

# DÜNYA'NIN ÖLÜMCÜL GELECEĞİ

**I**LK GİDENLER buzullar ve kutuplardaki buz örtüleri olacak. Artan yüzey sıcaklıkları buzu suya çevirecek ve deniz seviyelerinde ağır ama sürekli bir artışa yol açacak. Ama işler bununla kalmayacak. Sonunda sıcaklıklar deniz suyunun buhar olup uçmasına yetecek kadar artacak ve Dünya'yı bu yaşamsal maddeden yoksun bırakacak. Bu olunca da Dünyamızdaki tüm yaşam ya yeraltına inmek ya da gezegenimizden göç etmek zo-

runda kalacak. Bu mahşer senaryosu rahatsız edici bir gerçek olmanın ötesinde bir anlam taşıyor: Bu bizim kaçınılmaz kaderimiz. Üstelik insanların şu kırılgan çevremizde gerçekleştirebilecekleri değişimlerle de hiç mi hiç ilgisi yok. Bu değişimi gerçekleştiren, kontrolümüzün çok uzağında. Suçlu mu? Günümüzde yaşamı sürdürmemizi sağlayan ısı ve enerjiyi sağlayan kaynak: Güneş.

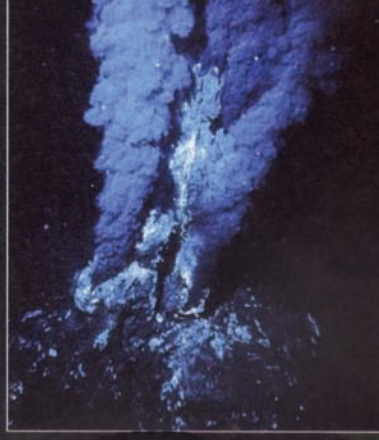
Gökbilimle az çok ilgili herhangi bir kimseye bu mahşerin ne zaman gerçek-

leşeceğini sorun. Alacağınız yanıt, “yaklaşık 5 milyar yıl sonra” olacaktır. Yani, Güneş şişerek bir kırmızı dev haline gelmeye başladığı zaman. Ancak sonumuz bundan daha yakın. Güneşimiz şimdi her geçen gün daha çok parlıyor. Ve bunu doğduğu günden beri yapıyor.

## Anakolda Yaşam

Güneş henüz bir bebekken, günümüz ölçütlerine göre tıknafes bir yıl-





“Kara bacalar”, günümüz okyanuslarının tabanındaki hidrotermal kaynaklarda yaşam yuvaları. Adlarını püskürttükları mineralce zengin maddelerin kuruma benzer görüntüsünden alıyorlar.

**Parlaklığı artan  
Güneş, denizlerimizi  
buharlaştıracak ve  
kıtalarımızı  
pişirecek. Ama  
bunlar yolun daha  
ilerisindekilerin  
yanında hiçbir şey.**

Günümüzden 1 milyar yıl sonra Güneş'in artan parlaklığı, Dünyamızdaki suyun çok büyük kısmını buharlaştırmış olacak. Resimde görülen derin okyanus çukurlarının dibinde kalan suda “sıcaksever” bakteriler yaşama asılmaya devam edecek.

dızdı. Merkezindeki termonükleer tepkimelerle hidrojen çekirdeklerini birleştirip helyuma dönüştürmeye başlamasıyla, resmen “yıldız” betimine hak kazandı. Bu çekirdek tepkimeleri, Einstein'ın ünlü  $E=mc^2$  formülü gereğince enerji salıyor. Bu enerji kaynağı da bir yıldızın “anakol” denen (kararlı olduğu), ömrünün büyük kısmını geçirdiği sürenin uzunluğunu belirliyor.

Her ne kadar bizler Güneş gibi bir anakol yıldızının, ömrünü hiç tüketme-

yeceğini sansak da, durum öyle değil. Yıldızımız gökbilimcilerin hidrostatik denge dedikleri bir durum içinde bulunuyor. Merkezdeki sıcak gazların dışarıya doğru uyguladığı basınç, kütleçekiminin içeri doğru basıncını dengeliyor. Örneğin, Güneş'in merkezindeki sıcaklık az biraz düşecek olsaydı, gaz basıncı da düşerdi. Böyle olunca da kütleçekimi yıldızımızın büzülerek yeniden ısınmasını, ve yeniden dengeye gelmesini sağlardı.

