

# Venüs'te Küresel İklim Değişikliği

*Dünya ve Venüs, Güneş'le gezegenleri oluşturan kazandan hemen hemen aynı kütle ve aynı yapıyla çıktılar. Gelgelelim daha sonra birbirlerinden çok farklı dünyalara dönüştüler. Dünyamızın kız kardeşi bir hayli ateşli!.. Yüzeyinin sıcaklığı 460°C. Anlayacağınız, gezegene uğrayabilecek bizim gibi karbon temelli ziyaretçiler, üzerinde kızgın kayalar görecekler. Tüm gezegen, son derece yoğun bir sera etkisinin pençesinde. Nedeni, atmosferinin en büyük bölümünü oluşturan karbondioksit gazının çok etkili bir yalıtkan olması. Gezegende sıvı su yok. Yüzeydeki atmosfer basıncı, Dünya'dakinin 100 katı. Aslında atmosferi, daha çok bir okyanusu andırıyor. Gaz halindeki kükürt bileşiklerinden oluşan bir çorba, her nasılsa varlığını sürdürebilmiş az miktarda su buharıyla birlikte, gezegeni tümüyle çevreleyen sülfürik asit bulutları için hammadde oluşturuyor.*

**K**ARDEŞ gezegenimizin bu cehennem tablosunu, bize, son 37 yıl süresince Venüs'e giderek resimlerini çeken, yüzeyini taramayan, yapısını tahlil eden ve hatta yüzeyine inen 22 robot uzay aracı ilettiler. Bu sürenin büyük bölümünde, Venüs'ü perdeleyen bulutlar nedeniyle yüzeyi yeterince gözlemlenemedi. Böyle olunca da bilim adamlarının Venüs konusundaki bilgileri statik kaldı. Bu gezegende varolabilecek volkanik ve

tektonik etkinlikler gibi dinamik süreçler konusunda bilgi edinilemedi. Magellan uzay aracıysa bu perspektifi köklü biçimde değiştirdi. 1990-1994 yılları arasında, bulut örtüsünü delip geçen radar sinyalleriyle gezegenin tüm yüzeyini yüksek çözünürlükte görüntüledi. Ortaya çıkan resim, geçmişinde muazzam yanardağ patlamalarına sahne olmuş ve günümüzde de volkanik bakımdan aktif bir gezegene aitti. Venüs'ün jeolojik geçmişinin bu irdelenmesine paralel olarak, ayrıntılı

bilgisayar simülasyonlarıyla da gezegen ikliminin son bir milyar yıllık tarihinin yeniden oluşturulmasına çalışıldı. Bu çalışmalar sonunda araştırmacılar artık, yoğun volkanik etkinliğin, Venüs'te büyük ölçekli iklim değişikliklerine yol açtığını biliyorlar. Venüs'ün, Dünya'daki gibi, ama gökbilimcilerin bildiği başka hiçbir gezegende görülmediği biçimde karmaşık, değişken bir iklimi var.

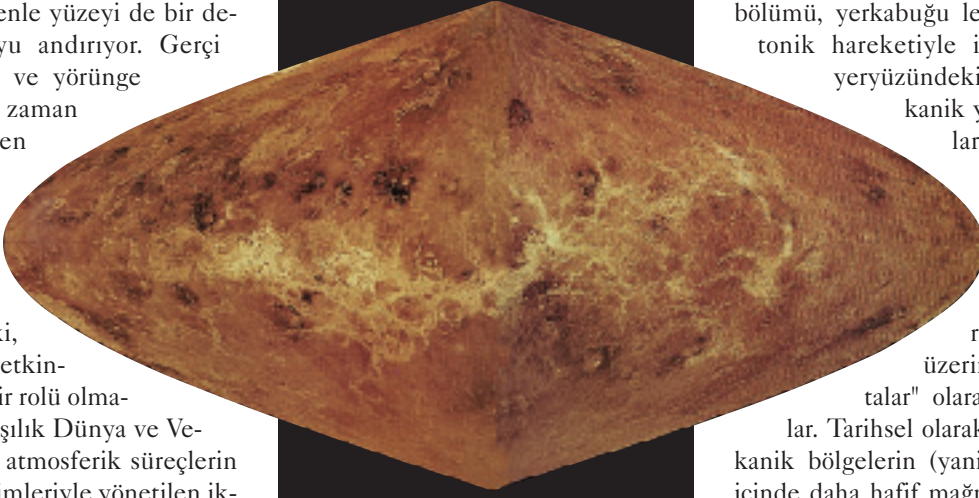
Bir de Dünya'nın öteki komşusunu düşünelim. Mars da dramatik ik-

lim değişiklikleri geçirdi. Ancak günümüzdeki atmosferi, jeolojik geçmişinin bir kalıntısı olarak karşımızda duruyor. Gezegenin içi, artık volkanik etkinliğe neden olmayacak kadar soğumuş. Bu nedenle yüzeyi de bir derin dondurucuyu andırıyor. Gerçi Mars'ın dönme ve yörünge hareketlerinde zaman zaman görülen kaymalar, bu gezegende de iklim değişikliklerine yol açabilir. Ama kuşku yok ki, bunda volkanik etkinliğin herhangi bir rolü olmayacak. Buna karşılık Dünya ve Venüs, jeolojik ve atmosferik süreçlerin dinamik etkileşimleriyle yönetilen iklimlere sahipler.

Güneş Sistemi'nin Venüs'ten bir sonraki durağındaki yerimizden baktığımızda, Dünya'dakine benzer kuvvetlerin nasıl olup da Venüs'te böyle farklı sonuçlara yol açtığına şaşmamak elde değil. Bu gezegen üzerinde yürütülen araştırmalar, iklim araştırmalarını, şimdiye değin bizim için tek örnek olan Dünya'nın ötesine taşıdı ve bilim adamlarına, bazı önemli soruları yanıtlamak için yeni olanaklar sağladı. Örneğin, Dünya'nın iklimi çok mu özel? Gezegenimizin iklimi ne derece kararlı? Günümüzde insanlık, teknolojik bir uygarlığın giderek çoğalan atıklarının Dünya iklimindeki etkileriyle ilgili, büyük, kontrolsüz bir deney yaşıyor. Öteki gezegenlerde iklim değişimini etkileyen unsurların belirlenmesi, doğa ve insan kaynaklı kuvvetlerin Dünya iklimini nasıl değiştirdiği konusundaki bilgilerimizi arttırabilir.

