

Evrenin Kayıp Gezegenleri

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Ötegezegenler üzerine yapılan araştırmalar, gezegen demografisi olarak adlandırılan yeni bir alanın doğmasına yol açtı. Bugüne kadar keşfedilen ötegezegenlerin özellikleri incelendiğinde iki ayrı popülasyon eksikliği dikkat çekiyor. Araştırmacılar, bu popülasyon eksikliklerini açıklamak için çeşitli hipotezler öne sürmeye başladı.



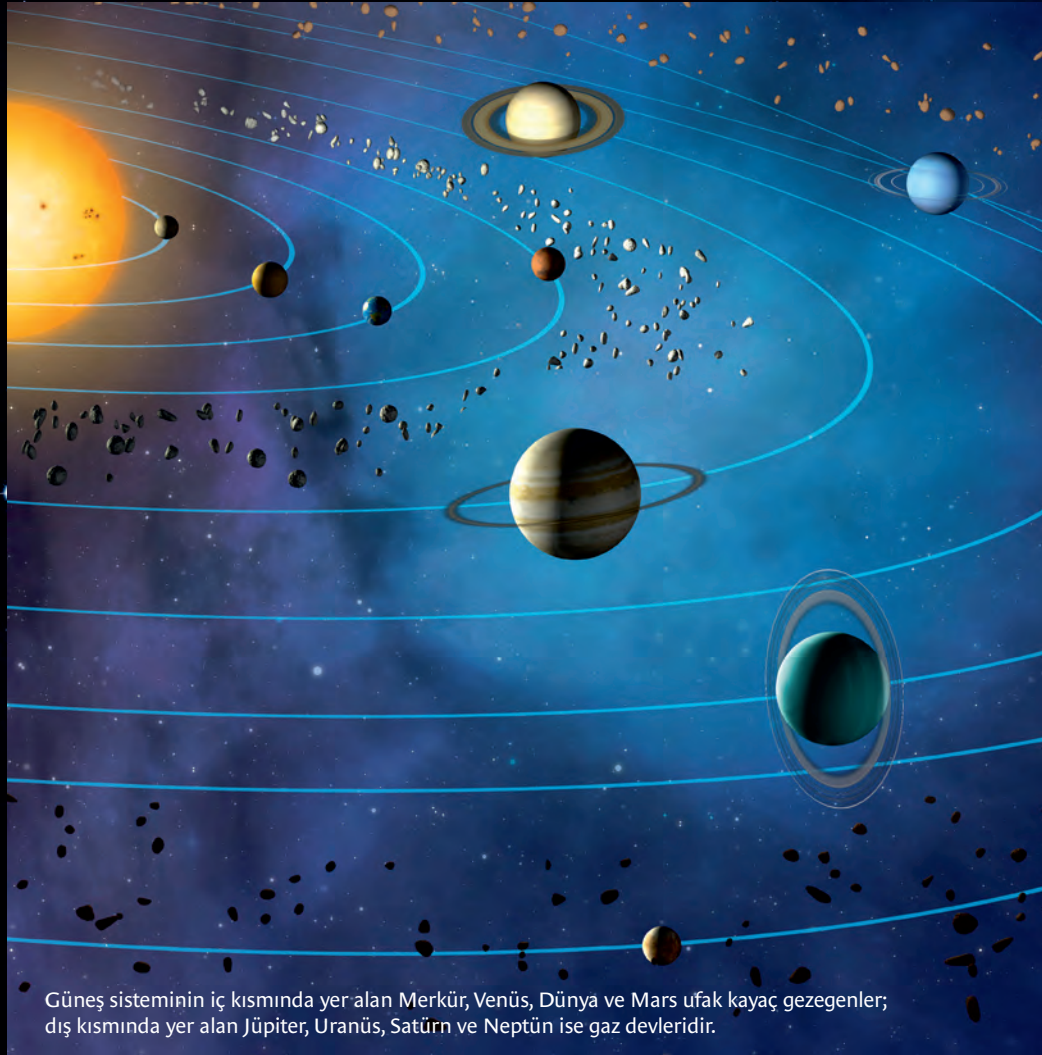
Güneş Sistemi Ne Kadar Sıradan?

Güneş sistemindeki gezegenlere baktığımızda belirgin bir düzen dikkat çeker. İç kısımda yer alan Merkür, Venüs, Dünya ve Mars; küçük, kayaç gezegenlerdir. Dış kısımda yer alan Jüpiter, Uranüs, Satürn ve Neptün ise büyüktür ve çok büyük oranda gazlardan oluşur. Bu düzenin bir açıklaması şudur: Güneş sistemi, büyük oranda hidrojen ve helyum gibi uçucu gazlardan oluşur. Demir, nikel, karbon, silisyum gibi elementlerin miktarı ise çok daha azdır. Sıcaklığın daha yüksek olduğu Güneş'e yakın bölgelerde hidrojen ve helyum gibi uçucu gazlar yüksek hızlarla hareket eder. Bu uçucu gazların bir araya gelerek gezegenlerin yapısına katılması zordur. Bu yüzden Güneş'e yakın bölgelerde ortaya çıkmış gezegenler büyük oranda demir, nikel gibi ağır elementlerden oluşur ve kayaç yapıdadır. Bu gezegenlerin görece küçük olmalarının nedeni, doğal olarak, yapılarında bulunan ağır metallerin Güneş sisteminde az bulunmasıdır. Sıcaklığın daha düşük olduğu Güneş'e uzak bölgelerdeyse hidrojen ve helyum daha düşük hızlarla hareket eder. Bu uçucu gazların bir araya gelerek gezegenlerin yapısına katılması daha kolaydır. Bu yüzden Güneş sisteminin dış bölgelerindeki gezegenler büyük oranda gazlardan oluşur. Bu gezegenlerin

Güneş sisteminin iç bölgesindeki gezegenlere kıyasla çok daha büyük olmalarının nedeni, doğal olarak, yapılarında bulunan hidrojen ve helyumun Güneş sisteminde bol bulunmasıdır.

