

# Türk Astronomları Tarafından Keşfedilen İlk Ötegezegen

Mesut Yılmaz<sup>1</sup>★

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Tandoğan, Ankara

## Özet

2007 yılından buyana TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'nde sürdürülen G-K türü dev yıldızların hassas Doppler araştırmaları kapsamında nihayetinde 10 yıllık bir araştırma sonucunda bir ötegezegen keşfedildi. Bizden 212 ışık-yılı uzaklıktaki HD 208897 yıldızının etrafında dolanan gezegen hemen hemen çember bir yörüngeye sahip ve yıldızının etrafında bir tam turunu yaklaşık 350 günde tamamlamaktadır. Kütleli yaklaşık 1.5 Jüpiter kütleli olduğu düşünülen gezegen için fotometrik ve diğer tayfsal yöntemlerle de bir doğrulama yapıldı. Buna göre dikine hızlarda görülen değişimin kaynağı yıldız lekeleri veya zonklamadan olamayacağı anlaşıldı. Gezegen, şu anda sayıları çok az olan (yaklaşık 135 tane) orta-kütleli yıldız etrafında bulunmuş ötegezegenlerden biri olmasından dolayı, özellikle dev gezegenlerin oluşum teorilerine önemli bir ışık tutması açısından literatüre katkı sağlamıştır

**Anahtar Kelimeler:** (stars:) planetary systems, Yıldızlar, Ötegezegenler

## 1 Giriş

Güneş Sistemi dışı gezegen (ötegezegen) araştırmalarında en çok kullanılan yöntemlerden biri olan dikine hız (DH) tekniğinin temel mantığı, gezegene sahip yıldızların tayfindaki soğurma çizgilerin görece Doppler kaymalarını belirlenmesine dayanmaktadır. Gezegenin kütleli ve yıldızına olan uzaklığına bağlı olarak gezegen yıldız üzerinde periyodik bir tedirginlik yaratmakta ve DH'da birkaç  $msn^{-1}$  mertebesinde önemli bir değişim oluşturmaktadır. Ancak, bu mertebedeki bir değişimi saptayabilmek için tayfta yüksek Sinyal/Gürültü oranına ve çok yüksek tayfsal çözünürlüğe ihtiyaç vardır. Klasik yöntemlerde dalga-boyu ölçeklendirmesi için elde edilen referans lamba tayfları birbirlerine göre genellikle farklı zamanlarda ve farklı optik yollar üzerinden alınır. Bu durumda tayfçekerlerde oluşan küçük ölçekli gerilmeler-hareketler, tayfçeker yarığının farklı konumlarına yapılan merkezlemeler ve tayfçeker optiğinin farklı yönlerden aydınlanması gibi etkiler sonucu gerçekte olmayan (istenmeyen) Doppler kaymaları ortaya çıkmasına neden olur. [Griffin \(1973\)](#), DH ölçümleri sırasında eğer yıldız tayfı ile birlikte eş zamanlı olarak referans tayfın da gözlenmesi halinde bu tür istenmeyen etkilerin önemli ölçüde azaltılabileceğini gösterdi. Bu fikirden hareketle, [Marcy & Butler \(1992\)](#) yıldız ve referans tayfı eş zamanlı elde etmek üzere tayfçeker giriş yarığı önüne konulan bir iyodin ( $I_2$ ) soğurma hücresi ile birkaç  $msn^{-1}$  mertebesinde hassasiyetinde DH ölçümü yapılabileceğini deneysel olarak gösterdiler. Bu bulgudan sonra  $I_2$  soğurma hücresinin kullanımı dünya genelinde birçok gözlemevinde yaygınlaştı ve ötegezegen keşif sayısında hızlı bir artışa neden oldu.

Ötegezegen araştırmalarında G ve K tayf türünden yıldızlar özellikle hedef cisimlerdir. Çünkü bunların tayflarında genelde çok keskin soğurma çizgileri vardır. Erken tayf türlerindeki (O, B ve A yıldızları) yıldızların tayfindaki çizgiler daha az keskin ve hızlı dönmelerden dolayı genişleşmişlerdir. Hatta öyle ki bu aşırı genişleme yakın komşuluğundaki çizgilerin birbiri içerisine geçmesine neden olmakta ve dolayısıyla bu çizgilerin birbirlerinden ayrıt edilmesini güçleştirmektedir. Bugüne kadar keşfedilen ötegezegenlerin %90'ı bu G-K türü cüce yıldızların etrafında keşfedilmiştir ([Akeson et al. 2017](#)). Oysa, sadece bunların %5

