

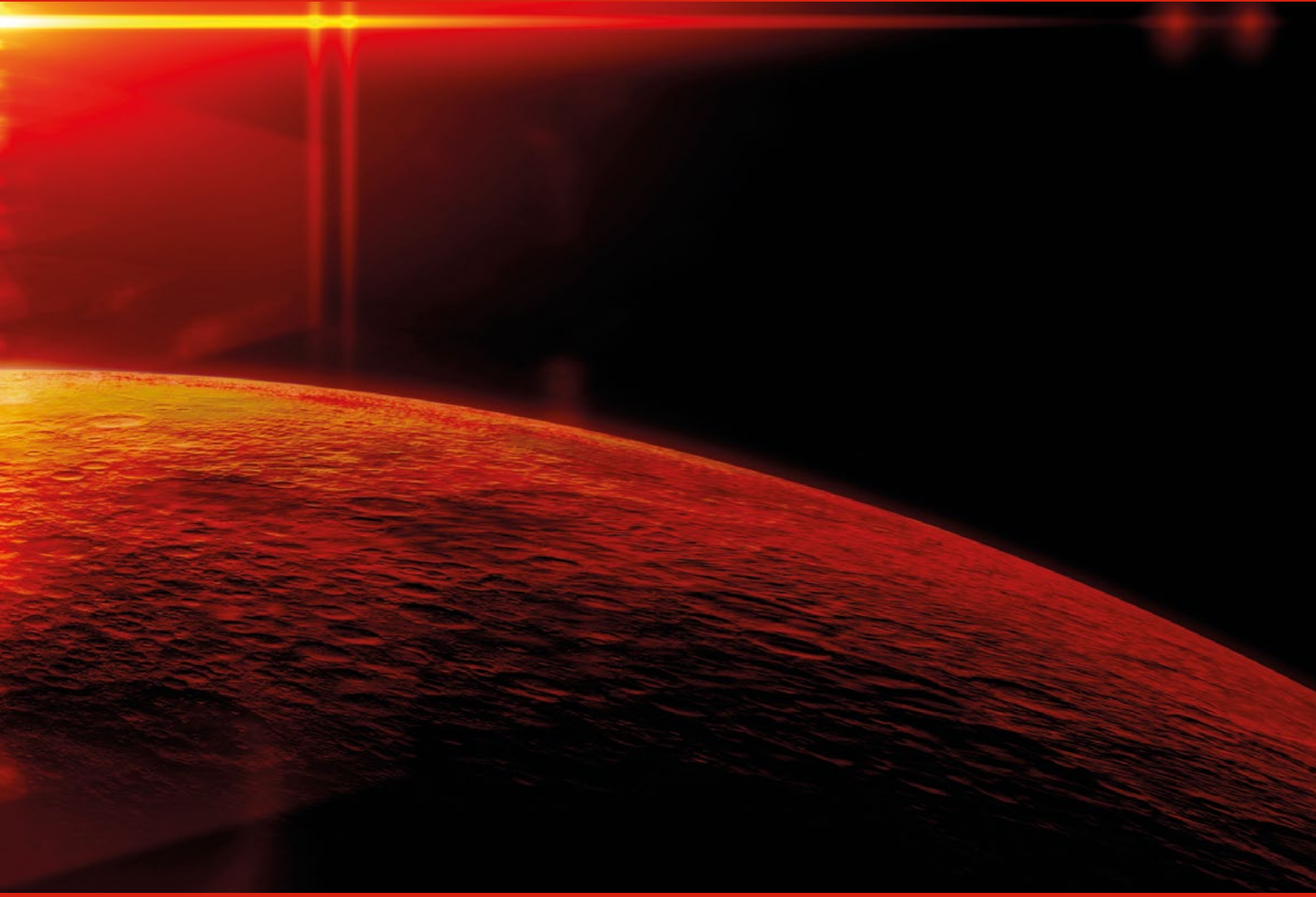
Yaşanabilir

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

Ötegezegen olarak adlandırılan, Güneş Sistemi'nin dışındaki gezegenleri keşfetmek ve özelliklerini belirlemek için uzun zamandır araştırmalar yapıyor. Bu çalışmaların temel amacı Güneş Sistemi'nin dışında da canlıların yaşayıp yaşayamadığını anlamak. Eğer yıldızın yaşama elverişli bölgesinde bu-

