

Gezegelimizdeki Su Nereden Geldi? Suyun Kozmik Kaynağı

Bundan yaklaşık 20 yıl önce Voyager 1 uzay aracı altı milyar kilometre uzaktan Dünya'nın fotoğrafını çekti. Evrende ne kadar küçük bir gezegende yaşadığımızı bize hatırlatan bu fotoğrafta, Dünya yalnızca mavi bir nokta olarak görünüyordu. Bildiğimiz tek "mavi gezegen" Dünya bu rengini yüzeyinin büyük çoğunluğunu kaplayan sudan alıyor. Gezegelimiz oluğuğunda bir ateş topuydu. Bu kadar sıcak bir gezegenin içinde ya da üzerinde suyun tutunması olanaksızdı.

Peki, bu kadar çok su nereden geldi?



NASA

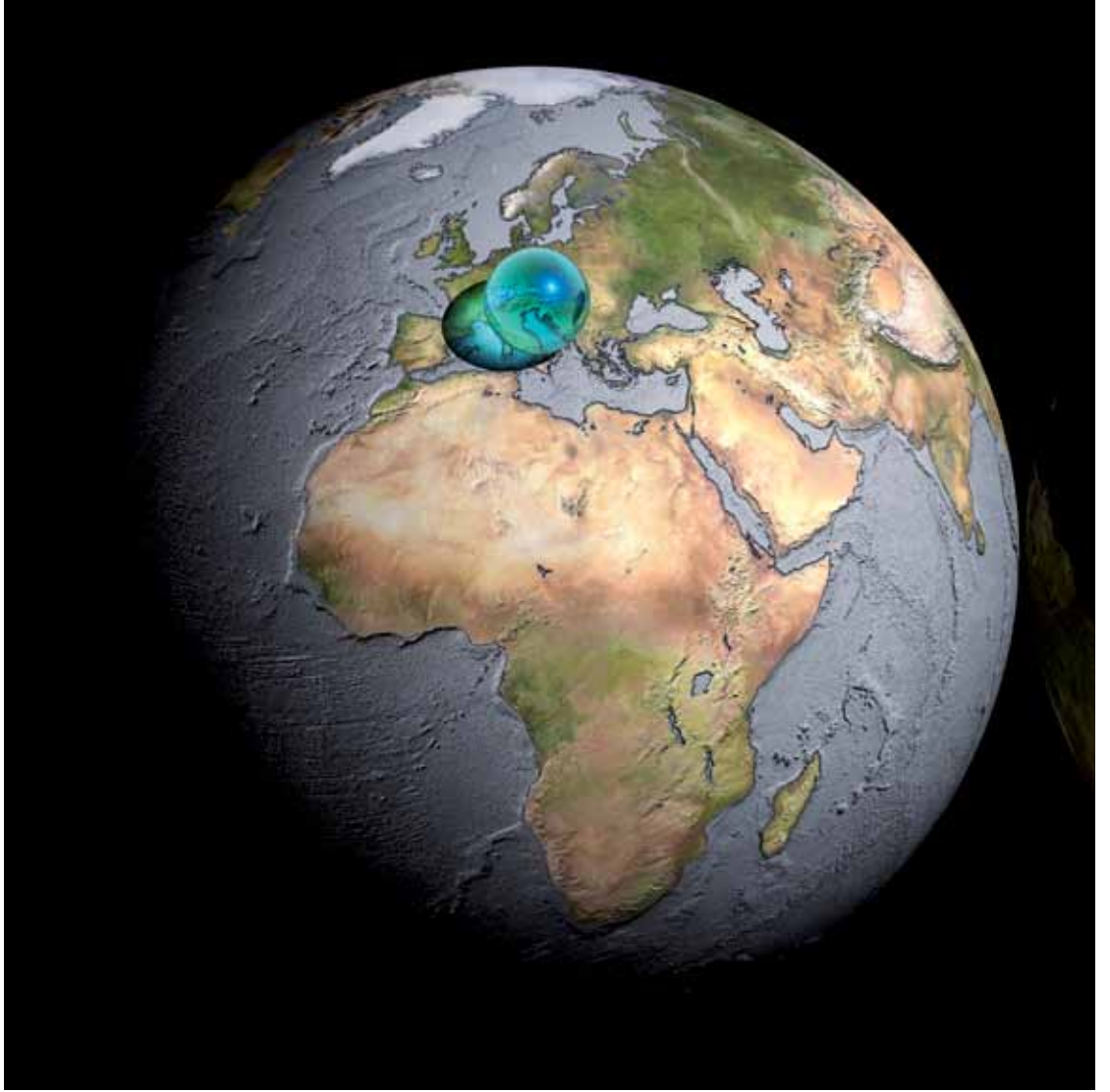
Bundan 30 yıl önce, Güneş Sistemi'nde ve genel olarak evrende Dünya'dan başka bir yerde su olup olmadığı tam bir bilmeceydi. Bugünse, neredeyse baktığımız her yerde suyun izine rastlıyoruz. Mars'ta toprak altında ve buzullarda az miktarda su olsa da, gezegenin yüzeyindeki devasa nehir yatakları gezegende bir zamanlar bol miktarda su olduğunu gösteriyor. Gaz devleri Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün çok küçük oranlarda sudan oluşuyor. Ama asıl dikkat çekici olan bu gezegenlerin büyük uyduları. Çok soğuk oldukları için çoğunun yüzeyi buzla kaplı. Bu buzun bir bölümünün su buzu olduğu düşünülüyor. Daha da önemlisi katmanlarının altında sıvı halde su olduğunu gösteren önemli ipuçları var. Yine büyük çoğunluğu Neptün'ün ötesindeki yörüngelerinde dolanan ve Güneşe yaklaştıklarında "kuyrukluysıldızlara" dönüşen, daha küçük cisimlerin de kirli bi-