Güneş, yaşamına kütle olarak %73 hidrojen, %25 hidrojen ve %2 olarak da daha ağır elementlerin düzgün bir karışımı olarak başladı. Güneş'in dış katmanları hâlâ bu karışımı sürdürüyor. Ancak, nükleer füzyonun hüküm sürdüğü merkezde helyum düzeyleri sürekli artıyor. Güneş'in doğuşundan bu yana toplam kütlelerinin yaklaşık %5'i helyuma dönüştürülmüş bulunuyor.

Sonu başlatan da işte bu!.. Güneş'in kalbindeki tepkimeler temel olarak dört hidrojen atomunu bir helyum atomuna dönüştürüyor. Oysa gaz basıncı, bir ölçüde de olsa gaz içindeki parçacıkların sayısına bağlı. Merkezde süregelen füzyonsa (hafif parçacıkların yüksek sıcaklık ve basınç altında birleşerek daha ağır çekirdekler oluşturması) parçacıkların sayısını azaltıyor ve dolayısıyla basınç düşüyor. Hidrostatik dengeyi sürdürmek için Güneş birşeyler yapmak zorunda. Merkez sıkışıyor ve hem sıcaklığı, hem de yoğunluğu yükseltiyor. Bu da nükleer tepkimelerin hızını artırıyor ve Güneş daha fazla enerji üretmeye başlıyor.

Bu değişimler hızlı yol almıyor. Gerçi 100 milyon yıl kulağa uzun bir süre gibi gelebilir; ama Güneş için bu, yalnızca radar ekranında bir anlık görünen bir yankı gibi sayılır. 100 milyon yıl, Güneş'in ömrünün yalnızca %1'ini temsil ediyor. Ve 100 milyon yılda Güneş'in parlaklığı %1'den daha az artıyor. Enerjinin artışı da başlangıçta Güneş'in tembel bir tempoda genişlemesine yol açar. Çapı, insanın tırnakları kadar büyür: Yılda 2,5-5 cm kadar!..

## Kristal Küre Ne Gösteriyor?

Peki madem Güneş şimdi geçmişte olduğundan daha sıcak, o zaman birkaç milyar önce Dünyamızdaki koşullar nasıldı? Gerçi mantığa ters geliyor; ama eğer daha soğuk idiyse fark bugünkünden fazla büyük değildi. Bu da yaşam söz konusu olduğunda iyi haber demek. İlk tek hücreli organizmalar 3,5 milyar yıl önce ortaya çıktılar ve herhalde sıvı suya gereksinimleri vardı. Ne var ki, Güneş günümüzden 2 milyar yıl öncesine kadar Dünya'daki buz kütlelerini eritebilecek kadar sıcak değildi.



## Gezegenler göç yolunda

### Günümüz

Astronomik Birim (AB) = Güneş - Dünya uzaklığı  
= 150 milyon km

Güneş      Merkür      Venüs      Dünya      Mars  
0,38 AB      0,72 AB      1,00 AB      1,52 AB

Güneş ve gezegen yörünge uzaklıkları doğru ölçekle gösteriliyor. Gezegen büyüklükleri ise ölçeksiz.

### Günümüzden 6,5 milyar yıl sonra

Güneş kırmızı dev evresinde  
0,88 Güneş kütlesi

Venüs      Dünya      Mars  
0,93 AB      1,17 AB      1,85 AB

### Günümüzden 6,7 milyar yıl sonra

Güneş asimptotik dev halinde  
0,66 Güneş kütlesi

Dünya      Mars  
1,61 AB      2,46 AB

Bu durumda, sera etkisi için şansımıza dua edebiliriz. Atmosferdeki karbon dioksit ve su buharı, gezegenimizi normalde olabileceğinden çok daha yüksek derecelere kadar ısıtıyor. Bugün bile Dünya, sera etkisi olmadan erişebileceği sıcaklığın 33 derece daha üstünde.

Uzak geçmişte Dünya'nın içi daha sıcakken ve yanardağ patlamaları herhalde atmosfere bugünkünden daha fazla sera gazı salarken bu etki daha güçlü olmalıydı.

