

Gezegenerin ve Barınak Yıldızlarının Evrimi

Mutlu Yıldız¹★,

¹Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir

Özet

Gezegen keşfi üzerine yapılan araştırmalar bilim tarihinde eşine nadiren rastlanacak bir hızla ilerleyerek, inanılmaz bir gelişme kaydetti. 20 yıl gibi kısa bir sürede binlerce gezegen keşfedildi. Bu gezegenlerin bir kısmının kütle yarıçap gibi temel parametreleri duyarlı bir şekilde ölçüldü. Gözlemsel veriler dev gaz gezegenlerin yarıçaplarının çok fazla olduğunu göstermektedir. Bu gezegenler üzerine yapılan araştırmalar bu fazlalığa açıklama getirmeye çalışmaktadır. Bu çalışmada gözlemsel veriler analiz edilerek aydınlatma (irradiasyon), gel-git ve soğuma işlemlerinin yarıçap fazlalığındaki payları ortaya çıkartılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: planet-star interactions, Yıldızlar, Ötegezegenler

1 Giriş

Gezegen araştırmaları bilim tarihinde, eğer biricik değilse, eşine ender rastlanır bir gelişmeyi çok kısa sürede göstermiştir. Bu süreç devam etmektedir ve taçlandırılması canlı ve akıllı yaşamın keşfiyle gerçekleşecektir. Bu bakımdan da çok önemli gelişmeler elde edilmiş durumdadır. Keşfin gerçekleşmesi durumunda evreni algılayışımızın sonsuza kadar değişeceği muhakkaktır.

Yıldızlarla gezegenler arasındaki ayırıcı fark, etraflarına yaydığı enerjinin kaynağına dayanmaktadır. Yıldızlar etraflarına yaydıkları enerjiyi nükleer tepkimelerle sağlarken, gezegenlerde etkin bir nükleer tepkimeden bahsedemeyiz. Bu fark, bizi bu yıldızların tamamen farklı cisimler olduğuna yönlendirmektedir. Ancak, bu cisimlerin hidrostatik dengede olması bu iki farklı türü bazı bakımlardan birbirine çok benzer yapmaktadır. Özellikle dev gaz gezegenleri, kütleçekim kuvvetini dengeleyici zıt kuvvet gaz basıncına dayandığından, yapıyla ilgili bazı durumlarda yıldız bilgisine başvurarak anlaşılabilir.

Dev gaz gezegenlerin gezegen araştırmalarında iki önemli avantajı var. Birincisi, bu gezegenlerin keşfi daha kolay. İkincisi, bu gezegenlerin kütle (M_p) ve yarıçap (R_p) gibi temel parametreleri diğerlerine göre çok daha yüksek duyarlılıkla belirlenebiliyor. Bu gezegenlerin yarıçapları bir çok durumda çok büyüktür, gözlemsel verilerin analizinden bu fazlalığa neden olan mekanizmalar ortaya çıkartılabilir. Bu çalışmanın başlıca amacı da budur.

Kepler (Borucki ve ark. 2009; Koch ve ark. 2010) ve CoRoT (Michel ve ark. 2006; Auvergneş ve ark. 2009) projeleri sayesinde gezegenlerin temel özellikleri hakkında çok büyük miktarda veri elde edildi. Bunlara ek olarak, gezegen keşfi amacıyla bir çok yer konuşlu proje de var: HARPS (Mayor ve ark. 2003), HAT (Bakos ve ark. 2002), HATnet (Bakos ve ark. 2004), KELT (Pepper ve ark. 2012; Siverd ve ark. 2012), OGLE (Udalski 2003), Qatar (Alsubai ve ark. 2013), SuperWASP (Street ve ark. 2003), TrES (Alonso ve ark. 2004), WASP (Pollacco ve ark. 2006), WTS (Cappetta ve ark. 2012), XO (McCullough ve ark. 2005).