rer kartopu olduğu düşünülüyor. Samanyolu'nda da çeşitli bulutlarda, yıldızların çevresinde, hatta başka gökadalarda suyun izlerini görebiliyoruz.

Su molekülü iki hidrojen bir oksijen atomundan oluşuyor. Her ikisi de evrende bolca bulunan elementler. Üstelik bu iki element karşılaştıkları zaman şiddetle birleşmek istiyor. O nedenle aslında kendi gezegenimizin dışında bolca su bulmak bizi şaşırtmamalı.

Büyük Patlama'nın ardından evrende oluşan ilk element hidrojen. İşte bu hidrojen ilk yıldızların hammaddesini oluşturuyordu. Hidrojenden ağır elementlere yıldız dediğimiz bu çok büyük ve çok sıcak fırınlarda "pişirildi". Yıldızların çok sıcak ve çok yoğun çekirdeklerindeki hidrojen atomlarının çekirdekleri çarpışıp kaynaşarak önce helyuma, süreç ilerledikçe de giderek daha ağır elementlerin çekirdeklerine dönüştü.

Dünya'daki suyun tamamını bir küre içine toplayabilseydik, bu kürenin çapı yalnızca 1600 km olurdu. Kuyruklu yıldızların geldiği bölgelerde bundan daha büyük gök cisimleri var.



SciencePhoto

Bize en yakın bulutsulardan biri olan Orion Bulutsusu'nun binlerce Güneş kütlelerinde su içerdiği tahmin ediliyor.



Atom çekirdeklerinin kaynaştığı bu fırınlarda meydana gelen tepkimelere "termonükleer tepkime" deniyor. Bu tepkimeler sırasında ortaya bir miktar

da ısı çıkıyor. Bu da yıldızların parlamasını sağlıyor. Çok büyük yıldızlar süpernova denen çok şiddetli bir patlamayla ömürlerini tamamlıyor. Bu patlamada yıldızı oluşturan maddenin çok büyük bir kısmı uzaya saçılıyor. Sonraki kuşak yıldızlar ve onların çevrelerinde dolanan gezegenler bu yıldızların ağır elementlerde zenginleşmiş küllerinden doğuyor.

Hidrojen doğrudan Büyük Patlama'nın ürünüyken, oksijen işte bu ölü yıldızların ürünü. Oksijen suyun kütlece en büyük bileşeni olduğu gibi yeryüzündeki kayaların bileşiminde de en çok bulunan element.

Kendini bilimi sevdirmeye adanmış ünlü gökbilimci Carl Sagan "hepimiz yıldız tozuyuz" demişti. Aslında yalnızca oksijen değil hidrojen de ağır tüm elementler, yıldızlarda ve bu yıldızların patlaması sırasında oluştu. Suyun gezegenimizi oluşturan diğer tüm "kozmetik" elementlerden farkı, Dünya'ya gelişinin diğer moleküllere ve elementlere göre biraz daha maceralı olması.