kadarı ise G-K türü dev yıldızların etrafında keşfedilmiştir. Gezegen oluşum senaryoları için en önemli fiziksel parametre yıldızın kütlelidir. Özellikle orta kütleli yıldızlar ( $1-5 M_{\odot}$ ) gezegen oluşum senaryoları için çok önemli bir yere sahiptir. Bu tür yıldızları saran gezegenimsi disklerin yaşam süreleri düşük kütleli olanlara göre daha kısadır ([Ida & Lin 2004](#); [Mordasini et al. 2008](#)). Dolayısıyla, orta kütleli yıldızların etrafında dev bir gezegenin varlığı doğrudan dev gezegen oluşumunun zaman ölçeğinin belirlememize olanak verir. Disk kararsızlık senaryosuna göre orta kütleli yıldızların etrafındaki dev gezegenler gezegenimsi diskler yok olmadan önce oluşmaktadırlar. Dolayısıyla, bu tür yıldızlar etrafındaki gezegenler bu zaman ölçekleri test etme fırsatı verir ([Johnson et al. 2010](#)). Ek olarak, bu tür yıldızlar etrafında keşfedilmiş gezegenlerin yörünge özellikleri G-K türü cücelere göre önemli ölçüde farklı istatistiksel sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, gezegen oluşumunu genel olarak iyi anlayabilmek için çok farklı kütle değerlerine sahip yıldızlar etrafında gezegenleri araştırmalıyız.

Orta kütleli yıldızlar etrafında gezegen araştırmanın en kolay yolu G-K türü dev yıldızları gözlemektir. Bunlar orta kütleli ( $1-5 M_{\odot}$ ) anakol yıldızların evrimleşmiş halleridir. Ayrıca, sahip oldukları soğuk atmosferleri nedeniyle tayfında çok fazla soğurma çizgisi vardır ve yavaş döndükleri için de hassas DH ölçümleri için uygun adaylardır. Bu motivasyonla Türkiye, Japonya ve Rusya'dan bazı araştırmacıların da içinde bulunduğu uluslararası bir işbirliği ile TUG'da *Hassas Dikine Hız Ölçüm Tekniği ile Güneş Sistemi Dışı Gezegen Araştırma Programı* başlatıldı. Bu işbirliği kapsamında, TUG'un RTT150 teleskobunun Coude Echelle Tayfçekeri (CET)'ne Japonya Okayama Astrofizik Gözlemevi (OAG)'nin optik laboratuvarında üretilen  $I_2$  ünitesi takıldı. On yıldır süren araştırma programında RTT150 teleskobu ve CET için  $10-15msn^{-1}$  düzeyinde DH ölçüm hassasiyetine ulaşılabildiğimizi gösterdik ([Yılmaz et al. 2015](#)). Bu hassasiyet Jüpiter kütleli ötegezegenleri belirleyebilecek duyarlılıktadır.

Bu çalışmada, TUG RTT150 teleskobunda 2007 yılından buyana sürdürdüğümüz ötegezegen araştırma programı kapsamında keşfedilen ilk ötegezegen olan HD 208897b ait sonuçları vermektedir.

★ mesutyilmaz@ankara.edu.tr

## 2 Gözlemler ve Analizler

TUG RTT150 teleskobu ve CET ile gezegen araştırma programı için 50 adet G-K tayf türünden aday yıldız hedef olarak seçildi. Tüm adaylar HIPPARCOS kataloğundan çift veya değişen olmayan yıldızlar arasından seçildi. Ayrıca, adayların seçiminde şu kriterler de uygulandı; görsel parlaklığı  $V \sim 6.5$ , renk indisi  $0.6 \leq B - V \leq 1.0$  ve dikaçıklığı  $\delta \geq -20^\circ$  olacak şekilde bir filtre uygulandı. On yıldır devam eden gözlemlerden 13 aday yıldızın 20 ile  $500 \text{ msn}^{-1}$  arasında DH değişimi gösterdiği anlaşıldı. Bu adayların DH değişim nedenlerini daha iyi anlamak için 2012 yılından itibaren OAG'daki 1.88 m'lik ve Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi (AUKR)'deki 35 cm'lik T35 teleskopları ile de gözlenmeye başlandılar.