Bir örneğe bağlayalım bunu: Daha atmosferimizdeki ozon deliği popüler bir konu haline gelmeden önce bilim adamları, Venüs'ün üst atmosferinin egzotik fotokimyasının gizlerini çözmeye çalışıyorlardı. Sonunda vardıkları sonuç şuydu: Klor, gezegenin bulutlarının üstündeki serbest oksijen düzeyini azaltıyordu. Venüs'teki bu sürecin aydınlatılması, daha sonra Dünya'da da benzer bir sürece ışık tuttu: Yapay kaynaklardan ortaya çıkan klor, stratosferdeki ozon tabakasını yok etmekteydi.

*Venüs'ün iklimi, Dünya'ninkine gibi zaman içinde değişime uğradı. Buna yol açan, jeolojik etkinlik ve atmosfer değişiklikleri arasında yeni yeni anlaşılmaya başlanan ilintiler*



**VENÜS'ÜN YÜZEYİ**, Magellan uzay aracında bulunan bir radar tarafından 120 metre çözünürlükte tarandı. Ortaya çıkan, Dünya dahil tüm gezegenler arasında küresel boyutta en ayrıntılı görüntü. Gezegen ekvatorunda plato ve sirtlardan oluşan büyük bir kuşak Afrodit Terra adlı kıta boyutlu oluşumdan (ortanın solunda), Alfa Regio adlı parlak platoya (ortanın hemen sağında) ve Beta Regio'ya (en sağda, kuzeyde) kadar uzanıyor. Görüntü eksenini 180. boylam derecesi. Sinüzoid projeksiyon tekniğiyle oluşturulmuş olan bu teknikle, Merkator gibi alışılmış harita projeksiyonlarının aksine, değişik eylem derecelerindeki alanların boyutlarını değiştirmiyor. Görüntüdeki koyu alanlar, radar dalgaboyu ölçeğinde (13 cm) düzgün bölgeleri, parlak alanlarda engebeli araziye gösteriyor. Meridyene benzeyen silik çizgiler görüntüleme tekniğinin bir parçası.

## İklim ve Jeoloji

Dünyamız, değişken iklimini kısmen kabuğu, mantosu, okyanusları, kutup başlıkları ve dış uzay arasındaki gaz alışverişine borçlu. Jeolojik süreçlerin ana motoru olan jeotermal enerji de atmosfer değişikliklerini körükleyen bir etmen. Jeotermal enerji, esas olarak Dünya'nın iç kesimlerinde bulunan radyoaktif elementlerin bir ürünü. Karasal gezegenlerin incelenmesinde temel önemde bir sorun da, sıcaklıklarını nasıl yitirdiklerinin anlaşılması. Bunda başlıca iki mekanizmanın etken olduğu biliniyor: Volkanik etkinlik ve yerkabuğu parçalarının hareketleri (levha tektoniği).

Dünya'nın içinin yavaş yavaş soğumasına yol açan temel süreç, bir hareketli kuşak gibi işleyen levha tektoniği. Bu süreçle sürekli bir döngüye kavuşan gazlar, yeryüzü ikliminin karar-

lılık kazanmasını sağladılar. Yanardağlar atmosfere gaz pompalarken, birbirlerinin altına kayan litosfer levhaları da bu gazları Dünya'nın içine geri döndürür. Yanardağların çok büyük bir bölümü, yerkabuğu levhalarının tektonik hareketiyle ilgilidir. Ancak yeryüzündeki en büyük volkanik yapılardan bazıları da (örneğin Hawaii adaları), levha sınırlarındaki dinamikten bağımsız olarak yerkabuğu üzerinde "sıcak noktalar" olarak ortaya çıktılar.

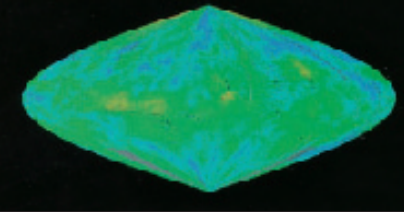
Tarihsel olarak muazzam volkanik bölgelerin (yani alttaki manto içinde daha hafif magma sütunlarının yol açtığı sanılan yoğun püskürme bölgelerinin) oluşması, atmosfere büyük ölçülerde gaz enjekte ederek küresel ısınma dönemlerine yol açmış olabilir.

Peki neler olmuş Venüs'te? Magellan'ın seferinden önce gezegenin jeolojik tarihi konusunda söyleyebileceklerimiz spekülasyondan öteye gitmiyordu. Bunlar ya Dünya ile karşılaştırmalara, ya da gezegen yapısı ve jeotermal ısı üretimi gibi konularda iki gezegen arasında varsayılan benzerliklere dayanıyordu. Şimdiyse, Venüs yüzeyinin geçirdiği evreler konusunda genel bir resim yavaş yavaş ortaya çıkıyor. Belki sınırlı bir ölçeğin ötesinde Venüs'te levha tektoniği konusunda bir kanıt yok. Gezegende ısı transferi, en azından yakın geçmişinde, geniş bazaltik lav ovalarının püskürmesiyle, daha sonra da bunların üzerinde yanardağların oluşmasıyla gerçekleşmiş görünüyor. Yanardağların etkilerini kavramaksa, her zaman olduğu gibi iklim tartışmaları için temel bir koşul.