Halley Multicolor Camera Team, Giotto Project, ESA

Günümüzde hidrojen hâlâ evrende en çok bulunan element. Onu helyum ve oksijen izliyor. Suyun Güneş Sistemi'nin dışlarında yoğunlaşmış oluşu, sistemin oluşumundan sonra Güneş rüzgarının etkisiyle iç bölgelerden uzaklaştığını gösteriyor. Ayrıca gezegenler oluştukları sırada kızgın birer kaya kütesiydi ve en azından 200 milyon yıl kadar suyun buharlaşmadan bu kaya kütlelerinin içinde ya da üzerinde bulunması mümkün değildi. Bu nedenle iç gezegenler soğurken çevrelerinde su içeren molekül bu lamazlarken, bu moleküller dış gezegenler ve uyduları tarafından yakalandı.

Kar Hattı

Meteorolojide “kar hattı” diye bir kavram vardır. Bu kavram “karla kaplı dağlık bölgelerde, daima karla kaplı olan bölgenin yükselti bakımından en alt sınırı” şeklinde açıklanıyor. Gökbilimciler de benzer şekilde, suyun buz halinde bulunabileceği Güneşe en düşük uzaklığa “kar hattı” diyor. Güneş Sistemi'nin kar hattının kabaca Mars ile Jüpiter arasında, asteroit kuşağının dışlarında olduğu tahmin ediliyor. Her ne kadar kesin bir çizgi olmasa da Güneşe bu hattan daha uzakta olan suyun buz halinde bulunduğu kabul ediliyor.

Atmosferin olmadığı ortamda buz doğrudan su buharına dönüşebiliyor, yani süblimleşebiliyor. Ancak bu, sıvı haldeki suyun buharlaşarak su buharına dönüşmesine göre çok daha yavaş gerçekleşiyor. Gezegenler güçlü kütleçekimleri sayesinde sıvı haldeki suyun uzaya kaçmasını önleyebiliyor, ama su toz parçacıklarının, küçük göktaşlarının, kuyruklu yıldızların ve asteroitlerin kütleçekiminden kolayca kaçabiliyor. Bu nedenle özellikle küçük cisimlerin su içermesi ancak kar hattının ötesindeyse mümkün görülüyor.

Bunun en güzel göstergesi kuyruklu yıldızlar. Bu cisimler normalde Neptün'ün ötesindeki Kuiper Kuşağı'nda ve ondan çok daha ötedeki Oort Bulutu denen bölgede bulunur, buradayken kuyrukları yoktur. Ancak yörüngesinden çıkan bir kuyruklu yıldız Güneşe yaklaştığında içerdiği su ve me-



NASA

tan gibi moleküller süblimleşmeye başlar ve Güneş rüzgarının etkisiyle Güneş'in tersine doğru uzanan kuyrukları oluşur. Bu, içerdikleri suyu süblimleştirmeye başladıklarını, gaz haline geçen suyun da Güneş rüzgarı tarafından sistemin dışlarına doğru itildiğini gösterir.

Kozmik Su

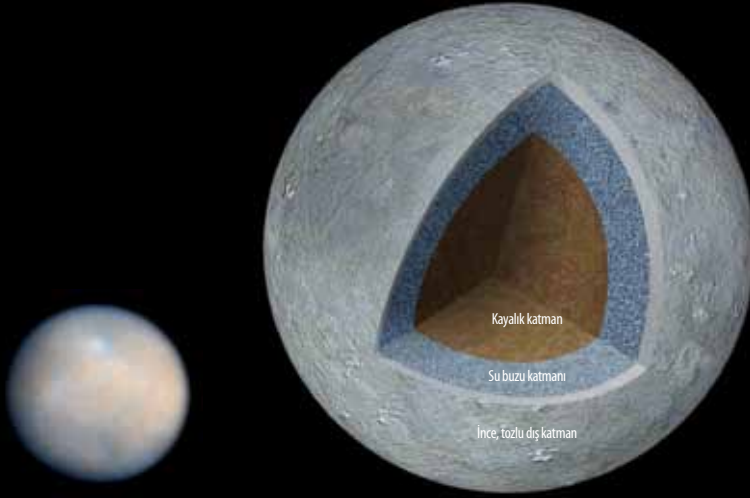
Gezeganimizde 2.150.000.000.000.000.000 (2.150 x 10¹⁸) litre su bulunduğu hesaplanıyor. Tüm okyanuslar, denizler, göller, akarsular ve yeraltı suları buna dahil. Bunu gözde canlandırmak zor. Şu şekilde ifade edilirse daha anlamlı olabilir: Dünya'daki suyun tamamını uzayda bir küre içinde toplayabilseydik, bu kürenin çapı yaklaşık 1600 km olurdu. Kuyruklu yıldızların geldiği bölgelerde bundan daha büyük gök cisimleri var. Örneğin Plüton'un çapı yaklaşık 2300 km ve yüzeyini oluşturan ince kabuğunun altında 100-180 km kalınlığında bir buz katmanı olduğu tahmin ediliyor. Yine bu bölgede bulunan daha küçük cisimlerin su oranlarının çok daha yüksek olduğu tahmin ediliyor.

