık başına) daha fazla enerjinin salındığı ve sonraki her adımda salınan enerji miktarının giderek düştüğü anlamına geliyor. Demire gelindiğinde süreç sona erer, çünkü çekirdekleri bir araya getirerek demirden daha ağır elementler yapmak için enerji eklenmelidir. Enerji açığa çıkarılmanız için çekirdekleri birleştirmek yerine ayırmanız (fisyon) gerekir. Bu, uranyum ve plütonyum gibi çok ağır elementlerin kararsız haldeki çekirdeklerinin enerji açığa çıkartarak daha hafif elementlere bölündüğü nükleer fisyon reaktörlerinin temelidir. Bu ağır elementler ancak vardır ve enerji ancak salınmak üzere mevcuttur, çünkü bunların yapımına güneşimizden en az sekiz ila on kat daha fazla kütleyle yola çıkan bir yıldızın (veya yıldızların) ölüm patlamasında enerji eklenmiştir. Bu patlamalara süpernova denir ve enerjinin kaynağı kütleçekimidir.

Esasen iki tip süpernova vardır ama Tip I olarak bilineni demirden daha ağır elementler üretmez. Yine de merak uyandırıcıdırlar, çünkü büyük kütleli yıldızlar öldüğünde neler olduğuna dair bir fikir verirler. Güneş gibi bir yıldızın kaderi

sonunda yoğun ve hareketsiz bir madde yığını olan beyaz cüce olmaktır. Beyaz cücelerde atom kalıntıları birbirine çok yakın biçimde sıkıştırılmış olsa da, helyum, oksijen ve karbon gibi farklı atomik maddeler arasında hâlâ bir ayrım vardır. Fakat ilk olarak 1930'larda Hintli astrofizikçi Subrahmanyan Chandrasekhar tarafından yapılan basit bir hesap, böyle bir yıldız kalıntısının Güneş'in yaklaşık 1,4 katından daha büyük kütleye sahip olması halinde kütleçekiminin onu tüm atom çekirdeklerinin birkaç kilometre çapında bir nötron topu halinde sıkıştırıldığı çok daha yoğun bir duruma getireceğini göstermektedir.

Bunu daha iyi görmek istersek, bir atomun kütlesinin çoğu –yüzde 99'undan fazlası– proton ve nötronlardan oluşan ve atom çekirdeği olarak bilinen küçücük merkezi bir özde toplanmıştır. Protonla nötron arasındaki esas fark, protonların artı elektrik yükü taşıması, nötronların ise yüksüz olmasıdır. Bu çekirdek, eksi yüklü elektronlardan oluşan bir bulut çevrilidir (buluttaki elektronların sayısı çekirdekte yer alan protonların sayısına eşittir). Çok kaba bir tabirle, çekirdeğin boyutu atomun tamamıyla karşılaştırıldığında Carnegie Hall'deki bir kum tanesi gibidir. Bir yıldızın yapısında süpernovayla ilişkili gerçekleşen değişimler bu yüzden bu kadar çarpıcıdır.

Bir beyaz cüce için kritik kütle Chandrasekhar limiti olarak bilinir. Bir Tip I süpernova, kütlesi Chandrasekhar limitine çok yakın, ancak onun hemen altında olan bir beyaz cüce dışarıdan daha fazla madde kazandığında oluşur. Bunun meydana gelme ihtimali oldukça yüksektir, çünkü çoğu yıldız ikili yıldız sistemlerinin üyesidir (bu kendi içinde neden burada bulunduğumuz sorusu için önemli bir ipucudur) ve bir diğer yıldızın yörüngesindeki bir beyaz cüce, yoldaşından güçlü kütleçekimi nedeniyle madde çeker.

Beyaz cücenin kütlesi Chandrasekhar limitine ulaştığında beyaz cüce aniden çökerek Dünya boyutundan bir dağ boyutuna iner. Bu olurken bir nükleer tepkime dalgası karbonu oksijene dönüştürerek yıldızın yapısındaki maddelerden geçer. Bu süreç devasa miktarda enerji açığa çıkarırken

beyaz cücenin ilk halindeki kütlesinin yaklaşık yarısı eser miktarda kükürt ve silikon gibi elementle birlikte demire dönüştürülür ve patlamayla uzaya saçılır. Mutfak bıçaklarınızdaki çeliği yapmak için kullanılan demir bu şekilde oluşmuştur. Kalan materyal, elektronlar ve protonlar daha çok nötron meydana getirmek üzere sıkıştığı için hiçbir proton barındırmayan bir nötron topu (bir atom çekirdeğiyle aynı yoğunlukta olan dağ boyutundaki bir yıldız) haline gelir. Tip I süpernova patlamasında açığa çıkan enerjinin çoğu, karbon ve oksijenin demire dönüştürülmesinden kaynaklanır. Ancak Tip II süpernovada çıkan enerjinin büyük kısmı, kütleçekiminden ileri gelir.

Güneş'in kütlesinin yaklaşık 8 ila 10 katından daha fazla maddeyle hayatına başlayan yıldızlar, yaşam süreleri boyunca Chandrasekhar limitinin altına inmelerine yetecek kadar madde kaybedemezler. Nükleer maddelerini Güneş'in yaktığından çok daha hızlı yakarlar, çünkü kütleçekimine karşı çok daha büyük bir ağırlığı tutmaları gerekir ve nükleer yanma sürecini demire varana kadar sürdürürler. Güneşimizin 15 ila 20 katı kütleye sahip bir yıldızda nükleer yanmanın son evresi, Güneş'in kütlesine sahip, kabaca Dünya boyutlarında ve büyük oranda demirden meydana gelen bir iç çekirdeğin etrafındaki katmanlarda yaşanacaktır. Çekirdek, beyaz cüceye benzer ama üzerinde yalnızca nükleer yanmanın son evreleriyle tutunmakta olan 10 Güneş kütlesinden daha fazlasını taşır. Sonra yıldızın yakıtı tükenir ve nükleer yanma durur. Çekirdeğin üstündeki her şeyin tüm ağırlığı, bir nötron yıldızına (belki de kara deliğe) varıncaya değin saniyenin yaklaşık onda biri içinde çöken çekirdeğe baskı yapar, bu da yıldızın dış katmanlarını oluşturan 10 ya da daha fazla Güneş kütlesinin altında bir boşluk bırakır.

Bir süpernovanın enerjisini sağlayan şey, iç demir çekirdeğin tamamen çökmesi sonucu kütleçekim enerjisinin açığa çıkmasıdır. Dış katmanlar içe göçmeye başlayınca, demirden daha ağır olan tüm elementleri oluşturarak bu maddeyi, yeni nesil yıldız ve gezegenlerin üretileceği yıldızlararası maddeyle karıştığı uzay boşluğuna doğru savuracak denli güçlü

bir enerji ve parçacık patlamasıyla karşı karşıya kalırlar. Tek bir Tip II süpernovanın açığa çıkaracağı toplam enerji, güneşimizin hayatı boyunca açığa çıkaracağı enerji miktarından yaklaşık yüz kat daha büyüktür; bir Tip II süpernova birkaç hafta boyunca ana galaksisindeki diğer tüm yıldızların toplamı kadar aydınlık biçimde parlar. Süpernovaların etkileri burada oluşumuzun en önemli nedenlerinden biridir ve bu etki, Galaksinin farklı yerlerinde oldukça değişim gösterir.

## SAMANYOLU'NDA KARIŞAN METALLER

Şurası açık ki bir yıldızdaki ağır elementlerin oranı –yıldızın "metalliği"– yıldız nesillerinden biri diğerini takip ettikçe artar. Dünya gibi gezegenler o ağır elementlerden yapıldığı için, bir yıldızın metalliği yıldızın yörüngesinde Dünya benzeri gezegenler bulma olasılığına iyi bir rehber olabilir. Bir yıldızın metalliği çeşitli yollarla tanımlanabilir, ancak en yaygın olanı, onu yıldızın içerdiği hidrojen miktarına kıyasla içerdiği demir miktarı bakımından ölçmektir.

Ne mutlu ki, bir yıldızdaki farklı elementlerin oranını ölçmek, gökbilimindeki en basit konulardan biridir. Sıcak olduklarında, herhangi belirli bir elementin atomları tayf çizgisi denilen çok dar renk bantlarında ışırlar. Bunlar ışığın kesin dalga boylarına karşılık gelir. Örneğin sodyum, ışığın tayfın sarı-turuncu kısmındaki iki dalga boyunda çok parlak biçimde ışır. İşte bu yüzden sokaktaki sodyum ışıklarının kendine özgü bir ışığı vardır. Tayftaki her elementle ilişkili çizgilerin örüntüsü bir barkot kadar ayırt edici niteliktedir ve bu, yıldızlardan gelen ışıkta gördüğümüz örüntüleri farklı maddeler laboratuvarda ısıtıldığında ortaya çıkan örüntülerle karşılaştırarak elementin varlığını açık bir biçimde belirlemek için kullanılabilir. Benzer şekilde, eğer tayfın tüm renklerini içeren beyaz ışık farklı atom çeşitleri içeren bir gazın içinden parlarsa, her atom çeşidi, ışığı sıcakken ışıdığı dalga boylarında soğurur, böylece tayfta eşit ölçüde ayırt edici karanlık çizgiler oluşturur. Her iki durumda da tayftaki farklı çizgilerin gücünü karşılaştırarak –örneğin demirle

hidrojen– uzaydaki bir yıldıza ya da gaz bulutuna hiç yaklaşmadan yalnızca hangi elementlerin var olduğunu söylemekle kalmaz, aynı zamanda mevcut farklı elementlerin oranlarını da hesaplayabiliriz.

Bir yıldızın metalliği genellikle Güneş'in metalliği cinsinden, yani kendi bünyesindeki demirin hidrojene oranıyla Güneş'in bünyesindeki demirin hidrojene oranının karşılaştırılmasıyla ölçülür. Bu, elverişli bir yöntemdir ve uygun bir alternatifini bulmak zordur, ama biraz da yanıltıcıdır, çünkü buradan Güneş'in tamamen sıradan veya tipik bir yıldız olduğu şeklinde bilinçsiz bir varsayıma geçmek kolaydır. Bir dahaki bölümde bahsedeceğim gibi, bu ille de böyle olmak zorunda değil. Fakat bazen basit varsayımlar gözlemlerle doğrulanır. Sağduyumuz bize, metaller açısından daha zengin olan yıldızların bir gezegen ailesine sahip olmaya daha yatkın olduğunu söylüyor ve gözlemler de dev gezegenlerin "ebeveynleri" olan yıldızların genellikle Samanyolu'nun yan kısmındaki ortalama bir yıldızdan daha yüksek metalliğe sahip olduğunu gösteriyor. Özellikle, Güneş'in metalliğinin yüzde 40'ından daha düşük metalliğe sahip hiçbir yıldızın çevresinde dev bir gezegene rastlanmamıştır. Dünya büyüklüğünde çok sayıda gezegen gözlemleyene kadar yüksek yıldız metalliğinin diğer dünyalarla ilgisi olduğundan emin olamayız, ancak ama bütün bulgular bu yönde.

Ne var ki çok fazla metallik belki kötü bir şey olabilir. Jüpiter'den bile büyük dev gezegenler en yüksek metallik oranına sahip yıldızların etrafında, Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesi kadar yakın veya bundan daha yakın yörüngelerde bulunmuştur. Henüz kimse bu büyük kütleli gezegenlerin o Dünya benzeri yörüngelerde oluşup oluşmadığını ya da ana yıldızlarından daha uzakta oluşup zamanla içeri doğru ilerleyip ilerlemediğini söyleyemiyor. Fakat her iki şekilde de bu tür dev gezegenlerin kütleçekim etkisi bölgedeki Dünya benzeri gezegenlerin yörüngesini bozardı ve onları ya kuvvetle dışarı doğru savurur ya da ateş içinde bir ölümün içine batırırdı. Çok az ya da çok fazla metallik, diğer yıldızların etrafındaki Dünya benzeri yörüngelerde Dünya

benzeri gezegenler bulma olasılığı adına kötü bir haberdir.

Samanyolu'nun maddeleri karıştırma şeklinden dolayı, bir yıldızın metalliğini tespit etmede en az konumu kadar doğuş tarihinin de önemi vardır. Sobanın üzerinde hafifçe kaynamaya bırakılan bir tencere sebze çorbasıyla benzetim kurmak istiyorum. Çorbadan biraz içen herkes, tencereye bir şeyler ekler ve böylece tencere hiç boşalmaz, aksine çorba zamanla daha da zenginleşir ve farklı türlerden daha fazla sebze karışıma eklenir. Dünya, Güneş Sisteminin geri kalanıyla beraber 4,5 milyar yıl önce doğmuştur ve yuvamız olan gezegen birçok önemli özelliğinin yanında (daha sonra göreceğimiz gibi), özellikle bizi uzaydan gelen zararlı ışınlara karşı koruyan bir manyetik alan yaratarak Dünya üzerinde yaşam için uygun şartların sürmesinde önemli bir rol oynamış olan büyük bir demir çekirdeğe sahiptir. Çok daha uzun zaman önce oluşan gezegen sistemleri oransal olarak daha az demire sahip olduğundan tam anlamıyla Dünya benzeri gezegenler oluşturmuş olamazlar. Aynı şekilde, şu anda, yani Dünya'nın meydana gelişinden 4,5 milyar sonra oluşmakta olan gezegenler daha büyük demir oranına sahiptir. Yaşam söz konusu olunca bunun iyi ya da kötü bir şey olduğunu (henüz) söylemiyorum, ancak bu durum o gezegenleri kesinlikle Dünya'dan farklı kılıyor. Bazı gezegenlerin de çekirdeklerinde daha düşük oranda radyoaktif element bulundurma olasılığı yüksektir ve bugün Dünya'nın çekirdeğini eriyik tutan, radyoaktiviteden gelen ısıdır.

Bunların tümü bize, neden burada olduğumuzu ve Galaksinin neden bizimkinden daha gelişmiş medeniyetlerce istila edilmediğini anlamak için uzaydaki yerimiz kadar Samanyolu'nda zamanda bulunduğumuz noktayı da göz önünde bulundurmamız gerektiğini söylüyor. Fakat uzaydaki yerimiz kendi başına da hayli önem taşıyor. Dünya benzeri gezegenlerle bizim gibi yaşam formlarının varlığı için böylesi önemli olan metallerin karışımı ancak Samanyolu'nun –kelimenin tam anlamıyla– çok dar bir bölgesinde gerçekleşir.

Yıldızların "popülasyonlar" şeklinde geleneksel sınıflamasının yalnızca iki kategorisi var –yaşlı, metal fakiri Po-

pülasyon II yıldızlar ve genç, metal zengini Popülasyon I yıldızlar. Fakat son zamanlarda yapılan ayrıntılı çalışmalar, Samanyolu ve diğer disk galaksilerdeki yıldızların daha kullanışlı olarak dört geniş kategoriye ayrılabileceğini gösteriyor. Ayırt edici yaş ve kimyasal bileşim aralıkları olan yıldızlar, galaksimizin dört ayrı bölümünde ortaya çıkarlar. Gözlenebilir galaksinin dış kısmı, Güneş'ten en az iki kat yaşlı olan, çok yaşlı yıldızlar barındıran seyrek nüfuslu bir haleden oluşur. Halenin en azından dış kısmı galaksimizin aşağı yukarı 10 milyar yıl önce çöken bir gaz bulutundan doğuşuna yol açan süreçte meydana gelirken, halenin iç kısmı biraz daha genç yıldızlar barındırır ve biraz daha geç meydana gelmiş olabilir. Bu küresel hale yaklaşık 300 bin ışık yılı çapındadır ama çok az yıldız içerir. Eğer bu yıldızların çevresindeki herhangi bir gezegende yaşam oluşsaydı, Dünya'nın oluşumundan bile önce 5 milyar yıllık bir evrim fırsatına sahip olurdu. Atalarımız hâlâ tek hücreli bakteriler halindeyken bizim şimdi olduğumuz kadar ilerlemiş olabilirlerdi –Fermi paradoksunun görünüşte çarpıcı bir gösterimi. Bununla birlikte gezegen inşası için gerekli görünen yüzde 40 şöyle dursun, halede Güneş'in yüzde 10'u kadar bile metalliğe sahip çok az sayıda yıldız olduğu için, oralarda Dünya benzeri gezegenlerin veya bizimki gibi yaşam formlarının bulunma ihtimali yok denecek kadar az.

Haledeki yıldızların seyrekliğinin aksine, galaksimizde yıldız yoğunluğunun en fazla olduğu yer, etrafında diskin geliştiği, merkezdeki şişkin bölgedir. Şişkin bölgedeki yıldızları ayrıntılı şekilde incelemek zordur çünkü Samanyolu'nun diskindeki toz, görünür ışıkta görüşümüzü bulanıklaştırır, ama kızılaltı teleskoplar toz perdesinin arkasını tarayabilir. Haledeki yıldızlar gibi, birçok şişkin bölge yıldızı da yaşlı ve metal yoksunudur. Bununla birlikte şişkin bölge yıldızlarında geniş bir metallik aralığı mevcuttur. Üstelik –eğer varsa bile– çok azının Güneş kadar genç olmasına veya Güneş'in metalliğine sahip olmasına karşın, bu ilk bakışta söz konusu bölgeyi yaşam için olası bir alan olarak haleye göre biraz daha umut vadeden bir konum kılıyor. Öte yandan yıl-

dızlar şişkin bölgede birbirlerine o kadar yakındır ve orada (Samanyolu'nun tam kalbinde yer alan Güneş'ten 3 milyon kat kütleye sahip kara delikle ilişkili patlamalar dahil) o kadar hareketlilik vardır ki, kozmik ışınım seviyeleri büyük olasılıkla yaşamın sürmesine izin verıneyecek kadar yüksektir. *Integral* adındaki insansız bir uzay aracıyla yapılan gözlemler, Samanyolu'nun merkezindeki kara delikten 350 ışık yılı uzaklıkta kendi halindeki bir hidrojen gazı bulutundan gelen güçlü X ışınları keşfetti. Bunun en makul açıklaması, kara deliğin (Dünya'dan görüldüğü şekliyle) 350 yıl önce bugün bizim gördüğümüzden bir milyon kat güçlü olan bir patlama yaratmış olması ve patlamadan kaynaklanan radyasyonun buluta söz konusu olaydan 350 yıl sonra ulaşıp onun parlamasına neden olmasıdır. Elbette bütün bunlar "aslında" 27 bin yıl kadar önce meydana geldi, çünkü X ışınlarının Samanyolu boyunca teleskoplarımıza kadar ulaşması bu kadar süre almıştır. Ancak bu, her iki durumda da şişkin bölgenin yaşam için uygun bir yer olmadığının doğrudan kanıtıdır.

Geriye kendisi de iki bileşenden oluşan disk kalıyor. Yaklaşık 100 bin ışık yılı çapında ve 4 bin ışık yılı kalınlığında, yaşlı ve metal yönünden fakir bir yıldız popülasyonundan meydana gelmiş olan kalın bir disk vardır. Bu kalın diskin içinde, yine 100 bin ışık yılı çapında ama kalınlığı 1000 ışık yılını geçmeyen çok daha ince bir disk bulunur; kalınlığı çapının yalnızca yüzde 0,5'idir. Eğer disk 1 metre çapında olsaydı kalınlığı yalnızca 5 milimetre olurdu. Bu çok ince disk, toz, gaz, genç yıldızlar ve Güneş'i barındırır; Galakside yıldızların hâlâ oluşmakta olduğu ve metallerin giderek zenginleşen bir çorba halinde karıştığı tek bölgedir.

İnce ve kalın diskler arasındaki farkları açıklamak basittir. Dönmekte olan bir gaz bulutu çöktüğünde ince bir disk oluşturmaktan başka şansı yoktur. Gazın bir yönden düşen atom ve molekülleri, gazın diğer yönden düşen atom ve molekülleriyle çarpışır, tekrarlanan çarpışmalarda rastgele hareketler sıfırlanır ve her şey bir disk halinde durulur. Aynı şey diske yerleştikçe gaz bulutlarına da olur. Ancak yıldızlar farklıdır. İnce gaz diskinin içinden geçen yıldızlar o kadar

büyüktür ki bundan hemen hemen hiç etkilenmezler. Üstelik yıldızlar arasındaki boşluklar o kadar büyüktür ki diskin içinden geçmekte olan bir yıldızın bir diğeriyle çarpışma, hatta onun yakınından geçme ihtimali çok zayıftır. Öyleyse bir yıldız, diskteki tüm maddenin kütleçekimi onu yeni bir geçiş için Galaksinin merkez düzleminin içine geri çekmeden önce tam olarak diskin içinden geçebilir. Kütleçekimi onları merkez düzlemden fazla uzaklaşmaktan alıkoysa da yıldızlar bu şekilde tekrar tekrar oradan buraya geçebilirler. Öyleyse kalın diskin yaşlı ve metal yoksunu yıldızları, galaksimiz daha küçük galaksileri yuttuğu zaman bütün olarak yakalanan yıldızlardır. Aynı süre zarfında yutulan her gaz ve toz parçası ise çok ince bir disk içinde yerleşmek zorunda kalmıştır. Dolayısıyla halenin yıldızları gibi kalın diskin yıldızları da yaşlı, düşük oranda metalliğe sahip ve yaşam için yuva gezegenler sağlama olasılığından hayli uzaktır. O halde geriye kalan tek şey ince disk oluyor.

## SAMANYOLU'NDAKİ YERİMİZ

Galaksi diskindeki spiral kollarda yeni yıldızlar oluşur. Sıradan fotoğraf görüntülerinde ve özellikle mavi ışık kullanılarak alınanlarda kollar parlak görünür ve ilk bakışta, galaksideki yıldızların çoğu spiral kollarda yoğunlaşmış gibi görünür. Ancak kırmızı ışıkta çekilen görüntülerde kollar daha az belirgindir ve kollardaki yıldız yoğunluğu biraz daha fazla olmasına rağmen, dış kenarlara doğru gidildikçe hafifçe azalan yıldız yoğunluğuyla birlikte yıldızların bir galaksinin diski etrafında az ya da çok düzenli dağıldığı açıktır. Spiral kolların parlak olmasının nedeni yüksek oranda parlak yıldız içermesidir, bu da genç yıldızlar içerdiği anlamına gelir.

En parlak yıldızlar Güneş'ten çok daha ağır ve mavi-beyaz renktedirler. Bununla birlikte bu kadar ağır olmalarından dolayı kısa ömürlüdürler ve yaklaşık 10 milyon yıl içinde yakıtlarını tüketirler. Spiral kolları izleyen mavi-beyaz yıldızlar gençtir çünkü buna benzer yıldızlar asla yaşlanmazlar. Doğdukları yerden uzağa hareket edecek zaman

bulamazlar ve bazıları yıldızlararası çorbayı zenginleştiren süpernova patlamalarıyla yaşama veda eder.

Bu kadar parlak olmayan daha küçük yıldızlar, çöküp parlak yıldızları oluşturan aynı gaz ve toz bulutlarından meydana gelir, ama büyük mavi-beyaz yıldızlar ortadan kaybolduktan çok sonra da Galaksi etrafındaki yollarına uzun süre sessizce devam ederler. Güneşimiz yalnızca Samanyolu topluluğunun böyle sessiz bir üyesidir. Samanyolu'nun merkezinden yaklaşık 27 bin ışık yılı mesafedeki yörüngesinde saniyede 250 km kadar bir hızla hareket eden ve bir turu yaklaşık 225 milyon yılda tamamlayan Güneş ve onun gezegenler ailesi, 4,5 milyar yıl önce Güneş Sistemi doğduğundan bu yana Galaksi etrafında aşağı yukarı yirmi tur tamamlamıştır. Güneş'le aynı yerde ve aynı zamanda doğmuş büyük kütleli mavi-beyaz bir yıldız, patlamasından önce Samanyolu etrafındaki tek bir turun ancak yüzde 5'ini tamamlayabilirdi. Şu anda biz Orion Kolu –ya da basitçe Yerel Kol– olarak bilinen spiral yapının iç kenarının (eğrinin iç tarafı) yakınındayız.

Fakat spiral kollar Samanyolu gibi bir disk galaksinin kalıcı özellikleri değildir. Bunlar yıldızların oluştuğu, Samanyolu'nun içindeki hareketlenmelerden ya da arada sırada yakınlardaki bir galaksinin kütleçekimi gibi dışarıdan gelen bir çarpmadan kaynaklanan veya Samanyolu'nun daha küçük bir yoldaşını yutmasıyla meydana gelen gaz ve toz yoğunluklarıdır. Galaksinin dönme şeklinden dolayı yapısındaki herhangi bir bozukluk spiral biçiminde dağılır. Bu görüntü, fincanda karıştırılmış olan kahveye biraz krema veya süt eklemeye benzer. Dönüşten dolayı, beyaz damla çabucak spiral bir şekil alarak dağılır. Fakat devam eden dönüş neredeyse spiral şekil oluşur oluşmaz spirale son verir ve şeklini düzelterek ortadan kaldırır. Bir disk galaksi bozulduktan sonra tam olarak aynı şey olur. Bozukluk önce spiral şeklinde dağılır ve ardından bulanıklaşarak kaybolur. Yalnızca, fincandaki kahve kremasının spiral şekil alışı ve bozuluşu için gereken birkaç saniyeye kıyasla galakside bunu yapmak yüzlerce ya da binlerce milyon yıl alır. Spiral galaksilerin o

güzel şekilleri yalnızca çok kısa ömürlü olduğumuz için bize kalıcı görünür; bunlar kahvedeki spiral şeklin anlık çekimleri gibidir.

Bununla birlikte spiral yapı bazı durumlarda zamanla değişebilse de düzenli olarak yenilenmektedir. Bu durum, süreci tetikleyen tekrar eden "çarpmalar" olduğunda görülür. Bir galaksinin merkezindeki şişkin bölge tam olarak küresel değilse, diskin tamamıyla yerleşmesini engelleyen bir kütleçekim etkisi yaratabilir. Bu da galaksinin çevresinde hızla gezinen ve bu süreçte yıldız oluşumunu tetikleyen yüksek yoğunluklu bir gaz dalgası –spiral yoğunluk dalgası– üretebilir.

Yıldız oluşum süreci bir kez başlayınca, bir galaksi boyunca hızla gezinen, daha az düzenli olsa da tekrarlanan bozuklukları tetikleyebilir. Samanyolu'nda da bu oluyor gibi görünüyor. Çok sayıda yıldız oluşumunun devam ettiği bölgelerde sıcak ve genç yıldızlar, yüzeylerinden kaçan materyal "rüzgârları" ve süpernova patlamalarının artıklarıyla birlikte çevrelerine büyük miktarda morötesi enerji yayar. Bunların tümü yakınlardaki gaz ve toz bulutlarını sıkıştırarak çökmelerine neden olur ve yeni bir yıldız oluşumu patlamasını tetikler. Sonuç, Galaksinin dönüşüyle bir spiral kola dönüşen bir dizi yıldız oluşum bölgesi oluşturan bir tepkidir. Kendini devam ettiren bu yıldız oluşum süreci, Samanyolu'nun ince diskindeki metalleri karıştırmada çok etkilidir.

Bir spiral yoğunluk dalgası, bir yıldız oluşum bölgesi olacaktır, ancak tuhaf görünse de dalganın kendisi aynı yönde gitmesine rağmen Galaksinin etrafında dönen yıldızlarla aynı hızla dönmez. Dalga yıldızlardan daha yavaş hareket eder, dolayısıyla yıldızlar (ve yıldızların meydana geldiği gaz ve toz bulutları) Samanyolu'nun etrafındaki yörüngelerinde döndükçe tekrar tekrar spiral kolları yakalar ve tıpkı bizim şu anda Orion Kolu'nu geçmek üzere oluşumuz gibi onların içinden geçer. Böyle bir durumun iyi bir örneği, mutfakta lavabosundaki musluğu açtığınızda tıkacı yerleştirmediğiniz için suyu akıp gitmesinde görülebilir. Musluktan gelen su lavabonun yüzeyine çarptığında her yöne dağılan ince bir ta-

baka oluşturur. Ancak merkezden belli bir uzaklıkta (suyun musluktan ne kadar hızlı aktığına bağlı olarak) suyun derinliği hidrostatik sıçrama adı verilen aşamada yükselir. Su molekülleri içinde sürekli hareket etse de aşama aynı kalır. Galaksinin çevresinde hareket eden gaz bulutları bir spiral yoğunluk dalgasına ulaştıklarında suyun hidrostatik sıçramada birikmesiyle aynı şekilde birikir ve bulutlar sıkıştığında yıldızlar oluşur. Fakat Güneş gibi, daha önceki çarpışmalarda bu şekilde doğmuş olan yıldızlar, yoğunluk dalgasının içinden, onun orada olduğunu fark etmeden geçer.

Bununla birlikte, onlar yoğunluk dalgalarıyla ve spiral kollarla ilgili tüm hareketlenmelerden etkilenebilirler. Ne de olsa spiral kollar süpernovaların meydana geldiği yerlerdir. Eğer yanımızda bir süpernova patlasaydı yoğun ışınım Güneş Sistemi boyunca yayılır, birçok canlıyı öldürerek Dünya'ya zarar verirdi. Ayrıca gezegenimizin atmosferine de zarar vererek bizi Güneş'in zararlı morötesi ışınlarından koruyan ozon tabakasını muhtemelen ortadan kaldırır ve kesinlikle de daha önceki duruma uyum sağlamış yaşam formlarına zararlı olabilen biçimlerde iklimi –ne şekilde olursa olsun– değiştirirdi. Güneş Sisteminin çevresindeki 30 ışık yılı çapı içerisinde meydana gelebilecek bir süpernova, Dünya'nın yüzeyindeki yaşamın çoğunu yok ederdi.

Gene kötü ama daha az aşırı bir diğer etki, Güneş Sisteminin spiral kollarda toplanmış tozlu gaz bulutlarının birinin içinden geçişinden kaynaklanabilir. Uç bir durumda Güneş'ten gelen ısı ve ışık, araya girecek maddeyle engellenerek bir Buz Çağı tetiklenebilir. Kozmik trafik sıkışıklığı anlamına gelen bir şeyin içinden geçmeyle ilişkili şüphesiz başka tehlikeler de vardır.

Güneş Sisteminin bir spiral kolun içinden son geçişi kabaca 250 milyon yıl (yani Samanyolu'nun bir tam turu) önce, şimdiki devresinin başlangıcındaydı. O zaman içinden geçtiği kol şüphesiz ki Orion Kolu değildi, çünkü kolların kendileri de zaman geçtikçe hareket etmiş ve değişmişlerdir; ama Güneş, şimdi bulunduğu yörüngenin aşağı yukarı aynı tarafındaydı. Ne tesadüftür ki –ya da bir tesadüf müydü?– o

dönemde Paleozoik zaman, Dünya'daki yaşamı vuran en yıkıcı felaketlerden biri tarafından sona erdirilmişti. Bir dizi felaket, Dünya üzerindeki sualtı yaşamının (sadece bireylerinin değil, tüm türlerin) yüzde 95'ini silip süpürdü. Paleozoik zaman yaklaşık 570 milyon yıl önce başladı ve neredeyse 350 milyon yıl sürdü. Bu dönem denizlerde balıkların gelişimine, karada canlılığın ortaya çıkışına ve sürüngenlerin evrimine şahit oldu. Fakat kurtulanların yeni yaşam formlarına –başta dinozorlara– evrilmesinin ve gelişmesinin yolunu açan, Paleozoliğin sonunda çok fazla türün ölmesiydi.

Dünya'daki yaşamın Paleozoik zamanın sonunda zorlanmasının nedenlerinden biri, kıtasal kaymanın, kara kütlelerini buzul çağının gelişimine katkıda bulunacak şekilde düzenlemiş olmasıdır. Fakat bunun gibi aşırı bir soy tükenme olayı uç bir açıklama gerektirir ve zamanda o kadar uzak bir noktada asla emin olamamamıza rağmen, tartışmasız delilleri belirleyemesek bile ikinci derece kanıtlar bir spiral kolla çarpışmaya işaret ediyor. İyi ki bizim Güneş Sistemimiz spiral kollarla daha sık karşılaşmıyor; iyi de neden karşılaşmıyor?

Güneş Sisteminin bir spiral kolla bu kadar uzun süredir karşılaşmamasının nedeni kısmen, Galaksinin merkeziyle aramızdaki, bizi kollar arasındaki bir boşluğa yerleştiren mesafe, kısmen de Güneş'in Samanyolu etrafındaki yörüngesinin olağandışı bir şekilde neredeyse dairesel olmasıdır. Güneş, kollar arasındaki bu boşlukta uzun süredir durmaktadır çünkü tüm Güneş Sistemi Galaksi etrafında yaklaşık olarak her 250 milyon yılda bir dönse de spiral yapının Galaksi etrafındaki hareketi bunun iki katı kadar süre alır. Güneş yörüngedeki bir turunu tamamladığında, söz konusu biçim yörüngenin yarısı kadar hareket etmiş olur, dolayısıyla yetişmesi de buna uygun şekilde daha uzun sürer, bu da rahatsız edilmeden işini yapması için evrime uzun bir süre tanır. Dairesel bir yörüngede bile Samanyolu'nun merkezine daha yakın olan bir gezegen sistemi spiral kollarla daha sık karşılaşırdı, çünkü kollar galaktik merkeze doğru kıvrılırlar. Bize göre Galaksinin ortasından daha uzakta

olan gezegen sistemleri, spiral kollarla bizden bile daha az sık karşılaşabilirler; ancak oralarda bir yerlerde az sayıda olsa da gezegen sistemlerinin olabileceğini düşünmek için iyi nedenlerimiz var.

## GALAKTİK YAŞANABİLİR BÖLGE

Samanyolu diskinin çapı 100 bin ışık yılı civarında olduğu için, Galaksinin merkezinden ince diskin dış kenarına kadarki mesafe yaklaşık 50 bin ışık yılıdır. Güneş, merkezden yaklaşık 27 bin ışık yılı, yani diskin kenarına olan mesafenin yarısından biraz daha fazla uzaktadır. Spektroskopi, Galaksinin merkezine daha yakın olan yıldızların genellikle daha çok metal içerdiğini açığa çıkarmıştır ve şişkin bölgede çok sayıda çok yaşlı yıldız bulunmaktadır. Bu, genel olarak disk galaksilerin ayırıcı özelliğidir ve merkezden dışarıya doğru büyüdükleri fikrini destekler. Yıldız oluşumu bugün diskin her yanında mütevazı bir oranda devam etse de kendi galaksimizde, Galaksinin kalbinde başlayıp merkezden dışarı yayılan ve diskin daha dış kısımlarına dağılmadan önce Güneş Sisteminin 8 ila 10 milyar yıl önce oluştuğu yarıçapa kadar ulaşan bir yıldız oluşum dalgası olmuş gibi görünüyor. Fakat bu dalga geçtikten sonra bile Samanyolu'nun merkezine olan mesafemizde Güneş gibi bir yıldızın oluşabileceği metalliği oluşturmak yine de zaman ve daha fazla yıldız nesli gerektirdi. Daha dışarıda, 5 milyar yıl önce bile metallik bu seviyeye erişmemişti. Bu, bir yıldızın metalliği ile gezegenlere sahip olması arasında yakın bir bağ olduğu için, ince disk etrafında Güneş Sistemi gibi gezegen sistemlerinin ve Dünya benzeri gezegenlerin bulunmasının olası olduğu bölge olan "Galaktik Yaşanabilir Bölge"[1] (GHZ) fikrine yol açmıştır. Konu galaksimizde başka zeki varlıkların var olma ihtimali olunca, can alıcı nokta zaman geçtikçe bu Galaktik Yaşanabilir Bölgenin yavaş yavaş genişlemesidir. Hesaplamalara göre zaman geçtikçe diskin içinden dışa doğru da hareket etmektedir. Bununla birlikte, fikrin Charles Lineweaver ve

[1] *Galaktik Habitable Zone* –çn.

çalışma arkadaşlarından alınan en güncel biçimi, onun her zaman galaktik merkezden 26 bin ışık yılı uzaktaki bir halka üzerinde olduğunu, aşağı yukarı 8 milyar yıl önce ortaya çıkmaya başladığını ve şu anda da yaklaşık 23 bin ışık yılından yaklaşık 29 bin ışık yılına kadar uzandığını öne sürer. Güneş GHZ'nin merkezine yakın olmakla birlikte tam olarak merkezde bulunmaz. Bu, 5 milyar yıl önce Güneş Sisteminin oluştuğu dönemde metallerin bolluğunun Dünya benzeri gezegenlerin oluşumuna izin verecek ölçüde olduğu bölgedir.

Samanyolu'nun merkezinden herhangi bir uzaklıkta, yeni yıldızların ve gezegen sistemlerinin oluşabileceği gazın metalliği zaman geçtikçe hâlâ artmaktadır. Fakat merkezden daha uzakta görece daha az gaz ve dolayısıyla daha az yıldız oluşumu var; o yüzden bugün bile daha dış bölgelerdeki metallik iç bölgelerdeki kadar hızlı artmaz. Metallik, Güneş'in metalliği cinsinden ölçüldüğü için Güneş'in metal seviyesinin 1 olarak tanımlanmasını bekliyor olabilirsiniz. Öyledir de zaten. Fakat metalliğin galaktik merkeze olan mesafeyle birlikte düşme oranından ötürü, gökbilimciler çok çeşitli değerlerin karşılaştırılması için daha uygun olan logaritmik birimler kullanmayı tercih ederler. 1'in logaritması 0'dır, o nedenle bu ölçekte Güneş'in metalliği gökbilimcilerin "*dex*" olarak adlandırdığı logaritmik birimde 0 olarak tanımlanır, Terminoloji fark etmez, ancak önemli olan şey şu ki, bu ölçekte negatif bir sayı yalnızca bir yıldızın Güneş'ten daha düşük metalliği olduğunu anlatır, sıfırdan daha az metale sahip olduğunu değil!

Güneş'in Samanyolu'nun merkezine olan uzaklığında, bugünkü metallik merkezden her bin ışık yılı uzaklıkta yüzde 5'ten biraz daha büyük bir oranda azalıyor. Logaritmik terimlerle, düşüş bin ışık yılı başına 0,02 dex. Diğer disk galaksiler çok benzer metallik gradyanlar gösteriyorlar. Metal açısından çok fazla zengin olan yıldızların neden Dünya benzeri gezegenlere sahip olmayabileceği hakkında daha sonra söyleyeceklerim var, ama GHZ'nin konumu ayrıca yaşam için olası bir yuvanın Samanyolu'nun çevresindeki yolculuğunda karşılaştığı tehlikelerin çeşidine ve sıklığına da daya-

nır. Süpernovalardan gelen ışınım riskinden bahsetmiştim. Samanyolu'nun yıldızları arasında süpernova hareketlerinin tepe noktası, Güneş'in Galaksinin merkezinden uzaklığının üçte ikisi civarında gibi görünmektedir. Fakat ışınım tehlikesi yalnızca patlayan yıldızlardan değil, bugün sessiz olan ama yakın geçmişte aktif olduğunun izlerini gösteren büyük bir kara deliğin bulunduğu Samanyolu'nun merkezinden de gelir. Bu kara delik, Dünya-Ay arasındaki mesafenin kırk katından daha büyük bir hacmin içinde güneşimizin 3 milyon katı civarında kütle içerir. Diğer galaksilerdeki aktif kara deliklere dair çalışmalar kara delik fiziği bilgimizle birleştiğinde bize, kara delik bir yıldız veya gaz bulutu fazla yaklaştığında madde yuttuğu zaman bu küçük hacmin içine yüksek hızla doluşan maddenin çok ısındığını ve elektrik yüklü parçacık jetleri şişkin bölgenin içine fırlatılırken yoğun miktarda (X ışınları gibi) elektromanyetik enerji yaydığını söyler. Merkezin çevresinde dairesel yörüngelerdeki yıldızlar için bu yeterince kötü olurdu; ancak oradaki yıldızlar onları ve bağlı gezegenleri bütün bu etkinliğin yakınlarına götürecek olan oldukça eliptik yörüngelerde bulunma eğilimindedirler.

Süpernovalardan çok daha güçlü olan ama çok daha seyrek gerçekleşen patlamalar zaman zaman bizimki gibi galaksilerde de meydana gelir ve aynı zamanda yıldızların en yoğun olduğu Galaksinin merkezine yakın yerlerde meydana gelme ihtimalleri de daha yüksektir. Bu patlamalar yaydıkları yoğun fakat kısa süren gama ışını parlamalarıyla açığa çıkartılırlar ve gama ışını patlamaları olarak bilinirler. Bu patlamalara güç veren kesin mekanizma hâlâ gizemini koruyor, ama bir gama ışını patlaması günümüzde evrende meydana gelen en güçlü patlamadır; birkaç saniye içinde Güneş'in ömrü boyunca yaydığından ve yayacağından daha fazla enerji yayar. Evrenin uzak noktalarında bile görülebilirler ve istatistikler bu tür bir patlamanın Samanyolu gibi bir galakside yaklaşık yüz milyon yılda bir meydana geldiğini gösterir. Bunlardan birisi Samanyolu'nun uzak bir köşesinde gerçekleşseydi bile zararlı ışınım patlaması Dünya'daki yaşam (veya Galaksideki meskûn herhangi bir gezegen)

için yıkıcı ve ozon tabakasını tahrip edici olabilirdi. Muhtemelen, güçlü bir gama ışını patlaması tüm galaksiyi tahrip ederdi. Her şeye rağmen, daha iyimser bir yaklaşımla bunlar gibi patlamalar bir dakikadan daha az sürdüğü için gezegenin yalnızca patlamaya bakan yüzünün etkileneceği belirtilmiştir. Diğer yüzü ise aksilikler yaşasa da yaşamın devamı için yeterli ölçüde korunabilir. Dünya üzerinde (veya belki de Galaksinin bir başka yerinde) akıllı yaşamın ortaya çıkışının bu kadar uzun sürmesinin bir nedeni belki de Galaksi gençken gama ışını patlamalarının daha yaygın olmasıdır ve yaşam belki de yalnızca geçtiğimiz birkaç milyar yıl içinde en az bir teknolojik medeniyet üretme noktasına kadar evrimleşme şansı bulmuştur.

Lineweaver ve çalışma arkadaşları, tüm bulguları bir araya topladıklarında GHZ'nin Samanyolu'nda bugüne kadar oluşmuş olan yıldızların yüzde 10'undan fazlasını içermediği sonucuna vardı. Fakat GHZ'de başka tehlikeler bulunuyor.

## YIKICI KUYRUKLUYILDIZLAR

Bir kara deliğin aşırı püskürtüleriyle kıyaslandığında kuyrukluyıldız küçük bir tehdit gibi görünebilir. Bir gezegen için öyledir de, yaşam için değil. Sorun şu ki Dünya'da 65 milyon yıl önce dinozorlar ortadan kalktığı dönemde gerçekleşen çarpmaya benzer kuyrukluyıldız çarpmaları, bir gezegen üzerindeki gelişmiş yaşam formlarını bir vuruşta yok edebilir. Eğer böyle olaylar onlarca veya yüzlerce milyon yıl aralıklarla meydana gelirse yaşam bununla başa çıkabilir (ilginç şekilde –ileride göreceğimiz gibi– uzun vadede yaşam bundan faydalanabilir de). Fakat yaygın olarak meydana gelen kuyrukluyıldız çarpmaları, eğer türler fazlasıyla sık ortadan kalkarsa yaşamın zekâyı geliştirecek zamanının olmasını engelleyecektir.

Kuyrukluyıldızlar Güneş Sisteminin oluşumundan kalma buz ve kaya kütleleridir. Arkalarında uzanan uzun kuyruklarıyla –sadece resimlerden olsa da– hepimizin çok iyi tanıdığı iyi bilinen fotojenik kuyrukluyıldızlar, aslında Güneş Siste-

mini tıpkı yumurta sarısının etrafındaki kabuk gibi çevreleyen, en yakın yıldızların neredeyse yarı mesafesinde bulunan çok büyük bir kuyrukluyıldız bulutundan Güneş Sisteminin iç kısmına nadiren gelen ziyaretçilerdir. Bu bulut, kuyrukluyıldızlarla ilgili çalışmalar yapmış ve kabuğun özelliklerini hesaplamış olan gökbilimci Jan Oort'tan dolayı Oort Bulutu olarak bilinir. Kuyrukluyıldızların Güneş'e yaklaştıkça büyüyen parlak kuyrukları, Güneş'ten gelen ısının donmuş kütleyi buharlaştırarak gaz ve tozu serbest bırakmasından kaynaklanır ve buz kütleleri yalnızca sudan oluşmaz, donmuş metan ve amonyak gibi maddeler de içerir.

Fakat Dünya'daki yaşama yönelen tehditlerin kuyrukluyıldız bileşenleriyle bir ilgisi yoktur. Eğer başınıza bir tonluk bir buz parçası çarparsa, bir tonluk kaya parçası çarptığında vereceği kadar zarar verir. Dünya'ya saniyede 50 km hızla çarpan 10 km çapındaki bir buz ve kaya kitlesi yüz milyon megaton TNT patlamasıyla eş değerde enerji açığa çıkarırdı: İkinci Dünya Savaşı'nın sonunda Hiroşima'ya atılan atom bombasında açığa çıkan enerjinin 5 bin milyon katından fazla. Bu, dinozorların ortadan kalktığı dönemde gerçekleşen küresel çevre yıkımını fazlasıyla açıklıyor. Dünya'nın ve diğer gezegenlerin yüzeyindeki eski kraterlerin izlerini sayarak ve kuyrukluyıldızlar ile asteroitlerin yörüngeleri hakkındaki bilgilerimize dayanarak, gökbilimciler bunun gibi bir çarpışmanın Dünya'da kabaca yüz milyon yılda bir meydana geldiğini tahmin ediyorlar. Dinozorların kaderinin de gösterdiği gibi bu, böyle bir felaket hayatta kalabilenlerin yayılması ve çeşitlenmesi için –varlığımızın kanıtladığı gibi– yeni fırsatlar doğurabilse de Dünya üzerindeki yaşamın evrimi için ciddi sorunlar teşkil eder. Yine de öyle görünüyor ki eğer çarpışmalar daha sık olsaydı, zekânın yıkımlar arasındaki kesintilerde evrimleşmeye zamanı olmayacaktı. Ve muhtemelen söz konusu çarpışmalar galaktik merkeze bizden daha yakın olan yıldızların yörüngelerinde bulunan gezegenlerde çok daha yaygın görülüyor.

Bunun sebebi, kuyrukluyıldızların Güneş Sisteminin Samanyolu çevresindeki yolculuğu esnasında karşılaştığı yıl-

dızların veya gaz bulutlarının kütleçekiminden dolayı Oort Bulutundan koparak Dünya üzerindeki yaşam için tehdit oluşturdukları iç Güneş Sistemine girmesidir. Güneş Sisteminin meydana geliş süreci hakkındaki bilgilerimiz bize, Oort Bulutu gibi kuyrukluyıldız bulutlarının Güneş Sistemi benzeri tüm gezegen sistemlerinin ortak bir özelliği olacağını söylüyor, bu yüzden hepsi de aynı tür tehlikeye maruz kalacaktır. Öyleyse risk ne kadar büyük olabilir? Bir hayli büyük. Oort Bulutundaki bütün kuyrukluyıldızların toplam kütlesi Dünya'nın kütlesinin yalnızca birkaç on katını geçmeyecek olsa da, bulutun birkaç bin milyar kuyrukluyıldız içerdiği tahmin ediliyor. Kuyrukluyıldızları bulutttan koparacak türden yakınlaşmalar, yıldızların birbirine daha yakın olduğu Galaksinin merkezine yakınlaştıkça daha da yaygınlaşacaktır. Ayrıca bunlar bir gezegen sistemi gaz bulutlarının bir hidrostatik sıçramaya eşdeğer biçimde yığıldığı spiral kolların birinden geçtiği sırada daha sık görülecektir.

GHZ'nin kesin sınırları net değildir, ama net olan başka bir şey var. Galaksinin iç bölgeleri bol miktarda metale sahiptir ama yaşam için tehlike arz eder, buna karşın ince diskin dış bölgeleri daha güvenli ancak metal fakiridir ve Dünya benzeri gezegenleri barındırmaları olasılık dışıdır. Aralarında ise yaşam için mükemmel olan bir Goldilocks bölgesi (GHZ) bulunur. Güneş Sistemi o bölgenin merkezinin hemen yanına kurulu. Samanyolu'nda yaşam için özellikle elverişli bir yerde yaşıyoruz. Aynı zamanda Samanyolu'nda yaşam için özellikle elverişli bir zamanda yaşamaktayız. Yaklaşık 5 milyar yıl öncesine kadar, metal yoksunluğundan başka yıldız doğuşu hareketleri ve yıldız ölümüyle bağlantılı süpernovalar da yaşamı tehlikeye sokardı. Zekânın Dünya üzerinde evrimleşmesi bu 5 milyar yılın neredeyse tamamını aldı ve eğer (hem de çok büyük bir eğer!) bu tipikse, herhangi başka bir düşünceyi bir yana bırakırsak, galaksimizdeki zeki medeniyetlerin ilki olamasak da ilklerinden biri olabiliriz. Gerçekten de Samanyolu'ndaki yerimizle ilgili hem zaman hem de mekân açısından özel bir şey var.

Ne tesadüftür ki Galaktik Yaşanabilir Bölgenin varlığı Fermi paradoksunu güçlendirir. Eğer "onlar" Samanyolu'nun herhangi bir yerinde yaşıyorlarsa, GHZ'de de yaşayacaklardır. Ayrıca Samanyolu'nu, diğer yaşam barındıran gezegenleri arayarak keşfetmek istiyorlarsa tüm Galaksiyi değil, yalnızca GHZ'yi keşfetmeleri gerekir. Uzay uçuşunu gerçekleştirebilen herhangi bir medeniyet yıldızlar hakkında bunu fark edecek denli yeterli bilgiye sahip olurdu. Bu, yaşam için olası her yuvayı ziyaret etmek üzere robot araştırma araçları gönderme işini çok daha kolay ve hızlı kılar.

Bu kitaptaki tartışma Samanyolu'na odaklanmış olmasına rağmen, bizim gibi yaşam formları söz konusu olduğunda diğer galaksilerdeki yaşam beklentisinin daha da ümitsiz olduğundan bahsetmeye değer. Evrenin teleskoplarla ayrıntılı olarak inceleyebildiğimiz görece yakın bölgelerinde tüm yıldızların beşte dördü doğaları gereği Samanyolu'ndan daha sönük olan galaksilerde bulunuyor. Bu sönüklük o galaksilerdeki kimyasal çorbayı zenginleştiren yıldız doğumu ve yıldız ölümü süreçlerinin daha zayıf olduğunun ve onların Samanyolu'ndan daha düşük genel metallik oranlarına sahip olduklarının bir göstergesidir. Samanyolu'nun kendisi toplamın yaklaşık yüzde yirmisini oluşturan yaşanabilir galaksiler azınlığında olabilir ve GHZ Samanyolu'ndaki yıldızların –en iyi tahminle yüzde 10'u oluşturan– çok az bir kısmını içerir. Fakat o yıldızların kaçı üzerinde yaşamın evrildiği gezegenlere sahip olabilir? Güneş'in kendisi Galaktik Yaşanabilir Bölgedeki komşularıyla kıyaslandığında özel bir yıldız mı?

# 3

# GÜNEŞ HAKKINDA BU KADAR ÖZEL OLAN ŞEY NEDİR?

Samanyolu gibi bir galaksinin çevresinde yaşanabilir bölge olduğu gibi, Güneş gibi bir yıldızın etrafında da bir yaşanabilir bölge bulunur. Bu Yıldızsal (veya Güneşsel) Yaşanabilir Bölgenin* (SHZ) temel gerekliliği, bir yıldızın çevresinde sıvı suyun bulunabileceği bölgeyi kapsamasıdır; ne suyu donduracak kadar soğuk, ne de buharlaştıracak kadar sıcaktır. İlk bakışta bu, gereğinden çok sınırlayıcı görünebilir. Bilimkurgu yazarları yaşamın sıvı metandan okyanuslar barındıran gezegenlerde ve başka egzotik ortamlarda var olduğunu hayal etmişlerdi. Ne var ki su, yaşamın evrimleşmesi için ideal bir ortam olmasını sağlayan kendine has özelliklere sahiptir.

Suyun yaşam için (kelimenin tam anlamıyla) hayati olmasının en önemli nedeni, yaşamın bir çözücüye ihtiyaç duymasıdır –kimyasalların çözüneceği ve kimyasal tepkimelerin gerçekleşebileceği bir ortama. Su, açık ara farkla bu iş için en iyi sıvıdır; amonyak listenin hemen ikinci sırasında yer alır ama suyun diğer özelliklerini taşımamaktadır.

Suyun yaşam için en önemli ikinci özelliği, her molekülünün manyetik kutupluluğunun olmasıdır. Başka bir deyişle, bir su molekülünün bir ucu çok zayıf bir manyetik kuzey kutup gibi, diğeri de yine çok zayıf bir manyetik güney kutup gibi davranır. Bu özellik moleküller dünyasında neredeyse eşsizdir. Bu kutupluluk sadece su moleküllerini değil, suda çözünen molekülleri de belli şekillerde dizilmeye teşvik eder ve bu, yaşam için elzem olan aminoasit moleküllerinin şeklini belirleyen etmenlerden biridir.

---

* *Stellar Habitable Zone* –çn.

Suyun üçüncü bir özelliği, her ne kadar iki kelimede özetlenebilse de durup düşündüğünüzde oldukça tuhaftır. Buz yüzer. Bir başka ifadeyle, katı haldeki su sıvı haldekinden daha az yoğundur. Çünkü su donduğu zaman, moleküller akışkan suda dirsek dirseğe durdukları hallerinden farklı olarak, birbirlerinden oldukça uzak durdukları çok açık bir kristal yapı meydana getirmek üzere dizilirler. Diğer maddelerde moleküller katı haldeyken birbirine daha yakındır, dolayısıyla akışkan haldekinden daha yoğundurlar. Suyun bu tuhaf özelliğinin kimyasal ve fiziksel nedenleri iyi bilinmektedir ama burada önemli değiller. Önemli olan, bunun ne anlama geldiğidir: bir Buz Çağı sırasında buz yüksek enlemlerde okyanusların üzerinde bir kabuk oluşturarak bu yalıtıcı tabakanın altındaki suyu daha ılık tutar. Eğer buz okyanusun dibine batsaydı suyun üst katmanı korumasız kalır, sırası geldiğinde donardı ve bu olay okyanuslar bir buz topuna dönüşünceye kadar tekrar ederdi.

