

# Yaşamın Sonu

*Dünya'daki yaşamın ömrü çoktan yaralandı. Gelecekte Dünya cehenneme dönecek: Havasızlıktan boğulan bitkiler, buharlaşan ozon, temizlenmiş çöller ve asitli hava... O, dünyanın sonunun geldiğini haber veren bir kâhin değil, NASA'yla çalışan bir jeokimyager ve iklim araştırmacısı, Pennsylvania Eyalet Üniversitesi'nden James Fraser Kasting. Kasting'in kötü bir haberi var. Dünya, şişen Güneş'in alevleriyle sterilize olmadan çok önce, büyük iklim değişiklikleri gezegenimizdeki canlı türlerinin çoğunun yok olmasına neden olacak. Bitkiler havasızlıktan boğulacak, atmosfer çözülmeye başlayacak ve sular buharlaşacak. Bu, kulağa bir felaket senaryosu gibi gelebilir ve öyle de. Ancak bu kötü haberin bir de iyi yanı var: Bilim adamlarına göre o günlere daha çok zaman var.*

Niels Bohr'un, bir konuda tahmin yapmanın özellikle de gelecek söz konusuysa güç bir iş olduğu sözünü anımsatalım. Kasting ve arkadaşları da aynı sorunla karşı karşıyalar. Ancak onların çıkış noktaları sağlam: Gelecek milyar yıllarda, Güneş'in merkezindeki enerji üretiminin değişmesine bağlı olarak, yıldızımızdan gelen parlak ışıklar ve sıcaklık sürekli olarak artacak. "Güneş'in parlaklığındaki % 0,25 oranındaki bir artış bile yeryüzündeki sıcaklığın 0,5 derece yükselmesine neden olur" diyor New York'taki Goddard Uzay Çalışmaları Enstitüsü'nden David Ring. Ring de Güneş'teki değişimlerin iklim üzerindeki etkilerini modelleyenlerden.

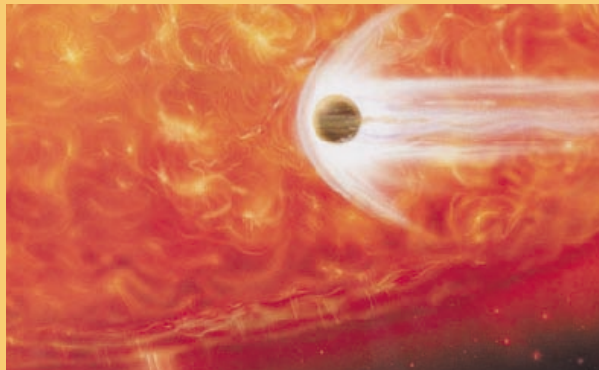
1645-1715 yılları arasındaki küçük buzul devri de, Güneş'in etkinliğindeki görece küçük değişimlerin Dünya iklimi üzerindeki etkisini gösteriyor. Bu yıllarda Dünya, 10 000 yıl önceki en son buzul döneminden sonra en soğuk dönemini geçirmiş. Washington D. C.'deki Deniz Kuvvetleri Araştırma Enstitüsü'nden Judith Lean, bu dönemdeki ağaçlardaki karbon 14 izotopu ölçümlerinden, o dönemde Güneş'in parlaklığının % 0,25 oranında azalmış olduğunu

hesaplamış. Astronomi hesaplamaları da, o dönemde Güneş'te hiç leke bulunmadığını gösteriyor. Bu lekelerin sıklığı, Güneş'teki etkinliklerle bağlantılı.

Öte yandan, oluştuğu zamandan, yani yaklaşık 4,6 milyar yıl öncesinden günümüze kadar Güneş'in parlaklığı yalnızca % 30 oranında arttı. Bu artış yavaş yavaş gerçekleştiği için, jeokimyasal tepkimelerle dengeleniyordu. Kasting, eğer atmosfer olmasaydı, Dünya yüzeyinin sıcaklığının -18°C olacağını hesaplamış. Gerçekteyse, bu sıcaklık ortalama 15°C. Çünkü, atmosferdeki sera gazları, özellikle de karbondioksit, su buharı ve metan, yeryüzüne gelen Güneş ışınlarının bir bölümünü tutarak uzaya geri yansımaları engelliyor. Sıcaklık arttığında, havadaki su buharının yoğunluğu geometrik olarak