Daha yüksek Güneş parlaklıklarına doğru gidiş sürüyor. Günümüzden yaklaşık 1-2 milyar yıl sonra Dünya'nın yüzey sıcaklığı artık dönüşü olmayan noktaya yaklaşacak, su buharlaşmaya başlayacak ve bu da yüzey üzerinde yaşayan canlıların sonu olacak.

Bu sürecin zamanlamasını etkileyen birçok bilinmeyen var.

Bunlardan en önemlisi, atmosferin tutabileceği sera gazlarının miktarı. Çoğu biliminsanı, uzak gelecekte atmosferdeki karbondioksit düzeyinin düşeceği görüşünde. Bu beklentinin temelinde yatan fotosentez yapan organizmaların atmosferden çektikleri karbon dioksitin yanı sıra atmosfer yüzey etkileşimleri sonucu bir miktar karbon dioksitin silikat kayalara emile-

ceği ve bu kayaların da zamanla levha tektoniği dinamikleri aracılığıyla (dalma-batma bölgelerinde) mağma içine dalacağı öngörüsü.

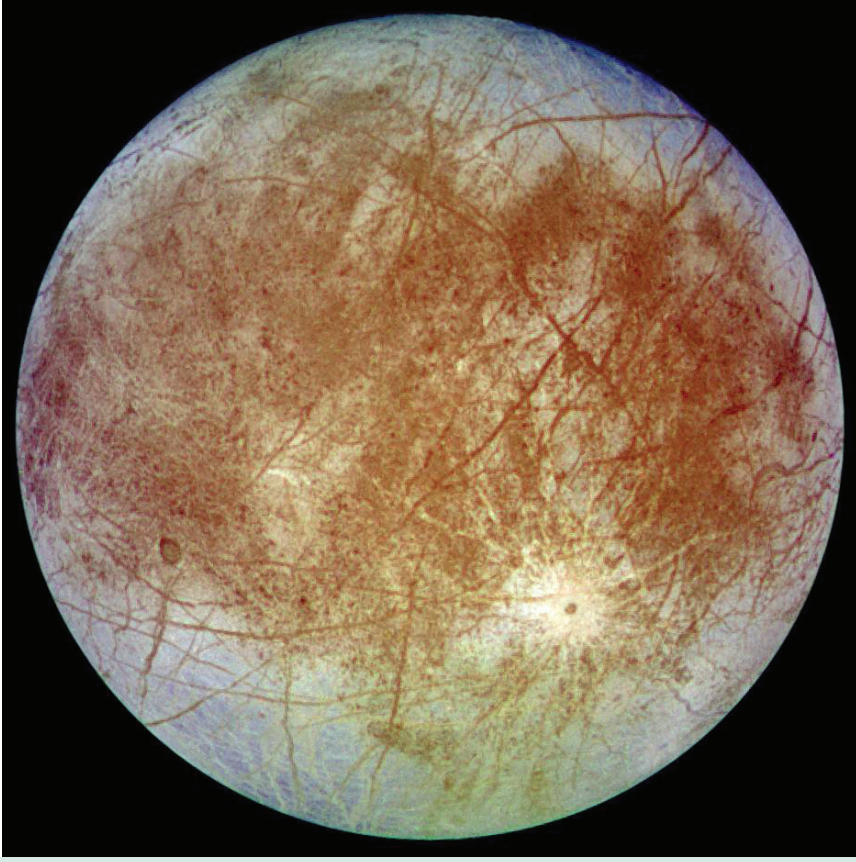
Okyanuslar buharlaşmaya başladığında Güneş'ten gelen yüksek enerjili morötesi ışınım su moleküllerini bileşenlerine; hidrojen ve oksijene ayırarak. Hafif hidrojen gazı Dünya'nın küt-

leçekiminden kurtularak uzaya karışacak. Okyanus sularının tümüyle ortadan kaybolması 1 milyar yıl daha alabileceği; ancak o zamana kadar ayakta kalabilmiş yaşam formları acil planlar yapmak zorunda kalacak.

Geçerli bir seçenek Mars olabilir. Dünya, yaşam formlarının pek çoğunun ayakta kalamayacağı kadar ısındı-

Güneş ölürken dış katmanlarını görkemli bir son için uzaya salacak. Ortaya çıkan "gezegenimsi bulutsu" 50.000 yıl kadar varlığını sürdürecektir.