Sonuçta "bildiğimiz şekliyle yaşam"ın sıvı suyun varlığına ihtiyaç duyması mantıklı bir çıkarım. Peki, bu SHZ'yi ne kadar sınırlar?

## DAR YAŞAM BÖLGESİ

Bazıları SHZ'yi sıcaklıkların 0°C ile 100°C arasında olduğu bölgeyle sınırlamanın bile fazla cömertçe olduğunu ve yalnızca 0°C ile 50°C arasındaki bölgeye bakmamız gerektiğini öne sürmüştür. Argümanları, bizim gibi karmaşık yaşam formlarının yaklaşık 50°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yaşayamayacağına dayanıyor. Bu Dünya'nın yüzeyinde süregiden hayvan yaşamı için kesinlikle doğru. Fakat geçtiğimiz birkaç on yılda (1970'lerin sonundan beri) derin okyanus tabanı araştırmaları sualtı gayzerlerine benzeyen, buralarda açığa çıkan enerji ve kimyasallarla beslenen çeşitli yaşam formlarıyla dolu hidrotermal bacalar açığa çıkardı. Bu bacalar deniz yüzeyinin binlerce metre altında güneş ışığının asla ulaşamadığı yerlerdedir ancak gözsüz karideslerin ve su sıcaklığının 80°C'yi aştığı yerlerde tüplerin içinde yaşa-

yan (adını volkandan alan) "Pompeii kurtçukları"nın bulunduğu karmaşık ekosistemleri desteklerler. Öyle görünüyor ki, gelişmiş yaşam bile sıvı suya erişimi sağlandığı takdirde 50°C'nin çok üzerindeki sıcaklıklarla başa çıkabilir. O nedenle bir yıldızın çevresindeki yaşanabilir bölgenin 0°C ile 100°C arasındaki tüm bölgeyi kapsadığını düşünmek en iyisi – bu bizim evrende özel bir yerimiz olduğuna dair daha fazla kanıt sunmak için gene de yeterince kısıtlayıcıdır.

Bugün Güneş Sistemine baktığımızda, Dünya'nın neredeyse SHZ'nin tam ortasında olduğunu görüyoruz. Güneş'e doğru bir sonraki gezegen olan Venüs, sıvı suyun var olması için fazla sıcak; Dünya'ya göre Güneş'ten daha uzak olan Mars ise fazla soğuk. Fakat yaşanabilir bölge her zaman aynı yerinde değildi. Yıldızları sıcak tutan süreçlere dair bilgilerimiz ve diğer yıldızlarla yaptığımız karşılaştırmalar, bize Güneş'in ilk oluştuğu sırada daha soğuk olduğunu ve yaşlandıkça düzenli biçimde ısındığını söylüyor. Kabaca söylemek gerekirse, 4 milyar yıl önce Güneş bugünkünden yüzde 25-30 oranında daha soğuktu. Yani son 4 milyar yıl boyunca yaşanabilir bölge adım adım dışarı doğru kaydı. Bölgenin dış kenarındaki alan (soğuk kenar), artık iç kenarın üzerinde (sıcak kenar) ve bir zamanlar Venüs'ün yörüngesi de dahil bölgenin en sıcak kısmı olan alanlar, şimdi yaşam için fazla sıcak. Bu durum, Güneş'in çevresinde sıcaklığın her zaman 0°C ile 100°C arasında olduğu bir alan olan Sürekli Yaşanabilir Bölge† (CHZ) fikrine yol açtı. Bu bazen "Goldilocks Bölgesi" olarak da bilinir, çünkü o bölgedeki sıcaklık, tıpkı masaldaki bebek ayının yulaf ezmesinin sıcaklığı gibi "tam kıvamında"dır‡. CHZ küçüktür. Güneş'ten bize göre sadece yüzde 1 daha uzaktaki bir mesafeden Güneş'e bize göre sadece yüzde 5 daha yakın bir mesafeye kadar uzanır.

Zekânın evrimine dair ihtimaller düşünüldüğünde, Dünya'nın yörüngesi Güneş Sisteminin olağanüstü şanslı bir

† *Continuously Habitable Zone* –çn.

‡ Ünlü İngiliz masalı 'Goldilocks ve Üç Ayı'dan bir alıntı; masalda Goldilocks adında küçük bir kız üç ayının evine girer ve üç tabak yulaf ezmesi tadar. Sonuncu tabağın tadı "tam kıvamındadır" –çn.

kısmında yer alıyor gibi görünüyor. Fakat durum ilk bakışta görüldüğü kadar net değil. Dünya üzerinde yaşamın varlığı, sera etkisi yoluyla gezegenimizdeki sıcaklığı düzenleyici bir rol oynar. Karbondioksit gibi gazlar, aksi durumda uzaya kaçacak ısıyı yakalayarak Dünya'nın yüzeyini ısıtır. Bugün bu doğal sera etkisi, Dünya ve Ay'ın Güneş'e neredeyse aynı mesafede olmasına rağmen, Dünya'yı havası olmayan Ay'ın yüzeyinden yaklaşık 33°C daha sıcak tutmaktadır. Dünya oluştuğunda atmosfer bu tür sera gazları açısından daha zengindi ve bu, Güneş daha soğuk olduğu halde Dünya'nın donmasını engelliyordu. Güneş ısındıkça ve Dünya üzerinde yaşam geliştikçe, karbondioksit canlılar tarafından havadan çekildi ve sera etkisinin gücünü azaltacak şekilde, karbon kayaçları olarak çökeltildi. Yaşam, Güneş soğukken gezegeni sıcak tutan ve Güneş ısındıkça da onun aşırı ısınmasını engelleyen geri besleme süreçleri yoluyla havadaki karbondioksit miktarını değiştirir. Daha sonra ele alacağım, James Lovelock tarafından geliştirilen Gaia kuramının temeli budur.

Diğer bir örnek, geri beslemelerin CHZ'nin konumu için önemini vurgulamaktadır. Kayaçların aşınması, karbondioksitin havadan uzaklaştırılmasına da neden olan kimyasal tepkimeler içerir. Gezegen daha sıcakken, denizlerden daha büyük miktarda su yağmur olarak yeryüzüne inmek üzere buharlaşır ve ısıyayım tarafından yönlendirilen hava sistemleri daha yoğun haldedir, dolayısıyla daha fazla aşınma meydana gelir. Bu karbondioksiti havadan uzaklaştırarak sera etkisini zayıflatır ve gezegeni soğutur. Ancak gezegen soğukken daha az aşınma gerçekleşir, böylece (volkanlardan salınan karbondioksit) havada birikerek sera etkisini güçlendirir ve dolayısıyla gezegeni ısıtır.

Tüm bunlar Güneş'in etrafındaki CHZ'nin sınırlarını genişletir, ama dürüst olmak gerekirse pek fazla değil. CHZ'nin iç sınırını neredeyse hiç değiştirmez ve onu Güneş'e bize göre yalnızca yüzde 5 kadar daha yakın mesafede tutar; ancak dış sınırını Güneşten bize göre yüzde 15 daha uzak bir mesafeye iter. Dünya'nın yörünge yarıçapının 1 astronomik birim (AU) olduğu birimlendirmede CHZ 0,95 AU'dan 1,15 AU'ya kadar

uzanır; yani Dünya'nın yörünge boyutunun yüzde 20'sine eşdeğer bir mesafeye yayılır. İyi ki Dünya Güneş'in çevresinde neredeyse dairesel bir yörüngeye sahip; aslında yörüngemiz mükemmel bir daireden yalnızca yüzde 1,7 oranında sapmıştır. Eğer bizim gezegenimiz de Plüton'un yörüngesi gibi son derece eliptik bir yörüngede olsaydı yılın bazı zamanlarında Güneş'e CHZ'nin iç kenarından daha fazla yaklaşırdı ve yılın diğer zamanlarında da CHZ'nin dış kenarından daha uzakta kalırdı. Eliptik yörüngeler, yaşam için kötü haberdir – tekrar döneceğim bir konu. Fakat bu sınırların gösterdiği gibi, düzgün bir dairesel yörüngede bile Dünya'nın yaşamın yuvası olduğu günleri sayılıdır. Günümüzden birkaç milyar yıl sonra CHZ bir yüzde 5 daha dışarı kaydığında, Dünya tıpkı Venüs gibi yaşam için fazla sıcak hale gelecek. Öyleyse Dünya'nın yaşanılabilir ömrü yaklaşık 6 milyar yıl. Peki, bu diğer yıldızların CHZ'leriyle nasıl karşılaştırılır?

## GÜNEŞ ORTALAMA BİR YILDIZ DEĞİLDİR

Güneşimiz genellikle ortalama bir yıldız olarak tanımlanır. Bu yalnızca çok dar bir anlamda doğrudur. Derinlerinde hidrojeni helyuma dönüştürerek enerji üretimini sürdüren Güneş gibi yıldızların, yıldızın sıcaklığı ile kütlesi arasında bağlantı kurmak için gökbilimciler tarafından kullanılan bir grafik türü olan Hertzprung-Russell Diyagramı'nın "anakolu"nda bulunduğu söylenmektedir. Güneş, bu diyagramın Anakolu'nda olduğu için sıradan bir yıldız olarak düşünülür. Ama sıradan demek, ortalama demek değildir. Bütün yıldızların yaklaşık yüzde 95'i Güneş'ten daha düşük kütleye sahiptir ve bir yıldızın parlaklığı kütlesiyle ilişkili olduğu için bu, Güneş'ten daha sönük oldukları anlamına gelir. Bu açıdan bakıldığında, Güneş ortalama bir yıldız olmaktan uzaktır ve büyük kütleli yıldızlar oldukça normal olduğu halde, Güneş'ten daha büyük ve parlak olan yıldızlar Güneş'le aynı kütleye sahip olanlardan daha da seyrektir.

Güneş başka bir açıdan da "ortalama" olmayabilir. Güneş'in parlaklığının, benzer kütle ve kimyasal bileşenlere

sahip diğer yıldızların parlaklığındaki çeşitliliğe göre daha az değiştiğine dair bulgular var. Bunu ölçmek çok zordur ve bu durumun hep böyle olduğundan ya da bunun yalnızca Güneş'in günümüzde (veya geçtiğimiz birkaç milyon yıl boyunca) geçtiği bir aşama olduğundan emin olamayız. Fakat bu en azından, Güneş'in Dünya üzerindeki yaşamın evrimi yönünde apaçık yararları olan sıra dışı şekilde istikrarlı bir yıldız olduğuna işaret ediyor.

Daha geniş bir ölçekte, Güneş'ten daha parlak veya sönük olmanın, bir yıldızın CHZ'si için çarpıcı sonuçları vardır. Galaksideki yıldızların çoğu –yüzde 95'i– Güneş'ten daha küçük ve daha sönüktür. Yakın çevremizdeki tüm yıldızların dörtte üçü, güneşimizin kütlesinin yalnızca yaklaşık onda birine sahip olan, M-tipi yıldızlar olarak da bilinen bir kategori olan kırmızı cücelerdir. Kırmızı cüceler, Güneş (sarı-turuncu G-tipi bir yıldız; sınıf adının baş harfleri yalnızca bir tarih kazasıdır ve etiket olmaktan öte anlam taşımaz) gibi yıldızlardan çok daha uzun yaşar. Bu, zekânın evrimi için zaman sağlama açısından avantaj sağlayabilirdi. Ancak ne yazık ki bir kırmızı cücenin yörüngesindeki herhangi bir gezegende koşullar muhtemelen teknolojik bir medeniyetin doğması için elverişli değildir.

İlk sorun, bir kırmızı cücenin çevresindeki yaşam bölgesinin çok dar ve yıldıza çok yakın oluşudur. Yüzeyindeki suyun akışkan halde olabilmesi için bir gezegenin yıldıza en fazla 5 milyon kilometre uzaklıktaki bir yörüngede olması gerekir ki bu mesafe Dünya'nın Güneş'e olan uzaklığının yalnızca otuzda biridir. Güneş Sistemimizde en içteki gezegen olan Merkür Güneş'e en yakın konumundayken bile yıldıza 46 milyon kilometreden daha fazla yaklaşmaz. Bir yıldızdan en fazla 5 milyon kilometre uzaktaki yörüngelerde gezegenlerin oluşup oluşmayacağı veya sabit yörüngelere tutunup tutunamayacakları belli değildir, ama bunu yapabilselerdi bile çeşitli sorunlar söz konusu olurdu. Tıpkı gelgit kuvvetlerinin Ay'ı bir yüzü her zaman Dünya'ya dönük şekilde tutan bir dönüşe kilitlemesi gibi, bir kırmızı cücenin etrafındaki yaşam bölgesindeki gezegenler de bir yüzleri daima yıldıza

bakacak şekilde bir dönüşe kilitlenirlerdi. Böylece bir tarafı sonsuz karanlıkta, diğer tarafı ise sonsuz aydınlıkta kalırdı. Muhtemelen dar bir alacakaranlık kuşağı hariç, koşullar rahatsızlık verici derecede sıcak ya da soğuk olurdu. Bunun en muhtemel sonucu, ısıyayımın gazları gezegenin sıcak tarafından, soğuyarak donacakları soğuk tarafa taşıması olurdu. Gezegenin gelgit kilitlenmesi tamamlanmadan önce başlangıçta sahip olduğu bir atmosfer, karanlık tarafta donardı.

Başka bir sorun –bunlar yetmezmiş gibi– kırmızı cüce yıldızlarının Güneş'ten çok daha etkin olmasıdır. Büyük miktarlarda morötesi ışınım, X-ışınları ve parçacıkları yayan sık etkinlik parlamaları üretirler. Bu, gezegenin yıldıza yakınlığı nedeniyle özellikle zarar verici olurdu. Yaşamla ilgili doğrudan sonuçları bir yana, bu patlamalar gezegenin çevresinde oluşmaya başlamış herhangi bir atmosferi silip süpürürdü. Genel olarak bakarsak, kırmızı cüce sistemlerini diğer medeniyetlerin olası yuvaları olarak eleyebiliriz gibi görünüyor. Galaktik Yaşanabilir Bölgenin Samanyolu'ndaki yıldızların yalnızca yüzde 10'unu içerdiğini zaten bulmuştuk ve şimdi de o yüzde 10'un yüzde 75'ini olasılık dahilinden kaldırıyoruz. Bu hesap bizi tüm yıldızların yalnızca yüzde 2,5'iyle baş başa bırakıyor; üstelik Dünya üzerinde bulunuşumuzun tüm nedenlerini belirlemeye daha yeni başladık.

Güneş'ten daha büyük ve daha parlak yıldızlar bu yüzde 2,5'in sadece ufak bir kısmını oluşturur ve sadece yaşanabilir bölgeler açısından bile teknolojik medeniyetler barındıran gezegenlerin bulunması için olası yerler olarak kırmızı cücelerden daha uygun değillerdir. Daha parlak bir yıldızın daha geniş bir yaşanabilir bölgesi vardır ama bu yıldız Güneş kadar uzun yaşamaz ve yıldız yaşlandıkça yaşanabilir bölgesi Güneş'in yaşanabilir bölgesine kıyasla daha hızlı biçimde dışa doğru hareket eder. Güneş'in 30 katı kadar kütlesi olan bir yıldız nükleer yakıtını o kadar hızlı tüketmek zorunda kalır ki, enerjiyi açığa çıkarma hızı güneşinkinin 10 bin katı kadardır ve sabit Anakolda yalnızca birkaç on milyon yıl yaşayabilir. Bu tür yıldızlar ayrıca yaşam ve olası Dünya benzeri gezegenlerin atmosferi için zarar verici olan

yüksek miktarlarda morötesi ışınım yayar. Bununla birlikte O ve B yıldızları olarak da bilinen Anakoldaki en parlak yıldızlar, birlikte tüm yıldızların yüzde 1'inin onda birinden daha azını oluşturur, bu yüzden onları denklemin dışında tutmak çok az bir fark yaratır.

Biraz daha küçük ve soğuk olan A-tipi yıldızlar, yaşam kuşaklarındaki herhangi bir gezegene bir milyar yıl kadar kararlı bir ortam sağlayabilir. Bu süre, yaşamın Dünya'daki hızlı oluşumu örneğiyle kıyaslandığında yaşamın başlaması için kesinlikle yeterince uzun bir süredir. Ne var ki bizimki gibi bir medeniyetin gelişmesi için yeterli olmayabilir. Güneşimizin yalnızca 1,5 katı kütleye sahip bir yıldız bile sadece birkaç milyar yılda Anakolu terk ederdi. Fakat güneşimizden biraz daha fazla kütleye sahip, yaklaşık 4 milyar yıllık Anakol ömürleri bulunan ve aşırı miktarda morötesi ışın üretiyor gibi görünmeyen, F-tipi denilen bazı yıldızlar da bulunmaktadır.

Toparlarsak, makul derecede geniş ve uzun ömürlü yaşam kuşakları, Galaktik Yaşanabilir Bölgede bulunan Güneş benzeri (G-tipi) yıldızların veya biraz daha ağır (F-tipi) ya da biraz daha hafif (K-tipi olarak bilinen) yıldızların çevresinde var olabilir. Cömert bir değerlendirmeyle bu, Galaksideki yıldızların yüzde ikisinden fazlasına tekabül etmez. Bu açıdan, Güneş'in özel olduğunu en başından görebiliriz. Fakat bu yüzde ikinin içinde bile Güneş ortalama bir yıldız değildir, çünkü çoğu yıldızın eşi vardır; ikili hatta üçlü yıldız sistemlerinde yaşarlar.

## ORTAKLARI SARSMAK

Aslında bir yıldızın oluşumu çok zordur. Samanyolu'nun ince diskindeki büyük toz ve gaz bulutları (büyük oldukları ve moleküller içerdikleri için dev molekül bulutları olarak da bilinirler) dönmektedir, bu da onların çökmesini durdurur. Üstelik kütleçekimin içeri doğru olan çekme kuvvetine direnmelerine yardım eden manyetik alanlarla sarılıdırlar. Eğer Güneş'le aynı kütleye sahip bir yıldız, yavaşça dönmek-

te olan yıldızlararası bir bulutun yoğunluğuna yayılan bir buluttan meydana gelseydi, Güneş'in boyutuna inene kadar o kadar hızlı dönerdi ki yüzeyinin dönme hızı, ışık hızının yüzde 80'ine ulaşırdı. Bunun sebebi bir bulut büzüldüğünde –veya genişlediğinde– açısal devinirlik denilen bir özelliğin korunmasıdır. Aynı açısal devinirliğe sahip olmak için, küçük bir nesne kütlesinin aynı kalması koşuluyla büyük bir nesneden daha hızlı dönmek zorundadır. Bir buz patencisinin kollarını açarak ya da kapayarak daha hızlı veya yavaş dönebilmesi işte bu yüzdendir. Çökmekte olan bir gaz bulutu büzüşmek için açısal devinirliğinden kurtulmak zorundadır. Eğer iki ya da daha çok yıldız, çökmekte olan aynı buluttan oluşursa açısal devinirliğin çoğu, yıldızların kendi çevrelerinde dönmelerine değil, birbirleri etrafındaki yörünge hareketine harcanır.

Ortalama bir dev molekül bulutu, yaklaşık 65 ışık yılı çapındadır ve bir milyon Güneş kütlesinin yaklaşık üçte biri oranında madde içerir. Bir bulut bir spiral kolun yoğunluk artışından geçtiği zaman sıkışır ve eğer yakınında bir süpernova patlarsa patlamadan gelen şok dalgaları bulutun içinde dalgalanır. Bu şartlar altında bulutu çalkalayan burgaç, kütleçekimin hâkim olacağı ve bazılarının çökerek yıldızlar oluşturacağı çok daha yoğun bölgeler oluşturabilir. Bu sürecin işlediği yıldız "üretme çiftlikleri," ışınımın buluttaki tozların arasına sızdığı tayfın kızılaltı bölgesinde Herschel gibi insansız uzay gözlemevlerinden fotoğraflandı. Bu da gökbilimcilerin olanlara dair fizik yasaları bilgilerine dayanan anlayışlarını doğrulamış oldu.

Öyle görünüyor ki burgaç kütleçekim onlara doğru daha fazla maddeyi çekerken üzerinde yıldızların büyüdüğü 'önyıldız çekirdekleri' oluşturur. Tipik bir çekirdek bir ışık yılının yaklaşık beşte biri çapında olur ve Güneş'in kütlesinin yaklaşık yüzde 70 kadarına sahiptir. Böyle bir çekirdeğin yalnızca tam merkezi çöker ve nükleer füzyonla enerji üretmeye başladığı noktaya kadar ısınır ve ilk başta Güneş'in kütlesinin yüzde birinden daha az (belki de binde biri kadar az) kütleye sahip bir önyıldız haline gelir; bu, Güneş'in yak-

laşık beşte biri kadar kütleye kavuşunca nükleer tepkimeler başlar. Bu çekirdeğin üzerinde büyüyen yıldızın nihai boyutu çekirdeğin boyutuna bağlı değildir; bu tür bütün çekirdekler aşağı yukarı aynı kütleyle başlarlar. Önemli olan, genç yıldızdan ve yakınında oluşan herhangi bir eşlikçiden gelen ışınım kendilerini meydana getiren dev molekül bulutundaki yığını dağıtmadan önce, yıldızın kütleçekim kuvveti tarafından yakalanması için yeterince yakında bulunan madde miktarıdır. Güneş gibi bir yıldızda, kütlenin yüzde 99'u bu şekilde birikerek toplanır. Ama bu çok verimsiz bir süreçtir. Bir yığındaki kütlenin kabaca yarısı yıldıza dönüşmesine rağmen, tüm buluttaki maddenin yalnızca yüzde birkaçı bir spiral kolun içinden geçerken yıldıza dönüşür.

Açısal devinirlik sorunu yüzünden bir yıldızın yalıtılmış bir ortamda nasıl oluşabildiğini görmek çok zordur. Uzaydaki yakın çevremizin gözlemleri, birbirine kütleçekimiyle bağlanan üçten fazla yıldız içeren sistemler son derece nadir olsa da Güneş benzeri yıldızların en az yüzde 70'inin en az bir eş yıldızı olduğunu gösteriyor. Çoklu sistemlerdeki yıldızların birbirleriyle ve yakınlardaki diğer sistemlerle etkileşim kurma yollarını gösteren bilgisayar simülasyonları, bu orantının nasıl doğduğunu ve en azından bazı yıldızların –Güneş gibi– neden bir eş yıldıza sahip olmadığını açıklıyor.

Üç yıldız birbirlerinin etrafında dönerken, yıldızlardan birinin çok fazla enerji kazanıp sistemden kaçmasının ve açısal devinirliği beraberinde götürmesinin oldukça kolay olduğu, buna karşın diğer ikisinin sarmaş dolaş birbirine yaklaştığı karmaşık bir dans içindedirler. İkili sistemler başka bir yıldızın (veya çift yıldızın ya da üçlü yıldızın) yakınından geçmedikçe daha kararlıdır. Bu durumda kütleçekimsel etkileşimler yıldızların eşliğini bozabilir ve eş yıldız bazen diğer sistem tarafından yakalanabilse de en azından bir yıldızı tek başına bırakabilir. Bilgisayar simülasyonları, eğer her 100 yeni yıldız sisteminin 40'ı üçlü ve 60'ı da ikili olursa (toplamda 240 yıldız eder), o zaman bu sistemlerin Samanyolu'nun yıldız oluşum bölgelerinde ne kadar yakın olduklarını hesaba katarsak, yıldız sistemleri Galaksiye ser-

best olarak dağılana ve her şey yerli yerine oturana kadar ortada 25 üçlü, 65 ikili yıldız sistemi ve yalnızca 35 tek yıldız bulunacağını göstermektedir. Artık aynı 240 yıldız, yüzde 20'sinden biraz daha azı tek başına olacak şekilde paylaştırılmıştır, bu da yakın çevremizdeki yıldızlara dair gözlemlerimizle kabaca uyuşmaktadır.

Çift ve üçlü yıldız sistemleri yaşam için kötü haberdir; şüphesiz ki böyle bir sistemdeki herhangi bir gezegen üzerinde doğan bir teknolojik medeniyet ihtimali için de öyle. Kararlı yörüngeler, ya ikili sistemdeki yıldızlar birbirlerine çok yakınsa (Dünya'dan Güneş'e olan mesafenin beşte biri kadar) ve her iki yıldızın da yörüngesinde gezegenler varsa ya da eğer iki yıldız birbirinden uzaksa (Dünya'dan Güneş'e olan mesafenin en az 50 katı) ve gezegenler yıldızlardan birisinin çevresinde dönüyorsa var olabilir. Ancak yörüngeler kararlı olabilmesine rağmen Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesi kadar düzgün bir daire olmaz, dolayısıyla gezegenler iki yıldızdan gelen ısı ve ışıktan etkilenecek, bu da uzun ömürlü bir yaşanabilir bölge oluşumunu zorlaştıracaktır. Dünya üzerinde yaşamın evriminin jeolojik kayıtlarına dair kanıtlara bakarsak, bir gezegenin yıldızından veya yıldızlarından gelen ısı miktarında yüzde 10'luk bir değişim bile çok ağır sorunlara neden olabilir. Kaba bir parmak hesabıyla, Güneş'in dışarıya yaydığı ısının yüzde 1 oranında değişimi, Dünya'nın yüzeyindeki ortalama ısının 1°C değişmesine neden olur. Bugün, 4-5°C düzeyinde bir küresel ısınmanın medeniyeti çöküşüne neden olacağından endişe duyulmaktadır.

Bütün bu sorunlar yetmezmiş gibi, ikili bir sistemde zaman geçtikçe dışarı kayan iyi tanımlanmış bir yaşanabilir bölgeye sahip, düzenli olarak daha parlak hale gelen tek bir yıldız yerine, her ikisi de farklı hızlarda daha parlak hale gelen iki yıldızımız olurdu, bu da elimizdeki resmi iyice karmaşık hale getirirdi. Yaşanabilir bölge (veya bölgeler) daha hızlı ve daha karmaşık bir biçimde hareket ederdi. Bu, neredeyse Güneş Sistemi oluştuğundan beri Dünya üzerinde var olan tek hücreli yaşam formları için çok kötü olmayabilirdi

ama bir teknolojik medeniyetin gelişmesi için gereken uzun vadeli istikrarı sağlamazdı.

Bir çoklu yıldız sisteminde uzun ömürlü bir yaşanabilir bölge bulmanın zorluğu bir yana, böyle sistemlerde gezegenlerin oluşması zaten zor olabilir, çünkü gezegenlerin oluştuğu tozlu madde disklerinin bu sistemlerde işlemekte olan karmaşık gelgit kuvvetleri nedeniyle parçalanma olasılığı vardır.

Dolayısıyla geriye Samanyolu'nun yıldızlarının yüzde ikisinin hem GHZ'de olan, hem de aşağı yukarı Güneş'e benzeyen yüzde 30'luk kısmı kalıyor. Bu, Samanyolu'ndaki yıldızlarının tümünün yalnızca yüzde 0,6'sı eder. Eğer gezegenlerin varlığı aslında nadir ve henüz anlaşılamamış bir süreçle tamamıyla yalnız başına oluşan bir yıldız gerektiriyorsa, bu ufak oran büyük, ancak bilinmeyen bir etkenden ötürü daha da düşer. Üstelik Güneş'i özel kılan özelliklerin listesini henüz bitirmiş bile değiliz.

## GEÇMİŞTEN GELEN PATLAMALAR

Gökbilimciler, Güneş'in oluştuğu itiş kakış koşulları hakkında çok şey biliyorlar çünkü o zamanlarda meydana gelen olaylar, Güneş Sisteminde bulunan radyoaktif elementler şeklinde izler bırakmıştır. Hidrojen ve ilksel helyum dışındaki tüm elementler gibi bu radyoaktif elementler de yıldızların içinde oluştu ve ana yıldızları öldükten sonra yeni yıldızların ve gezegenlerin oluştuğu maddenin içine saçıldı. Fakat radyoaktif elementler sonsuza kadar yaşamaz ve yalnızca büyük yıldız patlamalarında oluşur. Öyleyse ne zaman oluştuklarını ve Güneş'in oluştuğu alanın yakınlarında patlayan bir yıldızda veya yıldızlarda oluştuklarını kesin bir biçimde söyleyebiliriz.

Her radyoaktif element, bazen çok aşamalı bir süreçle, yarılanma ömrü olarak bilinen bir zaman ölçeğinde bozunarak kararlı bir maddeye dönüşür. Bu yarılanma ömrü her bir element için farklıdır (tam olarak konuşmak gerekirse, elementin her bir izotopu için; farklı izotopların atomları aynı

kimyasal özellikleri gösterir ama farklı ağırlıklara sahiptir). Bu süreçte üretilen kararlı elementler bu elementin yavru ürünleri olarak bilinirler – örneğin radyoaktif uranyum, en sonunda kurşun üretmek üzere bozunur. Günümüzde bir madde örneğinde bulunan radyoaktif bir elementin oranını aynı örnekteki yavru ürünlerinin oranıyla karşılaştırmak, radyoaktif maddenin ne kadarının bozunduğunu açığa çıkarır ve bu bize radyoaktif maddenin oluşumunun üzerinden ne kadar süre geçtiğini söyler.

Bir yıldızın ölüm sancılarında üretilen radyoaktif izotopların ikisi demir-60 ve alüminyum-26'dır. Demirin kısa bir yarılanma ömrü vardır ve kısa sürede yavru izotopu olan nikel-60'a bozunur, ancak alüminyum-26 çok daha yavaş bozunur. Eğer bunların her ikisi de patlayan ve Güneş Sistemini radyoaktif kalıntılarla renklendiren bir yıldızda aynı anda üretilmiş olsalardı, o zaman Güneş Sisteminin en eski parçalarında alüminyum-26'ya kıyasla belli bir oranda nikel-60 olurdu. Ancak Kopenhag Üniversitesinden araştırmacılar Dünya'daki eski kayaçları ve meteorit örneklerini –gezegenlerin oluşumundan kalmış artık parçalar oldukları düşünülen uzaydan gelen kayalar– incelediklerinde, en eski meteoritlerde daha az nikel-60 bulurken biraz daha genç olanlarda daha fazla buldular. Bu bilmecenin makul bir açıklaması şöyledir: çok büyük, belki de Güneş'in 30 katı büyüklüğündeki bir yıldız, kalan çekirdek kısmının nihai olarak patlamasından yaklaşık olarak bir milyon yıl önce, çok fazla alüminyum-26 içeren dış katmanlarını boşluğa saçtı. Başlangıçtaki bu patlama Güneş Sisteminin meydana geldiği dev molekül bulutundaki kümenin çöküşünü tetiklemek için yeterli olurdu. Ondan bir milyon yıl kadar sonra yıldız, oluşum aşamasındaki Güneş Sistemi de dahil çevresindekileri, içinde derinlerinden gelen demir-60 izotopu barındıran bir enkaz yağmuruna tutarak patladı.

Bunu yapabilmesi için, süpernova patlaması Güneş 2 milyon yaşından daha gençken, oluşum aşamasındaki Güneş Sisteminden ışık yılının onda biri uzaklık içinde gerçekleşmiş olmalıdır. Güneş'e bu yakınlıkta başka hiçbir süpernova

patlaması olmadı; eğer olsaydı Dünya'daki yaşam yok olurdu. Görünüşte olanaksız olan bu olayın Güneş Sisteminin oluştuğu yerde olması rastlantı olamaz. Bunun doğal açıklaması, hem Güneş'in hem de süpernovanın aynı gaz bulutunda birlikte oluşmuş olan bir yıldız kümesinin üyesi olmaları ve o zamandan beri de kendi yollarına gittikleridir.

Bunun gibi kümelerin iyi örnekleri var. En iyi bilinenlerden biri R136 adını taşır ve Samanyolu'nun küçük bir yoldaş galaksisi olan Büyük Macellan Bulutunda yer alır. Küme, yaklaşık 10 bin yıldız içermektedir ve hiçbiri birkaç milyon yıldan daha yaşlı değildir. Yıldızların birlikte büyük bir gaz ve toz bulutundan oluştuğu açıktır. Büyük kütleli yıldızlar nadir olduğu için (ancak Güneş gibi yıldızların sayısıyla karşılaştırıldığında, ölçülebilir bir biçimde nadir), Güneş'in doğduğu kümenin sınırlarını çizebiliriz. Kabaca konuşmak gerekirse, Güneş'ten daha küçük her 1500 yıldıza karşılık, Güneş'in 30 katı kütleye sahip bir adet yıldız bulunur, öyleyse Güneş Sisteminin oluştuğu kümede en azından o kadar çok yıldız bulunmalıdır. Diğer taraftan büyük kümelerin, içlerindeki yıldızların birbirlerine Güneş'in Güneş Sistemi boyunca radyoaktif kalıntılar saçan süpernovaya olan mesafesi kadar yakın olduğu sıkışık bir duruma gelmesi daha uzun sürer. Üstelik Güneş'in 30 katı kütleye sahip bir yıldız patlamadan önce yalnızca birkaç milyon yıl yaşar. Hollandalı gökbilimci Simon Zwart'ın hesaplarına göre bu temelde, Güneş Sisteminin meydana geldiği küme 3500 yıldızdan fazlasını içermiş olamaz. Bu sayı kümelere göre küçüktür ve kümede birbirine etkiyen yıldızların kütleçekim kuvveti, kümenin bozulmasını ve gelgit kuvvetlerinin yanı sıra Galaksinin çevresinde dolaşırken karşılaştığı diğer nesnelerle olan etkileşimler yüzünden onu oluşturan yıldızların dağılmasını engelleyecek kadar güçlü olamazdı. Samanyolu'nun çevresinde bir turunu tamamlamadan önce 250 milyon yıl içinde tamamen yok olurdu.

Fakat Güneş Sistemi oluşurken kısa bir süre boyunca kümedeki yıldızlar o kadar yakınlaşırdı ki, bazıları Plüton'un Güneş'e olan mesafesine göre birbirlerinin daha yakınından

geçerdi. Bu, yıldızların etrafında oluşmaya çalışan gezegenler için iyi haber olmazdı. Bundan biraz daha bahsedeceğiz ama önce, Güneş'in oluşumu hakkında evrende yerimizi özel kılan başka bir bilmece bizi bekliyor.

## GÜNEŞ METALLİĞİNİN GİZEMİ

Güneş'in metalliği iki yolla anlaşılabilir. Birincisi spektroskopi kullanarak Güneş'in yüzeyinde bulunan farklı elementlerin oranlarını ölçmektir. Daha önce gördüğümüz gibi her element Güneş'ten gelen ışığın tayfında kendine özgü bir çizgi örüntüsü üretir ve o çizgilerin kuvveti mevcut olan elementin miktarını gösterir. Diğer yöntem helyosismoloji kullanarak Güneş'in iç kısmını araştırır. Adından da anlaşılacağı gibi bu yöntem, jeofizikçilerin sismoloji kullanarak Dünya'nın içini araştırmasına benzer. Güneş'in içindeki ses dalgaları yüzeyi titreştirir ve bu titreşimler hassas aletlerle ölçülebilir. Titreşimlerin doğası gökbilimcilere Güneş'in iç yoğunluğu ve Güneş'in içinde çeşitli derinliklerdeki ses hızı hakkında bilgi verir. Bu özellikler, Güneş'in kesin bileşimine dayanır.

Son zamanlara kadar iki yöntem de bize galaksinin merkezine bizim kadar uzak olan yıldızların ortalama metalliğiyle karşılaştırıldığında Güneş'in metalliğinin olağanüstü ölçüde yüksek olduğunu anlatıyor gibi görünüyordu. Bu özellikle kafa karıştırıcı, çünkü Zwart'ın yörüngeyle ilgili yaptığı hesaplamalar, tam tersine Güneş'in doğduğu yıldız kümesinin şu anki konumumuza göre merkezden biraz daha uzakta oluştuğunu düşündürmektedir. Bunun apaçık bir açıklaması var, o da Güneş Sistemini demir-60'la zenginleştiren süpernovanın Güneş'i de diğer ağır elementlerce zenginleştirmiş olması. Bu, yakın çevremizdeki bu şekilde zenginleştirilmemiş yıldızlardansa Güneş'in bir kayalık gezegen ailesi kurmasını daha da kolaylaştırırdı.

Yine de son zamanlarda yapılan güneş tayfı[5] gözlemleri, eski gözlemlerin söylediğinden daha az metallik gösterdiği

[5] Fraunhofer tayfı da denir. Güneş'in bazı katmanlarında ışık emilir ve tayfta birtakım siyah çizgilerin görülmesine neden olur –çn.

şeklinde yorumlanmıştır. Bu iddialar açık açık doğrulanmış değil ama haklılarsa bile hiçbir şey helyosismoloji kanıtlarını değiştirmedi. O yüzden Güneş'in iç kısmının, yüzeyine göre metalce daha zengin olduğu çıkarımı yapılabilir. Neler oluyor acaba?

Sorunun yanıtı, büyüklük ve yaş bakımından güneşimizle neredeyse özdeş olan –güneş ikizleri olarak bilinen– yakınımızdaki yıldızlarla ilgili çalışmalardan gelmiş olabilir. Bu yıldızların çoğuyla kıyaslandığında Güneş'in yüzeyi, kalsiyum ve alüminyum gibi yüksek sıcaklıklarda buharlaşan (veya yoğunlaşan) elementleri daha düşük oranda barındırır. Fakat bu dayanıklı elementler, meteoritlerde ve iç Güneş Sistemindeki kayalık gezegenlerde çok daha yüksek oranlarda bulunur. Bu örüntü, genç Güneş'in atmosferine gidebilecek dayanıklı elementler bunun yerine kayalık, dünyaya benzeyen (kayasal gezegenler de denilen) gezegenlerin oluşumuna katılmışsa açıklanabilir. Üstelik bu fikri destekleyen bulgular güneş ikizleri çalışmalarından geliyor. Kendisine yakın yörüngelerde kayasal gezegenlerin oluşumunu engelleyecek devasa gezegenleri olan güneş ikizleri, Güneş'in gösterdiği dayanıklı elementler örüntüsünü sergilemez. Fakat kendisine yakın yörüngelerde dev gezegenler bulunmayan bazı güneş ikizleri, dayanıklı elementlerden yoksundur! Bu yıldızların Güneş'e benzer şekilde kayalık gezegen ailelerine sahip olduğu fikri çekici bir sonuç. Dayanıklı elementlerden yoksun olmak, kayasal gezegenlerin varlığının işareti gibi görünüyor. İyi haber şu ki, bu, Dünya'ya üstünkörü benzeyen diğer gezegenlerin olduğunu akla getiriyor.

Fakat bu tamamıyla iyi bir haber değil. Güneş ikizlerinin yalnızca yüzde 10'u bu kategoriye girer. Eğer yalnızca Güneş'e benzeyen dayanıklı element oranlarına sahip olan yıldızların kayasal gezegenleri varsa, bu, teknolojik medeniyetler için olası yerlerin sayısında daha fazla azalma anlamına gelir. Sayı zaten Galaksideki tüm yıldızların yüzde 0,6'sına kadar düşmüştü; şimdi ise yüzde 0,06'ya düşmüş durumda. Bu, Samanyolu'ndaki her 10 bin yıldızdan yalnızca altısı demek olur. Bu sayıda daha fazla azalma belirleme-

ye çalışmayacağım. Ancak, evrendeki yerimizi özel kılan her bir ek özelliğin, adayları bu zaten küçücük olan bu orandan daha da uzağa atmaya yaradığını akılda tutmaya değer. Güneş Sistemimizi özel kılan bu ek özelliklerden bol miktarda bulunmaktadır. Fakat bunları ele almaya geçmeden önce, Güneş'in doğumunu anlatmışken, Galakside başka zeki yaşamlar bulma olasılığıyla doğrudan ilgili olmasa bile onun yaşam ve ölümünün hikâyesini tamamlamamak yazık olur.

## GÜNEŞ ÖLENE KADAR

Birçok popüler söylenti ve hatta bazı ders kitapları basitçe Güneş'in yaşlandıkça şişerek Güneş Sisteminin Dünyayı da içeren iç gezegenlerini yutacak bir kırmızı dev haline geleceğinden bahseder. Bu bir noktaya kadar doğrudur; ama hikâyenin tamamı, bu basit açıklamaların dile getirdiğinden çok daha incelikli ve çok daha ilginçtir.

Güneş gibi yıldızlar, merkezlerinde hidrojeni helyuma dönüştürerek enerji üretimlerini sürdürür. Helyum bir tür yıldız külü olarak birikir, bu yüzden zamanla bir hidrojen ve helyum karışımından meydana gelen, büyümekte olan bir çekirdekte devam eden hidrojen "yanmasıyla" merkezi bir helyum çekirdeği gelişir. Güneş'ten açığa çıkan ısının Güneş'in oluşumundan beri 4,5 milyar yıl içinde yaşanabilir bölgeyi adım adım dışarı iterek yavaş bir şekilde artması bu yüzdendir. Fakat bir zaman gelir ki, çekirdekte bu süreci devam ettirecek kadar hidrojen bulunmaz ve kendisini bir arada tutan nükleer füzyon ısısı olmadan, çekirdek çöker. Başlangıçta Güneş'in yüzde 30'u helyumdu; bugün Güneş'in çekirdeği yüzde 65 helyum, yüzde 35 hidrojen içermektedir. Yaklaşık 5 milyar yıl içinde merkezde hiç hidrojen kalmayacak ve çekirdek çökecek. Bu, kütleçekim enerjisi ısıya dönüştürüldükçe çekirdeği daha da sıcak hale getirir. Çekirdek, katı bir helyum topu gibi düşünebileceğiniz "yozlaşmış" denilen bir hale geçer. Aynı anda, yıldızın daha uzak yerlerinde bulunan hidrojen çekirdeğe düşerek çekirdeği saran bir kabukta "yanmaya" başlar. Sonuçta, yıldızın kalbinden dışa-

rıya daha fazla ısı yayılır ve bu daha dıştaki katmanlardan geriye kalanların aşırı derecede şişmesine yol açar, böylece yıldız bir kırmızı dev haline gelir. Yaşamının bu aşamasında, bir yıldız Hertzprung-Russell Diyagramı'nın gayet mantıklı biçimde kırmızı dev kolu olarak bilinen bölgesini işgal eder. Fakat orada kalmaya devam etmez.

Hidrojen yakmakta olan kabuk, çekirdekte daha fazla helyum "külü" biriktirdikçe çekirdek fazladan materyalin ağırlığından dolayı büzüşür. Büzüştükçe daha da ısınır. Sonunda helyum çekirdekleri o kadar sıkışır ki birbirlerine bağlanarak karbon oluşturmaya başlar. Yozlaşmış çekirdek, gaza göre daha fazla katı gibi davranır, böylece bu "helyum yanması"ndan gelen ısı çekirdeğe hızlıca yayılarak helyum parlaması denilen zincirleme bir tepkimeye neden olur. Yalnızca birkaç saniye içinde çekirdek patlar. Açığa çıkan enerji daha dıştaki katmanları yükseltir ve yıldızın dış atmosferinin bir kısmını, basıncı azaltacak ve çekirdeği yozlaşmış halden kurtaracak şekilde uzaya püskürtür. Tüm bunlar hidrojen yanmasıyla bir arada tutulduğu zamandan daha yüksek bir sıcaklıkta olmak kaydıyla çekirdeği bir kez daha kararlı hale getirir. Yıldız daha sonra, çekirdekte süren helyum yanması ve çekirdeği saran kabuktaki hidrojen yanmasıyla bir kez daha sıkışık bir hale geçer. Fakat helyum yanması hidrojen yanması kadar enerji sağlamaz ve Güneş'le aynı kütleyle yola çıkan bir yıldızın helyum yakıtı yaklaşık olarak 150 milyon yılda tükenir.

Güneşimizle aynı kütleye sahip bir yıldız için helyum yanması yolun solu demektir. Yıldızın merkezindeki helyum yakıtı tükendikten sonra çekirdek tekrar büzüşerek yanmakta olan hidrojen ve helyum kabuklarıyla çevrili yozlaşmış bir karbon çekirdeği oluşturur. Yıldızın daha dış tabakaları bir kez daha şişer ama yıldızın kalbindeki şartlar bir daha asla nükleer yanmanın daha ileri aşamalarına izin verecek kadar aşırı hale gelmez. Hidrojen ve helyum kaynağı tükendiğinde, yıldız Güneş'in bugünkü kütlesinin yaklaşık yarısına sahip olan aşağı yukarı Dünya büyüklüğünde katı bir yumru halinde sıkışmış bir materyal topu haline gelir. Bu yıldız daha

sonra soğur ve geride kalan daha dışarıdaki incecik katmanlar, artık bir beyaz cüce haline gelmiş olan şeyin üzerine yerleşir.

Dünya'nın kaderi söz konusu olduğunda kilit etmenler, Güneş'in devasa bir yıldız olarak yaşamının iki evresinin her birinde tamı tamına ne kadar büyüyeceği ve bu esnada tamı tamına ne kadar kütle kaybedeceğidir. Kütle kaybı göz önünde bulundurulmadığı takdirde, hesaplamalar bize Güneş kırmızı dev olma yolunda ilk kez şiştiğinde iç gezegenlerden Merkür ve Venüs'ü yutacağını, ikinci defa genişlediğinde ise Dünya'yı ve Mars'ı içine çekeceğini söylüyor. Başka bir ifadeyle, Güneş'in bugün sahip olduğuyla aynı kütledeki dev bir yıldızın azami yarıçapı Mars'ın yörüngesinin yarıçapından daha büyüktür. İşte bu nedenle bazı kitaplar Dünya'nın bir gün Güneş tarafından yutulacağını söylüyor.

Fakat kütle kaybı durumu daha da karmaşık ve ilginç hale getiriyor. Sussex Üniversitesindeki gökbilimciler, olası sonuçları ayrıntılı biçimde hesaplamışlardır. Güneş benzeri bir yıldız bir kırmızı dev olana kadar kütlesinin yaklaşık yüzde 20'sini kaybetmiş olacağı için, atmosferi üzerindeki kütleçekim kuvveti daha zayıf hale gelecektir. Bunun anlamı ise, yıldızın esasen hiç kütle kaybetmemiş haline göre birazcık daha genişlemesi ve Dünya'nın günümüzdeki 150 milyon kilometrelik yörünge yarıçapıyla kıyaslandığında 168 milyon kilometreye ulaşan bir yarıçapa erişmesidir. Ancak o zaman geldiğinde Güneş'in kütleçekim etkisinin zayıflaması, Dünya'nın yörüngesinin Güneş'ten 185 milyon kilometre uzağa kadar genişlemesine izin vermiş olacaktır! Güneş bir kırmızı dev olarak ilk tecrübesinden yaklaşık yüz milyon yıl sonra, genişlemesinin ikinci evresinin tepe noktasına ulaştığında o kadar çok kütle –bugünkü kütlesinin yaklaşık yüzde 30'u– kaybetmiş olacaktır ki, yalnızca en fazla 172 milyon kilometrelik bir yarıçapa erişecektir. Dünya ise 220 milyon kilometre uzağa taşınmış olacaktır. Söz konusu mesafe Mars'ın şimdiki yörüngesine oldukça yakın.

Daha doğrusu, Dünya eğer hâlâ var olsaydı o kadar uzağa sürüklenirdi. Ne yazık ki hâlâ hesaba katılması başka et-

menler var –hava direnci ve gelgit kuvvetleri. Güneş genişledikçe atmosferinin dış katmanları Dünya'dan öteye uzanır ve kromosfer olarak bilinen bu bölge çok ince olmasına rağmen Dünya'yı hareket ettirmeye ve onu Güneş'e doğru yavaşça spiral çizerek göndermeye yeter. Aynı anda, Dünya şişmekte olan Güneş'in yörüngesinde dönerken, Güneş'in yüzeyinde Dünya'nın yörünge hareketinden enerji çeken gelgitler oluşturur, bu da gezegeni yörüngesinde tutar ve ayrıca yörüngenin yarıçapının daralmasına yol açar. Bunun birleşik etkisi, yaklaşık 7,6 milyar yıl sonra, yani Güneş'in bir kırmızı dev olarak en büyük boyutuna ilk kez ulaşmasından kabaca yarım milyon yıl önce ve soğumakta olan bir beyaz cüce olmak üzere solmasından çok uzun zaman önce, Dünya'nın gerçekten de Güneş tarafından yutulması olacaktır.

## KIYAMET GÜNÜNÜ ERTELEMEK

Dünya üzerindeki yaşam olasılıkları düşünüldüğünde ise, bu tamamen ilgisiz bir konudur. Güneş'in parlaklığı hayatı boyunca adım adım arttı, ancak gene de Dünya'nın yüzeyindeki sıcaklık bütün bu süre boyunca sıvı suyun bulunabildiği noktada hemen hemen sabit oldu. Bunun açıklaması, atmosferde bulunan sera gazlarının –özellikle karbondioksitin– konsantrasyonunun yavaş yavaş azalması ve azalan sera etkisinin artan Güneş sıcaklığını dengelemesidir. Jim Lovelock gibi araştırmacılar, bu sürecin gidebileceği kadar gittiğini vurgulamıştır –eğer atmosferde hiçbir insan etkisi olmasaydı, tüm karbondioksit yakın gelecekte ortadan kalkardı. Lovelock, Dünya'nın Güneş'in artan ısısıyla uyumlu olarak ısınmasıyla birlikte, yüz milyon yıl içinde gezegenimiz üzerindeki yaşamın bugüne kadar gördüğü her şeyden daha aşırı bir sıcak duruma geçeceğini hesaplamıştır. En ihtiyatlı tahmin bir milyar yıl içinde Dünya'nın yaşanılmaz bir yer olacağıdır. Gerçek durum bundan çok daha kötü, çünkü şu anda biz atmosfere karbondioksit ve başka sera gazları ekliyor ve gezegenin daha da çabuk ısınmasına yol açıyoruz; ama şimdilik bunu görmezden geleceğim.

Astronomik bir zaman ölçeğinde, Dünya ısındıkça ilk olarak okyanuslardan daha fazla su buharlaşacak. Su buharı bir sera gazı olduğu için bu, okyanuslar kaynayıp buharlaşıncaya dek ısınmayı hızlandıracak. Ama bu milyarlarca yıl boyunca gerçekleşmeyecek. O yüzden eğer teknolojik medeniyetimiz hayatta kalırsa ya da Galaksinin başka bir yerinde bir başka gezegendeki teknolojik bir medeniyet benzeri bir sorunla karşı karşıya kalırsa, teknolojik bir çözüm için yeterli zaman olacak. Sorunun olası bir çözümü rahatlatıcı biçimde basit ve hâlihazırda elimizde olandan biraz daha gelişmiş bir teknoloji içeriyor. Bu, Güneş ısındıkça Dünya'yı Güneşten uzaklaştırmak için yörüngesinde daha da hızlandırmayı içeriyor.

Mesele yakından geçmekte olan bir asteroitten enerji alıp onu Dünyaya vermekte ibaret – ama bir kere değil, yaklaşık 6000 yıllık aralıklarla tekrar tekrar. Şüphesiz ki amaca hizmet etmesi için asteroid tam doğru boyutta ve tam doğru yörüngede olmalıdır; işte burada teknoloji devreye girer. Güneş Sisteminin dev gezegenlerinin ötesinde, buz ve kaya parçalarının yoğun bulunduğu bir bölge olan Kuiper Kuşağı'na bir araştırma aracı gönderilebilir. Orada yaklaşık yüz kilometre çapında bir parçayı Güneş'in çevresinde uygun bir yörüngeye sürükleyerek Dünya'nın yakınından geçmek üzere buraya göndermede kullanılabilir. Bu yakın temasta, asteroidin yörünge hareketinden gelen enerji Dünya'ya hız kazandırarak yörüngesini çok küçük bir miktarda genişletirdi. Asteroit enerjisini kaybeder ve yörüngesi daralırdı, ama bu önemli değil.

Asıl önemli olan, aynı şeyin yüz milyonlarca yıl boyunca her 6000 yılda bir yapılmasının gerekmesidir. Asteroidi Dünya'nın yanından hızla geçtikten ve Güneş'ten geri geldikten sonra dev gezegenlerin birisinin etrafında keskin bir dönüş yapması için belli bir yörüngeye oturtmak mümkün olabilirdi, böylece kaybolan enerjisini kurtarır (yörüngesi yok denecek kadar küçük bir miktar daralan dev gezegenin pahasına) ve onu Dünya'nın yanından bir diğer geçiş için hazırlardı. Ya da Kuiper Kuşağı'nda sessizce oturup her 6000 yılda bir gerekeni yapması için bir von Neumann makine-

si göndermek mümkün olabilirdi. Bu, medeniyet çökse bile Dünya'yı dışarı doğru çekme işinin sürmesini kesinleştirirdi. Fakat bu gene de her 6000 yılda bir Dünya'nın yaklaşık 15 bin kilometre yakınından geçen, çapı dinozorların ortadan kalkmasına neden olan parçadan beş kat daha büyük olan bir parça gerektirirdi. Bu pek hata payı bırakmıyor. Böylesi uzun süreli bir projeyi yürütmek için kendi von Neumann makinenize kesinlikle çok büyük bir güveninizin olması gerekirdi.

O zaman prensipte, Dünya'nın yaşanılabilirliği çok uzun bir geleceğe kadar –belki de 6 milyar yıl daha, Güneş ölene kadar– uzatılabilir. Fakat bu tür bir teknolojik çözümün içerdiği tehlikeler, evrendeki yerimize dair bir başka olağanüstü özelliği vurguluyor. Dinozorların başına gelenlere rağmen Güneş Sistemimiz, gezegenlerin düzenli dairesel yörüngelerde muntazam biçimde dizildiği ve artık kırıntıların ve parçaların neredeyse tamamen Kuiper Kuşağı ile Mars ve Jüpiter arasında bir diğer artık madde kuşağı olan Asteroid Kuşağında hapsolduğu oldukça düzenli bir yer gibi görünüyor. Bunun bu şekilde olması gerekiyor muydu? Muhtemelen hayır, ama bu şekilde olması bizim bu tür soruları sormak üzere burada bulunuyor olmamızın sebeplerinden birisidir.