Bu çalışmanın yapıldığı zamanda 1036 barınak yıldızda keşfedilen gezegen sayısı 1706'ydı (Akeson ve ark. 2013; exoplanetarchive.ipac.caltech.edu). Bu sistemlerden bazıları çok gezegenli sistemlerdir. TEPcat (Southworth 2011) verilerine göre,

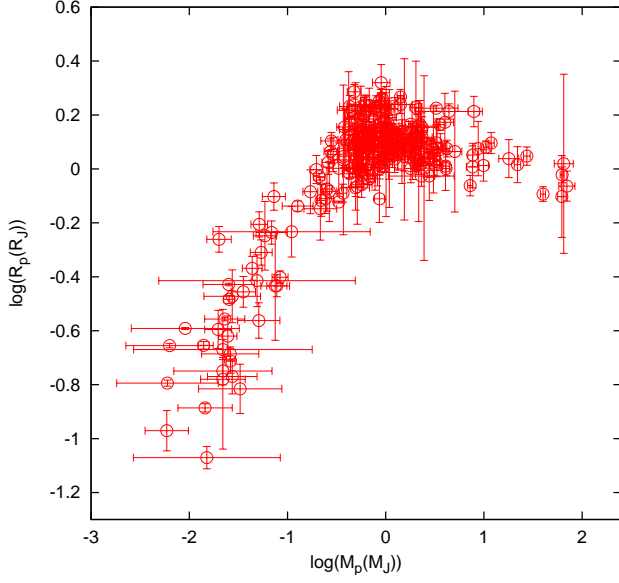
gezegenlerin kütleleri $1.017 M_{\oplus} = 0.0032 M_J$ (KOI-314 c; Kipping ve ark. 2014) ile $69.9 M_J$ (LHS 6343 b; Johnson ve ark. 2011) aralığındadır. Üst sınır kahverengi cüceleri de içermektedir. Kütleleri $10.52 M_J$ olan WASP-18 b (Maxted ve ark. 2013) en büyük kütleli gezegen olarak görülmektedir. Gezegenlerin büyüklüğü ise $0.296 R_{\oplus} = 0.027 R_J$ (Kepler-37 b; Barclay ve ark. 2013) ile $2.09 R_J$ (WASP-79 b; Smalley ve ark. 2012) aralığındadır. Şişkin dev gaz gezegenlerin alt kütle sınırı $0.35-0.4 M_J$ civarındadır. Büyüklükleri ise yarıçap aralığının üst kısımlarında, $0.8-1.4 R_J$, yer alır.

Bir yıldızın ışıngücü esas olarak özeğindeki fiziksel koşullar (özellikle de sıcaklık) tarafından belirlenir. Yarıçap ise özeğteki fiziksel koşullar kadar dış katmanlardaki madde nin ışıma gösterdiği dirence de bağlıdır. Bu ilişkilik durumu bize ışıngücü ve yarıçapı yıldız yapı evriminin bir belirteci, kısıtı olarak değerlendirme fırsatı verir. Bir yıldızın ağır element bolluğunun bu bölgelerin fiziksel koşulları üzerindeki etkisi önemlidir. Bu nedenle, Yıldız ve ark. (2014) barınak yıldızların yaşını kütle ve yarıçapın yanı sıra ağır element bolluğunun da fonksiyonu olarak bulmak için yeni bir yöntem geliştirdiler. Gezegenlerin ışıngücünden söz edilemeyeceğinden, yarıçap gezegenlerin yapısı ve evrimi hakkında bilgi içeren biricik nicelik olmaktadır. Bu nedenle, literatürde gezegenlerin kütle yarıçap ilişkisi üzerine çok sayıda makale bulunmaktadır (bkz. Guillot ve ark. 1996; Burrows ve ark. 2000; Sudarsky, Burrows & Hubeny 2003; Fortney ve ark. 2007; Weiss ve ark. 2013).

Dev gaz gezegenlerin yarıçaplarının barınak yıldızdan gelen akıyla ilişkili olduğu bir çok çalışmada tespit edilmiş durumdadır (örneğin, Burrows ve ark. 2000; Demory & Seager 2011). Bunun anlamı, akı, barınak yıldız yakınında bulunan gaz gezegenin atmosferini ve en dış katmanlarını etkili bir şekilde ısıtmaktadır. Jüpiter ve Satürn Güneş'e çok uzak olduklarından ısıtılamıyorlar ve bu nedenle benzerlerine kıyasla yaklaşık olarak en küçük yarıçaplara sahipler.