Magellan aracının yaptığı küresel araştırmanın en çarpıcı bulgularından biri, gezegende çarpma kraterlerinin azlığıydı. Gerçi Venüs'ün kalın atmosferi, gezegen yüzeyini küçük göktaşlarından koruyabiliyor. Çapı bir kilometreye kadar olan ve gezegene çarpması halinde 15 kilometre genişliğinde kraterler açabilecek meteoritler, Venüs'ün atmosferini delip geçemiyorlar. Ama işin ilginç yanı, daha büyük çaplı kraterlerin de son derece az olması. İç

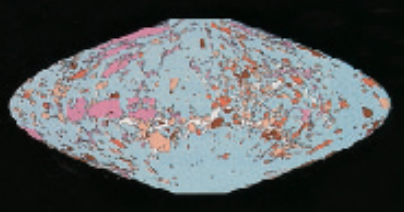


### TOPOĞRAFYA



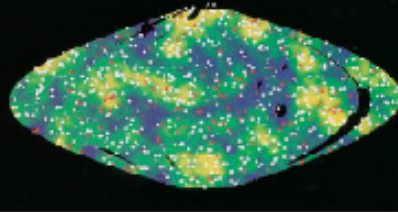
Venus'ün topoğrafyası alçaktan (mavi) yükseğe (sarı) 13 kilometreye kadar ulaşan çok farklı yükseklikler içeriyor. Bununla birlikte gezegen yüzeyinin beşte üçü, gezegenin ortalama 6051,9 kilometrelik ortalama yarıçapının yalnızca 500 metre üstünde, ya da altında bulunuyor. Venus'tekin aksine Dünya topoğrafyası kıtalar ve okyanus diplerine karşı gelen iki belirgin yükseklik etrafında kümelenmiş durumda.

### ARAZİ TÜRLERİ



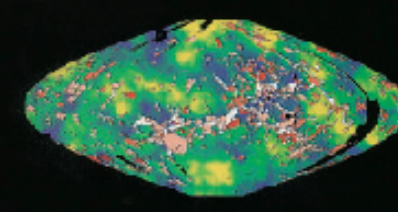
Venus'te arazinin çok büyük bölümü, volkanik ovalardan oluşuyor (mavi). Bu ovalar üzerinde mozaik parçaları gibi biçim değiştirmiş alanlar (pembe) kırılma bölgeleri (beyaz) gibi yüzey şekillerinin yanı sıra taç (somon) ve lav akıntıları (kırmızı) gibi volkanik oluşumlarla, değişik büyüklükte yanardağlar (turuncu) yer alıyor. Yanardağlar, Dünya'da olduğu gibi zincirler oluşturmuyorlar. Bu da levha tektoniğinin olmadığını gösteriyor.

### ÇARPMA KRATERLERİ



Göktaşlarının çarpmasıyla oluşan kraterler, tüm yüzeye rastgele dağılmış durumda. Çoğu, orijinal biçimlerini koruyor (beyaz noktalar) Lavların değiştirdikleri (kırmızı noktalar) ya da fay hatlarının çarpıttıkları (üçgenler) Afrodit Terra gibi bölgelerde kümelenmişler. Krater yoğunluğu düşük bölgeler (mavi zemin) genellikle platolar üzerinde bulunuyor. Krater yoğunluğu yüksek bölgelere (sarı zemin) alçak ovalar üzerinde görülüyor.

### ARAZİ YAŞLARI



Bu jeolojik harita, Venus'teki değişik arazi şekillerine ve krater yoğunluğuna bakarak çıkartılan görece yaşlarını gösteriyor. Yanardağlar ve taçlar, gezegenin diğer bölgelerine göre genç (mavi) olan ekvatorial kırılma hattı üzerinde toplanma eğiliminde. Mozaik parçaları, sırtlar ve ovalar daha yaşlı (sarı) oluşumlar. Bununla birlikte genelde yüzey şekillerinde Dünya ve Mars'ta olduğu gibi çok aşırı yaş farkları bulunmuyor.

Güneş sistemindeki asteroid ve kuyruklu yıldızların gözlenen bolluğu ve Ay yüzeyindeki kraterlerin sayısı, Venus'ün de ne kadar sürede ne kadar çarpışma yararı alması gerektiği konusunda fikir veriyor: Her bir milyon yıl için 1.2 krater. Magellan ise, gezegen düzeyine rasgele dağılmış yalnızca 963 krater sayabildi. Bunun anlamıysa şu: Gezegenin ilk 3.7 milyar yıllık tarihine ait kraterler bir biçimde silinmişti.

Krater azlığı, Dünya için de geçerli bir olgu. Kendi gezegenimizde, eski kraterler, rüzgâr ve su tarafından aşındırılıyor. Dünyamızda çarpışma kraterleri çok farklı durumlarda bulunuyor. Örneğin Arizona'daki Meteor Krateri neredeyse hiç bozulmamış bir çanak biçimiyle dururken, yerkabuğunun en eski bölümlerinde ta Prekambriyen dönemine ait çarpışmaların belli belirsiz izleri de görülebiliyor. Ne var ki,

Venus'ün yüzeyi, sıvı suyun varlığına olanak tanıyacak sıcaklığın kat kat üzerinde. Üstelik yüzeydeki rüzgâr hızı da oldukça düşük. Bu durumda, erozyonun yokluğunda, kraterleri aşındıracak ve sonunda tümüyle silecek süreçler olarak volkanik ve tektonik etkinlikler kalıyor. İşte paradoks da burada: Venus'teki kraterlerin büyük çoğunluğu taze görünüyor. Lavlar, yalnızca % 6'sının kenarlarına kadar yükselmiş ve yalnızca % 12'si Venus kabuğunun bükülmesi ve çatlaması sonucu bozulmaya uğramış. Peki bu ayakta kalan kraterler biçimlerini koruyorsa, eski kraterler nereye gitti? Eğer bunlar lavların altında kaldıysa, nasıl oluyor da kısmen örtülmüş olanlarına bile hiç rastlamıyoruz? Sonra, bunlar gerçekten lavlarla örtüldüyse, nasıl oluyor da rastgele dağılışı görünüşü hiç etkilenmemiş?