# 4

# GÜNEŞ SİSTEMİ HAKKINDA BU KADAR ÖZEL OLAN ŞEY NEDİR?

Güneş Sistemiyle ilgili özel olan ilk şey onun var olmasıdır; özellikle de Dünya gibi kayalık gezegenlerin var olmasıdır. Gezegenler, özellikle kayalık gezegenler, gökbilimcilerin geleneksel olarak çalıştığı en karmaşık, dolayısıyla da en ilginç şeylerdir. Evrende daha karmaşık olan tek varlık canlılardır ve şimdi de gökbilimciler, astrobiyoloji disiplini altında ilgilerini yaşamın kendisine yöneltmiş durumdalar. İnsandan çok daha küçük olan, atomlar ve oksijenle su gibi maddelerin basit molekülleri gibi şeyler, basitliklerinden dolayı sınırlı bir etkileşim aralığına sahiptir. Canlı bir hayvan ise çevresiyle muazzam çeşitlilikte etkileşime girebilen karmaşık bir varlıktır, çünkü DNA ve proteinler gibi karmaşık moleküllerden oluşmaktadır.

Dünya gibi canlı bir gezegen daha da karmaşıktır; bütün sistemi devam ettirmek üzere birlikte çalışan astronomik, jeolojik, kimyasal ve biyolojik süreçlerin karmaşık bir etkileşimine zemin hazırlar. İşte bu, James Lovelock'un Gaia adını verdiği, yaşayan tek bir varlık olarak Dünya fikrinin temelidir. Venüs veya Mars gibi bir gezegen biyolojik katkıdan yoksun olabilir ama gene de gökbilimsel, jeolojik ve kimyasal süreçlerin meydana geldiği bir sahadır. Ancak bir yıldız (hatta bir ölçüye kadar Jüpiter gibi dev bir gezegen) büyüklüğündeki bir nesneye geldiğimizde işler yeniden daha basit bir hale gelir, çünkü bu tür bir nesnenin içindeki kütleçekim kuvveti o kadar büyüktür ve sıcaklık o kadar yüksektir ki, karmaşık moleküller ve hatta atomlar bile parçalanır ve yegâne etkileşimler atom çekirdekleri ile proton, nötron ve elektron gibi parçacıkları kapsayanlardır. Gezegenler ba-

sitliğin iki ucu arasındaki sınırda bulunur; üstelik onlar bir başka anlamda da sınırda var olurlar.

Yakın zamanlarda Spitzer uzay gözlemevinin kızılaltı teleskopuyla yapılan çalışmalar, Güneş'in oluştuğu kümeye benzer kümelerin, içinde kayalık gezegenlerin oluştuğu yıldız çevresindeki tozlu disklerin varlığını sürdürmesi olasılığı açısından tehlikeli yerler olabildiğini göstermiştir. Tehlikeler tam olarak ölçülemez; ama yine de gerçektirler.

Birkaç küçük istisna dışında, Güneş Sistemindeki tüm maddeler aynı yönde döner. Güneş'in kendisi kendi ekseninde yalnızca 25 günden biraz uzun bir sürede bir kez döner, gezegenler ve asteroitler Güneş'in etrafında Güneş'le aynı yönde döner ve çeşitli uydular da kendi gezegenleri etrafında bu öncelikli yönde döner. Bu bize Güneş'in, gezegenlerin ve uyduların rastgele genel bir dönüşle yola koyulan tek bir madde bulutundan meydana geldiğini söylüyor. Bulut küçüldükçe, açısal devinirlik denilen özelliği koruyarak (kendi etrafından dönerken kollarını kapatan buz pateni dansçısı gibi) daha hızlı dönmek zorunda kaldı. Açısal devinirlik nesnenin kütlesine, kendi dönüş hızına ve ne kadar geniş olduğuna bağlıdır. Güneş'in şimdiki boyutuna inebilmesi için açısal hız kaybetmek zorunda kaldı. Bir kısmı bahçe fıskiyesinden püsküren su gibi genç Güneş Sisteminden fırlatılan madde akışlarıyla taşındı; fakat bir kısmı genç Güneş'in etrafını saran ama uzaya doğru genişleyen bir toz diskinde depolanmıştı. Burası gezegenlerin oluştuğu yerdir. Jüpiter gibi Güneş Sisteminin merkezinden uzak olan bir gezegen, Güneş'ten çok daha az kütlesi olmasına rağmen büyük bir açısal devinirliğe sahiptir. Kütlenin büyük kısmını Güneş alırken açısal devinirliğin büyük kısmını da gezegenler aldı.

Fakat gezegen sistemlerinin hepsi bu kadar derli toplu işlemiyor. Sıcak jüpiterler içeren birçok sistemde, gezegenler ana yıldızlarının dönüş yönünün tam tersi bir yönde döner. Geri devinimli olarak anılan bu yörüngeler, muhtemelen gezegenlerle uzaktaki bir eşlikçi yıldız arasındaki kütleçekimsel etkileşimlerle ana yıldızın etrafındaki geniş bir yörüngede oluşturulmuştur. Bu etkileşimler Jüpiter gibi geze-

genlerin yörüngelerini yan yatırır ve uzatır, böylece onları ana yıldızlarının yakınından her geçtiklerinde enerji kaybedecekleri ve "yanlış yönde" bir dairesel yörüngeye zorlanacakları son derece eliptik yörüngelere kaydırır. Bu durum, ana yıldızlarına yakın yörüngelerde dönen Jüpiter benzeri gezegenlerin varlığını derli toplu biçimde açıklamaktadır; ayrıca bu, süreç içinde tür sistemlerdeki Dünya benzeri herhangi bir gezegenin yok olacağı anlamına da gelir. Bu yüzden bu sistemler, yalnızca Güneş gibi yalnız yıldızların bizim gibi yaşam formlarına yuva sağlama olasılığı olduğunu doğrulamanın dışında, burada oluş nedenimize dair arayışımızda ilgi alanımıza girmez.

Güneş Sistemimizdeki gezegenlerin meydana geldiği diske benzer diskler, bazı genç yıldızların çevresinde görülebilir, bu da Güneş Sisteminin nasıl oluştuğuna dair fikirlerimizin doğru olduğunu teyit eder. Bunlar öncül gezegen diskleri olarak bilinirler ve bazıları ana yıldızlarından Dünya'yla Güneş arasındaki mesafenin bin katından fazla bir mesafeye –Güneş Sistemimizin en dıştaki ana gezegeni olan Neptün'ün Güneş'e uzaklığının 30 katından fazla– uzanırlar. Bu diskler, uzaya savrulduğu için madde (ve açısal devinirlik) kaybetmeyi sürdürür. Birçok durumda, disklerin iç kısımları, içlerinde oluşan gezegenlerin kütleçekim etkisiyle bükülür. Ne var ki bu diskler, astronomik standartlara göre oldukça kırılgandır ve gezegenler –en azından Dünya gibi gezegenler– oluşma şansı bulmadan önce kolayca yok olabilirler. Eğer genç yıldız sıcak ve ağır bir yıldızın fazlaca yakınında oluşacak olursa sorunlar doğar; bu, Güneş gibi yıldızların oluştuğu küme türlerinde fazlasıyla olasıdır.

## ELE ALMAK İÇİN FAZLA SICAK

Anakoldaki en ağır yıldızlar olan O-tipi yıldızlar, yıldızın etrafındaki bir diskte bulunan gazı ve tozu ısıtıp uzaya savuran büyük miktarda morötesi ışın üretirler. Bu, O-tipi bir yıldızın kısa yaşam süresinin yanı sıra söz konusu yıldızlardan birinin etrafında dönen bir gezegende zeki yaşam bulma ola-

sılığının ihmal edilebilir olmasının bir nedenidir. Fakat bir O yıldızının ışınımı o kadar güçlüdür ki, civarındaki daha küçük yıldızların çevresindeki diskleri dağıtabilir. Son zamanlara kadar, bir O yıldızının çevresindeki tehlike bölgesinin tam olarak nereye kadar uzandığını ölçmek zordu. Fakat Spitzer gözlemevi, Tekboynuz takımyıldızı yönünde bizden 5200 ışık yılı uzakta bulunan etkin bir yıldız oluşum bölgesi olan Rozet Bulutsusundaki yıldızların etrafında öncül gezegen diskleri tespit edebildi.

Samanyolu'nun O yıldızlarından uzak olan diğer bölgelerinde, Güneş'in kütlesinin onda biri ile beş katı arası kütleye sahip bütün genç yıldızların hemen hemen yarısının çevresinde toz diskleri vardır. Spitzer ekibi, Rozet Bulutsusunda, O yıldızlarından çeşitli uzaklıklarda bin yıldızın çevresinde bu tür diskleri aradı. Herhangi bir O yıldızından en az 1,6 ışık yılı uzaklıktaki yıldızların çevresinde aynı oranda öncül gezegen diski bulundu; ama bu rakam bir O yıldızına bundan daha yakın olan yıldızlarda bunun yalnızca yarısı idi ve O yıldızlarına daha yakından baktıkça, gittikçe daha az disk bulunuyordu. Karşılaştırma için, günümüzde Güneş'e en yakın yıldız olan Proxima Centauri'nin, bizden yalnızca 4 ışık yılı uzaklıkta olduğunu düşünelim. Bundan çıkarılacak anlam, bir O yıldızına yaklaşık bir ışık yılı mesafeden geçen herhangi genç bir yıldızın toz diskinin aşağı yukarı yüz bin yıl içinde buharlaşıp kaybolmasının mümkün oluşudur. Bu, Dünya benzeri kayalık gezegenlerin oluşma ihtimallerini ortadan kaldırırdı. Fakat eğer Jüpiter gibi veya bazı yıldızların etrafında görülen "süper jüpiterler" gibi dev gezegenler söz konusu yakın temastan çok önce oluşmuş olsaydı, morötesi ışınımla yok edilemezlerdi. O yıldızlarının sönmesinden ve tehlikenin atlatılmasından çok sonra da orada olmaya devam ederlerdi. Bu, süper jüpiterlerin tespit edilmesinin illa diğer dünyaların var olduğu anlamına gelmediğine dair aydınlatıcı bir hatırlatmadır.

Güneş, bir O yıldızıyla bu tip bir yakın temasın meydana gelmediği, görece küçük ve görece dağınık bir kümede doğmuş olduğu için şanslıydı. Bu kümenin tamı tamına ne ka-

dar küçük ve dağınık olduğu, Neptün'e ve hatta bunun daha ötesine kadar Güneş Sistemindeki gezegenlerin ve diğer nesnelerin bütün yörüngelerinin çarpıcı daireselliğinden çıkarılabilir.

Şimdilik Güneş Sisteminin gezegenlerinin bir toz diskinde, neredeyse dairesel olan yörüngelerde meydana geldiğini kabul edin; nasıl meydana geldiklerine dair açıklama yakında gelecek. Bu sürecin ilk aşamalarında genç kümedeki yıldızlar, içlerinden birinin bir başka yıldızın yanından güneşimizin Neptün'e bugünkü uzaklığından daha yakın bir mesafeden geçmesini kolay kılacak kadar yakındı. Bu, kümede gezegen meydana getirmekte olan sistemlerin bazılarının başına gelmiş ve gezegenlerin yörüngelerini tamamen bozmuş olmalı. Gerçekten de Güneş Sistemimizde, Dünya'nın Güneş'e olan uzaklığının yaklaşık 50 katından (50 astronomik birim) daha ötede bulunan kuyrukluyıldızların birçoğunun yörüngesi belirgin biçimde eliptiktir ve gezegenlerin yörünge düzlemiyle açı yapar. Buna bir şey sebep oldu. Bu nesneler gezegenlerin –hatta Jüpiter'in bile– kütleçekiminden etkilenmeyecek kadar Güneş'ten uzaktadır, bu yüzden onları etkileyecek kadar yakından geçen ama gezegenlerin yörüngelerini etkilemeye yetecek kadar da yakınlaşmayan bir yıldızın kütleçekimi tarafından uyarılmış olabilirler. Bu, geçiş mesafesinin yaklaşık 1000 AU olduğu anlamına geliyor, ama gezegen yörüngelerinin daireselliği, Güneş'in Güneş Sistemi oluştuğundan beri 100 AU'dan daha yakına gelen bir yıldızla temas yaşamış olma olasılığını hükümsüz kılıyor.

Güneş'in meydana geldiği kümede kümenin yoğunluğuna bağlı olan yıldızlararası temas sıklığı ve kümenin yok olması için gereken süre hesaba katıldığında, bu sayılar kümenin boyunun üç ışık yılından daha az olduğu ve görece daha az yıldız yoğunluğuna sahip olduğu –daha önceki bölümde bahsedilen radyoaktif kanıtlarla değerlendirildiğinde tüm kümede yalnızca yaklaşık 3500 yıldız– anlamına gelir. Patlayan komşuların, O yıldızlarının ve yakın temasların birleşiminden ötürü, bundan daha büyük veya daha kalabalık herhangi bir şey Güneş Sistemimiz gibi düzenli bir gezegen

sisteminin oluşması için olasılık dışı bir yer haline gelir. Bu durum Samanyolu'ndaki konumumuzun özel doğasını daha fazla vurgulamaktadır. Güneş Sisteminin ne kadar özel olduğunu görmek için ilk olarak gezegenler ve Güneş etrafında dönen diğer nesneler hakkında biraz daha fazla bilgiye ihtiyacımız var.

## GÜNEŞ SİSTEMİNİN COĞRAFYASI

Güneş Sistemi, Güneş'ten başka dört bileşenden oluşur – Dünya gibi kayalık gezegenler, asteroit denilen daha küçük kayalık enkaz parçaları, gaz devleri ve Plüton gibi cüce gezegenlerle kuyrukluyıldız öncüllerini içeren buz parçası molozları.

Güneş'e en yakın gezegen olan Merkür, yalnızca 0,39 AU'luk bir ortalama uzaklıkta dönmektedir, ama onu Güneş'e 46 milyon kilometre kadar yaklaştıran ve Güneş'ten 70 milyon kilometre uzaklaştıran eliptik bir yörüngeye sahiptir. Güneş'in etrafında bir kez dönmesi yalnızca 88 Dünya günü alır, ama Merkür her dönüşünü tam olarak kendi yılının üçte ikisi kadar yapan bir kütleçekim etkisiyle kilitli olduğu için, kendi ekseni etrafında her 58,6 Dünya gününde bir döner. Güneş'e çok yakın olduğu için gezegenin Güneş'e bakan yüzünde sıcaklık 450°C'ye ulaşırken, Merkür'de ısıyı gezegenin bir yüzünden diğerine taşıyacak atmosfer olmadığı için uzun gece boyunca sıcaklık karanlık tarafta -180°C'ye düşer. Merkür, 4880 kilometrelik çapıyla ayımızdan yalnızca yüzde 50 daha büyüktür ve ayımız gibi Güneş Sistemi gençken meydana gelen yoğun bir bombardıman safhasının kanıtı olan kraterlerle kaplıdır. En büyük krater olan Caloris Havzası 1340 kilometre çapındadır ve 150 kilometre çapında bir nesnenin çarpmasıyla meydana gelmiş olmalıdır. Merkür gibi gezegenler kesinlikle teknolojik medeniyetlerin bulunabileceği yerler değildir.

Uzun bir süre boyunca, Güneş'ten ikinci uzak gezegen olan Venüs yaşam için olası bir yuva olarak düşünüldü. Venüs, boyut açısından 12.100 kilometrelik çapıyla Dünya-

mızın neredeyse ikizidir, Dünya'dan yalnızca 650 kilometre daha küçüktür. Gezegenin yüzeyini optik teleskoplarla görüntülemeyi imkânsız kılan kalın bir bulut tabakasıyla kaplıdır ve bu, bulutların Dünya'dakilere benzer, belki de tropik yaşamla kaplı olan okyanusları ve kıtaları örtüyor olabileceğine dair tahminleri desteklemiştir. Bu romantik Venüs görüşü ne yazık ki doğru çıkmadı. Artık Venüs'ün yüzeyine uzay araçları inmiş durumda; burada kalın karbondioksit atmosferinin basıncı, Dünya üzerinde deniz seviyesindeki hava basıncının 90 katıdır ve yoğun sera etkisi sayesinde sıcaklık 500°C'yi aşar. Yüzeyin radar haritası, dağlık bölgelerin ve çukur yerlerin olduğunu göstermektedir ama her şey su izine rastlanmayan çıplak kayalardan ibarettir.

Venüs'ün neredeyse dairesel olan, 0,72 AU (108 milyon kilometre) yarıçapa sahip ve Güneş etrafında bir turunun 225 Dünya günü sürmesine neden olan yörüngesiyle ilgili hiçbir tuhaf şey yoktur. Fakat gezegenin dönüşünün kendisiyle ilgili tuhaf bir şey var – Venüs Güneş Sisteminde doğudan batıya doğru, yani Dünya'nın dönüşüyle kıyaslandığında ters yönde dönen tek gezegendir. Bunu öyle yavaş yapar ki kendi ekseni etrafında bir kez dönüşü 243 Dünya günü sürer. En olası açıklama, Venüs'ün geçmişinde uzaydan gelen ve gezegenin Güneş Sisteminin oluşumundan miras almış olması gereken dönüşü tersine çeviren büyük bir çarpmaya maruz kaldığıdır. Ve Venüs'te kesinlikle hiçbir yaşam olmamasına rağmen, böyle bir darbenin Dünya'daki yaşam üzerinde altıncı bölümde anlatılan dramatik sonuçları olmuş olabilir.

Elbette Dünya Güneş'in etrafında her 365,242199 günde 1 AU'luk (149.597.870 kilometre) mesafede döner. Yüzeydeki ortalama sıcaklık yaklaşık 15°C civarındadır, yani rahatlıkla sıvı suyun bulunabileceği aralıktadır ve havada bizimki gibi hareketli yaşam formlarının varlığına olanak tanıyan kilit bir etmen olan bol miktarda oksijen vardır.

Güneş'ten itibaren bizden bir sonraki gezegen olan Mars, bizim gibi yaşam formlarına yuva sağlamaya kışkırtıcı biçimde yakındır. Güneş'ten bize göre yüzde 50 daha uzakta olan Mars kendisini Güneş'e 1,38 AU kadar yaklaştıran ve

Güneş'ten 1,67 AU kadar uzaklaştıran hafif eliptik bir yörüngeye sahiptir. 6790 kilometrelik çapıyla Dünya'nın yarısından biraz daha büyüktür ve Dünya'mn kütlesinin onda birinden biraz daha fazla kütleye sahiptir. Kısmen düşük kütlesinden dolayı, yalnızca çoğu karbondioksit olan incecik bir atmosfere sahiptir; Mars'ın yüzeyindeki basınç, bizim atmosferimizde deniz seviyesinden 35 kilometre yükseklikteki basınca eşittir.

Tesadüfen, Mars'ta bir günün uzunluğu Dünya'daki bir günün uzunluğuyla (23 saat 56 dakika) neredeyse aynıdır: 24 saat 37 dakika. Fakat Mars'ın Güneş etrafında bir kez dönmesi 687 Dünya günü alır. Bugün Mars'taki sıcaklıklar -26°C ile -110°C arasında değişmektedir, yani suyun sıvı halde bulunması için fazla soğuktur; fakat geçmişte Mars'ta sıvı suyun aktığına ve yüzeyde kanallar oluşturduğuna dair kanıtlar bulunuyor. Bunun sebebi neredeyse kesinlikle Mars'ın gençken daha kalın bir atmosfere sahip olması, bunun da Güneş'e olan uzaklığına rağmen sıcaklığı donma noktasının üstünde tutacak kadar güçlü bir sera etkisi sağlamasıdır. Bu atmosferin kaderi, Samanyolu'nda zeki ve teknolojik medeniyet kıtlığına dair başka bir önemli ipucu sağlamaktadır. Bu atmosfer yalnızca Mars'ın zayıf kütleçekiminden dolayı kaybolmadı. Gezegen ayrıca güçlü bir manyetik alandan yoksundur ve bu, onu Güneş'ten dışarı çıkan ve milyarlarca yıl boyunca atmosferi silip süpürmüş olan elektrik yüklü parçacıklardan –güneş rüzgârı– koruyacak hiçbir şey olmadığı anlamına geliyordu. Dünya'nın güçlü manyetik alanı, bize yaşam için uygun koşulların zekânın evrilmesine yetecek kadar uzun sürdüğü bir gezegen sağlamada büyük bir etmen olmuş gibi görünüyor.

Mars'ın yörüngesinin ötesinde, Güneş Sisteminin gezegenlerin oluşumundan kalma molozlarla dolu bir bölgesi var. Bu, yaklaşık 1,7 AU'dan yaklaşık 4 AU'ya kadar dağılan ve Asteroit Kuşağı olarak bilinen ince bir disk oluşturur. Her biri en az bir kilometre çapında olan bir milyondan fazla parça ve kum tanesi büyüklüğüne kadar inen sayısız daha küçük parça içerir. Fakat 250 kilometreden daha büyük yal-

nızca on adet asteroit bulunmaktadır. Bunların en büyüğü Ceres 933 kilometre çapındadır ve Asteroit Kuşağı'ndaki tüm kütlenin çeyreğinden fazlasını barındırır; Güneş'in etrafındaki dönüşünü her 4,6 Dünya yılında bir 2,8 AU uzaklıkta tamamlar. Büyüklük sıralamasında sonraki iki asteroid olan Vesta ve Pallas'la beraber Ceres, gezegenlerin yapı malzemesi olan inşa bloklarını temsil ediyor olabilir. Daha ufak boyutlu kozmik molozun küçük bir miktarı, kaya parçalarını Güneş'e Dünya'dan daha çok yaklaştıran, Dünya'nın yörüngesiyle kesişen eliptik yörüngelerdedir. Eğer Dünya bu kozmik taşların yoluna çıkarsa yüksek hızlarda atmosferimize girerler. Küçük parçalar göktaşları (meteor) olarak atmosferde yanar; daha büyük olanları ise meteoritler olarak yeryüzüne ulaşabilir.

Bütün asteroitler bir araya getirilse Merkür büyüklüğünde bir gezegen bile oluşturmaya yetecek kütle olmaz, ancak Dünya'ya meteorit olarak düşen ve Asteroit Kuşağı'ndan gelen kaya parçaları, bu materyalin büyük kısmının Güneş Sisteminin yaşamının başlarında büyük bir nesnenin (veya nesnelerin) parçası olduğunu ve bunun şu an mevcut olan dört kayalık gezegeni oluşturan süreçler sırasında parçalandığını göstermektedir. Bu, gezegenlerin oluşma biçimiyle ilgili önemli bir ipucudur. Başka bir önemli ipucu ise Asteroit Kuşağı'nın, Güneş'e uzaklıkta bir sonraki gezegen olan gaz devi Jüpiter'in kütleçekim etkisine bağlı olan konumundan geliyor.

Jüpiter o kadar büyüktür ki Güneş Sistemi yapısının tamamını etkiler ve neden burada olduğumuzu anlamamızın anahtarıdır. Kütlesi Güneş'in kütlesinin yüzde 0,1'idir. Bu yıldız standartlarına göre etkileyici görünmeyebilir, ama Dünya'nın kütlesinin 317 katına karşılık gelir ve Güneş Sistemindeki diğer tüm gezegenlerin toplam kütlesinin iki katından fazlasına eşittir. Çapı Dünya'nınkinin on bir katı olan Jüpiter, gezegenimizin hacminin 1300 katından daha büyük hacme sahiptir. Güneş'in çevresinde 5,2 AU uzaklıkta her 11,86 Dünya yılında bir döner ve Dünya'ya en çok yaklaştığı mesafe 590 milyon kilometredir.

Jüpiter'in kütlesinin büyük kısmı hidrojenden ve daha küçük bir kısmı da helyumdan oluşur, dolayısıyla bileşimi Dünya gibi kayalık bir gezegendense daha çok başarısız bir yıldızınkine benzer. Bir başka açıdan Güneş gibi bir yıldıza da benzer; güçlü kütleçekim etkisinden dolayı tıpkı Güneş'in çevresinde gezegenlerin dönmesi gibi yörüngesinde dolaşan daha küçük nesnelerden oluşan bir maiyeti vardır. Bu uyduların en büyük dördü, Galileo tarafından keşfedildi ve 400 yıl önce bu uyduların Dünya'nın değil Jüpiter'in etrafında döndüğüne dair kanıtlar, insanları Dünya'nın evrenin merkezi olmadığına ikna etmeye yardımcı oldu.

Jüpiter'den ötede, her biri kendi açısından büyüleyici olan, ama Dünya'daki yaşamın öyküsü için yalnızca dolaylı olarak önem taşıyan üç dev gezegen daha vardır. Gösterişli halka sistemiyle ünlü olan Satürn, Güneş'in çevresinde 9,5 AU'luk bir mesafede her 29,46 Dünya yılında bir döner. Çapı, 120.536 kilometreyle Dünya'nınkinin dokuz katından biraz fazladır ve kütlesi Dünya'nın kütlesinin 95 katıdır. Satürn'den sonra gelen Uranüs, kendisini Güneş'e 18,3 AU kadar yaklaştıran ve Güneş'ten 20,1 AU kadar uzaklaştıran hafif eliptik bir yörüngeye sahiptir. Yörüngesini tamamlaması 84 Dünya yılı sürer. Uranüs'ün kütlesi Dünya'nın kütlesinin 8,7 katıdır ve Dünya'nın yalnızca dört katı kadar olan çapıyla, bir gaz devi için küçüktür. Bazı gökbilimciler Uranüs ile Güneş'ten 30 AU uzaklıkta yörüngede dolaşan, Güneş Sistemindeki son büyük gezegen olan Neptün için "buz devi" terimini tercih etmektedir. Bir yörünge turunu tamamlaması 165 Dünya yılı süren Neptün'ün çapı Dünya'nınkinin 3,8 katı kadardır (Uranüs gibi) ama Dünya'nın kütlesinin 17 katı, Uranüs'ün kütlesinin ise iki katı kadar kütleye sahiptir.

Neptün'den ötede, Asteroit Kuşağı'nın donmuş bir muadili, Kuiper Kuşağı olarak bilinen bölge bulunur. Bu kuşak Güneş'ten yaklaşık 30 AU'dan 50 AU'ya kadar uzanmaktadır. Güneş Sisteminin oluşumundan kalan materyalden meydana gelmiştir ve Güneş'ten bu kadar uzak olduğu için buz halindedir – yalnızca su buzu değil, donmuş amonyak ve donmuş metan gibi şeyler de vardır. Gözlemlenebilmiş Kuiper Kuşağı

Nesnelerinin (veya KKN'nin) yörüngelerinin istatistiksel analizi, çapı bir kilometreden büyük en az 70 bin nesne olduğunu ve bunların aşağı yukarı yarısının çapının 100 kilometreyi bulduğunu göstermektedir. Bu nesnelerin en büyüklerine cüce gezegenler denir; eskiden kendi halinde bir gezegen olarak kabul edilen ama artık Kuiper Kuşağı'ndaki diğer bazı nesnelerden daha küçük olduğu bilinen 2300 kilometre çapındaki Plüton da bunların içindedir. Fakat Kuiper Kuşağı'ndaki tüm nesnelerin toplam kütlesi Dünya'nın kütlesinin yalnızca yaklaşık 40 katı, Satürn'ün kütlesinin ise yarısından daha azdır.

Kuiper Kuşağı'nın da ötesinde Güneş Sisteminin sınırına geliyoruz. Kuyrukluyıldızların yörüngelerinin analizi, bunların birçoğunun –gözlemleri açıklayacak biçimde– Güneş Sisteminin etrafında, Güneş'ten 50 bin ila 100 bin AU'luk (0,75 ila 1,5 ışık yılı!) bir mesafede küresel bir kabuğun ya da bulutun bulunması gereken uzayın uzak bir köşesinden geldiğini gösterir. Orada, aşağı yukarı Kuiper Kuşağı'ndaki kadar kütle, ıssız dairesel yörüngelerinde Güneş'in çevresinde sürüklenen, birbirlerinden on milyonlarca kilometre ayrı duran birkaç trilyon nesne arasında paylaşılmıştır. Bu, Oort Bulutu olarak bilinir. Oort Bulutundaki nesneler en yakın yıldıza olan mesafenin üçte birinde bulunur ve Güneş'in zayıf kütleçekim etkisinde ucu ucuna tutulsalar da, zaman zaman yakından geçen yıldızlar ya da yıldızlararası toz bulutlarıyla etkileşimler sonucu bu buzlu nesnelerin bazıları ısınıp arkalarında kuyruk şeklinde gaz bulutları çıkararak kuyrukluyıldız haline geldikleri Güneş'e doğru yönelirler.

## GEZEGENLERİN OLUŞUMU

Güneş Sisteminin coğrafyasına dair bu bilgiyle donanmış olarak, gezegenlerin nasıl oluştuğunu ve Güneş Sisteminin neden özel olduğunu anlamaya başlayabiliriz. Oort Bulutundan içeri doğru dönersek, bunu anlamanın anahtarı dev gezegenlerin oluşma şekli ve özellikle Jüpiter'in rolüdür.

Dev gezegenler basitçe, daha küçük parçaların gaz (veya buz) devleri oluşturmak üzere yapışmasıyla oluşmuş ola-

mazlar. Jüpiter'in yörüngesinde veya daha ötede, Dünya'nın kütlesinin birkaç katına sahip bir kaya parçası aslında Güneş'in oluştuğuna benzer bir buluttan gaz çekebilir ve devlerin boyutuna erişebilir. Ne var ki Uranüs ve Neptün gibi gezegenleri mevcut yörüngelerinde bu yolla yaratmak, Güneş Sisteminin şu anki yaşından çok daha uzun sürerdi, çünkü Güneş'ten o kadar uzakta erişilebilen az miktarda gaz bulunuyordu. Tek alternatif, dev gezegenlerin dördünün de Güneş'e Satürn'ün bugün olduğundan daha yakında ama Jüpiter'in bugünkü yörüngesinden daha dışarıda bir noktada oluşmuş olmasıydı; söz konusu bölge çok miktarda gaz içeriyordu ama aynı zamanda donmuş materyallerin var olması için yeterince soğuktu. Buzdan ve kayadan meydana gelen gezegenimsilerle dolu bir gaz bulutunun içinde birbirine yakın halde oluşurlardı. O arbededen dört devin doğması sadece tesadüftü. Dördünden birinin diğerlerinden daha büyük olması ve kütleçekim etkisiyle sistemin yörünge dinamiklerinde baskın olması kaçınılmaz olsa da, Jüpiter'in diğer gezegenlerin toplamından bile büyük olması kaçınılmaz değildi; bu yalnızca, Güneş Sistemimizi diğer gezegen sistemlerinden ayıran şeylerden başka birisidir.

Bilgisayar simülasyonları, bu şartlarda en büyük gezegenin (Jüpiter) yörüngesi Güneş yönünde içeri doğru yavaşça hareket ederken, daha küçük üç gezegenin (Satürn, Uranüs, Neptün) yörüngesinin açısal devinirliği koruyarak yavaşça dışarı doğru hareket ettiğini göstermektedir. Başta, bu süreç çok sorunsuz bir şekilde işler. Fakat Güneş Sisteminin oluşumundan 700 milyon yıl kadar sonra rezonans denilen, Satürn'ün Güneş'in yörüngesinde dönüşünün Jüpiter'inkinden tam olarak iki kat uzun sürdüğü bir durumdan geçer. Bu durumda Satürn ile Jüpiter'in birleşik etkisi, Güneş Sisteminin dış tarafındaki daha küçük gezegenler üzerinde güçlü ve ritmik bir etki yaratır. Simülasyonların bize gösterdiğine göre, sonuçta Uranüs ve Neptün'ün her ikisi de aniden Güneş'ten uzaklaştı ve bu durum, Neptün'ün yörüngesini iki katına çıkararak gezegeni o zaman çok daha geniş olan Kuiper Kuşağı'nın iç kısmına gönderdi. Bu bozulmalar dış

Güneş Sistemindeki daha küçük nesneleri allak bullak ederek birçoğunu önemli bir kısmının iç gezegenlere çarptığı Güneş yönünde ittirirken, çoğunu uzayın derinliklerine gönderdi ve bir kısmını da yakalanarak uydular haline geldikleri dev gezegenlere yakın konumlara itti. Dev gezegenlerin şimdikine yakın, oldukça sabit yörüngelere yerleşmesi ancak bu hengâmeden sonra gerçekleşti; gerçi Güneş Sistemindeki hiçbir yörüngenin gerçekte tam anlamıyla sabit olmadığı ortaya çıkmıştır.

Fakat simülasyonlar, bizimki gibi düzgün gezegen sistemlerinin nadir olduğunu gösteriyor. ABD'de Northwestern Üniversitesindeki araştırmacılar, Güneş gibi bir yıldızın çevresinde bir gaz ve toz diskiyle başlayan ve gezegenlerin ortaya çıktığı düzinelerce simülasyon yürüttüğünde, çoğu durumda sonucun sıcak jüpiterlerin yaygın olduğu ve gezegenlerin genelde eliptik ve kararsız yörüngelerde bulunduğu "şiddet ve dramlarla dolu" olduğunu buldular. "Bu öteki gezegen sistemleri Güneş Sistemine hiç de benzemiyor. ... Güneş Sistemi gibi bir sistemin ortaya çıkması için tam olarak doğru şartlar olmalıdır." Gezegen sistemlerinin "büyük çoğunluğu," onların dediğine göre, bizimkinden "çok farklı" durumda.

Yine de Güneş Sistemimizde dev gezegenlerin yörüngelerinin yeniden düzenlenmesi esnasında iç Güneş Sistemindeki yoğun bombardıman, aslında Dünya dahil kayalık gezegenlerin oluşum sürecinin sonunu belirlemiştir. Kayalık gezegenlerin oluşumunun başlaması, Güneş'in oluşumundan kalan atık materyal bulutunun genç bir yıldızın çevresindeki diske yerleşmesiyle gerçekleşti. Tıpkı Güneş'in kendi materyali gibi, buluttaki materyalin büyük kısmı hidrojen ve helyumdan oluşuyordu. Fakat orijinal materyalin yüzde ikisinden fazla olmayan, sigara dumanının parçacıkları kadar ince parçacıklar biçiminde eser miktarda toz vardı. Genç Güneş'ten gelen ısı gazın çoğunu etrafa savurdu ama orijinal bulutun dönüşü, tozun genç Güneş'in çevresinde bir diske yerleşmesini sağladı; bugün de genç yıldızların çevresinde görülenler gibi bir ön-gezegen diski.

Diskin içinde, tüm parçacıklar parkurdaki koşucular gibi Güneş'in çevresinde aynı yönde dönüyordu. Bunun anlamı, birbirlerine çarptıklarında bunun kafa kafaya çarpışmalar şeklinde değil de görece hafif biçimde gerçekleşmesi, bunun da parçacıklara birbirlerine yapışma şansını tanımasıydı. Yapışma eğilimi, tıpkı bir oyuncak balonu yün kazağa sürdükten sonra tavana yapıştırabildiğiniz gibi, birbirine sürtünen parçacıklar tarafından üretilen elektrik kuvvetiyle desteklenmiş olabilir. Bir başka önemli etmen, materyal parçalarını bir araya getirerek onlara etkileşim şansı veren, fırtına hortumlarına benzer girdap gibi dönen yapılar yaratan, gazın içindeki burgaçtı. Bilgisayar simülasyonları, Ceres kadar büyük nesnelerin bu şekilde nasıl oluşabildiğini açıklar; parçacıkların birbirine yapışabilmesi şartıyla.

Daha başka şeyler de (Güneş Sistemine has bazı şeyler) parçacıkların birbirine yapışmasına yardımcı olmuş olabilir. Meteoritlerden alınan kaya parçaları üzerinde yapılan araştırmalar, genç Güneş'in çevresindeki tozlu diskin kondrül (gökkumu) denilen, 1200°C ve 1600°C arasındaki sıcaklıklarda eriyerek oluşmuş küçük materyal kürecikler içerdiğini göstermektedir. Eriyik veya kısmen eriyik haldeki küçük yuvarlaklar daha yapışkan olup diskte daha büyük yığınların oluşumunu desteklerdi. Ancak bunlar nasıl o kadar sıcak hale geldi? En olası açıklama, yakındaki bir yıldızın ölüm sancıları tarafından gezegenlerin meydana geldiği gaz bulutuna püskürtülen radyoaktif elementlerin ısıyı açığa çıkarmış olmasıdır. 3. Bölümde tartışılan kanıtlarla eşleşen bir olasılık, Güneş'in oluşumundan hemen önce, Güneş haline gelecek bulutun yakınında bir süpernova patlamasının olmasıydı; hatta bu patlamadan kaynaklanan şok dalgasının Güneş'e ve Güneş Sistemine dönüşecek gaz bulutunun çöküşünü tetiklemiş olması bile mümkündür. Bu fikri destekleyen kanıt, meteoritlerde bulunan çeşitli izotopların oranlarının ölçümünden gelir. Radyoaktif alüminyum-26 öncül Güneş Sisteminde başından beri bulunmuş gibi görünmektedir, ama bir demir-60 dalgası yaklaşık milyon yıl sonra ulaşmıştır. Bu durum, bizim Güneş'ten 30 kattan daha fazla kütleye

sahip devasa bir yıldızın kaderi hakkında bildiklerimizle eşleşiyor. Yıldız, yaşamının son evrelerinde öncelikle, o zamana kadar alüminyum-26 bakımından görece zengin hale gelen dış materyal katmanlarının büyük kısmını yakındaki bir gaz bulutunun çökmesine yetecek kadar güçlü bir rüzgârla savurur. Yıldız ancak yaşamının en sonuna doğru patlayarak çevresine demir-60'ın da içinde bulunduğu elementler saçar.

Bir de Barselona'da Josep Trigo-Rodriguez ve ekip arkadaşları tarafından geliştirilen rakip bir fikir var. Buna göre radyoaktif materyaller Güneş Sistemine, sistem Güneş'e çok yaklaşmış olan çok daha düşük kütleli bir yıldızdan oluşurken eklendi. Doğru oranda izotoplar, yaşamının son evrelerinde olan Güneş'in sadece altı katı kütleye sahip bir yıldızdan boşalan materyal rüzgârı içinde gelmiş olabilir. Fakat bunu gerçekleştirebilmesi için yıldızın Güneş'e çok yakın –10 ışık yılından daha yakın– olması gerekirdi, bu da istatistiksel olarak konuşursak böyle bir durumu olanaksız kılıyor.

Önemli olan nokta şu ki her iki senaryo da olası değil, ancak kayalık gezegenlerin oluşması için bu çeşit bir şey yaşanmış olmalı. Varılan sonuç, diğer sistemler dev gezegenler ve genişlemiş asteroit kuşakları oluşturan küçük kayalık moloz parçaları içerebilirken, bizimki gibi birkaç adet dev gezegen ve birkaç adet de Dünya büyüklüğünde gezegenin bulunduğu sistemlerin ender olabilmesidir.

Yine de iyi haber: yaklaşık bir kilometrelik nesneler bir kez oluştuğunda –bu, Güneş'in oluşumundan sonraki 100 bin yıl içinde gerçekleşmiş gibi görünüyor– karmakarışık olsa da gezegen oluşum sürecinin geri kalanını açıklamak kolaydır.

## GÜNEŞ SİSTEMİNİN OLUŞUMU

Santa Cruz'daki California Üniversitesinden Douglas Lin, Güneş gibi genç bir yıldızın çevresindeki diskte gelişen katı materyal yığınlarına ne olduğunu ayrıntılarıyla inceledi. Hesaplamalarının çok önemli bir özelliği, katı nesnelerin, gezegen oluşumunun ilk evreleri sırasında disk

içinde hâlâ mevcut olan gazla nasıl etkileştiğidir. Basınç, kütleçekim ve dönüşün etkileşimi nedeniyle merkez yıldızdan belli bir uzaklıktaki gaz, yıldızın çevresinde kendi yörüngelerinde hareket etmekte olan parçacıklar ve madde yığınlarından biraz daha yavaş bir hızda hareket eder. Bu, parçacıkların gazı geride bıraktığı anlamına gelir; aslında Lin'in belirttiği gibi "kendilerini yavaşlatan ve yıldıza doğru spiral hareketle içeriye çekilmelerine neden olan tam karşıdan esen rüzgâra karşı koşmaktadırlar." Bir metre çapındaki bir materyal parçası, bu şekilde yıldızla olan uzaklığını yalnızca bin yılda yarıya indirebilir ve parçalar ne kadar büyürse, içeri doğru o kadar hızla hareket ederler –bir noktaya kadar.

Bu nokta resimsel bir anlatımla "kar sınırı" olarak adlandırılır. Yıldızdan donmuş su, amonyak ve diğer uçucu maddelerin buharlaştığı yere kadar olan uzaklıktır; Güneş örneğinde 2 AU ila 4 AU bir mesafede, Mars ve Jüpiter'in yörüngeleri arasında bulunur. Güneş Sistemimizdeki kayalık gezegenlerle buzlu nesneler arasındaki sınırın şu an bulunduğu yerde olmasının nedeni budur.

Kar sınırında, donmuş tanecikler buharlaşırken ortaya çıkan su buharı, gazın özelliklerini değiştirir, öyle ki artık gaz, katı taneciklerden daha hızlı döner ve onlara yörüngelerinin dışına doğru kaymalarına neden olan bir ivme kazandırır. Böylece taneciklerin birbirlerine daha yakın halde toplandığı ve kolayca daha büyük öbekler haline geldiği kar sınırında materyal birikir. Güneş'in oluşumundan sonraki bir milyon yıl içinde bu öbeklerin birçoğu aşağı yukarı bir kilometre çapındadır ve geriye çok az gaz kalmıştır. Bunlar büyüdükçe ve gaz Güneş'in ısısıyla diskin iç kısmından dağıldıkça, şimdi oldukları gibi gezegenimsiler gazla etkileşimlerden daha az etkilenir ve birçoğu Güneş doğrultusunda içeri doğru, bugün kayalık gezegenlerin bulunduğu bölgeye göç eder. Göç durduğunda gezegenlerin alacağı kesin konum, diskin farklı yerlerindeki sıcaklıklar ve gezegenin büyüklüğü de dahil çeşitli etkenlere dayanır, ama pek çok bilgisayar simülasyonu sayesinde genel görünüm açık ve nettir.

Gezegenimsiler geride kalan tozu çekim kuvvetiyle toplar ve birbirleriyle çarpışıp kaynaşır ve geri kalanlarla birlikte molozlardan arınmış kabaca dairesel yörüngelere yerleşir. Bu çarpışmalardan kalan materyal parçaları, bazı asteroitler olarak hâlâ bizimle birlikte olabilir. Güneş'ten daha da uzaklarda beslenilecek daha fazla toz olduğu için, embriyo gezegenler uzaklarda daha fazla büyür. Lin'in hesaplarına göre, Güneş'ten 1 AU uzaklıkta bir embriyo gezegen 100 bin yılda Dünya'nın onda biri kütleye ulaşabilir, ama o zaman mevcut bütün toz tükenir. 5 AU uzaklıkta ise daha fazla toz bulunur ve bir embriyo birkaç milyon yıl boyunca gelişmeye devam ederek yaklaşık dört Dünya kütlesi kadar bir boyuta erişebilir. Fakat bu hikâyenin sonu değil. İlginç biçimde Lin, Güneş Sistemimizde bugün daha fazla gezegene yer olmadığına parmak basıyor; sahip olduğumuz gezegenler, aralarındaki kütleçekim kuvvetlerinin karmaşık etkileşiminin buna izin vereceği ölçüde birbirlerine yakındır. Güneş Sistemimiz gençken daha fazla gezegenin oluşmuş olması ama şimdiki kararlı örüntü kurulmadan önce kararsız yörüngelerden fazlalıkların atılmış olması çok muhtemel.

Güneş Sistemimizdeki en büyük gezegen olan Jüpiter'in kar sınırının hemen ötesinde yer alması tesadüf değildir. Ne var ki, gökbilimciler hâlâ Jüpiter boyutunda bir gezegenin nasıl olup da orada kararlı bir yörüngeye yerleştiğini açıklayamıyorlar. Güneş Sisteminin dış kısmındaki bir embriyo gezegenle diskteki gazın –Güneş'e o kadar uzakken bile hâlâ önemli olan– etkileşimleri, embriyo haldeki Jüpiter'in neden kar sınırına yakın bir konuma yerleştiğini ve orada mevcut olan materyalden epey gaz biriktirdiğini açıklar. İyi de onun döne döne içeri doğru, artık keşfedilmiş olan birçok "sıcak jüpiter"inki gibi bir yörüngeye hareketini engelleyen şey neydi? Eğer böyle yapsaydı iç Güneş Sisteminde karşı karşıya geldiği kayalık gezegenleri itmiş olurdu.

Jüpiter bir defa oluşunca, diskteki materyalin içeri doğru akışını durdurarak ve gezegenimsilerin yörüngelerini bozup birçoğunun Güneş Sisteminin dış kısmına doğru göçmesine neden olarak diğer dev gezegenlerin oluşmasına yardım

etti. İlk etki ikinci gaz devi Satürn'ün oluşumuna yardım etti; ikinci etki ise Uranüs ve Neptün gaz devlerinin ağır çekirdeklerini oluşturmak için yeterli miktarda donmuş yığın sağladı. Tüm bunlar, dev gezegenleri şimdiki yörüngelerine gönderen ve Kuiper Kuşağı'nı bozan süreçler öncesinde, Güneş'in oluşumundan sonra yalnızca 10 milyon yıl sürdü. Fakat Dünya'nın oluşumu çok daha uzun bir süre aldı.

## DÜNYA'NIN OLUŞUMU

Bilgisayar simülasyonları, Güneş'in ve gezegenlerin oluştuğu bulutun çökmesinden yaklaşık bir milyon yıl sonra Güneş ile Mars'ın şimdiki yörüngesi arasındaki bölgede, büyüklüğü aşağı yukarı Ay (Dünya'nın bugünkü çapının yaklaşık yüzde 27'si) ile Mars (Dünya'nın bugünkü çapının kabaca yüzde 53'ü) arasında değişen yirmi ila otuz nesnenin bulunduğunu göstermektedir. Onlara, büyük nesnelerle bir dizi çarpışmayla ortadan kalkan çok sayıda daha küçük gezegenimsi eşlik ederdi. Bu sırada büyük olanlar da birbirleriyle çarpışır ve sonunda dört veya beş büyük nesne kalana kadar birleşirdi; Merkür, Venüs, Dünya ve Mars'ı oluşturan nesnelerle Mars büyüklüğünde en az bir nesne daha. Genç Güneş'in ısısı karmaşık molekülleri yok eder ve gazları dışarı sürerdi, böylece bu dört (artı bir) ön-gezegen, büyük oranda demir ve silikattan ve bunun yanında kararlı karbon bileşiklerinden meydana gelirdi.

Ancak Merkür'ün ve Venüs'ün hiç uydusu olmamasına ve Mars'ın gezegenin kütleçekim alanınca Asteroit Kuşağı'ndan yakalanmış düzensiz şekilli kaya parçaları olan yalnızca iki küçük uydusu olmasına rağmen, Dünya Güneş Sistemindeki sekiz ana gezegenin uydularının –ana gezegenin büyüklüğüne oranla– en büyüğü olan bir uyduya sahiptir. Bir gökbilimciye göre boyutlarındaki benzerlik öyle büyük ki, Dünya-Ay sisteminin bir ikili gezegen olarak görülmesi daha uygun kaçıyor. Peki, böylesine sıra dışı bir sistem nasıl meydana geldi?

En olası açıklamayla, yaklaşık Mars büyüklüğünde gezegenimsi bir cisim yakınlarda bir yerde oluşurken Dünya

da yaşamına kalın kayalık bir kabukla birlikte, Venüs'ün neredeyse özdeş bir ikizi gibi başladı. Bu nesnenin oluşumu için en olası konum, Lagrange noktaları olarak bilinen iki noktadan birinde olurdu. Bu noktalar Dünya'nın 60 derece ilerisinde veya arkasında ama Dünya'yla aynı yörüngededir. Buralarda Güneş'in ve Dünya'nın kütleçekim kuvvetlerinin birleşik etkisinin, küçük nesnelerin uzun süre boyunca birikerek birbirine yapışabildiği bir tür kütleçekim çukuru yaratması beklenir. Günümüzde Lagrange noktaları, Dünya'ya gezegenimizden gelen doğal ya da insan yapımı radyasyonun etkilemeyeceği kadar uzak konumlarda tutulması gereken Herschel kızılaltı teleskobu gibi uydular için sabit park yerleri olarak kullanılıyor. Tam olarak Lagrange noktasında olmayan küçük bir nesne, bulunduğu noktada salınan bir sarkaç gibi ileri geri yalpalar; bu noktalardaki yapay uyduların yörüngeleri, zaman zaman roket motorlarını kullanarak aynı yerde durabilsinler diye ayarlanmalıdır. Fakat eğer Dünya'nın yörüngesindeki Lagrange noktalarının birinin yanında büyük doğal bir nesne kozmik molozlardan doğsaydı, bu salınımlar giderek artarak kısa sürede öyle aşırı hale gelirdi ki, söz konusu nesne Dünya'ya çarpardı. Bu, Dünya'nın orijinal kabuğunun oluşumundan sonraki 50 milyon yıl içinde gerçekleşirdi.

Varsayılan bu ön-gezegen adını Ay tanrıçası Selene'yi doğurmuş olan Grek tanrıçası Theia'dan alır. Theia, Güneş Sistemimizin diğer gezegenleriyle birlikte yaklaşık 4,6 milyar yıl önce oluştu. Theia'nın kütlesi kritik bir değeri aştığında yörüngesi kararlılığını kaybetti, bu da yaklaşık 4,53 milyar yıl önce, diğer kayalık gezegenlerin oluşumundan kabaca 30-50 milyon yıl sonra, Dünya-Ay gezegen ikilisini oluşturan çarpışmaya neden oldu.

Böyle bir çarpışma iki sağlam kaya parçasının çarpışarak birbirlerinden kırıntılar koparması gibi olmazdı. Gökbilimciler bu çarpışmayı "Büyük Çarpışma" olarak anarlar ve zihinde canlanan görüntü, Dünya gençken ona yönü değişen Mars boyutunda bir nesne çarptığında meydana gelenleri net olarak gösterir. Çarpışma esnasında o kadar yüksek

miktarda hareket enerjisi açığa çıktı ki gelen nesne tamamen parçalandı ve Dünya'nın yüzeyinin tamamı eridi. Gelen nesnenin dış katmanları da eridi ve Dünya'nın yüzeyinden gelen eriyik haldeki materyalle karışırken büyük kısmı da gezegen çevresinde bir enkaz halkası oluşturacak şekilde savruldu. Bu esnada, gelen nesnenin yoğun, metal çekirdeği bu erimiş dış katmanın içine battı ve genç Dünya'nın çekirdeğinde yutuldu. Gelen nesneden ve Dünya'nın orijinal yüzeyinden bu şekilde uzaya saçılan daha hafif maddeler, Ay'ın günümüzdeki kütlesinin yaklaşık on katı kadar kütle barındırıyordu; birçoğu Güneş'in etrafında bağımsız yörüngelere kaçarak asteroit haline geldi ama bazıları Dünya'nın çevresinde bir materyal halkasında tutuldu. Dünya'nın yüzeyi soğudukça ve daha ince yeni bir kabuk oluştukça bu halkadaki materyal gezegenlerin Güneş'in etrafında oluşma sürecini küçük çapta ama çok daha hızlı şekilde tekrarlayarak Ay'ın gövdesiyle kaynaştı. Bilgisayar simülasyonları, sonunda Theia'nın orijinal kütlesinin yaklaşık yüzde 2'sinin enkaz halkasında yer aldığını ve bunun yaklaşık olarak yarısının, Ay'ı meydana getirmek üzere birleştiğini gösteriyor. Bu şekilde Ay'ın oluşumunun tamamlanması yalnızca bir ay kadar sürerdi.

Enkaz halkasından meydana gelen diğer nesneler, diğer gezegenlerin kütleçekim etkisi onları bu kütleçekim çukurlarının dışına çekmeden ve pek çoğunun Dünya'ya ya da Ay'a düşmesine yol açmadan önce Lagrange noktası yörüngelerinde yüz milyon yıl kadar sıkışıp kalmış olabilir.

Dünya-Ay sisteminin nasıl oluştuğuna dair bu modelin kanıtı, Ay'dan getirilen kaya örneklerinden gelir. Bunlar, Ay'ın Dünya'nın kabuğuyla tam olarak aynı bileşime sahip olduğunu göstermektedir. Üstelik Ay depremlerinin, Ay'ın yüzeyine bırakılmış olan aygıtlarla yapılan sismik ölçümleri, ciddi bir metal çekirdeği olmadığını gösterir; Dünya'nın çekirdeğinin yarıçapı, gezegenin yarıçapının yüzde 50'si civarında iken Ay'ın çekirdeğinin yarıçapı kesinlikle uydunun yarıçapının yüzde 25'inden azdır. Ay'ın çekirdeği, Ay'ın toplam kütlesinin yalnızca yüzde birkaçını sağlar ama Dünya'nın çekirdeği gezegenin kütlesinin neredeyse üçte birini oluşturur. De-

mirden yoksun olduğu için Ay'ın genel yoğunluğu Dünya'nın yoğunluğundan çok daha düşüktür. Dünya santimetreküp başına ortalama 5,5 gram yoğunluğa sahiptir, ancak Ay'ın yoğunluğu santimetreküp başına yalnızca 3,3 gramdır.

Ay taşlarının yaşı bize bu felaketin ne zaman gerçekleştiğine dair kesin bir tarih bile veriyor – 4,4 milyar yıl önce, neredeyse Güneş oluşur oluşmaz. Ayrıca daha fazla dolaylı kanıt var; böyle eğimli bir çarpma, uyduya sahip olmayan Venüs yalnızca her 243 Dünya gününde bir kendi çevresinde dönerken, Dünya'nın neden bu kadar hızlı –her 24 saatte bir– döndüğünü açıklıyor. Ay'ı oluşturan eğimli çarpma aslında Dünya'nın kendi çevresinde daha hızlı dönmesine de neden olurdu, böylece çarpışmanın ardından beş saat kadar süren bir gün yaşanırdı. Söz konusu dönüş o zamandan beri de yavaşlamaktadır. Yönünden sapmış bu çarpışma, aynı zamanda Dünya'ya mevsimlerimiz olmasının nedeni olan eğimini kazandırdı, ama Dünya'nın yörüngesinde dönen bu kadar büyük bir uydunun varlığı o zamandan beri kütleçekimsel bir sabitleyici olarak rol oynayarak jeolojik zaman süresince eğiminin çok fazla değişmesini engellemiştir. Bu arada, Dünya'nın çekirdeğindeki fazladan demir ve hızlı dönüşün bir bileşimi muhtemelen gezegenimizin neden güçlü bir manyetik alanı olduğunu açıklar. Tüm bu etkiler, ileride göreceğimiz gibi Dünya üzerinde teknolojik bir medeniyetin ortaya çıkışında hayati önem taşımış olabilir.