Yıldızlar gibi gezegenlerde de bir kuvvet dengesi söz konusudur. Gaz gezegenlerde kütleçekim kuvvetine karşı koyan kuvvet gaz basıncına dayanmaktadır. Bu basınç ideal olandan uzaklaşmış olsa da yine parçacık sayısı ve sıcaklığa bir bağlılığı vardır. Gaz gezegenlerin yapısına ilişkin başlıca üç çok önemli sorundan bahsedebiliriz. Bunlar elbette sonuçta yarıçap üzerinde etkilidir. Birincisi, bu gezegenlerin içi ne kadar sıcaktır ve hangi süreçler bu sıcaklığı artırır veya azaltır? İkincisi, genel olarak hal denklemi problemi olarak nitelendirilebilir. Soğuk

★ mutluyildiz1@gmail.com



Şekil 1. Gezegen kütlesine karşı gezegen yarıçapı.

yıldızlarda dahi basınç ideal gaz denkleminde uzaklaşmaktadır. Sıcaklık düşüp yoğunluk arttıkça ideal olmayan etkileşimlerin payı artmakta ve hem basıncın hem de maddenin ışınımına karşı direncinin ölçütü olan saydamsızlık hesabını güçleştirmektedir (soğuk yıldızların gözlemsel ve kuramsal sonuçları arasındaki farklılığı da bu bağlamda ele alabiliriz). Gezegenler için hal denklemi ise yıldızlarda olduğundan daha karmaşıktır (Fortney & Nettelmann 2010). Üçüncüsü, gezegenler nasıl bir kimyasal bileşime sahiptir ve iç kısımlarda nasıl bir kimyasal bileşim grad-yentinden bahsedebiliriz. Kimyasal bileşim hem basınç hem de enerji iletimi (bu da sıcaklık değişimini belirler) açısından çok önemli bir unsurdur. Gezegenlerin yapısını ve evrimini daha iyi anlamamız son kertede bu üç unsurdaki yaptığımız ilerlemelere bağlıdır.

Birinci sorun ile ilişkili süreçlerden birisi gezegen ile barınak yıldız arasındaki karşılıklı çekim etkisidir (Wu 2005; Jackson, Greenberg & Barnes 2008; Liu, Burrows & Ibgui 2008). Bu etkileşim sonucunda, gezegenin yörünge enerjisi gezegenin dış katmanlarının iç enerjisini arttırmak için kullanılır.

2 Gezegenlerin ve Barınak Yıldızların Genel Özellikleri

Gezegenlerin yapısı ve evrimine ilişkin analizlerimiz 6 Ocak 2014 tarihinde TEPcat veri tabanından (www.astro.keele.ac.uk/jkt/tepcat/) alınan verilere dayanmaktadır. Veriler ve elde edilen sonuçlar Yıldız ve ark. (2014) makalesinde bulunabilir (Table S1). Şekil 1'de gezegenlerin yarıçapları kütlelerine karşı logaritmik ölçekte çizilmiştir. Küçük kütle aralığında kütle ile yarıçap arasında hemen hemen doğrusal bir ilişki var. İlişki 1 M_J civarında farklılaşıyor ve kütlede neredeyse bağımsız oluyor, özellikle 0.4–4.5 M_J aralığında. Bu aralıkta ortalama yarıçap 1.28 R_J'dir. En küçük ve en büyük yarıçaplar, sırasıyla, 0.775 R_J ile WASP-59 b'ye (Hébrard ve ark. 2013) ve 2.09 R_J ile WASP-79 b'ye (Smalley ve ark. 2012) aittir. Bu gezegenlerin her ikisi de Jüpiter'ininkinden biraz küçük kütlede sahiptir. Barınak yıldızı olan Güneşimize çok uzak olmasından dolayı Jüpiter bu aralıktaki en küçük yarıçaplı gezegenler arasındadır.