### 2.1 TUG RTT150 Gözlemleri

TUG RTT150 teleskobuna bağlı CET ile HD 208897 için Haziran 2009'dan Ocak 2017'e kadar  $2K \times 2K$  Andor CCD kamera ile toplam 73 adet tayf elde edildi. Adayın hassas DH ölçümlerini elde etmek için  $I_2$  ünitesi kullanıldı.  $I_2$  ünitesi tayfçekerin giriş yarığının hemen önüne yer almaktadır, yıldız ışığı bu hücrenin içinden geçtikten sonra tayfçekere ulaşır ve bu sayede referans tayf asıl gözlenmek istenen nesne ile birlikte eşzamanlı olarak gözlenmiş olur. Bu sayede birçok aletsel hatanın elimine edilmesine ve hassas DH'ların ölçülmesine olanak sağlamaktadır. TUG CET 4000-8000 Å dalgaboyu aralığını kapsamakta ve yaklaşık  $R \sim 55000$  çözünürlüktedir. Adayın gözleminde 1800 sn poz süresi kullanıldı ve 5500 Å için piksel başına 60-120 arasında S/N oranı değerlerine erişildi.

### 2.2 OAG Gözlemleri

OAG'deki 1.88 m'lik teleskop ve yüksek verimli fiber tayfçeker HIDES (High Dispersion Echelle Spectrograph) ile 2017 ve 2017 yılları arasında toplam 34 tayf elde edildi. HIDES tayfçekeri 3750-7500 Å dalgaboyu aralığını kapsamakta ve yaklaşık  $R \sim 65000$  çözünürlüktedir. Hassas DH ölçümleri için  $I_2$  ünitesi kullanıldı. Adayın gözleminde 1200 sn poz süresi ile 5000 Å için piksel başına 200 üzerinde S/N oranı değerine ulaşıldı. HIDES tayfçekerin DH hassasiyeti  $3 \text{ msn}^{-1}$  mertebesinde (Harakawa et al. 2015).

### 2.3 AUKR Gözlemleri

HD 208897'in fotometrik gözlemleri AUKR'deki 35 cm'lik T35 teleskobu ve ona bağlı  $1K \times 1K$  Apogee ALTA U47 CCD kamera ile gerçekleştirildi. Gözlemler 2014 ve 2017 yılları arasında yapıldı. Kameranın plak eşeli piksel başına  $0''.75$  ve görüş alanı  $13' \times 13'$  dir. Gözlemlerde tek renk Bessel-R filtresi ile daha hassas fotometrik hassasiyete ulaşabilmek için odak-dışı gözlem tekniği kullanıldı. Odak-dışı gözlemlerin PSF aralığı 30 ile 50 piksel arasında değişmektedir.

### 2.4 Veri Analizi

TUG ve OAG gözlemlerinden elde edilen tayfsal veriler IRAF<sup>1</sup> paketleri yardımıyla standart şekilde işlendi (lat, bias, dark ve saçılmış ışık etkisi düzeltilmesi vb.) ve her bir eşel basamak için süreklilik seviyeleri belirlenerek tayflar normalize edildi. Gece içerisinde alınan Th-Ar (toryum-argon) lamba tayfları

yardımlarıyla da her bir eşel basamağın dalgaboyu ölçeği hesaplandı. Adayın hassas DH ölçümleri IDL<sup>2</sup> yazılım dili kullanılarak geliştirilen özgün bir analiz kodu ile elde edildi. Marcy & Butler (1992) ve Sato et al. (2002)'in önerdiği yöntemin temelini dayanan bu analiz tekniğinde, tayfçekerin alıcı çıkışında elde edilen yıldız+ $I_2$  hücresinin bütünlük tayfı küçük (2-5 Å) parçalara bölünerek her bir parça için Doppler kayma miktarı  $\Delta\lambda$  hesaplanmakta. Bu yöntemle göre her bir tayfsal bölge için Doppler kayma miktarları hesaplanarak DH değerleri belirlendi. Her bir parçadan elde edilen ölçümler ilgili parçanın S/N oranına ve  $\chi^2$  (ki-kare) değerine göre ağırlıklandırılarak tek bir DH değerine dönüştürüldü. Son olarak, elde edilen bu DH değeri için Hobbs et al. (2006) önerdiği yöntemle kütle merkezli hız düzeltilmesi yapıldı. Hem TUG hem de OAG'de elde edilen DH ölçümleri Şekil 1'te verildi. Her iki gözlemeviden elde edilen DH değerleri 30-40  $\text{msn}^{-1}$  arasında bir değişim göstermektedir. DH ölçümlerin periyodik bir değişim gösterip göstermediğini anlamak için Lomb-Scargle (L-S) (Scargle 1982) periodogram analizi gerçekleştirildi ve yaklaşık 350 gün civarında güçlü bir dönem gösterdiği görüldü (bkz. Şekil 1'deki sağ panel).