Güneş Sistemi gençken bu gibi çarpışmaların meydana gelmiş olduğuna dair ikna edici bir bulgu daha var. Merkür'ün yanından geçen uzay sondaları, gezegenin kütleçekim etkisinin gücünü ölçtü ve küçük boyutuna rağmen yoğunluğunun görece yüksek olduğunu ortaya çıkardı. Ay yerkabuğu olup çekirdeği olmayan bir Dünya'ya benzerken, Merkür çekirdeği olup yerkabuğu olmayan bir Dünya'ya benzer. Bunun doğal açıklaması, Merkür'ün yörüngesinde başlangıçta çok daha büyük bir nesnenin oluşmuş olması, ancak Güneş Sisteminin ilk zamanlarında bir başka ön gezegenin bu nesneye –eğimli bir darbeyle değil, kafa kafaya bir çarpışmayla– çarpmış olmasıdır. Kafa kafaya bir çarpışmada daha

hafif olan bütün materyaller uzaya saçılır, bu da geride yalnızca ağır çekirdeği bırakırdı.

Çarpışma modeli, neden Güneş Sistemindeki sekiz gezegenden yalnızca birisinin boyut açısından ana gezegenle kıyaslanabilecek bir uyduya sahip olduğunu açıklıyor; ancak öte yandan, ikili gezegenlerin seyrek olduğunu da ima ediyor.

## ÖZEL OLAN

Genel olarak, Güneş Sistemimiz özel –ya da en azından ender rastlanan bir gezegen sistemi gibi– görünüyor, çünkü gezegenlerin yörüngeleri neredeyse daireseldir ve günümüzde birbirleri üzerinde çok büyük etkileri olmaması için birbirlerinden yeterince ayrıdırlar. Bilinen diğer gezegen sistemlerinin çoğunda, dev gezegenlerin yörüngeleri daha eliptiktir. (Bu bulgu, yalnızca eliptik yörüngelerdeki dev gezegenlerin bulunmasının daha kolay oluşunun bir sonucu değil: istatistiksel olarak önemli.) Bu tür sistemler ayrıca dinamik gerekçelerle de daha olasıdır; gezegenlerin bu şekildeki yörüngelerde nasıl ortaya çıktığını açıklamak kolay, ama dairesel yörüngelerde nasıl olabildiklerini açıklamak daha zordur. Henüz hiç kimse, bizimki de dahil bazı gezegen sistemlerinin neden daha düzenli bir halde yerleştiğini bilmiyor. Belki yalnızca istatistiksel şanstır: eğer seyrek görülen bir düzen mümkünse, o zaman yeterli sayıda gezegen sistemi var olduğu takdirde bu düzen bir yerlerde ortaya çıkmalıdır. Ya da söz konusu durum genç Güneş'in etrafındaki diskte bulunan, gezegenler gelişirken üzerlerinde sürüklenen gazın miktarıyla ilişkili olabilir. O halde bu, Güneş Sisteminin meydana geldiği ortamla ve yakınındaki bir süpernova ya da dev yıldız tarafından üstüne dökülen materyalle bağlantılı olurdu. Hangi sebeple olursa olsun, gökbilimciler gezegen sistemlerinin ne kadar çeşitli olduğunu ortaya çıkarırsa, Güneş Sistemi de o kadar özel görünmektedir.

Gezegen sistemlerinin keşfedilen son kategorisi bu noktayı vurgular. Artık, yakınlardaki birkaç yıldıza, Dünya'dan büyük ama Neptün'den küçük olan, ana yıldızlarına birkaç

haftada bir dönüşlerini tamamlayacak kadar yakın yörüngelerdeki gezegenlerin eşlik ettiği bilinmektedir –diğer dünyalar için olası konumlar olmadıkları açık. Fakat bizimkine benzer başka sistemler arayan gökbilimciler için umut bulunuyor; 23 Lib adındaki yıldız, Jüpiter'le aşağı yukarı aynı kütleye sahip olan, yıldız etrafındaki dönüşünü neredeyse dairesel bir yörüngede her on dört yılda bir, yani Jüpiter'in Güneş'in etrafında dönüşünden yalnızca birkaç yıl daha uzun bir sürede tamamlayan bir gezegene sahip. Belki de yıldızın henüz tespit edilemeyecek kadar küçük kayalık gezegenlerden oluşan bir ailesi de vardır.

Neredeyse dairesel bir yörüngede bile Jüpiter'in kayalık gezegenlerin oluşumu üzerindeki etkisi tamamen zararsız olmamıştır. Asteroit Kuşağı, eğer mevcut materyal Jüpiter tarafından yutulmasaydı veya Jüpiter'in kütleçekim etkisiyle tamamen bölgeden dışarı gönderilmeseydi var olmuş olabilecek bir gezegenden kalan molozları temsil eder. Asteroit Kuşağı'na en yakın kayalık gezegen olan Mars, yaklaşık olarak Dünya'nın kütlesinin onda birine sahiptir ve onun yalnızca yarısı büyüklüğündedir. Eğer Dünya kadar büyük olsaydı, kendisini sera etkisiyle ısıtacak kalın bir atmosferi tutmak için gerekli olan yeterinde güçlü bir kütleçekim etkisine ve diğer özelliklere sahip olabilirdi. Dünya'nın diğer tarafında bulunan ve Jüpiter'in doğrudan yakınlığından uzakta olan Venüs, gerçekten de ana gezegenimizle kabaca aynı boyuta ve kütleye sahiptir, ancak orada sera etkisi uç noktalara ulaşmıştır. Jüpiter olmasaydı Mars da muhtemelen Dünya kadar büyüyebilirdi. Ve eğer kayıp "asteroit gezegeni" aynısını yapsaydı, Güneş Sistemimiz Güneş'ten sıvı suyun bulunması için tam doğru uzaklıkta olan üç Dünya benzeri gezegenle yola çıkmış olabilirdi; her zaman için Jüpiter olmadan da bu tür gezegenlerin oluşabileceğini var sayıyoruz (ve bu büyük bir varsayım). Öte yandan, eğer Jüpiter birazcık daha büyük olsaydı veya Dünya Jüpiter'e biraz daha yakında oluşmuş olsaydı, Mars'ın gelişmesini kısıtlayan süreçler Dünya'nın büyüklüğünü de sınırlardı.

Ancak ne kadar çok sayıda ya da az sayıda Dünya benzeri gezegen oluşursa oluşsun, yörüngeleri Jüpiter'in bir bütün olarak Güneş Sistemi üzerindeki etkisi olmadan sabit kalabilir miydi? Bulgular kalamayacağını gösteriyor. Her bir gezegenin diğer bütün gezegenleri eş zamanlı olarak çok küçük bir miktar da olsa etkileme biçiminden dolayı, bütün gezegenlerin yörüngelerinin uzun zaman aralıklarında nasıl değiştiğini kesin olarak hesaplamak aslında imkânsızdır. Eğer Güneş'in çevresinde dönen yalnızca bir gezegen bulunsaydı, basit bir elips olan yörüngesi her zaman mükemmel biçimde hesaplanabilirdi. Fakat yalnızca bir gezegenin daha eklenmesi, kesin olarak hesaplanması imkânsız olan bir "üç cisim problemi" yaratır. Tek çözüm, yörüngeleri adım adım hesaplamaktır, yani bir gezegenin yoluna biraz daha ilerlemesine izin verip diğer gezegen üzerindeki etkisinin hesaplanması, ardından bu gezegeni biraz ileri götürüp bu değişikliğin ilk gezegeni nasıl etkilediğinin hesaplanmasıdır.

Modern bilgisayarlar o kadar güçlüdür ki yörüngelerin milyarlarca yılda nasıl değiştiğini görmek için Güneş Sisteminin tüm büyük gezegenlerini içeren bu tür hesaplamalar yapmak mümkündür. Fakat bu tür hesaplamalar, iç gezegenlerin matematiksel kaostan etkilendiklerini gösteriyor. Bu, bazı durumlarda hesaplamanın başlangıç koşullarında çok küçük bir değişikliğin yörüngelerin evriminde muazzam bir değişikliğe yol açabileceği anlamına geliyor. Bu, Brezilya'da bir kelebeğin kanat çırpışının, prensipte Karayipler'deki bir kasırganın güzergâhını etkileyebildiği yönündeki görüşten dolayı zaman zaman "kelebek etkisi" denilen şeyin bir örneğidir.

Güneş Sistemi örneğinde, bilgisayar hesaplamaları dört dev gezegenin yörüngelerinin oldukça kararlı olduğunu ve kaosa eğilimli olmadığını göstermektedir. Fakat ancak ucu ucuna – eğer Jüpiter ya da Satürn'den birinin kütlesi biraz daha fazla olsaydı veya iki dev gezegen birbirine biraz daha yakın olsaydı veya dış Güneş Sisteminde onlarla kıyaslanabilir büyüklükte üçüncü bir gaz devi daha olsaydı, kaos meydana gelirdi. Daha da kötüsü, iç gezegenlerin yörüngelerinin simülasyonları, başlangıç parametrelerinde çok ufak

değişikliklerle binlerce kez gerçekleştirildiğinde, her yüz hesaplamadan birisinde kaos ortaya çıkar. Diğer gezegenlerle, özellikle de Jüpiter'le olan kütleçekimsel etkileşimler yüzünden kayalık gezegenlerin en küçüğü olan Merkür'ün yörüngesi o kadar genişler ki Merkür, Venüs'ün çok yakınından geçebilir, hatta Venüs'le çarpışabilir; bu, iç Güneş Sisteminin tamamını o kadar bozar ki bu senaryoların bazılarında Venüs'ün kendisi yörüngesinden savrularak Dünya'ya çarpar. Bu durumun simülasyonların yüzde birinde gerçekleşmesi, Güneş ölmeden önce herhangi bir zamanda Güneş Sisteminde gerçekleşme şansının yüzde bir olduğu anlamına gelmektedir. Uykuları kaçıracak bir şey değil, ancak bu, gezegen sistemlerinin kararlılığına kesin gözüyle bakılamayacağını gösteriyor. Hatta gökbilimciler Upsilon Andromeda yıldızının çevresinde keşfedilen üç gezegenin alışılmadık yörüngelerini inceleyerek ve hesaplamalarını gerçekte zamanda geriye doğru yaparak, sistemin daha önce tam da bunun gibi yörüngesel bir kaos sonucunda sistemden tamamen atılan dördüncü bir gezegeni barındırdığı sonucunu çıkardılar.

Varılan sonuç, bir kez daha Güneş Sistemimizin tipik olmaktansa aşağı yukarı sabit yörüngelere sahip bir gezegenler ailesinin ender bir örneği olduğudur. Yine de böyle bir sistemin tam olarak ne kadar seyrek olduğunu söylemek imkânsız.

Kesin olan şu ki, bu kararlılık örüntüsünde Jüpiter'in etkisi, Dünya'yı bizimki gibi bir medeniyetin ortaya çıkışı için uygun bir yer haline getirmek açısından genel olarak yararlı olmuştur. Jüpiter, kayalık gezegenler oluştuktan kısa süre sonra Dünya-Ay ikili gezegen sistemi de dahil olmak üzere iç gezegenlerin yoğun şekilde bombardımanına yol açan dış Güneş Sisteminin yeniden düzenlenmesinde yer aldı. Bu ağır bombardıman esnasında çarpışmaların çoğu çapı yüz kilometreden daha büyük olan kaya parçaları içeriyordu ve bugün böyle çarpışmalar Dünya'daki yaşam için tam bir felaket olurdu. Fakat Geç Dönem Ağır Bombardıman bu şekilde gezegenlerin oluşumdan kalan enkazın büyük kısmını temizleyerek gelecekteki bu tür çarpışmalar için etraftaki

kozmik moloz miktarını azaltırken geride kalan enkazın çoğunu Asteroit Kuşağı, Kuiper Kuşağı ve Oort Bulutuna yerleştirdi. Nesneler hâlâ bu özel alanlardan kaçarak Güneş'e doğru gidebiliyor olsa da, Geç Dönem Ağır Bombardımandan beri Jüpiter, iç Güneş Sistemini dışarıdan gelen maddelerin çoğundan koruyarak bir çeşit gözcü rolü oynamıştır. Bu nesnelerin çoğu, Jüpiter'in büyük kütleçekim kuvveti tarafından saptırılarak ya Asteroit Kuşağı'nı aşmalarını engelleyen yörüngelere kaydırılır ya da Temmuz 1994'te parçalanarak Jüpiter'le çarpışan Shoemaker-Levy 9 kuyrukluyıldızı örneğinde olduğu gibi, Jüpiter tarafından tamamen yutulur. Bu, Güneş Sistemindeki nesnelere ait bu çeşit bir çarpışmanın ilk doğrudan gözlemiydi.

Jeolojik kanıtlar, Dünya tarihinin büyük kısmı boyunca gezegenimize ortalama olarak her yüz milyon yılda bir en az 10 kilometre çapında bir nesnenin çarptığını söylüyor. 65 milyon yıl önce "dinozorların ölümüne" neden olan şey, bu boyutlarda bir çarpışmaydı. Fakat eğer Jüpiter ilk olarak Güneş Sisteminin başlangıcından kalan enkazın büyük kısmını temizlemek ve sonra da bizi Shoemaker-Levy 9 gibi nesnelerden korumak üzere ortada olmasaydı, bu tür çarpışmalar yüz milyon yılda bir değil, her 10 bin yılda bir gerçekleşirdi. Zekâyı evrimleştirmek ve teknolojik bir medeniyet geliştirmek şöyle dursun, hayvan yaşamının bu tür koşullar altında nasıl evrimleşeceğini anlamak zordur.

Genç Dünya'yı hırpalayan çarpışmalar yine de varlığımız için önemli bir önkoşul olmuş olabilir. Bir zamanlar erimiş bir gezegen (aslında, Ay'ın kökenine dair düşüncelerimiz doğruysa iki kere erimiş) nasıl oldu da okyanusları dolduracak kadar suyu tutabildi? Yanıt şu: Tutmadı; su daha sonra geldi. Peki ama su nereden geldi?

Son zamanlara kadar, suyun gezegenlerin meydana geldiği materyal diskinde sıvı ya da gaz hâlde kalıp kalamayacağı büyük bir bilmeceydi. Su molekülleri, tıpkı bugün oksijen moleküllerinin Dünya atmosferinin yüksek katmanlarında Güneş'ten gelen morötesi ışınım tarafından parçalanması gibi, genç bir yıldızın morötesi ışınımıyla parçalanmalıdır.

Fakat su orada mutlaka bulunmuş olmalı, aksi halde bugün burada olmazdı. Üstelik yirmi birinci yüzyılın ilk on yılı boyunca, hem suyun kendisinin hem de hidroksil radikalinin (OH; bir hidrojeni alınmış bir çeşit su molekülü) spektral imzası birçok genç yıldızın çevresindeki gezegen oluşturan disklerde görüldü. Bazı durumlarda, donmuş kuyrukluyıldız benzeri nesnelerin varlığına dair dolaylı kanıtlar bile bulunur. Bu disklerde suyun varlığını sürdürmesinin açıklaması 2009'da Michigan Üniversitesindeki araştırmacılardan geldi. Onlar, gelen ışınım gerçekte bir bulutun dış kısmındaki (yıldıza en yakın taraf) su moleküllerince emilerek tüketildiği için, su buharının kendisini morötesi ışınımın zararlı etkilerinden koruyabildiğini keşfettiler. Su molekülleri ışınım tarafından hidrojen ve OH'yi serbest bırakmak üzere parçalandıkları hızla, sıradan kimyasal tepkimeler yoluyla yeniden oluşurlar ve tekrar parçalanmaları gerekir.

Yıldızların meydana geldiği bulutlarda her zaman fazlasıyla hidrojen olduğu için, genel sonuç erişilebilir olan tüm oksijenin suya dönüştürülmesidir. Atmosferin ozon tabakasının Dünya'nın yüzeyindeki yaşamı güneşin morötesi ışınlarından korumasına çok benzer bir şekilde, bulutun su bakımından zengin olan iç kısmı korunur. Gezegenimizin stratosferinde morötesi ışınım içeren tepkimeler, sürekli olarak oksijen moleküllerini ozona dönüştürmektedir, ama diğer kimyasal tepkimeler de ozonu oluştuğu hızla oksijene geri dönüştürür. Bunun genel etkisi yeryüzünün üstünde sabit bir ozon tabakasının bulunmasıdır, ancak çok az miktarda morötesi ışın bu katmanı geçip yüzeye ulaşabilir. Gezegenimsilerin oluşmaya başladığı materyal bulutlarında, dış katmandan çok az miktarda morötesi ışınımın nüfuz edebildiği benzer bir kalkan etkisi vardır. Bu durum karmaşık moleküllerin var olmasına, hatta birbirleriyle etkileştikçe daha da karmaşık hale gelmelerine olanak tanır ve ana yıldızdan birkaç astronomik birim mesafe içinde bile gezegenlerin tohumlanabileceği zengin bir organik bileşik kaynağı sağlar.

Fakat su ve karmaşık organik moleküller Dünya gibi bir gezegene, gezegen suyun kaynayıp tükenmesini engelleyecek

ölçüde soğuduktan sonra nasıl gelir? Geldikleri yer, her zaman su içermiş olan ve küçük oldukları için asla suyu buharlaştıracak kadar ısınmayan gezegenimsilerdir. Bunu bir çerçeveye yerleştirmek gerekirse, bugün Dünya, yüzde 1'den daha az su ve yüzde 0,1'den daha az karbon içerir, ama Asteroit Kuşağı'ndaki artıklar yüzde 20 oranında su (diğer maddelerle birleşik halde) ve yüzde 5'ten biraz daha az karbon içerir (bir sonraki bölümde karbondan daha fazla bahsedeceğiz). Eğer Dünya, Mars'ın yörüngesinin hemen ardında asteroitlerin oluştuğuyla aynı tür maddeden oluşmuş olsaydı, yüzlerce kilometre derinlikte bir okyanusa ve sera etkisinden dolayı yüzey sıcaklığını suyun kaynayıp buharlaşacağı kadar yükselten kalın bir karbondioksit tabakasından oluşan bir atmosfere sahip olurdu, bu da sera etkisini daha da güçlendirir ve ortamı yaşam için fazla sıcak hale getirirdi. Dünya şu an sahip olduğunun yalnızca iki katı suya sahip olsaydı bile neredeyse tamamen sularla kaplanırdı ve üzerinde bizim yaşam türümüzün evrimleşebileceği –eğer varsa bile– çok ufak bir kara parçası olurdu. İş teknolojik bir medeniyet oluşturmaya gelince, aşırı miktarda su, çok az miktarda olması kadar kötüdür. Bu, Dünya'nın "tam kararında," iki aşırı uç arasında dengede olduğunun bir başka göstergesidir.

Dünya'yı yaşam için uygun bir yuva kılmadaki diğer birçok rolünün yanı sıra, Jüpiter Güneş Sistemimizde Dünya gençken su bakımından zengin olan yeterli sayıda asteroidi yolumuza çıkarmış olmak için tam doğru konumdadır. Üstelik yalnızca asteroitleri değil. İlk bakışta Dünya için bir yıkım gibi görünen Geç Dönem Ağır Bombardıman, aynı zamanda Güneş Sisteminin dış kısmından gelen buzlu materyali, su ve organik moleküller bakımından zengin kuyrukluyıldız benzeri nesneleri içeriyordu. Bu senaryoyu destekleyen bulgular, yerkabuğunun hemen altındaki katman olan mantodaki kripton ve ksenon izotoplarına dair araştırmalardan elde edilmiştir. Bunlar meteorit örneklerinde bulunan oranlarla eşleşmektedir ve Dünya'nın uçucu materyallerini gezegenin oluşumunun geç bir aşamasında aldığı darbelerle edinmiş olduğunu doğrular. Aslında "su kuşağı"ndan gelen ortalama

büyüklükte sadece tek bir nesnenin çarpması, Dünya'nın okyanuslarını doldurmaya yetecek kadar su sağlamış olabilir. Yakın zamanlarda ay taşlarında gömülü halde su keşfedilmesi de bu modele uyuyor.

Bilgisayar simülasyonlarının gösterdiğine göre, eğer Jüpiter Güneş'ten daha da uzakta oluşmuş olsaydı, Dünya büyüklüğünde bir gezegenin oluşmuş olması hâlâ mümkün olurdu – ama Güneş'ten ancak beş astronomik birim uzaklıkta. Bol miktarda suyu olurdu ama bunun tümü buz halinde hapsolmuş olurdu. Jüpiter'in hiç olmaması durumunda bile yine çok miktarda su olurdu ama bu suyun tümü, hiçbir zaman Dünya büyüklüğünde bir gezegen oluşturamayacak olan asteroitlerde hapsolmuş olurdu.

Yine de özel Güneş Sistemimizde, büyük bir uyduyla birlikte Dünya oluşmuştur ve sıvı su okyanuslarına sahiptir. Bu, gezegende yaşamın başlaması için yeterliydi. Fakat o yaşamın zekâyı nasıl evrilttiğine ve teknolojik bir medeniyeti nasıl geliştirdiğinde dair öyküde anlatılacak daha çok şey var.

# 5

# DÜNYA HAKKINDA BU KADAR ÖZEL OLAN ŞEY NEDİR?

Dünya, kayalık bir gezegendir. Bu, Güneş Sistemi açısından o kadar da özel görünmeyebilir; sekiz büyük gezegenden dördü kayadan oluşur. Fakat tüm evrende kayalık gezegenler bunun akla getirdiğinden çok daha az yaygındır. Her şey, hidrojen ve helyumdan sonra en yaygın iki element olan karbon ve oksijenin yıldızın çevresinde, içinde gezegenlerin oluştuğu materyal diskindeki göreceli oranlarına dayanmaktadır.

## GÖKYÜZÜNDE BİR ELMAS GİBİ

Kayalar, silikon atomlarıyla oksijen atomlarının birleşimlerinden oluşan silikat minerallerden oluşmuştur; zaman zaman diğer elementlerle birleşik de olsa temelde silikon oksitlerinden. Eğer bir gezegenin oluştuğu bölgede bol miktarda yedek oksijen varsa, silikonun neredeyse tamamı silikat içinde hapsolur ve kayalık bir gezegene sahip olursunuz. Fakat eğer fazladan oksijen yoksa silikat ve kayalık gezegen olmayacaktır. Bunun alternatifi bol miktarda karbonun olmasıdır, çünkü yıldızsal nükleosentezle üretilen karbon ve oksijenin oranı neredeyse dengededir; bazı yıldızlarda ve yıldızlararası bulutlarda karbon miktarı biraz daha fazlayken diğerlerinde oksijen biraz daha fazladır. Galaksinin tümünde karbonun kabaca iki katı oksijen ve silikondan on kat daha fazla karbon bulunur, ama bazı yıldızların çevresinde karbon oksijenden daha baskındır. Kimya açısından konuşursak, karbon ve oksijenin birbirleriyle çok yüksek bağlanma eğilimi vardır. Bunlardan yeni bir gezegen sisteminin oluştuğu bulutta en az bulunan hangisi ise o karbonmonok-

sit ve karbondioksit gibi bileşiklerde hapsolurken, daha çok olan atomların fazla kısmı, diğer elementlerle tepkimelere girmek üzere mevcuttur.

Bu sadece kuram değil. Kızılaltı dalga boylarında yapılan gözlemler, yaşamlarının son evrelerinden birinde olan birçok yıldızın, uzaya püskürtülmekte olan, karbon bileşikleri bakımından zengin toz tanecikleri içeren materyal bulutlarıyla çevrilmiş olduğunu göstermiştir; bunların açık ara farkla en yaygını ise silikon karbiddir. Daha karmaşık karbon bileşikleri de vardır ve bunlar uzaya dağıldıkça, daha sonraki bir tarihte uygun gezegenlerde yaşamın ortaya çıkmasında önemli bir rol oynayabilir. Bununla birlikte, etkileyici bir şekilde bugün gezegen barındırdığı bilinen tüm yıldızların çoğunda karbonun oksijene oranı, Güneş'in sahip olduğundan daha yüksektir.

Aslında Dünya'da, silikat kayaları gibi şeylere kıyasla çok az karbon bulunur. Güneş Sistemimizde, kayalık gezegenlerin oluştuğu iç kısımdaki karbonun çoğu görünüşe göre Güneş gençken karbonmonoksit gazı olarak uçup gitmiş ve Güneş Sisteminin uzak köşelerinde asteroit ve kuyrukluyıldızların yapısına katılmıştır. Su gibi, karbon da gezegenin katılaşmasının ardından bu nesnelerin çarpmasıyla Dünya'ya düşmüştür – Jüpiter'e ve Geç Dönem Ağır Bombardımana minnettar olmak için bir neden daha.

Ne var ki karbonun oksijene baskın olduğu gezegen sistemlerinde bu meydana gelmez. Silikon karbid gibi katı karbon bileşikleri ve grafit tanecikleri biçiminde karbonun kendisi bile gezegenlerin, hatta Güneş'in çevresindeki Dünya'nın yörüngesine benzer yörüngelerdeki gezegenlerin yapıtaşları olur. Bu şekilde oluşmuş Dünya büyüklüğünde bir gezegenin grafit bir kabuğu olurdu, ancak yüzeyin çok derinlerinde basınç, silikon karbid ve kristalli elmas katmanları oluşturacak kadar yüksek olurdu ve "Twinkle, twinkle, little star [Parılda, parılda küçük yıldız]"* tekerlemesine yepyeni bir anlam derinliği katardı. Bu tür bir gezegenin yüzeyinde, mevcut az miktardaki oksijen karbon monoksit formunda bulunurken,

* 1806'da İngiltere'de yazılan bir ninni.

daha fazla karbon metan (bir karbon ve hidrojen bileşiği) formundadır. Bazı koşullar altında, bu tür bir gezegenin katran gölleri ve okyanusları olurdu.

Her ne kadar SETI taraftarları için iyi haberler değilse de, bunun bizimkine benzer gezegenleri bulma şansını tam olarak ne kadar azalttığı yanıtlanamamış bir sorudur. Ve Dünya'yı yaşam için uygun hale getiren etmenlerin birçoğu gibi, bu bir yer meselesi olduğu kadar bir zaman meselesidir. Galaksinin ağır elementleri ("metaller") daha yüksek oranda içeren bölgeleri daha yüksek karbon-oksijen oranlarına sahiptir. Bu, Galaksinin Samanyolu'nun merkezine bizim olduğumuzdan çok daha yakın olan bölgelerinin Dünya gibi kayalık gezegenler barındırmasının olanaksız olduğu (bu tür bölgelerin bizim gibi yaşam formları için yaşanabilir olmamasının diğer nedenlerinden oldukça ayrı) ve "karbonifikasyon" diyebileceğiniz bir dalganın zaman geçtikçe Galaksi boyunca dışarı doğru yayılmakta olduğu anlamına gelir. Bu etmenlerden hiçbiri henüz tam olarak ölçülememektedir. Ne var ki bütün bunların Dünya benzeri yerlerin var olma olasılığını daha da düşürdüğü açıktır. Ve Güneş Sistemi içinde bile Dünya'nın silikat kabuğunun doğası, bizim gibi yaşam formlarının ortaya çıkması için hem eşsiz hem de can alıcı olarak görünür.

## GEZEGEN YAPBOZU

Dünya'nın kabuğu, küre şeklinde bir yapbozun parçaları gibi birbirine uyan birçok büyük ve birkaç adet de küçük "levha"ya bölünmüştür. Ancak yap-boz parçalarından farklı olarak, bu levhalar sürekli hareket halindedir ve zaman zaman hâlâ kıtasal kayma olarak adlandırılan olguya yol açarlar, ancak günümüzde levha tektoniği ("levha oluşumu" anlamında) terimi tercih edilmektedir. Deniz tabanının manyetik incelemeleri, sismoloji ve kıtaların günümüzde hareket etme şeklinin uzaydan doğrudan gözlemleri de dahil birçok bulgu dizisi yirminci yüzyılın ikinci yarısında levha tektoniğine modern bir anlayış getirmek için bir araya gelmiştir. Volkan-

ların ve depremlerin neden bulundukları yerde meydana geldiğini, neden zaman zaman buzul çağları yaşanırken zaman zaman da Dünya'nın buzsuz olduğunu ve hatta türlerin neden çeşitlendiğini ve nesillerinin tükendiğini açıklar.

Levha tektoniğine dair bu anlayışın merkezinde, deniz tabanının yayılmasının keşfedilmesi yatıyor. Deniz tabanında, özellikle Atlantik Okyanusu boyunca kabaca kuzey-güney doğrultusunda giden bir hat boyunca çatlaklar bulunur; buralarda kabuğun altından gelen erimiş materyal (magma) bir sırt üzerinde yüzeye çıkar, sonra da oluştuğu yerdeki çatlağın bir tarafını dışa doğru iter. Sonuç, okyanusun her iki yanındaki kıtaları yavaş yavaş ama kararlı biçimde birbirinden ayıran bir çeşit okyanus tabanı taşıma bandının oluşmasıdır. Kuzey Atlantik örneğinde, bu süreç Avrupa ve Amerika arasındaki mesafeyi yılda birkaç santimetre genişletmektedir –yaklaşık olarak tırnaklarınızın büyüme hızı. Üstelik okyanusun bu genişlemesi, doğrudan yörüngedeki uydularda bulunan aygıtların kullanılmasıyla ölçülür.

Eğer levha tektoniğiyle ilgili her şey bundan ibaret olsaydı, Dünya okyanus sırtlarında açığa çıkan yeni deniz tabanının tümüne yer açmak için düzenli biçimde genişliyor olmalıydı. Fakat aslında deniz tabanı oluşturulduğu kadar hızlı biçimde yok olmaktadır. Bu yok oluş deniz tabanının bir kıta altına itilerek derin bir çukur aracılığıyla Dünya'nın iç kısmına geri girdiği bölgelerde meydana gelir. Bu, deniz tabanının bir kıtayla karşılaştığı her bölgede gerçekleşmez; örneğin Atlantik Okyanusu'nun kenarlarında meydana gelmez. Fakat bu türdeki yıkıcı bir bölgenin arketipik bir örneği, Pasifik Okyanusu'nun batı kıyılarının altında bulunur. Burada, batıya doğru itilmekte olan Pasifik deniz tabanı, Avrasya kıta levhasının kara kütlesinin altına dalmaktadır. Japonya'nın da içinde olduğu bütün bu bölgenin depremlere ve volkanik hareketlere meyilli olması tesadüf değildir. Pasifik Okyanusu, Atlantik Okyanusu'nun genişlemesiyle yaklaşık aynı hızda daralmaktadır ve deniz tabanının yok oluşu şiddetli bir süreçtir. Elbette deniz tabanının oluşması da şiddetli bir süreçtir, ama çoğunlukla depremlerle volkanik

hareketlerin bizi rahatsız etmediği denizin ücra köşelerinde meydana gelir. Bunun bir istisnası, Orta Atlantik sırtının bir bölümünün deniz seviyesinin üstüne çıktığı İzlanda'dır.

Genel olarak, söz konusu süreç basitçe ısı yayılımıdır. Dünya'nın yüzeyinin altındaki sıcak ve akışkan materyal yükselir, soğudukça yayılır, sonra da iç kısma yeniden batar. Basit. Şüphesiz ki pürüzler doğabilir. Yüzeyin altındaki sıcak noktalar kıtaları yarıp ayırarak yeni okyanuslar oluşturabilir (bugün Doğu Afrika'da bunun olduğu görünüyor). Ve bazen, aralarındaki deniz tabanı tamamen çekildiği için kıtalar çarpışarak Himalayalar gibi yeni sıradağlar oluşturur. Fakat altta yatan temel ilkeler açıktır. Açık olan bir başka şey, bu süreçlerin yalnızca altında akışkan tabakaların bulunduğu görece katı ve ince bir kabuğa sahip Dünya benzeri gezegenlerde işlediğidir.

Ne var ki Dünya'nın kabuğu her yerde aynı kalınlıkta değildir. Kıta kabuğunun kalınlığı 35 km ile 70 km arasında değişirken, okyanusların altındaki kabuk daha tek biçimlidir ve ortalama 7 km kalınlıktadır. Bunu daha iyi anlatmak için, Dünya'nın çapının 13 bin km'den biraz daha küçük olduğunu söyleyebiliriz. Bu ölçekte yerkabuğunun tamamı, bir elmanın tümüne kıyasla elmanın kabuğunun taşıdığından daha önemli değildir.

Böyle olsa bile okyanus kabuğu ile kıtasal kabuk arasındaki farklılıklar önemlidir; belki de kelimenin tam anlamıyla hayati derecede önemli. Kıtasal kabuk, okyanus kabuğundan daha kalın olmanın yanı sıra, ayrıca daha düşük yoğunluktadır. Deniz tabanı kabuğunun yoğunluğu santimetreküp başına 3 gramken, kıta kabuğununki ise santimetreküp başına yalnızca 2,7 gram civarındadır. Bu kısmen, kıtasal kabuk levha tektoniği süreçleriyle karışan ve birbirine yapışan çeşitli ufak tefek parçalardan meydana gelirken okyanus kabuğundan temelde tek tipli bir materyalden oluşan katı bir plaka oluşunun bir yansımasıdır. Fakat bu, neden kıtasal kabuğun değil de okyanus kabuğundan maddelerin Dünya'nın iç kısmına geri döndüğü derin çukurlarda yok olduğunu açıklamaktadır. Daha düşük yoğunluğa sahip madde, doğal olarak

daha yoğun maddenin üstünde üzerine hareket ederek onu derinlere doğru giderken destekler. Fakat süreci destekleyen başka bir şey daha vardır: su.

Okyanus kabuğunun kıta kenarları boyunca görülen derin çukurlarda yok olduğu bölgeler dalma-batına zonu olarak adlandırılır (ayrıca deniz tabanının bir parçasının bir diğerinin altına kaydığı yerler de vardır, ama bu bizim göz ardı edebileceğimiz bir ayrıntı). Bir dalma-batma zonunun derinliklerine taşınan deniz tabanı, kayaçtaki çatlaklara sızarak kaynayacak kadar ısınan ve kayacın bileşimini değiştiren kimyasal tepkimeleri destekleyen suyla etkileşimler sonucu değişime uğrar. Bir kıta kenarında kayacın kendisi de kıtadan suyla taşınıp gelmiş organik yaşam kalıntılarından yana zengin olan bir çökelti tabakasıyla kaplıdır. Bu karışım, kıtasal kabuğun altına battıkça gittikçe ısınır ve aşırı basınçlarla sıkıştırılır; 50 kilometrelik bir derinlikte, basınç Dünya yüzeyindeki atmosfer basıncının 15 bin katıdır ve sıcaklık yüzlerce santigrat dereceye ulaşır. Bütün bunların bir etkisi, suyun sıkışma yoluyla kayaçların içinden çıkması ve batan kayaç plakasını çevreleyen materyalin üstüne boşanmasıdır. Orada, tıpkı buzun üstüne yayılan tuzun buzu eritmesi gibi kayacın erimesine neden olur. Batan plakanın yakınında magma kütleleri belirir ve erimiş magma katı magmadan daha hafif olduğu için bu erimiş materyal kütleleri yavaş yavaş yukarı doğru yükselerek kabuğa nüfuz eder ve deniz tabanının yok olmakta olduğu bölgenin üstünde bir volkan zinciri yaratır. Su olmasaydı, bunların hiçbiri meydana gelmezdi; su olmasaydı, levha tektoniği diye bir şey olmazdı.

Bunun, Dünya'da yaşamın varlığı için ne kadar önemli olduğunu görmek zor değil; özellikle de bizim türümüzde bir yaşam için. Bu süreç işlerken gazlar fokurdayarak magmadan çıkar ve volkan bacalarında serbest bırakıldıkları yüzeye doğru yol alır. Bu gazların en önemlisi su buharı, karbondioksit ve nitrojendir. Nitrojen, büyük oranda batmakta olan litosfer tabakasıyla aşağıya taşınan çökeltiye karışmış organik kalıntılardan kaynaklanır. Bu gazların hepsi de Dünya yüzeyindeki canlılar için önem taşımaktadır, bu yüzden

Dünya üzerindeki yaşam, canlı olmayan kayaçların da dahil olduğu döngülere sıkı sıkıya bağlıdır. Bunun en önemli yönlerinden biri, canlı ve cansız süreçlerin birleşiminin karbondioksit başta olmak üzere sera gazlarının atmosferdeki dengesinin sürdürülmesine yardım ederek Dünya'nın sıcaklığını yaşam için uygun koşulları devam ettiren bir çeşit küresel termostat aracılığıyla düzenlemesidir.

Bu volkanik etkinliğin bir teknolojik medeniyetin ortaya çıkışı için önem taşıyan başka yönleri de var. Eriyik haldeki kayaçlar kabuktan geçerek yükseldikçe soğur ve tepeye yaptığı yolculukta bir kısmı katılaşır. Olanları ölçmenin bir yolu, farklı kayaçlardaki silika miktarı bakımından ölçüm yapmaktır. Silika yalnızca silikon dioksitin bir diğer adıdır ve neredeyse tüm kayaçlarda bulunur. Volkanik hareketlerle açığa çıkartılan bazalt, okyanus kabuğunun açık ara en önemli bileşenidir. Yaklaşık yüzde 50 oranında (ağırlık bakımından) silika içerir, ancak kıtaları oluşturan kabuk yüzde 60 silika içeren daha farklı bir bileşime sahiptir; kıtasal kabuğu okyanus kabuğundan daha hafif hale getiren bir diğer etmen. Şüphesiz ki bazı kayaçlar ortalamadan çok daha fazla silika içerir; örneğin granit yaklaşık yüzde 75 oranında silikadan oluşur. Kıtasal kabuğun bazalttan görece daha fazla silika içermesinin nedeni, bazaltın tipik özelliği olan karışımdan bir dalma-batma zonundan yüzeye doğru yolculuğu sırasında başka şeylerin alınmış olmasıdır. Bu diğer şeylerin içinde, eriyik magmadan kristalleşmeyle oluşan ve yükselmeyi sürdürdükçe onu silika bakımından görece zengin halde bırakan kuvars gibi mineraller ile demir, bakır, gümüş ve altın gibi metaller bakımından zengin olan, daha yüksek seviyelerde katılaşan bileşikler vardır. Değerli metallerin örneğin Güney Amerika'nın genç dağlarında bulunmasının nedeni budur – İspanyol fatihlerini El Dorado'yu araştırmak üzere kıtaya getiren ve İspanya İmparatorluğu'nun muhteşem günlerine destelerle para sağlayan bu zenginliktir. Ve sanayi devrimi için elzem olan demir ve bakır gibi Avrupa maden yataklarını oluşturan şey, kıtaların bugünkünden çok farklı biçimde dizilmiş olduğu uzun zaman önce işba-

şında olan bu türden bir süreçti. Zeki yaşamın neden Dünya üzerinde evrimleştiğinin nedenlerini bir kenara bırakırsak, teknolojiyi Dünya üzerinde mümkün kılan, ince bir kabuk ve suyun birleşimidir. Metaller olmasaydı, zekâ tek başına yıldızlara sinyaller gönderebilen –ve belki de onlara seyahat edebilen– bir teknolojik medeniyet üretemezdi. Fakat bu süreçlerin meydana geldiği ve üzerinde teknolojik medeniyetimizin geliştiği kıtaları ne yarattı?

## KITALARIN YARATIMI

Levha tektoniğinin kazandırdığı anahtar bilgilerden biri, okyanus havzalarının yerkürenin geçici özellikleri olduğu, ama kıtaların çağlar geçtikçe birbirlerinden ayrılıp sonra birbirlerine kaynasalar bile kalıcı olduğudur. Kıtalar aynı zamanda büyümektedir (bu zaman geçtikçe gezegenimizin denizlerle kaplı alanının düzenli biçimde azaldığı anlamına gelir). Dalma-batma zonlarıyla bağlantılı olarak kıta kenarlarında meydana gelen volkanik etkinlik kıtalara yeni materyaller eklemektedir ve kıtalar çarpıştığında okyanus kabuğu büzüşerek dağ sıralarının parçası haline gelebilir. Elbette kıtalar aynı zamanda sürekli olarak rüzgâr ve hava tarafından aşındırılır ve çökeltiler deniz yatağına suyla taşınır. Fakat kıtalara yeni materyalin eklenme hızı, erozyonu fazlasıyla aşar. Eğer zamanda yeterince geriye gidersek ortada hiçbir kıta olmadığını görebiliriz.

Dünya'nın nasıl oluştuğunu düşündüğümüzde bu açıktır. Ay'ı doğuran çarpışmanın sonrasında gezegenimiz neredeyse küresel bir biçim alan (yalnızca "neredeyse" küresel, çünkü kendi ekseni etrafında dönüşü ekvatorda küçük bir şişkinlik yaratmıştır) eriyik bir materyal topu şeklini aldı. Neredeyse özelliksiz bir küre haline gelecekti. Eğer Dünya bugün böyle dümdüz bir küre haline gelseydi, okyanuslarda tüm küreyi kaplayan tek bir sığ deniz oluşturmaya yetecek kadar su olurdu. Okyanusların ortalama derinliği 3800 metre, yani kıtaların ortalama yüksekliğinin dört katından fazladır ve gezegenin üçte ikisi denizle kaplıdır. Bu yüzden

Dünya'nın katı yüzeyi dümdüz olsaydı, derinliği 3 kilometrenin hemen altında olan bir su kütlesiyle kaplı olurdu.

Eğer bu suyun tamamı bozulmamış genç bir Dünya'nın soğumakta olan yüzeyine yağmur olarak düşmüş olsaydı, geride yaşam ve teknoloji için belli sonuçları olan bir su dünyası bırakmış olurdu. Fakat suyun çok büyük bir miktarı –belki de tamamı– Dünya'ya uzay kökenli çarpışmalar yoluyla taşınmıştır ve günümüzde, sonraki çarpışmaların kıtaların büyümesini destekleyen ve levha tektoniği süreçlerini tetikleyen bir etken olduğu düşünülmektedir.

Genç Dünya'nın okyanuslarının altında bile yerkabuğunda iç kısımdan boşanan magmanın neden olduğu çatlaklar vardı. Gelişmekte olan levhalar, konveksiyon akımlarıyla taşındıkça birbirlerini ittiriyorlardı ve bazıları diğerlerinin altına itilerek küçük dalma-batma zonları oluşturmuş ve ilk volkanik adaları yukarı doğru itmiş olmalıydı. Bir levhacık bir diğerinin altına itildiği zaman küçücük parçalar koparak çıkar. İşte bu kaya döküntüleri büyümekte olan mini kıtalara katkıda bulunuyordu. Fakat bugün var olan kıtasal kabuğun yarısından daha fazlasının 2,5 milyar yıl önceye gelindiğinde çoktan oluşmuş olduğuna dair kanıtlar var ve bu, gezegenimizin tarihinin başlarında gelişmekte olan levhaların birbirini itmesiyle oluşabilecek her şeyden çok daha dramatik bir kıtasal gelişim patlaması olduğu anlamına geliyor. Bunun açıklaması, görünüşe göre Dünya'nın bundan yaklaşık 3,8 milyar yıl öncesi (Geç Dönem Ağır Bombardımanın sonu) ile 2,5 milyar yıl öncesi arasında bir dizi büyük darbe almış olduğu şeklindedir. Sonuç olarak, Dünya'nın kıtasal kabuğunun yarısından fazlası (belki üçte ikisi kadarı) yalnızca 700 bin yıl içinde, yani bugüne kadarki ömrünün beşte birinden daha kısa bir zamanda ortaya çıkmıştır.

Çarpışmaların kanıtları yeterince açıktır. Muazzam çarpışmalara dair doğrudan kanıtlar, bazı çok yaşlı kayaçlarda bulunan, kraton olarak bilinen jeolojik özelliklerin yapısında bulunur. En çarpıcı örnekleri Afrika'nın güneydoğusundaki bir bölgeyle Avustralya'nın kuzeybatısındaki bir bölgeden gelmektedir. O kadar benzerler ki bir zamanlar bölünen bü-

yük bir kara kütlesinin parçası oldukları bellidir. Ve Ay'ın hırpalanmış yüzeyinden gelen, gökbilimcilerin Dünya ile komşusunu farklı jeolojik zaman aralıkları boyunca çeşitli büyüklüklerde kaç çarpışmanın etkilediğini tahmin edebilmesini sağlayan dolaylı kanıtlar bulunur. Varılan sonuç, 3,8 milyar yıl öncesi ile 2,5 milyar yıl öncesi arasında Dünya'ya, çapı 20 km ile 50 km arasında değişen nesnelerin dokuz veya on kez düşmüş olabileceğidir.

Bunu daha açık belirtmek gerekirse, 65 milyon yıl kadar önce dinozorların ölümünde rol alan asteroid yalnızca yaklaşık 10 km çapındaydı. Saniyede 20 km hızla hareket eden ve çapı 20 kilometreden daha büyük olan bir nesne, Dünya'nın çevresinde bulunan yalnızca 3 km derinliğindeki ince bir su tabakasının varlığını neredeyse fark etmezdi bile. Gözümüzde canlandırabileceğimiz doğru görüntü, bir çakıl taşının denize fırlatılması değil de, bir tuğlanın bir su birikintisine düşmesidir. Gelen enkaz parçası altta yatan kabuğa dümdüz çarparak o kadar büyük ısı üretirdi ki yüzeyi eriterek belki de 500 km çapında bir erimiş kaya gölüne çevirirdi.

Peki ama böyle bir olay kıta yapımını nasıl hızlandırabilirdi? Avustralya Ulusal Üniversitesinden Andrew Glikson'ın akla yatkın bir açıklaması var. Zamanda bu kadar uzak bir nokta düşünüldüğünde her açıklama bir dereceye kadar şüphelidir, ama Glikson'ın fikri yapbozun tüm parçalarını kusursuzca birleştiriyor ve Purdue Üniversitesinden bu tür bir çarpmanın etkilerine dair Jay Melosh tarafından yürütülen hesaplamalarla destekleniyor. Levha tektoniğinin yalnızca ince kabuk parçalarını içeren ilksel bir sürümü, sıcak eriyik materyalin sorguçlarda yükselerek yüzeye yayıldıkça ince levhaları birbirinden ayırmasıyla ve sonra soğuyup tekrar Dünya'nın daha derinlerine batmasıyla görece sessiz bir biçimde ilerleyebilirdi. Fakat eğer büyük bir asteroit tam yükselmekte olan manto sorgucunun üzerine düşseydi, meydana getirdiği eriyik kaya gölü yükselmekte olan sorguçtan daha sıcak olurdu ve böylece sorguç yön değiştirirdi. Eriyik göl genç levhaların kenarlarına ve (hayati bir biçimde) kenarların altına uzanırdı. Sorguç, kabuktaki bir çatlak yoluyla

yüzeye ulaşmak yerine zaten var olan levhanın altında yükselen sıcak bir magma sütunu haline gelirdi. Orada, kabuğu yararak onun üzerinde volkanik dağlar oluşturmak üzere biriken eriyik kayalarla kabuğun kalınlığını artıran ve bugün bildiğimiz levha tektoniğinin daha kuvvetli bir formunu harekete geçiren şiddetli volkanik etkinlik üretirdi. Durumun kesin geometrisine bağlı olarak, ana sorguçtan kopmuş daha küçük bir sorguç eriyik göl soğudukça ve katılaştıkça gölün diğer tarafında yüzeyi yarabilir ve yeni bir volkanik ada dizisi yaratabilirdi.

Bu senaryo çekici görünse de, Dünya tarihinin erken dönemlerinde levha tektoniğinin ve kıta yapımının hızlanmasının nedeni olduğu hiçbir şekilde kesin değildir. Fakat kesin olan şey, bizim bildiğimiz şekliyle levha tektoniğinin tam olarak gerçekleşmesi için ince bir kabuk ve bol miktarda suyun birleşiminin gerekli olduğudur. İnce kabuk, Ay'ı yaratan çarpışmanın bir mirasıdır; söz konusu çarpışmanın bir diğer mirası ise Dünya'nın, bizimkisi gibi bir medeniyetin oluşması için de gerekli olduğu ortaya çıkan yoğun, demir zengini çekirdeğidir.

## BİR KUVVET ALANI

Belli bir bilim kurgu hikâyesi türünde, uzay gemileri ve insanlar çoğunlukla kendilerini saldırganlardan koruyan neredeyse sihirli "güç alanlarıyla" çevrilidir. Bu güzel bir fikir, ama bu çeşit bir kalkanı üretmek için gerekecek muazzam miktarda enerjiden dolayı uzay gemileri ve insanlar ölçeğinde (böyle alanların var olduğunu varsaysak bile) çok uygulanabilir değil. Fakat bütün Dünya ve özellikle de Dünya'nın yüzeyindeki yaşam, gerçekten de uzaydan gelebilecek belli türde tehlikelerden, gezegenin derinliklerinde şiddetle dönen eriyik metal akıntıları tarafından yaratılan bu çeşit bir güç alanıyla korunmaktadır. Bu, Dünya'nın manyetik alanı ya da manyetosferidir ve üzerimize gelen asteroitlere karşı bize kalkan olamasa da bizi kozmik ışınlar olarak bilinen, uzaydan gelen tehlikeli yüklü parçacıklardan korur.

Ayaklarımızın altında yatan şeyleri anlamaya çalışmak, bazı yönlerden yıldızların nelerden meydana geldiğini anlamaktan daha zor bir görevdir. Yıldızlar uzakta olabilirler ama yıldızlardan gelen ışığı analiz edebiliriz ve spektroskopi kullanarak hangi sıcak atomların bu ışığı oluşturduğuna karar verebiliriz. Fakat deprembilimciler Dünya'nın içyapısını anlamada, depremlerle ilişkili olan titreşimlerin yerküreye yayılma yollarını inceleyerek büyük gelişme kaydetmişlerdir. Bu dalgalar farklı tipteki kayalarda farklı hızlarda yol alır ve bunlardan bazıları yüzeyden derinlerde hareket ederek dünyanın diğer tarafında saptanmadan önce gezegenin iç kısmından geçer. Ayrıca tıpkı ışık dalgalarının kırılıp cam parçası gibi bir nesne tarafından yansıtılması gibi kırılır ve yansırlar. Yeterli gözlemle, X ışınları kullanarak insan vücudunun iç yapısına ait bir görüntüyü oluşturmanın mümkün olması gibi dünyanın içyapısının bir görüntüsünü çıkarmak da mümkündür.

Yüzeyden aşağı doğru indikçe, Dünya'nın okyanus ve kıtasal kabuğu birlikte gezegenimizin hacminin sadece yüzde 0,6'sını ve kütlesinin de yalnızca yüzde 0,4'ünü oluşturur. Kabuğun hemen altında bulunan, manto olarak adlandırılan katman yaklaşık 2900 km derinliğe kadar uzanır ve Dünya'nın hacminin yüzde 82'sini oluşturur. Mantonun kendisi, üst ve alt manto olarak bir dereceye kadar farklı özellikleri olan iki bölgeye ayrılır, ancak bu farklılık Dünya'nın manyetik alanının üretilmesi söz konusu olduğunda önemli değildir. Bu çok daha derinlerde, Dünya'nın çekirdeğinde gerçekleşir. İç çekirdek çoğunlukla demir ve nikel olduğu düşünülen yaklaşık 2400 km çapında (1200 km yarıçapında) katı bir yığındır. Dolayısıyla iç çekirdeğin üst kısmı Dünya'nın yüzeyinin yaklaşık 5200 km altında kalır. Fakat burada bizi ilgilendiren bütün olaylar, iç çekirdeğin üst kısmından mantonun tabanına kadar uzanan (2300 km'lik bir uzunluk), demir ve nikel bakımından zengin sıvı bir katman olan dış çekirdekte meydana gelmektedir. Genel olarak çekirdek Dünya'nın hacminin sadece yüzde 17,4'ünü oluşturur (yaklaşık olarak Mars gezegeniyle aynı boyuttadır) ancak üstündeki bütün

maddelerin ağırlığı yüzünden sıkıştığı için öyle yoğundur ki Dünya'nın kütlesinin üçte birini barındırır.

Sismik araştırmalar dış çekirdeğin akışkan olduğunu göstermektedir ve laboratuvar deneyleri bize, orada mevcut olan basınç koşullarında demir-nikel karışımının sıvılaştığı sıcaklığın yaklaşık 5000°C olduğunu söyler. Öyleyse Dünya'nın manyetik alanını yaratmakla görevli şiddetli akıntıların gerçekleştiği sıvı materyalin sıcaklığı bu olmalıdır (Güneş'in yüzey sıcaklığının sadece küçük bir miktar altında).

Dünya'nın derinlikleri gezegen oluştuktan 4 milyar yıldan uzun bir süre sonra bile nasıl hâlâ bu kadar sıcak olabiliyor? Bunun nedeni kısmen gezegenin dış katmanlarının ısıyı içeride tutan bir battaniye gibi iyi bir yalıtım sağlamasıdır. Ama bunun sebebi aynı zamanda çekirdekte uranyum ve toryum gibi, bunca zaman sonra bile hâlâ bozunarak ısı yaymakta olan radyoaktif elementlerin bulunmasıdır. Çekirdekte radyoaktif elementlerin bulunması Güneş Sisteminin oluştuğu ortamdan ötürüdür; bunlar yakınlardaki bir süpernovanın kalıntıları ya da dev bir yıldızdan gelen rüzgârlarla zenginleşmiş bir materyal bulutundan kaynaklanmıştır. Bu bizimki gibi gezegenlerde, bizimki gibi medeniyetlerin çok yaygın olmayabileceğine dair bir başka göstergedir, çünkü Dünya boyutundaki gezegenler bile eriyik çekirdeklerden yoksun olabilir ve dolayısıyla manyetik güç alanlarından yoksundurlar. Bundan yaklaşık dört milyar yıl sonra Dünya'nın çekirdeğinin tamamı katılaşmış olacak ve Dünya manyetik alanını kaybedecek.