Yaklaşık otuz sene öncesine kadar bilinen gezegenler, Güneş sistemindekilerle sınırlıydı. Her ne kadar Güneş sisteminin dışında başka gezegenlerin (ötegezegenler) bulunması beklenen bir durum olsa da keşfedilmiş bir ötegezegen henüz yoktu. O dönemler gök

bilimciler arasındaki yaygın kanı, eğer varsa başka gezegen sistemlerinin yapısının da Güneş sistemine benzeyeceğiydi: Yıldızın yakın bölgelerde dolanan ufak kayaç gezegenler ve yıldızın uzak bölgelerde dolanan gaz devleri. Ancak son otuz yılda keşfedilen binlerce ötegezegenin sonra bu kanı yavaş yavaş değişti. Hatta güncel veriler, Güneş sisteminin yapısının evrenin genelindeki gezegen sistemleriyle karşılaştırıldığında sıra dışı olduğunu gösteriyor. Örneğin



Güneş sisteminin iç kısmında yer alan Merkür, Venüs, Dünya ve Mars ufak kayaç gezegenler; dış kısmında yer alan Jüpiter, Uranüs, Satürn ve Neptün ise gaz devleridir.

bugüne kadar yapılan çalışmalar, süperdünyalar olarak sınıflandırılan gezegenlerin evrende bol olduğunu gösteriyor. Hatta araştırmalar, Güneş benzeri yıldızların yaklaşık yarısında, kütlesi Dünya'nunkinden büyük, Neptün'ünkünden küçük bu gezegenlerden en az bir tane bulunduğunu gösteriyor. Güneş sisteminde ise süperdünya türü bir gezegen bulunmuyor. Ayrıca pek çok gezegen sisteminde Güneş sisteminin

aksine yıldızına yakın yörüngelerde dolanan gaz devlerine de rastlanıyor. Ancak bugün ötegezegen keşfi için kullanılan yöntemlerin belirli türdeki gezegenleri keşfetmekte daha başarılı olmasının da bu sonuçlarda etkisinin olduğunu belirtelim.

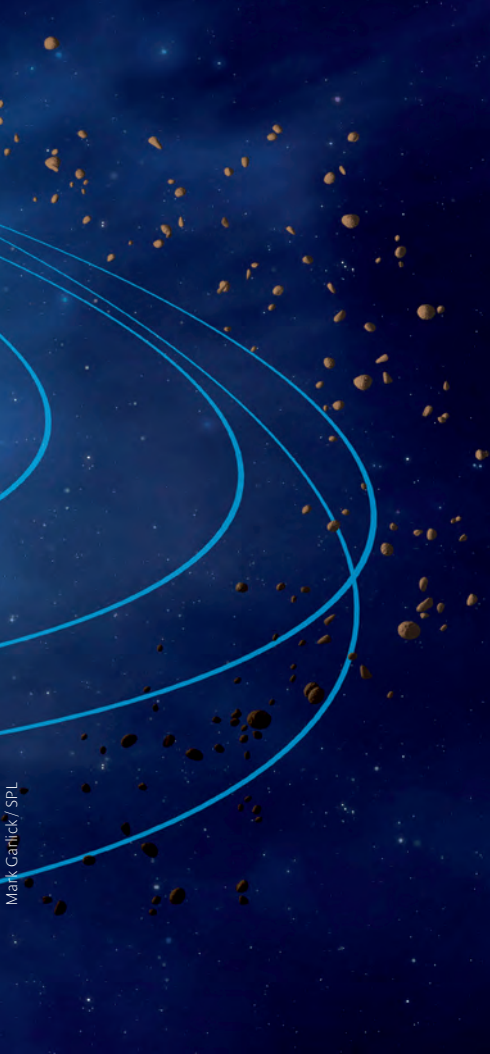
Ötegezegenlerin Keşfi

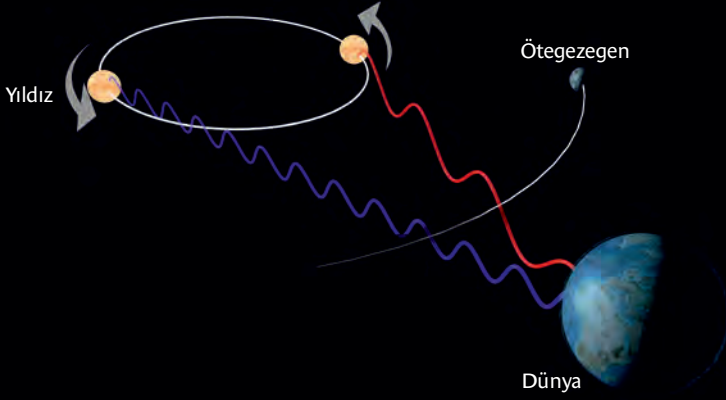
Güneş sisteminin dışındaki gezegenleri gözlemlemek zordur. Çünkü ötegezegenlerin yakınında her zaman kendisinden çok daha büyük ve çok daha parlak bir yıldız vardır. Bu durum, ötegezegenlerin optik teleskoplarla doğrudan görülmesini zorlaştırır. Günümüzde ötegezegenleri keşfetmek için kullanılan yöntemler, yıldızların gözlemlemesine dayanıyor.