artıyor. Böylece, Güneş'in parlaklığındaki yüzde ikilik bir artış, ortalama sıcaklığı yaklaşık dört derece yükseltiyor. Bu durumda kutuplarda öyle çok buz eriyecek ki, denizlerin yüzeyi 40 santimetre kadar yükselecek. Binlerce kilometrekare toprak sular altında kalacak. Kutupları kaplayan buz tabakası yok olduğunda da, yeryüzünden daha az ısı yansıtılacağı için, sıcaklıklar daha hızlı yükselecek. Sonra, biyojeokimyasal karbon çevriminin dengesi geliyor. Karbon çevrimi, eşit ağırlıklı olarak bir yanda karbondioksit ve kalsiyumsilikatlar, bir yanda da kalsiyumkarbonat ve silisyumdioksitten oluşuyor; karbonların büyük bölümü karbonat olarak kireç taşına bağlanıyor. Sıcaklıklar yükselince buharlaşma, yağmur ve rüzgârlar artar. Böylece erozyon oluşumu güçlenir. Serbest kalan kalsiyum,

deniz suyundaki karbonatlarla tepkimeye girer. Planktonlar ve mercanlar bu minerallerden kendilerine kabuklar oluşturur. Zaman geçtikçe bunlar ölür ve deniz tabanına çöker. Mercan kayalıkları bu yolla, milyonlarca yılda oluşmuştur. Bu kabuklara bağlanmış karbonatlar, havadaki karbondioksitin yardımıyla kendilerini yeniden oluştururlar.



Son olarak atmosferdeki karbondioksit de deniz tabanına ulaşır. Yanardağlar bu gazı tekrar havaya üfler ve silisyumdioksit yeraltında tekrar silikatlara dönüşür.

"Bu süreç, son dört milyar yılda yeryüzündeki sıcaklıkların dengelenmesini sağladı" diyor Kasting. Kasting ve Ken Calderia, eğer Güneş'in parlaklığı daha fazla artarsa, bu karmaşık düzenleme dengesinin bozulacağını hesaplamışlar. Öyle olursa, önümüzdeki 500 milyon yılda karbondioksit miktarı bugünkü % 0,035'lik oranından % 0,014'e düşecek. Ancak, endüstriyel etkinlikler ve motorlu araçlardan çıkan gazların artması bu hesaba katılmamış.

Kritik nokta, % 0,0015. Bugünkü bitki türlerinin % 95'i bu oranın altında fotosentez yapamaz. Fotosentezin ana maddesi 3 atomlu karbonlardan oluştuğu için bu adı alan C<sub>3</sub> bitkileri tükenenler. C<sub>4</sub> bitkileri, bir süre daha yaşayacaklar, karbondioksit miktarı yaklaşık % 0,0001 olana dek. Daha sonra onlar da yok olacaklar. Bu da, 900 milyon yıl içinde gerçekleşecek. Daha sonra, dünyadaki besin zincirlerinin çoğu bozulacak. Bunlar, olumsuz öngörüler gibi görünüyor. Ancak yine de İngiliz araştırmacılar James Lovelock ve Michael Whitfield'in öngörülerinden daha olumlular. 1982 yılında Lovelock ve Whitfield, önümüzdeki 100 milyon yılda bütün yüksek organizmaların yok olacağını hesaplamışlardı. Onlardan daha iyi bir iklim modeli bulmuş olan Kasting, bunun çok kötümser bir tahmin olduğu düşüncesinde. 80'li yıllarda düşük miktardaki karbondioksit konsantrasyonu akışı üzerine iyi bir iklim modelinin bulunmadığını belirtiyor.

Korku senaryolarının bir sonraki adımı: 1,1 milyar yıl içinde stratosfer "nemli" duruma gelecek. Atmosferin üst tabakalarındaki su buharı, % 10 oranına ulaşacak. Bugün atmosferin üst tabakalarında su buharı bulunmuyor. Çünkü su, yağmur olarak tekrar yeryüzüne düşmek üzere alçaklardaki bulutlarca toplanıyor. Sonra, Güneş'ten gelen morötesi ışınlar su moleküllerini bölüyor. Serbest kalan hafif su molekülleri her yana dağılıp yok oluyor. 100 milyon yıllık bir süre içinde, ozon da buharla-

## Yeni Yerler

Yıldızımızın parlaklığının artması sonucu Dünya'daki yaşamın yok olacağı gerçeği, araştırmacıların Dünya'daki yaşamın süreceği yeni yerler peşine düşmelerine neden oldu.