Dünyada kayalarda bulunan oksijen ve hidrojenin çeşitli kimyasal tepkimelerle zaman içinde birleşerek suya dönüşmüş olması mümkün. Ancak yer yüzünü kaplayan suyun ancak küçük bir bölümünün bu şekilde oluştuğu sanılıyor.

Yakın geçmişe kadar bolca su içeren, Güneş Sistemi'nin derin dondurucusunda saklanan kirli kartopları kuyruklu yıldızların yeryüzündeki suyun en önemli kaynağı olduğu düşünülüyordu. Senaryoya göre bundan 4,6 milyar yıl önce Güneş Sistemi oluşurken bu gök cisimlerinin sayısı çok daha fazlaydı. Gezegenlere yakın bölgelerde dolanan gök cisimleri gezegenlerin çekim etkisiyle zamanla gezegenlere düştü. İlk zamanlar gezegenler çok sıcak olduğundan suyun sıvı halde kalması mümkün değildi, kolayca buharlaşıp uzaya kaçıyordu.

Halley Kuyruklu Yıldızı'nın Giotto uzay aracı tarafından çekilmiş görüntüsü. Kuyruklu yıldızın su buharıyla birlikte başka gazlardan ve tozdan oluşan kuyruğunun uzunluğu 100 milyon kilometreyi bulurken, çekirdeğinin çapı yalnızca 15 km kadar (solda).

Yakın geçmişe kadar, bolca su içeren, Güneş Sistemi'nin derin dondurucusunda saklanan derin kuyruklu yıldız adı verilen kirli kartoplarının yeryüzündeki suyun en önemli kaynağı olduğu düşünülüyordu. Ancak yeni gözlemler suyun başlıca kaynağının kuyruklu yıldızlar olmayabileceğine işaret ediyor. Fotoğrafta 1995'te keşfedilen ve geçtiğimiz yüzyılın en parlak kuyruklu yıldızlarından biri olan Hale-Bopp kuyruklu yıldızı görülüyor.

