

# Ötegezeg



# enler

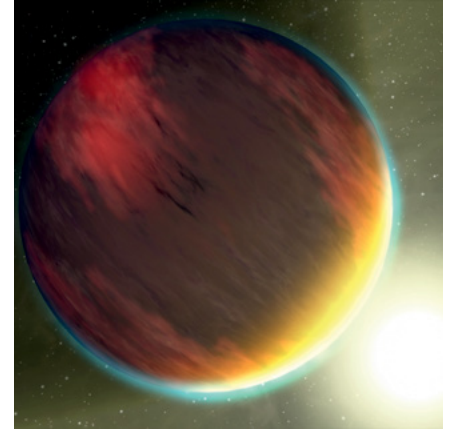
Güneş Sistemi'nin dışındaki gezegenler ötegezegenler olarak adlandırılır. Gözlemlenmeleri için gelişmiş teknikler kullanılması gereken bu gezegenler hakkında elde edilen veriler, gezegenlerin oluşumu ve evrimi hakkında önemli bilgiler veriyor.

## Ötegezegenlerin Sınıflandırılması

Keşfedilen ötegezegenler sınıflandırılırken öncelikli olarak kütlelerine bakılır. Kütleleri Dünya'nın kütlelerinin 10 katına kadar olan gezegenler dünyalar, kütleleri Dünya'nın kütlelerinin 10 katı ile 50 katı arasında olan gezegenler neptünler (Neptün'ün kütleleri Dünya'nın kütlelerinin yaklaşık 17 katıdır), kütleleri Dünya'nın kütlelerinin 50 katı ile 4000 katı arasında olan gezegenler ise jüpiterler (Jüpiter'in kütleleri Dünya'nın kütlelerinin yaklaşık 318 katıdır) olarak adlandırılır.

İnsanları ötegezegenlerin keşfedilmesine yönlendiren temel güdü evrenin başka yerlerinde de canlı yaşamın olup olmadığına dair duyulan merak olduğu için, ötegezegenler sınıflandırılırken bir gezegenin yıldızının yörüngesinin yaşama elverişli bölgesinde olup olmadığına da atıf yapılır. Yaşama elverişli bölge, genel olarak "bir yıldızın etrafında dolanan bir gezegenin yüzeyinde sıvı suyun var olabileceği bölge" olarak tanımlanır. >>>





Sıcak Jüpiter

leri yıldızlarının yaşama elverişli bölgesinde ya da o bölgenin dışında olabilir. Bu gezegenlerin modern gözlem yöntemleri ile mini-neptünlerden ayırt edilmesi zordur.

**Dünya-kütleli Gezegenler:** Adlarından da anlaşılacağı gibi kütleleri Dünya'nın kütlesi civarındadır. Yörüngeleri yıldızlarının yaşama elverişli bölgesinde ya da o bölgenin dışında olabilir.

**Ötedünyalar:** İkiz dünyalar ya da Dünya benzeri gezegenler olarak da adlandırılırlar. Kütleleri Dünya kütlesi ile Dünya kütlesinin 10 katı arasında değişir. Yıldızlarının yaşama elverişli bölgesindedirler. Bugüne kadar gözlemlenmiş bir ötedünya yoktur. Fakat yakın zamanda bir ötedünya keşfedileceği düşünülüyor.

**Pulsar Gezegenler:** Bir pulsarın (elektromanyetik ışına yapan ve çok hızlı dönen nötron yıldızının) etrafında yörüngede bulunan gezegenlerdir. Bilinen sadece birkaç örneği vardır. Keşfedilen ilk ötegezegen dönme periyodu birkaç milisaniye olan bir pulsarın etrafında dolanıyordu.

**Basıboş Gezegenler:** Bir yıldızın etrafında yörüngede olmayan gezegenlerdir. Bir yıldız sisteminden kopmuş ya da yıldızlar arası uzaydaki gaz ve toz bulutlarından kütleçekimi etkisiyle oluşmuş olabilirler. Bir yıldızdan uzak oldukları için sıcaklıkları çok düşüktür. Kütleleri en fazla Jüpiter'in kütlesinin 13 katı kadar olabilir. Daha büyük kütleli olanları kahverengi cüce olarak adlandırılır.