Bazı araştırmacılara göre, görünen kraterlerin rastgele dağılımı ve biçimlerini kısmen yitirmiş olanların azlığı, küresel boyutta bir jeolojik olayın 800 milyon yıl önce tüm eski kraterleri bir anda yok etmiş olduğunu gösteriyor. ABD'li araştırmacılar Gerald C. Schaber ve Robert G. Strom tarafından 1992 yılında ortaya atılan bu senaryoya göre, Venus'ün yenilenen yüzeyi daha sonra yeni çarpma kraterleriyle beneklendi.

Bununla birlikte, koskoca bir gezegen yüzeyinin bu biçimde tümüyle örtülmesi, pek çok jeolog tarafından akla yakın bulunmuyor. Dünya'da da benzer bir sürecin işareti yok. Washington Üniversitesi'nden Roger J. Phillips, aynı yıl "dengeli yüzey oluşumu" adlı alternatif bir model önerdi. Bu senaryoda, sürekli jeolojik süreçler, küçük ve dağınık bölgelerde kraterleri siliyor, ve böylece henüz örtülmemiş kraterlerin rastgele dağılmış görünümü korunuyordu. Gelgelelim, bu açıklamanın da bir sorunu vardı: Venus'te bazı jeolojik oluşumlar, muazzam boyutlarda. Böyle olunca da jeolojik etkinliklerin kraterleri her yerde dağınık ve dengeli biçimde yokettiğine inanmak için neden yok.

Magellan'dan gelen verilerin yoğunluğu ve güvenilirliği arttıkça, bu iki düşüncenin karşıtlığı klasik bir akademik savaşa dönüştü. Aslında gerçek, iki ucun ortasında bir yerlerde görünüyor. Venus'ün jeolojik tarihinin son bir milyar yılı konusunda günümüzde geçerli yorum, her iki modelden de unsurlar almış durumda: Küresel boyutta bir volkanik dönem, 800 milyon yıl önce tüm eski kraterleri yok etti ve gördüğümüz geniş lav ovalarını yarattı; sonra da daha düşük düzeydeki bir volkanik etkinlik günümüze değin sürdü.

## Çikolata Kaplı Karamel Kabuk

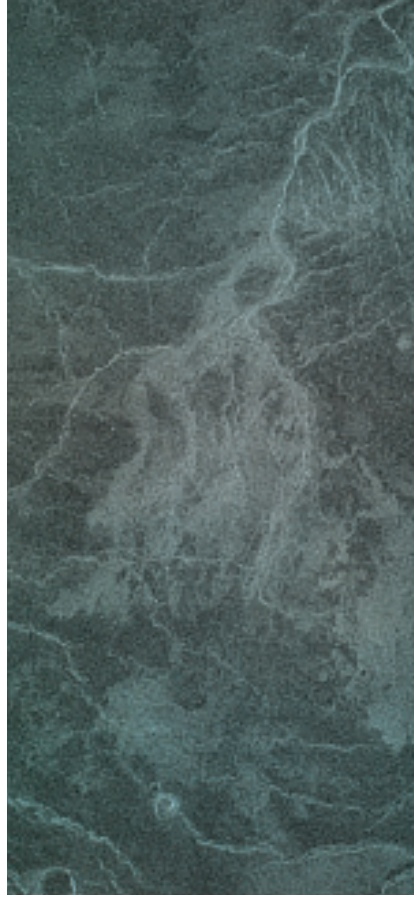
Volkanik etkinliğin, Venus'ün yüzeyini biçimlendiren önemli bir unsur olduğunda kuşku yok. Ama buna karşın, bazı garip jeolojik oluşumlarla ilgili yorumlar, son zamanlara değin gezegenin evrimi konusunda genel ve kapsamlı bir resme bir türlü oturtulamıyordu. Bu oluşumlardan bazıları, Ve-

nüs'ün ikliminin köklü bir biçimde değiştiğine işaret ediyor.

Bunların başında, su tarafından oyulmuş izlenimi veren dikkat çekici bazı çizgiler geliyor. Bunlar, 7000 kilometreyi bulan uzunluklarıyla Dünya'da kıvrılıp giden ırmakları ve sel ovalarını hatırlatıyor. Çoğu, ırmak deltasını andıran boşalma kanallarıyla noktalanıyor. Ne var ki çevrenin olağanüstü kuruluğu, bu yarıkların su tarafından kazılmış olmasını olanaksız kılıyor. O halde bunları kazan ne? Belki de bu işin sorumlusu kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat, ya da başka bazı tuzlar. Kükürt gazları da içeren kalın bir karbondioksit atmosferle denge halinde bulunan gezegen yüzeyinde bu maddeler bol olarak bulunmalı. Gerçekten de eski Sovyetler Birliği'nin gezegen yüzeyine indirdiği Venera uzay araçları, yüzey kayalarının %7-10 oranında kalsiyum minerallerinden (kuşkusuz karbonat biçiminde) ve % 1-5 oranında da sülfatlardan oluştuğunu belirlediler.

Bu tuzlarla yüklü lavlar, ancak Venüs'ün bugünkü yüzey sıcaklığının onlarca, ya da yüzlerce derece üzerindeki sıcaklıklarda erirler. ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu'ndan Jeffrey S. Kargel ve yardımcıları, Dünya'daki yeraltı su gölleri gibi, Venüs yüzeyinin yüzlerce metreyle birkaç kilometre arasındaki derinliklerinde, karbonatit (tuzlu) mağmanın erimiş durumda ve muazzam rezervler halinde bulunduğunu öne sürdüler.