## Konum, Konum, Yine Konum

Bundan birkaç milyar yıl sonra Güney Kutbu'nda hava daha çok Amazon ormanlarındakini andırmaya başladığında, Dünya'daki yaşam bir çıkış yolu aramaya başlayacak. Güneş'in artan parlaklığı Dünya'yı yaşanabilir olmaktan çıkarak ve endişeli bakışlar göğe çevrilecek.

Bilimkurgu ölçeklerinde bir tersinmeyle, ilk durak Mars olabilir. Ölmek üzere olan Marslıların daha yaşanabilir olan Dünya'ya göz diktikleri H.G. Wells'in klasik romanında olup bitenlerin tersine, Dünyalılar daha serin olan Mars iklimine kapağı atmaya kararlaşırabilirler. Bunun için Mars'ın belirgin avantajları var: Büyük olasılıkla Güneş Sistemi içinde insanlığın ilk kalıcı üssü ol-

ğında komşumuz (bugün ortalama yüzey sıcaklığı -50 derece olan) Kızıl Gezegen ılıman bir iklime kavuşmuş olacak. İnsanlık eğer o zamana kadar varlığını sürdürebilirse, Mars toprakları son derece cazip hale gelecek.

## Geleceğin Derinine

Bu uzak noktaya kadar Güneş ve Dünya neredeyse tam zıt yönlerde yol aldılar. Günümüzden bir ya da iki milyar yıl sonra bile, dış görünümüyle Güneş, bugünkü görünümünden fazla

makla kalmayacak, uzun bir süre yaşama dost ortamını sürdürebilecek.

Ancak, Güneş bir kırmızı deve dönüştüğünde Mars bile yaşam için fazla sıcak hale gelecek. Onun ardından akla gelebilecek tek yerler gaz dev gezegenlerin ayları olacak ki, bunların bir çoğunda -örneğin Jüpiter'in Io, Europa ve Ganymede'sinde; Satürn'ün Enceladus, Rhea ve Dione'sinde- büyük miktarlarda buz var. Güneş'in sıcaklığını önemli ölçüde arttırın ve ileride size okyanus manzaralı arsalar sunsunlar!..

Ancak, Güneş'in ölümünün daha gerçekçi bir senaryosu, Jüpiter ve Satürn yaşanabilir barınaklar durumuna gelinceye kadar, ayakta kalabilmiş herhangi bir uygarlığın başka güneş sistemleri aramasını öngörüyor. Sol'e (Güneş) milyarlarca yıl ev dedikten sonra, geriye kalan birkaç yüz milyon yıl kimseye yeterli görünmez. Yani artık tek bir yıldızın değil, gökadanın vatandaşları olmanın zamanı gelmiştir...

farklı olmayacak. Biraz daha büyük ve biraz daha parlak olacak; ama hâlâ tanınabilir durumda. Güneş'in iç yapısıysa belirgin olarak değişmiş olacak. Kalbinde hâlâ bol miktarda hidrojenin varlığını sürdürmesine karşın merkez büyük ölçüde helyumla dolmuş olacak. Ama hidrojen çekirdekleri birleşip helyuma dönüşmeyi ve bu daha ağır elementin bolluğunu arttırmayı sürdüreceklere.

Ama Dünya'ya gelecek olursak, yüzeyi neredeyse tanınmaz olacak. "uzaydan alınmış görüntülerine alıştı-

ğımız o "açık mavi nokta", artık kahverengiye dönüşmüş olacak ve kavurucu sıcaklıklar, üzerini yaşanmaz hale getirecek. Ancak, gezegenin derinlikleri fazla etkilenmiş olmayacak. Kabuğundaki radyoaktif elementlerin toplam kütlesi azaldığı için biraz soğumasına karşın, 21. yüzyıldan gelen bir yer bilimci, yapısını hâlâ tanıyabilecek.

Zaman ilerleyişini sürdürdükçe Güneş'te ve Güneş Sistemi'nin geri kalanında meydana gelen değişiklikler daha belirgin hale gelecek. Gerçek değişimlerse günümüzden aşağı yukarı 5 milyar yıl sonra, Güneş, merkezindeki hidrojen yakıtını tüketip anakol aşamasından çıkmaya hazırlanırken başlayacak. Güneş, emekliliğe ilk adımlarını attığında bugünkünden %70 daha parlak olacak. Ama bu durum fazla uzun sürmeyecek.