Bir yıldız ve bu yıldızın etrafında dolanan bir gezegen olduğunu düşünelim. Gezegen, yıldızın kütle çekiminin etkisiyle hareket eder. Ancak hareket eden sadece gezegen değildir. Gezegenin kütle çekimi de yıldızın hareket etmesine yol açar. Böyle bir sistemde yıldız ve gezegen esasen sistemin kütle merkezinin etrafında dolanır. Ancak yıldızların kütlesi gezegenlere kıyasla çok büyük olduğu için genel olarak sistemin kütle merkezi, yıldızın kütle merkezine çok yakındır. Dolayısıyla yıldız gezegene kıyasla çok daha az hareket eder.

Böyle bir sistem Dünya'dan gözlemlendiğinde yıldızın uzayda "yalpaladığı" görülür. Yalpalama hareketi sırasında yıldızın Dünya'ya yaklaşmasına ya da uzaklaşmasına bağlı olarak yıldızdan Dünya'ya ulaşan ışığın rengi maviye ya da kırmızıya kayar (ışığın gözlemlenen frekansı artar ya da azalır). Bu kaymaları ölçerek yıldızın etrafında dolanan bir gezegenin varlığı hakkında çıkarım yapılabilir. Gezegenin kütlesi ne kadar büyükse ve yıldızına ne kadar yakın bir yörüngede dolanıyorsa yalpalama hareketi de o kadar büyüktür. Dolayısıyla "radyal hız ölçümü" olarak adlandırılan bu yöntem, özellikle yıldızına yakın yörüngelerde dolanan büyük kütleli gezegenlerin keşfinde yararlıdır.

İlk ötegezegen keşifleri 1992 yılında yapılmıştı. Güneş benzeri bir yıldızın etrafında dolanan ilk gezegen ise 1995'te tespit edildi. Radyal hız ölçümüyle tespit edilen ve 51 Pegasi b adı verilen gezegen, Güneş sistemindeki hiçbir gezegene benzemiyordu. Gezegen yıldızına o kadar yakın bir yörüngede dolanıyordu ki bir turunu sadece 4,2 günde tamamlıyordu. Yıldızına bu kadar yakın olmasının bir sonucu olarak gezegenin sıcaklığı 1.000 °C'nin üzerinde olmalıydı. Ölçümler gezegenin kütlesinin Jüpiter'inin yarısı kadar, hacmininse Jüpiter'inin iki katı kadar olduğunu gösterdi.





Bir gezegenin kütle çekimi etkisiyle hareket eden yıldızdan Dünya'ya ulaşan ışığın frekansı, yıldızın Dünya'ya yaklaştığı dönemlerde maviye (yüksek değerlere); Dünya'dan uzaklaştığı dönemlerde kırmızıya (düşük değerlere) kayar.

Gezegenin kütlesine kıyasla bu kadar şişkin olmasının nedeni aşırı yüksek sıcaklığıydı. Gök bilimciler Güneş sisteminde bir benzeri olmayan 51 Pegasi b benzeri gezegenleri bugün “sıcak Jüpiterler” adı altında sınıflandırıyor.

Güneş sisteminin yapısından esinlenerek öne sürülmüş, ufak kayaç gezegenlerin yıldızla daha yakın büyük gaz devlerininse yıldızla daha uzak yörüngelerde dolandığı modellerle sıcak Jüpiterlerin varlığı açıklanamaz. Eğer Jüpiter gibi gaz devleri yıldızla yakın yörüngelerde oluşabiliyorsa ya da yıldızla uzak bölgelerde oluşup zaman içinde yıldızına doğru göç edebiliyorsa bu durum, gezegen sistemlerinin oluşumu ve gelişimi ile ilgili teorilerin güncellenmesi ve geliştirilmesi gerektiğini gösteriyordu. İlerleyen yıllarda radyal hız ölçümü yöntemiyle yapılan çalışmalar, Güneş benzeri yıldızların yaklaşık %10'unda yıldızına birkaç AB mesafedeki

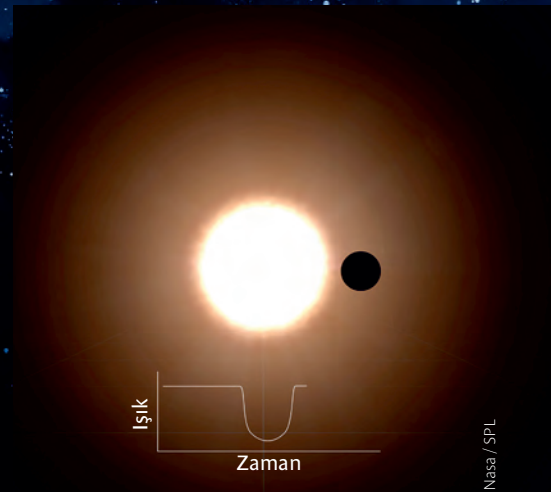
(AB: Astronomi Birimi, Dünya ile Güneş arasındaki ortalama mesafe, yaklaşık 150 milyon kilometre) yörüngelerde dolanan dev gezegenler olduğunu gösterecekti.