Bazı gezegenlerin yörünge basıncı TEPCat katalogunda

sıfır olarak verilmiş, fakat Knutson ve ark. (2014) güncellemesi sıfır olmadığını gösteriyor. Bu güncelleme karşılıklı çekim etkisinin hesabı için çok önemlidir.

En şişkin gezegenlerin bulunduğu kütle aralığı 0.4–4.5 M_J'dir. Diğer iki grup ise bu aralığın altında ve üstünde yer alır. Yıldız ve ark. (2014) esas olarak M_p > 0.4 M_J olan gezegenleri incelemektedir.

Barınak yıldızların etkin sıcaklığı 4550 ile 7430 K aralığında değişmektedir. Çoğunluğu anakol yıldızı, az sayıda da evrimleşmiş yıldız var. Yarıçaplar 0.694 ile 6.20 R_☉ aralığındadır. Kütle aralığı ise 0.75–1.57 M_☉'tir. Bu gezegenli sistemlerin yaşları yıldızların kütle, yarıçap ve ağır element bolluğu verilerinden hesaplanmaktadır.

3 Barınak Yıldızların Ağır Element Bolluğu ve Yaşı

Yıldızların ağır element bolluğu iki bakımdan çok önemlidir. Birincisi, ağır elementler çok sayıda elektron içermesinden dolayı kesit alanları çok büyüktür ve ışınımına karşı etkili bir direnç gösterirler. Literatürde yer alan kaynakların neredeyse tamamında ağır element bolluğu bu yanı sıra ele alınmaktadır. İkinci olarak, ağır elementlerin elektronları çoğunlukla çok yüksek bağlanma enerjilerine sahiptir. Öyle ki, ağır elementlerin çoğu Güneş'in aşırı sıcak merkezinde dahi tam iyonize durumda değildir. Yıldız oluşum sürecinde çökmeden sağlanan enerjinin bir kısmı da bu iyonlaşma işlemi için kullanıldığından ağır element fazlalığı daha soğuk özek demektir. Bunun anlamı şudur, birinci şık ağır elementlerin enerjinin (özellikle dış katmanlarda) aktarımındaki rolü açısından önemlidir. İkinci şık ise, ağır element bolluğunun özgeğin fiziksel yapısı açısından da çok önemli olduğunu söylemektedir ve literatürde bu yan neredeyse hiç görülmemektedir.

Ağır element bolluğunun yıldız yapısı ve evrimi açısından bu önemine rağmen, gözlemsel yollardan belirlenmesi aşırı basitleştirilmiş yöntemlere dayanmaktadır. Elbette, söylemekte yarar var, çoğu kez, bu basit yol için çok haklı gerekçelerimiz var. Unutulmamalıdır ki, Güneş gibi bir yıldız için dahi ağır element bolluğu (örneğin, neon bolluğu ve diffüzyonun etkisi gibi) belirsizlikler içermektedir.

Bir yıldızın ağır element bolluğunun belirlenmesi için genellikle izlenen yol, önce bir elementin bolluğu, ad vermek gerekirse, demirin bolluğu, tayftan bulunur ve Güneş ile kıyaslanır. Demir bollukları arasındaki fazlalık (ya da azlık) ne kadarsa diğer elementlerin de aynı miktarda fazla olduğu kabul edilir ve buradan tahmini bir ağır element bolluğu hesaplanır. Ancak bu yöntemin çalışması için demir bolluğu ile en bol bulunan elementlerin (örneğin, oksijenin) bolluğunun aynı olması gerekir. Oysa, gözlemsel sonuçlar böyle söylemiyor. Tersine, Edvardsson ve ark. (1993) verilerine bakacak olursak, [Fe/H] bolluğu ile [O/Fe] bolluğu arasında ters orantı var. Bu nedenle, Yıldız ve ark. (2014) yeni bir yöntem geliştirerek, [Fe/H] değerinden Edvardsson ve ark. (1993) verilerini kullanarak elde edilen ilişkiden [O/H] bolluğunu ve buradan da toplam ağır element bolluğunu buluyorlar. Doğrudan [Fe/H] değerinden hesaplanan Z_{Fe} ile [O/H] değerinden hesaplanan Z_O arasında çok ciddi farklar var. Örneğin, en yüksek [Fe/H] değeri olan yıldızlar için Z_{Fe} = 0.05 olduğu halde aynı yıldızlar için Z_O = 0.025 olmaktadır. Bu farklılığın etkileri yaş hesabında da kendini gösterir.