Bu noktaya gelindiğinde Güneş'in iç merkezi tümüyle helyumla dolmuş olacak. Sıcak (bugün 15 milyon derece olan sıcaklığı 50 milyon dereceye çıkmış) ve yoğun (suyun yoğunluğunun 10.000 katı) olacak, ama bunlar henüz helyumu ateşlemeye yeter ölçekler değil. Merkezin dış kısmındaki hidrojen yanmaya (birleşip helyum oluşturmaya) devam edecek.

Merkezde (helyum henüz ateşlenmediği için) bir enerji üretimi olmadığından, merkez büzüşüp ısınacak. Tıpkı yanan bir ateşin üzerine benzin döküldüğünde olduğu gibi, artan sıcaklık, merkezin hemen üzerindeki kabukta gerçekleşen eden hidrojen yanışını daha da körükleyecek. Güneş'in parlaklığı hızla artarken, dış katmanlar genişleyecek ve soğuyacak. Yıldız artık bir kırmızı dev olmaya hazır.

## Ejder Yıldız

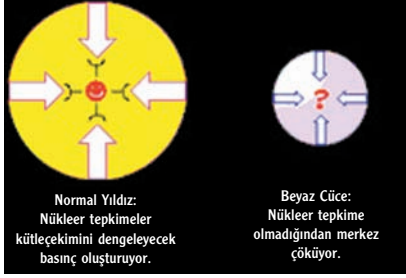
Güneş'in anakoldaki yaşamının noktalanmasından tam bir kırmızı dev haline gelmesi, yaklaşık 1-1,5 milyar yıl alacak. O noktada yüzey sıcaklığı yaklaşık 3.200 °C'ye, yani anakol evresindeki sıcaklığının yaklaşık iki katına çıkmış olacak. Görece soğuk yüzey, yıldızın enerjisinin büyük kısmını daha uzun dalgaboylarında, elektromanyetik tayfın kızıl bölgesinde yaydığını gösteriyor. Ama Güneş, henüz havlu atmaya düşünmüyor. Bugünkünden 1000 kat fazla enerji yayacak.





Günümüzden 6 milyar yıl sonra kırmızı dev haline gelmiş Güneş, ölü ve susuz bir Dünya'nın ufkunu dolduruyor.





Böylesine büyük bir enerjiyi daha soğuk bir yüzeyden yaymak, Güneş'in dramatik ölçeklerde genişlemesini gerekli kılıyor. Bir kırmızı dev olarak bugünkünün 100 kat, büyük görünecek, Merkür'ün yörüngesini aşarak kendisine en yakın konumdaki bu gezegeni içine alacak. Daha ılıman hale gelmiş dış gezegenlerden uzay gemisiyle gelen insanlar Dünya'yı ziyaret edecek olsalar, Güneş'i gökyüzünde 50 derecelik yer kaplayan şişmiş kırmızı bir küre olarak görecekler. Eğer gezegenimiz o tarihte kendi çevresinde hâlâ 24 saatte bir dönüyor oluyorsa, Güneş'in doğması ve batması üçer saat sürecek. Ama o tarihte gezegenimizin kendi çevresinde dönüşü hayli yavaşlamış olacağından gündoğumu ve günbatımı daha da uzun olacak.

Kırmızı devin şişmiş dış katmanlarında kütleçekimi öylesine zayıflayacak ki, Güneş rüzgarı (uzaya savrulan proton ve elektron gibi yüklü parçacıklar) günümüzdekinden 1 milyon kez daha güçlü olacak. Kırmızı dev aşamasında Güneş, toplam külesinin yaklaşık %10'unu bu yolla yitirecek.

Bu kademeli kütle kaybı, Güneş'in toplam kütleçekim gücünü de azaltacağı için eskiden olduğu gibi gezegenlerini de güçlü biçimde tutamayacak. Gezegenler eski yerlerinden bir miktar uzaklaşacaklar. Tabii ki, Güneş'in artan iştahının ilk kurbanı olan Merkür dışında!..