Ötegezegen araştırmaları açısından önemli bir dönüm noktası NASA'ya ait Kepler Uzay Teleskobu'nun 2009'da çalışmaya başlaması oldu. Ötegezegen keşfi için özel olarak tasarlanmış teleskop, dört yıl boyunca gök adamız Samanyolu'ndaki yüz binin üzerinde yıldızı gözlemledi. Toplanan verilerin analiziyle binlerce ötegezegen keşfedildi.

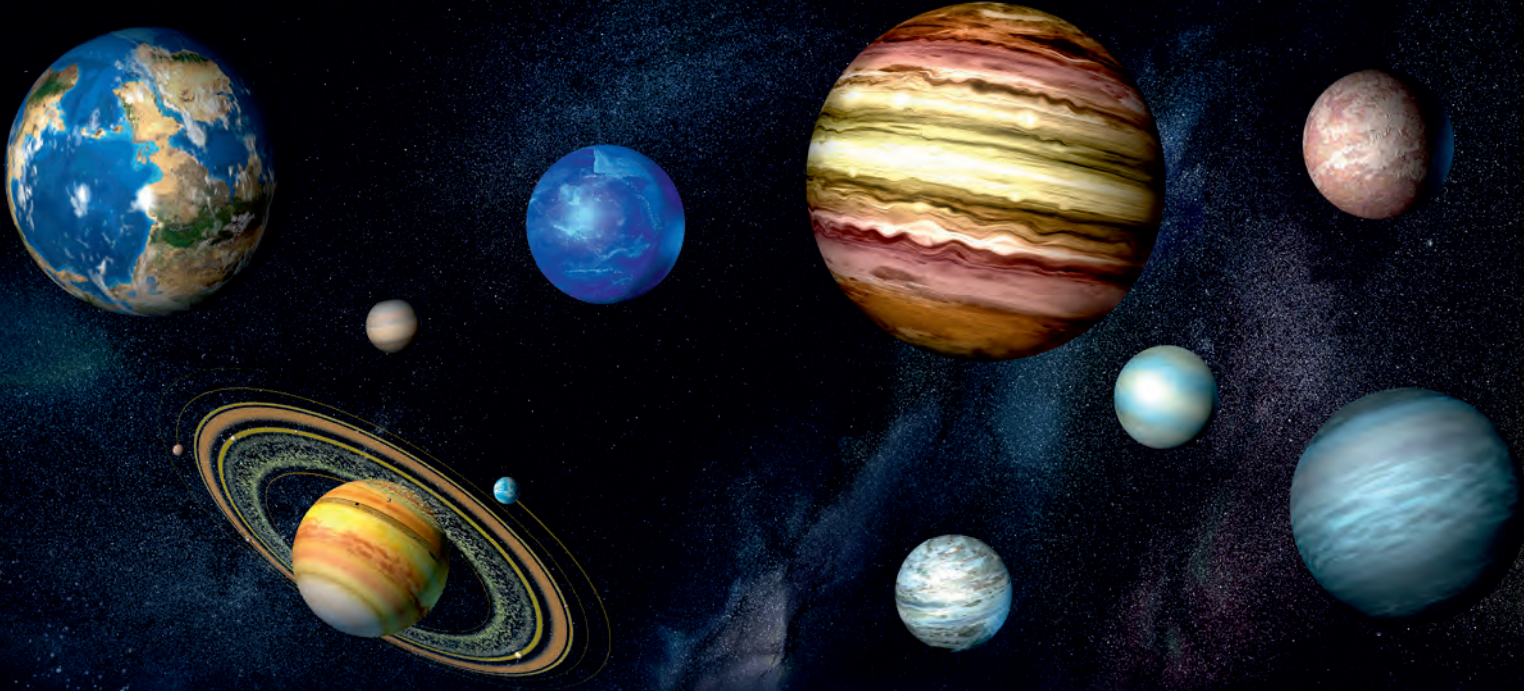
Kepler Uzay Teleskobu kullanılarak yapılan araştırmalarda ötegezegen keşfetmek için transit yöntemi kullanılıyordu. Bu yöntem, bir yıldızdan Dünya'ya ulaşan ışık miktarındaki değişimlerin ölçülmesi esasına dayanır. Bir yıldızın önünden geçen gezegen, yıldızdan Dünya'ya ulaşan ışığın periyodik aralıklarla azalmasına

yol açar. Bu tür periyodik azalmaları tespit ederek hem ötegezegenler keşfedilebilir hem de gezegenin ve yörüngesinin özellikleri hakkında bilgi edinilebilir. Gezegen ne kadar büyükse ve yıldızına ne kadar yakın bir yörüngede dolanıyorsa yıldızdan Dünya'ya ulaşan ışık miktarındaki değişim de o kadar fazla olacaktır ve gezegen, yıldızının önünden o kadar sık geçecektir. Dolayısıyla transit yöntemi de tıpkı radyal hız yöntemi gibi yıldızına yakın yörüngelerde dolanan büyük gezegenleri keşfetmekte daha etkindir.