Kepler 20f adı verilmiş bir ötegezegen

Kahverengi cüce

**Sıcak Jüpiterler:** Kütleleri Dünya'nın kütlesinin 50 katından fazla olan bu gaz devleri (kayalardan ya da diğer katı maddelerden oluşmayan gezegen) özellikleri bakımından Jüpiter'e benzer. Fakat yıldızlarına çok yakın yörüngelerde hareket ettikleri için yaşamın oluşamayacağı kadar sıcaktırlar. Bugüne kadar keşfedilen ötegezegenlerin %40'ından fazlası bu sınıfa girer. 1995 yılında keşfedilen *Pegasi b* isimli gezegen, Güneş benzeri bir yıldızın etrafında gözlemlenen ilk ötegezegendir.

**Şişkin Gezegenler:** Sıcak jüpiterlere benzerler. Fakat yoğunlukları daha düşüktür ve dolayısıyla hacimleri daha büyüktür. Bu gezegenlerin çoğunun kütlesi Jüpiter'in kütlesinin 2 katından azdır. Çünkü kütlesi daha fazla olan gezegenler kütleçekimi etkisinde Jüpiter kadar küçülür.

**Sıcak Neptünler:** Kütleleri Dünya'nın kütlesinin 10 katı ile 50 katı arasında değişir. Yıldızlarına çok yakın yörüngelerde dolandıkları için sıcaklıkları yüksektir ve yaşama elverişli bölgenin dışındadırlar. Son zamanlarda yapılan gözlemler, sıcak neptünlerin sayısının tahmin edilenden çok daha fazla olduğunu gösterdi.

**Mini-Neptünler:** Gaz cüceleri olarak da bilinen bu gezegenlerin kütlesi Dünya'nın kütlesinin 10 katına kadar çıkabilir. Hidrojenden ve helyumdan oluşan atmosferleri Neptün'ün atmosferine benzediği için bu isimle adlandırılırlar. Düşük yoğunluklu, uçucu maddelerden oluşan bir çekirdekleri vardır.

**Süper-Dünyalar:** Kütleleri Dünya'nın kütlesinin 2 katı ile 10 katı arasında olan gezegenlerdir. Süper terimi sadece kütle farkını ifade etmek için kullanılır. Yörünge-



**İkiyıldızlı Gezegenler:** Bir değil iki güneşi olan, aynı anda iki farklı yıldızın etrafında dolanan gezegenlerdir. Yörüngelerinin, yıldızların sistemin kütle merkezi etrafındaki yörüngelerinden daha dışarıda olması gerekir.

**Su Dünyaları:** Yüzeyleri sularla kaplı süper-dünyalardır. Gezegenin yıldızına olan uzaklığına göre su katı, sıvı ya da gaz halinde olabilir.

**Öteaylar:** Ötegezegenlerin uydularıdır. Etrafında dolandıkları gezegen, yıldızının yaşama elverişli bölgesinden uzak olsa bile, bazı öteaylar gelgitin sebep olduğu ısınma sebebiyle yaşamın oluşmasına elverişli koşullara sahip olabilir. Bugüne kadar keşfedilmiş herhangi bir öteay yoktur.

**Ayrıksı Gezegenler:** Yörüngelerinin şekli yayvan elips olan gezegenlerdir. Yıldızına en yakın olduğu mesafe ve en uzak olduğu mesafe arasında büyük fark olduğu için dönüşü sırasında sıcaklığında büyük değişiklikler olur.

**Çekirdek Gezegenler:** Yıldızlarına çok yakın yörüngelerde bulunan sıcak jüpiterlerin atmosferlerindeki gazların buharlaşmasından geriye kalan kaya çekirdekli gezegenlerdir. *HD 209458 b* adı verilen bir gezegen şu anda buharlaşma sürecindedir.

**Kahverengi Cüceler:** Kütleleri Jüpiter'in kütlelerinin 13 katı ile 75 katı arasında olan gök cisimleridir. Döteryum (hidrojen-2) füzyonu gerçekleştirebilirler, fakat kütleleri yeterli olmadığı için hidrojen-1 füzyonu gerçekleştirerek yıldızla dönüşmezler. Bu yüzden başarısız yıldızlar olarak da adlandırılırlar. Kahverengi cüceler kendi gezegenleri olabilir.