Esrarengiz yüzey şekillerinden ikincisi, Venüs kabuğunun en eski parçalarını oluşturan, mozaik parçalarını andıran kaba dörtgenler (tesserae) Bunlar da Venüs'ün geçmişte daha sıcak olduğunu gösteriyor. Bu son derece kırılgan oluşumlar, lav ovalarından birkaç kilometre yükselen kıta boyutlu dev platolar üzerinde yer alıyorlar. Güney Metodist Üniversitesi'nden Phillips ve Vicki L.Hansen tarafından yürütülen araştırmalar, bu platoların litosferin, yani gezegenin kabuk ve mantonun üst kesimlerinden oluşan sert dış iskeletin bir uzantısı olduğunu gösteriyor. Araştırmacılar bu süreci üzeri çukulata kaplı bir karamelanın çekilip uzatılmasına benzetiyorlar, içerideki yumuşak kütle esnedikçe üzerindeki ince ve kırılğan kabuk buruşuyor. Bugün litosferin kırılğan dış kıs-



**VENÜS'TE IRMAK MI?** Bu delta, kuzeydeki volkanik ovalar boyunca 800 kilometre uzanan dar bir kanalın bitim noktasında yer alıyor. Bu kanalı su kazmış olamaz; çünkü Venüs aşırı derecede sıcak ve kuru. Yatak, daha büyük bir olasılıkla karbonlu ve kükürtlü tuzlar bakımından zengin lavlarca oyulmuş. Bu da, şimdikinden onlarca derece yüksek sıcaklıklara işaret ediyor. Resimde gösterilen alanın yüzeyi yaklaşık 40 x 90 km.

mı, buruşmaya elvermeyecek ölçüde kalınlaşmış durumda. Tessera oluşumu dönemindeyse daha ince olduğu anlaşılıyor. Bu da, yüzeyin bugünkünden bir hayli daha sıcak olduğunun işareti.

Garip oluşumlardan sonuncusuysa, tüm gezegeni kaplayan çatlak ve buruşukluklar. Bu oluşumlardan en azından bazıları, özellikle de "buruşuk sırtlar" diye adlandırılan oluşumlar küre çapında iklim değişiklikleriyle ilintili olabilir.

Bazı araştırmacılar da, gezegenin tümü üzerinde gözlenen lav ovalarının kısa aralıklarla genel bir biçim bozulmasına uğradığının kanıtlarına değiniyorlar. Bunlara göre tüm litosfer, belli aralıklarla aynı anda esnetilmiş, ya da sıkıştırılmış görünüyor. Karasal bir gezegende bu işi gerçekleştirebilecek bir iç mekanizma, kolayca düşünülebi-

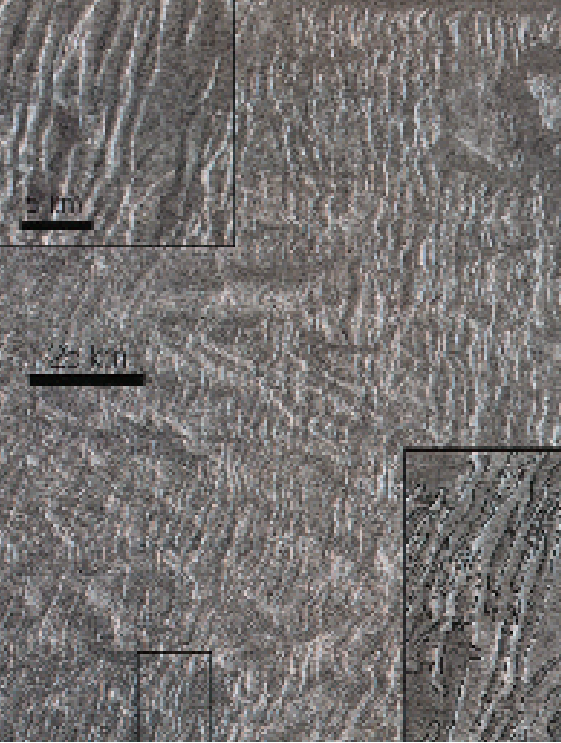
cek birşey değil. Peki bunu küresel bir iklim değişikliği yapmış olamaz mı? Washington'daki Carnegie Enstitüsünden Sean C. Solomon, yüzey sıcaklığında 100°C düzeyinde bir oynamanın litosferde yaratacağı basıncın 1000 bar olacağını hesaplamış. Dünya'da sıradağların oluşmasını sağlayan basınca eşdeğerdeki bu basınç da, Venüs'ün yüzeyini belirtilen biçimde deforme etmek için yeterli.

Venüs'ün jeolojik tarihiyle ilgili tartışmalar süredursun, atmosferinin ayrıntılı modelleri de iklim değişikliği tezini doğrular nitelikte. Gezegenin alışılmadık yapısı ve yaşama düşman koşullar, Venüs atmosferinin yapısıyla da yakından ilgili görünüyor. Subuharı çok küçük ölçülerde de bulursa, kızılötesi ışınımı, karbondioksitin zaptemediği dalga boylarında soğurur. Kükürtdioksit ve öteki kükürt gazlarıysa, aynı ışınımın daha başka dalga boylarını yakalarlar. Bir arada etkilediklerinde tüm bu sera gazları, Venüs atmosferini Güneş ışınlarına geçirgen, ama geri dönen termal ışınımına kapalı hale getirirler. Sonuçta yüzey sıcaklığı, atmosfer olmasaydı alacağı değer üç katına yükselir. Bir karşılaştırma yapmak gerekirse, sera etkisinin yüzey sıcaklığında yol açtığı artış, yalnızca % 15 dolayında.

Şu da var: Eğer yanardağlar gerçekten de Venüs'ün yüzeyini 800 milyon yıl önce yeniden sıvadırlarsa, kısa bir süre içinde atmosfere çok yoğun ölçeklerde sera gazları atmış olmaları da gerekir. Bu yoğun volkanik dönemde gezegen yüzeyinin 1-10 kilometre yüksekliğinde bir lav tabakası ile örtülmüş olması gerekir. Bu durumda atmosferdeki karbondioksit miktarında fazla bir oynama gerçekleşmiş olamaz. Çünkü zaten bu gaz çok yoğun miktarlarda bulunmaktaydı. Ancak atmosferdeki su buharı 10, kükürtdioksit de 100 kat artmış olmalı. Bu durumda gezegenin iklimi konusunda herhangi bir model, yanardağ kaynaklı gaz püskürmeleri, bulut oluşumu, atmosferin en üstünde hidrojen kaybı ve atmosfer gazlarının gezegen yüzeyindeki minerallerle etkileşimleri gibi birbirleriyle ilintili süreçleri de hesaba katmak zorunda.