AUKR'de elde edilen fotometrik veriler IRAF yazılımı kullanılarak işlendi. Aletsel etkilerden arındırılan fotometrik veriler üzerinde daha sonra IDL'in APER kodu ile açıklık fotometrisi gerçekleştirildi. Görüntüler üzerinde seçilen mukayese yıldızlar yardımıyla da hedef yıldızın görelî parlaklıkları ve hataları belirlendi. Toplamda 3821 gözlem noktası elde edildi ve örnek ışık eğrisi Şekil 2'de verildi. HD 208897 için elde edilen fotometrik değişkenlik yaklaşık  $\sigma \sim 0.03$  kadardır. Bu veriler için yapılan dönem analizlerinde önemli bir periyodik sinyal görülmedi (bkz. Şekil 2'deki sol alt panel). Çalışmada ayrıca HIPPARCOS fotometrik verileride incelendi ve bu verilerin fotometrik değişkenliği  $\sigma \sim 0.008$  kadar mertebesinde olduğu anlaşıldı. Benzer şekilde HIPPARCOS fotometrik verileri için de önemli periyodik bir değişim görülmedi.

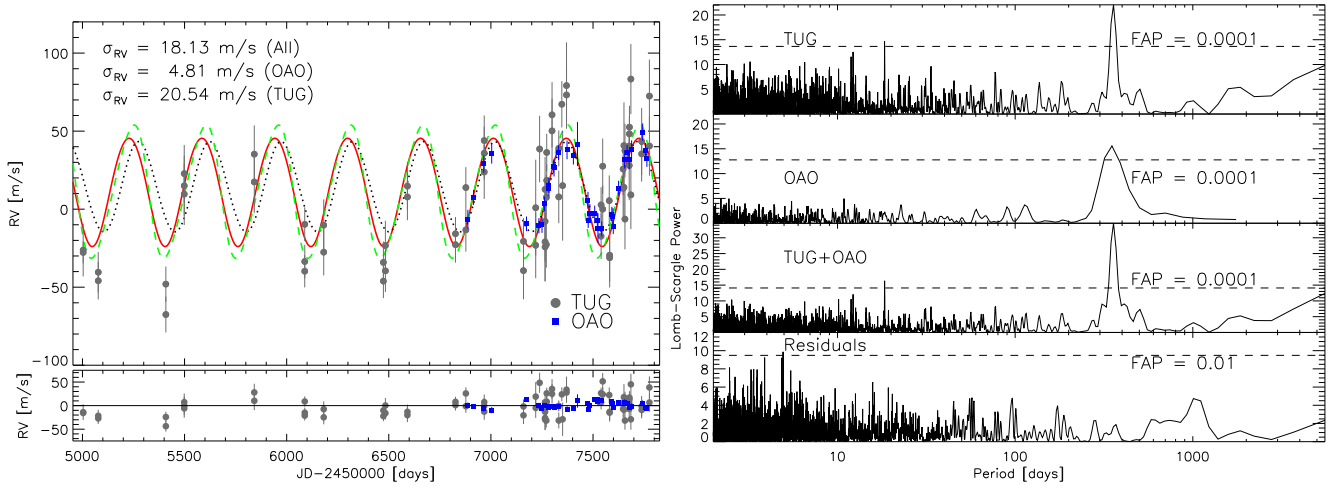
## 3 HD 208897'nin Fiziksel Parametreleri

HD 208897 (HIP 108513) yıldız görsel parlaklığı  $V = 6^m.51$  olan K0 tayf türünden dev bir yıldızdır. HIPPARCOS paralaksı 15.46 mas, bu değere karşılık gelen uzaklık ise 64.68 pc ve görsel mutlak parlaklığı ise  $M_V = 2^m.46$  dir. Aday yıldızın renk artışı  $E(B - V)$  değeri Schlegel et al. (1998) 'ni yaptığı kırmızıöte toz salma haritlarından elde edildi. Sönümlenme ile kızarma arasındaki oranını 3.1 olarak varsayarak yıldızlararası sönümlenme değeri  $A_V = 0.047$  olarak hesaplandı. Flower (1996) tabloları kullanarak ta yıldızın bolometrik düzeltmesi  $B.C = -0.392$  olarak elde edildi.