Kepler verilerinin ortaya çıkardığı bir diğer ilginç bilgi, süperdünya türü gezegenlerin gök adamızda bol olduğunun tespit edilmesi oldu. Analizler, Güneş benzeri yıldızların yaklaşık yarısında en az bir tane süperdünya türü gezegen



Yıldızının önünden geçen bir ötegezegen, yıldızdan Dünya'ya ulaşan ışığın azalmasına yol açar. Bir yıldızdan Dünya'ya ulaşan ışığın periyodik olarak azalması, yıldızın etrafında dolanan bir gezegenin varlığına işaret eder.



olduğunu gösteriyordu. Bu tür gezegenlerin Güneş sisteminde yer almaması da yine Güneş sisteminin Samanyolu'ndaki gezegen sistemleri açısından bir şablon olarak görülemeyeceğini gösteriyordu.

Gezegen Demografisi

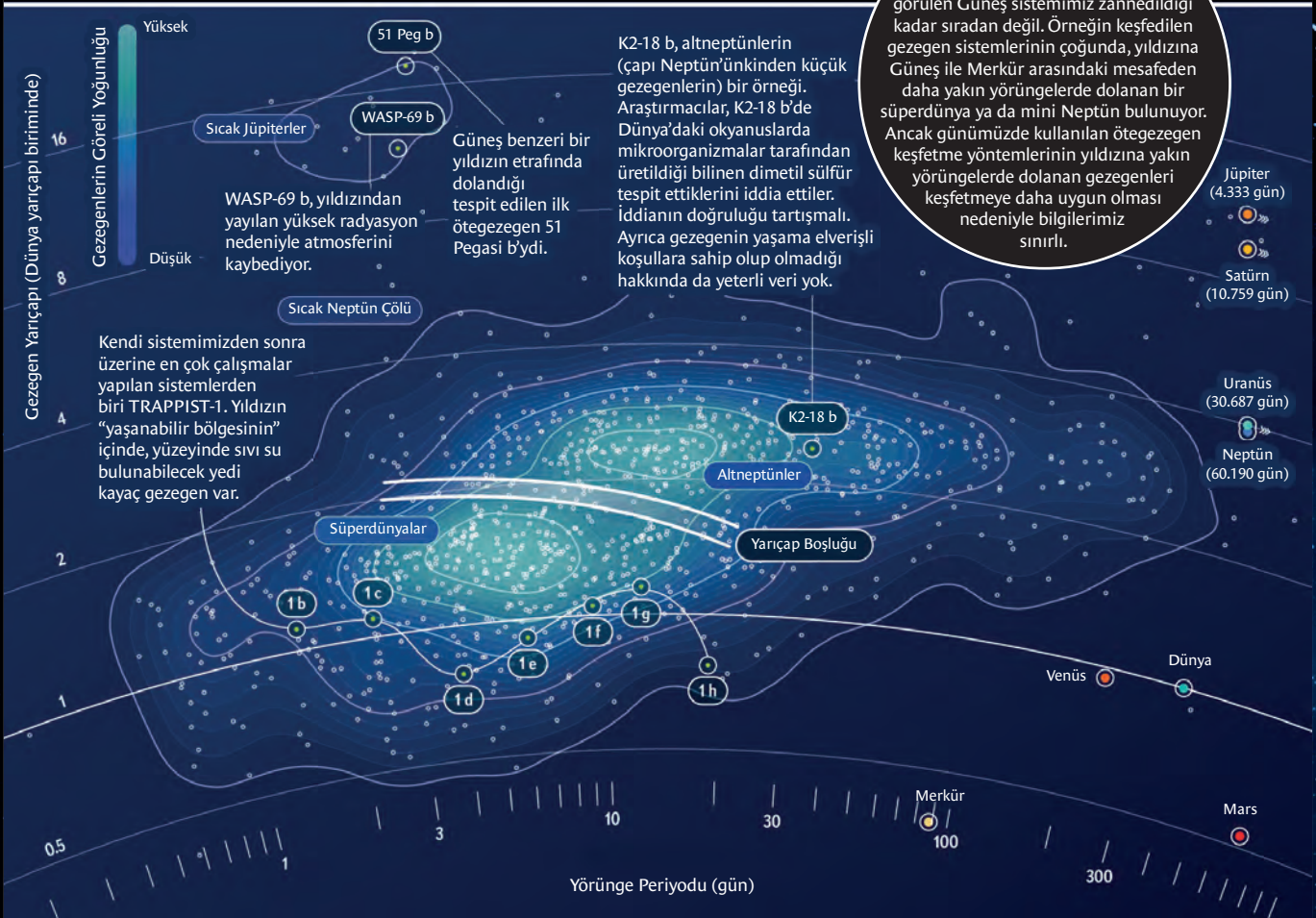
Geçtiğimiz otuz yılda radyal hız ve transit yöntemleri kullanılarak binlerce ötegezegenin keşfedilmesiyle gezegen demografisi olarak adlandırılan yeni bir alan doğdu. Gök bilimciler, keşfedilen gezegenlerin büyüklüklerini, yörüngelerini ve bileşimlerini inceleyerek gezegen sistemlerinin oluşum ve gelişim süreçlerini daha iyi anlamaya çalışıyor. Bugüne kadar keşfedilen gezegenlerin

demografisi incelendiğinde iki tür popülasyonun eksikliği dikkat çekiyor. Birincisi, verilerde bir “yarıçap boşluğu” var: Bugüne kadar keşfedilen gezegenler arasında yarıçapı Dünya’nunkinin 1,6 ila 1,9 katı olan gezegenlerin yoğunluğu çok düşük. İkincisi, verilerde bir “sıcak Neptün çölü” dikkat çekiyor: Periyodu üç günden kısa olan yörüngelerde Neptün büyüklüğündeki gezegenlere rastlanmıyor. Bu iki popülasyon eksikliğinin her ikisi de büyük olasılıkla gezegenlerin zamanla atmosferlerini kaybetmesine yol açan fiziksel süreçlerin sonucu.