### Gözlemlenen Ötegezegenlerin Özellikleri

Güneş Sistemi'nde, büyüklüğü Dünya'nın büyüklüğü ile Neptün'ün büyüklüğü arasında olan bir gezegen yoktur. Fakat gözlemler, bu boyutlardaki gezegenlerin Güneş Sistemi'nin dışında hayli fazla miktarda bulunduğunu gösteriyor.

Ayrıca güneşine yakın yörüngelerde dolanan küçük gezegenlerin sayısı büyük gezegenlerin sayısından çok daha fazla. Güneş Sistemi'ne yakın güneş benzeri yıldızların etrafında bulunan gezegenler hakkındaki veriler, gezegenlerin kütlesi  $1000 M_E$ 'den  $1 M_E$ 'ye ( $M_E$  = Dünya'nın kütlesi) doğru azaldıkça bulunan gezegen sayısının arttığını gösteriyor. Benzer bir durum gezegenlerin hacimleri için de söz konusu. Hacmi küçük olan gezegenlerin sayısı hacmi büyük olanlardan çok daha fazla.

Gezegenlerin yörüngelerinin incelenmesi küçük gezegenlerin yörüngelerinin ayrıksılığının küçük olduğunu yani yörüngelerin dairesele yakın olduğunu gösteriyor.

Birden fazla gezegen içeren sistemlerde, gezegenlerin yörünge düzlemleri arasındaki açı çoğunlukla 3 dereceden daha az. Bu durum gezegenlerin aynı düzlemde olmalarını engelleyebilecek kadar büyük bir tedirginlik olmadan, bir düzlem içinde oluştuklarını gösteriyor. HARPS (*High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher*)

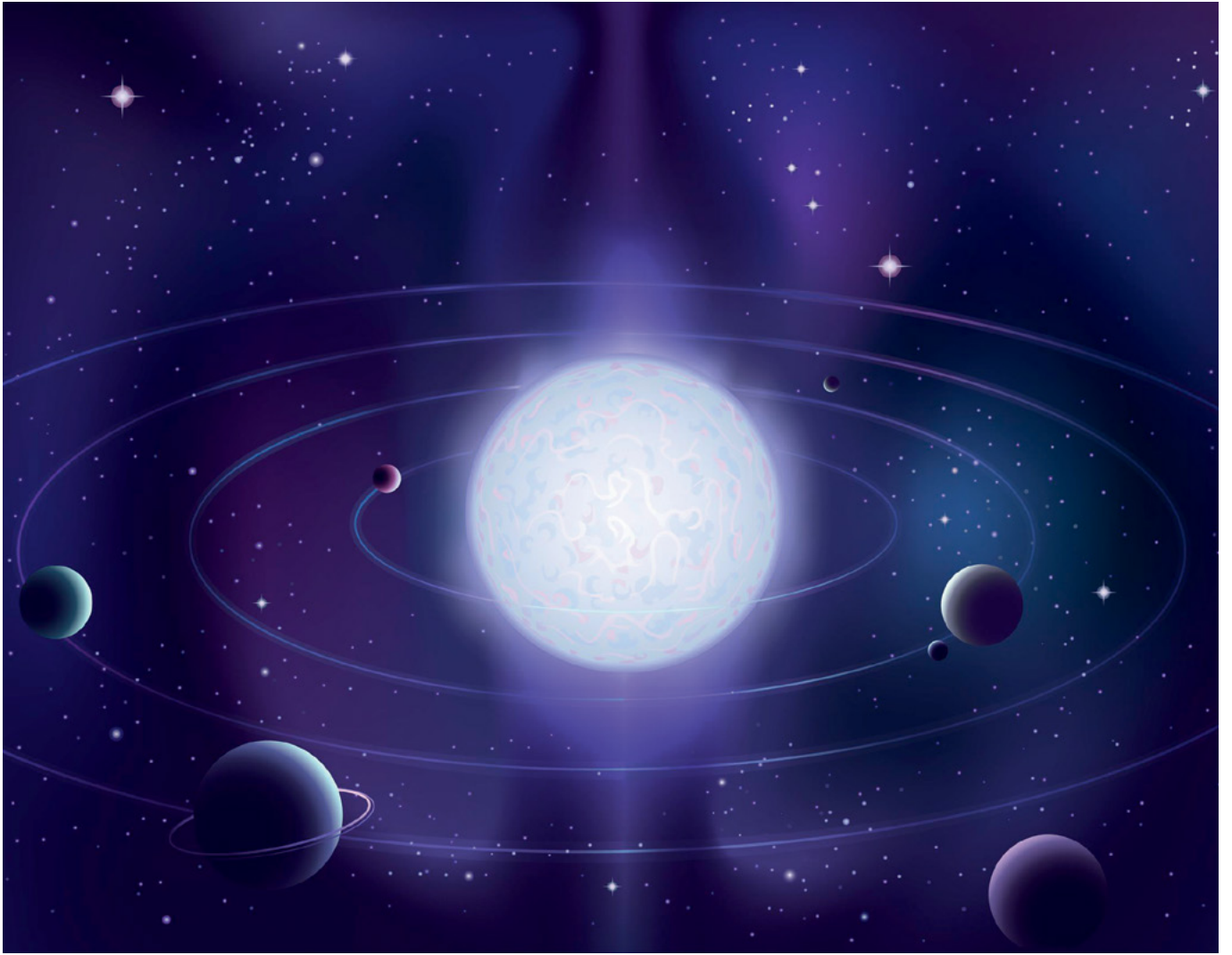
teleskobu ile yapılan gözlemler, incelenen yıldızların yarısından fazlasının orbital periyodu (yıldızının etrafında dönme süresi) 100 günden az olan bir ya da birkaç gezegeni olduğunu belirledi.