lunan bir gezegen keşfedilebilirse, o gezegende yaşama elverişli koşulların var olup olmadığı da incelenebilir. Ancak Güneş Sistemi'nin dışındaki yıldız sistemlerinin ve ötegezegenlerin sayısının çokluğu düşünüldüğünde araştırmaların hangi yıldız sistemlerine ve bu yıldız sistemlerinin hangi bölgelerine yo-

Gezegenerler



ğunlaştırılacağıın önceden belirlenmesi gerekiyor. Bugüne kadar yapılan gözlemler Güneş Sistemi'nin özelliklerinin sonsuz sayıdaki ihtimalden sadece birinin gerçekleşmesi ile ortaya çıktığını gösteriyor. Bu yüzden ne yaşama elverişli bölgeyi tanımlamak için Güneş Sistemi ne de yaşama elverişli gezegenlerin

özelliklerini tanımlamak için Dünya'nın özellikleri esas alınmaz. Dolayısıyla ötegezegen araştırmalarının başarıya ulaşabilmesi için bir yıldızın etrafındaki yaşama elverişli bölgenin sınırlarının ve gezegenlerin hangi özelliklere sahip olması gerektiğinin doğru bir şekilde tanımlanması önemli.



Dünya'daki tüm yaşam sıvı suyun varlığına bağlı olduğu için yaşama elverişli bölge, genel olarak o bölgede bulunan bir gezegenin yüzeyinde sıvı suyun bulunabileceği bölge olarak tanımlanır. Bu bölgenin dışındaki gezegenler ya yıldızına uzak olduğu için çok soğuktur ya da yıldızına yakın olduğu için çok sıcaktır.

Bu gezegenlerde şayet su varsa bile ancak katı ya da gaz halinde olabilir ve bu yüzden Dünya'dakilere benzeyen yaşam biçimlerinin oluşmasına elverişli değildir.

Yıldızın büyüklüğüne ve ışınım miktarına bakarak yaşama elverişli bölgenin yıldızın merkezinden ne kadar



uzakta olabileceği belirlenebilir. Fakat bir gezegenin bu bölgenin içinde olması yaşama elverişli koşullara sahip olabileceği anlamına gelmez. Örneğin eğer Venüs'ün atmosferi Dünya'nunkine benzeyen bir kimyasal bileşime sahip olsaydı yaşama elverişli koşullara sahip olabilirdi. Fakat atmosferindeki sera gazları, yüzeyindeki sıcaklığın

1000°C'ye kadar çıkmasına neden olduğu için Venüs yaşama elverişli bir gezegen değil.

Tüm bu nedenlerle yaşama elverişli bir gezegenin keşfedilme ihtimalini artırmak için hangi gezegenlerin bu koşullara sahip olabileceğinin iyice anlaşılması gerekiyor.



Yaşama Elverişli Gezegenerin Klasik Tanımı

Yaşama elverişli gezegenler, genel olarak yüzeyinde sıvı suyun bulunabileceği gezegenler olarak tanımlanır. Bilinen tüm yaşam biçimleri suya bağımlıdır, fakat sudan başka sıvıların da yaşamın oluşmasına olanak sağlayabileceğini öne süren görüşler de var. Buna rağmen su uzayda en çok bulunan sıvı olduğu için yaşanabilir ötegezegenler araştırılırken başka sıvıların değil, suyun bulunma ihtimalinin yüksek olduğu bölgelere odaklanılır.