Bu süreçler arasındaki ilinti son derece ince ayarlı olabilir. Örneğin karbondioksit, su buharı ve kükürtdi-





**ŞERİT ARAZI**, dik kenarlı, düz tabanlı, sıg (400 m derinliğinde) yarıklardan oluşuyor. Bu yüzey şekilleri, zayıf oluklu bir alt tabakanın üzerine oturmuş ince ve kırılğan bir kaya tabakasının çatlamaıyla ortaya çıkmış olabilir. Resmin alt ve üst yanlarındaki dikdörtgenler, sol alttaki kutu içindeki alanın ayrıntılarını gösteriyor. Alta yarıklar daha net biçimde işaretlenmiş.

oksit hep birlikte yüzeyin ısınmasına yol açarken, son ikisi, aynı zamanda bulut oluşumu gibi ters yönde bir etki de yapıyor. Su buharı ve kükürt büyük miktarlara erişince sera etkisini güçlendirmekle kalmıyorlar, aynı zamanda bulutları da kalınlaştırıyorlar. Bulutlar böylelikle Güneş ışınlarını uzaya geri yansıtıp gezegenin soğumasını sağlıyorlar. İşte bu zıt etkilerinden dolayı da su buharı ve kükürtdioksitin iklim üzerindeki net etkisini saptamak güç.

Bu yazıyı hazırlayan araştırmacının gerçekleştirdiği bilgisayar simülasyonları şunu gösterdi: Isınma ve soğuma arasındaki savaşı önce bulutlar kazandı. Venüs'ün yüzey sıcaklığı 100°C kadar düştü. Ama daha sonra bulutlar yavaş yavaş yokoldular. Atmosferin üst katmanlarında su buharı inceldi ve seyreldi, daha sonra da Güneş'ten gelen morötesi ışınım nedeniyle moleküller parçalandı. Hidrojen, yavaş yavaş uzaya dağılmaya başladı. Tüm hidrojenin yarısı böylece 200 milyon yıl içinde kayboldu. Bu arada kükürtdioksit de karbonat kayalarıyla etkileşti... Washington Üniversitesi'nden Bruce Fegley Jr. ve ekip arkadaşları, Venüs atmosferindeki kükürtdioksitin yüzeydeki karbonat tarafından soğurulması sürecinin, suyun uzaya kaçması sürecinden çok daha hızlı gerçekleştiğini ortaya koydular.

Böylece bulutlar incelidikçe daha çok Güneş enerjisi alan yüzey ısınmaya başladı. 200 milyon yıl kadar sonra, yüzey sıcaklığı, bulutları alttan buharlaştıracak düzeylere yükseldi. Bu zincirleme bir etkiye yol açtı: Bulutlar aşınıp eridikçe, daha az Güneş ışığı atmosfere geri yansıdığından yüzey daha da ısındı; yüzey sıcaklığı arttıkça da bulutların buharlaşması hızlandı. Sonunda, görkemli bulut katmanları hızla dağıldı. 400 milyon yıl kadar Venüs göklerinde görülenler, çoğunlukla subuharıdan oluşmuş ince ve yüksek bulut parçalarından ibaret kaldı. Ama gene de atmosferdeki subuharı düzeyi oldukça yüksek olduğundan ve ince bulutlar da Güneş enerjisini geri yansıtmayıp sera etkisine katkıda buldukları için yüzey sıcaklığı, bugün olduğundan 100°C daha fazlaydı. Bilgisayar modellerine göre, sonunda, küresel boyutta volkanik etkinliğin başlamasından 600 milyon yıl sonra, yanardağların da suskun döneme girmiş olmaları koşuluyla atmosferdeki bulutların tümüyle dağılmış olmaları gerekirdi. Kükürtdioksit ve subuharı sürekli biçimde yok olduğundan, bulutların varlıklarını sürdürebilmeleri için volkanik etkinliğin sürmesi gerekiyor. Yapılan hesaplar, günümüzde gözlemlenen kalın bulutları ayakta tutabilmek için Venüs'te aktif volkanik etkinliğin 30 milyon yıl öncesine kadar sürmüş olması gerektiğini

ortaya koyuyor. Yüzeyde volkanik etkinliklere yol açan gezegen içindeki süreçler, on milyonlarca yılı aşan süreler boyunca devam eder. O halde, Venüs'te yanardağların hâlâ etkin durumda bulunmaları olası. Bu, Venüs'te değişen oranlarda kükürtdioksit gözlemlenmesiyle de örtüşen bir bulgu. 1984 yılında, Kolorado üniversitesi araştırmacılarından Larry W. Esposito, Venüs'ün bulutları üzerindeki kükürtdioksit miktarının, gezegene yapılan Pioneer seferlerinin 1978-1983 arasındaki ilk beş yılı süresinde 10 kat azaldığını açıklamıştı. Araştırmacı, bu gaz ve bununla birlikte görülen sis parçacıklarının bolluğundaki dalgalanmaları gezegen yüzeyindeki aktif yanardağlarla açıklamıştı. Aslında volkanik etkinliğin yüzey sıcaklığında yol açtığı dalgalanmalar da, Magellan uzay aracının gezegen yüzeyinde saptadığı birçok garip oluşum için doğal bir açıklama oluşturuyor.