Gezegenlerin kütlelerinin ve hacimlerinin ölçülmesi bileşimleri hakkında da fikir veriyor. Kütleleri  $30 M_E$ 'den küçük olan gezegenler arasında hacmi en büyük olanların çapı, hacmi en küçük olanlarının çapının 5 katına kadar çıkabiliyor. Kütleleri  $100 M_E$ 'den büyük olan gezegenlerde ise bu oran 2'ye kadar düşüyor. Gaz devleri gibi büyük kütleli gezegenlerde hacmi belirleyen iki temel etken var. Büyük kütleli katı bir çekirdeğe sahip olan gezegenlerin yüzeyindeki kütleçekimi daha büyük olduğu için hacimleri daha küçük oluyor. Yıldızına yakın yörüngelerde dolanan gezegenlerin yıldızından daha fazla enerji alması ise hacimlerinin büyümesine sebep oluyor.

Kütlesi düşük olan gezegenlerin hacimlerindeki büyük farklılıklar bileşimlerinin de çok farklı olduğunu gösteriyor.







Örneğin *Kepler-10b* adlı gezegenin kütlesi Dünya'nın kütlesinin 4,6 katı, özkütlesi ise  $9 \text{ g/cm}^3$ . Yoğunluğun bu kadar yüksek olması bu gezegenin hemen hemen hiç atmosfere sahip olmadığını gösteriyor. *Kepler-11e* adı verilen, kütlesi Dünya'nın kütlesinin 8 katı olan bir gezegenin özkütlesi ise sadece  $0,5 \text{ g/cm}^3$ . Bu durum gezegenin ancak hafif elementlerden, örneğin hidrojenden, oluşan bir atmosferi olmasıyla açıklanabilir.

Bazı durumlarda ise gezegenin kütlesine ve hacmine bakarak gezegendeki koşullar hakkında net bir sonuca ulaşılamaz. Örneğin *GJ 1214b* isimli gezegenin kütlesi Dünya'nın kütlesinin 6,5 katı, yarıçapı Dünya'nın yarıçapının 2,7 katı, özkütlesi de  $1,9 \text{ g/cm}^3$ . Bu veriler birkaç farklı biçimde açıklanabilir. Birinci ihtimal gezegenin demir çekirdeği olan, hid-

rojen gazı ile çevrili bir süper-dünya olması. İkinci ihtimal atmosferinin ağırlığı toplam ağırlığının yarısı kadar olan, demir çekirdekli, yüzeyi okyanuslarla kaplı bir su dünyası olması. Üçüncü ihtimal ise kayadan, demirden, sudan, hidrojen ve helyum gazlarından oluşan bir mini-neptün olması.