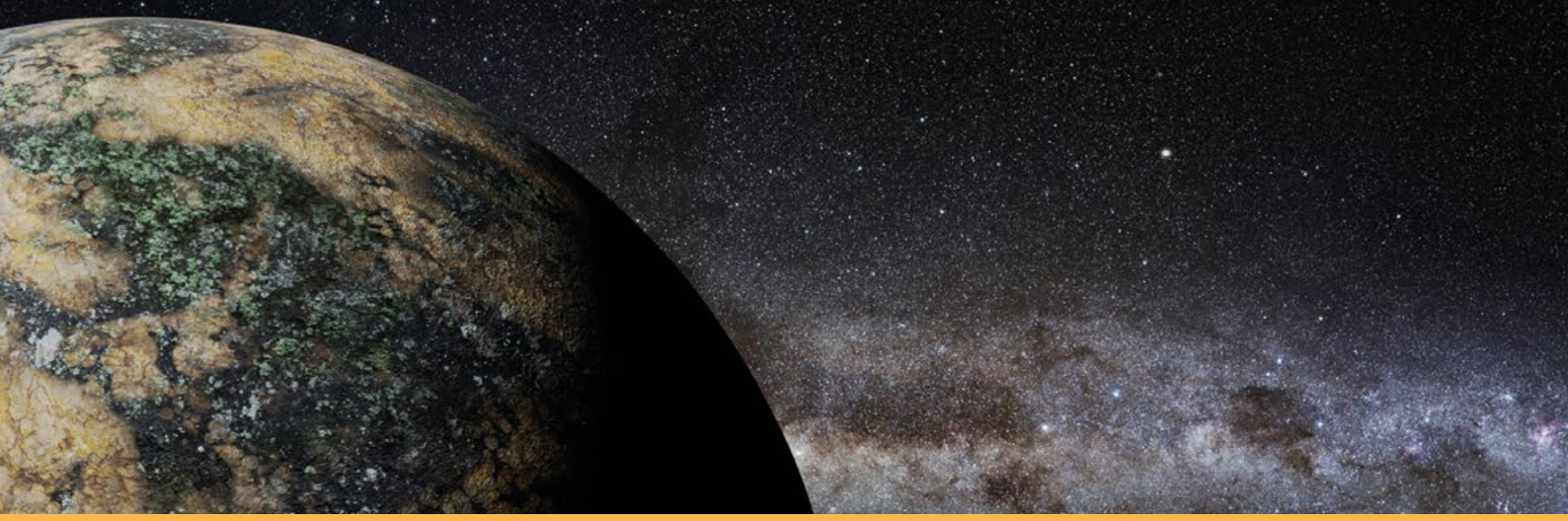
Atmosferindeki döteryum/hidrojen oranının yüksek olması Venüs'ün yüzeyinde bir zamanlar sıvı su olduğunu düşündürüyor. Bu oranın yüksek olması Venüs'ün Güneş'e, Dünya'ya göre %30 daha yakın olması ve Dünya'nın Güneş'ten aldığından %90 daha fazla ısıma alması ile açıklanıyor. Güneş'ten gelen yüksek miktardaki radyasyonun gezegenin atmosferindeki su buharı

moleküllerini, hidrojen ve oksijen atomlarına ayırdığı ve oluşan hidrojen atomlarının bir kısmının uzaya kaçtığı (gezegenin çekiminden kurtulduğu) düşünülüyor. Hidrojen atomları döteryum atomlarından daha hafif olduğu için uzaya kaçan hidrojen miktarı da döteryum miktarından daha yüksek. Dolayısıyla bu süreç Venüs'ün atmosferindeki döteryum/hidrojen oranının yükselmesiyle sonuçlanmış.

Venüs gibi Mars'ın da bir zamanlar sıvı suya sahip olduğu düşünülüyor. Bu durumun en büyük nedeni Kızıl Gezegen'in jeomorfolojik özellikleri. Mars'ın bugün kurak bir gezegene dönüşmüş olması kütlelerinin küçük olmasıyla açıklanıyor. Bu küçük kütlelerin sebep olduğu kütleçekiminin ısınan bir atmosferi kendine bağlayabilecek gücü yoktu. Bugün Mars o kadar soğuktur ki, Mars yüzeyinde suyun sıvı halde bulunabileceği herhangi bir yer yok.