Yarıçap boşluğu ile ilgili dikkat çekici bir nokta, yarıçapı boşluğun altında ve üstünde olan gezegenlerin farklı bileşimlere sahip olması. Yarıçap boşluğunun altındaki gezegenler, Dünya gibi

kayaç, yüksek yoğunluklu; üstündeki gezegenlerse “mini Neptün” türü olarak sınıflandırılan kayaç bir çekirdeğin yoğun bir hidrojen ve helyum gazı katmanıyla çevrelendiği gezegenler. Bu durum akla şöyle sorular getiriyor: Acaba tüm küçük gezegenler büyük bir atmosferle doğuyor ve bazıları atmosferlerinin bir kısmını sonradan mı kaybediyor yoksa gezegenler en başından farklı bileşimlerle mi doğuyor? Bilimsel çalışmalar, doğru cevabın büyük olasılıkla birincisi olduğuna işaret ediyor. Yakın zamanlarda aktif olarak atmosfer kaybetme sürecinde olan gezegenlerle ilgili gözlemler, gaz kaybının önemli bir rol oynadığını gösterdi.

Ötegezegen Demografisi: Gök bilimciler bugüne kadar 5.000'den fazla ötegezegen keşfetti. Gezegenlerin demografisinde açıklaması zor, büyük örüntüler var. Örneğin yarıçapı Dünya'ninkinden biraz büyük, Neptün'ünkünden biraz küçük gezegenlere pek rastlanmıyor. Bu gizemli eksiklik yarıçap boşluğu olarak adlandırılıyor. Ayrıca neredeyse hiç sıcak Neptün (yıldızına yakın yörüngelerde dolanan, Neptün büyüklüğünde gezegenler) yok. Bilim insanları, gezegenlerin oluşumundan sonra atmosferlerini kaybetmelerine yol açan süreçlerin -örneğin yıldızlardan yayılan yüksek radyasyonun- bu boşlukları açıklayabileceğini düşünüyor. Aşağıda, bilinen ötegezegenlerin yaklaşık 1.000 tanesinden oluşan bir katalog gösteriliyor.



Atmosfer Kaybetme Mekanizmaları

Gezegenlerin oluşumu sırasında etraflarında büyük bir atmosfer oluşmasını engelleyebilecek ya da bir gezegenin var olan atmosferini zamanla kaybetmesine sebep olabilecek çeşitli mekanizmalar öne sürülüyor. Bu mekanizmaların özellikle ikisi ön

plana çıkıyor: fotobuharlaşma ve çekirdekten güç alan kütle kaybı. Bu mekanizmalar hem yarıçap boşluğunu hem de sıcak Neptün çölünü açıklayabilir.

Fotobuharlaşma mekanizmasındaki temel etken gezegenin etrafında dolandığı yıldızdan yayılan radyasyondur. Genç yıldızlar, füzyon reaksiyonları ile enerji üretmeye başladıklarında yüksek miktarda morötesi ışık, X-ışınları

vé elektrik yüklü parçacık yayar. Bu yüksek radyasyon bir gezegenin atmosferindeki gazların kendilerini gezegene bağlayan kütle çekimini yenmelerine yetecek kadar enerji kazanmasını sağlayabilir. Örneğin birbirine benzeyen iki ayrı yıldızın etrafında benzer yörüngelerde dolanan iki ayrı gezegen olduğunu düşünelim. Birinci gezegenin kütlesi biraz daha düşük, ikinci gezegenin kütlesi biraz daha büyük olsun. Küçük kütleli gezegen, çekimi zayıf



olduğu için yıldızından yayılan yüksek radyasyon karşısında atmosferini korumayı başaramaz. Gezegeni çevreleyen atmosfer zamanla inceldikçe geriye küçük yarıçaplı kayaç bir gezegen kalır. Büyük kütleli gezegen ise çekimi güçlü olduğu için atmosferini korumayı başarır. Hafif, şişkin bir atmosferle çevrili görece büyük yarıçaplı bir gezegen olarak kalır.

Fotobuharlaşma mekanizmasının atmosfer kaybına getirdiği açıklama çeşitli gözlemsel verilerle de uyumlu. Örneğin fotobuharlaşma, yıldızın yakın bölgelerde daha fazla, uzak bölgelerde ise daha az olmalıdır. Dolayısıyla yarıçap boşluğunun üst sınırının yıldızdan uzaklaştıkça daha düşük değerlere doğru kayması beklenir. Gözlemler de bu tahmini doğrular. Sıcak Neptün çölünün varlığının nedeni ise dolanma

periyodunun sadece birkaç gün olduğu yıldızın yakın yörüngelerde fotobuharlaşmanın daha etkin olmasıdır. Bu sıcak yörüngelerde ancak kayaç çekirdeklere sahip gezegenler ya da Jüpiter gibi çok büyük kütleli gezegenler sağ kalabilir. Kütleli Neptün'ünki kadar olan ve uçucu gazlardan oluşan gezegenler ise bu sıcak yörüngelerde var olamaz.