Ne mutlu bize ki, Dünya'nın iklimi de yakın jeolojik geçmişinde böylesine kökten değişikliklere uğramadı. Gerçi Dünya'da da oldukça hareketli bir volkanik etkinlik var. Ama gezegenimizin, bitkiler ve bol miktarda sıvı su tarafından sağlanan zengin oksijenli atmosferi, yanardağlardan çıkan kükürt gazlarını kısa sürede yok edebiliyor. Demek ki, su bulutları, gezegenin ısı dengesinin korunmasında çok önemli bir rol oynuyor. Bu bulutları besleye-

## Venüs Neden Bir Cehennem Kuyusu?

Dünya ve Venüs'ün iklimlerindeki olağanüstü farklılık, bu iki gezegendeki suyun tarihseli ile yakından ilintili. Bugün Dünya'nın atmosferiyle okyanuslarında, Venüs'ün atmosferinde olandan 100 000 kat fazla su bulunuyor. Sıvı su, karbondioksitin gezegen yüzeyindeki kayalarla etkileşiminde başlıca aracı. Su sayesinde havadaki karbondioksit, mineraller oluşturur. Suyun yaptığı işler, gezegen yüzeyiyle sınırlı da değil. Dünya'nın kabuğu altındaki mantoya sızan suyun, astenosfer denen ve litosfer levhalarının üzerinde kaydığı akışkanlığı düşük katmanın oluşmasını sağladığı sanılıyor. Karbonlu mineralerin (karbonat) oluşması ve daha sonra bunların tektonik levhaların üzerine çökmesi, Dünya atmosferindeki karbondioksitin Venüs'teki düzeylere yükselmesini önüyor.

Tüm bu farklılıklara karşın gezegen oluşum modelleri, başlangıçta Dünya ve Venüs'ün aynı miktarda suyla donatılmış olması gerektiğini gösteriyorlar. Çünkü her ikisinde de su Dış Güneş sisteminden gelen buzlu gök cisimlerinin çarpması sonucu taşınmış. Hatta başlangıçta Venüs'ün daha çok su topladığı yolunda işaretler var. 1978 yılında Venüs çevresinde yörüngeye

oturan Pioneer uzay aracı, gezegenin bulutları üzerindeki suda döteryumun (ağır hidrojen), bildiğimiz hidrojene oranını ölçtü. Bu oran, Dünya'dakinin 150 katydı... Bunun en akla yakın açıklamasıysa, Venüs'ün bir zamanlar Dünya'ya göre çok daha fazla su tutmuş, ama sonra yitirmiş olması. Aynı kimyasal yapıya sahip olan hidrojen ve döteryum su moleküllerinde bağlı durumda bulunuyorlardı. Su buharı atmosferin üst kesimlerine tımandığında Güneş'ten gelen morötesi ışınım molekülleri parçalayarak osijen ve hidrojen ya da döteryum atomlarını ayırdı. Daha hafif olan hidrojen kolaylıkla uzaya kaçabildiğinden Venüs atmosferinde döteryum oranı arttı.

Peki bu süreç neden Dünya'da değil de Venüs'te ortaya çıktı? 1969 yılında, Kaliforniya Teknoloji Üniversitesi'nden Andrew P. Ingersoll, herhangi bir gezegen üzerine düşen Güneş enerjisinin yeterince güçlü olması halinde yüzeydeki suyun hızla buharlaşacağını gösterdi. Artan su buharıysa atmosferi daha da ısıtacak ve dizginleri koparmış bire sera etkisi oluşacaktı. Süreç, gezegendeki suyun büyük bölümünü üst atmosfere taşıyacak ve sonunda su molekülleri ayrışacak ve yitirelecekti. Daha sonra Pennsylv-

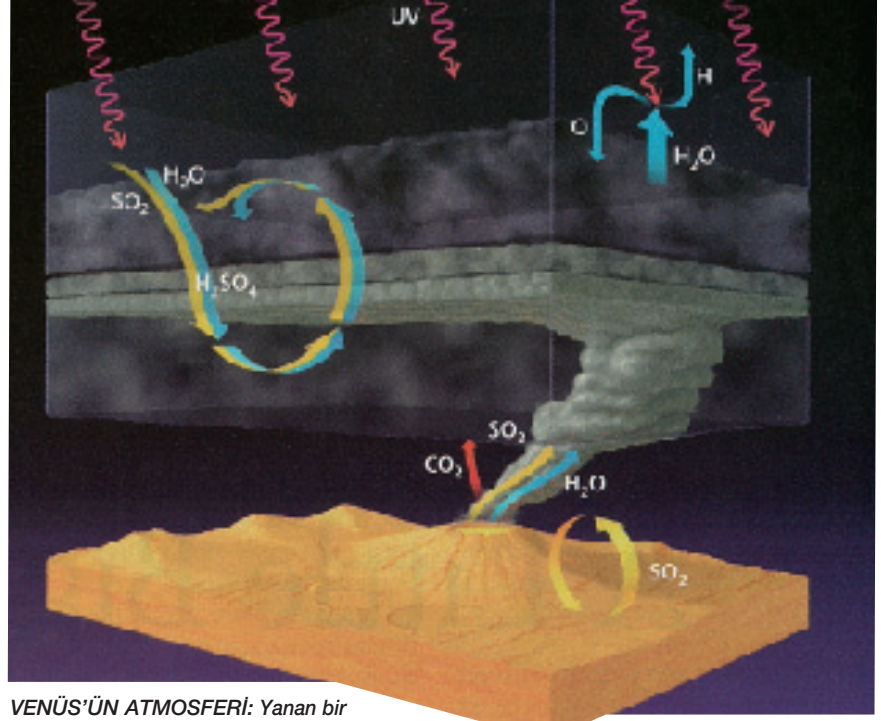
cek subuharının miktarı, okyanuslarındaki buharlaşma düzeyine bağlı. Bu da yüzey sıcaklığıyla ilgili bir değişken. Dünya'da sera etkisinde çok az bir artış olduğunu varsayalım. Bu, atmosfere daha yoğun buhar taşınması, bu da daha yoğun bir bulut örtüsü anlamına geliyor. Bulutların artan yansıtma gücü Dünya'ya ulaşan Güneş enerjisini azaltacak, bu da yüzey sıcaklığının düşmesine neden olacaktır. Yani bu mekanizma bir termostat işlevi görerek gezegen yüzeyinin sıcaklığını, birkaç günden birkaç yıla kadar değişen kısa aralıklar sonunda ılımlı düzeylere döndürüyor. Daha uzun sürelerde etki etmekle birlikte karbon-silikat döngüsü de, atmosferdeki karbondioksit miktarını sabit tutarak benzer bir işlev görüyor. Levha tektoniğinin ağır işleyen süreci tarafından yönlendirilen bu mekanizma, yarım milyon yıl gibi uzun sürelerde döngüsünü tamamlar.