Ötegezegenlerin sıvı suya sahip olup olmadığını belirlemek Güneş Sistemi'ndeki gezegenlere göre çok daha zor. Çünkü ötegezegenlerin yüzeyindeki sıvı su doğrudan gözlemlenemez. Bunun yerine gezegenlerin atmosferinde su buharı olup olmadığına bakılabilir. Bir gezegenin atmosferinde su buharını tutabilmesi ise ancak yeterli





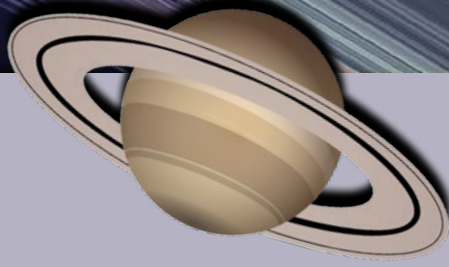
kütleyle sahip olmasıyla mümkün. Kütle küçük olduğu zaman -Venüs'te olduğu gibi- atmosferdeki su buharı molekülleri Güneş ışınları tarafından parçalanacak ve oluşan atomlar uzaya kaçacaktır.

Yaşama Elverişliliği Belirleyen Etkenler

Suyun sıvı halde bulunup bulunamayacağını belirleyen en önemli etkenler ortamın sıcaklığı ve basıncı. Bir atmosfer basınç altında su 0°C ile 100°C arasında sıvı haldedir. Fakat yüksek basınçlar altında, su daha yüksek sıcaklıklarda da sıvı halde bulunur. Gözlemlenen ötegezegenlerin kütlelerinin ve hacimlerinin çeşitliliği düşünülürse bu gezegenlerin atmosfer basınçları da çok farklı olmalı. Eğer bir gezegenin atmosferinin özellikleri biliniyorsa faz diyagramından yararlanılarak suyun sıvı halde bulunup bulunamayacağı anlaşılabilir.

Gezegenlerin atmosferlerinin sıcaklığı sera gazlarının varlığına ya da yokluğuna bağlı olarak da değişir. Bir gezegenin atmosferindeki sera gazlarının miktarını belirleyen birkaç etken var. Bunlardan biri düşük kütleli gazların gezegenin atmosferinden uzaya kaçması. Bunun yanı sıra tektonik ve volkanik hareketler de atmosferin bileşimini etkileyebilir. Fakat kütlesi Dünya'dan daha büyük olan gezegenlerde tektonik hareketlerin meydana gelip gelemeyeceği üzerine bir uzlaşma yok. Atmosferin bileşimini etkileyen diğer etkenler arasında yıldızdan gelen ışınım miktarı -atmosferdeki bazı molekülleri parçalar-, okyanusların karalara oranı -atmosferin nem oranını ve okyanuslarda çözünen karbondioksit miktarını belirler-, yıldızdan gelen ışınların ne kadarının geri yansıdığı ve gezegenin yüzeyindeki kütleçekimi de sayılabilir.





Yaşama Elverişli Bölgenin Yeniden Tanımlanması

Yaşama elverişli bölgenin sınırları gezegenlerin atmosferlerinin sahip olabileceği sera gazlarına göre yeniden tanımlanabilir. Bölgenin sınırlarının yıldızdan çok uzak mesafelere kadar uzanmasını sağlayabilecek en önemli sera gazı hidrojenidir. Geniş bir dalga boyu aralığındaki ışık ışınlarını soğurabilen bu gaz, Dünya'daki küresel ısınmanın ana sebebi olarak görülen karbondioksit gazından çok daha etkili. Atmosferinde yüksek miktarda hidrojen gazı olan gezegenler için yaşama elverişli bölgenin dış sınırının yıldızdan uzaklığı, karbondioksitli bir atmosfere sahip gezegenlerinkinden birkaç kat daha büyük olabilir.