Bu arada hidrojen merkez dışındaki kabukta yanmasını sürdürürken, merkeze daha fazla helyum "külü" dökmeye devam edecek. Sonunda merkezdeki sıcaklık, helyumu da ateşlemeye yetecek olan 100 milyon derece sıcaklığa ulaşacak. Güneş, bu yeni enerji kaynağına kıtlıktan çıkmışçasına saldıracak ve merkezinde helyum çekirdeklerini birleştirip karbona ve bir miktar da oksijene dönüştürürken, hemen üzerindeki bir kabukta hidrojeni hâlâ helyuma çeviriyor olacak.

Bu enerji artışına karşın helyum füzyonu merkezin genişleyip soğumasına yol açacağı için Güneş'in parlaklığını azaltacak yıldız bütünüyle yıldız büzüşecek ve yüzeyi yeniden ısınacak. Bu kararlı durumda yaklaşık 100 milyon yıl kalacak. Dünya'dan görülebilen iki parlak yıldız - Arcturus ve Aldebaran - evrimlerinin bu aşamasında bulunuyorlar.

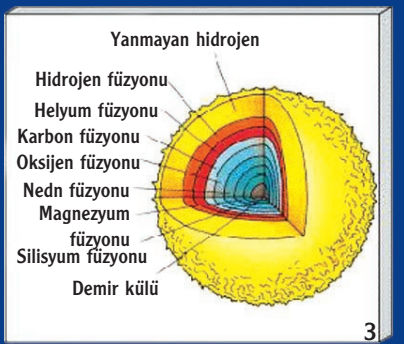
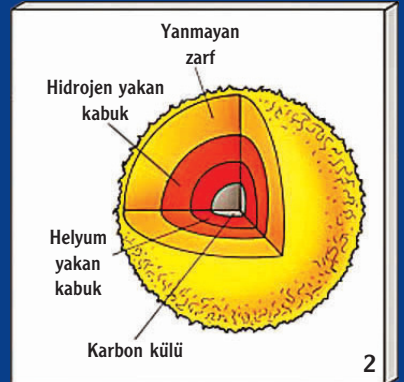
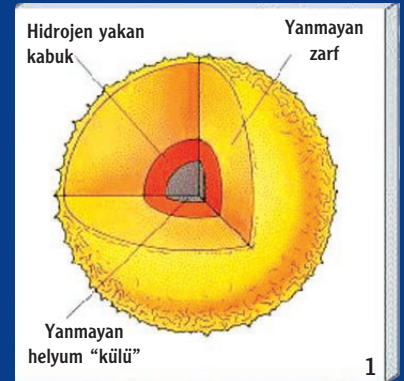
## Şişmanlığın Ölçüsü Kaçınca

Tüm çekirdek tepkimelerinde olduğu gibi, sıcaklıkta küçük bir artış, tepkime hızında büyük bir artış tetikler. Güneş'in helyum yakıtını böylesine hızlı tüketmesinin nedeni de bu. Ardından, aynı filmi tekrar seyrediyor gibi

1) "Anakol" denen kararlı evredeyken Güneş, merkezindeki hidrojen yakıtını helyuma çevirerek ürettiği enerjiyle kütleçekim baskısını dengeliyor.

2) Evriminin sonlarına doğru Güneş'in merkezi, karbon ve bir miktar oksijenle doluyor ve merkez çevresinde helyum ve hidrojen yakan katmanlar oluşuyor. Güneş, bu dinamikler sonunda birkaç kez şişip büzüşerek önce bir "kırmızı dev", daha sonra "asimptotik dev kol yıldızı" oluyor. En sonunda, dış katmanlarını uzaya püskürtürken Dünyamız boyutlarında bir "beyaz cüce"ye dönüşüyor.

3) Güneş'ten en az 8 kat daha kütleli yıldızların evrimiye daha farklı. Bu dev yıldızlar kütleçekimlerini dengeleyebilecek muazzam enerjiyi üretebilmek için çok daha fazla hidrojen yakıyorlar ve böylece hidrojenlerini en fazla 20-30 milyon yıl içinde tüketiyorlar. "Anakol" evresinden çıktıklarında, Güneş benzeri yıldızlara kıyasla çok daha fazla kabukta giderek ağırlaşan elementler sentezleniyor. Demir sentezi gerçekleştiğinde, çekirdek tepkimeleri duruyor ve külesinin baskısını dengeleyemeyen yıldız, bir süpernova patlamasıyla 10-20 km çapında bir nötron yıldızı ya da sonuz küçüklükte bir karadelik haline geliyor.