Barınak yıldızların yaşını hesaplamak için geliştirdiğimiz yöntem ANKİ (ANKara İzmir) yıldız evrim programıyla elde edilen modellere dayanmaktadır. ANKİ evrim programı Prof. Dr. Dilhan Ezer Eryurt tarafından oluşturulmuş ve geliştirilmiştir (Ezer & Cameron 1965). Elbette, gerekli güncellemeler sürekli yapılmaktadır (Örneğin, Yıldız & Kızıloğlu 1997; Yıldız 2015).

Yaş için geliştirilen yöntem ayrıntılı olarak Yıldız ve ark. (2014)'te anlatılmıştır. Burada kısaca açıklanacaktır. Bir tek yıldızın yaşam süresi üzerinde en belirleyici nicelik kütlesi ise ikinci rolü de ağır element bolluğuna verebiliriz. Geliştirdiğimiz yöntemde öncelikle bir yıldızın verilen M ve Z değerleri için yıldızın sıfır yaş ana kol (SYAK) yarıçapını buluyoruz. Yıldızın yarıçapı ile SYAK yarıçapının oranı yıldızın görelî yaşı t_{rel} 'in $3/2$ kuvveti ile orantılıdır. t_{rel} yıldızın yaşının (t) ana kol ömrüne (t_{AK}) oranıdır. Yıldız ve ark. (2014)'te t_{AK} 'in M ve Z nicelikleri cinsinden hesabı için de matematiksel bir açıklama türetmiştir. Böylece, yıldızın verilen R , M ve Z niceliklerinden görelî yaşını buluruz. Görelî yaşı t_{AK} ile çarparak yıldızın yaşı bulunur.

Eğer yaş hesabında ağır element değeri olarak $Z = Z_{Fe}$ alırsak bulduğumuz yaşlar 17 milyar yıla kadar çıkmaktadır. Bu değer Gökada'nın kabul edilen yaşından (13.4 milyar yıl; Pasquini ve ark. 2004) çok fazladır. $Z = Z_O$ aldığımızda ise yaşlar 0.3--11.3 milyar yıl aralığında bulunmaktadır. Bu sonuç çok daha makuldür.

4 Gezegenlerin Yarıçapını Etkileyen Faktörler

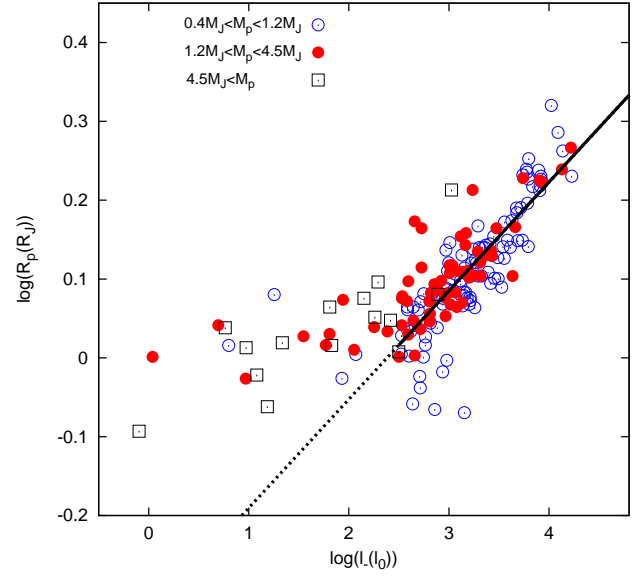
4.1 Barınak Yıldızın Aydınlatma Enerjisi