Adayın fiziksel ve atmosfer parametrelerini belirlemek için model atmosfer analizi yapıldı. Bu amaçla,  $I_2$  hücresi olmaksızın elde edilen yüksek çözünürlüklü CET tayflarında Fe I ve Fe II çizgilerin eşdeğer genişlik (EW) ölçümleri yapıldı. Yıldızın dönme hızını belirleyebilmek için ise orta şiddetteki örtüşmemiş temiz soğurma çizgilerin profillerine Gauss fiti yapıldı. ATLAS9 (Kurucz 1993) analiz kodu ve VALD (Ryabchikova & Pakhomov 2015) atomik veri veritabanı yardımıyla ölçülen eşdeğer genişlikler için uyarılma ve iyonizasyon dengeleri kullanılarak yıldızın nihai atmosfer parametreleri belirlendi. Buna göre, en iyi sonuçlar demir bolluğu  $[Fe/H] = 0.21$ , mikrotürbülans hızı  $v_t = 1.28$ , etkin sıcaklığı  $T_{eff} = 4860$  K, dönme hızı  $v \sin i = 3.9 \text{ kmsn}^{-1}$  ve yüzey çekim ivmesi

<sup>1</sup> <http://iraf.noao.edu/>

<sup>2</sup> <https://www.harrisgeospatial.com/Software-Technology/IDL>



**Şekil 1.** Sol grafik: HD 208897 için gözlenen DH ölçümleri ve en iyi yörünge fiti çözümleri. Sürekli kırmızı çizgi TUG+OAG, yeşil kesikli çizgi OAG ve noktali eğri TUG için olan çözümleri göstermektedir. Fitten olan artıklar sırasıyla  $18.13 \text{ ms}^{-1}$ ,  $4.81 \text{ ms}^{-1}$  ve  $20.54 \text{ ms}^{-1}$ . Sağ grafik: TUG, OAG ve TUG+OAG verileri için Lomb–Scargle periodogram analizi. Yatay kesikli çizgiler hata güvenilirlik seviyelerini (FAP) göstermektedir.

**Çizelge 1.** HD 208897'nin fiziksel parametreleri.

Parametre	Bu çalışma
Tayf Türü	K0
$V$ [mag]	6.51
B-V	1.01
$\pi$ [mas]	$15.46 \pm 0.54$
B.C.	-0.392
$M_V$	2.456
$A_V$	0.047
$T_{eff}$ [K]	$4860 \pm 100$
$\log L_*$ [ $L_\odot$ ]	$1.09 \pm 0.07$
$\log g$ [cgs]	$3.13 \pm 0.14$
$M_*$ [ $M_\odot$ ]	$1.25 \pm 0.11$
$R_*$ [ $R_\odot$ ]	$4.98 \pm 0.20$
[Fe/H] [dex]	$+0.21 \pm 0.15$
$v \sin i$ [ $\text{kms}^{-1}$ ]	$3.90 \pm 0.42$
$V_t$ [ $\text{kms}^{-1}$ ]	$1.28 \pm 0.24$

$\log g = 3.13$  değerleri için elde edildi. Stefan-Boltzmann yasasından bolometrik ışıınım gücü  $L_* = 12.3L_\odot$  ve yıldızın yarıçapı  $R_* = 4.98R_\odot$  olarak hesaplandı. Bu bulgulardan hareketle de yıldızın kütlesi  $M_* = 1.25M_\odot$  olduğu saptandı. Sonuçlar, yıldızın metalce zengin ve RGB evresinin henüz daha başında olan bir yıldız olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verildi. Bu bulgulara göre, HD 208897'nin dönme döneminin üst limiti yaklaşık 64 gün olduğunu göstermektedir. Bu değer DH sonuçlarından elde edilen 350 gün mertesindeki dönemden bir hayli küçüktür.