Manyetik alan, dış çekirdeğin içinde şiddetle dönen ve sonrasında manyetik alanlar üretecek elektrik akımları yaratan bir dinamo gibi hareket eden, elektrik iletkenliğine sahip metallerin fiziksel akımlarının bir sonucudur. Dünya'nın çevresindeki manyetik alanın işgal ettiği bölge, yani manyetosfer aslında gözyaşı damlası şeklindedir çünkü bir yüzü Güneş'ten gelen bir yüklü parçacık rüzgârı tarafından sıkıştırılırken diğer yüzü uzaya doğru genişler. Dünya'nın Güneş'e bakan yüzünde manyetosfer ile parçacık taşıyan

güneş rüzgârı arasındaki sınırı teşkil eden manyetopoz, gezegenimizin yüzeyinin üzerinde yaklaşık 10 Dünya yarıçapı mesafeye (60 bin km'den fazla) uzanmaktadır; diğer yüzde ise kabaca Ay'a olan mesafeye kadar, yani 60 Dünya yarıçapından öteye yayılmaktadır. Güneş rüzgârında bulunan protonlar gibi elektrik yüklü parçacıklar çoğu zaman saniyede birkaç yüz kilometrelik hızlarla hareket ederken, Güneş'in yaşadığı güneş fırtınası denilen etkinlik dönemlerinde ise saniyede yaklaşık 1500 km hızla ilerleyen patlamalar gerçekleşir. Dünya ve Güneş Sisteminin tamamı ayrıca uzayın derinliklerinden gelen kozmik ışın diye bilinen parçacıklar tarafından bombardımana uğrar.

Eğer tüm bu parçacıklar Dünya'nın yüzeyine ulaşacak olsaydı yaşama ciddi zararlar verebilirdi: esasen bunlar radyoaktiviteyle veya nükleer patlamalarda oluşan parçacıklarla aynıdır. Fakat elektrik yüklü oldukları için, Dünya'nın manyetik alanı tarafından atmosferin üst kısımlarında gaz molekülleriyle etkileşime girerek rengârenk auroralar (kutup ışıkları) oluşturdukları kutuplara doğru çekilirler.

Böyle olsa bile güneş fırtınaları boyunca bu parçacıkların Dünya'ya ulaşmasıyla oluşan elektriksel etkinlik iletişimi kesintiye uğratıp manyetik alanı yerel olarak öylesine bozar ki Kanada gibi yüksek enlemlerde bulunan ülkelerde enerji nakil hatları etkilenebilir ve elektrik kesintileri gerçekleşebilir. Ayrıca güneş rüzgârı parçacıklarının güç yoğunluğundaki bir artış, iletişim uyduları dahil uyduları etkisizleştirebilir ve o anda uzayda bulunacak denli şanssız herhangi bir astronot için bir sağlık tehdidi oluşturabilir. Öyleyse manyetik alanın toptan kaybolması ne kadar kötü olabilirdi ki? Anlaşılan o ki, tam olarak ne kadar kötü olabileceğini biliyoruz; çünkü bu daha önce gerçekleşti, hem de bir kereden fazla.

Şiddetle dönen eriyik metal akıntılarıyla meydana gelen bir manyetik alandan bekleyebileceğiniz gibi, Dünya'nın manyetik alanı sabit değildir. Zaman zaman gücü değişiklik gösterir ve manyetik kutupların kesin konumları Dünya'nın yüzeyi boyunca yer değiştirir. Geçmişe dair manyetizma ka-

yıtları farklı zamanlarda oluşan kayaçlarda korunmuştur; eriyik kayalar katılaşırken manyetik alan içlerinde hapsolur, böylece günümüzdeki kayaç (bir fosil gibi) uzun süre önce var olmuş manyetik alanın hem kuvveti hem de yönüne dair işaretleri muhafaza eder. Bu tür kanıtlar yoluyla, manyetik alanın değişme biçimi jeologlar tarafından yeniden kurgulanabilir ve söz konusu dönemde yaşamın neye benzediğine dair fosil bulgularıyla karşılaştırılabilir.

Anlaşılmayan birtakım nedenlerle zaman zaman manyetik alan yavaş yavaş azalarak tamamen ortadan kaybolur ve ardından ya öncekiyle aynı düzende ya da manyetik kutupların yer değiştiği bir durumda tekrar oluşur; bu yüzden eskiden manyetik kuzey kutbu olan nokta, manyetik güney kutup haline gelirken, güney manyetik kutup da kuzey manyetik kutup haline gelir. Fosil kayıtları, manyetik alan yok olduğunda gezegenin yüzeyindeki birçok yaşam türünün neslinin tükendiğini gösteriyor. Bunun gözle görünen açıklaması, özellikle karada yaşayan canlıların manyetik tersinmeler sırasında Dünya yüzeyine ulaşan ışınımla ortadan kaldırıldıkları yönündedir. Gerçekte ise, aradaki kesin bağlantının ne olduğunun bir önemi yok. Önemli olan, manyetik alanın yokluğu ile gezegenimizin yüzeyindeki ölümler arasında bir bağlantı bulunması. Çok net söyleyebiliriz ki koruyucu bir manyetosferin varlığı, Dünya üzerinde bizim gibi yaşam formlarının evrimleşmiş olmasına olanak tanınmasında önemli bir faktördür.

Bir tersinmenin tamamlanması normalde birkaç bin yıl sürer. Manyetik alan bir kez belli bir yönelimde karar kılınca, 100 bin yıl kadar kısa bir zaman ya da on milyonlarca yıl kadar uzun bir zaman boyunca aynı şekilde kalabilir. Bazen yaklaşık bir milyon yıl içinde dört-beş kez ters dönüşün gerçekleştiği tersinme patlamaları bile meydana gelir ve bunlar daha aşırı soy tükenmesi örnekleriyle ilişkili olma eğilimindedir. Eğer böyle şeyler hakkında endişelenmek isterseniz, Dünya'nın manyetik alanının günümüzde zayıflamakta olduğuna ve bunun binlerce yıldır devam etmekte olduğuna dair kanıtlar var; eğer bu eğilim devam ederse jeolojik standartlara göre çok yakın bir zamanda yok olacak.

Öyleyse burada oluşumuzun bir başka nedeni Dünya'nın güçlü bir manyetik alana sahip olması; güçlü bir manyetik alana sahip olmasının nedeni ise Dünya'nın Ay'ın oluştuğu çarpışmanın bir sonucu olarak oluşan büyük metalik bir çekirdeğe sahip olmasıdır. Aslında Ay'a müteşekkir olmamızı gerektiren yığınla neden var. Ve bu hiçbir şekilde en sonuncusu değil. Bununla birlikte, Ay'ın Dünya'nın medeniyete elverişli bir yuva olarak korunmasındaki süregiden rolüne bakmadan önce, Venüs'ün ve Mars'ın, Dünya'yı özel kılan jeolojik özelliklerden yoksun oldukları için nasıl zarar gördüklerine bakmaya değer.

## VENÜS VE MARS

Gördüğümüz gibi, Venüs boyut açısından neredeyse Dünya'nın ikizidir ve benzer jeolojik hareketlere sahip olması beklenebilir. Fakat durum bu değil. Bunun açıklaması kısmen Venüs'ün karbondioksit bakımından zengin, kalın atmosferinin gezegende kontrolden çıkmış bir sera etkisini başlatması ve gezegeni levha tektoniği süreçleri için yağdanlık vazifesi gören diğer şeylerle birlikte sudan da yoksun bırakmasıdır. Fakat tüm hikâye bu değil; Venüs, bizim burada Dünya üzerinde bildiğimiz anlamda levha tektoniğini yaşamış gibi görünmüyor. Venüs, artık yörüngesinde bulunan uzay sondaları tarafından radarla baştanbaşa haritalanmış durumdadır; böylece yüzeyini en ince ayrıntısına kadar "görebiliriz." Yüzeyinde, iç kısımdan gelen eriyik materyalin kabuğu yardığı volkanik hareketlerin kanıtlarına sahip dağlık alanlar ve alçak araziler olmasına rağmen, yanlamasına hareketin olduğuna dair herhangi bir kanıt bulunmamaktadır – yani ortada Venüs kıta kayması diye bir şey yok.

Venüs'ün yüzeyinin garip bir özelliği, Ay'ın, Merkür'ün ve Mars'ın yüzeyleri kadar yoğun kraterli olmamasıdır. Bu diğer cisimlerin –özellikle de Ay'ın– yüzeyine dair araştırmalar, çarpışmaların Geç Dönem Ağır Bombardımandan beri gerçekleşmeye devam etme sıklığını açığa çıkarmıştır. Bulgular iç Güneş Sistemi boyunca Mars'tan Merkür'e kadar

olan bölgeden elde edilir, öyleyse Venüs de aynı türde uzun süreli bir bombardıman yaşamış olmalıdır. Fakat Venüs'ün yüzeyinde Geç Dönem Ağır Bombardımanın kendisinin veya onu izleyen üç milyar yıl içinde gerçekleşen herhangi bir şeyin izine rastlanmaz; yalnızca Venüs'ün yaklaşık olarak son 700 milyon yılda almış olduğu düşünülen darbelerin sayısına denk gelen, diğerlerinden daha az sayıda krater vardır. Buna getirilebilen en iyi açıklamaya göre, Venüs'ün içindeki eriyik kaya, yaklaşık 700 milyon yıl önce küresel ölçekte yıkıcı bir olayda kabuğu yararak, soğuyup düz bir yüzey halinde katılaşmadan önce tüm gezegene yayıldı ve önceki darbelerin izlerini silerek üzerinde meteoritlerin kendi izlerini yeniden bırakmaya başlayabileceği temiz bir sayfa açmış oldu.

Bu açıklama, Venüs'ün kalın bir kabuğunun olması –Ay'ın oluşumuna neden olan çarpma olmasaydı Dünya'nın kabuğunun olacağı kalınlıkta– koşuluyla geçerlidir. Kalın ve yalıtkan kabuk, radyoaktivitenin sıcaklığı kritik bir eşiğe erişilene ve tüm yüzey çatlayıp magma baskınına uğrayana dek artırdığı gezegenin sıcak iç kısmını kapatır. Açığa çıkan ısıyla gezegen kararlı hale gelir, yüzey katılaşır ve tüm süreç yeniden başlar. Venüs'ün yüzeyi Güneş Sisteminin oluşumdan beri birkaç kez bu şekilde yeniden oluşmuş olabilir. Bu tür bir yeniden yüzey oluşumu Dünya üzerinde aynı ölçekte asla meydana gelmez, çünkü ısı iç kısımdan magmanın yüzeye yükseldiği yayılma zonlarında istikrarlı bir şekilde dışarı kaçmaktadır.

Bu görüşü destekleyen bulgular ilk anda ilgisiz gibi görünen bir gerçekten geliyor – Venüs'ün kayda değer bir manyetik alanı yoktur. Bu, büyük ve metal yönünden zengin bir çekirdekten yoksun olduğu anlamına gelir. Dünya'nın hem büyük madeni çekirdeği hem de ince kabuğu, Ay'ı yaratan çarpışmadan kaynaklanmıştır; geçmişinde böyle bir çarpışma yaşamayan Venüs, kalın bir kabuğa sahipken, büyük madeni bir çekirdekten yoksun kalmıştır. Ay olmasaydı muhtemelen Dünya'nın sonu da Venüs gibi olurdu ve biz burada olmazdık.

Mars da bizimki gibi bir levha etkinliğinden ve kayda değer bir manyetik alandan yoksundur, ancak farklı neden-

lerle. Mars, Dünya'nın çekirdeğinden daha büyük olmayan, küçük bir gezegendir, bu yüzden çabuk soğumuştur. Sadece küçücük bir çekirdeğe ve az miktardaki iç ısıya sahip olduğu için, ne bir manyetik alan yaratmak için gerekli olan şiddetle dönen eriyik metali, ne de Dünya üzerinde kıtasal kaymaya yol açan konveksiyon akımlarını barındırabilmiştir. Onun yerine, eskiden var olan ısı çok uzun dönemler boyunca muazzam büyüklükte volkanlar oluşturmuş olan sıcak noktalarda Mars'ın iç kısmından kaçmıştır. Bunlara, Güneş Sisteminin en büyük volkanı olan, Arizona eyaleti büyüklüğünde bir alanı kaplayan ve Mars'ın deniz seviyesi eşdeğeri olan "ortalama" yüzeyden 26 km yüksekliğe erişen Nix Olympica† da dahildir. Bu ve neredeyse eşit ölçüde etkileyici olan diğer Mars volkanları, yüzeyin altında geri kalan ısı sayesinde çok yavaş biçimde hâlâ yükselmektedirler.

Venüs'ün aksine, Mars çok ince bir atmosfere sahiptir. Hayatına çok daha kalın bir atmosferle başlamış olabilir –hatta bir zamanlar okyanusları olduğuna dair bulgular bile var– ama (küçük boyutundan kaynaklanan) zayıf kütleçekim kuvveti ile bir manyetik alan eksikliğinin birleşimi, gazın çoğunun kaçmasına neden olarak gezegeni bir derin donma haline itmiştir. Manyetik alan yokluğu, güneş rüzgârı parçacıklarının atmosferi delip geçebilmesi ve çağlar geçtikçe onu yıpratması anlamına gelirken, zayıf kütleçekim kuvveti bu yıpratmanın atmosferi yok etmesini kolaylaştırır. Venüs de aynı şekilde yıpratılmaktadır, ancak kaybedecek bol miktarda atmosfere ve onun üzerinde daha güçlü bir kütleçekim etkisine sahiptir.

Venüs kadar kalın bir atmosferi olmadan, eğer Dünya güçlü bir manyetik alana sahip olmasaydı, güneş rüzgârının yıpratıcı etkisinden önemli ölçüde etkilenirdi; ancak bu aslında konumuzla ilgili değildir, çünkü Dünya yalnızca ancak Ay var olmasaydı ve gezegen daha çok Venüs'e benziyor olsaydı bir manyetik alandan yoksun olurdu. Şimdi artık büyük bir uyduya sahip olmanın başka yararlarına eğilme vakti.

† Olympus Mons –çn.

## BİR GEZEGEN SABİTLEYİCİSİ

Çapına bakıldığında, Ay Dünya'nın dörtte birinden daha büyüktür. Dünya'nın kütlesinin yalnızca yaklaşık seksende biri kadardır, ama bu gene de gezegenin kütlesine oranla Güneş Sisteminin büyük gezegenlerinin diğer tüm uydularının oranından çok daha büyüktür. Sonuç olarak, Ay'ın Dünya üzerindeki kütleçekim etkisi gezegenimizin gelişimine çok büyük bir etki yaptı, yapmaya da devam ediyor. Ay'ın kökeninin levha tektoniği için önemiyle beraber, eşlikçimizin üç temel etkisi eğim, gelgit ve tektonik olarak özetlenebilir. Hatta bunların üçüncüsü bile Ay'ın çekim kuvvetine bir şeyler borçludur.

Eğim Dünya'nın yörüngesindeki eğilme oranına karşılık gelir. Gezegenimiz, kuzey kutuptan güney kutba doğru içinden geçen çizgi Güneş etrafındaki yörüngesinin düzlemiyle dik açı yapacak biçimde dik durmak yerine bu dik pozisyona göre 23,5 derece eğik haldedir. Bu eğim, mevsimlerin döngüsünden sorumludur. Dünya uzayda her zaman aynı yöne eğimli durmaktadır, bu yüzden Güneş'in çevresinde dönerken Güneş ilk olarak bir yarıkürenin eğik durduğu tarafta bulunur ve o yarıkürede yaz mevsimi yaşanır, diğer yarıkürede ise kış mevsimi yaşanır. Altı ay sonra ise durum tersine döner. Eğim ayrıca buzul çağlarının ritminde de rol oynar – bundan daha sonra bahsedeceğiz.

Dünya'nın eğimi on binlerce yıllık dönemler içinde az miktarda değişse de bu değişim çok fazla olamaz, çünkü Ay'ın kütleçekim etkisi, bir sabitleyici işlevi görür. Eğer bu kadar büyük bir uydumuz olmasaydı veya Ay Dünya'dan çok daha uzakta olsaydı, Güneş ile Jüpiter'in (ve daha az ölçüde diğer gezegenlerin) birleşik etkisi Dünya'yı çekerek uzayda tepetaklak edebilirdi, öyle ki aniden yörüngesinde neredeyse dik durumda olmaktan çıkarak tamamen yatay durumda olmaya geçebilirdi ("aniden" ifadesi, bu zaman cetvelinde 100 bin yıl kadar kısa bir zaman dilimini anlatıyor). Bu tür bir davranış, terimin matematiksel anlamıyla kaotiktir, yani Dünya üzerinde etki gösteren çeşitli güçlerdeki küçük değişiklikler büyük ve tahmin edilemez etkiler doğurur. Tam

böyle bir kaotik devrilme, büyük bir uydunun bulunmadığı ve eğimin aniden en az 45 derece ve daha yavaş bir şekilde 60 dereceye kadar değişebileceği Mars'ta yaşandı. Fakat Dünya'nın eğimi temel olarak en azından yüzlerce milyon yıldır, belki de çok daha uzun bir süredir sabit kalmıştır.

Dünya'nın aniden örneğin Kuzey Kutbu doğrudan Güneş'e bakacak şekilde bir tarafa devrilmesi durumunda yeni başlamış bir teknolojik medeniyetin nasıl etkileneceğini değerlendirmek pek fazla hayalgücü gerektirmez. Okyanuslar ve ekvatorun etrafındaki karalar donardı ve yüksek enlemlerde her yarıküre sırasıyla kavurucu yazlar, ardından dondurucu kışlar yaşardı. Dünya yörüngesinde Güneş'e yanlamasına dururken bile ekvatoral bölgelerde buz hiç erimezdi, çünkü parlayan buzlu ve karlı yüzey, gelen güneş ısısının büyük kısmını yansıtırdı. Tropikler elbette Dünya üzerinde yukarıdaki durumda birçoğu ortadan kalkacak olan türlerin ezici birçoğunluğuna ev sahipliği yapmaktadır. Öyle görünüyor ki eğimdeki kaotik değişimler karasal gezegenler için normaldir ve tek başına bu, şans eseri büyük bir uydusu olan bir gezegende teknolojik bir medeniyetin ya da karaya dayanan herhangi bir karmaşık yaşam türünün ortaya çıkışıyla ilişkili olabilir.

Ay Dünya'dan yavaşça uzaklaştığı için bu sabitleyici etki zamanla azalacaktır, bu da Dünya üzerinde bizimki gibi bir medeniyetin oluşabileceği fırsat penceresini sınırlar. Ay oluştuğu zaman Dünya'ya çok daha yakındı; Ay'ın yörünge hareketinin enerjisi gelgitleri tetiklemeye harcandığı için Dünya'dan devamlı olarak uzaklaşmaktadır. Şu anda yılda 4 cm kadar dışarı doğru hareket ediyor ve 2 milyar yıl içinde artık Dünya'nın eğimini sabitleyemeye gücü yetmeyecek. Bu, gökbilimde –hatta bilimde– açıklaması yok gibi görünen ve tek kelimeyle kafa karıştırıcı olan en ilginç rastlantılardan birisiyle bağlantılıdır. Ay, tam şu anda Güneş'ten yaklaşık 400 kat küçüktür ama Güneş, Dünya'dan Ay'a göre yaklaşık 400 kat daha uzaktadır, öyle ki gökyüzünde ikisi de aynı büyüklükte görünür. Kozmik zamanın içinde bulunduğumuz anında, bir tutulma esnasında Ay'ın diski Güneş'in diskini

neredeyse tamamen örter. Geçmişte, Ay çok daha büyük görünürdü ve tutulmalarda Güneş'i tamamen karartırdı. Gelecekte ise Ay Dünya'dan bakıldığında çok daha küçük görünecek ve bir tutulma esnasında bile bir güneş ışığı halkası görülebilir olacak. Hiç kimse, bu tuhaflığı fark edebilecek zeki varlıkların Dünya'da tam da o tuhaflığın fark edilebileceği zamanda evrimleşmiş olmasına dair bir neden öne sürememiştir. Bu beni endişelendiriyor, ama çoğu insan bunu sıradan bir şey olarak kabullenmiş gibi görünüyor.

Gelgitler daha az kaygı vericidir çünkü iyi anlaşılmışlardır. Üstelik yaşamın denizde oluşup karaya çıkışında önemli bir rol oynamış olmalıdırlar. Dünya'daki gelgitler temel olarak Güneş'in ve Ay'ın kütleçekim etkisiyle oluşur; prensipte diğer gezegenlerin küçük etkileri vardır, ancak fark edilemeyecek kadar küçüktür bunlar. Hem Güneş hem de Ay, okyanusların ve kara parçalarının alt taraflarında ve gezegenin tam ters tarafında yukarı doğru şişkinleşmesine neden olur (uzak taraftaki şişkinliği Ay'a ya da Güneş'e doğru çekildikçe Dünya'nın esnemesiyle bağlantılı olarak düşünebilirsiniz). İkisi arasında deniz alçalması meydana gelir. Kendi başlarına ay gelgitleri güneş gelgitlerinden yaklaşık iki kat büyüktür. Ancak iki gelgit hareketi, ayın farklı zamanlarında birleşir ya da birbirlerini kısmen sıfırlar. Yeniayda ve dolunayda Dünya ve Güneş düz bir çizgi üzerindedir ve gelgitler birleşir. Bu, yüksek gelgit (spring tide[‡]) olarak bilinen çok yüksek gelgitlere sebep olur. Dördünlerde Güneş, Dünya ve Ay bir dik açı yapar ve güneş etkisi ayın etkisini yarı yarıya söndürerek alçak gelgit olarak bilinen çok daha az etkileyici yüksek gelgitler oluşturur. Kıyı şeritlerinin biçimlerinin neden olduğu yerel farklılıklara da rastlanır, fakat bu esas olarak, Dünya Güneş'in ve Ay'ın altında dönerken Dünya üzerindeki her yerin gün boyunca iki yüksek ve iki alçak gelgite sahne olması anlamına gelir.

‡ İngilizce literatürdeki 'spring tide' yüksek gelgit olarak tercüme edilmektedir. Bu terim aslen "aniden/bir anda ortaya çıkmak ya da gelişmek" anlamına gelen 'spring up' kelimesinden gelir ve bahar mevsimi anlamına gelen 'spring' kelimesiyle bir ilgisi yoktur –çn.

Bugün bile okyanus kabarmaları etkileyici görünüyor ve bazı açılardan "katı" Dünya'daki gelgitlerin yaklaşık 20 cm genliğe sahip olması daha da etkileyici. Ayağınızın altında uzanan yer, günde iki kere bu aralıkta yükselip alçalıyor, ancak yerle birlikte hareket ettiğiniz için fark etmiyorsunuz. Dünya şu anki yörüngesinde olduğu sürece Güneş etkisi sabit olmuştur. Fakat Ay Dünya'ya daha yakınken, hem denizlerde hem de katı Dünya'da oluşturduğu gelgitler de buna uygun olarak daha büyüktü.

Ay'ın oluştuğu olaya dair simülasyonlar, Ay'ın bugünkü 384 bin km'nin hemen üstündeki uzaklığına kıyasla Dünya'dan 25 bin km'den daha uzakta olmayan bir enkaz halkasından oluştuğunu ortaya koyar. Bu, mevcut Ay-Dünya mesafesinin onda birinden daha az. Eğer o zaman okyanuslar var olmuş olsaydı bu, okyanuslarda devasa gelgitlere yol açardı, ama görünüşe göre katı yeryüzünün tekrar tekrar esnemesi ve sıkışması, bir kilometreden daha yüksek katı gelgitlerle birlikte yüzeyi çarpışmadan sonra bir süre daha eriyik halde tutacak kadar ısı açığa çıkarırdı. Fakat açığa çıkan çok büyük miktarda enerji, Ay'ın görece hızlı biçimde dışarı doğru hareket ettiğine şahit olurdu ve Dünya'nın kabuğunun bir milyon yıl içinde oluşması (veya yeniden oluşması) için her şey yerli yerine otururdu. Öyle bile olsa, Dünya içinde ay gelgitlerinin ürettiği ısı önemli ölçüde korunurdu ve radyoaktiviteden kaynaklanan ısıyla birlikte, Dünya üzerinde tektonik hareketlerin oluşumuna katkıda bulunurdu.

Dünya aynı zamanda Ay'ı oluşturan çarpışmadan hemen sonra, bu çarpışmanın doğrudan etkisi sonucunda kendi etrafında çok daha hızlı dönüyordu. Ay bizden uzaklaştıkça, gelgit kuvvetleri Dünya'nın dönüşünü yavaşlatmıştır. Ay oluştuktan hemen sonra Dünya üzerindeki bir gün sadece beş saat uzunluğundaydı. O dönemde, her 12 saatte bir gerçekleşen 2 metre yüksekliğinde gelgitler yerine, her iki buçuk saatte bir, birkaç kilometre yüksekliğinde gelgitler yaşanıyordu. Ama bu aşırı gelgitler fazla uzun sürmedi. Makul ölçüde karmaşık ilk bitki formlarının denizden karaya çıkışı 500 milyon yıldan biraz daha uzun bir süre önce gerçekleşti.

Bir de hatırlanmaya değer bir sayısal tesadüf eseri, yaklaşık 400 milyon yıl önce bir yıl aşağı yukarı 400 gün sürüyordu; yani karmaşık yaşamın denizden çıkışı gelgit koşullarının bugünkünden çok da farklı olmadığı zamanlarda gerçekleşti. Karaya geçiş yapan bitkiler ve daha sonrasında da hayvanlar, bunu gelgit bölgelerinden dağılma yoluyla gerçekleştirebilmişlerdi. İlk önce, yüksek gelgitler arasındaki sürelerde günde iki kere kuruduklarında hayatta kalma yeteneğini kazandılar, sonra da bazıları tümüyle gelgit çizgisinin üstünde hayatta kalabilecek şekilde evrimleşti. Bu, yırtıcıların bulunmadığı çok geniş alanlara yayılma ve onları kolonileştirme becerisi kazandıran muazzam bir evrimsel avantaj sağlamış olmalı. Şüphesiz çok geçmeden yırtıcılar da onları takip etti! İyi de ama tüm bunlar, büyük Ayımızla ilişkili gelgitler olmasaydı bu kadar kolay gerçekleşir miydi?

Ne kadar bakarsak, Ay varlığımız için o kadar önemli görünüyor. Bu yüzden, levha tektoniğine biraz daha farklı bir açıdan ve Dünya üzerindeki levha tektoniğinin, Ay'ı oluşturan çarpışma ile Ay'ın Dünya'nın iç kısmının sıcak tutulması ve konveksiyon akımlarının tetiklenmesi üzerindeki süregelen etkisinin doğrudan bir sonucu olduğunu akılda tutarak tekrar bakmaya değer.

## LEVHA TEKTONİĞİ VE YAŞAM

Peter Ward ve Donald Brownlee, levha tektoniğini temelde "bir dünyaya su tedarikini sürdürmek için gerekli olduğu" için "bir gezegen üzerinde yaşamın başlıca şartı" olarak tanımlar. Ancak levha tektoniğinin yaptığı ilk şey, Dünya'ya karaları kazandırarak potansiyel bir su dünyasını okyanus ve kıtaların olduğu bir yere dönüştürmek oldu. Kıtalar olmasaydı, kara temelli bir yaşam olmazdı. Ne yıldızlara bakabilir, ne teknolojik bir medeniyet inşa etmek üzere maden çıkartabilir, ne de evrenin bir başka yerindeki yaşam olasılığı hakkında kafa yorabilirdik. Levha tektoniğinin dünyamızın su kaynağının sürdürülmesiyle olan ilişkisi, Dünya'nın sıcaklığını sıvı suyun bulunabileceği aralıkta tutmada ve su-

yun okyanus ile kara arasındaki döngüsünde önemli bir rol oynamasıdır.

Bir gezegenin yüzeyindeki sıcaklık, ana yıldızından ne kadar ısı aldığına, ısının ne kadarının uzaya geri yansıdığına ve gezegen atmosferinin ısının ne kadarını tutabildiğine (sera etkisi) bağlı olarak değişir. Eğer atmosferi olmasaydı Dünya'nın sıcaklığının nasıl olacağına dair uygun bir göstergemiz var ve bunda yalnızca ilk iki etmen etkili olmuştur; Ay, Dünya'nın yüzeyiyle aynı materyalden oluşur, Güneş'e temel olarak bizimle aynı uzaklıktadır ve atmosferi yoktur. Havaya sahip olmayan Ay'ın yüzeyindeki ortalama sıcaklık eksi 18°C'dir ama Dünya'nın yüzeyindeki ortalama sıcaklık artı 15°C'dir. Bu 33°C'lik farktan Dünya atmosferinin sera etkisi sorumludur. Sera etkisinin boyutu Dünya'nın atmosferindeki karbondioksit, metan ve su buharı gibi gazların yoğunluğuna bağlıdır (atmosferin ana bileşeni olan nitrojen bu şekilde ısı tutmaz ve zaman zaman "küresel termostat" olarak adlandırılan olguya katkıda bulunmaz). Ayrıca bu sera gazlarının yoğunluğu büyük oranda levha tektoniğiyle düzenlenir ya da insan etkinlikleri doğal döngüleri etkilemeye başlayana kadar böyle düzenlenirdi.

Sera gazları, özellikle de karbondioksit ve su buharı, sıcak bir iç kısma sahip olabilecek kadar büyük herhangi bir kayalık gezegende volkanik hareketlerle açığa çıkar. Gazlar, gezegenlerin meydana geldiği kayalık materyalin içinde bulunan kimyasal bileşenlerden gelir. Levha tektoniğinin veya sıvı suyun bulunmadığı Venüs gibi bir gezegende, bu gazların gidecek hiçbir yeri yoktur ve atmosferde birikirler, dolayısıyla sera etkisi zamanla daha da güçlenir. Fakat Dünya gibi, levha tektoniğinin ve sıvı suyun olduğu bir gezegende, durum daha karmaşıktır. Karbondioksit suda çözünür ve bunun ardından kayalardaki minerallerle, özellikle de silikatlarla tepkimeye girerek kalsiyum karbonat, yani kireç taşı üretir. Kimyasal süreç 4 metreden daha az derinlikte olan sığ denizlerde özellikle etkili biçimde işler. Gerçekte karbondioksit kayaya dönüşmüştür, bu yüzden artık sera etkisine katkıda bulunamaz; boyut bakımından Dünya'nın neredeyse

ikizi olan Venüs'ün atmosferindeki karbondioksit miktarıyla Dünya üzerindeki tüm karbonatlı kayaçlarda hapsolmuş karbondioksit miktarının aşağı yukarı aynı olması tesadüf değildir.

Ama daha fazlası da var. Eğer sürece dahil olan su daha sıcaksa, aşınma daha hızlı ilerler. Bu yüzden Dünya biraz ısınırsa, atmosferden daha fazla karbondioksit atılarak sera etkisi azalır, böylece gezegen soğur. Gezegen soğudukça aşınma daha az etkili hale gelir ve havada daha fazla karbondioksit kalarak yerküreyi tekrar ısıtır. Bu, olumsuz geri besleme olarak bilinen olguya bir örnektir; sıcaklığın dalgalanma şekli ne olursa olsun, doğal eğilim onu tekrar uzun vadeli ortalamaya geri itmek yönündedir. Levha tektoniği burada hikâyeye geri dönüyor, çünkü aşınmayla üretilen materyal denize taşınır ve okyanus tabanında çökelti olarak birikir. Orada, okyanus taşıma bandı tarafından bir kıtanın kabuğunun altına doğru itildiği ve aşağıdaki sıcak materyalin içinde tekrar eridiği dalma-batma zonlarına taşınır. Karbondioksitin bir kısmı bu süreçte salınır ve dalma-batma zonlarıyla bağlantılı olan volkanlar yoluyla atmosfere geri döner. Fakat bu hareketle doğan sıradağlar, yağmuru ve aşınmayı destekleyerek karaların üzerinde karbonatlı kayaçlar oluşturur ve karbonatı tekrar denize taşır. Levha tektoniğinin etkisi, tüm geri besleme döngüsünü hızlandırmaktır; böylece sıcaklıktaki değişimlere jeolojik standartlara göre hızlı yanıt verebilir ve bir aşırı uçtan diğerine şiddetli salınımları önleyebilir. Bu süreç o kadar verimlidir ki, eğer Dünya yavaş yavaş Mars'ın yörüngesine doğru hareket edecek olsaydı, atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu bugünkü değerinin yaklaşık on iki bin katına çıkardı ve gezegeni sıvı su ve yaşam için yeterince sıcak tutan güçlenmiş bir sera etkisi olurdu.

Yine de bunların tümü, ancak gezegende karaların yüzeyin üstüne çıkmasını mümkün kılacak sığ bir su tabakası olursa etkin biçimde işler. Eğer gezegenin tamamı derin okyanusla kaplı olsaydı (bu, suyun Güneş Sistemi gençken Dünya'ya çarpışmalar yoluyla geldiği düşünüldüğünde ta-

mamıyla mümkün görünüyor), üzerinde bizim gibi yaşam formlarının evrimleşebileceği hiçbir kara parçası bulunmamasından başka, içinde karalardan materyal akışını da içeren kimyasal süreçlerin bol miktarda karbonat bırakabileceği sığ denizler de bulunmazdı. Güneş'in sıcaklığı arttıkça, yeryüzü su buharlaşıp ortadan kalkana dek ısınırdı. Bununla birlikte, Dünya üzerinde şu anda olduğundan önemli ölçüde daha az su ve buna karşılık daha fazla kara olsaydı, sıcaklıkta aşırı dalgalanmalara yönelik bir eğilim olurdu (çünkü kara, denizden daha çabuk ısınır ve soğur). Bir yandan da artan kıtasal aşınma karbondioksiti atmosferden çekerek gezegeni soğutur ve aşırı buzullaşmaya neden olurdu.

Gerçek Dünya'da yaşam da hikâyeye eklenir, çünkü hem yaşam karada aşınmayı artırır, hem de küçük deniz canlıları kabuklarını öldüklerinde deniz yatağında biriken karbonatlardan yaparlar; tüm kireçtaşı yarları gibi Dover'ın meşhur beyaz yarları da bu şekilde yığılan sonsuz sayıda küçük deniz kabuğu kalıntısından oluşur. Tüm bu süreçlerin Dünya gibi yaşayan bir gezegen üzerinde birbiriyle etkileşme şekli en kapsamlı biçimde James Lovelock tarafından incelenmiştir ve ayrıntılar kitaplarında bulunabilir; Wallace Broecker'ın *How to Build a Habitable Planet* (Yaşanabilir Bir Gezegen Nasıl Oluşturulur) adlı yapıtı da konu hakkında bir kısım bilgi içerir. Yine de burada önemli olan şey, işin içinde başka etkenler olsa da, levha tektoniği olmadan Dünya'nın bizim gibi varlıkların evrildiği milyarlarca yıl boyunca sıvı suyun varlığı için gereken aralıktaki bir yüzey sıcaklığını sürdüremeyecek olmasıdır. Dünya muhtemelen Venüs gibi sıcak bir çöl haline gelirdi; düşük bir olasılıkla da Ay kadar soğuk donmuş bir dünya olurdu.

Bunun hepsi, levha tektoniğinin Dünya üzerinde dengeyi sağlamasının bir örneğidir. Fakat yaşam söz konusu olduğu zaman, onun bir başka anahtar rolü değişimi desteklemektir! Kıtaları ve denizleri olan, ama herhangi bir kıtasal kaymanın, dağ oluşumunun, iklim değişikliğinin olmadığı Dünya büyüklüğünde bir gezegen hayal edin. Bir denge durumunda sabit olarak kalırdı. Böyle bir gezegende yaşam var

olabilirdi, ama her tür kendi ekolojik yaşam alanına zarifçe uymuş olurdu; kendi yaşam şekline daha iyi uyum sağlamak dışında değişmeye ve evrimleşmeye gerek duymayabilirdi. Dünya üzerinde yaşamın uzun tarihi boyunca gerçekten de az çok buna benzer zamanlar yaşandı. Fakat aynı zamanda kıtaların çarpışarak yeni dağ sıralarını oluşturduğu, yağış biçimini değiştirdiği ve ayrı kıtalarda –aslında ayrı dünyalarda– yaşayan türleri birbirleriyle etkileşime ve rekabete soktuğu zamanlar da oldu. Ve kıtaların ayrılarak her kıtada ayrı çevreler yarattığı, eskiden tek bir tür oluşturan canlının neslinden gelenleri yeni yuvalarına uyum sağlarken kendi özel evrimsel yollarını izlemeye zorlanan iki popülasyona ayırdığı zamanlar da oldu.

Charles Darwin, evrim mekanizması ve doğal seçilime dair büyük kavrayışını yakın akrabalıkları olan kuş türlerini Galapagos'un etrafındaki adalarda farklı yaşam türleri sürmeye iten, farklı koşullara uyum sağlama biçimlerini gözlemleyerek kazanmıştı. Fakat eğer o adaların tümü birbirinin eşi olsaydı kuşların hepsi de aynı tür yaşam biçimine uyum sağlamış olurdu ve aralarında Darwin'in fark edeceği hiçbir farklılık olmazdı

Derin okyanusun yerkürenin levha tektoniğiyle ilişkili değişikliklerden en az etkilenen parçası olması ve yeryüzünün en az tür çeşitliliğine sahip parçası olması tesadüf değildir. Sekizinci bölümde üzerinde duracağım gibi, kendi türümüzün kıtasal kaymanın yerkürenin iklimini değiştirdiği bir zamanda, Afrika'nın tektonik hareketler sonucunda ayrılmakta olan bir parçasında evrimleşmesi de tesadüf değildir.

Sonuç olarak, levha tektoniğinin Dünya'yı özel kılan en önemli tek etmen olduğu görüşü kuşkusuz görünüyor. Ve Caltech'ten David Stevenson'ın dediği gibi, gezegenler düşünüldüğünde "levha tektoniği ne zorunlu ne de yaygın." Fakat Dünya'da levha tektoniğinin olmasını sağlayan tek başına en önemli etken Ay'dır; Ay'ı doğuran çarpışma Dünya'nın elinde ince bir kabuk kalması anlamına geliyordu ve Dünya'nın iç kısmının gelgite bağlı ısınması, Dünya gençken tektonik hareketleri ateşlemeye yardımcı olmuştu. Ay aynı zamanda

Dünya'nın uzayda tepetaklak olmasını engelleyen bir gezegen sabitleyicisi olarak hareket etmiştir ve gezegenimize çarpabilecek kozmik atık parçalarının bazılarının yoluna çıkarak bizi korumuş da olabilir Bu, Dünya'yı üzerinde teknolojik bir medeniyetin gelişebileceği uygun bir gezegen haline getiren tek başına en önemli etmenin Ay olduğu anlamına geliyor. Ve bizimkine benzer uydular gerçekten az bulunur. Güneş'in ortaya çıkışından 30 ila 50 milyon yıl sonra gerçekleşen Ay'ın oluştuğu türde çarpışmalar, bir gezegen sisteminin çevresine büyük miktarlarda toz saçmış olmalıdır. Gene de Spitzer kızılaltı uzay teleskobunu kullanan gökbilimciler, Güneş'in Ay oluştuğu zamanki yaşıyla aşağı yukarı aynı yaştaki yıldızlara baktıklarında, dört yüz adaydan yalnızca birinde bu tür gösterge tozların izini buldular. Gezegen parçalayan bir çarpışmanın ortaya büyük bir ay çıkarması şart olmadığı için, karşı olasılıklar bunun öne sürdüğünden çok daha uzundur. Dünya-Ay sistemi gibi bir ikili gezegenin bu sistemin oluştuğu biçimde oluşmasının çok küçük bir olasılık olduğu göz önünde tutulursa bu, Galaksinin herhangi bir yerinde bizimkine benzer bir medeniyet bulunmasına dair zaten çok düşük olan olasılığı dramatik ölçüde azaltır. Ancak varlığımız için önkoşullar olan uzun özel etkenler listesini hiçbir şekilde bitirmiş değiliz.

# 6

# KAMBRİYEN PATLAMASI HAKKINDA BU KADAR ÖZEL OLAN ŞEY NEDİR?

## *I. Durumsallık ve Yakınsaklık*

Dünya üzerindeki yaşamın hikâyesi aynı zamanda Dünya üzerindeki ölümün hikâyesidir. Yalnızca bireyler değil, türler ve cinsler de ölür ve yerini başkaları alır. Doğal seçilim yoluyla evrimin anahtar bir özelliğidir bu. Çevresine iyi uyum sağlamış bireyler gelişir ve çok sayıda yavru bırakır; daha az uyum sağlayan bireyler ise genç ölür ve daha az yavru bırakır. Eğer bütün hikâye bu olsaydı, Dünya gibi bir gezegende sonunda her birisi kendi ekolojik ortamına mükemmel derecede uyum sağlamış sınırlı sayıda tür olurdu ve bir anlamda evrim dururdu. Fakat bütün hikâye bundan ibaret değil. Çevre değişir, dolayısıyla eski ortamlar yok olup yerine yenileri gelir. Bazen bir tür, büyük bir meteorit Dünya'ya çarptığında olduğu gibi, kendi "hatası" olmadan ortadan kalkar. Fakat bazı türlerin bakış açısından felaket olan olaylar, soyu tükenen türlerden kalan boşlukları doldurmak için çeşitlenen ve yayılan diğerleri için fırsatlar sunar. Bunun tam olarak nasıl olduğu ve uzun vadeli sonuçlarının ne olduğu uzmanlar arasında ateşli bir tartışmanın konusu olagelmiştir. Harvard Üniversitesinden Stephen Jay Gould şiddetle bir aşırı uçtaki görüşü savunurken, Cambridge Üniversitesinden Conway Morris diğer uçtan karşılık vermiştir. Dışarıdan bakan birisine ise gerçek (genellikle olduğu gibi), onların senaryolarının her birisinin anahtar noktalarının birleştiği, iki uç arasında bir yerlerde gibi görünüyor.

## KAMBRİYEN PATLAMASI

Bu tartışmanın zeminini, fosil kayıtlarına göre yaklaşık 570 milyon yıl önce karmaşık organizmaların, yani modern çok hücreli hayvanların aniden (jeolojik standartlara göre) çoğalması oluşturmaktadır. Çok hücreli formların patlaması o kadar önemlidir ki, jeolojik kayıtlarda bir kerteriz noktası olarak kullanılır: tüm jeolojinin en önemli "tarih damgası." Bu yaklaşık olarak 485 milyon yıl öncesine kadar süren, Kambriyen olarak bilinen jeolojik dönemin başlangıcıdır. Kambriyen dönem, yaklaşık 225 milyon yıl öncesine kadar süren ve Mezozoik zaman (225-65 milyon yıl öncesine kadar) ile Senozoik zaman (65 milyon yıl öncesinden bugüne) tarafından takip edilen Paleozoik zamanın başlangıcıdır. Zamanlar arasındaki sınırlar Dünya'da bulunan flora ve faunada meydana gelen önemli değişikliklerle belirlenir. Fakat Kambriyen patlamasından önceki her şey, yani jeolojik zamanın ilk 3,5 milyar yılının tümü, kıyaslanabilir büyük değişikliklerin meydana gelmediği ve okyanusların tek hücrelilerle dolup taştığı Prekambriyen adında bir tek devir olarak görülmektedir.

Galaksinin başka yerlerinde zeki yaşam bulma olasılığı açısından Kambriyen patlaması umutsuz biçimde geçtir; Dünya üzerinde yaşamın ortaya çıkışından en az 3 milyar yıl sonra gerçekleşmiştir. Yaşam için 3,8 milyar yıl önceki daha dolaylı kanıtları bir kenara bırakırsak, gerçek hücrelerin fosilleşmiş kalıntıları aşağı yukarı 3,6 milyar yaşındaki kayaçlarda bulunmuştur. O tek hücreli organizmaların soyundan gelen temelde özdeş canlılar hâlâ Dünya üzerinde yaşamakta olduğu için, Dünya üzerinde yaşamın tarihindeki muhtemelen en başarılı türlerdir. En az 2,2 milyar yıl (eğer dolaylı kanıtları kabul edersek 2,4 milyar yıl) boyunca Dünya üzerindeki tüm yaşam, prokaryot adı verilen, (DNA ve proteinler gibi) yaşam kimyasallarını barındıran ama bizim gibi canlıların ökaryot denilen hücrelerinin özelliği olan çekirdeğe ve diğer içyapılara sahip olmayan, temelde küçük birer pelte torbası şeklindeki bu basit hücrelerden oluşmuştu.

Ökaryot hücreler, prokaryot hücrelerden çok daha büyüktür ve DNA'larını barındıran çekirdeklerinin yanında, bitkilerde fotosentezi sağlayan kloroplastlar ve vücudunuzdaki hücrelerin ihtiyaç duyduğu enerjiyi üretmek için kimyasal tepkimeler kullanan mitokondriler gibi yapılar da içerir. Massachusetts Amherst Üniversitesinden Lynn Margulis, bu yapının önceden ayrı yaşayan prokaryotların bir hücre duvarı içerisinde simbiyoz içinde yaşamak üzere bir araya gelmelerinin bir sonucu olduğunu öne sürmüştür. Bu evrimsel bir avantaj bahşetmiş olmalı, aksi takdirde biz burada olup da bunları tartışamazdık. Fakat ökaryot hücreler ancak 1,4 milyar yıl kadar önceye ait fosil kayıtlarında görünür. O zaman bile bizim türümüzdeki organizmalar bir anda ortaya çıkmadı. Ökaryotların ortaya çıkışından Kambriyen başlangıcında çok hücreli formların patlamasına kadar geçen süre, Kambriyen patlamasından günümüze kadar geçen sürenin neredeyse bir buçuk katı kadardır.

Geç Prekambriyen ya da çok erken Kambriyen dönemden –Kambriyen patlamasından hemen önceki yaklaşık 100 milyon yıl– kalma katmanlarda iki tür çok hücreli yaşam formuna dair bulgular bulunur. Fakat bunlar modern hayvanların atalarına benzemez. Edikara olarak bilinen bir tür, yapısı bir yorganı veya şişme yatağı andıracak şekilde bölümlere ayrılmış düz ve yumuşak gövdeli canlılardan oluşmuş gibi görünmektedir. Gould, bu tür organizmaların karmaşık iç kısımlar geliştiremeyeceğini ve eğer Edikara baskın tür olmaya devam etseydi, Dünya'daki hayvan yaşamının "kalıcı olarak çarşaflar ve krepler –bildiğimiz şekliyle bilince sahip karmaşa için çok elverişsiz bir biçim– halinde" kalacağını öne sürmüştür.

Kabuklu canlılara dair ilk kanıtlar en erken Kambriyen dönemden gelir; ama onlar da günümüz hayvanlarının atası gibi görünmezler; doğrusu Edikara ile aynı şubenin parçası gibi de görünmezler. Tommotian olarak adlandırılırlar ve paleontologlarca "küçük, kabuklu fauna" olarak özetlenirler. Hem Edikara hem de Tommotian faunaları, Kambriyen patlaması fosil kayıtlarına bildiğimiz şekliyle hayvanlar âleminin

anakolları olan temel şubeler de dahil çok çeşitli yeni gövde türleri eklediği zaman yok oldu. Öyleyse bizi ortaya çıkaran evrimsel süreç Kambriyen patlamasıyla başlamıştır. İyi de bu süreç hangi yolu izledi?

## BURGESS ŞEYLİ

Erken Kambriyen'deki hayvan yaşamıyla ilgili bildiklerimizin büyük çoğunluğu, Kanada Rocky Dağları'ndaki jeolojik bir yapı olan Burgess Şeylinde bulunan fosillere dair araştırmalardan elde edilmiştir. Bu kalıntılar yaklaşık 530 milyon yıl önce sığ bir tropikal denizde bulunan bir uçurumun dibindeki çökeltilerin içine yerleşmiştir; hayvansal yaşam, yüz milyon yıl daha karaya geçmeyecekti ve omurgalılar yalnızca yaklaşık 380 milyon yıl önce karaya taşındı. Burgess Şeyli özellikle önemlidir, çünkü olağan dışı biçimde yalnızca kolayca fosilleşen kemiksi veya kabuklu parçaları değil, yumuşak gövdeli canlıların kalıntıları da korumuştur. Fakat orada daha iyi bildiğimiz türde fosiller de yumuşak hayvanların izlerinin korunmadığı aynı zamana ait başka yerlerdeki katmanlarda görüldükleri oranlarda bulunur. Bu "sert" fosiller Burgess Şeylindeki faunanın yalnızca yüzde 5'ini oluşturmaktadır; bu, paleontologların elinde çalışmalarını temellendirmek için yalnızca bu kemiksi ve kabuklu parçalar olsaydı tam olarak ne kadar kısıtlanacaklarını gösteriyor. Öyle görünüyor ki, Burgess Şeyli zamanının hayvan yaşamına ait –türünün en iyisi olan– tam bir enstantane sunmaktadır. Conway Morris'in vurguladığı gibi, azınlıkta olmasına rağmen bulunan kemiksi parçalar, dünyanın diğer kısımlarında aynı yaştaki katmanlarda bulunan kemiksi parçalarla tıpatıp aynıdır. Bu bize, Burgess Şeyli faunası üyelerinin yerkürenin geri kalanından kopuk bir bölgede acayip bir evrimsel gelişimin ürünü olmadığını, "Kambriyen yaşamın ana akımının parçası" olduğunu anlatır. Bu fauna, Stephen Jay Gould'un Simon Conway Morris ile Cambridge'deki çalışma arkadaşları tarafından yapılan hayvan rekonstrüksiyonlarına dayanan *Wonderful Life* (Harika Yaşam) adlı kitabıyla

(Gould ve Conway Morris bu bulguların evrimsel açıdan nasıl yorumlanacağı hakkında neredeyse tamamen zıt görüşte olsa da) yaygın şekilde tanınmıştır.

Bulgular yeterince açık. Erken Kambriyen'de hayata olan yaratıklar tuhaf anatomik özellikleri olan çok çeşitli biçimlerde ortaya çıkmıştır. Bunların birçoğu fosil kayıtlarındaki daha erken ya da daha geç dönemlerde (yani Kambriyen'den daha erken ya da daha geç dönemler) bulunan kalıntılarla çok az benzerlik taşır. 70 binden fazla örnek bulunmuştur. Örneğin bunlardan Nectocaris adında olanı, kabuklu bir omurgalıya (ya da başka bir şekilde düşünürseniz, yüzgeçleri olan bir kabukluya) benzer. Conway Morris'in çok tuhaf olduğu için Hallucigenia adını verdiği bir başka örnek, akrobat ayaklığına benzer yedi çift bacakla desteklenen uzun bir gövdeye sahipti. Bir ucunda kafa olması muhtemel bir yumru, uzun gövdenin üzerinde dalgalanan yedi uzun dokunaç, hayvanın kuyruğu olduğu varsayılan uç kısmında altı kısa dokunaç ve bu dokunaç kümesinin diğer tarafında bir tüp şeklinde yukarı doğru kıvrılan gövde bulunuyordu. Beş göze ve bir pençeyle sonlanan bir tür hortuma sahip olan Opabinia ise o kadar tuhaftır ki, paleontolog Harry Whittington ona ait bir çizimi Oxford'daki bilimsel bir toplantıda ilk kez sunduğunda seyirciler gülmekten ölmüştü.

Aslında, Kambriyen patlamasının meydana gelme hızı, burada olma nedenlerimizi anlama bağlamında ortaya çıkardığı hayvan çeşitliliğinden çok daha önemlidir. On dokuzuncu yüzyılda bile jeologlar için Kambriyen'in başında tuhaf bir şeylerin gerçekleşmiş olduğu açıktı – erken Dünya tarihinin hepsini Prekambriyen adı altında bir araya toplamalarının nedeni elbette budur. Başta, Prekambriyen'den hiçbir yaşam izi bulamadılar; bu, başka insanların yanında Charles Darwin için büyük endişe nedeniydi. *Origin* (Köken) adlı kitabında bu gizemi ele aldı ve tamamen şekillenmiş karmaşık yaşam formlarının Kambriyen'in başında belirgin şekilde ortaya çıkışının kendi kuramına karşı kullanılabilecek en zorlayıcı sav olduğunu itiraf etti. Fakat şimdi yaşamın kökenini ilk prokaryotlara kadar takip edebilecek ve tartış-

mayı ortadan kaldırabilecek yetideyiz. Elimizde karmaşık yaşam formlarının basit atalardan neden ve nasıl –kelimenin tam anlamıyla bir gecede veya bir hafta içinde değilse de– hızlı biçimde evrildiği bilmecesi kalıyor. Bir paleontolog için "patlama" terimi, birkaç milyon yıllık zaman aralığında meydana gelen bir yaşam çeşitlenmesi imgesini çağrıştırır. Conway Morris, Avustralya'nın Flinders Sıradağlarında, jeolojik kuvvetler nedeniyle katmanların eğildiği ve böylece üst üste durmak yerine yan yana durdukları bir boğazda yürümenin nasıl mümkün olduğunu anlatır. Boğaz boyunca yapılan bir yürüyüş, ilk önce Edikara fosilleri içeren üst üste binmiş kayaç tabakalarından geçtiğiniz bir zaman yürüyüşü gibidir. Sonra Edikaralar kaybolur ve "yerini çok daha önemli bir şeye bırakır: iskeletler. Kambriyen patlamasının en belirgin göstergesi buradadır."

Bu, Kambriyen patlaması gerçeğinin çarpıcı bir göstergesidir. Ve Burgess Şeylinin önemli özelliklerinden birisi, burası yumuşak gövdeli canlıların fosilleşmiş kalıntılarının yanı sıra kemiksi parçalar da içerdiği için, yalnızca kemiksi parçaların bulunduğu katmanlarda gördüğümüz çeşitliliğin tüm faunada olup bitenleri temsil ettiğine dair bize güvence vermesidir. Kambriyen patlaması, gerçek bir evrimsel olaydı; fosil kayıtlarındaki en çarpıcı olanıydı. Conway Morris'in deyişiyle "anatomik, ekolojik ve nörolojik karmaşıklıkta köklü bir değişime dair ikna edici kanıtların" bulunduğu bir zamandı. Bir sonraki bölümde bu eşsiz olayı neyin tetiklemiş olabileceğine değineceğim; ama ilk olarak Kambriyen yaşamdaki bu çeşitlilik, teknolojik medeniyetin yükseldiği bir dünyaya, yaşadığımız modern dünyaya nasıl evrildi?

## DURUMSALLIK

Evrimin Dünya üzerindeki yaşam çeşitliliğini meydana getiriş biçimine dair, tek bir hücreden başladığı ve tıpkı tek bir gövdeden yetişerek yukarı doğru görkemli bir örtü halinde yayılan bir ağaç gibi tekrar tekrar dallara ayrıldığı şeklinde popüler bir imge vardır. Dünya üzerindeki yegâne

yaşam formlarının denizlerde yüzen veya deniz yatağında örtüler oluşturan tek hücreli canlılar olduğu milyarlarca yıl göz önünde bulundurulursa, "gövde"nin, ağacın yüksekliğine oranla gerçekten de çok uzun olması gerekirdi; ama durumu anlamışsınızdır. Daha basit bir şekilde bu, tepe noktası üzerinde duran bir koni görüntüsü olur, en üstte geniş tabanı vardır ve yaşam çeşitliliği ilk atadan yayılır. Çeşitlilik, yeni ekolojik ortamlara yayılan ve farklı çevrelere uyum sağlayan türler tarafından ortaya çıkarılır ve zamanla daha da artar.