Yukarıda da değinildiği gibi şişkin dev gaz gezegenlerin bu özelliklerinde barınak yıldızdan gelen akının etkisi olduğu iyi bilinmektedir. Bir çok çalışmada şişkinliğin ne kadar olacağını gezegenin kütlesine bağlı olduğu da belirtilmiştir. Yıldız ve ark. (2014) bulgularına göre yıldızdan gelen akıdan daha önemli olan nicelik birim zamanda gezegenin birim kütlesi başına barınak yıldızdan aldığı enerjidir (l_-). Yıldızdan birim zamanda alınan toplam enerji yıldızdan gelen akı (F_I) ile gezegenin disk alanının (πR_p^2) çarpımıdır:

$$L_- = \pi R_p^2 F_I. \quad (1)$$

Bu niceliği gezegenin kütlesi (M_p) ile bölerek l_- 'yi elde ederiz. Şekil 2'de farklı kütle aralıklarındaki dev gaz gezegenlerin yarıçaplarının l_- 'ye göre nasıl değiştiği gösterilmektedir. l_- 'nin birimi l_0 'dir, l_0 ise bizim Güneş sistemimizde 1 AB uzaklıkta kütlesi 1 M_J ve yarıçapı 1 R_J olan bir gezegen tarafından birim zamanda birim kütle başına alınan enerjidir: $l_0 = 1.106 \times 10^{-4}$ erg $g^{-1} s^{-1}$. l_0 Dünyanın birim zamanda birim kütle başına aldığı enerjinin (l_{\oplus}) yaklaşık yüzde 38'idir. Bu grafikte üzerinde durulması gereken üç önemli nokta vardır: 1) gezegenlerin yarıçapları ile l_- arasındaki ilişki kütleyle herhangi bir bağımlılık göstermemektedir, üç kütle aralığı için de tek bir ilişki mevcuttur; 2) $\log(l_-/l_0) < 2.5$ --2.7 değerlerinde, yani $l_0 < 110$ --190 l_{\oplus} ise, gezegen pek şişmemekte veya çok az şişmektedir; 3) $\log(l_-/l_0) > 2.5$ --2.7 ise ($l_0 > 110$ --190 l_{\oplus}) ise gezegenler çok şişmektedir.

Birinci nokta biraz daha ayrıntılı ele alınmayı hak etmektedir. Neden yarıçapla F_I arasındaki ilişki kütle aralığına bağlıyken yarıçapla l_- arasında tek bir ilişki var? Bu duruma iki açıklama getirilebilir. Öncelikle, bir gezegenin yarıçapını basınç kuvvetleri ile kütleçekim kuvveti arasındaki (hidrostatik) denge belirler. Şişkin gezegenlerde gelişen süreç basınçta bir artışa yol açmalı ki, kütleçekimin üstesinden gelsin. Basınç açısından önemli olan da ne kadar akı alındığı değil bu akının ne kadar bir maddenin ısıtılması için kullanıldığıdır. Birinci açıklama basınç ile l_0 arasındaki ilişkiye dayandırılabilir. İkinci açıklama için, basit bir örnek vereyim; aynı yarıçapa fakat farklı kütlelerle sahip iki gezegeni inceleyelim. Her iki gezegen de aynı miktarda gelen akıya maruz kalsınlar. Bu durumda küçük kütleli olanda genişleme daha fazla olacaktır çünkü kütleçekim ivmesi daha azdır ve



Şekil 2. Gezegen tarafından birim kütle başına birim zamanda alınan toplam enerjiye karşı gezegen yarıçapı. Temsili çizginin denklemi $(0.138 \pm 0.008) \log(l_-/l_0) - (0.327 \pm 0.025)$ 'dir. l_- 'nin yarıçap üzerindeki etkisi $\Delta \log(R_p) = 0.138(\Delta \log(l_-/l_0) - 2.5)$ şeklinde ifade edilebilir.

şişirilen katmanlar çok daha yukarılara çıkabilir. Büyük kütleli gezegenin ise, ısıtılan katmanın kütlesi küçük kütleli gezegeninki ile aynı olsa dahi, çekim ivmesi çok yüksek olduğu için şişmeye meğilli katman çok yukarılara gidemez. Durumu özetlemek için l_- 'yi tekrar yazalım:

$$l_- = \frac{\pi F_I}{M_p/R_p^2} \propto \frac{F_I}{g_p}. \quad (2)$$

Bir başka deyişle yarıçap, esas olarak F_I/g_p oranıyla doğru orantılıdır.