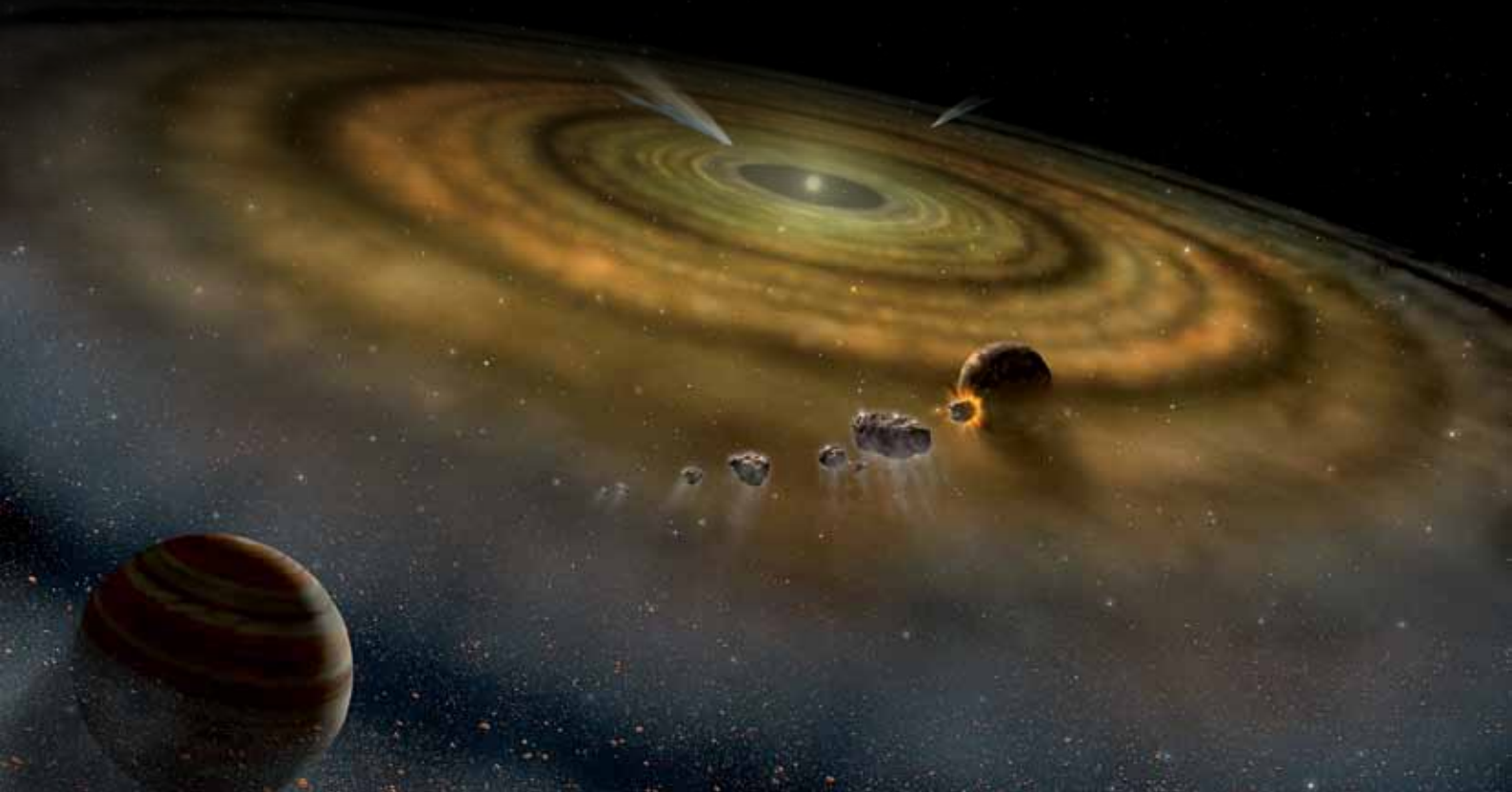


Üstte: Asteroid Kuşağı'nın en büyük üyesi Ceres, 2006'dan bu yana cüce gezegen olarak kabul ediliyor. Ceres hemen hemen küresel bir yapıya sahip. Gökbilimciler düşük yoğunluğundan yola çıkarak Ceres'in kalın bir buz katmanına sahip olabileceğini düşünüyorlar. **Altta:** Güneş Sistemi oluşumunun ardından oldukça hareketliydi. Gezegenler, asteroidler ve kuyrukluysıldızlar tarafından bombardımana tutuluyordu. Gezegenimizdeki suyun başlıca kaynağının bu cisimlerin yapısında bulunan su olduğu düşünülüyor.

Dünya oluşuktan birkaç yüz milyon yıl sonra yüzei önemli ölçüde soğumuştur. Şimdikinden çok daha kalın atmosferi sayesinde 200-300 derece sıcaklıkta bile yüzeydeki su sıvı halde kalabiliyordu. Büyük çarpışmalar sonucunda gezegenin kabuğu parçalanarak suyun önemli bir miktarı buharlaşmış olabilir, ancak belli ki bombardıman suyun devamlılığını sağlayacak kadar yoğundu. Zaten yerbilimciler ilk zamanlar yeryüzünde şimdikininki on katı kadar daha fazla su olduğunu düşünüyor. Bu suyun bir bölümü kaynarak uzaklaşmış olmalı.

Gökbilimciler kuyrukluysıldızların içerdiği suyun özelliklerini Dünyadaki suyunkiyle karşılaştırarak kaynağı doğrulamaya çalışıyor. Suyun bileşenlerinden biri olan hidrojen atomunun çekirdeği yalnızca bir protondan oluşur. Ancak okyanuslardaki her 6400 hidrojen atomuna karşılık, çekirdeği bir protondan bir de nötrondan oluşan "ağır hidrojen" yani döteryum bulunur. Hidrojenin izotoplarından biri olan ağır hidrojenin kimyasal özellikleri hidrojeninkine benzerdir, o da aynı şekilde oksijenle tepkimeye girerek su oluşturur. Kararlı bir element olduğundan bozunmaz.