## 4 Bulgular

### 4.1 Yörünge Çözümü

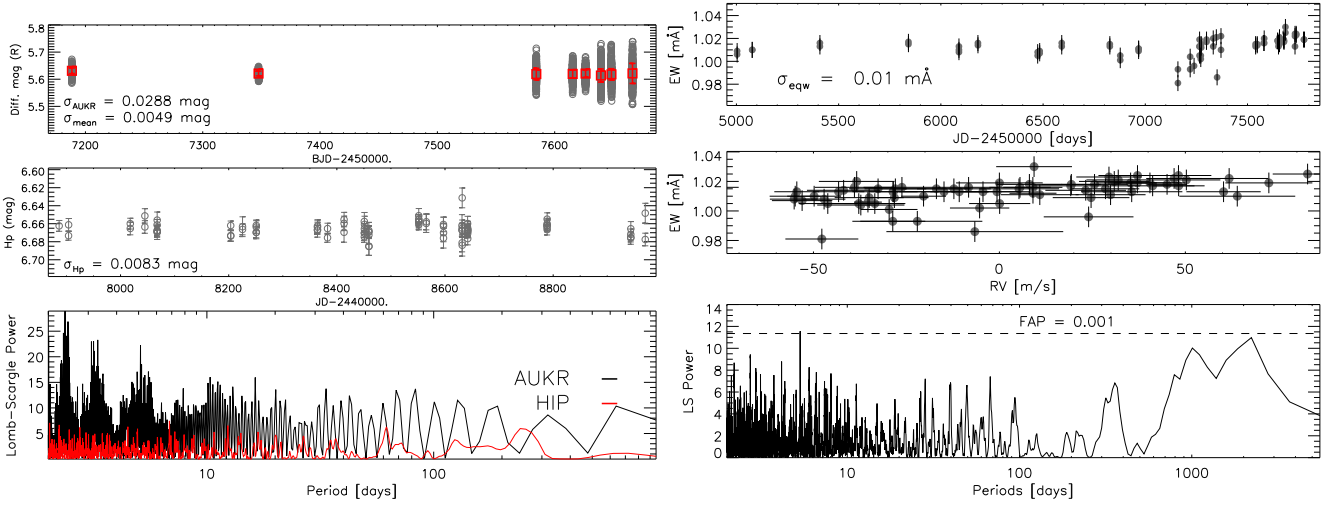
DH ölçümlerinde önemli bir değişim gösterdiği anlaşılan HD 208897 için Kepler yörünge analizi yapılarak görünmeyen bileşene ait yörünge parametreleri elde edildi. Yıldızın fiziksel parametreleri yardımıyla yoldaş bileşenin kütlesi için bir alt limit değeri hesaplandı ( $m_p \sin i$ ). Yörünge parametrelerini belirlemek amacıyla MCMC (Markov Chain Monte Carlo) algoritmasını temel alan exofast (Eastman et al. 2013) IDL kodu kullanıldı. Analizde yörünge dönemi  $P$ , enberi geçiş za-

**Çizelge 2.** HD 208897'nin yörünge çözümleri.

Parametre	TUG+OAO	OAO	TUG
$P$ (gün) . . . . .	$352.7 \pm 1.7$	$349.7 \pm 3.3$	$353.6 \pm 2.7$
$K_1$ ( $\text{ms}^{-1}$ ) . . . . .	$34.7 \pm 2.2$	$28.9 \pm 1.2$	$42.7 \pm 5.5$
$e$ . . . . .	$0.07 \pm 0.06$	$0.04 \pm 0.03$	$0.15 \pm 0.11$
$\omega$ (deg) . . . . .	$167 \pm 83$	$297 \pm 64$	$89 \pm 42$
$V_0$ ( $\text{ms}^{-1}$ ) . . . . .	$12.1 \pm 1.8$	$14.1 \pm 0.9$	$11.2 \pm 3.8$
$T_p$ (BJD-2450000)	$5036 \pm 82$	$6961 \pm 54$	$4971 \pm 46$
$m_2 \sin i$ ( $M_J$ ) . . . . .	$1.40 \pm 0.08$	$1.16 \pm 0.05$	$1.70 \pm 0.18$
$a$ (AB) . . . . .	$1.05 \pm 0.03$	$1.04 \pm 0.03$	$1.05 \pm 0.03$
$a_1 \sin i$ ( $10^{-3} \text{ AU}$ )	$1.1 \pm 0.1$	$0.9 \pm 0.2$	$1.4 \pm 0.3$
$\Delta RV$ ( $\text{ms}^{-1}$ ) . . . . .	13.63	-	-
$N_{obs}$ . . . . .	107	34	73
RMS ( $\text{ms}^{-1}$ ) . . . . .	18.13	4.81	20.54
Reduced $\sqrt{\chi^2}$ . . . . .	0.95	0.96	1.01

**Note:**  $\Delta RV$ , TUG ve OAG arasındaki dikine hız farkı.

manı  $T_p$ , dışmerkezlik değeri  $e$ , DH genişliği  $K_1$ , enberi geçiş boylamı  $w$  ve DH'nin sıfır noktası  $V_0$  serbest parametreler olarak seçildi. Yörünge analizi üç farklı şekilde gerçekleştirildi; sadece TUG, sadece OAG ve hem TUG hem de OAG verilerini birlikte değerlendirerek. Her üç durum için elde edilen en iyi yörünge çözüm sonuçları Tablo 2'de ve DH'lara yapılan en iyi Kepler fit sonuçları Şekil 1'te gösterildi. Bu analizlere göre TUG+OAG verilerinden görünmeyen bileşenin kütlesi  $m_p \sin i = 1.40M_J$  olarak belirlendi. Yapılan Kepler fitlerinden olan artıklar da yaklaşık olarak  $18 \text{ msn}^{-1}$  mertebesinde bir saçılma göstermektedir ki bu değer TUG RTT150 için olan DH hassasiyeti ile oldukça uyumludur. OAG için yapılan fitten olan artıklar daha küçük ( $5 \text{ msn}^{-1}$ ) saçılma göstermektedir. Bunun nedeni OAG HIDES tayfçekerin daha hassas DH hassasiyetine sahip olmasıdır. Ancak, TUG verileri daha geniş bir zaman aralığını kapsayan gözlemleri içerdiğinden yörünge dönemini belirlemede daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, hem TUG hem de OAG verilerini ortak içeren çözümler daha anlamlıdır.