Örneğin, Güneş'in parlaklığının 1,5-4 kat artması, Mars'ta Dünya benzeri yaşamın gerçekleşebileceği sıcaklıklar oluşturacak. Eğer o zaman geldiğinde insanlar hala var olurlarsa, bir süre orada yaşayabilirler. Ancak, Ames'teki Iowa Eyalet Üniversitesi'nden Lee Anne Willson, 6 milyar yıl sonra Güneş bir kırmızı deve dönüşüğünde, Mars'ın da kavrulacağını hesaplamış.

Mars'tan sonra insanlar belki de Güneş'e uzak gezegenlerde yaşamlarını sürdürecektir. Jüpiter'in uydusu Europa'nın buzdan zirhi eriyerek büyük okyanuslar oluşturacak. Bu durumda, birkaç yüz bin yıl içinde buharlaşmadan önce sıvı su, Dünya'dakine benzeyen yaşam biçimlerinin oluşması için uygun bir ortam sağlıyor. Ancak, evrimin ikinci bir şansının daha olup olmayacağı kesin değil. Trieste'deki Uluslararası Kuramsal Fizik Merkezi'nden Julian Chela-Flores gibi kimi biyologlar, Europa'nın derin denizlerinde egzotik canlılar bulunabileceğini düşünüyor.

Tucson'daki Arizona Üniversitesi'nden Ralph D. Lorenz ve Ames Araştırma Merke-

zi'nden Christopher P. McKay de, Satürn'ün en büyük uydusu Titan'da yaşamın sürebileceğini düşünüyorlar. Şu anda Titan'daki sıcaklık, -180°C.

Ancak, 6 milyar yılda Güneş'ten gelen morötesi ışınlar öyle güçlenecek ki, Titan'ın azottan oluşan kalın atmosferindeki sis tabakası gitgide çözülecek. Bugün Titan'ın atmosferi, Güneş'ten gelen ışınların % 90'ının geçmesini engelliyor. Bu sis, morötesi ışınların etkisinde (Titan'da bol bol bulunan) metan gazı çıkaran farklı hidrokarbonlardan oluşmuş. Bu sis kaybolduğunda, uydunun yüzeyine bugünkününün 17 katı Güneş ışığı vuracak. Daha fazla Güneş ışığı ve atmosferdeki metanın neden olduğu sera etkisi, Titan'ın ortalama sıcaklığının -100°C'nin üzerine çıkmasını sağlayacak. Atmosfer'deki amonyak, dondurucu soğuktan koruyucu etki yapacak, böylece sıvı amonyak bulunacak.

McKay ve arkadaşları Titan'ın, Dünya dışındaki yaşam koşullarının araştırılması için doğal bir laboratuvar olacağı görüşündeler. Yaşamın oluşması için gereken biyokimyasal yapıtaşları orada hazır ve önümüzdeki 500 milyon yıl boyunca çevre koşulları da buna uygun olabilir. Belki de Dünya öldüğünde Titan yaşamın yeni ev sahibi olur.

şacak. 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda üreyen termofil bakterilerin varlığı tehlikeye girecek. Yeryüzündeki felaketten çok uzakta olduğu için, yalnızca yeryüzünün kilometrelerce altındaki lav çatlaklarında yaşayan mikropoların şansı olacak.

Ancak, bütün bunların tam olarak ne zaman gerçekleşeceğini kestirmek çok zor. Atmosferin, kayaların, denizlerin ve yaşam biçimlerinin arasındaki etkileşimler ve ilişkiler çok karmaşık olduğundan, şu anda hiçkimse kesin çıkarımlarda bulunamıyor. Ayrıca, Gü-

neş ışınlarının bir bölümünü geri yansıtan bulutların bu hesaplamalara katılması da olanaksız. Kasting, kendi senaryolarının da kötümser olduğunu kabul ediyor, çünkü bulutlar sayesinde Dünya'daki yaşamın şansı kat kat artabilir. Zaten, Dünya'daki yaşam süresinin üçte ikisi de böyle akıp gitmiş.