4.2 Karşılıklı Çekim Etkisi

Karşılıklı çekimin basık yörüngeli gezegenler üzerinde etkisini nicel olarak hesaplamak için Storch & Lai (2014)'ün yöntemi uygulanabilir. Storch & Lai (2014) yörünge enerjisinin ısıya dönüşme hızı (\dot{E}) için bir formülasyon geliştiriyorlar. Aydınlatma enerjisinin etkisi çok baskın olduğu için önce bu etkinin payı çıkarılmalı. Elde edilen yarıçap (R_p') \dot{E} 'ye karşı çizildiğinde doğrusal bir ilişki olduğunu saptıyoruz. Karşılıklı çekimin etkili olduğu gezegenli sistemlerde gezegenin yarıçapı yüzde 15 kadar daha fazladır.

4.3 Soğuma

Aslında başlığı "soğuyamama" olarak da yazabilirdik çünkü esas olarak aydınlatma enerjisi (l_-) fazla olan gezegenler soğuyamadıkları için, özellikle de genç olanlar, diğerlerine göre daha büyük yarıçapa sahiptir. Bu durumu, gezegenleri l_- değerlerine göre alt gruplara ayırarak, yaşa (t) karşı R_p grafiğini çizip görebiliriz (bkz. Yıldız ve ark (2014)'ünde şekil 11). Bütün alt gruplar negatif eğime sahiptir. Bir grubun l_- 'si ne kadar yüksekse eğim o kadar keskindir. Bu demektir ki, en düşük l_- 'ye sahip olan grup hızlıca soğuduğu için şu anda çok yavaş bir değişim göstermektedir. Çok düşük l_- 'ye sahip olan Jüpiter'in yarıçapı ilk yarım milyar yılda 1.4 R_J 'den 1.1 R_J 'ye düşmekte,

8 Mutlu Yıldız

sonraki dört milyar yıl gibi bir sürede ise 1.1 R_J 'den 1.0 R_J 'ye azalmaktadır.

5 Sonuç

Şişkin gezegenlerin bu özelliği üzerinde en etkili olan nicelik aydınlatma enerjisidir. Gezegen yarıçapı ile gezegenin barınak yıldızından birim zamanda birim kütle başına aldığı aydınlatma enerjisi arasında çok net bir ilişki vardır. Böyle bir etkinin bulunması çok önemlidir çünkü bu etkiyi çıkardıktan sonra diğer olası etkilerin payını da net bir şekilde görebiliriz. Bu yolla, örneğin, karşılıklı çekim etkisiyle gezegenlerin yarıçapında yüzde 15'e varan fazlalık olduğu görülmektedir. Barınak yıldızların yaşlarının hesaplanması soğuma (ya da soğuyamama) sürecini görmemizi de mümkün kılmaktadır. En büyük dev gaz gezegenleri en yüksek L_* 'ye sahip olanlardır. Aynı (ya da benzer) L_* 'ye sahip olan gezegenlerin en büyük olanları ise en genç olanlarıdır.

Teşekkür

UAK 2015 Prof. Dr. Dilhan Ezer Eryurt'un onuruna düzenlendi. Kendisinin gerek Dünya'da gerekse ülkemizde astronomi-nin gelişmesinde müstesna bir yeri vardır. Bu bildirinin yazarı kendi kişisel akademik öyküsünü Dilhan hocanın öyküsünün bir parçası olarak algılamak ve kendisiyle çalışma şansını ve zevkini yaşamaktan mutluluk duymaktadır. Onu en çok öğrencilerinin ve ülkemiz astronomlarının kaydettiği bilimsel gelişmeler mutlu ederdi. Kendisini saygı ve sevgiyle anıyoruz.