Fakat çeşitliliğin evrimine dair bu bakış açısı, en dikkat çekici biçimde *Wonderful Life* [*Harika Yaşam*] adlı etkileyici kitabında alternatif görüşünü savunan Stephen Jay Gould tarafından eleştirildi. Ne yazık ki 'etkileyici' olması ille de 'doğru' olduğu anlamına gelmiyor; ama Gould'un savı o denli iyi biliniyor ki buna değinmek ve neden yanlış olduğunu açıklamak önemli.

Gould, sivri ucundan uzadıkça genişleyen ters dönmüş bir koni gibi yayılan çeşitlilik imgesini kelimenin tam anlamıyla ters çevirir. Ona göre, tabanı üzerinde duran ve uca doğru küçüldükçe daralan bir koni daha iyi bir benzetmedir. Bu resimde koninin tabanı, Kambriyen'in başında gerçekleşen ve Burgess Şeylinde kayıt edilmiş olan çeşitlilik patlamasına denk düşer; fakat o zamandan beri çeşitlilik artmamakta, azalmaktadır ve vücut planları ve hatta yaşam şekilleri üzerindeki ilk deneyimlerin çoğu ortadan kaybolmuştur. Bu, tür sayısının azaldığı anlamına gelmez. Paleontologlar zaman geçtikçe tür sayısının arttığı konusunda hemfikirler. Ancak çok sayıda akraba tür mevcutsa bunların tümü, bir tek temel vücut planıyla belirlenen tek bir ana yapının varyasyonları olarak kabul edilebilir. Örneğin tüm memeliler aynı temel yapıya sahiptir. Gould'a göre azalan, temel vücut yapılarının sayısıdır.

Gould'un 'yaşam ağacı' analojisi uyarlaması daha ziyade Prekambriyen'deki tek hücreli yaşamın tekdüzeliğine karşılık gelen bir gövdeye sahip, Kambriyenin başlangıcıyla birlikte ani bir çeşitlilik dağılımı gösteren ve sonrasında bir noktaya doğru sivrilen bir Noel ağacını andırır. Kambriyen

başlangıcında çok hücreli canlıların belirme sebepleri ne olursa olsun, o zamandan beri eski ihtişamının büyük kısmını kaybeden bir evrimsel deney dalgası içinde her türlü karmaşık yaşam formu ortaya çıkmıştır; Gould'un belirttiği gibi "anatomik olasılıkların en büyük dağılımı, çeşitliliğin ilk akınıyla ortaya çıkar." Yaşam istikrar kazandıkça bu erken deneyimlerin çoğu, geride kalan az sayıda ana yapı üzerinde pek çok varyasyon meydana getirerek ortadan kalkar. Gould, bunun en iyi biçimde filumların, yani hayvanlar âlemi içindeki türlerin ana şubelerinin sayısı bakımından anlaşıldığını söyler. Şu anda, aşağı yukarı otuz beş şube mevcuttur (ayrımlar kısmen rastgele olduğu için biyologlar tam olarak kaç adet olduğu konusunda anlaşamıyorlar). Fakat Gould, Burgess Şeylinde bulunan hayvanların birçoğunun modern şubelerden hiçbirine ait olmadığını iddia etmektedir. Kitabının anahtar öneme sahip bir bölümünde, "on beş ila yirmi kadar özgün Burgess tasarımı, anatomik açıdan eşsizlikleri gereğince birer şubedir. Bu kayda değer gerçek, tüm sonuçlarıyla birlikte kabul edilmelidir...." der. Gould'a göre, bugün bu on beş ila yirmi şubenin hayatta olan hiçbir ardılı yoktur; bu, ilk baştaki elli beş şubeden belki de yirmisinin –neredeyse yarısı– kaybolmuş olduğunu gösterir.

Bu tartışmalı bir iddia; fakat şimdilik bunu oluruna bırakalım. Gould daha da ileri gider. Bu kadar çok şubenin kaybolmasının, yalnızca kendini en iyi uyarlayan türlerin ("en uyumlu" olanlar, çevrelerine en iyi uyum gösteren anlamında) hayatta kaldığı ve geriye kalanların soyunun tükendiği, genelde "Darwinci" evrim olarak anılan olgunun bir sonucu olmadığını söyler. Bunun yerine, hangi türlerle hangi şubelerin hayatta kalacağının ve hangilerinin yok olacağının belirlenmesinde bir şans –ya da kendi deyişiyle "durumsallık"*– faktörünün mevcut olduğunu dile getirir. Diğer bir deyişle, tüm bir şube kötü genler nedeniyle olduğu kadar kötü şans sonucunda da Dünya yüzeyinden silinebilir. Böyle soy tükenmelerine neden olan türde kötü şans, uzaydan gelen bir darbe veya kıtasal kaymayla oluşan bir iklim değişikliği olabilir.

* Contingency –yn.

Gould'un dediği gibi, "balıklar adaptasyonlarını sucul mükemmelliğin zirvelerine kadar keskinleştirmiş olsalar bile göller kurursa hepsi ölür."

Gould'un kitabında en önemli imgeyi –Burgess Şeylinin biçimlendiği zamanlarda var olan faunadan başlamak üzere Dünya üzerindeki yaşam 'kasetini' yeniden oynatma fikri– oluşturan şey durumsallık fikridir. Evrimi o zamandan itibaren yeniden başlamak üzere geriye sarabilseydik ne olurdu? Bugünkü Dünya'ya çok benzeyen, bizim gibi varlıkların bizimkiler gibi hayvanlar ve bitkilerle birlikte yaşadığı bir dünya mı olurdu elimizde? Ya da varsayımsal atalarımız kasten değil kazayla ortadan kalkan şubelerin arasında olur ve diğerlerinin yanı sıra Gould'un inandığına göre bizim tarih yorumumuzda soyları tükenmiş şubelerden türeyen garip türlerle dolu bir dünya mı bırakırdı? Yanıtı dolaysızdır: 'kasetin herhangi bir şekilde yeniden oynatılması evrimi gerçekte tutulan yoldan tamamıyla farklı yollara götürürdü. ... Önceki olayların herhangi birini çok az miktarda ve o zaman belirgin bir önemi olmadan değiştirin, evrim büsbütün başka bir kanala doğru akar.'

Bu, Gould'u Kambriyen patlamasıyla başlayan insan evriminin ezici biçimde olanaksız olduğu sonucuna götürür. Ve vardığı sonucu, insansıların (ya da en azından bir insansı türünün) zeki yaşama yükselmesinin kaçınılmaz bir sonuç olmaktan uzak olduğunu gösteren günümüzün gerçek dünyasından örneklerle destekler.

Dünya üzerinde yaşamın tarihi bağlamında memelilerin yükselişine dair, dinozorlar yüz milyonlarca yıl boyunca gezegenin hâkimiyken memelilerin çalılıklarda kaçışan ya da belki gececil biçimde zemindeki oyuklarda gizlenerek dinozorların yoluna çıkmamaya çalışan küçük yaratıklar olarak var oldukları şeklinde yaygın bir bakış açısı bulunur. Bu, yalnızca 65 milyon yıl kadar önce dinozorlar ortadan kalktığı zaman memelilerin yayılıp çeşitlenmesinin ve dinozorlar tarafından yakın zamanlarda terk edilmiş ekolojik nişleri işgal etmesinin yolunu açmış ve kaçınılmaz olarak insansıların "yükselişine" ve bizim ortaya çıkışımıza neden olmuş-

tur. Ama Gould, 50 milyon yıl önce Dünya'yı ziyaret eden bir uzaylı biyolog için, memelilerin yükselişinin kaçınılmaz görünmeyeceğine dikkat çeker. O zamanlarda, dinozorların yakın akrabası olan dev etobur kuşlar Avrupa ve Kuzey Amerika üzerinde dolaşıyorlardı. Bazılarının uzunluğu iki metre kadardı; kocaman kafalar, güçlü gagalar ve yırtıcı pençelerle dolu ayaklarla donanmışlardı ama işlevini yitirmiş kanatları bulunuyordu. Modern ötücü kuşlardan çok, cep boyu Tyrannosaurus Rex gibilerdi. Kuşlarla memeliler dinozorların halefi olma yolunda rekabet halindeydiler ve neden memelilerin kazandığını, kuşlarınsa kaybettiğini bilmiyoruz. Gould, bunun memelilerin evrimsel üstünlüğüyle değil, şans eseri, durumsallık adını verdiği olgu sayesinde meydana geldiğini düşünüyordu ve bu savı Güney Amerika'dan aldığı örneklerle destekledi.

Elli milyon yıl önce Güney Amerika, Kuzey Amerika'ya yalnızca birkaç milyon yıl önce eklenmiş olan bir ada kıtaydı. Güney Amerika'da kuşlar baskın konumdaki etoburlar haline geldi, bununla birlikte bu türler, güney Panama Kanalı üzerinden kuzeyden gelen memeliler tarafından işgal edilmeden önce büyük oranda ortadan kalktı. Üstelik bunun nedenlerini yine bilmiyoruz, ne kuşların neden Güney Amerika'ya hükmetmeye başladığını, ne de soylarının neden tükendiğini biliyoruz. Fakat dünyanın bir kısmında memelilerin, diğer kısmında ise kuşların baskın etoburlar haline gelmesi, Gould'a her iki durumda da bunun evrimsel üstünlük kadar şansın da sonucu olduğunu göstermiştir.

Ancak Güney Amerika'nın etobur kuşları hakkında evrime farklı bir bakış açısı getiren bir şey daha var. Her ne kadar Avrupa ve Kuzey Amerika'da gezinen cep T. Rex'leriyle yakın akraba olmasalar da neredeyse üç metre boyundaydılar ve aynı zamanda koca kafaları, tıknaz boyunları, işlevini yitirmiş kanatları ve yırtıcı pençeleri olan ayakları vardı. Bu, yakınsak evrimin bir örneğidir; bu tür vücut planını Avrupa'da ve Kuzey Amerika'da başarılı kılan baskılarla aynı evrimsel baskılar, onu aynı zamanda Güney Amerika'da da başarılı kılmıştır. Gould'a göre bu yakınsaklık rastlantısal,

yalnızca ikincil derecede önemli bir özelliktir. Ancak Conway Morris'e göre yakınsaklık neden burada olduğumuz hikâyesinin kalbini oluşturuyor.

## YAKINSAKLIK

Gould'un tezinin büyük kısmı, Burgess Şeylinde bulunan birçok şubenin bugün hayatta olan benzerlerinin bulunmadığı iddiasına dayanır. Oysa Gould aslında Burgess Şeylindeki fosilleri bizzat analiz etmemişti. Kendisinin de kabul ettiği gibi, yorumu Simon Conway Morris ile meslektaşları tarafından yapılan canlandırmalara dayanmaktadır. Ancak daha az yaygın olarak takdir edilen, bu yorumun bu kişilerin önceki çalışmalarına dayanmasıdır. Gould'un 1980'li yılların ikinci yarısında *Harika Yaşam'ı* yazdığı sıralarda, bu kişiler fosil kalıntılarına dair analizleri ve yorumları üzerinde harıl harıl çalışmaya devam ediyorlardı. Gould'un kitabı piyasaya sürüldükten sonra, Burgess Şeylinden daha fazla bilgi ortaya çıktı (Burgess Şeylinin arketipik sakini olan Hallucigenia hakkında yeni bilgiler de dahil) ve aynı döneme ait Çin, Grönland ve dünyanın başka yerlerinde bulunan katmanlarda yeni keşifler yapıldı. Tüm bunlar, Conway Morris'i 1990'ların sonuna doğru kendi kitabı *The Crucible of Creation*'ı [*Yaratılış Potası*] yazması için cesaretlendirdi. Öyleyse, o, bu bulguları nasıl anlamlandırıyor?

Conway Morris'e göre, "bugüne kadarki bulgular [Gould'un] 'ters dönmüş yaşam konisi' metaforunu desteklemez." İlk bakışta Burgess Şeylindeki tuhaf görünüşlü fosillerin çoğunu bilinen gruplara –şubeler gibi– dahil etmek zor görünse de, daha yakından bakınca Cambridge ekibi erken Kambriyen dönemden kalan bu tuhaf ve muhteşem fosillerin yok olmuş şubeleri temsil etmek yerine, aslında günümüzde var olan şubelerin nasıl evrildiğine dair fikir verdiği konusunda ikna oldu. Conway Morris'in muhtemelen onaylamayacağı popüler bir dille söylersek, onlar evrim ağacının ayrı dallarından çok "kayıp bağlantılar"ını temsil ederler. Hatta o, oluşturduğu şemada günümüz denizanalarının da içinde

bulunduğu Cnidaria şubesinin üyeleri olarak değerlendirdiği Edikaralar için bir yer bile bulur.

Conway Morris hem çeşitliliğin (benim anladığım şekliyle) ucu üstünde duran bir koniye benzer şekilde zamanla arttığı yönündeki eski görüşü, hem de Gould'a ait tabanı üzerinde duran bir koni veya bir yılbaşı ağacı gibi zaman geçtikçe azalan çeşitlilik görüşünü reddeder. Ayrıca erken Kambriyen'de bir çeşitlilik patlaması gerçekleşmiş olması, ancak o zamandan beri çok az değişim görülmesi olasılığını da reddeder. Onun yerine, Kambriyen'in başlangıcında hayvansal yaşamın çoğaldığını ve o dönemden beri Kambriyen'in başlangıcındakiyle aynı olağanüstü ölçekte olmasa da çeşitliliğin arttığı kısa aralıklarla bölünen, çok az çeşitliliğin olduğu uzun aralıklar olduğunu savunur –"sonuçları biyosfer boyunca dalgalanan ve böylece hızlı değişimlerin olduğu zamanları ortaya çıkaran, evrimde ara sıra karşılaşılan yenilikler." Çeşitlilikteki bu küçük patlamalar sıklıkla (belki de her zaman) kıtasal kayma, uzaydan gelen darbeler ve benzerlerinin yol açtığı coğrafi değişikliklerle ilişkili olan karasal ortamdaki değişimlerle bağlantılıdır. Bu, bir sonraki bölümde tartışılan Kambriyen patlamasının nedenlerine dair önemli bir ipucudur.

Conway Morris'in ele aldığı temalardan biri, Dünya üzerindeki yaşamın sürekliliği ve birbiriyle bağlantılılığı ile bunun bize insanoğlunun kökenleri hakkında anlattıklarıdır. Biyokimyanın en temel seviyesinde, vücudunuzdaki tüm hücreler (ve Dünya üzerindeki geri kalan tüm canlı hücreler) "primitif" bakteri hücreleriyle temelde aynı şekilde işler; bugün Dünya üzerinde var olan bütün yaşamın tek bir atadan evrildiğine dair güçlü bir kanıttır bu. İnsanın en önemli ayırt edici özelliği olan beyinlerimiz, büyük ve etkileyici olmalarına rağmen temelde primitif balıkların beyinleriyle aynı yapıdadır, bu da bu yapının en az 500 milyon yıl önce evrimleşmiş olduğunu gösterir. Ayrıca her bir uzantıda beş el ya da ayak parmağının bulunduğu pentadaktil (beş parmaklı) uzuv yapısı Grönland'da 370 milyon yıllık kayaçlarda bulunan fosilleşmiş balık kalıntılarında görülebilir.

Bu örneklerin gösterdiği gibi, evrimin tek bir tür vücut

planından ne kadar çeşitlilik yaratabileceği şaşırtıcıdır. İnsan türünden biraz daha uzak olan örneklere bakalım; bahçenizde yaşayan salyangozlar, deniz salyangozları, istiridyeler ve hatta serbest yüzen (veya dipte yürüyen) ahtapotların hepsi yumuşakçalar şubesinin üyeleridir ve hepsi de yumuşakçaların atası olan tek bir canlıdan evrilmiştir. Ahtapot özellikle dikkati çeken bir örnektir, çünkü bizim beynimize ve gözlerimize giden evrimsel yoldan oldukça bağımsız bir biçimde, gelişmiş bir beyin formu ve etkili bir "kamera göz" geliştirmiştir. Conway Morris'in evrimsel terimlerle ifade ettiğine göre, "Bir şeyi yapmanın sınırsız sayıda yolu yoktur. Bütün canlılığına rağmen, yaşam formları sınırlanmış ve yönlendirilmiştir." Bu noktada, bizim türümüzde zekâyı meydana getirmede şanstan daha fazlasının işin içinde olduğunu gösteren yakınsaklık devreye giriyor.

Yakınsaklığın bir örneği olarak, Güney Amerika'daki katil kuşlarla Avrupa ve Kuzey Amerika'dakilerin jeolojik zamanın yaklaşık olarak aynı anında benzer ekolojik nişlerde hayatta kalabilmek için benzer vücut yapılarını nasıl geliştirdiğini zaten görmüştük. Zaman içerisinde yaygın biçimde ayrılmış başka örnekler de vardır. İhtiyozor olarak bilinen deniz canlıları, bundan 245 milyon ila 90 milyon yıl önce dünya okyanuslarında yüzüyorlardı ve özellikle 200-145 milyon yıl önce yaşanan Jura Dönemi'nde başarılı oldular. Daha sonra suya geçen kara hayvanlarından evrilmiş hava soluyan canlılardı; boyları iki-üç metreye kadar uzuyordu ve hatta yumurtlamak yerine yavrularını doğuruyorlardı. Görünüşleri ve muhtemelen davranışları günümüzdeki yunuslar gibiydi. Bir ihtiyozor vücudunu ve yaşam biçimini Jura'da başarılı kılan aynı evrimsel baskılar, son jeolojik dönem olan Kuaterner'de de yunusların vücut yapısını ve yaşam biçimini başarılı kılmıştır.

Conway Morris bazı başka örneklere de dikkat çekmektedir. Meşhur kılıç dişli kaplana benzeyen kılıç dişli büyük bir kedi, Güney Amerika'da keseli soyundan evrimleşmişti; dış görünüşüne rağmen, yaşayan kaplanlardansa kanguruya daha yakındı. Ve kangurunun yuvası olan Avustralya, memeli benzeri

gibi "toprak altındaki varlığıyla uyumlu olarak kazmak için güçlü önayaklar ve yalnızca zayıf gözlerle donatılmış" olan bir keseli köstebeğin de yuvasıdır. Bunları ve diğer örnekleri (*Life's Solution* [*Yaşamın Çözümü*] adlı kitabında detaylandırılmışlardır) kullanarak, "biyolojik formun bir soruna yönelik aynı çözümü tesadüfen bulmasına dair sık sık kanıtlar buluyoruz" demektedir. Eğer yaşamın kaseti gerçekten Kambriyen patlamasından itibaren yeniden çalınabilirse, "balinanın evrimi .... yüzlerce başka nihai sonuçtan daha olası olmasa da, deniz suyunu gıda için süzen hızlı, okyanuslarda dolanan bir tür hayvanın evrimi muhtemelen mümkündür ve belki de neredeyse kaçınılmazdır." Evrimsel biyolojiye yönelmeden önce havacılık mühendisi olan John Maynard Smith, bir keresinde bana benzer şekilde "mühendislik tasarımı" adını verdiği şeyin biyolojik formların olası çeşitliliğini sınırladığı ve örneğin kamera gözün birden fazla kez evrimleşmesinin (aslında en az altı kez) şaşırtıcı gelmediği yorumunu yapmıştı. Evrimsel olasılıkların sayısı sınırlıdır ve evrimsel sorunlara yönelik olası çözümlere genelde birkaç kez ulaşılmıştır. Elbette bu, yaşamın kendisini içinde bulunduğu koşullara adapte ederek evrimleştiğine dair güçlü bir doğrulamadır.

Peki ama yeraltından metal cevherlerini çıkaran ve radyo teleskoplarla uzay gemileri inşa eden zeki bir türün evrimleşmesi kaçınılmaz mı, yoksa olası mı? Yakınsama tezinin sınırlarını zorlayan Conway Morris, Kambriyen patlamasından itibaren zekânın neredeyse kaçınılmaz olduğunu savunmaktadır. Gould'un, zekânın son derece olanaksız olduğu yönündeki görüşünün tam tersidir bu. Fakat Conway Morris'in iddiası, ET'yle iletişime geçmek isteyenleri çok da memnun etmiyor, çünkü o, yaşamın kendisinin gezegenimizin tarihinin başlarında gerçekleşen "garip ve olağanüstü derecede az rastlanan bir olayın ürünü" olduğuna inanmaktadır. Ona göre, yaşam bir kez ortaya çıktı mı, zekâ kaçınılmazdır; ne var ki Dünya, yaşamın olduğu tek gezegen olabilir. Bana göre hem durumsallık hem de yakınsaklık, Dünya üzerindeki yaşamın ve insanlığın ortaya çıkışının hikâyesinin birer parçasıdır. Ancak bu, ET hayranlarına iyimser olmaları için daha fazla neden vermiyor.

## ÜÇÜNCÜ YOL

Gerçek dünyada teknolojik bir medeniyetin kuruluşunda, hem durumsallık hem de yakınsaklık kendine düşen rolü oynamıştır. Durumsallığın klasik örneği, 65 milyon yıl kadar önce gerçekleşen, artık yaygın olarak büyük bir meteoritin (10-12 kilometre çapında bir kaya) Dünya'yla çarpışması sonucu meydana geldiği kabul edilen "dinozorların ölümü" olayıdır. Bundan gelecek bölümde daha fazla bahsedeceğiz. Buradaki dikkat çekici nokta, çarpışmadan yüz milyon yıldan daha uzun bir zaman önce memeliler küresel ekolojinin önemsiz üyeleri olarak hayattayken, dinozorların Dünya üzerindeki büyük hayvan nişlerine hükmediyor olmasıdır. Memelilere şans tanıyan, bu şans aynı zamanda kuşlar için de fırsatlar içermiş olsa bile dinozorların ölümü oldu. Yakınsaklık konusuna gelince, ihtiyozor ve yunustan daha iyi bir örnek yoktur.

Fakat bizim dinozorların yol olması dediğimiz ve jeolojik zamanın Kretase döneminin sonunu belirlediği için daha doğru bir ifadeyle 'Kretase Kitlesel Yok Oluşu' olarak adlandırılan, Dünya üzerindeki birçok yaşam türünün soyunun tükenmesi benzersiz bir olay değildi. Fosil kayıtları, Kambriyen döneminden beri her ne sebeple olursa olsun çok sayıda türün ortadan kalktığı birçok olay yaşandığını gösteriyor. Bu kitlesel yok oluşların en uç örnekleri "Beş Büyük Yıkım" olarak bilinir. Kretase kitlesel yok oluşu bunların en sonuncusuydu, ama en büyüğü değildi.

Beş Büyük Yıkım, deniz canlısı türlerinin en az yüzde 65'inin soyunun tükendiği kitlesel yok oluşlar olarak tanımlanmaktadır. Deniz canlıları nirengi noktası olarak seçilir, çünkü fosilleri, kara canlılarının fosillerine göre daha iyi korunma eğilimi gösterir. Ama bir anlamda bir şubenin hayatta kalması bir türün yaşamını sürdürmesinden daha kolaydır; kitlesel bir yok oluş öncesinde belirli bir şubeye ait birçok üye tür bulunabilir; olaydan sonra kaç tür ortadan kalkarsa kalksın, şubenin bir üyesi hayatta kalmışsa o şube var olmaya devam eder. Beş Büyük Yıkım olayının en şiddetlisi yaklaşık 225 milyon yıl önce deniz canlılarının yüzde 95'inin ortadan

kaybolduğu Permiyen Dönemin sonunu belirledi. Karınaşık çok hücreli organizmalar evrimsel yazı tahtasından kelime anlamıyla neredeyse tamamen silindi; dinozorların yükselişi, işte bu olayın sonrasında gerçekleşti. Beş Büyük Yıkımın diğer üyeleri, 440 milyon yıl önce Ordovisyen Dönemin, 365 milyon yıl önce (doğrudan atalarımız olan omurgalılar karaya taşınmadan hemen önce) Devoniyen Dönemin ve 210 milyon yıl önce Trias Dönemin sonunu belirledi.

Her ne kadar Kretase kitlesel yok oluşu açıkça uzaydan gelen bir çarpışmayla ilişkilendirilebilse de, soy tükenmeleri belli bir kalıbı izlemiyor. Ancak daha önce olanlar kesinlikle tekrar gerçekleşebilir ve *Homo sapiens*'in ya da diğer bir gezegende ortaya çıkan herhangi genç bir medeniyetin bu tür felaketlere karşı dinozorlardan daha fazla dokunulmazlığı olduğunu düşünmek için ortada bir neden yok.

En iyi tahminle, beş büyük soy tükenmesi olayının büyük çoğunluğuyla fosil kayıtlarında görülen daha küçük çaplı soy tükenmelerinin muhtemelen bazıları, kıtasal kaymanın neden olduğu değişen yerküre coğrafyasıyla ilişkili olan iklim değişiklerinden kaynaklanmıştır. Örneğin Permiyen kitlesel yok oluşu, gezegenin tüm kara parçaları bir kutuptan diğerine uzanan Pangea adlı bir süper kıtada birbirine kilitlendiğinde gerçekleşti. Bu, deniz organizmalarının gelişebileceği sığ deniz alanlarını küçülttü ve kıtaların okyanustan uzakta kalan iç kısımlarının kurumasına neden oldu.

Soy tükenmeleri üzerine özel bir araştırma yapan paleontolog Steven Stanley, "küresel sıcaklıklardaki bir değişiminin çok sayıda türü yok etmesinin görece kolay oluşu" yüzünden küresel soğumanın muhtemelen bu tür olayların ana nedeni olduğunu söyler. Bir Buz Çağında yüksek enlemler yaşanamaz duruma gelir ve geride kalan habitatlar ekvatora doğru daralır. Eğer bugünkü tropikler artık bizim bildiğimiz anlamda "tropikal" iklime sahip olmasaydı, muazzam sayıda tür yok olurdu. Paleoantropolog Richard Leaky'nin belirttiği gibi, evrim "gelecekteki olayları öngöremez." Fakat o, aynı zamanda kitlesel yok oluşları "yaşamın akışına şekil veren büyük yaratıcı bir kuvvet" olarak tanımlamıştır. "Kitlesel yok oluşlar

sadece evrimin saatini sıfırlayarak onu biraz geriye almaz; saatin yüzünü değiştirir. Onlar yaşamın biçimini yaratır."

Yaşamın biçiminde en köklü değişim Kambriyen'in başında gerçekleşti. Artık, Prekambriyen denizlerinde çok yaygın biçimde yaşam bulunduğu ve yaşamın Dünya'nın doğuşundan bugüne kadar geçen sürenin yüzde 85'i boyunca var olmuş olduğu açıktır. Eğer çevre değişmemiş olsaydı faunanın dramatik şekilde değişmesi son derece olasılık dışı olurdu. Fakat olağanüstü olaylar, olağanüstü açıklamalar ister. Kambriyen patlaması fosil kayıtlarındaki en olağanüstü olaydır ve bunu olağanüstü başka bir şeyin tetiklemiş olması gerektiği ortadadır. Stanley'nin sözlerini akılda tutarak, tetikleyici olarak olağanüstü bir iklimsel olayı aramak doğal.

Gould, 1989'da yazdığında yaşamın tarihinin önemli gizemlerini şöyle özetlemişti: (1) Çok hücreli yaşam neden bu kadar geç ortaya çıktı?; (2) Neden anatomik açıdan karmaşık olan bu canlıların Prekambriyen dönemin fosil kayıtlarında hiçbir doğrudan, basit öncülü bulunmuyor? On yıl sonra Conway Morris, çok az farklı bir açıdan şunu söyler: "Edikara öncesine ait hayvanların çok küçük, yalnızca birkaç milimetre uzunluğunda olduğuna oldukça emin olabiliriz .... Onların daha sonra Edikara faunası olarak ilk ortaya çıkışını ve ardından daha da hayret verici olan Kambriyen patlamasını tetikleyen şey, önemli bir tartışma konusu olarak duruyor." On yıl sonra, gezegenimizde yaklaşık 600 milyon yıl önce meydana gelen bir dizi olağanüstü çevresel değişikliğin bu bilmecelere en azından kısmi bir çözüm getirmesi çok olası görünüyor ve buna artık yaygın olarak inanılıyor; ben bu olayların iç Güneş Sisteminde o zamanlar meydana gelen değişikliklerle ilişkilendirilebileceğine inanıyorum. Burada oluşumuzun anahtar nedenlerinden birisi belki de Venüs'ün yüzünde yazılıdır.

# 7

# KAMBRİYEN PATLAMASI HAKKINDA BU KADAR ÖZEL OLAN ŞEY NEDİR?

## *II. Sıcak Sera Venüs/Kartopu Dünya*

Yaşamın kendisi ilk kez ortaya çıktıktan sonra, Dünya üzerindeki yaşamı ilgilendiren en önemli iki olay, yaklaşık 2,5 milyar yıl önce (prokaryot hücrelerin ortaya çıkışından bir milyar yıldan daha uzun bir süre sonra) ökaryot hücrelerin ortaya çıkması ve 600 milyon yıl kadar önce de hayvansal yaşamın bollaşmasına neden olan çok hücreli yaşam formlarının patlamasıdır. Bu olayların, Ay'ın oluşumundan beri Dünya'nın başına gelen en şiddetli iki çevresel değişim (tropiklerin bile donmasına yol açan aşırı buzul çağları) sonrasında gerçekleştiğine dair güçlü bulgular var. Buna benzer tek bir ardışıklık rastlantı olarak göz ardı edilebilir; ama en büyük iki evrimsel gelişimin her birisinin en büyük iki çevresel yıkımın birinden sonra meydana geldiğini keşfetmek, bize açıkça bir neden-sonuç ilişkisinin işbaşında olduğunu söylüyor. Lady Bracknell'in demiş olabileceği gibi: bir donma vakasından sonra bir evrimsel sıçrama yaşamak rastlantı olarak düşünülebilir; ikisini yaşamak ise bir örüntü gibi görünür. Ve çevresel bir felaketin bir evrimsel etkinlik patlamasını tetikleme mekanizmasını tam olarak bilemesek de bu, son birkaç yüz milyon yıl içindeki daha küçük çaplı soy tükenmeleriyle ilgili olan daha küçük bir ölçekte gördüğümüz örüntüyle açıkça örtüşüyor.

## DERİN DONMANIN ARDINDAN

Söz konusu "Kartopu Dünya" olayları, buzulların çok yaşlı kayalar üzerinde bıraktığı izlerde kayıtlıdır; bunlar her iki olayda da gezegenin kara yüzeyinin tamamının donmuş olduğunu gösterir ve başka bulgular okyanusların tamamının değilse bile büyük kısmının da buzla kaplı olduğunu göstermektedir. Bu, gezegenimiz için tehlikeli bir durum ve yaşam için bir başka tehdit oluşturur. Dünya bir kez donduğunda, Güneş'ten gelen ısının o kadar büyük bir miktarını yansıtır ki buzların erimesi son derece güç hale gelir. Eğer buz karayı kaplarsa, soğuk bir yana, yaşam için uygun olan çok sınırlı bir alan kalır (2,5 milyar yıl önce karada yaşam olduğunu söylemiyorum) ve buz denizlerin üstünü kaplayacak olursa güneş ışığı fotosentez yapılmasını sağlamak veya enerji gerektiren diğer süreçleri gerçekleştirmek üzere suya nüfuz edemez. Yaşam, orada burada izole su birikintilerinde veya çamurlu göllerde uğraşarak çeşitlilik ortaya çıkarırken evrim, hücreleri kendi küçük su birikintilerindeki çevresel şartlara uyum sağlamaya zorlar. Çok büyük ihtimalle ökaryot hücre bir çamurlu havuzda yalnızca bir kez "icat edildi" ve Dünya'nın buzlarının çözülmesiyle birlikte oradan yayıldı.

Peki ama bu tür bir Kartopu Dünya neden erirdi ki? Tek olasılık, Güneş'ten gelen ısıyı tutan ve sonunda yüzey sıcaklığını buzun erimeye başlayabileceği bir noktaya çıkaran sera gazlarının –özellikle karbondioksitin– artışı gibi görünüyor. Bu eşik bir kez aşıldığında, buzlar eridikçe uzaya yansıtılan ısı miktarı azalır, bu da kontrolden çıkmış bir süreç içinde ısınmayı daha da artırarak kartopu haline bir son verirdi.

Bu, Dünya'nın sıcaklığının bugün nasıl düzenlendiğine dair bilgimizle çok uyuşuyor. Karbondioksit gibi sera gazları volkanlardan salınır ve Dünya'nın atmosferine girer. Ama karbondioksit suda çözünebilir ve su kayaçların içinden ve üzerinden sızdıkça, aşınmayla ilişkili kimyasal tepkimeler karbondioksitin bir kısmını kireçtaşı gibi –kireçtaşı mağaralarında bulunan damlataşları ve dikitleri de içeren– kayaçların bünyesine dahil eder. Ayrıca bazı canlılar da havadan karbondioksit alarak bunu kabuklarının içine yerleştirir. Eğer

gezegen biraz ısınırsa aşınma artar ve havadan daha fazla karbondioksit alınır, bu da sera etkisini azaltır ve Dünya'yı soğutur. Gezegen soğursa aşınma daha az etkili olur (daha az yağmur olduğu için en alt düzeyde değil) ve havada karbondioksit birikir, böylece Dünya ısınır. Günümüzde (en azından insan etkinliklerinin müdahalesinden önce) bu olumsuz geri bildirimler, gezegenimizin sıcaklığını oldukça dar bir aralıkta sabitlemiştir. Fakat bir Kartopu Dünya olayı süresince, volkanlar atmosfere karbondioksit pompalamaya devam etmesine rağmen çok az aşınma meydana gelirdi ve sera etkisi, buzların erimeye başladığı kritik noktaya ulaşılana kadar artardı. Isınma etki ettikçe ve buzlar çekildikçe uzaya geri yansıtılan güneşten gelen ısı miktarı azalırdı, bu daha fazla ısınmayı destekler ve yaşam için daha fazla yuva sağlardı. Böylece yaşam sınırlı alanlarından patlayarak bir kez daha dünyaya (ya da en azından okyanuslara) hâkim olurdu. Tüm erime süreci birkaç milyon yıl –belki 20 milyon yıl kadar– sürerdi.

Bu zaman aralığında okyanuslar boyunca yayılan yaşamla ve hem havada bol miktarda bulunan karbondioksit, hem de karadan geri akan yağmurlarla taşınan besinlerle birlikte, bu erime süreci vahşi fotosentez hareketlerinde bir patlamaya şahit olurdu. Bu, okyanuslarda su birikintilerinde sık sık görülen yeşil kirliliğe benzer organizmaların gelişmesine neden olurdu ve sonuçta havaya çok büyük miktarlarda oksijen salınırdı. Ani oksijen artışının ilk Kartopu Dünya olayıyla ilgili doğrudan etkisi, dünyanın her yerine dağılmış 2,5 milyar yaşındaki kayaçlarda görülebilir. Bu kayaçlarda havadaki serbest oksijenin demir bileşikleriyle tepkimeye girmesiyle devasa demir oksit yatakları oluşmuştur; aslında dünya, kartopu halinden çıkıp ısındıkça paslanmıştır. Havada ilk kez serbest oksijenin bulunması ayrıca evrimsel değişikliklerin meydana gelmesine neden oldu; bazı organizmalar başa çıkamayarak öldü, diğerleri uyum sağladı, oksijeni kullanmayı öğrendi ve kurtuldu. Yine de bizim açımızdan ilk Kartopu Dünya olayının kilit noktası, ökaryotların yükselişine yol açmış olmasıdır. Bu büyük donma olmasaydı, biz burada olmayacaktık.

İyi de Dünya neden 2,5 milyar yıl önce dondu? Kısacası, bilmiyoruz. Olay o kadar uzun zaman önce oldu ki nedenleri hakkında kanıt toplamak çok zor. Kısmi bir açıklama, levha tektoniğinin –kıtasal kaymanın– rol oynamış olduğu. Dünya gençken çok az kara parçası vardı ve kara olmadan karın birikebileceği ve buz tabakaları oluşturabileceği hiçbir yer olamazdı. Karaya düşen kar birikir birikmez gelen ısıyı yansıtmaya başlar; okyanusa düşen kar ise deniz donmadıkça yalnızca eriyecektir. Ve bu, kartopu yapmak için ihtiyacınız olandan çok daha büyük bir sıcaklık düşüşü gerektirir. Fakat bu, yalnızca Kartopu Dünya'nın neden daha erken oluşmadığını açıklar. 2,5 milyar yıl önceki olayın kesin tetikleyicisi, bir sır olarak duruyor.

Yine de hiç şüphesiz, ilk Kartopu Dünya'nın ardından gerçekleşen olaylarda levha tektoniğinin rolü vardı. Yaşamın iki Kartopu Dünya olayı arasındaki sürede gelişmesinin bir nedeni, o zamana gelindiğinde Dünya'daki kuru karaların miktarının bugün gördüğümüz alana yaklaşmaya başlamasıydı. Henüz karada yaşam yoktu; ancak kıtaların çevresi sığ sularla çevrilidir ve sığ sular, fotosentez için mevcut olan bol miktarda gün ışığı ve karadan akıntıyla getirilen bol miktarda besin maddesiyle birlikte –Burgess Şeylinin de doğruladığı gibi– yaşamın gelişmesi için ideal yerlerdir. Fakat o dönemden kalan veri yetersizliğinden dolayı uzmanlar küresel buzullaşmaların ikinci aşamasının başladığı dönemde kıtaların kesin düzeni hakkında henüz fikir birliğine varamamıştır; bununla birlikte jeologların Sturtian Buzul Çağı olarak adlandırdığı bu olay, artık tam olarak 700 milyon yıldan biraz daha uzun bir süre önceye tarihlenmektedir.

Sturtian Buzul Çağı en az 5 milyon yıl sürdü ve ekvatora kadar yayıldı. Fakat ökaryot yaşam bu derin donmadan kurtulmayı başardığı için, Dünya kelimenin tam anlamıyla kaskatı biçimde donmuş olamaz. Güneş ışığının ulaşabildiği parça parça açık sular veya çamurlu havuzlar olmuş olmalı; üstelik bu sefer buzulların çözülmesini takip eden çoğalma, diğer gelişmelerin yanında ilk hayvanların ortaya çıkışına da şahit oldu.

Florida Üniversitesinden Joseph Meert ve Oslo Üniversitesinden Trond Torsvik ulaşabildikleri sınırlı veriyi inceleyerek bundan yaklaşık 800 milyon ila 700 milyon yıl öncesinde yerküre üzerindeki kıtasal yüzeyin büyük kısmının düşük enlemlerde yoğunlaşmış gibi göründüğü sonucuna vardılar. Bu durum başlı başına Dünya'yı soğumaya itmiş olabilir. Bahsedilen zaman aralığında kara üzerinde bitki örtüsü yoktu. Çıplak kayalar gelen güneş enerjisini denize göre daha verimli bir şekilde yansıtır, böylece düşük enlemlerdeki kara parçaları gezegeni soğutur. Ama gezegeni tüm yerküreyi dondurmaya yetecek kadar soğutabilir mi? Bu özellikle olasılık dışı görünüyor, zira bu coğrafi madalyonun diğer yüzündeki manzarada, tüm karalar ekvatora yakın olduğu için kutup bölgeleri düşük enlemlerden gelen sıcak okyanus akıntıları için rahatça ulaşılabilir konumdaydı ve bu, denizin donmasını kışın bile zorlaştırıyordu. Kıtalar bir kez kar ve buzla kaplandığında ise, Güneş'ten gelen ısının çoğunu yansıtacak şekilde tam doğru yerde yoğunlaşan fazladan yansıtıcılık, yerküreyi iş görecek kadar yeterli miktarda soğutabilir ve onu bir Kartopu Dünya haline sokabilirdi. Bilgisayar modelleri, deniz buzu ekvatordan itibaren 30 derece içindeki enlemlerde bir kez oluştuğunda daha yüksek enlemlere dağılacağını ve bütün Dünya'nın donacağını gösteriyor. Ancak paradoks olarak görünse de bu, düşük enlemlerden başlar. Gereken şey bir tetikleyicidir; sıcaklık dengesini ekvatora kar yağmasına neden olacak kadar değiştirebilecek, dışarıdan gelen bir etki. Olanaksız görünüyor, ama bir şeyler işe yaramış olmalı. Ortada somut kanıtlar olmadığı için az çok kayda değer birkaç kuram sunulmuştur. Yalnızca ikisinden bahsedeceğim – en eski olanların birisinden ve benim favorimden.

## DENGELERİ DEĞİŞTİRMEK

İlk kuram, Kartopu Dünya olayı sırasında Dünya'nın biraz daha yana yatmış olabileceği, yani yüksek bir eğime sahip olduğudur. Bu fikir aslında Sturtian Buzul Çağı için öneri-

len bir açıklama olarak 1970'lere kadar gider ve o dönemde bütün Dünya'nın tamamen buz tuttuğu keşfinden daha önce ortaya çıkmıştır.

Dünya'nın dikeyle 55 dereceden daha fazla açı yaptığı yüksek eğim, esasen tropikal bölgeleri soğutmak için iyi bir yöntemdir. Bu şartlar altında bir yıl boyunca kutuplar ekvatora göre daha fazla güneş ısısı alır ve eğer kutuplarda kara olsaydı oradaki yaz sıcaklığı suyun kaynama noktasını geçebilirdi. Bu hemen şöyle bir soru getiriyor akıllara: tropiklerde buzullar olsa bile bu şartlar altında buz kutuplara kadar nasıl genişleyebilir? Yalıtılmış tropikal buzullaşma için geçerli bir açıklama olabilir bu, fakat bir Kartopu Dünya olayı için değil. Ama bunu geçelim; söz konusu modelle ilgili endişe edilecek daha pek çok zorluk var.

Bir problem, Dünya'nın 700 milyon yıl kadar önce nasıl bu kadar yana yattığı ve sonrasında nasıl daha dik bir konuma geldiğidir. Her şey bir yana, bugünkü yaklaşık 23,5 derecelik eğimle birlikte, Ay eğimdeki aşırı değişimleri önleyerek bir sabitleyici olarak işlev görmektedir. Bunun burada oluşumuzun nedenlerinden birisi olduğunu zaten göstermiştim. Fakat bütün hikâye bu değil. Anlaşılan o ki, eğer Ay'ın oluştuğu çarpışma Dünya'yı 60 ile 90 derece arasında bir eğimde bıraksaydı, o zaman Dünya bu sınırlar içerisinde –Ay'ın varlığı hesaba katılsa bile– kaotik biçimde yalpalayabilirdi. Bu yüzden Sturtian buzullaşmasına dair eğim açıklamasını korumak için, yaklaşık 600 milyon yıl öncesinde gezegenin daha dik bir konuma dönmesini sağlamanız, böylece onu Ay'ın sabitleyici kuvvetinin işe yarayabileceği bir bölgeye yerleştirmeniz gerekir.

Bütün bunların nasıl olmuş olabileceği gizemini koruyor. Öne sürülen fikirlerden birine göre, eğer Dünya çok eğimliyken kıtaların çoğu kutuplardan birisi üzerinde tek bir kara kütlesi şeklinde bir araya gelseydi, Dünya'nın dengesini bozabilir ve onu on milyonlarca yıllık bir süre içinde şimdiki pozisyonuna getirebilirdi. Fakat Prekambriyen'in sonunda Güney Kutbu çevresinde ve üzerinde gerçekten de bir kara yoğunlaşması olmasına rağmen bu, yüksek eğimin

Kartopu Dünya olaylarına neden olduğu düşüncesindeki en büyük açığın muhtemelen ne olduğunu aydınlatır. Eğimdeki değişiklikler yavaştır. Fakat Kartopu Dünya olayları, jeolojik standartlara göre aniden başlar ve aniden biter. Bu da Kambriyen patlamasından önce gerçekleşen büyük donmanın tetikleyicisi için benim tercih ettiğim açıklamayı doğuruyor. Onun da kusurları var, ama Kartopu Dünya'yı izah etmek için öne sürülen birçok görüşten daha fazla değil ve bazılarınınkinden çok çok daha az. Bunu daha iyi anlamak için, jeolojik zamanın Kretase döneminin sonunu getiren çarpışmaya ve bunun Dünya üzerindeki yaşama yönelik uzaydan gelen darbelerden kaynaklanan riskler hakkında ne söylediğine bakmak gerekiyor.

## DIŞARIDAN MI İÇERİDEN Mİ?

Kretase kitlesel yok oluşunun Dünya'ya çarpan bir asteroit tarafından tetiklendiğine dair bulgular 1980'lerin başlarında, Louis ve Walter Alvarez dünya çapında ayrı ayrı alanlarda 65 milyon yaşındaki bir kaya katmanında ince bir iridyum tabakası keşfettiğinde ortaya çıkmaya başladı. İridyum Dünya'nın yüzeyinde çok nadir görülür, ama bazı meteorit çeşitlerinde çok daha yaygındır. Onlar yaklaşık 10 km çapında bu tür bir nesnenin çarpmasının, doğru miktarda iridyumu çarpışma sonucu yayılan enkaz bulutunda yerkürenin her tarafına saçmış olabileceğini hesapladılar. Fikirleri başta kuşkuyla karşılandı, ama jeologlar bu varsayıma karşı ya da onu destekleyici kanıtlar ararken, dinozorların öldüğü dönemde meydana gelen çarpışmadan çıkan enkaza ait daha fazla iz ortaya çıkmaya başladı. Çoğu kişi için itiraz kabul etmeyen kanıt, 1990'ların başında Meksika'nın Yucatán Yarımadası'nda bulunan Chicxulub'daki bir jeolojik yapı, tam olarak doğru yerde bulunan ve tam olarak doğru yaşa sahip bir çarpışma krateri olarak belirlendiğinde ortaya çıktı.

Geriye bir konuda şüphe kalıyordu. İridyum Dünya'nın içinde bulunur ve volkan patlamalarıyla yüzeye taşınır. Ger-

çekten de devasa ölçekteki volkan patlamalarının o iridyum tabakasını oraya yerleştirmiş olması hâlâ mümkün görünüyordu ve bu tür patlamalar elbette Dünya üzerindeki yaşam için kötü haber olurdu. Hatta görev için bir aday bile vardı. Kabaca aynı zamana denk gelen devasa püskürmeler, bugün orta batı Hindistan olan bölgeye muazzam miktarlarda lav yayarak Deccan Merdivenleri olarak bilinen yapıyı meydana getirdi. Bu yapı, bir milyon kilometrekareden daha büyük bir alanı kaplayan ve iki kilometreden daha kalın olan, Dünya üzerindeki en büyük volkanik şekillerden biridir. Fakat eşsiz bir şekil değildir. Sibirya Merdivenleri, bir milyon yıl süren ve Permiyen-Trias sınırına yayılan, Kambriyen'in başından beri bilinen en büyük volkanik olaylardan birisi sırasında yaklaşık 250 milyon yıl önce oluştu. Bu, o zaman mevcut olan türlerin yüzde 90 kadarının soyunun tükenmesine yol açan Permiyen kitlesel yok oluş olayıyla aynı zamana "rastladı"; aslında bu yok oluşa neredeyse kesinlikle Sibirya Merdivenleri püskürmesi neden oldu.

Öyleyse Deccan Merdivenlerinin oluşumunu Kretase'nin sonundaki soy tükenişine bağlamak mantıklıdır ve şurası kesindir ki, bu tür olaylar Dünya üzerindeki yaşamın tarihinde rol oynamıştır; teknolojik bir medeniyetin Dünya gibi bir gezegende doğmasından önce üstesinden gelinmesi gereken bir başka engel. Aynı zamanda meteorit çarptığında Deccan Merdivenlerinin oluşumuyla bağlantılı çevresel değişiklikler yüzünden Kretase'nin sonlarında yaşamın öteden beridir baskı altında olması da mümkün görünüyor. Tüm bu olasılıklar, takip eden yirmi yılın büyük kısmında pek çok araştırmayı teşvik etti ve tüm verileri inceleyerek vardıkları sonuçları 2010 yılında *Science* dergisinde yayımlayan kırk bir jeolog, paleontolog ve diğer araştırmacının bir araya geldiği bir toplantıyla sonuçlandı. Volkanik hareketlerin ünlü iridyum tabakasının biriktiği zaman aralığından çok daha uzun bir süre boyunca, aşağı yukarı 1,5 milyon yıl sürdüğünü ve püskürmelerin Kretase kitlesel yok oluşundan aşağı yukarı yarım milyon yıl önce başladığını keşfettiler. Bu süre zarfında ekosistemler çarpıcı biçimde değişimlere uğrama-

dı, ama Chicxulub olayı esnasında aniden çöktüler. Ekip tüm bu verilerin ışığında, 65 milyon yıl önce günümüz Meksika topraklarında gerçekleşen büyük bir asteroit çarpmasının kitlesel yok oluşların temel nedeni olduğu sonucuna vardı. *Science* dergisindeki makalenin yazarlarından biri olan Londra Kraliyet Koleji'nden Joanna Morgan, bunu şöyle dile getirmiştir:

> Artık bir asteroitin Kretase kitlesel yok oluşunun nedeni olduğuna çok büyük oranda güveniyoruz. Bu, büyük ölçekli yangınları, Richter ölçeğine göre büyüklüğü 10'dan fazla olan depremleri ve tsunamiler yaratan kıtasal toprak kaymalarını tetikledi. Bununla birlikte, dinozorlara vurulan son darbe, patlayan maddeler atmosfere püskürdüğü zaman geldi. Bu gezegeni karanlığa boğdu ve küresel bir kışa neden olarak uyum sağlayamayan pek çok türün sonunu getirdi.

Dramatik olsa da bu kısa özet Dünya üzerindeki yaşamın bu çarpışmanın ardından yüz yüze kaldığı tehlikelere zar zor işaret eder. Bunun bizim varlığımız için önemini hesaba katınca, belki de biraz daha ayrıntıya girmeye değer.

## ARKETİPİK ÇARPIŞMA

Bugün Yucatán Yarımadası olan sığ deniz, çarpışmanın en kötü sonuçları doğurması için ideal bir konum sağladı. Dünyanın bu bölgesindeki çökeltiler karbonatlar ile kükürt bakımından zengin olan, anhidrit olarak bilinen bir maddeden oluşan kalın bir tabaka içeriyordu. Bu yüzden çarpışmada çok büyük miktarda karbondioksit ve kükürt dioksit üretildi ve çok yüksek sıcaklıktaki suyla tepkimeye giren kükürt dioksit ufacık damlalar halinde stratosfere kadar taşınan büyük miktarlarda sülfürik asit meydana getirdi. Çarpışmadan hemen sonra, bu asit pusu en yıkıcı etkisini göstermeden önce, yaşam için ilk büyük sorun ısı ve ateş olacaktı; başa gelmek üzere olan gerçek felaketlerin yanında depremler ve tsunamilerden bahsetmeye değmez bile. Çarpışmayla saçılan sıcak maddeler yerkürenin etrafında dolaşarak birkaç saat boyunca bütün yüzeyi metrekare başına 10 kilovata eş-

değer ısıyla ısıttı –Amerikalı Jay Melosh'un canlı bir şekilde 'ızgara' ayarına getirilen bir ev fırınıyla karşılaştırılabilir" olarak betimlediği bir etki. Bu, karadaki bitki örtüsünün yanarak iridyum tabakasının yanında bugün hâlâ görülebilir olan bir is tabakası bıraktığı küresel bir yangın felaketine neden olmak için yeterliydi. Tabakada bulunan is miktarı, o zaman Dünya üzerindeki bütün organik maddelerin yüzde 25'ine denk gelen 70 milyar ton karbonun yanıp kül olduğunu gösteriyor.

Bütün bu dumanın doğurduğu karanlık, stratosferde bulunan, Güneş'ten gelen ısıyı yansıtmada çok etkili olan sülfürik asit damlacıklarıyla daha da güçlendi. Bu yüzden fotosentez, birçok bitkinin ölmesine neden olarak ciddi biçimde kısıtlandı. "Izgara" durumunun sonrasında ise Dünya Morgan'ın değindiği küresel kışın kontrolüne giriverdi. Duman temizlendikçe ve sülfürik asit yağmurla atmosferin dışına aktıkça dünya yeniden ısındı; ama artık çarpışmada açığa çıkan bütün o karbondioksitin neden olduğu keskin bir sera etkisinde aşırı ısınıyordu. Aynı zamanda, asit yağmurları yeryüzü üzerinde sağ kalabilen yaşam türleri için kötü haberdi ve ammonitler gibi kabukları asitler tarafından aşındırılan deniz canlıları için ise fazlasıyla kötüydü. Ayrıca atmosferin ozon tabakası, Güneş'ten gelen zarar verici morötesi ışınların Dünya'nın yüzeyine nüfuz etmesine izin veren tüm bu hareketler yüzünden bozulmuş olmalı. Hatta yerkürenin diğer tarafında süregelen volkanik hareketler, çarpışma sahasından yayılan ve Dünya'nın eğriliyle odaklanan şok dalgalarıyla artan bir etkinlik içine sokulmuş olabilir.

Çarpışmayı bu kadar öldürücü kılan şey, bu çevresel gerilimlerin farklılığıdır. Bu açıklama ortaya çıkmadan önce uzmanlar, örneğin bir felaket timsahları sağ salim bırakırken (veya onlara çok az zarar verirken) dinozorlar ve ammonitler kadar birbirinden farklı canlıları nasıl etkileyebildiğini açıklamaya zorlanıyorlardı. Bunun yanıtı, aynı olayın tetiklediği bir dizi felaketin gerçekleşmiş olmasıdır. Karada bitkiler öldüğünde, bitki yiyen dinozorlar (onları avlayanlar

gibi) zarar gördü; denizde kabuklu canlılar asit yağmurları yüzünden zarar gördü. Kurtulanlar (atalarımız gibi) küçük olmaya meyilliydiler, böylece tehlikelerden saklanabiliyorlardı ve çok fazla yiyeceğe ihtiyaçları yoktu. Ya da yeryüzü normale dönmeye başladığında dağılabilecekleri korunaklı alanlarda yaşayacak kadar şanslılardı. Türlerin yüzde yetmişi öldü; ama bu, geriye kalan yüzde 30'a keşfetmek için yeni fırsatlar doğduğu anlamına geliyordu. Ama bu bile Kartopu Dünya zamanındaki olayların yanında çok önemsiz kalıyor. Karasal bir çarpışma böyle bir olayı tetikleyemez. Dinozorların ölümünün etrafındaki olayların gösterdiği gibi, uygun zaman aralıklarında küresel soğumadansa küresel ısınmaya neden olması daha olasıdır. Ancak dünya dışı olaylar başka bir hikâye.