**Şekil 2.** Sol grafik: HD 208897'nin AUKR ve HIPPARCOS'tan elde edilen fotometrik gözlemleri. İçi açık kırmızı kareler gecedeki Bessel-R ölçümlerin ortalamasını göstermekte. Sağ grafik:  $H\alpha$  çizgisinin EW ölçümlerin zamana ve DH ölçümlerine göre değişimi.

#### 4.2 Dikine Hız Değişimine Neden Olan Diğer Mekanizmalar

Yıldız yüzeylerindeki parlaklık düzensizlikleri (soğuk veya sıcak leke) yıldızın dönmesi nedeniyle DH değişimine neden olmaktadır. Benzer şekilde, çapsal ve çapsal olmayan zonklamalar veya manyetik bir çevrim de DH'larda dönemli bir değişim yaratırlar. Ancak, bütün bu etkiler yıldızın tayfsal çizgi profillerini bozarak asimetrik çizgi profillerin oluşmasına neden olurlar. Bu etkileri var olup olmadığını test etmek için de adayın Ca II H ve  $H\alpha$  çizgileri, fotometrik değişimleri ve yıldızın çizgi profil biçimleri incelendi.

Yıldız yüzeyinde parlaklık düzensizliklerine neden olan etkiler yıldızın dönme dönemi ile ilişkili olacak şekilde parlaklık değişimleri gösterir. Şekil 2'den görüleceği üzere, hem AUKR hem de HIPPARCOS fotometrik verileri önemli bir fotometrik değişim göstermediğine işaret etmektedir. Hatzes (2002) leke alanları ile DH genlikleri arasındaki çalışmasına göre  $35[m.s^{-1}]$  genlikli DH değişimi neden olabilecek lekeler yıldız yüzeyinde %1.5 bir alan kaplamalıdır. Böyle bir leke alanı da fotometrik olarak ışık eğrisinde  $\Delta m = 0^m.05$  mertebesinde bir değişim yaratır. Bu değer AUKR ve HIPPARCOS fotometrik verileri ile karşılaştırıldığında  $1.5\sigma$  daha yukarıdadır. Ayrıca, elde edilen yıldız parametreleri bu tür bir dönem değişiminin maksimum 64 günden daha büyük olamayacağını göstermektedir. Bu nedenle, yıldız yüzeyindeki leke veya plaj bölgeleri HD 208897'nin DH eğrisinde görülen 350 gün civarındaki dönem değişimini açıklayamamakta. Bununla birlikte, aday yıldızın Ca II H ve  $H\alpha$  çizgileri de incelendi. Şekil 3'teki sol panelde Ca II H çizgisi bölgesi verildi ve açıkçası bu çizginin merkezinde herhangi bir salma özelliği görülmemektedir. Şekil 2'deki sağ grafiklerde ise  $H\alpha$  çizgilerin zamana göre EW ölçümleri verildi ve şeklin sağ alt panelinden de açıkça görülebileceği gibi bu ölçümler önemli bir dönem değişimi göstermemektedir.

HD 208897'nin tayf çizgilerindeki asimetrisini araştırmak için çizgi profil analizi gerçekleştirildi. Çizgi profillerindeki bu asimetrisini belirlemek için çizgi ortayları (bisektör) incelendi (Gray 2005). Bunun için ilk olarak, aday yıldızın temiz ve orta şiddetteki tayf çizgileri seçildi. Bu çizgiler,  $I_2$  soğurma çizgilerinin yıldız tayfını etkilemedi bölgelerdeki tayf çizgilerinden seçildi. Daha sonra, bu çizgiler yıldızın öz-yıldız (template) tayfı ile

çapraz korelasyona (CCF) tabi tutularak ortalama bir çizgi profili oluşturuldu ve çizgi ortayları hesaplandı. Çizgi ortaylarını hesaplamak için iki ölçüt kullanıldı, BVS (Bisector Velocity Span) ve BVC (Bisector Velocity Curvature) hız alanlarıdır. Elde edilen sonuçlar Şekil 3'te sağ panelde verildi ve şekilden de görüleceği üzere çizgiortay ölçütleri DH'larla bir korelasyon göstermediği görülmektedir. Bu sonuçlar, DH değişimine neden olan olgunun gezegen kaynaklı olduğunu desteklemektedir.