Bu çalışma TÜBİTAK 112T989 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Akeson R. L. ve ark., 2013, *PASP*, 125, 989
Alonso R. ve ark., 2004, *ApJ*, 613, L153
Alsubai K. A. ve ark., 2013, *Acta Astron.*, 63, 465
Auvergne M. ve ark., 2009, *A&A*, 506, 411
Bakos G. Á., Lázár J., Papp I., Sári P., Green E. M., 2002, *PASP*, 114, 974
Bakos G., Noyes R. W., Kovács G., Stanek K. Z., Sasselov D. D., Domsa I., 2004, *PASP*, 116, 266
Barclay T. ve ark., 2013, *Nature*, 494, 452
Borucki W. ve ark., 2009, in Pont F., Sasselov D., Holman M., eds, *Proc. IAU Symp. 253, Transiting Planets*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, p. 289
Burrows A., Guillot T., Hubbard W. B., Marley M. S., Saumon D., Lunine J. I., Sudarsky D., 2000, *ApJ*, 534, 97
Cappetta M. ve ark., 2012, *MNRAS*, 427, 1877
Demory B.-O., Seager S., 2011, *ApJS*, 197, 12
Edvardsson B., Andersen J., Gustafsson B., Lambert D. L., Nissen P. E., Tomkin J., 1993, *A&A*, 275, 101
Ezer D., Cameron A.G.W. 1965, *CaJPh*, 43, 1497
Fortney J. J., Marley M. S., Barnes J. W., N., Guillot T., 2007, *ApJ*, 659, 1661
Fortney J. J., Nettelmann N., 2010, *Space Sci. Rev.*, 152, 423
Guillot T., Burrows A., Hubbard W. B., Lunine J. I., Saumon D., 1996, *ApJ*, 459, L35
Hébrard G. ve ark., 2013, *A&A*, 549, A134
Jackson B., Greenberg R., Barnes R., 2008, *ApJ*, 681, 1631
Johnson J. A. ve ark., 2011, *ApJ*, 730, 79
Kipping D. M., Nesvorný D., Buchhave L. A., Hartman J., Bakos G. Á., Schmitt A. R., 2014, *ApJ*, 784, 28
Knutson H. A. ve ark., 2014, *ApJ*, 785, 126
Koch D. G. ve ark., 2010, *ApJ*, 713, L79
Liu X., Burrows A., Ibgui L., 2008, *ApJ*, 687, 1191
Maxted P. F. L. ve ark., 2013, *MNRAS*, 428, 2645
Mayor M. ve ark., 2003, *The Messenger*, 114, 20

- McCullough P. R., Stys J. E., Valenti J. A., Fleming S. W., Janes K. A., Heasley J. N., 2005, *PASP*, 117, 783
Michel E. ve ark., 2006, in Fridlund M., Baglin A., Lochard J., Conroy L., eds, *ESA SP-1306*:
Pasquini L., Bonifacio P., Randich S., Galli D., Gratton R. G., 2004, *A&A*, 426, 651
Pepper J., Kuhn R. B., Siverd R., James D., Stassun K., 2012, *PASP*, 124, 230
Pollacco D. L. ve ark., 2006, *PASP*, 118, 1407
Siverd R. J. ve ark., 2012, *ApJ*, 761, 123
Smalley B. ve ark., 2012, *A&A*, 547, A61
Southworth J., 2011, *MNRAS*, 417, 2166
Storch N. I., Lai D., 2014, *MNRAS*, 438, 1526
Street R. A. ve ark., 2003, in Deming D., Seager S., eds, *ASP Conf. Ser. Vol. 294, Scientific Frontiers in Research on Extrasolar Planets*. Astron. Soc. Pac., San Francisco, p. 405
Sudarsky D., Burrows A., Hubeny I., 2003, *ApJ*, 588, 1121
Udalski, A., 2003, *Acta Astron.*, 53, 291
Weiss L. M. ve ark., 2013, *ApJ*, 768, 14
Wu Y., 2005, *ApJ*, 635, 674
Yıldız M., 2015, *RAA*, kabul edildi
Yıldız, M., Çelik Orhan, Z., Kayhan, C., Turkoglu, G.E., 2014 *MNRAS*, 445,4395
Yıldız M., Kızıloğlu N., 1997, *A&A*, 326, 187

Erişim:

012-1130: [UAK-2015 Program](#) --- [UAK Bildiri](#) --- [Turkish J.A&A](#).