Çekirdekten güç alan kütle kaybı mekanizmasındaki ana

etken ise gezegenin kendisinden yayılan ısıdır. Gezegen oluşumu sırasında kütleli içe doğru çökmesi ısı açığa çıkarır. Bu ısı, gezegeni çevreleyen gazların genişleyerek yükselmesini sağlar ve gezegenin çekiminden kurtulmalarını kolaylaştırır. Düşük kütleli gezegenler için bu mekanizma daha etkindir. Büyük kütleli gezegenler ise güçlü kütle çekimleri sayesinde bu mekanizma yoluyla kayda değer bir atmosfer kaybı yaşamaz.

Bu iki ana mekanizmadan hangisinin daha baskın olduğu konusunda gök bilimciler arasında bir uzlaşma yok. Muhtemelen gezegenden gezegene değişen koşullara bağlı olarak farklı mekanizmalardan biri ya da diğeri daha etkin oluyor.

Gezegenlerin nasıl atmosfer kaybettiğiyle ilgili, fotobuharlaşma ve çekirdekten güç alan kütle kaybı dışında da çeşitli mekanizmalar öne sürülüyor. Örneğin oluşum aşamasındaki genç gezegenler



arasında yaşanacak çarpışmalar, atmosfer kaybına yol açabilir. Hızlı buharlaşma teorisi olarak adlandırılan bir hipotez ise, bir gezegenin oluşumunun tamamlanmasından kısa süre sonra gezegenin içinde doğduğu, yıldızın etrafında dolanan madde birikintilerinin dağılmasıyla gezegenin etrafındaki basıncın hızla düştüğünü ve bu durumun atmosferdeki gazların uzaya kaçmasıyla sonuçlandığını öne sürüyor. Son olarak bir gezegenin atmosferinin az olmasının nedeni, oluştuğu ortamdaki gaz miktarının az olması da olabilir.

Gözlemler

Atmosfer kaybı, gezegenlerin oluşumlarının daha çok ilk aşamalarında meydana geldiği için ufak gezegenleri gözlemleyerek belirgin bir atmosfer kaybı tespit etmek kolay

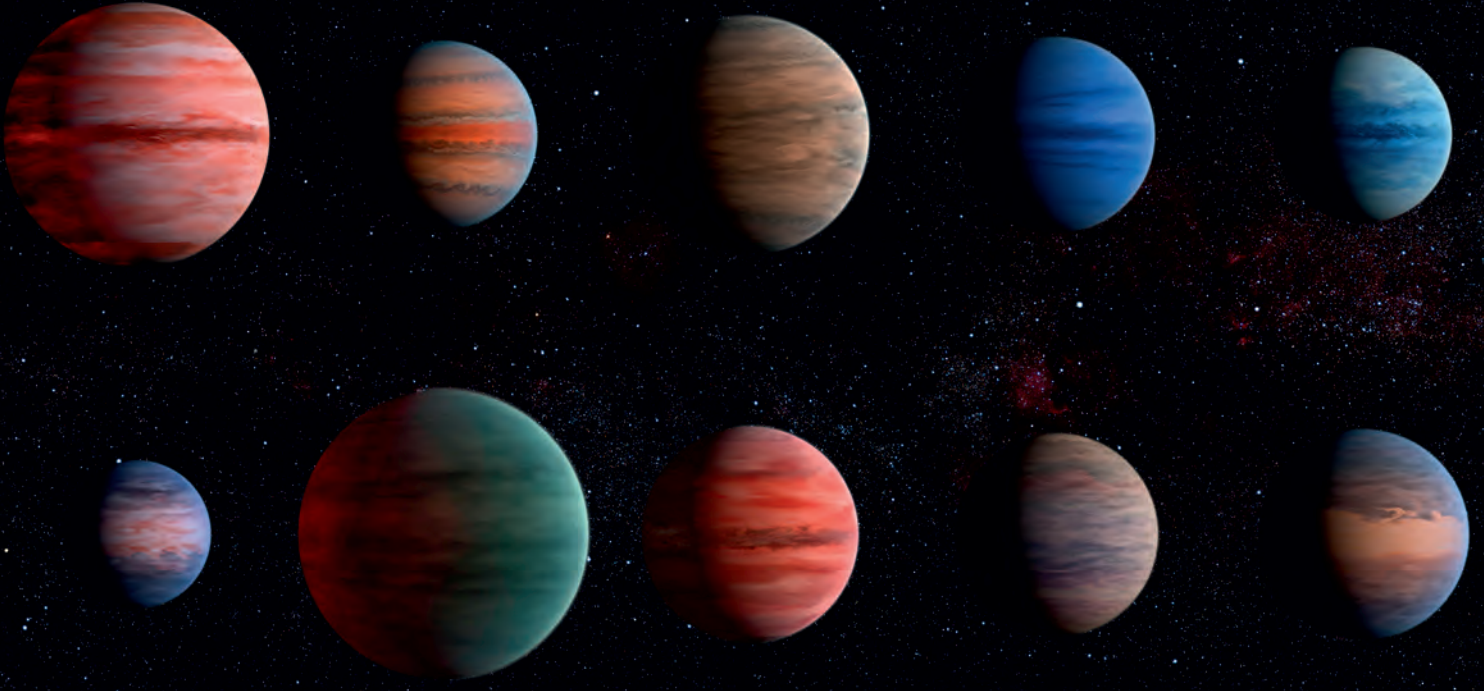
değil. Atmosfer kaybını gözlemek için en öne çıkan alternatif, sıcak Jüpiterler. Yıldızına çok yakın yörüngelerde dolanan bu gaz devlerinden uzaya yayılan gazları gerçek zamanlı olarak gözlemek görece daha kolay. Etrafında sıcak Jüpiter türü bir gezegen dolanan bir yıldızdan transit öncesinde, sırasında ve sonrasında Dünya'ya ulaşan ışıktaki hidrojen ve helyum spektrumunu analiz ederek süregiden atmosfer kaybı hakkında veri toplanabilir.