Yaşama elverişli bölgenin iç (yıldız yakın) sınırını belirleyen ise başka bir sera gazı olan su buharıdır. Suyun varlığı yaşamın oluşması için gerekli olduğundan yıldızın en yakın bölgelerde bulunabilecek, yaşama elverişli gezegenlerin daha kurak -okyanus/kara oranının düşük olması gerekir.

Sonuç olarak, Güneş benzeri yıldızların etrafındaki gezegenler için yaşama elverişli bölgenin iç yarıçapının yaklaşık 0,5 AU (AU Güneş ile Dünya arasındaki ortalama mesafe), dış yarıçapının ise yaklaşık 10 AU olduğu söylenebilir. Fakat daha önce de belirtildiği gibi, gezegenin yaşama elverişli bölgede bulunması yaşama elverişli olduğu anlamına gelmiyor. Bölgenin iç sınırına yakın gezegenlerin yaşama elverişli olması için kurak, dış sınırına yakın gezegenlerin ise hidrojenli bir atmosfere sahip olması gerekiyor.

Gözlemlenen ötegezegenlerin yaşama elverişli koşullara sahip olup olmadığının anlaşılması için önce kütleleri, hacimleri ve yoğunlukları belirlenebilir. Daha sonra yıldızın ışıma miktarı ve gezegenin yıldızdan uzaklığı kullanılarak, gezegenin sıcaklığı ve yüzeyinde sıvı suyun bulunma ihtimali değerlendirilebilir. Eğer tüm ko-



şullar uygunsa, yapılacak gözlemlerle atmosferinde su buharı olup olmadığı incelenebilir. Fakat bu işlemlerin gerçekleştirilmesi tüm ötegezegenler için kolay değil. Örneğin kütlenin ve hacmin ikisinin birden ölçülmesi bazen mümkün olmuyor. Teleskoplar kullanarak ötegezegenlerin atmosferinin incelenmesi ise yalnızca Güneş Sistemi'ne yakın olan yıldız sistemlerindeki gezegenler için mümkün.

Biyogazlar

Eğer yaşama elverişli koşullara sahip bir gezegen bulunabilirse, o gezegende bugün ya da geçmişte canlıların yaşayıp yaşamadığı sorusu akla gelecektir. Bu soru gezegenin atmosferinde biyogazlar bulunup bulunmadığı incelenerek cevaplanabilir.

Biyogazlar canlılar tarafından üretilen ve gezegenin atmosferinde yüksek miktarlarda bulunabilecek gazlardır. Bir biyogazın gözlemlerle belirlenebilmesi için ışıkla

etkileşmesi gerekir. Dünya'nın atmosferinde bulunan oksijen (O_2), diazot monoksit (N_2O) ve metan (CH_4) gözlemlerle belirlenebilecek biyogazlardır. Işık ışınları atmosferdeki gaz moleküllerini atomlarına ayırıştırabileceği için, biyogazların miktarı yıldızından daha az ışık alan gezegenlerin atmosferlerinde daha yüksektir.

Pek çok biyogaz -örneğin karbondioksit- canlı organizmalar dışında da oluşabileceği için elde edilecek sonuçların yanlış yorumlanmaması için bazı ek gözlemler gerekebilir. Örneğin bir gezegenin atmosferindeki oksijen gazı canlı organizmalar tarafından üretilebileceği gibi su buharı moleküllerinin ışıkla parçalanması sonucunda da oluşmuş olabilir. Bu durumda eğer gözlemler atmosferdeki su buharı derişiminin aşırı derecede yüksek olduğunu gösterirse, gezegenin atmosferindeki oksijen gazının kaynağının canlı organizmalar değil parçalanmış su molekülleri olduğu anlaşılabilir. Dolayısıyla bir gezegenin atmosferinde biyogazların bulunması o gezegende kesin olarak canlı yaşamı olduğu anlamına gelmez -canlı organizmalar dışında gerçekleşen süreçlerin sonucunda oluşan (abiyotik) kaynakların hangi oranda belirlenebildiğine göre- sadece o gezegende canlı organizmaların bulunma ihtimalini verir.