## KOZMİK BULUTLAR VE KUYRUKLUYILDIZ TOZU

Eğer hesaplamalara rakamları karıştırmazsanız, Güneş Sisteminin yoğun bir yıldızlararası madde bulutunun içinden geçmesi halinde bulutun Güneş'ten gelen ısının bir kısmını engelleyeceğini ve Dünya'yı soğutarak derin bir donma durumuna sürükleyeceğini hayal etmek kolaydır. Fakat yoğun bir yıldızlararası bulut bile santimetreküp başına çoğunlukla hidrojenden oluşmak üzere yalnızca bir milyon civarında atom ve molekül içerir. Karasal standartların çoğuna göre bu neredeyse vakum sayılır – soluduğunuz her santimetreküp hava yaklaşık 40 milyar kere milyar molekül barındırmaktadır. Ve bulutun kütlesinin yalnızca yaklaşık yüzde biri, her biri mikrometre çapındaki katı parçacıklar biçiminde olur. Güneş'in perdeleme etkisi, Dünya'nın iklimine etki edemeyecek kadar küçük olur.

Yalnızca tek bir boşluk var: bunun koşulu, Güneş Sisteminin yakındaki bir süpernova patlamasıyla saçılan gerçekten yoğun bir madde bulutunun içinden geçmesiydi. O zaman Dünya'nın atmosferinin yükseklerindeki toz yerküreyi bir kartopu haline getirmeye yetecek kadar güneş ışığını yansıtabilirdi. Ama bu aynı zamanda uygun yaştaki kayaçlarda rad-

yoaktif madde izleri bırakırdı ve böyle hiçbir ize rastlanmadı.

Ama yine de Güneş Sisteminin sıradan bir yıldızlararası toz bulutunun içinden geçmesinin ama bir Kartopu Dünya olayı değil de sıradan bir buzul çağı yaratabilmesinin bir yolu vardır. Buluttaki hidrojen Dünya tarafından yakalanır ve atmosferin yukarılarında kalacak şekilde filtrelenirdi. Orada moleküller parçalanır ve hidrojen atomları oksijenle birleşerek su buharı da dahil çeşitli bileşikler meydana getirirdi. Birkaç kişi bunun, morötesi ışınlara karşı bize kalkan görevi gören ozon tabakasının zarar görebileceği stratosfer üzerindeki muhtemel etkileri üzerine kafa yormuştur; ama en önemli etki, güneş enerjisinin bir kısmını geri yansıtarak Dünya'nın yüzeyini soğutan, yüksek irtifada bulunan yoğun bir su ve buz kristalleri bulutu üretmek olurdu. Gene de bu kadar ince bir bulutun azami etkisi yeryüzünün sıcaklığını yaklaşık bir derece düşürmek olurdu ve bu da yalnızca başka etkenlerin iklim dengesini aynı şekilde değiştiriyor olması halinde bir buzul çağı başlatabilirdi. Bir yıldızlararası bulut bir Kartopu Dünya oluşturamazdı; ama ya bir gezegenler arası bulut?

Dünya'ya çarpan 10 kilometre çapındaki bir asteroit Kretase kitlesel yok oluşunu tetiklemeye yetmişti. Bu tür nesneler nadir olmaktan uzaktır, ama zarar verebilen yegâne nesneler, Dünya'nın yörüngesiyle kesişen yörüngeleri olanlardır. Bunlar iki aile içinde bulunur: ismini türünün keşfedilen ilk örneğinden alan Apollo asteroitleri zamanlarının çoğunu Güneş'e bizim bulunduğumuz mesafeden daha uzakta geçirirler ama Güneş'e yaklaştıklarında Dünya'nın yörüngesinden geçerler; yine ismini türünün ilk örneğinden alan Aten asteroitleri çoğu zaman Güneş'e bizden daha yakındır ama Dünya'nın yörüngesiyle Güneş'ten uzaklaştıklarında karşılaşırlar. Üçüncü bir grup olan Amor asteroitleri Dünya'nın yörüngesine yaklaşır (dış taraftan), ama yörüngeden geçmezler. Birkaç düzine Apollo (daha fazlası keşfedildikçe sayı artıyor) ve benzer sayıda Aten asteroidi bilinmektedir ve hiç uzaklaşmadıkları için tespit edilmesi kolay olan Amorların sayısı ise binin üzerindedir. Fakat Apollo ve Atenler yalnızca

bize görece yakın oldukları zaman görülebilirler ve istatistiklere göre onlardan çapı bir kilometreden büyük olan binlercesi bulunmaktadır.

Dünya'nın yanından geçen bir nesne tam olarak ne kadar büyük olabilir? Eros adlı asteroit 35 km uzunluğunda, 11 km genişliğinde ve 11 km derinliğinde olan kabaca tuğla şeklinde bir asteroittir. Eğer Dünya'ya çarpsaydı ne kadar büyük zarar vereceğini bir düşünün. Bu asteroit Amor türünün ilk örneğidir ve bilgisayar simülasyonlarına göre, yaklaşık 2 milyon yıl içinde yörüngesi Dünya'nın yörüngesiyle çakışacak şekilde değişebilir. Fakat uzun süreli asteroit ailelerinin yanı sıra ve Jüpiter'in kalkan etkisine rağmen Güneş Sisteminin iç kısmının hâlâ daha uzaktan, gezegenlerin yörüngelerinin ötesinden gelen ziyaretçileri olur. Bunlar, Oort Bulutunda doğan ve içerisinde buz ve kaya kütlelerinin gömülü olduğu kuyrukluyıldızlardır. Gerçekten de, tamamen kanıtlanmamış olsa da Dünya'nın yörüngesinin yakınından geçen asteroitlerin çoğunun basit bir biçimde uzun zaman önce dış Güneş Sisteminden giren, içlerindeki bütün buzu uzun süre önce buharlaşmayla kaybetmiş olan kayalık kuyrukluyıldız kalıntıları olması kuvvetle muhtemeldir. Ve eğer Eros yalnızca bir parçaysa, asıl nesne ne kadar büyüktü?

Bu soruyu iki şekilde ele alabiliriz. İlkinde, bugün dış Güneş Sistemindeki buzlu nesnelerin ne kadar büyük olduğuna bakabiliriz. Oort Bulutu kadar uzak olan nesneleri göremeyiz ama Kuiper Kuşağı'nda bulunan karşılaştırılabilen olanları görebiliriz. Plüton gerçek bir gezegenden çok bir Kuiper Kuşağı Nesnesi olarak görülür; çapı 2300 km kadardır ve en büyük Kuiper Kuşağı Nesnesi bile değildir. Gerçekten bu büyüklükte kuyrukluyıldızlar olabilir mi? Soruyu ele almanın diğer yolu, iç Güneş Sisteminde çok da uzun olmayan bir süre önce kesin bir şekilde parçalara ayrılmış büyük nesnelerin birini ya da daha fazlasını (bir bilgisayar modellemesinde) yeniden yapılandırmaya çalışmaktır. En iyi örnek, adını yörüngesini hesaplayan ilk kişi olan on dokuzuncu yüzyıl gökbilimcilerinden Johann Encke'den alan Encke Kuyrukluyıldızıyla bağlantılı olan enkaz kuyruğudur. Güneş'ten 0,34

astronomik birim (AU) ve 4,08 AU arasındaki uzaklıklarda, neredeyse Jüpiter'e kadar uzaklaşan, 3,3 yıl süren bir periyoda sahip bir yörüngede hareket eder. Bu, bir Apollo yörüngesinde hareket halinde olan tek kuyrukluyıldız olduğu ve Dünya'nın yörüngesinden düzenli olarak geçtiği anlamına gelir. Yirminci yüzyılda Oxford Üniversitesinden Victor Clube ve Edinburgh Kraliyet Gözlemevinden Bill Napier, Encke Kuyrukluyıldızının Güneş'in çevresindeki bir güzergâhta bulunan başka bir enkaz yığınıyla nasıl ilişkili olduğunu çözmek için güçlerini birleştirdiler.

Ölmekte olan bir kuyrukluyıldız Güneş'in etrafında buna benzer bir yörüngeye oturduğu zaman, Güneş'e her yakın geçişinde bütünlüğünü korumaya yarayan buzlu materyal yavaş yavaş tükenir ve kelime anlamıyla bir gaz kümesi içinde yok olur. Bu Güneş Sisteminin doğuşundan bu yana buzun içinde saklanmış olan katı maddeleri, yani asteroit büyüklüğündeki kayalardan kum tanecikleri boyutundaki parçacıklara kadar her şeyi yavaş yavaş serbest bırakır. Dünya, bu parçacık akışının yörüngesinden (umarız ki daha büyük kayalardan birisiyle karşılaşmadan) geçtiğinde kum taneciği boyutundaki parçacıklar meteorlar olarak gezegenimizin atmosferinde yanar. Bu, her yılın aynı zamanında enkaz yığınından geçişimizde gerçekleşir ve uygun bir ya da birkaç gece boyunca gökyüzünün bir noktasından üzerimize göktaşı yağar gibi görünür. Bu göktaşı yağmurları, hangi takımyıldızdan geliyor gibi görünüyorsa onun adını alır. Bunlardan biri olan, Taurus takımyıldızından geliyor gibi görünen Tauridler, her yıl Kasım ayı başlarında görünür; Haziran sonlarında Dünya Güneş'in diğer tarafındayken Güneş'in çevresindeki aynı halkada bulunan daha fazla enkazın içinden geçerek Beta Taurid göktaşı yağmurunu oluşturur. Bu, enkaz yıkıntılarının ne kadar dağınık olduğuna ve içerisinde ne kadar madde olduğuna bir işarettir.

1940 yılında önde gelen kuyrukluyıldız araştırmacılarından Fred Whipple, Taurid enkaz akışlarının tıpkı Encke Kuyrukluyıldızınınki gibi yörüngelerde bulunduğunu ama yana kaydığını ortaya çıkardı. O, bunun sebebinin enkazı

kuyrukluyıldızdan etrafa dağıtan Jüpiter'in kütleçekim etkisi olduğunu ve gördüğümüz dağılma miktarının meydana gelmesinin en az bin yıl sürmüş olması gerektiğini keşfetti. Clube ve Napier hesaplamaları daha da ileriye taşıyarak en büyük Apollo asteroitlerinden en az yedisinin Taurid akışlarıyla bağlantılı olduğunu ve bunlardan en büyüğü olan (10 km uzunluğundaki) Hephaistos'un, 20 bin yıl önce Encke Kuyrukluyıldızının ana gövdesinden koptuğunu gösteren bir yörüngede bulunduğunu ortaya çıkardılar. Toplamda, Taurid akıntısı ve Encke Kuyrukluyıldızıyla bağlantılı olan her birinin çapı bir kilometreyi geçen 150 adet büyük enkaz parçası olması gerektiğini tahmin etmişlerdir. *The Cosmic Winter* [*Kozmik Kış*] adlı kitaplarında ortaya koydukları gibi, "son derece büyük bir nesnenin parçalanmasından kalan kalıntılara bakmakta olduğumuz açık görünüyor."

Clube ve Napier, enkaz yığınındaki tüm maddeleri birleştirerek asıl nesnenin en az yüz kilometre uzunluğunda olması gerektiğini hesapladı. Bu yaklaşık olarak Güneş'in çevresinde Jüpiter ve Uranüs'ün yörüngeleri arasında dönen ve Satürn'ün yörüngesiyle kesişen donmuş bir nesne olan Chiron boyutundadır. Dış Güneş Sisteminde bazıları yüzlerce kilometre büyüklüğünde olan böyle birçok nesne olduğunu biliyoruz ve Encke Kuyrukluyıldızı-Taurid bağlantısı, onların iç Güneş Sistemine girebildiklerine dair kanıt sunuyor. Buraya girdiklerinde ne kadar zarar verebilirler?

## ELMAS TOZU VE BİR TANRIÇANIN YÜZÜNÜ GERDİRME

Clube ve Napier özellikle, tarihöncesinden hemen önceki ve tarihi zamanlarda iç Güneş Sisteminde parçalanan kuyrukluyıldızların Dünya üzerindeki etkisiyle ilgileniyorlardı. Bu tür olaylardan kaynaklanan tozun Güneş'in etrafına dağılma biçimini ve yüzyıllar, bin yıllar geçtikçe yoğunluğu değişen, burçlar ışığı olarak bilinen bir gök olayını yaratmak üzere güneş ışığını nasıl yansıttığını incelediler. Bu değişimleri Dünya'daki iklim değişikliğiyle ilişkilendirdiler ve Encke

Kuyrukluyıldızının yörüngesine benzer bir yörüngeye giren Chiron benzeri gibi bir nesnenin bir buzul çağını tetikleyebileceğini öne sürdüler. Bu donmayı meydana getirmek aslında oldukça zor; ama enine boyuna düşünmesiyle bilinen ve çoğunlukla haklı çıkan Gökbilimci Fred Hoyle, bu tür olayların Dünya'yı Clube ve Napier'in öne sürdüğünden çok daha uç noktadaki bir derin donmaya nasıl götürebileceğini göstermiştir.

Hoyle'un savının özü, Dünya'nın bugünkü iklim dengesinin bıçak sırtında olduğu ve bu dengenin yalnızca görece az düzeyde bozulmasının bile bir kontrolsüzlük etkisi yaratan geribildirimleri tetiklemeye yeterli olabileceğidir. İklim, Güneş'in ısı enerjisiyle çalışan bir "hava makinesi"ne benzetilir. Güneş enerjisi denizler tarafından soğrulduğunda su buharı üretilir ve o su buharı yeryüzünün başka köşelerinde yoğunlaşıp sıvı hale döndüğünde bu ısı enerjisi salınır. Böylece su buharı enerjiyi tropikal bölgelerden daha yüksek enlemlere taşır. Aynı zamanda atmosferde troposferin üstüne, yeryüzünden yaklaşık 15 km yukarıya taşınır. Oradaki sıcaklık –20°C'ye kadar düşer ama su buharının tamamı buza dönüşmez, çünkü ancak "çekirdek" görevi gören, üzerinde gelişebileceği minik toz parçacıkları veya başka maddeler bulunduğu zaman buz kristalleri oluşturabilir. Bu yoğunlaşma çekirdekleri olmadan su, sıcaklık –40°C'ye düşene kadar aşırı soğumuş bir buhar şeklinde kalır. Su, bu noktada aniden, sonrasında daha fazla su buharının donması için yoğunlaşma çekirdeği işlevi görecek olan büyük miktarda minik buz kristaline dönüşür. Bunlar da çok yansıtıcı oldukları için Antarktika kâşiflerince "elmas tozu" diye bilinen bir parçacık yığını oluşturur. Bu maddenin yansıtma özelliği çok güçlüdür, öyle ki yeryüzünün tamamını milimetrenin yüzde biri kalınlığında bir su tabakasıyla kaplasaydınız, ardından bunu her biri metrenin milyonda biri çapında olan elmas tozu kristallerine dönüştürseydiniz, gelen güneş enerjisinin neredeyse hepsini uzaya geri yansıtırdı. Dünyanın atmosferindeki su buharının sadece binde birini elmas tozuna dönüştürmek bile bir Kartopu Dünya olayını başlatmak için yeterli olurdu;

gerçi Hoyle aslında bu düşüncesini böyle olaylarla ilgili kanıtlar keşfedilmeden önce geliştirmiştir.

Hoyle, Kartopu Dünya olayları için değil, sıradan buzul çağları için bir tetikleyici bulmayla ilgileniyordu. Elmas tozu oluşumunu tetiklemek için yeterli soğumaya neden olan tozu havaya fırlatan meteorit çarpmalarını içeren oldukça karmaşık bir model geliştirmişti. Dünya'nın yüzeyinde net biçimde görülebilen bir krater bırakacak büyük bir çarpışma olmadan bunun olması çok zordur. Peki ya bu çarpışma Dünya üzerinde gerçekleşmediyse?

Dünya'da birçok defa soy tükenmesi olmasına rağmen, kesin olarak çarpışmalara bağlanmış yegâne örnekler Kretase'nin ve Trias'ın sonunda gerçekleşen iki büyük olaydır. Dünya'yı etkileyen en kötü felaketlerin en azından bazılarından çarpışmaların sorumlu olduğunu açıkça belirttiği için bu aslında iyi haber değil. Riski değerlendirmenin bir yolu, tektonik hareketlerin yokluğunda yüzeyde krater oluşumu kaydının bırakılmış olduğu Venüs'ün yüzeyini araştırmaktır. Bu, belli bir zaman aralığında gerçekleşen belli büyüklükteki bir çarpışma olasılığını hesaplamada kullanılabilir. Üstelik Dünya ve Venüs neredeyse aynı büyüklükte ve iç Güneş Sisteminde komşu olduğu için, temelde aynı istatistikler bizim gezegenimize de uygulanabilir. Venüs, yörüngesinde bulunan sondalar tarafından radar kullanılarak haritalandırılmıştır ve yüzey özellikleri çok iyi bilinmektedir. Fakat daha önce de bahsettiğim gibi, yüzeyiyle ilgili tuhaf bir şey var. Ay ve Merkür'le kıyaslandığında kraterlerin yoğunluğu çok düşük. Venüs, büyüklüğü ve yaşına kıyasla çok az kratere sahip.

Ay, Merkür ve Mars'a dair araştırmalar, Venüs'ün her 700 bin yılda bir radar haritalamasında görünebilen bir yeryüzü şekli oluşturmaya yetecek büyüklükte bir darbe alması gerektiğini söyler. Yüzeyde rastgele serpiştirilmiş bunun gibi aşağı yukarı 900 krater bulunmaktadır, bu da bize yüzeyin 600 milyon ile 700 milyon yıl arasında bir yaşa sahip olduğunu gösterir. Fakat Güneş Sistemi, muhtemelen Venüs de dahil olmak üzere, 4 milyar yıldan daha yaşlıdır. Yüzeyinin

yaşı, gezegenin yaşının yalnızca yüzde 15'i eder. Venüs üzerinde yakın zamanlarda gerçekleşen –"yakın zamanlar" son birkaç milyon yıl içinde demek oluyor– bazı volkanik hareket izleri gözlenmiştir, ama bunlar tüm yüzeyin neden bu kadar düz olduğunu açıklamaya yaklaşamaz bile. Gezegenler üzerine çalışan bilim insanlarının ortaya koyduğu açıklamaya göre, (50 milyon yıl yanılma payıyla) yaklaşık 700 milyon yıl önce Venüs üzerinde dehşet verici bir volkanik olaylar zinciri yaşandı. Gezegenin kabuğu çatladı ve magma dışarı boşalarak yüzey boyunca yayıldı, eski kraterlerin içini doldurdu ve yeni meteorit çarpışmalarının izlerini bırakmaya başlayabileceği beyaz bir sayfa bırakmış oldu. Jeolojik standartlara göre yıkıcı olmasına rağmen yüzeyin yeniden yapılanması yüz milyon yıl kadar sürmüş olabilir.

Bu, Venüs'ün kalın bir kabuğu olduğu ve Dünya üzerindeki kıtasal kaymalarla ilgisi olan tektonik hareket biçimini tecrübe etmediği yönündeki kanıtlarla birbirini tamamlamaktadır. Olağan yoruma göre, bu kalın kabuğun yalıtkan battaniyesinin altında, radyoaktiviteyle salınan ısı birikir ve basıncı bir şeyler pes edip kabuk çatlayana kadar artırır. Bu senaryoda, dört milyar yıllık tarihinde Venüs'ün yüzeyi pek çok kez yeniden oluşmuş olabilir.

Fakat Venüs'le ilgili tuhaf bir şey daha bulunmaktadır. Daha önce de gördüğümüz gibi kendi etrafında "yanlış" yönde döner. Güneş Sistemine, uzayda Dünya'nın Kuzey Kutbu'ndan çok uzaktaki bir noktadan baktığınızı düşünün; bu durumda gezegenimizin saat yönünün tersine döndüğünü görürdünüz. Neredeyse yan yatmış durumdaki Uranüs ile geriye doğru –hayali gözlem noktamızdan görüldüğü şekliyle saat yönünde– dönen Venüs dışında bütün gezegenlerin dönüş biçimi budur. Bu yüzden Venüs'te Güneş batıdan doğar, doğudan batar. Fakat bunu yapması çok uzun sürer. Yıldızlarla ölçüldüğünde, Venüs 243 Dünya gününde bir dönüşünü tamamlayacak kadar yavaş dönmektedir. Bu, Venüs'ün bir yılından daha uzundur (225 Dünya günü) ama gezegen Güneş'in etrafında hareket ederken bir günün uzunluğu (öğleden ertesi öğleye kadar) yalnızca 117 Dünya günü olur. Bu

yüzden her Venüs yılı, iki Venüs gününden biraz daha kısa sürer. Gezegenlerin çoğunun saat yönünün tersine dönmesinin açıklaması, bu dönüşün gezegenlerin oluştuğu materyal bulutunun Güneş'in etrafında döndüğü yön tarafından belirlenmiş olmasıdır. Uranüs ve Venüs yola aynı yönde dönerek başlamış olmalı –fizik yasaları onlara başka seçenek sunmazdı. Fakat her bir durumda onların şimdiki davranış biçimleri, uzaydan gelen bir nesneden muazzam bir darbe almış olmalarıyla açıklanabilir.

Hiç kimse Venüs'ün bu darbeyi tam olarak ne zaman aldığını söyleyemez. Ancak 700 milyon yıldan daha uzun süre önce gerçekleşmiş olması gerekiyor; yoksa çarpışma izleri hâlâ görünüyor olurdu. Ya da bunun yerine, bu tür bir çarpışma Venüs'ün kabuğunu eritir, çok büyük miktarlarda magmanın açığa çıkarak yüzeye taşmasına ve hiç iz bırakmamasına neden olurdu. Pennsylvania Devlet Üniversitesinden James Kasting, Ceres asteroidinin çapının bin kilometreden daha büyük olduğunu ve Vesta ile Pallas'ın her birisinin yaklaşık 500 km çapında olduğunu belirtir. Ona göre, böyle bir nesnenin bizim gezegenimize çarpması "muhtemelen Dünya'nın okyanuslarının tamamını buharlaştırmaya ve Venüs'ün eski zamanlarındaki kontrolden çıkmış sera atmosferine çok benzeyen gibi bir buhar atmosferi yaratmaya yeterdi .... Tüm Dünya'yı arındırabilirdi." Fakat Kasting şunu sormuyor; o nesne ya Venüs'e çarpsaydı, ne olurdu?

Kanıtlar yalnızca ikinci derecede önemli olsa da, tesadüfü son sınırına kadar götürmeye inanmadığınız takdirde bilinen sonuca varma isteğine karşı konulamaz. Eğer Kuiper Kuşağındaki nesnelerden birinin boyutundaki gerçekten büyük bir nesne ya da büyük bir asteroit yaklaşık 700 milyon yıl önce iç Güneş Sistemine girerek parçalandıysa ve en büyük parça Venüs'e vurduysa, bu neden Venüs'ün geriye doğru döndüğünü, neden o zamanlarda yüzeyinin yeniden oluştuğunu ve neden atmosferinin üst kısmı kuyrukluyıldızdan gelen tozla beslenen Dünya'nın yüzeyi donarken güneş ışığını üst atmosferden yansıttığı için kısa bir süreliğine bir elmas gibi parladığını açıklayabilir. Üç bulmaca bir süper

kuyrukluyıldız tarafından çözülmüş durumda. Sahne Kambriyen patlamasına hazırlanırken Sıcak Sera Venüs ile Kartopu Dünya'nın kaderleri ayrılmaz biçimde iç içe geçmiş olabilir. Ve böylesi bir olayın az görülmesi sadece Kambriyen patlamasının ne kadar özel olduğunu ve burada olduğumuz için ne kadar şanslı olduğumuzu vurgular.

Öyleyse, bizim türümüzü özel kılan şey neydi?

# 8

# BİZİM HAKKIMIZDA BU KADAR ÖZEL OLAN ŞEY NEDİR?

Bizi özel kılan en belirgin şey, (zekâyla kastettiğimiz şeyi tanımlamak zor olsa da) zekâmızdır; daha belirgin olarak, yunusları ve diğerlerini de göz önünde bulundurursak, bizim zekâ türümüzdür. Zekâ, herhangi bir kadının size göstereceği gibi, yalnızca beyin büyüklüğünün bir işlevi değildir, ama yunusların bir anlamda zeki oldukları ortadadır ve vücutlarına oranla büyük beyinleri vardır; bazı türlerde, beyin bu anlamda şempanzenin ve gorilin beyninden daha büyüktür. Aslında 2,5 milyon yıl öncesine kadar yunuslar bu ölçüte göre Dünya üzerindeki en büyük beyinli canlılardı, belki de bu yüzden en zekileriydi. Ancak o zaman *Homo erectus* beyni yunuslarınkini aşmak üzere gelişti. Fakat teknolojiyi keşfeden veya icat eden (kısmen bariz olan çevresel etkenlerden ötürü) yunus soyu değil, *Homo* soyu oldu.

Saint Augustine'in sözlerini yeniden yorumlayalım: O hâlde zekâ nedir? Eğer bana hiç kimse sormazsa ne olduğunu bilirim. Eğer biri sorar da açıklamaya çalışırsam, ne olduğunu bilmiyorum. Kesin olarak bildiğimiz şey, insan zekâsının Dünya gezegenindeki evrimin eşsiz bir ürünü olduğudur. Ve yine de ona oldukça fazla benzeyen bir şeyin eğer şans tanınırsa kısa zaman içinde ortaya çıkmış olabileceğine dair bazı kanıtlar bulunur. Bu belki de bizim bakış açınızla olumsallık ve yakınsaklık arasındaki karşılıklı etkileşimin en önemli örneğidir –veya Nobel Ödüllü Fransız biyolog Jacques Monod'un daha zarifçe ortaya koyduğu gibi, rastlantı ve zorunluluk.*

* J. Monod, *Rastlantı ve Zorunluluk*, çev: Elodie Moreau, Alfa Bilim] –yn.

## ŞANS, ZORUNLULUK VE ONDALIK SİSTEM

Bu terminolojide, Kretase kitlesel yok oluşu gibi bir yıkımdan hangi türün kurtulabileceğini belirleyen şans ve kurtulanların içinde bulundukları şartlara uyum sağladıkça nasıl evrildiklerini belirleyen ise zorunluluktur. Eğer zeki, stereoskopik görüşe ve etrafındaki şeyleri idare etmek için ellere sahip ve dik durabilen iki ayaklı bir canlı olmak bugün öylesine büyük bir evrimsel avantaj getiriyorsa, 150 milyon yıldan daha uzun süre önce dinozorlar Dünya'nın hâkimiyken işbaşında olan doğal seçilim baskıları neden zeki, dik durabilen dinozorlar yaratmadı?

Sorunun bir yanıtı, o uzun jeolojik zaman aralığında evrimsel baskıların birçok yönden daha yakın zamanlarda olduğundan daha düşük olmasıdır. Genel olarak çevresel kararlılığın olduğu bir zamandı. Kıtaların coğrafi düzeninden dolayı özellikle türleri ayıklayacak ve zekâ ile uyum sağlama yetisini teşvik edecek büyük buzul çağları yoktu. Biraz sonra bundan daha çok bahsedeceğiz. Fakat söz konusu soruya verilecek bir başka yanıt, evrim değirmeninin yavaş bir şekilde öğütmesine rağmen gene de öğütmüş olduğu ve Kretase'nin sonuna doğru çok ilginç bir dinozor türünün ortaya çıktığıdır.

Dinozorlar yalnızca küçücük beyinli kocaman hantal canavarlar değildi. "Dinozor" terimi, bugünkü "memeliler" terimi kadar büyük çeşitlilikte canlıları kapsar. Aslanlar ve kaplanlar gibi etoburlara karşılık gelenler, geyik ve koyun gibi otoburlara karşılık gelenler, hatta suda yaşayan ve uçan (aslına bakılırsa dinozor sayılmazlar) akrabaları vardı. Bu çeşitliliğin ortasında, burada bulunmamızın nedenine dair özellikle yerinde fikirler veren bir aile ortaya çıktı. Bu ailenin ilk arketipik üyesi, cinse ve aynı zamanda ailenin kendisine (Troodontidler) adını vermiş olan Troodon olarak bilinen bir türdür. Eskiden Stenonychosaurus olarak bilinirdi ve Saurornithoides adında yakın bir akrabası vardı. Uzman olmayanlara göre mevcut bağlamda bu isimlerin üçü de eşdeğerdir, ama ben Troodon'a bağlı kalacağım.

Troodon, başından kuyruğuna kadar yaklaşık 2-3 metre boyunda olan görece küçük bir dinozordu. İki ayağı üzerinde

duruyordu ve iki kolu vardı; bu kollar, birisi bizim başparmağımız gibi kısmen karşı durabilen bir parmak olan üç uzun parmağa sahipti. Yaklaşık 50-60 kilo ağırlığındaydı ve büyük gözleri vardı (bazı uzmanlar bunun gece görüşlü olduğunu gösterdiğine inanıyor) ve gözleri, kafasının önüne doğru yerleşikti, dolayısıyla stereoskopik görüşe sahipti. Temelde bir etobur olmasına rağmen dişleri hepçil olduğunu göstermektedir. Hafif vücutlu, iyi bir görüşe sahip ve sıkı kavrayabilen elleri olan çevik bir avcıydı. Avları büyük ihtimâlle yalnızca küçük sürüngenleri değil, bizim atalarımızın da içinde olduğu türler dahil küçük memelileri içeriyordu. En önemlisi, tüm dinozorlar içinde vücut kütlesine oranla en büyük beyine sahipti; bu oran günümüz babunlarının sahip olduğundan çok da düşük değildi. Tüm bu işaretler Troodon'un bizimki gibi bir zekâ türünü geliştirme yolunda olduğuna işaret ediyor. Ne var ki tam da Kretase döneminin sonunda yaşama talihsizliğiyle karşı karşıya kaldı.

Kretase kitlesel yok oluşu, Troodon'un kendisiyle cinsinin ve ailesinin diğer bütün üyeleri de dahil olmak üzere yaklaşık 40 kilodan daha ağır olan bütün hayvanların kökünü kazıdı. Peki ya bu felaket hiç gerçekleşmeseydi? Bu kışkırtıcı senaryo bazı bilim insanlarını, özellikle de paleontolog Dale Russell ve gökbilimci Carl Sagan'ı Kretase kitlesel yok oluşu hiç meydana gelmeseydi Troodon'un evriminin nereye gideceğini tahmin etmeye çalışmaya teşvik etti. Russell ve çalışma arkadaşı Ron Seguin, 'dinosauroid' adını verdikleri, iri gözlere ve karşı durabilen başparmakların olduğu üç parmaklı ellere sahip olan büyük beyinli sürüngen bir iki ayaklı yaratığın "gerçek boyutlu" modelini yapacak kadar ileri gittiler.

Russell, geç Kretase'de devam etmekte olan evrimsel değişim hızında, modern bir insanla aynı vücut kütlesine ve ona denk bir beyne sahip olan bir canlının evrimleşmesinin yaklaşık 25 milyon süreceğini ve aşağı yukarı 40 milyon yıl önce ortaya çıkacağını hesapladı. Böyle zeki bir dinosaurid, muhtemelen bizim onluk taban kullanmamızın görünüşte mantıklı (ama aslında keyfi) nedeniyle aynı nedenden ötü-

rü altılık tabanlı aritmetik bir sistem geliştirirdi. 40 milyon yıllık evrim sürecinde böyle bir tür neler başarabilirdi? Sagan'ın oldukça tutucu biçimde ifade ettiği gibi (Kretase kitlesel yok oluşunun nedeni bilinmeden önce):

Eğer dinozorlar 65 milyon yıl kadar önce gizemli bir biçimde toptan yok olmasalardı Saurornithoidler giderek daha zeki formlara evrilmeye devam eder miydi? Büyük memelileri müşterek olarak avlamayı öğrenip böylece bir ihtimal Mezozoik çağın ardından gerçekleşen büyük memeli çoğalmasını engellerler miydi? Eğer dinozorların nesli tükenmeseydi, Dünya üzerindeki hâkim yaşam formları Saurornithoidlerin kitap okuyan ve yazan, memeliler galip gelseydi neler olacağı hakkında kafa yoran torunları mı olurdu?

SETI taraftarları eğer Troodon bu kadar uzun bir süre önce zekâ geliştirmeye bu kadar yaklaştıysa, bunun Galaksinin başka yerlerinde zekâ bulma olasılığını artırdığını iddia etmektedir. Fakat Fermi paradoksu yenilenmiş güçle geri dönüyor, çünkü artık bilmece yalnızca neden diğer gezegenlerden gelen medeniyetlerin Güneş Sistemine kartvizitlerini bırakmadığı değil, neden daha önce Dünya üzerinde uzay uçuşu yapabilen, Dünya'nın yörüngesinde, Ay'da veya Mars'ta iz bırakmış medeniyetlerin bulunmadığıdır. Karamsar bakış açısı, dinozor evriminin bizim zekâ türümüze giden yolun daha ilk basamağına çıkmasının 150 milyon yıl sürdüğünü söyler, bunun ardından da felaket kapıyı çalmıştır. Felaketlerin Dünya'daki yaşamı ne kadar sık vurduğunu göz önünde bulundurursak, zekâ evrimleşmek için nasıl zaman bulabilirdi ki? En azından bizim durumumuzda cevap, iklimdeki büyük değişikliklerin evrimin hızını artırmış olması gibi görünüyor.

## MOLEKÜLER SAAT

Fosiller ile moleküler kanıtların birleşimi sayesinde *Homo sapiens*'in Troodon'a denk bir memeliden ne kadar hızlı evrimleşmiş olduğunu biliyoruz. DNA "parmak izi" adli tıp soruşturmalarında kullanıldığı için artık bilindik bir yöntem-

dir. Örneğin bir kardeşten alınan DNA, insan kalıntılarının diğer yollarla tanımlanamadığı afetlerde kurbanların kimliklerini belirlemek için rutin olarak kullanılmaktadır. Kardeşler veya ebeveynler ile çocukları çok benzer DNA'lara sahiptirler. Kuzenlerin DNA'ları, kardeşlerinkinden biraz daha farklıdır, daha uzak akrabaların DNA'larında daha da fazla farklılık vardır ve bu böyle devam eder. Eğer farklı yaşlarda hepsi de birbiriyle bağlantılı bir insan grubunuz olsaydı, yalnızca DNA'larının ölçümlerini kullanarak grup için bir aile ağacı çıkarmak kolay olurdu, bu da belki hepsinin orada bulunan en yaşlı insanın, yani ortak atalarının soyundan geldiğini gösterirdi. Türler için de aynı şeyi yapabilirsiniz. DNA'larını analiz ederek, hangi türlerin çok yakın akraba olduğunu (kardeşler gibi), hangilerinin daha uzak akraba olduğunu (kuzenler gibi) açığa çıkarabilirsiniz. İnsan ailelerinde olduğu gibi, kardeş türlerin daha yakın ortak ataları vardır (ebeveynlerin eşdeğeri), kuzen türlerinse daha uzak ortak ataları vardır (büyük anne-büyük babanın eşdeğeri) ve böyle sürer.

Örneğin dev pandanın bir ayı olduğunu gösteren bu türden bir analizdi –DNA yöntemi bulunana kadar, zoologlar onu bir tür ayı olarak mı ya da bir tür rakun olarak mı sınıflandıracakları konusunda kararsızdılar. Benzer araştırmalar, uzmanlar arasında köpeğin kökeniyle ilgili bir tartışmaya da çözüm getirdi. DNA kullanımı öncesinde, uzmanlar iki düşünce okuluna ayrılmıştı. Biri ilk köpeklerin yalnızca evcilleştirilmiş kurtların soyundan geldiğini düşünürken diğeri çakalların veya kır kurtlarının da köpeğin soyuna katkıda bulunmuş olabileceğinden şüpheleniyordu. DNA kanıtları, kurt dışındaki bütün ata türleri saf dışı bırakır. Bu tür araştırmalar, tek başına anatomik göstergelere dayanarak belirlemesi zor olduğu anlaşılmış birçok başka ilişkiyi ortaya koymuştur. Peki ya bizim kendi türümüz?

Şempanzelerle genetik materyalimizin yüzde 99'unu paylaşıyor olduğumuz artık bir klişe haline gelmiştir, ama yine de doğrudur. Daha net olarak ifade edersek, ortak genetik mirasımız DNA'mızın yaklaşık yüzde 98,6'sına karşılık gelir

ama bu bizimle şempanzeler arasındaki yüzeysel farklar göz önünde bulundurulursa gene de çarpıcıdır. Aslında iki çeşit şempanze bulunmaktadır: bayağı şempanze (*Pan troglodytes*) ve bonobo (*Pan paniscus*). DNA yöntemi bonoboların yaşayan en yakın akrabamız olduğunu ve bayağı şempanzelerin biraz daha uzak akrabamız olduğunu gösterebilecek düzeyde hassastır. Ancak, yalnızca çok az daha uzak. Biyolojinin tüm genel kurallarına göre bizim de şempanze, yani *Pan sapiens* olarak sınıflandırılmamız gerekir; kendimizi ayrı bir cins, *Homo* olarak sınıflandırmamız yalnızca kendimizi özel görme eğilimimizden kaynaklanır. Yaşayan sonraki en yakın akrabalarımız tahmin edebileceğiniz gibi goril ve orangutandır. Fakat eğer bunlar bizim –deyim yerindeyse– kuzenlerimizse, bizim, şempanzelerin, gorillerin ve orangutanların ortak ataları, büyük anne ve büyük babalarımız kimdi ve ne zaman yaşadılar? Başka şekilde ifade edersek, moleküler saat ne kadar hızlı ilerliyor?

İlk adım saatin ilgilendiğimiz tüm türler için aynı hızda ilerlediğini ortaya koymaktır –özellikle de bizler, şempanzeler ve goriller için. DNA'daki değişimler, ortak bir atadan koptuktan beri meydana gelen mutasyonlar yoluyla birikmiştir ve ne kadar akla yatkın görünürse görünsün, mutasyonların her türde aynı hızda ortaya çıktığını varsaymak yanlış olur. Soy ağaçları oluşturmak için kullanılmadan önce moleküler saatin (veya saatlerin; DNA'dan başka moleküller de kullanılabilir) hassasiyeti ölçülmeli ve fosiller gibi diğer kanıtlara karşı ayarlanmalıdır.

Bu pratikte birçok türün, onların moleküllerinin ve diğer bulguların ayrıntılı incelemelerini içeren uzun bir süreçtir. Bu ayrıntılarla burada ilgilenmemize gerek yok ama bir örnek, yöntemin nasıl çalıştığına dair fikir verebilir. Kuyruksuz maymunlar (biz dahil), babun ve sincap maymunları evrimsel geçmişlerinde ortak bir atayı paylaşmaktadır –bu aşamada bunun tam olarak ne kadar geriye gittiği önemli değil. Bizimle sincap maymunu arasındaki moleküler "uzaklık" yüzde 15 ve bu, sincap maymunuyla babun arasındaki moleküler uzaklıkla ve sincap maymunuyla diğer kuyruksuz

maymunlar arasındaki moleküler uzaklıkla tamamen aynı. Dolayısıyla bütün bu türlerde aynı zaman diliminde aynı miktarda değişim birikmiştir. Bu, moleküler saatin kopuştan bu yana tüm bu türlerde aynı hızda işlemiş olduğunu göz önüne serer. Benzer bir şekilde, kuyruksuz maymunlar ile babun arasındaki mesafe bütün insansılar için aynıdır. Böylece saatin en azından sincap maymunuyla paylaşılan ortak atadan kopuş zamanından beri insanlarda ve diğer kuyruksuz maymunlarda aynı hızda ilerlemekte olduğunu biliyoruz. Bu, evrimsel açıdan insan soyu hakkında özel bir şey olmadığına dair ek kanıttır; biz sadece, diğer kuyruksuz maymunlarla aynı şekilde evrim geçiren, Afrika insansılarının bir çeşidiyiz.

İnsan soyu ile kuyruksuz maymun kardeşlerimiz arasındaki kopuşun zamanını tam olarak belirlemek için kullanılabilecek hiçbir fosil olmamasına rağmen, daha önceki kopuşların zamanını verebilen fosiller var ve bunları saati ayarlamak için kullanabiliriz. Uzun lafın kısası, fosiller ve moleküler kanıtların birleşimi bize insanlarla şempanzelerin kopuşunun 4 milyon yıldan kısa bir süre önce gerçekleştiğini ve goril soyunun bizim atamızın soyundan insan-şempanze kopuşundan hemen önce ayrıldığını söylemektedir.

Bu, kopuşa neyin neden olduğu sorusunu akla getiriyor. Ormanda yaşayan bir kuyruksuz maymun popülasyonunun, çoğu Afrika ormanlarında kalan, ancak biri kendisini Dünya üzerinde baskın tür olmaya götürecek bir yolculuğa çıkarak radyo teleskoplar ve uzay araçları inşa eden ve evrenin diğer yerlerinde zeki yaşam olasılığı üzerine kafa patlatan birkaç soya ayrılmasına ne sebep oldu? Fosil kanıtlarından kopuşun nerede gerçekleştiğini biliyoruz –Afrika Büyük Rift Vadisi bölgesinde; ne zaman gerçekleştiğini biliyoruz ve gerçekleşme sebebine ve Kretase'nin sonlarındaki evrim hızına kıyasla neden bu kadar hızlı gerçekleştiğine dair göze çarpan bir aday mevcut.

## DEĞİŞİMİN TETİKLEYİCİSİ

Bizi diğer Afrika kuyruksuz maymun türlerinden ayıran şey nedir? Uyum sağlayabilme ve zekâ. 4 milyar yıldan biraz daha uzun bir süre önce, Afrika'da ormanlık alanda yaşayan bir kuyruksuz maymun için uyum sağlayabilmenin ve zekânın getirdiği avantaj neydi? Afrika ormanlarını çok şiddetli biçimde etkileyen ve kıtaların kayan düzenlerinden kaynaklanan bir dizi çevresel değişiklik.

5 milyon yıl kadar önce Dünya'daki şartlar, jeologların o zamanı bir bölümün –Miyosen'in– sonu ve yeni bir bölümün –Pliyosen'in– başlangıcı olarak tarihlendirebileceği kadar önemli oranda değişmişti (dönemler jeolojik devirlerin alt bölümleridir). İlk gerçek hominidler (büyük insansılar) ve *Homo* olarak sınıflandırılan ilk türler Pliyosen'de ortaya çıktı. O zaman, Avustralya ve Güney Amerika'nın çoktan beri Güney Kutbu'nda yerleşmiş olan Antarktika'dan uzaklaşarak kuzeye doğru hareket ediyor olması dışında gezegenin güneyinin uzaklarında çok az coğrafi değişim vardı. Bu, Antarktika'nın çevresinde güçlü bir okyanus akıntısının çevrimine olanak tanıdı ve onu sıcak tropikal akıntılardan mahrum bıraktı. Bu yüzden burası yaklaşık 6 milyon yıl önce o kadar soğudu ki güney buz örtüsünde bugünkünden bile daha çok buz hapsoldu. Çok fazla su donduğu için küresel deniz seviyesi şimdikinin 50 metre altındaydı. Diğer şeylerin yanında, bu Akdeniz Havzasının güneydeki buz tabakasının büyüklüğü değiştiği için bir değil birkaç sefer tamamen kurumasına neden oldu.

Güney görece küçük dalgalanmalarla oldukça sabit bir duruma hapsolmuşken, Kuzey Yarıkürenin değişen coğrafyası kökenlerimizin hikâyesinde baskın hale geldi. Kıtalar kuzeye doğru hareket edip Arktik bölgesini çevreler ve etrafını sararken çevre iki nedenden ötürü değişti. Birincisi kuzeye doğru daha uzak olan karalarda karın yerleşerek buz tabakaları ve buzullar halinde birikmesi daha kolaydı. İkincisi, Kuzey Buz Denizi Kuzey Kutbu'nda kalmaya devam ettiyse de giderek daha fazla kara parçasıyla çevrildi ve böylece sıcak tropikal akıntılar nüfuz edemediği için soğudu. Sonuçta

bu, denizin üzerinde bir buz örtüsü oluşmasına neden oldu –ve buz örtüsü bir kez oluşunca parlak yüzeyi gelen güneş enerjisini yansıtır ve soğuk hava şartlarının devamına yardım eder. Herkesin söyleyebileceği kadarıyla, buzla kaplı ve karalarla çevrili kuzey okyanusu ile aynı anda Güney Kutbu üzerinde buzla kaplı bir kıta şeklindeki bu örüntü, gezegenimizin uzun tarihinde daha önce hiç gerçekleşmemiştir. Bizim olduğumuz kadar eşsizdir.

Kuzey Yarıküredeki kıtaların kutba doğru kaymasının ilk etkisi, iklimde daha büyük bir çeşitliliği ortaya çıkarmak oldu. Tüm karalar Ekvator'a daha yakınken karaların çoğunda temelde tropikal diyebileceğimiz bir iklim hâkimdi. On milyonlarca yıl süren bu durum, bu tür bir çevreye uyum sağlamış türler için çok iyiydi ama evrimi canlandıran çevresel baskılara pek fırsat tanımıyordu. Bununla birlikte, Akdeniz'in kuruma evreleri yaşadığı zamanlarda Arktik bölge iğne yapraklı ağaçlardan oluşan ormanların karaların kuzey sınırlarına doğru genişlediği serin ve ılıman bir iklim yaşıyordu. Mevsimsel kar yağışları yaşanmış olsa bile yüksek kuzey enlemler güneyden sıcak su taşıyan Gulf Stream yoğunlaşırken bir süre boyunca buzsuz kalmıştı. Bu, yaklaşık 5 milyon ila 3 milyon yıl önce, Kuzey ve Güney Amerika kıtaları arasındaki boşluk yavaş yavaş kapanıp suya Pasifik'ten çıkmak için hiçbir kaçış yolu bırakmadığı zaman meydana geldi. Fakat uzak kuzeye giden yol Grönland tarafından tıkanınca, akıntı kuzeybatı Avrupa'yı bugün de Newfoundland'den daha sıcak tuttuğu doğu yönüne saptı ve Arktik bölge en sonunda dondu. O dönemde, tektonik hareketler sonucunda İber Yarımadası ile Afrika arasındaki boşluk biraz genişledi ve 5,3 milyon yıl önce Akdeniz Havzası Cebelitarık Boğazından ani bir boşalmayla saatte 300 kilometreye varan hızlarla akan sularla son kez doldu. Deniz günde 10 metre kadar yükseldi.

İklimlerin daha fazla çeşitlenmesiyle birlikte hem hayvanların hem de bitkilerin yaşamları için daha büyük bir çevresel çeşitlilik oluştu. Karanın büyük kısmı tropikal ormanlarla kaplıyken tropikal türler için çok fazla, geri kalan

şeyler içinse çok az alan vardı. Yeryüzünün tropikal, ılıman ve diğer iklim kuşaklarına ayrılması birçok tropikal tür, en azından ormanın sınırlarında tükenmekte olan kaynaklar için birbirleriyle yarışanlar için kötü haberdi; fakat ormandan dışarı taşınıp farklı yaşam biçimlerine uyum sağlayabilen türler için bu iyi haber anlamına geliyordu. Böylece bundan yaklaşık 6 milyon yıl önce Dünya üzerindeki yaşam çeşitliliği gerçekten arttı. Modern köpeklerin ataları o zaman ortaya çıktı ve bunu çabucak modern ayılara, develere ve domuzlara giden soylar izledi. Ve daha önce gördüğümüz gibi, Doğu Afrika'da kuyruksuz maymun soyu üçe ayrıldı ve o ayrımdan gelen dallardan birisi *Homo sapiens*'in ortaya çıkışına yol açtı.

## İNSAN EVRİMİNİN HIZ DÜZENLEYİCİSİ

Yaklaşık 5 milyon yıl önce Doğu Afrika'daki jeolojik şartlar bölgeyi Dünya'nın yaşamakta olduğu iklimsel değişim çeşitlerine karşı özellikle hassas hale getirmişti. Tam Afrika kuyruksuz maymunlarına giden soyda üçe bölünme yaşandığı zamanda, tektonik hareketler Dünya'nın kabuğunun kalın bir tabakasını kaldırıyor ve onu yanal kuvvetlerle ikiye ayırarak büyük Doğu Afrika Rift Vadisi sistemini oluşturuyordu. Bütün bir yıl nemli iklime sahip tropikal ormanla kaplı olmak yerine, bölge gittikçe kurudu ve ormanın genişliği daha da sınırlandı. Sürmekte olan iklimsel değişimlerin genel biçiminin bir parçası olarak iklim biraz daha mevsimsel hale geldi, tropikal orman adaları ise artık çayırlar ve daha açık ağaçlıklı bölgelerle çevriliydi.

Sıcaklık açısından bakıldığında, buz tabakaları kuzey yönünde daha uzağa dağıldığında bile elbette soğumuş olsa da bölge çok fazla etkilenmedi. Büyük Rift Vadisi'nin bitki örtüsü ve faunası için çok daha fazla önem taşıyan şey, yağıştaki ilgili değişimdi. Dünya soğuduğunda okyanuslarda daha az buharlaşma olur, böylece havada daha az nem bulunur ve toplamda daha az yağmur yağar. Üstelik buz örtüleri büyüdüğünde deniz seviyesi düşer ve geniş

kıta sahanlığı alanları açılır, bu yüzden yağmur taşıyan sistemlerin örneğin Büyük Rift Vadisi gibi bir bölgeye ulaşmadan önce daha uzağa gitmesi ve oraya varmadan önce nemin büyük kısmını atması gerekir. Kendi atalarımızın evrimi açısından önemli olan, yüksek enlemlerdeki bir buzul çağının Doğu Afrika'da kurak bir devir olduğudur. Ve kuraklık ormanlar için kötüdür.

3 milyon yıl önce Kuzey Kutbu neredeyse bugünkü kadar soğuktu ve kar ve buz uzağa yayılmadıysa da çeşitli jeolojik bulgularla açığa çıktığı üzere, ekvatoral bölgelerde belirgin biçimde soğuma ve kuruma vardı. Buz, Avrupa kıtasında ve Kaliforniya dağlarında 2,5 milyon yıl önce ortaya çıktı. Bugün Dünya yüzeyinin buzla kaplı alanı yaklaşık 15 milyon kilometrekaredir; ama yaklaşık 2 milyon yıl öncesinde buzla kaplı alan 45 milyon kilometrekareydi ve buzda hapsolmuş suyun hacmi o zamanki deniz seviyesindeki düşüşe bakılırsa 56 milyon kilometreküptü. "Tesadüfen" (ben yalnızca bir tesadüf olduğuna inanmıyorum) o dönemde, *Homo* soyunun Afrika'dan dışarı çıkacak ilk üyesi, önce Afrika boyunca ve en sonunda da Avrupa'ya ve Asya'ya yayılmaya başladı. Bu, *Homo erectus* olarak bilinen, boyundan aşağısı neredeyse tamamen insan olan ve yayılmaya başladığında beyin kapasitesi 900 santimetreküp civarındayken zamanla yaklaşık 1100 santimetreküpe çıkan bir türdü; modern insanın beyin kapasitesi 1360 santimetreküptür. Büyük bir beyin ve onunla gelen tüm diğer özellikler –zekâ ve uyum yeteneği– *Homo erectus*'un ve onun evrildiği *Homo* soyundaki sonraki varyasyonların başarısı için çok önemliydi. Bunun nedenini o dönemde gelişen iklim değişikliğinin düzenli nabız atışında bulmak kolaydır.

İklim ritimlerinin karmaşık etkileşimine dahil olan birkaç döngü olmasına rağmen, jeolojik araştırmalarla açığa çıkarılan ana nabız atımı, her birisi kabaca 100 bin yıl süren tam buzul çağlarının, her birisi 10 bin yıl kadar süren –buzul arası dönemler olarak bilinen– daha ılık dönemlerle ayrıldığı bir döngüdür. Biz de 10 bin yıldan biraz daha önce başlamış bir buzul arası dönemde yaşıyoruz; insan medeniyetinin

tümü bir tek iklimsel nabız atımının içinde bulunur. Fakat şüphesiz ki "gelecek" buzul çağı, teknolojik medeniyetimizin Dünya'nın iklimi üzerinde bırakmakta olduğu etki yüzünden programda görünmeyebilir.

Bu yapı iyi anlaşılmıştır. Bunun Dünya'nın eğiminin ve sallanmasının bin yıllar boyunca yavaşça değişme biçimiyle (Ay'ın sabitleyici etkisine rağmen) ve Dünya'nın yörünge şeklinin başta Jüpiter olmak üzere diğer gezegenlerin kütleçekim etkisinden dolayı daha dairesel bir biçimden daha eliptiğe doğru değişmesi ve sonra yine başa dönmesiyle ilgisi vardır. İklimin nasıl değiştiğine dair ortaya çıkan kuramsal tanım genellikle –ayrıntıları çözen Sırp gökbilimci Milutin Milankovitch'e ithafen– Milankovitch Modeli olarak adlandırılır. Aslında üç ana "Milankovitch" döngüsü bulunur; birisi kabaca 100 bin yıl, diğeri yaklaşık 43 bin yıl ve öteki de aşağı yukarı 23 bin yıl uzunluğundadır. Önemli olan nokta, Dünya'nın yıl boyunca Güneş'ten aldığı toplam ısı miktarı aynı olmasına rağmen ısının mevsimler boyunca dağıtım biçiminin değişmesidir. Ve geçtiğimiz birkaç milyon yılda kıtaların olağan dışı dağılımı Antarktika'yı kalıcı bir derin donma haline sokarken, Kuzey Yarıküreyi bu değişimlere karşı çok hassas hale getirmiştir. Bu, Dünya tarihinde eşsiz ve bizim varoluşumuzdan sorumlu olan bir durumdur.