Geçtiğimiz yıllarda atmosfer kaybı yaşayan sıcak Jüpiterler gözlemlendi. Örneğin çeşitli araştırma grupları, WASP-69 b gezegeninin aktif olarak atmosfer kaybettiğini tespit etti. Yarıçapı Jüpiter'inki kadar; kütlesi Satürn'ünki kadar olan bu gezegen, yıldızının etrafında bir turunu yaklaşık 3,8 günde

tamamlıyor. Geçtiğimiz yıl yayımlanan bir araştırmaya göre WASP-96 b her saniye 200.000 ton kütle kaybediyor. Başka bir deyişle bu değer, WASP-96 b'nin kütlesinin bir milyar yıl içinde yaklaşık olarak Dünya'nınki kadar azalacağı anlamına geliyor. Gözlemler, gezegenden uzaya kaçan gazın şeklinde zamana bağlı değişimler de olduğunu gösteriyor. Bazen gezegenden yayılan gaz bulutun uzunluğu 500.000 kilometrenin üzerine çıkıyor ve kuyruklu yıldızların kuyruğuna benzer bir şekil alıyor. Bazen ise gaz akışı çok daha az belirgin oluyor. Araştırmacılar bu değişimleri, yıldızın etkinliğindeki değişimlere bağlıyor.

Gelecek yıllarda da gezegen demografisi üzerine araştırmaların hız kazanması bekleniyor. Özellikle gezegenlerin kütlelerinin, bileşimlerinin ve atmosferlerinin daha iyi belirlenmesini sağlayacak yeni nesil teleskopların çalışmaya başlamasıyla gezegen sistemlerinin oluşumunun ve gelişiminin daha iyi anlaşılacağı düşünülüyor. Örneğin bu araştırmalar sonucunda yıldızın türüne bağlı olarak etrafındaki gezegenlerin türünün, yapısının ve bileşiminin nasıl değiştiği hakkında önemli bilgiler edinilebilir. Bu çalışmalar, sadece gezegen demografisi ile sınırlı kalmayacak, uzayda yaşam konusunda da fikir verecektir.

Bir gezegenin atmosferinin içinden geçerek Dünya'ya ulaşan yıldız ışığı, gezegenin atmosferi hakkında bilgi verir.



Atmosfer kaybının gözlemlenmesine en uygun gezegen türleri sıcak Jüpiterler

Özet

Ötegezegenler keşfedilmeye başlanmadan önce eğer varsa başka yıldızların etrafındaki gezegen sistemlerinin içinde bulunduğumuz sisteme benzeyeceği düşünülürdü. Ancak bilimsel çalışmalar, Güneş sisteminin gezegen sistemleri açısından bir şablon olarak görülemeyeceğini gösteriyor. Geçtiğimiz yıllarda binlerce ötegezegen keşfedilmesinden sonra gezegen demografisi olarak adlandırılan yeni bir alan doğdu. Gök bilimciler, keşfedilen ötegezegenlerin ve bu gezegenlerin etrafında dolandığı yıldızların

türünü, yapısını ve bileşimini inceleyerek gezegen sistemlerinin yaşam döngüsünü daha iyi anlamaya çalışıyor.

Gezegenlerin demografisiyle ilgili dikkat çekici noktalar var. Yarıçapı Dünya'ninkinin 1,6 ila 1,9 katı olan gezegenlere pek rastlanmıyor. Ayrıca periyodu birkaç gün ölçeğinde olan yörüngelerde Neptün benzeri gezegenler yer almıyor. Bilimsel çalışmalar, bu yarıçap boşluğunun ve sıcak Neptün çölünün, gezegenlerin atmosfer kaybıyla ilişkili olduğuna işaret ediyor. Belirli bir yörünge yarıçapı için bir gezegenin atmosferini koruyabileceği bir

minimum kütle var. Yarıçap boşluğu, atmosferini koruyabilecek kadar büyük kütleli gezegenler ile atmosferini koruyamayacak kadar küçük kütleli gezegenleri birbirinden ayırıyor. Sıcak Neptün çölü ise bir gezegenin yıldızına çok yakın yörüngelerde atmosferini korumasının ne kadar zor olduğunu gösteriyor. Yıldızdan yayılan radyasyonun aşırı derecede yüksek olduğu, birkaç günlük periyoda sahip yörüngelerde ancak kütlesi Jüpiter'inki kadar büyük gezegenler atmosferini korumayı başarabiliyor. Neptün benzeri, daha düşük kütleli gaz devleri ise bu yörüngelerde var olamıyor. ■

Kaynak

Tyler, Dakotah, "Where are the Universe's Missing Planets?", *Scientific American*, <https://www.scientificamerican.com/article/exoplanet-census-identifies-missing-planets-gap/>, 2025.