Sonuç

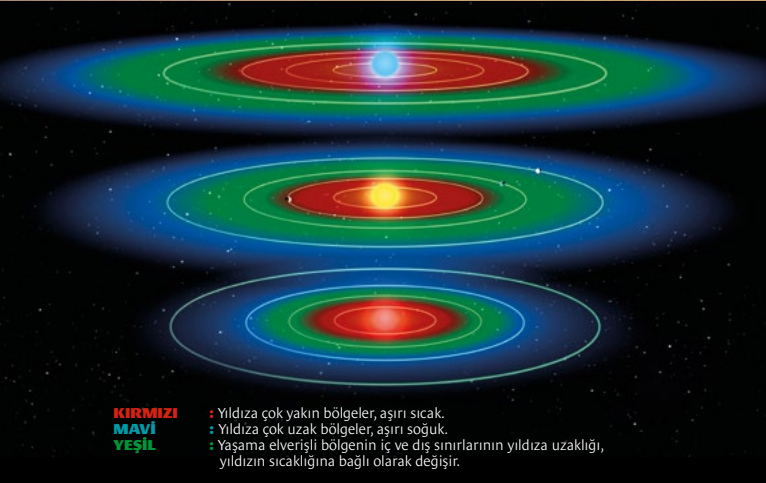
Sonuç olarak yaşama elverişli bölgenin tüm yıldız sistemleri için aynı biçimde tanımlanamayacağını söyleyebiliriz. Bölgenin sınırları yıldızın büyüklüğüne ve parlaklığına göre değişir. Güneş benzeri yıldızlar için yaşama

elverişli bölgenin yıldız 0,5 AU ila 10 AU uzaklıkta olduğu söylenebilir. Bir gezegenin yaşama elverişli olması için yaşama elverişli bölgenin içinde bulunması gerekir. Fakat bunun tersi doğru değildir. Bir gezegenin yaşama elverişli olabilmesi için fiziksel özelliklerinin ve kimyasal bileşiminin bulunduğu konuma uygun olması da gerekir.



Örneğin Venüs Güneş'in yaşama elverişli bölgesinde bulunmasına rağmen atmosferindeki sera gazları sebebiyle aşırı derecede sıcaktır ve yaşamın oluşması için uygun koşullara sahip değildir. Gezegenlerin atmosferinin bileşimini belirleyen birçok sürecin gözlemlenmesi ise zordur. Örneğin hangi gezegenlerde tektonik hareketle-

rin olduğu ya da hangi gezegenlerin kendilerini yıldızlarından gelen aşırı radyasyondan koruyan bir manyetik kalkana sahip olduğu belirlenemeyebilir. Bazı durumlarda bilgi edinmek istenilen özellikle ilgili herhangi bir sinyale ulaşmak imkânsızken bazı durumlarda ise sinyaller modern cihazlarla ölçülemeyecek kadar zayıftır.



KIRMIZI
MAVİ
YEŞİL

- Yıldız çok yakın bölgeler, aşırı sıcak.
- Yıldız çok uzak bölgeler, aşırı soğuk.
- Yaşama elverişli bölgenin iç ve dış sınırlarının yıldız uzaklığı, yıldız sıcaklığına bağlı olarak değişir.

Günümüzde ötegezegen araştırmalarının istatistiksel bir aşamadan geçtiği söylenebilir. Yapılan gözlemlerle hangi sıklıkla yaşama elverişli gezegenlerin bulunabileceğinin belirlendiği bu aşamanın yeni nesil yer ve uzay teleskoplarının geliştirilmesine kadar devam edeceği düşünülüyor. Hubble Uzay Teleskobu'nun yerini alması planlanmakta olan James Webb Uzay Teleskobu bir ötegezegende biyo-gazların varlığını belirleyen ilk cihaz olmaya aday.

Kaynak

Seager, S., "Exoplanet Habitability", *Science*, Cilt 340, s. 577, 2013.