Gözlemler, keşfedilen G-tipi ve K-tipi yıldızların yaklaşık %20'sinin etrafında 20 AU'dan küçük mesafe (AU = Dünya ile Güneş arasındaki ortalama mesafe) içinde yörüngede bulunan gaz devleri olduğunu gösteriyor. Bu gezegenlerin çoğunluğunun yıldızından uzaklığı 1 AU'dan fazla. Bazıları ise 0,05 AU gibi yıldızlarına çok yakın mesafelerde. Güneşinden 1 AU'dan uzak mesafelerde çok sayıda büyük gezegenin bulunması, bu bölgelerde suyun katı halde bulunma-

sıyla açıklanabilir. Çünkü katı halde bulunan madde miktarının fazla olması gezegen çekirdeklerinin oluşmasını hızlandırabilir.

Büyük gezegenlerin yörüngelerinin ayrışıklığı incelendiğinde, tek gezegen içeren sistemler ile çok gezegen içeren sistemlerin farklı özellikleri olduğu görülüyor. Tek gezegen içeren sistemlerde ayrışıklık 0 ile 1 arasında herhangi bir değer alabiliyor ve gezegenlerin çoğunun ayrışıklığı sıfıra yakın. Çok sayıda gezegen içeren sistemlerde ise ayrışıklığın çok büyük olduğu gezegenlere rastlanmıyor. Bu durum tek bir ayrık-sız gezegen içeren sistemlerin, birden fazla gezegen içeren sistemlerdeki bir gezegenin diğer gezegenlerin sistemin dışına atılmasına sebep olması sonucu oluşmuş olabileceğini düşündürüyor.

## Gezegenerin Oluşumu

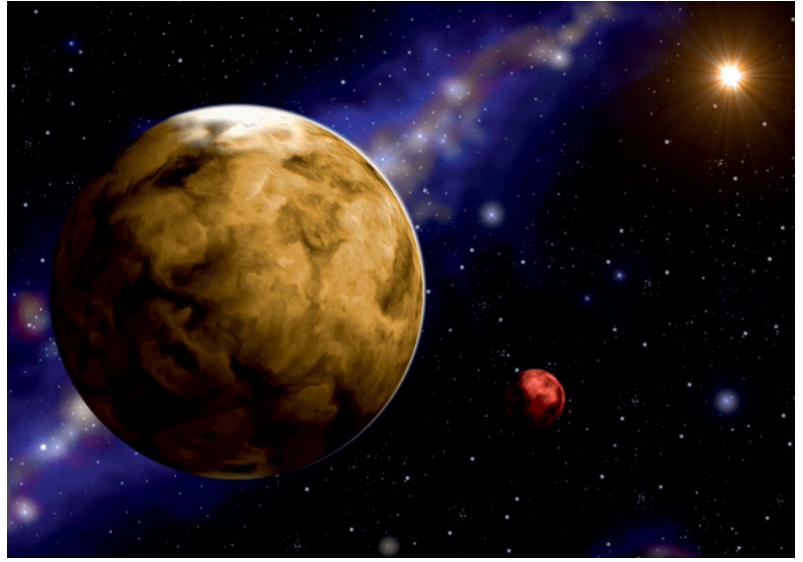
Metal bakımından zengin olan yıldızların etrafında dev gezegenler olması ihtimali daha yüksektir. Bu gözlem, bugün gezegenlerin oluşumunu açıklayan “çekirdek birikim modelinin” doğruluğunu destekleyen bir kanıt olarak görülüyor. Bu modelde dev gezegenlerin oluşması için yıldızın etrafında yüksek yoğunluklu bir gaz ve toz diskinin olması gerekir. Gezegenlerin oluşumu iki aşamada gerçekleşir. Önce diskteki katıların birikmesiyle 5 ila 10  $M_E$  kütleli ötegezegenler, daha sonra ötegezegenin etrafına biriken gazların ötegezegenin kütlesini artırmasıyla dev gezegenler oluşur. Metal bakımından zengin olan yıldızların etrafındaki disklerde katı yoğunluğu daha fazla olduğu için, bu yıldızların etrafında büyük gezegen olma ihtimali bu modele göre yüksektir. Gözlemler sırasında metal bakımından zengin yıldızların etrafında keşfedilen çok sayıda dev ötegezegen, çekirdek birikim modelini destekliyor. Fakat model ile gözlemlenen veriler arasında bire bir uyum olduğu söylenemez. Özellikle yıldızına 1 AU'dan daha kısa mesafelerde çok sayıda küçük kütleli gezegen keşfedilmesi bu modelle açıklanamıyor.