Araştırmacılar son yıllarda gönderilen uzay araçlarıyla Tempel 1 ve Wild 2 kuyrukluysıldızlarını ve Halley, Hyakutake ve Hale-Bopp gibi, yakınımıza gelen parlak kuyrukluysıldızların kuyruklarındaki suyu uzaktan inceledi. Sonuç şaşırtıcıydı. Kuyrukluysıldızlardaki suyun hidrojen/döteryum oranı okyanuslardakinin yarısı kadardı. Henüz kesin bir şey söylemek için erken, ama bu durum kuyrukluysıldızların gezegenimizdeki suyun başlıca kaynağı olduğu tezini çürütebilir.



Uzakta Ararken...

Suyun başlıca kaynağının kuyruklu yıldızlar olmayabileceğinin ortaya çıkmasının ardından gözler asteroitlere yöneldi. Kar hattının sınırında dolaşan bu cisimlerin susuz doğduğu tahmin ediliyordu. Ancak 1990'lardan bu yana yapılan gözlemler bunun tam olarak doğru olmayabileceğini gösterdi. Asteroit kaynaklı olduğu düşünülen meteoritlerden (yere düşmüş göktaşları) bazılarının yapısındaki minerallerde, bir hidrojen ve bir oksijen atomundan oluşan hidroksile (OH iyonu) rastlanmıştır. Bunun üzerine asteroitlerin başlangıçta su içerdiği, ancak zamanla bunu kayb ettikleri, su tümüyle süblimleşmeden önce de çeşitli minerallerle tepkimeye girerek hidroksilli mineralleri oluşturduğu varsayıldı.

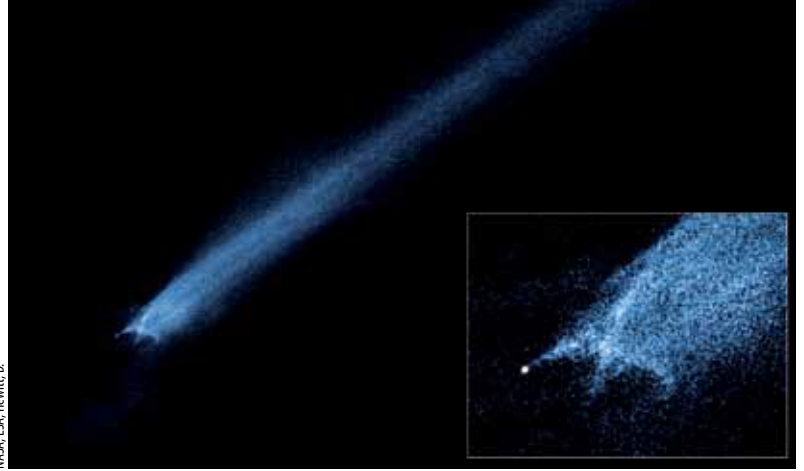
Asteroitlerin büyük bölümü, Mars ile Jüpiter arasındaki Asteroit Kuşağında bulunuyor. Bu kuşağın büyük bölümü kar hattının içinde kalıyor. Bazı gökbilimciler asteroitlerde su bulunabileceğini savunmuş olsa da genel kanı suyun milyarlarca yıl süresince burada kalmış olamayacağı yönündeydi.

Aslında 1990'lardan bu yana gökbilimciler asteroit kuşağında çok sayıda kuyruklu yıldız benzeri cisim keşfetti. Bunların yörüngeleri incelendiğinde oradan geçmekte olan kuyruklu yıldız olmadıkları, gerçekten de kuşakta dolandıkları görüldü. Hatta bu cisimlere "ana kuşak kuyruklu yıldızları" adı (bu ad "Asteroit Ana Kuşağı"ndan geliyor) verildi. Bu cisimlerden biri olan P/2010 A2 geçtiğimiz yılın başlarında keşfedildi ve 2010 Ekim'inde Hubble Uzay Teleskobu'yla yapılan gözlemler sonucunda iki asteroitin çarpışmasının ürünü olduğu açıklandı. Yaklaşık bir yıl önce meydana gelmiş olan bu çarpışma sonrasında saçılan toz, Güneş rüzgârının etkisiyle tıpkı bir kuyruklu yıldızda olduğu gibi kuyruk oluşturmuştu. Ne var ki geçen Ekim'den bu yana yapılan birçok araştırmada bu kuyruğun bileşiminde su izine rastlanmadı. Daha önce keşfedilmiş olan "kuyruklu asteroitlerin" de su içerip içermediği bilinmiyor.