İşte hayat ve suyla iç içe geçmiş bu döngüler sayesinde ki Dünya iklimi, kardeş gezegeninin başına gelenlerden korundu. Bununla birlikte insan kaynaklı etkiler de orta uzunlukta ki sürelerde ters bir işlev görüyor. Dünya atmosferindeki karbondioksit miktarı, 1860 yılından bu yana dörtte bir oranında artmış bulunuyor. Neredeyse tüm araştırmacılar, küresel ısınmanın gerçekleşmekte olduğu konusunda birleşiyorlar. Bu ısınmanın ne

vania Eyalet Üniversitesi'nden James F. Kasting ve ekip arkadaşları, bu etkinin daha ayrıntılı bir modelini hazırladılar. Araştırmacılar, kontrolden çıkmış bir sera etkisi için gereken kritik Güneş enerjisinin, günümüzde Dünya üzerine düşmekte olan enerjiden % 40 daha fazla olması gerektiğini hesapladılar. Bu değer, komşu gezegenin ortaya çıkmasından kısa bir süre sonra, Güneş henüz bugünkünden % 30 daha solukken, Venüs'ün yörüngesine isabet etmesi gereken ışınım miktarıyla hemen hemen aynı. Bu durumda Venüs, varlığının ilk 30 milyon yılı içinde Dünya'da bir okyanusu dolduracak kadar suyu yitirmiş olabilir.

Ancak bu modelin bir sorunu var: Eğer Venüs, başlangıçta da bugünkü kadar kalın bir karbondioksit atmosfere sahip idiye, suyunun büyük bölümünü korumuş olması gerekiyordu. Suyun ne kadar yitirildiği, ne kadarının atmosfer içinde ayrışacak kadar yükseğe çıkabildiğiyle ilintili. Kalın bir atmosferde su buharı fazla yükselmez. Üstelik, bu süreç içinde oluşan bulutların, Güneş ışığını uzaya geri yansıtarak dizginsiz sera etkisini sona erdirmeleri gerekiyordu.

Bunları göz önünde tutan Kasting ve arkadaşları, kritik değerlerin altında bir Güneş enerjisi düzeyine dayalı yeni bir model üzerinde durdular. Yeni senaryoya göre, Venüs'te sıcak okya-



**VENÜS'ÜN ATMOSFERİ:** Yanan bir fırının içinde görülebilecek sıcaklıkların, bir okyanusun dibinde rastlanabilecek düzeylerde basıncın ve sülfürik asit bulutlarının olumsuz etkileri altında bulunuyor. Bunun nedeni, Dünya'da iklim koşullarını dengede tutan döngülerin Venüs'te bulunmaması. Güneş'e yakın komşumuzda atmosferik süreçler hep tek yönlü. Eskiden yanardağların püskürttüğü karbondioksit (CO<sub>2</sub>) atmosferde asılı kalıyor; su (H<sub>2</sub>O) bir kere morötesi ışık tarafından parçalandı mı, bir daha dönmek üzere uzayın derinliklerinde kayboluyor., bir zamanlar mineraller içinde bağlanmış olan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), döngü yapan küçük bir miktar dışında gezegen yüzeyinde birikiyor.

kadarının fosil yakıt kullanımından, ne kadarının doğal iklimsel değişikliklerden kaynaklandığı konusundaysa tartışmalar sürüyor. Karbondioksitin, Dünya iklimini düzenleyen döngüleri alt edecek kritik bir yoğunluk düzeyi olup olmadığı bilinmiyor. Ancak şunda kuşku yok: Dünya türü gezegenlerin iklimleri, küresel boyutlu süreçlerin karşılıklı etkileşimiyle ani değişikliklere uğrayabilir. Çok uzun dönemde

Dünyamızın kaderi zaten belli. Güneş yaşlandıkça parlaklığı daha da artacak. Günümüzden yaklaşık bir milyar yıl sonra okyanuslar hızla buharlaşmaya başlayacak ve gezegenimiz giderek hızlanan bir sera etkisinin egemenliğine girecek. Öyle görünüyor ki, birer ikiz kardeş gibi doğduktan sonra yolları ayrılan Dünya ve Venüs'ün sonları da aynı biçimde gelecek.

1960'lı yılların çocukları olarak bizler, bilim ve teknolojinin bize sunduğu ütopyik yaklaşımı hatırlıyoruz. Bir zamanlar, insanlığa istediği malzemeleri sunma ve atıklarını temizleme kapasitesi sınırsız sanılıyordu. Oysa bilimin son bir kaç on yılda bilincimizde yarattığı değişikliklerden en önemli birisi, Dünya'nın artık cömert, ama olanakları sınırsız olmayan bir ev olarak algılanması. Bu perspektifi, küreye yayılmış teknolojik bir toplumun gezegen iklimini değiştirebilecek yeteneğe sahip olduğunu giderek daha çok kavrayarak edindik. Ne kadar yabancı görünürse görünsün, Venüs'ün yakından incelenmesi iklim değişiminin genel ilkelerinin belirlenebilmesi için gerekli. Bu, aynı zamanda kendi gezegenimizin de sandığımız kadar sağlam mı, yoksa dayanıksız mı olduğunu anlamamıza yardımcı olacak.

Bullock, M. A., Grinspoon, D. H., "Global Climate Change on Venus", Scientific American, Mart 1999  
Çeviri: Raşit Gürdilek