Gezegenerin oluşumunu açıklamak için öne sürülen “popülasyon sentez” modellerinde, gözlemlenen gezegenlerin kütleleri ve yörüngelerinin yıldızlarından olan uzaklıkları, gezegenlerin önce gaz ve toz diskinden oluşması ve daha sonra gözlemlendikleri bölgeye göç etmesi ile açıklanmaya çalışılıyor. Bu modeller büyük kütleli gezegenler hakkındaki istatistiksel verileri tahmin etme konusunda başarılı olmasına rağmen, küçük kütleli gezegenler hakkındaki istatistiksel verileri tahmin etme konusunda aynı başarıyı gösteremiyor.

Başka bir model ise yıldızına yakın yörüngelerde bulunan küçük gezegenlerin, gözlemlendikleri yerin yakınında oluştuğunu ve göç ettikleri mesafenin az olduğunu öne sürüyor. Bu model gezegenlerin kütle dağılımı ya da ayrıklılığı gibi pek çok özelliğini başarılı bir biçimde açıklayabiliyor. Fakat yıldızına yakın yörüngelerde bulunan gezegenlerin gözlemlendikleri bölgede oluşmuş olmaları için (başka bir yerde oluşup o bölgeye göç etmiş olmaları için) yıldızına 1 AU'dan daha yakın mesafelerde, toplam kütleli Dünya'nın kütlelerinin 20 ila 50 katı kadar madde olması gerekiyor. Yapılan gözlemler ise yıldızlara bu kadar yakın mesafelerde gezegen oluşturabilecek miktarda gaz ve toz bulutu olabileceğini doğrulamıyor.

## Dünya Benzeri Gezegenler

Ötegezegen araştırmalarının ana amaçlarından biri Dünya benzeri gezegenler keşfetmek. Fakat bugüne kadar böyle bir gezegen henüz keşfedilemedi. Doppler tekniği kullanılarak yapılan gözlemlerle bulunmuş, kütleli Dünya'nın kütleli civarında olan bir gezegen var. Fakat bu gezegen yıldızına çok yakın bir yörüngede dolandığı için yaşama elverişli koşullara sahip değil. Zaten kütleli Dünya'nın kütleli kadar olan ve yıldızına 1 AU mesafede bulunan bir gezegenin modern cihazlarla Doppler tekniği kullanılarak keşfedilmesi imkânsız. Transit tekniği kullanılarak Kepler teleskobu ile keşfedilen onlarca Dünya



büyükliğündeki gezegen de yine yaşamın oluşamayacağı kadar sıcak. Düşük kütleli yıldızların etrafındaki gezegenlerin gözlemlenmesi daha kolay olduğu için, Dünya benzeri gezegenleri böyle yıldızların etrafında aramak, keşfedilmelerini kolaylaştırabilir.

Sonuç olarak ötegezegenler ile ilgili yapılan çalışmaların gezegenlerin oluşumu ve evrimi hakkında çok değerli bilgiler verdiğini söyleyebiliriz. Verilerin, gezegenlerin yıldızların etrafındaki toz ve gaz bulutundan oluştuğunu söyleyen çekirdek birikim modelini destekler nitelikte olduğu söylenebilir. Gözlemlenen ötegezegenlerin çok çeşitli özellikleri olması ise, Samanyolu'nun ücra bir köşesindeki Güneş Sistemi'mizin özelliklerinin, sonsuz sayıda ihtimalden sadece biri olduğunu gösteriyor.

### Kaynaklar

- Wade, L., “Exoplanets and a Glossary of Their Quarry”, *Science*, Cilt 340, s. 570, 2013.
- Howard, W. H., “Observed Properties of Extrasolar Planets”, *Science*, Cilt 340, s. 572, 2013.