Bu olumsuzluklara karşın, 2010'un başlarında asteroitlerin suyun kaynağı olabileceğini gösteren bir keşif yapıldı. NASA'nın Hawaii'deki 3 metre çaplı kızılötesi teleskobuyla gözlem yapan araştırmacılar 24 Themis adlı asteroitin yüzeyinde organik moleküllerle birlikte su buldu. Gözlemler, 200 km uzunlukta bu asteroitin ince bir su katmanıyla kaplı olduğunu gösterdi. Asteroit kuşağının ortalarında bulunan 24 Themis, yüzeyinde ince bir su katmanını tutamayacak kadar sıcak olduğundan, araştırmacılar suyun iç katmanlarda bolca bulunduğunu düşünüyor. Büyük olasılıkla asteroitin Güneşe bakan yüzü

ısındıkça su buharlaşıyor, sonra o yüz Güneş'ten öte yöne dönünce su kırağı gibi yüzeye yağıyor. Bu olayın yaklaşık 4,6 milyar yıldır sürdüğü düşünülürse, asteroit oluştuğunda iç katmanlarında bolca su buzu vardı demektir. Araştırmacılar özellikle asteroit kuşağının Güneşe uzak olan dış kısımlarında, su içeren başka asteroitler de bulunabileceğini düşünüyor.

1990'lardan bu yana asteroit kuşağında çok sayıda kuyruklu yıldız benzeri cisim keşfedildi. Bu cisimlerden biri olan P/2010 A2, yaklaşık bir yıl önce meydana gelmiş olan bir çarpışmanın ürünü. 2010 Ekim'inden bu yana yapılan birçok araştırmada bu kuyruğun bileşiminde su izine rastlanmadı.



NASA, ESA, Hewitt, D.

Kuyruklu yıldızlardaki suyla gezegenimizdeki suyun izotop oranlarının birbirini tutmadığından bahsetmiştik. Henüz 24 Themis'in izotop oranı ölçülmüş değil. 24 Themis'in bir kuyruğu olmadığından, ayrıca bize çok uzakta ve sönük olduğundan bu ölçümleri yapmak pek mümkün görünmüyor. Bunun için en iyi yöntem asteroite bir uzay aracı göndererek inceleme yapmak. Henüz 24 Themis için böyle bir plan yok. Ancak NASA'nın 2007'de fırlattığı uzay aracı Dawn önümüzdeki Temmuz'da Vesta'ya ulaşacak. Bir yıl boyunca Vesta'nın yörüngesinde kalıp çeşitli ölçümler yapacak ve asteroit kuşağının en büyük üyesi olan ve 2006'da Plüton gibi cüce gezegen ilan edilen Ceres'e yönelecek. Bu görev ve daha ileride gerçekleştirilecek benzeri görevler sonucunda asteroitleri daha iyi tanıyacağız.

Kuyruklu yıldızların yeryüzündeki suyun başlıca kaynağı olmadığı anlaşıldığı ve asteroitlerin en güçlü aday olarak öne çıkması nedeniyle yakın gelecekte bu gökcisimlerine yönelik araştırmaların hız kazanacağı ortada. Büyük olasılıkla yakın gelecekte gezegenimizin başlıca su kaynağını öğreneceğiz.

Kaynaklar

Bethell, T., Bergin, E., "Formation and Survival of Water Vapor in the Terrestrial Planet Forming Region", *Science*, 18 Aralık 2009
Falkowsky, P.G., Isozaki, Y., "The Story of O2", *Science*, 24 Ekim 2008
Grifantini, K., "Where Did Earth's Water Come From?", *Sky & Telescope*, Ocak 2011

Kotwicki, V., "Water in The Universe", *Hydrological Sciences Journal*, 36, 49-66, 1991
Leeuw, N.H., vd., "Where on Earth has our Water Come From?", *Chemical Communications*, Ekim 2010
Robert, F., "The Origin of Water on Earth", *Science*, 10 Ağustos 2001