Yaklaşık 2,5 milyar yıl sonra, değişen atmosfer koşulları ve jeokimyasal koşullar nedeniyle kireçtaşları artık çözülmeyecek. Yanardağlardan çıkan karbondioksit atmosfere karışarak güçlü bir sera etkisinin oluşmasına neden olacak. Daha önceleri yağmurlarla yıkanan havadaki kükürtdioksit, serbestçe dolaşacak ve atmosferi asitli kıllacak. Dünya da, kırmızı devin etkisine girmeden önce, bugünkü Venüs'e benzeyen bir cehenneme dönecek. Kırmızı dev tarafından yakalandığında Dünya, atmosferinin geri kalan bölümünü de yitirecek, tamamen kuruyacak ve kızaracak. Güneş'in ikinci devlik aşamasından sonra yeryüzü bir kez daha katılacak. Ama sıcaklıklar birkaç yüz derece daha yükselecek; yaşamın ve kültürün bütün izleri Dünya'dan silinecek.

Vaas, R., "Finale für das Leben", *Bild der Wissenschaft*, Kasım 2000.  
Çeviri: Ashi Zülâl

! " ! # \$ % & ' ( ) " \* + " ' % # \$ ) " , ! ) \* ( % ' % \* ( " & ' % % ( ) - "" # \$ ( % + ! . ! \* \* \* ' + / \* ! ( % ' + # \$ % ( " ! \$ % ! \* ) , % \$ & \* # \$ " \* % % + ) " \* ( ! ( / ( 0 1 2345\$ # \$ % ' 6 1 ! % % 57 % 587 / % % \$ % % ( # \$ ( ! % ' \$ % ( ) & " 6 % ' ) \* % " \* % + ' " ! % % ( \* % % ! ( % + . % \* % / ! \$ " ( " " ( 497 % : % % 6 \* \* + ( 58 % " % ) \* & % ( 2; 777 % ) 6 % \* " ! " ! # \$ ) % \* ( & # < % \$ ! ! \* \* ) \* ! < % \$ ( ) % < % \$ + + ' + % ( % % + & % % ) / % & % % = & % < % \$ % , % + \* \* ( / ) 6 ) \* \* < % < % \$ \* % ' 1 ( + ) % / + " . ( ) \* % \$ ( % ' # \$ % ( % ' )

(" + ! ) ' ( " & ' \$ % \* \* \* ( ' \* \* " \* % ' \* # " ) ! % \* > " + \* " \$ " & % " ' \* ! \* / ' # \$ "% ! ? & # \$ % ) % 1 \$ ' % / % " + ( " # ' \$ % \$ ) \* % 1 < / % + 6 ( % + % @ \*\* ) ' @ \*\* < % \$ " ' % ' " ' % ' " & ' ( \* \* % ' % \* \* ' & " \* ( " \* < % % ( 277 % & ( \* \* \* \* ' % " % ( + ' + ( # \$ % \* ' " % + > \* ' \* \* % ( % ' ( ! \* ! # + ( " ' ! \* \* \* & ' \* 78; \$ # \$ \* ' \* + A " \* ' ( = & \* ' + = 1 B \$ % C % ! % \$ + D , % E % % \$ # ! F 0 234; , % ' G / % \* H % ! % % % & \* " # \$ % % \* " ' & \$ 5777 % ) + \* % & % ! + % + ' )

+ " A % ( " !! % ( % + ( !! % % \* / ' % ( % ( ! % ( % & % ! ( " ) / % ! ) ( A ) // % = F 0 \$ " \* ) ( % " ) ( % & ! " ( ' % & % \* ( ' \* ( & ) % % ' + % ) % % % ' % ( ! " & " / % % & ' \$ % ! % \* " % % + 6 % \* \$ % F ' 0 \$ ) " ) ' 6 ) ( % # ' \$ % J 7 2 \$ \* 977 ) K K ) + ! \* & ' 59 ! ( & ' / % L \$ % ( % & ) + \* ( \* ) \* " M \$ % % ( \* ( + ( ' ! " ! # N % N ( / % ( % & ' + " ! % & ' # \$ ! ( / # ' \$ \$ \* ( + ) % \* M & " % % \* ( + % ' ) ( % + " + 0 B \$ G > D G % ! ' \$ " < 2348 ( ' \* C \$ % " \* \* \* ( % ' + \* + ( % # \$ ' \$ % ) \* ( + % ) ' : % D O @ ) % ! , % P L 5777 E ! M " ) 1