“Son güzel gün”: Birkaç milyar yıl sonra Dünyamız.



Güneş şişmeye başlayıp parlaklığı arttıkça sular çekiliyor ve yaşam büyük ölçüde yok oluyor.



Okyanuslar buharlaştı ve atmosfer uzaya kaçtı.



Artık bir kırmızı dev olan Güneş ölü bir gezegenin ufkunda göğü dolduruyor. Güneş daha sonra dış katmanlarını uzaya salarak bir beyaz cüce haline gelecek.

olacağız. Merkezde karbon “külü” birikecek. Bunun çevresinde helyum yakan bir kabuk oluşacak; onu da hâlâ hidrojen yakan bir kabuk çevreleyecek. Merkez bir kez daha büzüşerek ısınacak ve çekirdek tepkimeleri hızını yeni yüksekliklere fırlatacak. Yıldız tekrar şişecek; ancak bu kez ilk şişmeye göre daha büyük ve daha parlak olacak. O artık bir “asimptotik dev kol yıldızı”.

Bu evresinin tepe noktasında Güneş’in çapı, günümüzdekinden 500 kat artmış ve Venüs’ün yörüngesinin dışına taşmış olacak. Dış katmanları Mars’ın bugünkü yörüngesinin ötesine taşarken, Venüs de Merkür’den sonra ikinci kurban olarak yutulmuş olacak. Ancak Güneş de artık daha büyük bir hızla kütle kaybedecek ve rüzgarı bir kasırgaya dönüşecek. Güneş’in kütlesi, bugünkü değerinin üçte ikisine inerken Dünya’nın yörünge çapı da yaklaşık %60 büyüyebilecek.

Şimdiye kadar geliştirilen bilgisayar modelleri, Dünya’nın bu saldırı-

dan yutulmadan kurtulup kurtulamayacağını kesin olarak belirleyemiyor. Ama en azından kurtulursa, ucuz kurtulacağı kesin! Mars’a gelince, paçayı kurtarmakla birlikte o da bir süre önce kavuşmuş olduğu ılıman iklimine çoktan veda etmiş bile. Bu durumda eğer varsa torunlarımızın üzerine yerleşebilecekleri yer, dış gezegenlerin aylarından biri olabilir. Kısa bir süre de olsa havalar bahar sıcaklığında olacak, ve bugün bazılarının üzerinde büyük buz stokları bulunduğundan kıymetli su rezervleri de bol miktarda bulunacak.

Bu asimptotik dev kol evresinde Güneş’in içindeki kararsızlık, yıldızımızın birkaç yüz gün süren döngülerle büzüşüp şişmesine, bir başka deyişle “zonklamasına” yol açacak. O artık Kral (Cetus) Takımyıldızı’ndaki ilk örneğinin adıyla bir “Mira değişken yıldızı”.

Bu aşamaya geldikten sonra yalnızca 30-40.000 yıl sonra Güneş dış katmanlarını uzaya üfleyecek. Geriye, kar-

bon ve oksijenden oluşan merkez, yani bir “beyaz cüce yıldız” kalacak. Yıldız bu noktada bugünkü kütlelerinin yarısından fazlasını Dünyamızınki gibi bir hacme sıkıştırmış olarak kalacak. Yoğunluğu, bir üzüm tanesi boyutlarına kadar sıkıştırılmış bir otomobilin yoğunluğuna denk olacak.

İlk başlarda beyaz cücenin sıcaklığı yaklaşık 100.000 derece olacağından bol miktarda morötesi ışınım yayacak. Bu yüksek enerjili ışınım, bir zamanlar yıldızın dış katmanları olan ve artık uzaya yayılmakta olan gaz kabuğuna enerji yükleyip ılıdarmasına neden olacak. Bu “gezegenimsi bulutsu” yıldızlararası ortama dağılıp gitmeden önce, 50.000 yıl süreyle parlayacak. Beyaz cüceyse ağır ama sürekli bir biçimde soğuyacak ve sonunda Güneş Sistemi’nde milyarlarca yıl boyunca yaşamı beslemiş olan ışığı söndürecek.

Talcott R., “Earth’s Deadly Future”,  
Astronomy, Temmuz 2007

Çeviri: Raşit Gürdilek