Bazen kuzeydeki kışlar çok soğuk ama yazlar çok sıcak olur; bazen de kışlar yumuşak ama yazlar serin geçer (bu görüntü elbette GüneyYarıkürede tersine döner). Bugün donmuş kuzey okyanusu çevresinde yüksek enlemlerde bu kadar çok kara parçası olduğu için, gezegenimizin doğal halinin tam bir buzul çağı pençesinde olması beklenir. Milankovitch Modeli'ne göre, Dünya tam bir buzul çağından ancak birkaç bin yılda, şartlar sıcak kuzey yazları meydana getirecek ölçüde elverişli hale geldiğinde ve buzun çoğunu eritecek kadar sıcak olduğunda çıkabilir. Yazlar sıcak kaldığı sürece, az miktarda buz eridiği zaman süreç ivme kazanır çünkü sonuçta ortaya çıkan koyu renkli kara parçası, parlak buza göre daha fazla Güneş ısısı soğurur. Ama yazlar soğuduğunda, kışın zaten her zaman kar yağacak kadar soğuk olduğu

için süreç tersine döner ve gezegen tam bir buzul çağına girer. Jeolojik kayıtlar bu öngörüyle birebir eşleşmektedir.

Uzak güneyde, atalarımızın yaşadığı ormanlarda karşılaşılan sonuç, tekrarlayan kıtlık ve bolluk biçimindeydi. Güneydeki kalıcı buz örtüsü zaten daha az nem anlamına geliyordu ve ormanları Milankovitch döngülerinin ritimlerine karşı daha hassaslaştırmıştı. Ormanların gerilediği zor zamanlarda, o ormanlarda yaşayan ön-insansılar iki seçenekle karşı karşıyaydılar. Ormanın kalbine geri çekilerek diğer ağaç sakinleriyle sınırlı kaynaklar için rekabet edebilirler ve sonuçta şempanze ve goril dahil daha yetkin ağaç canlılarına dönüşürlerdi. Ya da yeni bir yaşam şekli öğrenerek ve düzlüklere doğru yönelmeye başlayarak ormanın kıyılarında yaşamaya çalışabilirlerdi. Uçlara itilen veya uyum sağlamak ya da ölmek zorunda olanlar, daha başarısız olan ağaç sakinleriydi.

Eğer kuraklık devam etmiş olsaydı muhtemelen hepsi ölürdü. Birçoğu da öldü zaten. Fakat 100 bin yıl gibi bir süreden sonra yağmurlar geri döndü, orman genişledi ve yaşam kolaylaştı. Önceki savrulmadan kurtulanlar en sağlam ve en iyi uyum sağlayabilen –evrimsel anlamda en iyi uyum sağlayan ve yeni yaşam şekline en uygun olan– ön-insansılar olacaktı. Kuraklık geri dönmeden ve işler bir kez daha zorlaşmadan önce, başarılarından sorumlu olan genlerini yayan bir nüfus patlaması yaşanacaktı. Bu model milyonlarca yıl boyunca tekrar etti ve durumun her kötüye gidişi ilk olarak zekâ ve uyum sağlayabilme yeteneğini seçti ve sonra da kurtulanların gelişebileceği bir soluk alma süresi sağladı. Bizim atalarımızın Troodon'dan daha hızlı evrimleşmesine elbette şaşmamalı!

Buzul çağlarının hızlandırıcısı evrimin de hızlandırıcısıydı. Eğer buz 3-4 milyon yıl önce tüm kuvvetiyle gelmiş ve yerleşmiş olsaydı, Doğu Afrika'nın büyük kısmı çölleşebilirdi ve yalnızca en iyi uyum sağlayabilmiş ağaçta yaşayan insansılar ormandan geriye kalan son parçalarda hayatını sürdürebilirdi. Tam tersine, eğer kuraklık hiç olmasaydı, –tropikal ormanların kurtulduğu ve ağaçta yaşayan primatların eski

rollerindeki başarılarını devam ettirdiği Güney Amerika örneğinin doğruladığı gibi– bizim zekâ türümüzün seçilimi için hiçbir evrimsel baskı olmayacaktı. Gerçekte meydana gelmiş iklim değişikliklerinin olağandışı görünüşünden ötürü atalarımız hayatta kalmayı başardı ve evrimleşti; biz bu sayede buradayız. Ama yalnızca ucu ucuna kurtuldular. DNA kanıtları, Batı Afrika'daki tek bir şempanze topluluğundaki bireyler arasında tüm Dünya'da yaşayan tüm insanlar arasında olduğundan daha fazla genetik farklılık olduğunu gösterir; bugün Dünya üzerinde hayatta olan tüm insanların, sayısı binden az olan ilk insanların soyundan geldiği tahmin edilmektedir. Bu, Dünya'nın daha önceki güçlüklerin tümünü atlattıktan sonra bile teknolojik medeniyetin bulunmadığı bir duruma ne kadar yaklaşmış olduğunu gösterir. Fakat atalarımız belli bir zekâ seviyesine ve uyum sağlayabilme yetisine ulaştığında, bir buzul arası dönem sırasındaki bolluk zamanlarında nüfusların patlaması, tarımın gelişimi ve geri kalan her şeyle birlikte medeniyetin doğmuş olması tesadüf değil. Peki ya geleceğimiz ne?

## TEKNOLOJİK MEDENİYETİN KADERİ

Drake denklemi taraftarları bunu yapmayı ne kadar isterse istesin, varlığımızı ortaya çıkaran şartlar zincirinin tüm halkalarını rakamlara dökmek mümkün değildir. Fakat şurası açık ki zincirdeki halkaların çok büyük kısmının olmasa bile birçoğunun olasılığı küçüktür. Gezegenler yaygındır; ama Dünya benzeri gezegenler değil. Yaşamın Dünya benzeri bir gezegenin okyanuslarında doğma olasılığı yüksektir; ama karınaşık çok hücreli canlılara evrilmiş olması olasılık dışıdır. Bu böyle devam eder. Belki karamsar tarafta olmayı seçtiğimi düşünüyor olabilirsiniz. Fakat Troodon veya bir Güney Amerika maymunu benzeri bir canlıya ulaşma ihtimallerini ne kadar iyimser biçimde değerlendirirseniz değerlendirin, Samanyolu'nda bizim gibi zeki canlıların yaygın olduğu umuduna indirilen son darbe, basitçe söylersek, bir maymunu insana çeviren tesadüfler dizisinde yatmaktadır.

Bu, eşzamanlı olarak hem Kuzey hem de Güney Kutbu üzerinde buzul olmasını, iklim kuşakları çeşitliliğini, Doğu Afrika Rift Sistemini ortaya çıkaran jeolojik değişiklikleri ve tam olarak Milankovitch buzul çağı ritimlerini oluşturmaya yetecek kadar yalpalayan bir gezegeni gerektiriyordu! Biz son derece olasılık dışı bir türüz.

Bunun bize bir sorumluluk duygusu vermesi gerekirdi. Elbette bunu yapmadı. Lovelock'un yaşayan tek bir sistem olarak Dünya görüşü olan Gaia, karmaşık yaşam için elverişli şartların gezegenimizde neden bu kadar uzun süre devam ettiğini açıklamaya yardımcı olur, fakat aynı zamanda Dünya Sisteminin teknolojik medeniyetimiz tarafından ona yönelti len ani şoklara karşı ne kadar hassas olduğunun da altını çizer. Bugünkü büyük iklimsel endişe, insan etkinliklerinin neden olduğu küresel ısınmadır. Bu endişenin büyük kısmı, yirmi birinci yüzyılın ortalarına (veya sonlarına) gelindiğinde küresel ortalama sıcaklıkta sözgelimi iki (ya da üç; ya da dört) santigrat derecelik bir artışın getireceği sonuçlar açısından ifade edilmektedir ve bu artışın yumuşak ve aşamalı olacağı söylenir. Ancak jeolojik kayıtlar, geri dönüşü olmayan bir noktaya ulaşıldığında Dünya'nın sıcaklığının birdenbire düştüğü veya yükseldiği birçok durum ortaya çıkarmaktadır. Bunu betimlemenin en basit yolu Kuzey Buz Denizi'nin buz örtüsünü düşünmektir. Kuzey Buz Denizi buzla kaplı olduğunda güneş enerjisini geri yansıtır ve gelen ışınım miktarı artacak olsaydı bile sıcaklık ancak yavaş bir şekilde yükselirdi. Fakat buz bir kez erimeye başladığında karanlık okyanus çok daha fazla enerjiyi soğururdu ve sıcaklıkta ani bir artış gerçekleşirdi. Yüzeye ulaşan enerji miktarı düşmeye başladığında geri bildirim tersine döner, okyanus buz oluşma noktasına kadar yavaşça soğur ve sonrasında sıcaklıkta ani bir düşüş yaşanır. Lovelock, Dünya Sisteminin hem canlı hem de cansız bileşenlerini içeren diğer geribildirimlerin, içinde bulunduğumuz yüzyılın ortalarında geri dönüşü olmayan bir noktaya gelindiğinde gezegenimizin sıcaklığını 4 ila 6°C kadar sıçratacağını hesaplamıştır. Jeolojik açıdan, 10 bin yıllık sürede meydana gelen böylesi bir değişim ani olur-

du ve kitlesel yok oluşlara neden olurdu; biz bu tür bir değişime bir insanın yaşam süresi içinde neden oluyor olabiliriz. Yaşam hayatta kalacaktır; teknolojik medeniyetin hayatta kalıp kalmayacağı ise çözülmemiş bir sorun.

Küresel ısınma, insan etkinlikleri nedeniyle ortaya çıkan karbondioksit birikiminin ve atık ürünlerin oluşturduğu tek tehdit değil. Onun kadar önemli olan ve hak ettiği ilgiyi görmeye yeni yeni başlayan bir tehlike de atmosferdeki karbondioksitin çözünüp suyla tepkimeye girmesi ve karbonik asit oluşturmasıyla meydana gelen okyanusların asitlenmesidir. Bunun en belirgin etkisi mercan resiflerinin ortadan kalkmasıdır; bununla birlikte asit, besin zincirinin en altında bulunan küçük planktonlar dahil birçok deniz canlısının kabuğuna da saldırır. Aşırı asitlenme, okyanusların yaygın şekilde çölleşmesine ve bununla birlikte Dünya üzerindeki yaşamın geri kalanı için hayal bile edilemeyen sonuçların doğumuna ve ölmekte olan okyanuslardan daha fazla karbondioksit salındıkça yükselen sıcaklıklara yol açabilir.

Kısa vadede, teknolojik medeniyete karşı en büyük tehdit yine teknolojik medeniyetin kendisi olacak gibi görünüyor; üstelik burada küresel bir savaş ihtimali göz önünde bulundurulmuyor. Biraz daha uzun vadede en büyük tehdit, dinozorları yok edenle aynı olacak gibi görünüyor; uzaydan gelen bir darbe.

Böyle bir çarpışmanın bizim için kötü haber olması için, bir Kartopu Dünya olayına neden olmaya yetecek ölçekte olması bir yana, dinozorları sona erdiren olayın ölçeğinde olmasına bile gerek yoktur. Ve kötü haber anlamına gelen çarpışmalar hiç de seyrek değildir. Problemin büyük kısmı, Asteroit Kuşağı'ndaki sayısız nesnenin hepsinin Mars ve Jüpiter arasındaki yörüngelerinde sessizce kalmaya devam etmemesidir. Gökbilimciler, tanımlanmış yüz binlerce asteroit ve onların yörüngelerini hem geleceğe doğru hem de geçmişe doğru hesaplama yetisiyle birlikte, Kretase kitlesel yok oluşuna neden olan çarpışmanın, dinozorların korkunç sonlarıyla karşılaşmalarından kabaca 100 milyon yıl önce iki büyük asteroit arasında gerçekleşen bir çarpışmanın doğrudan

sonucu olduğunu keşfettiler. Saniyede 11 bin km hızla kafa kafaya çarpışan 170 ve 60 km çapındaki iki nesne arasında gerçekleşen bu tesadüfi karşılaşma, 150 bin civarında enkaz parçasını yeni yörüngelere serpiştirdi. Bu yörüngelerde ise Jüpiter'in kütleçekim kuvveti bunların çoğunu iç gezegenlerin ve ayımızın yüzeyini çarpmalarla dolduracakları iç Güneş Sistemine birer mermi gibi dağıttı ve parçalardan birisi dinozorları ortadan kaldırırken bir diğeri de genç ay krateri Tycho'yu meydana getirdi.

Daha küçük bir ölçekte, yüz yıldan biraz daha uzun bir zaman önce, 1908 yılı yazında bir kozmik enkaz parçası Dünya'nın atmosferinde yandı ve Sibirya'nın Tunguska bölgesi üzerinde patladı. Patlama, 2 bin kilometrekarelik alanı mahvetti, 80 milyon ağacı kibrit çöpü gibi patlamanın merkezinden dışarıya bakacak şekilde devirdi. Gelen uzay kayasının saniyede yaklaşık 15 km (saatte 50 bin km'nin üzerinde) hızla hareket ettiği ve ısı onu patlatmadan önce, yeryüzünden yaklaşık 10 km yükseklikte 25 bin °C sıcaklığa ulaştığı tahmin ediliyor. Açığa çıkan enerji 10 megatonluk bir nükleer bombanın patlamasıyla eşdeğerdeydi. Fakat bütün bu hasara neden olan kaya yalnızca yaklaşık 30 metre boyundaydı. Şans eseri bu olay yerkürenin en ıssız, neredeyse yerleşilmemiş bölgelerinden birinde meydana geldi. Eğer Tunguska meteoru dünyaya aynı yörünge üzerinde yalnızca birkaç saat sonra ulaşmış olsaydı, yerküre kendi ekseni etrafında biraz daha dönmüş olacağı için patlama neredeyse doğrudan St. Petersburg semalarında meydana gelerek tüm şehri ve bütün sakinlerini yok edecekti.

Bu uç durumlar arasında –bir şehrin ölümü ve dinozorların ölümü– 13 bin yıldan kısa bir süre önce memelilerin başına dramatik bir şey geldi. O zamanlarda, yeryüzünün bazı bölgelerinde sıcaklık kısa sürede 15°C kadar düştü ve mamutlar dahil, en az otuz beş memeli türünün soyu tükendi. Bu sefer insanlar da etkilenmişti: Kuzey Amerika'daki Clovis medeniyeti de mamutların yolunu izledi. Bütün bunların en olası açıklaması Tunguska meteorundan önemli ölçüde büyük olan bir nesnenin Kuzey Amerika üzerinde patlaması

ve aşağıdaki karaya enkaz yağmasıdır. Bu olayın tetiklediği yangınlardan kaynaklanan toz ve duman yeryüzünü kapladı ve yüzeyi Geç Kretase çarpışmasının artçıl etkileri yüzünden soğumasıyla aynı şekilde, ama ondan çok daha küçük bir ölçekte soğuttu. Felaketin bir çarpışma nedeniyle gerçekleştiğine dair birçok uzmanın ikna edici bulduğu kanıt, Kuzey Amerika ve Avrupa boyunca tam o zamana ait çökeltilerde mikroskopla bakıldığında bile güç bela görünen çok küçük elmaslar şeklinde bulunmuştur. Bu "nanoelmaslar" yalnızca bir çarpışmayla bağlantılı olarak aşırı sıcaklık ve basınçta üretilebilir. Böylesi geniş çaplı bir felaketten sorumlu olan kuyrukluyıldız, aşağı yukarı 5 km çapında olmalıdır, ama muhtemelen Shoemaker-Levy 9 kuyrukluyıldızının 1994'te Jüpiter'e çarpmadan önce parçalanmasına çok benzer şekilde Dünya'ya çarpmadan önce daha küçük parçalara bölünmüştü.

Bu tür olayların doğal olduğunu ve er ya da geç yeniden gerçekleşeceğinin kesin olduğunu gösteren kanıtların ışığında eldeki tek avuntu kaynağı daha büyük çarpışmaların büyük ihtimalle daha sonra gerçekleşecek olmasıdır. Bu durumda, günümüzde yörüngeleri Dünya'ya rahatsız edici biçimde yakın olan binlerce asteroitin ve kuyrukluyıldızın (Near Earth Objects (NEO) [Dünyaya Yakın Cisimler]) yörüngelerini tanımlayacak ve izleyecek teleskopların inşasına ciddi (ama oldukça mütevazı) bir çaba sarf edilmektedir. 2009'un sonlarında uzaya fırlatılan NASA'ya ait WISE uydusu (Wide-field Infrared Survey Explorer [Geniş Alan Kızılaltı Araştırma Kâşifi]), faaliyetinin ilk üç ayında beş adet NEO da dahil olmak üzere her gün yüzlerce "yeni" asteroit tespit etti. Fakat bu NEO'ları saptamak başka, Dünya'ya çarpma rotasında olan bir adet bulmamız halinde onunla ilgili bir şeyler yapmak bambaşka bir şey. Resmi tahmin, en az 140 metre çapında, bir ABD eyaletinin bütününde ya da Avrupa'nın Atlantik kıyısı boyunca geniş çaplı bir zarara yol açabilecek kadar büyük bir kayanın önümüzdeki 50 yıl içinde gezegenimize çarpma olasılığının yüzde bir olduğu şeklindedir ve görünen o ki bunu durdurmak için hiçbir şey yapamayız.

Uzaydan gelecek bir çarpışma açık şekilde medeniyet için en büyük doğal tehdittir ve benzer çarpışmaların diğer gezegen sistemlerinde (kesinlikle olmaları gerektiği gibi) meydana geldiğini varsayarsak, neden yalnız olduğumuzun akla yatkın bir nedenidir.

Daha az ölçülebilir olan ama daha az gerçek olmayan bir tehdit de volkanik hareketler tarafından oluşturulur. Jeolojik geçmişimizin görece yakın zamanlarında bile 70 bin yıl kadar önce Endonezya'da bulunan Toba Gölünü açığa çıkaran patlamanın da içinde olduğu yıkıcı "süper volkanlar" olmuştur. Bu, geçmiş 25 milyon yılın bilinen en büyük patlamasıydı. Tüm Hindistan alt-kıtası boyunca kabaca 15 cm kalınlığında bir kül tabakası bırakmış olması, büyüklüğü hakkında bir fikir verecektir. Bazı araştırmacılar, patlamanın çevresel etkilerinin o zamanki Ortadoğu Afrika ve Hindistan'da bulunan insan nüfuslarını neredeyse yok ettiğini ileri sürmüştür. Bugün, ABD'de bulunan Yellowstone Parkının altındaki tüm alanın, şu anda durgun halde olan ama çok az uyarıyla her an patlayabilme ihtimali olan bu tür bir süper volkan olduğu tespit edilmiş durumda. Hatta daha büyük ölçekte, Deccan Merdivenlerinin oluştuğu olaylara benzer olaylar kesinlikle yeniden gerçekleşebilir. Hangi açıdan bakarsanız bakın, içeriden ya da dışarıdan etki edecek bir felaketle medeniyetimiz yok olmaya mahkûm ve asıl soru, sonumuzun ne zaman geleceği. Dünya'da meydana gelen felaketler arasında teknolojik bir medeniyetin doğuşu için zaman vardı, ama Samanyolu içerisinde başka bir yerde benzer bir fırsatın doğacak olmasına dair hiçbir garanti yok. Bununla birlikte, burada bile medeniyetimiz, Dünya'nın yaşam için rahat bir yuva olmayı bırakmasının hemen öncesinde doğmuş olabilir.

## DÜNYA'NIN KADERİ

Dünya'nın nihai kaderi Güneş ömrünün sonuna yaklaşıp bir kırmızı dev olma yolunda şişerken yanıp kül olmaktır. Bunun tam olarak ne zaman gerçekleşeceği bir tahmin konusu. Güneş yaşlandıkça kütlesi uzaya kaçtığı için kütle kaybeder; bu

yüzden kütleçekim etkisi zayıflayacak ve Dünya'nın yörüngesi (diğer tüm gezegenlerin yörüngeleriyle birlikte) genişleyerek belki de kaçınılmaz olanı geciktirecektir. Fakat yaşlanan Güneş'in genişlemiş atmosferindeki seyrek gaz sürtünmeyle Dünya'yı sürükleyecek ve muhtemelen Dünya'nın aynı yörüngede kalarak Güneş'in kendisini yutmasını beklemesinden daha kısa içinde onu spiraller çizerek kaçınılmaz sonuna doğru itecektir. Her iki durumda da son çok kabaca 5 milyar yıl sonra, Güneş bir Anakol Yıldızı olarak aşağı yukarı yarı ömrünü tamamladığında gelecek.

İlk bakışta bu, galaksimizde başka teknolojik medeniyetler bulmayı uman insanlar için iyi haber gibi görünebilir. Sanki işe yeniden sıfırdan başlamak zorunda olsaydık bile bu tür ikinci bir medeniyetin Dünya üzerinde ve dolayısıyla da –muhtemelen– Güneş benzeri yıldızların çevresinde dönen diğer Dünya benzeri gezegenler üzerinde gelişmesi için zaman varmış gibi görünebilir. Bizimki gibi bir medeniyetin doğma şansı iki katına çıkmış gibi görünebilir. Ama tekrar düşünün. Eğer Dünya üzerindeki karmaşık yaşam yarın yok olsaydı, olasılıklar Prekambriyen'deki olasılıklarla aynı olmayacaktı. Güneş tarafından yutulmasından çok önce Dünya muhtemelen havasının büyük kısmını ve suyunun tamamını kaybederek sıcak bir çöl gezegeni gelecektir. Gaz parçacıkları atmosferin üst kısmından sürekli olarak kaçmaktadır; ama ancak Dünya'nın o yükseklikte saniyede 11 kilometrenin hemen altında olan kurtulma hızından daha hızlı hareket ederlerse. Bugün çok az parçacık o hızda hareket etmektedir; ancak atmosferin üst kısmında su moleküllerinin parçalanmasıyla ortaya çıkan çok az miktarda hidrojen atomu, gerçekten de kaçar. Bu miktar bundan yaklaşık bir milyar yıl sonra bir sel haline gelecek; çünkü Güneş yaşlandıkça, her bir milyar yılda bir yaklaşık olarak yüzde 10 daha fazla parlaklaşır. Daha parlak bir Güneş Dünya'yı daha da ısıtarak okyanuslardan daha fazla su buharlaştıracak ve atmosferin üst kısmını, uzaya hidrojen salabilen su molekülleri bakımından daha da zenginleştirecek. Bundan üç milyar yıl sonra, bütün su gitmiş olacak.

Fakat bu astronomik hesaplama, başka hiçbir şeyin değişmediğini varsayıyor. Başka etkenler hesaba katıldığında, Dünya'nın ölü bir yer haline gelmesi o kadar uzun bile sürmeyebilir. Tıpkı yaşlandıkça daha da ısınması gibi, Güneş gençken daha soğuktu. Buna rağmen genç Dünya, atmosferindeki karbondioksit gibi gazların sera etkisiyle sıvı haldeki suyun var olması için yeterince sıcak kaldı. Fakat Güneş ısındıkça Gaia mekanizmaları bu gazların atmosferdeki miktarını düşürmüştür, böylece Dünya üzerindeki sıcaklık suyun akışkan halini koruyabileceği aralıkta kalmıştır. Lovelock, bu sürecin daha fazla süremeyeceğine dikkat çeker, çünkü atmosferde kalan uzaklaştırılacak çok az karbondioksit bulunur. İnsan aktivitelerinin neden olduğu değişimi göz ardı etsek bile eğer teknolojik medeniyetimiz var olmasaydı Dünya gene de fazla ısınacak ve milyarlarca yıl yerine yüz milyonlarca yıllık bir zaman ölçeğinde tüm suyunu kaybedecekti.

Gene de yüz milyon yıl uzun bir zaman dilimi. Dinozorların ölümünden beri geçen süreden daha uzun. Bizim medeniyetimiz başarısız olduğu takdirde diğerlerinin gelişmesi için fazlasıyla uzun bir süre. Ne yazık ki Dünya, yaşam için bir yuva olarak bir milyon yıldan çok daha uzun bir süre ayakta kalırsa şanslı olacak gibi görünüyor.

Chicago Üniversitesinden David Raup, *Extinction* [*Yok Oluş*] adlı kitabında, Dünya tarihi boyunca gerçekleşen kitlesel yok oluşların biçimini incelemişti. Bu araştırmanın meyvelerinden biri, farklı büyüklükteki soy tükenmelerinin hangi hızda meydana geldiğini ölçmenin, dolayısıyla da belli büyüklükteki bir sonraki soy tükenmesine ne kadar kaldığını ölçmenin mümkün oluşudur. Raup meraktan, Dünya'daki tüm yaşamı yok edecek büyüklükte soy tükenmelerinin arasında ne kadar büyüklükte bir zaman aralığı olması gerektiğini tahmin etmek için bu yöntemin sınırlarını zorlamıştır. Karşılaştığı rakamla ilgili şaşırtıcı derecede iyimser görünüyor:

Bir keresinde "Dünya'daki bütün türlerin soyunun tükenmesini ne sıklıkta beklemeliyiz?" sorusunu sormak için soy

tükenme verilerinde uç değer istatistiği denemiştim. Sonuçlara çok güvenmiyorum ama en azından iç rahatlatıcılar. Tüm yaşamı yok etmeye yetecek soy tükenmelerinin ortalama olarak 2 milyar yıldan çok daha uzun aralıkları olması gerekli.

İç rahatlatıcı mı? Eğer şu andan itibaren 2 milyar yıl saymaya başlarsanız, belki. Fakat Dünya üzerinde neredeyse 4 milyar yıldır yaşam olduğunu hatırlarsanız, değil. İstatistiklere göre kaçınılmaz son için süreyi bir hayli aşmış durumdayız.

Eski bir vecizenin dediği gibi, "Yalanlar, kahrolası yalanlar ve istatistikler vardır." Hiç kimse Raup'un hesaplamalarından pek rahatsız olmuş gibi görünmüyor. Ve sonra, 2010 yılında istatistiklerin bize her şeye karşın dikkate değer bir şeyler anlatıyor olabileceğine dair bulgular açığa çıktı.

St. Petersburg'daki Pulkovo Gözlemevinden Vadim Bobylev, Hiparcos adında bir Avrupa uydusundan gelen verileri analiz ederken Gliese 710 olarak bilinen yakın bir yıldızın Güneş Sistemimizle çarpışma rotasında olduğunu keşfetti. Gliese 710 güneşimizin yaklaşık olarak yarısı kadar kütleye sahip ve şu anda Yılan takımyıldızı yönünde bizden aşağı yukarı 63 ışık yılı uzaklıkta bulunuyor. Bize doğru kabaca saatte 50 bin km hızla yaklaşıyor ve kaderinde, Güneş Sisteminin sınırlarında bulunan Oort kuyrukluyıldız bulutundan bir buçuk milyon yıl içinde geçmek var; hatta Güneş'e Kuiper Kuşağı kadar yaklaşabilir. Bu yakın temas sonucu Oort Bulutunun dağılması, iç Güneş Sistemine Geç Dönem Ağır Bombardımandan beri görülmemiş bir ölçekte enkaz yağmasına neden olur. Eğer Gliese 710'un kendi kuyrukluyıldız bulutu varsa (böyle olması olası görünüyor), bombardıman çok daha yoğun olacak. Şüphesiz, bu Dünya'daki tüm yaşamın yok olmasıyla sonuçlanacak ve gezegenimizi, Ay'ın oluşumundan hemen sonra bulunduğu duruma geri götürecek. İşte bu, Dünya'nın bir teknolojik medeniyete asla sahip olmama durumuna ne kadar yaklaştığını gösteriyor; neredeyse 4 milyar yıllık evrimin ardından, bir milyon yıl.

Ama gene de bu bize değerlendireceğimiz yaklaşık bir milyon yıl veriyor. Ve eğer medeniyetimiz çökecek olsaydı,

başka bir zeki türün evrimleşmesi için zaman muhtemelen olmasa da kurtulan insanların yeni bir teknolojik medeniyet kurması için yeterince zaman olurdu, değil mi? Ne yazık ki, bir engel var. Zaman olabilirdi, ama onların kaynakları olmazdı.

## İKİNCİ BİR ŞANS YOK

Dünya üzerindeki yaşam örneğinden hareketle, her türden büyük bir ölçekte teknolojik medeniyetin gelişimi, bir gezegenin kabuğunda büyük fosil yakıt rezervleri oluşana kadar mümkün olmazdı. Bizim medeniyet biçimimizin ilk olarak kolayca erişilebilen, Dünya'nın yüzeyine yakın kömür kaynaklarının ve geyik boynuzundan yapılmış bir kazmadan daha gelişmiş olmayan aletlerle çıkarılabilen demir ve bakır gibi cevherlerin bulunduğu bir yeryüzü parçasında gelişmesi tesadüf değildir. Fakat tektonik hareketlerin bu maden yataklarını oluşturması, onları yüzeye yaklaştırmak üzere tabakaları kırması ve erozyonun onları açığa çıkarma işini tamamlaması milyarlarca yıl aldı. Teknolojik medeniyetimizin neredeyse tam anlamıyla üstüne kurulduğu kömür yatakları bile büyük oranda 360 milyon ila 280 milyon yıl önce, uygun biçimde Karbonifer olarak adlandırılan dönemin serin ve bataklıklı ortamında oluşmuştu. Eğer bu çevresel şartlar on milyonlarca yıl boyunca devam etmeseydi, Dünya üzerinde teknolojik bir medeniyet doğabilir miydi? Geç Karbonifer de önemli petrol yataklarının oluşumuna şahit oldu. Kolayca ulaşılabilir olan petrol teknolojik medeniyetin yirminci yüzyıldaki dramatik ilerlemesini ateşledi.

Fakat tüm bu kaynaklar önemli ölçüde tüketilmiştir. Hâlâ büyük miktarlarda mineral cevheri, kömür ve petrol çıkartabiliyoruz, ama bu yalnızca teknolojiyi, metalleri ve yakıtı kullanmamızla mümkün oluyor. Kuzey Buz Denizinin ve Meksika Körfezinin açık deniz sondaj platformlarından daha iyi bir örnek yoktur. Eğer yıkıcı bir afet insanlıktan geri kalanları yaşam mücadelesi veren bir Taş Devri toplumuna indirgeseydi veya yeryüzünden tamamen silinseydik ve

başka türler zekâ geliştirseydi bu kaynaklar hâlâ yerlerinde olurdu, ama gelişen yeni bir medeniyetin onları elde etmek için makine yapmak üzere araçları veya malzemeleri ya da o makineleri çalıştırmak için yakıtı olmazdı.

Dünya gibi bir gezegende yaşam yalnızca bir kez teknolojiyi yakalayabilir. Kolay ulaşılan hammadde kaynaklarını tüketmiş durumdayız; bu yüzden eğer kendimizi yok edersek, bir sonraki zeki tür (eğer doğarsa) yola koyulmak için gerekli hammaddelere sahip olamayacak. İkinci bir şans daha yok. Ve bu, Fermi paradoksunun çözümünü tamamlayan son kanıt. Burada değiller, çünkü hiç var olmadılar. Burada oluşumuzun nedenleri öyle olanaksız bir zincir oluşturur ki, şu anda Samanyolu galaksisinde mevcut bir diğer teknolojik medeniyetin bulunma ihtimali yok denecek kadar az. Yalnızız ve bu fikre alışsak iyi olur.

# KAYNAKÇA


Amir Aczel, *Probability 1*, Harcourt Brace & Co., New York, 1998.

K. Akerblom, *Astronomy and Navigation in Polynesia and Micronesia*, Ethnogratiska Museet, Stockholm, 1968.

Walter Alvarez, *T. Rex and the Crater of Doom*, Princeton UP, 1997.

Svante Arrhenius, *Worlds in the Making*, Harper, New York, 1908.

Robert Bakker, *The Dinosaur Heresies*, Longman, Londra, 1987.

John Barrow ve Frank Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford UP, 1986.

Steven Benner, *Life, the Universe and the Scientific Method*, Fame Press, Gainsville, 2009.

Jeffrey Bennett, *Beyond UFOs*, Princeton UP, 2008.

J. D. Bernal, *The Origin of Life*, Weidenfeld & Nicolson, Londra, 1967.

Alan Boss, *The Crowded Universe*, Basic Books, New York, 2009.

Ronald Bracewell, *The Galactic Club*, Freeman, San Francisco, 1974.

Wallace Broecker, *How to Build a Habitable Planet*, Eldigio Press, Palisades, 1985.

A. G. Cairns-Smith, *The Life Puzzle*, Oliver & Boyd, Londra, 1971.

A. G. W. Cameron (ed.), *Interstellar Communication*, Benjamin, New York, 1963.

R. M. Canup ve K. Righter, *Origin of the Earth and Moon*, University of Arizona Press, 2000.

Preston Cloud, *Oasis in Space*, Norton, New York, 1987.

Victor Clube ve Bill Napier, *The Cosmic Winter*, Blackwell, Oxford, 1990.

Neil Comins, *What if the Moon Didn't Exist?*, HarperPerennial, New York, 1993.

Vincent Courtillot, *Evolutionary Catastrophes*, Cambridge UP, 1999.

Francis Crick, *Life Itself*, Simon & Schuster, New York, 1981.

Francis Crick, *The Astonishing Hypothesis*, Simon & Schuster, New York, 1994. [*Şaşırtan Varsayım*, çev: Sabit Say, TÜBİTAK, 2005]

Ken Croswell, *The Alchemy of the Heavens*, Anchor, New York, 1995.

Ken Croswell, *Planet Quest*, Free Press, New York, 1997.

Michael Crowe, *The Extraterrestrial Life Debate, 1750-1900*, Dover, New York, 1999.

David Darling, *Life Everywhere*, Basic Books, New York, 2001.

Charles Darwin, *On the Origin of Species*, John Murray, Londra, 1859. [*Türlerin Kökeni*, çev. Öner Ünalan, Evrensel Basım Yayın, 2009]

Paul Davies, *The Goldilocks Enigma*, Allen Lane, Londra, 2006.

Paul Davies, *The Eerie Silence*, Allen Lane, Londra, 2010.

Richard Dawkins, *The Ancestor's Tale*, Weidenfeld & Nicolson, Londra, 2004. [*Ataların Hikayesi*, çev: Ahmet Fethi, Hil Yay., 2008]

Jared Diamond, *The Rise and Fall of the Third Chimpanzee*, Radius, Londra, 1991. [*Üçüncü Şempanze*, çev. Çağatay Tarhan, Alfa Bilim Dizisi, 2013]

Jared Diamond, *Guns, Germs and Steel*, Vintage, Londra, 2005. [*Tüfek, Mikrop, Çelik*, çev: Ülker İnce, TÜBİTAK, 2002]

Steven Dick, *The Biological Universe*, Cambridge UP, 1996.

Steven Dick, *Life on Other Worlds* (*The Biological Universe* kitabının kısaltılmış ve güncellenmiş biçimi) Cambridge UP, 1998.

Dougal Dixon, *After Man*, Granada, Londra, 1981.

S. Dole, *Habitable Planets for Man*, Blaisdell, New York, 1964.

Frank Drake ve Dava Sobel, *Is Anyone Out There?*, Delacorte, New York, 1992.

Stephen Drury, *Stepping Stones*, Oxford UP, 1999.

Christian de Duve, *Vital Dust*, Basic Books, New York, 1995.

Christian de Duve, *Molecules, Mind, and Meaning*, Oxford UP, 2002.

Freeman Dyson, *Disturbing the Universe*, Harper & Row, New York, 1979.

Freeman Dyson, *Origins of Life*, Cambridge UP, 1986.

Maitland Edey ve Donald Johnson, *Blueprints*, Oxford UP, 1990.

Paul Ehrlich ve Anne Ehrlich, *The Population Explosion*, Simon & Schuster, New York, 1990.

Gerald Feinberg ve Robert Shapiro, *Life Beyond Earth*, Morrow, New York, 1980.

Enrico Fermi, *Atoms in the Family*, University of Chicago Press, 1954.

Ben Finney ve Eric Jones, *Interstellar Migration and the Human Experience*, University of California Press, Berkeley, 1984.

Richard Fortey, *Life*, HarperCollins, Londra, 1997.

Richard Fortey, *The Earth*, HarperCollins, Londra, 2004.

Robert Forward ve Joel Davis, *Mirror Matter*, Wiley, New York, 1988.

Charles Frankel, *The End of the Dinosaurs*, Cambridge UP, 1999.

Louis Friedman, *Starsailing*, Wiley, New York, 1988.

John Gerhart ve Marc Kirshner, *Cells, Embryos and Evolution*, Blackwell, Boston, 1997.

Donald Goldsmith (ed.), *The Quest for Extraterrestrial Life*, University Science Books, Mill Valley, Kaliforniya, 1980.

Donald Goldsmith, *Worlds Unnumbered*, University Science Books, Mill Valley, Kaliforniya, 1997.

Donald Goldsmith ve Tobias Owen, *The Search for Life in the Universe*, University Science Books, *Mill Valley*, Kaliforniya, 3. basım, 2002.

Simon Goodwin ve John Gribbin, *XTL*, Cassell, Londra, 2001.

Stephen Jay Gould, *Wonderful Life*, Vintage, New York, 2000.

John Gribbin, *In Search of the Multiverse*, Allen Lane, Londra, 2009. [*Çoklu Evrenler*, çev: Emin Karabal, Alfa Bilim, 2012]

John Gribbin ve Jeremy Cherfas, *The First Chimpanzee*, Penguin, Londra, 2001. [*İlk Şempanze*, çev: Özge Kelekçi, Alfa Bilim, 2012]

John Gribbin ve Mary Gribbin, *From Here to Infinity*, Royal Observatory, Greenwich/National Maritime Museum, 2008.

John Gribbin ve Mary Gribbin, *James Lovelock: In Search of Gaia*, Princeton UP, 2009.

John Gribbin ve Mary Gribbin, *Home Planet*, One World, Londra, 2011.

David Grinspoon, *Venus Revealed*, Addison Wesley, Reading, 1997.

David Grinspoon, *Lonely Planets*, HarperCollins, New York, 2003.

David Harland, *The Earth in Context*, Springer-Praxis, Chichester, 2001.

Nigel Henbest ve Heather Couper, *The Guide to the Galaxy*, Cambridge UP, 1994.

T. A. Heppenheimer, *Colonies in Space*, Stackpole Books, Harrisburg, Pa., 1977.

T. A. Heppenheimer, *Toward Distant Suns*, Stackpole Books, Harrisburg, Pa., 1979.

Paul Hodge, *Meteorite Craters and Impact Structures of the Earth*, Cambridge UP, 1994.

Fred Hoyle, *Ice*, Hutchinson, Londra, 1981.

Fred Hoyle ve Chandra Wickramasinghe, *Evolution from Space*, Dent, Londra, 1981.

John Imbrie ve Katherine Palmer Imbrie, *Ice Ages: Solving the Mystery*, Macmillan, Londra, 1979.

J. Jennings (ed.), *The Prehistory of Polynesia*, Harvard UP, 1979.

James Kaler, *Cosmic Clouds*, Scientific American Library, New York, 1997.

James Kasting, *How to Find a Habitable Planet*, Princeton UP, 2010.

David Koerner ve Simon LeVay, *Here Be Dragons*, Oxford UP, 2000.

N. Lahav, *Biogenesis*, Oxford UP, 1999.

Richard Leakey ve Roger Lewin, *The Sixth Extinction*, Weidenfeld & Nicolson, Londra, 1996.

Michael Lemonick, *Other Worlds*, Simon & Schuster, New York, 1998.

Roger Lewin, *Human Evolution*, Blackwell, Oxford, 1984.

James Lovelock, *Gaia: A New Look at Life on Earth*, Oxford UP, gözden geçirilmiş basım, 2000.

James Lovelock, *The Ages of Gaia*, Oxford UP, gözden geçirilmiş basım, 2000.

James Lovelock, *Gaia: The Practical Science of Planetary Medicine*, Gaia Books, Londra, 1991.

Jonathan Lunine, *Earth: Evolution of a Habitable World*, Cambridge UP, 1998.

Thomas McDonough, *The Search for Extraterrestrial Intelligence*, Wiley, New York, 1987.

Eugene Mallove ve Gregory Matloff, *The Starflight Handbook*, Wiley, New York, 1989.

Lynn Margulis ve Dorion Sagan, *Microcosmos*, Simon & Schuster, New York, 1986.

Lynn Margulis ve Dorion Sagan, *What is Life?*, Weidenfeld & Nicolson, Londra, 1995.

Jacques Monod (çev. Austryn Wainhouse), *Chance and Necessity*, Collins, Londra, 1972. [*Rastlantı ve Zorunluluk*, çev. Elodie Moreau, Alfa Bilim Dizisi, 2012]

Simon Conway Morris, *The Crucible of Creation*, Oxford UP, 1998.

Simon Conway Morris, *Life's Solution*, Cambridge UP, 2004.

R. Muller, *Nemesis: The Death Star*, Weidenfeld & Nicolson, Londra, 1988.

E. G. Nisbet, *The Young Earth*, Allen & Unwin, Boston, 1987.

Gerard O'Neill, *The High Frontier*, Morrow, New York, 1977.

Steve Olson, *Mapping Human History*, Houghton Miff in, New York, 2002.

Steven Pinker, *The Language Instinct*, Morrow, New York, 1994.

Rudolf Raff, *The Shape of Life*, University of Chicago Press, 1996.

David Raup, *Extinction*, Norton, New York, 1990.

Richard Restak, *Brainscapes*, Hyperion, New York, 1995.

Martin Rees, *Just Six Numbers*, Weidenfeld & Nicolson, Londra, 1999.

Martin Rees, *Our Final Century*, Heinemann, Londra, 2003.

Carl Sagan (ed.), *Communication with Extraterrestrial Intelligence*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1973.

Carl Sagan, *The Cosmic Connection*, Dell, New York, 1975. [*Kozmik Bağlantı*, çev: Maktav Dinçer, Say Yayınları, 2013]

Carl Sagan, *The Dragons of Eden*, Random House, New York, 1977. [*Cennetin Ejderleri*, çev: Mihriban Doğan, Say Yayınları, 2012]

Erwin Schrödinger, *What is Life*?, Cambridge UP, 1967 (ilk basım 1944'te yayımlandı; bu basım tek ciltte aynı yazarın *Mind and Matter* (1958) adlı eseriyle birleştirilmiştir).

Robert Shapiro, *Origins*, Bantam, New York, 1987.

Robert Shapiro, *Planetary Dreams*, Wiley, New York, 1999.

Michael Shermer, *Why People Believe Weird Things*, Freeman, San Francisco, 1997. [*İnsanlar Neden Saçma Şeylere İnanır*, çev: Zeynep Reyhan Koç, Altınbilek Yayınları, 2007]

Iosif Shklovskii, *Five Billion Vodka Bottles to the Moon*, Norton, New York, 1991.

Iosif Shklovskii ve Carl Sagan, *Intelligent Life in the Universe*, Holden-Day, San Francisco, 1966.

Seth Shostak, *Sharing the Universe*, Berkeley Hills Books, Albany, 1998.

Seth Shostak ve Alex Barnett, *Cosmic Company*, Cambridge UP, 2003.

J. L. Simon, *The Ultimate Resource*, Princeton UP, 1981.

George Gaylord Simpson, *The Meaning of Evolution*, Yale UP, 1967.

John Maynard Smith ve Eors Szathmary, *The Major Transitions in Evolution*, Freeman, Oxford UP, 1995.

John Maynard Smith ve Eors Szathmary, *The Origins of Life*, Oxford UP, 1999 (*The Major Transitions* eserinin daha "popüler" bir biçimidir).

Steven Stanley, *Extinction*, Freeman, New York, 1987.

Christopher Stringer ve Robin McKie, *African Exodus*, Cape, Londra, 1996.

Walter Sullivan, *We Are Not Alone*, McGraw-Hill, New York, 1966.

Stuart Ross Taylor, *Destiny or Chance?*, Cambridge UP, 1998.

Lewis Thomas, *The Lives of a Cell*, Viking, New York, 1974.

James Tref l, *Are We Unique?*, Wiley, New York, 1997.

Alan Turner ve Mauricio Antòn, *The Big Cats and Their Fossil Relatives*, Columbia UP, 1997.

E. S. Vrba, G. H. Denton, T. C. Partridge ve L. H. Burckle (ed.), *Paleoclimate and Evolution*, Yale UP, 1995.

Gabrielle Walker, *Snowball Earth*, Bloomsbury, Londra, 2003.

Peter Ward ve Donald Brownlee, *Rare Earth*, Copernicus, New York, 2004.

Stephen Webb, *Where Is Everybody?*, Copernicus, New York, 2002.

Fred Whipple, *The Mystery of Comets*, Smithsonian Institution, Washington, DC, 1985.

H. B. Whittington, *The Burgess Shale*, Yale UP, 1985.

E. O. Wilson, *The Diversity of Life*, Harvard UP, 1992.

Ben Zuckerman ve Michael Hart (ed.), *Extraterrestrials: Where Are They?*, 2. basım, Cambridge UP, 1995.

# DİZİN


23 Lib 147
51 Pegasi 21

Aczel, Amir 56
açısal devinirlik 126
Afrika Büyük Rift Vadisi 225
Akdeniz 226
alanin 44
ALH 84001 (Mars kayası) 65
Allen Array 59
Allen, Paul 59, 73
Alpha Centauri 64
alüminyum-26 139
Ames deneyi 47
amino asetonitril 33
aminoasitler 32, 33, 43
ammonitler 208
Amor (asteroit) 210, 211
Andromeda Galaksisi (M31) 80
Antarktika 226, 230
Apollo (asteroit) 210
Arrhenius, Gustaf 63
Arrhenius, Svante 63
asitlenme 234
astronomik birim (AU) 21
atarca 20, 21
Aten (asteroit) 210
Atlantik Okyanusu 157

Beta Pictoris 28
Beta Taurid meteor yağmuru 212
Bobylev, Vadim 240
Bracewell, Ronald 69, 72
Broecker, Wallace 179
Brownlee, Donald 176
Buzul Çağları 95, 104, 199, 203, 210, 230
Büyük Macellan Bulutu 116
Büyük Patlama 15, 17, 27, 75, 76

Caloris Havzası 130
Ceres 138
CETI 51
Chandrasekhar limiti 84, 85
Chandrasekhar, Subrahmanyan 84
Chicxulub olayı 205, 207
Chiron 213
Clovis medeniyeti 235
Clube, Victor 212
COROT-7 24
COROT-7b 24
*Cosmic Winter, The* (Clube/Napier) 213
Crick, Francis 65
*Crucible of Creation, The* (Conway Morris) 192

Darwin, Charles 45, 48, 180, 186
Darwinci evrim 189
Darwin/TPF projesi 42
Davies, Joel 68
denetim paradoksu 56
Devoniyen dönem 197
Doğu Afrika Rift Vadisi 228
Doppler etkisi 19, 21, 23

Drake denklemi 51, 53, 54, 232
Drake, Frank 51

Edikara 187, 193, 198
Encke, Johann 211
Encke kuyrukluyıldızı 211, 212, 213
Eros (asteroit) 211
etil format 29, 33
etobur kuşlar 191
evrensel Turing makinesi 71
*Extinction* (David Raup) 239

Forward, Robert 68
fosiller 44
fosil yakıtlar 241
Frail, Dale 20

galaktik kulüp 67
Galaktik Yaşanabilir Bölge (GHZ) 96, 97, 99, 102
Geç Dönem Ağır Bombardıman 49, 149, 152, 155, 162, 170, 240
geçmişe bakış süresi 75
Gemini Gözlemevi, Hawaii 26
geri devinimli yörüngeler 126
gezegenimsi 28
Gliese 581 25
Gliese 710 240
glikolaldehit 32
Glikson, Andrew 163
glisin 34, 44
Goldilocks Bölgesi 12, 105
goriller 219, 224
Gott, Richard 57, 59
Gould, Stephen Jay 182, 184, 188, 189, 190, 198
grafit 155

Hallucigenia 186, 192
Hart, Michael 62, 70
HD 189733 26, 35
helyosismoloji 117
Hephaistos 213
Herschel kızılaltı teleskobu 143
Hertzprung-Russell Diyagramı 107, 120
hidroksil radikali 151
Hipparcos uydusu 240
HL Tauri 28
*Homo erectus* 58, 219, 229
*Homo sapiens* 58, 222, 228
*How to Build a Habitable Planet* (Broecker) 179
Hoyle, Fred 48, 214
HR 4796A 35
Hubble Uzay Teleskobu 35, 78

ıslak dünyalar 26
ihtiyozor 194, 196
İzlanda 158

Jones, Eric 61
Jura dönemi 194

kalıtım şifresi 31
kangurular 194
kaos kuramı 11
kara delikler 18, 78
karanlık madde 19, 76
karbon-12 43
karbon-13 43
Karbonifer dönem 241
kar sınırı 140
Kasting, James 217
kelebek etkisi 148
Kepler uzay gözlemevleri 23
kılıç dişli büyük kediler 194
Konacki, Maciej 21
Kopernik ilkesi 57, 60
kripton 152
ksenon 152
Kuaterner 194
küresel ısınma 233
küresel kış 208
küresel termostat 177
kütleçekim 83, 85, 91

Lagrange noktaları 143
Leakey, Richard 197
Lepock, James 64
*Life Itself* (Crick) 66
*Life's Solution* (Conway Morris) 195
Lin, Douglas 139
lipitler 47
Lynn Margulis 45

M13 kümesi 51
Margulis, Lynn 184
Maynard Smith, John 195
Mayor, Michel 21
Meert, Joseph 203
Melosh, Jay 65, 163, 208
metan 34, 35
Mezozoik zaman 183
Milankovitch, Milutin 230
Milankovitch Modeli 230
Miyosen bölüm 226
Monod, Jacques 219
Morgan, Joanna 207
morötesi ışınım 150, 208
Morris, Conway 193, 194, 195, 198
Murchison meteoriti 46

Napier, Bill 212, 213
NASA 36, 38, 44, 46
Nectocaris 186
nitrojen 159, 177
Nix Olympica (Mars) 171
nötronlar 84
n-propil siyanür 29, 33

okyanus/kıta kabukları 158
olumsuz geri besleme 178
Oort Bulutu 100, 101, 135, 150, 211, 240
Oort, Jan 100
ozon 39, 41, 151, 210

Paleozoik zaman 95, 183
Pallas 133, 217
Pangea 197
panspermia 51, 60, 62
Pasifik Okyanusu 157
Pasteur, Louis 63
pentadaktil uzuv 193
Permiyen kitlesel yok oluşu 197
Pliyosen bölüm 226
Polinezya 69
Pompei kurtçukları 105
Prekambriyen devir 183, 186, 188, 198, 204
Proxima Centauri 128

Queloz, Didier 21

R136 kümesi 116
Raup, David 239
Rees, Sir Martin 55
riboz 32
RNA molekülleri 31, 32, 44, 45
Rozet Bulutsusu 128
Russell, Dale 221

Sagan, Carl 221, 222
Secker, Jeff 64
Seguin, Ron 221
senozoik zaman 183
serin 44
SETI 52, 59, 60, 156, 222
Shermer, Michael 54, 56
Shoemaker-Levy 9 kuyrukluyıldızı 150, 236
Sibirya Merdivenleri 206
sincap maymunları 224
sodyum 86
sönük genç Güneş problemi 38
Spitzer Uzay Teleskobu 26, 35, 181
Stanley, Steven 197
Stardust uzay sondası 44
Stevenson, David 180
stromatolitler 44
Sturtian Buzul Çağı 202, 204

sülfürik asit 207
Sürekli Yaşanabilir Bölge (CHZ) 105, 106, 107

Thomson, William 62, 64
Tip-II süpernovalar 86
Tip-I süpernovalar 85
Tipler, Frank 72
Titan 35
Toba Gölü, Endonezya 237
Tommotian 184
Trias dönem 197, 215
Trigo-Rodriguez, Josep 139
Tunguska olayı 235
Turing, Alan 71
Tyrannosaurus Rex 191

UFO 66
Upsilon Andromeda 149

Vesta 133, 217
Viewing, David 62
von Neumann, John 71
von Neumann makineleri 72, 123
Ward, Peter 176
Webb, Stephen 66
Wesson, Paul 64
*Where is Everybody?* (Webb) 66
Whipple, Fred 212
Whittington, Harry 186
WISE uydusu 236
Wickramasinghe, Chandra 48
Wild 2 kuyrukluyıldızı 44
Wolszczan, Alex 20
*Wonderful Life* (Gould) 185, 188

X ışınları 90

yarı geçirgen zar 45
yarılanma ömrü 114
'yaşam ağacı' 188
Yerel Kol 92
Yıldızsal Yaşanabilir Bölge (SHZ) 103, 104, 105
yıldız üretme çiftlikleri 111
yönlendirilmiş 51, 65

Zwart, Simon 116, 117



# HER ŞEYİN NEDENİ

## Dünya'daki Yaşamın Mucizesi

## JOHN GRIBBIN

Bilimin *neden* sorusuyla değil *nasıl* sorusuyla ilgilendiği artık arkaik bir görüş. Günümüzde bilim her şeyin nedenini araştırıyor. Neden yaşam var? Neden Dünya bu şekilde? Neden zekiyiz? Neden uzayda başka zeki canlılara rastlamadık? Bu ve benzeri binlerce neden sorusu artık bilimin ilgi odağında. Sorulara cevap buldukça yeni sorular geliyor elbette. Ama Gribbin'in bu kitabı biliminin günümüzdeki sınırlarını gösteriyor. Bu kitapta yanıtları verilen ve verilemeyen en temel soruları bulabilirsiniz.

*Her Şeyin Nedeni*, Dünya'nın evrendeki yerini sorguluyor. Milyarlarcasının içinde tek bir gezegen fark yaratabilir mi? Gribbin bunun mümkün olabileceğini savunuyor. Örneğin Dünya'daki yaşamı etkileyen en önemli olaylardan biri 600 milyon yıl önce Venüs'e bir "süper kuyruklu yıldız" çarpması. Gribbin bunun gibi örneklerle, Dünya'daki zeki yaşamı etkileyen kozmik olayları inceliyor.

"Yüzün üzerinde popüler bilim kitabının yazarı Gribbin, *Her Şeyin Nedeni*nde okurlarına kapsamlı ve lirik bir inceleme sunuyor."
– Lewis Dartnell, *Times Higher Education*

"Kopernik'ten bu yana Evrenin merkezi olmadığımızı biliyoruz... Gribbin yaşamın da sıradan bir doğa olayı olduğunu gösteriyor."
– *Science*

"Uzay ve zamana yayılan olağanüstü bir öykü... Bu kitap peş peşe gelen kozmik olayların Dünya'yı nasıl yaşam için uygun bir gezegen haline getirdiğini anlatıyor."
– *Science Focus*

ALFA
www.alfakitap.com
/alfakitap
/alfakitap

ISBN 978-605-171-058-7