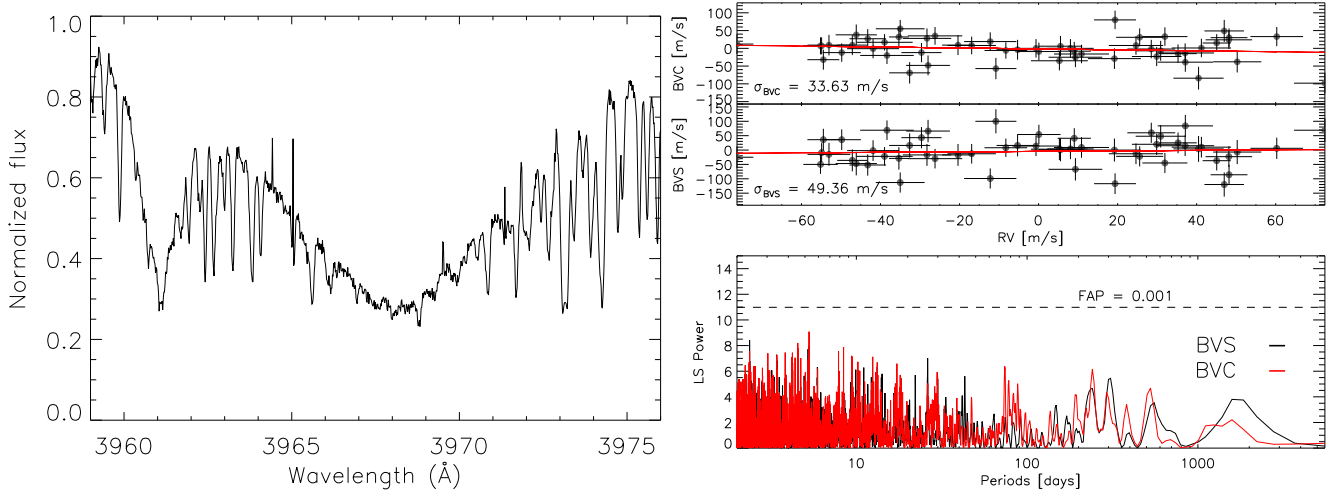
#### 5 Tartışma ve Sonuç

2007 yılından beri TUG RTT150'de sürdürülen Güneş Sistemi Dışı Gezegen Araştırmaları isimli çalışma kapsamında ilk ötegezegen HD 208897 yıldızının etrafında keşfedildi. Hem TUG hem de OAG'da yapılan hassas DH ölçümlerinde 350 gün mertebesinde periyodik bir değişim olduğunu göstermektedir. Dönem ve yörünge analizleri ötegezegenin kütlelerinin yaklaşık  $1.40 M_J$  olduğuna işaret etmektedir. Yapılan tayfsal çizgi profil ile ışık ölçüm analizleri DH'da görülen değişimin yıldız-altı bir cisimden kaynaklı olabileceğini desteklemektedir. Ayrıca, Ca II H ve  $H\alpha$  çizgileri için yapılan analizler aday yıldızda kromosferik aktivite kaynaklı bir etkinin olmadığını göstermektedir.

HD 208897 için yapılan model atmosfer analizleri, kütleli  $1.25 M_{\odot}$  ve metalce zengin bir yıldız olduğunu göstermektedir. Elde edilen parametreler de adayın henüz daha RGB evresinin başında olduğunu belirtmekte. Yıldız etrafındaki gezegen, yıldızından yaklaşık  $1 AB$  uzaklıkta ve neredeyse dairesel bir yörüngede ( $e \sim 0.1$ ) dolanmaktadır. Gezegenin bulunduğu bu konum, RGB evresinin başında olan yıldız (yarıçapı  $\sim 0.025AB$ ) ile henüz daha ciddi bir çekimsel etkileşme olmadığını da desteklemektedir.

#### Kaynaklar

- Akeson R. L., Christiansen J., Ciardi D. R., Ramirez S., Schlieder J., Van Eyken J. C. a., 2017, in American Astronomical Society Meeting Abstracts. p. 146.16  
 Eastman J., Gaudi B. S., Agol E., 2013, PASP, 125, 83  
 Flower P. J., 1996, ApJ, 469, 355  
 Gray D. F., 2005, PASP, 117, 711  
 Griffin R., 1973, MNRAS, 162, 243  
 Hatakawa H., et al., 2015, ApJ, 806, 5  
 Hatzes A. P., 2002, AN, 323, 392



**Şekil 3.** Sol grafik: HD 208897 için Ca II H (3968.5Å) soğurma çizgisi bölgesi (sol) Sağ grafik: Çizgi-ortay BVC ve BVS değerlerin DH değerleri olan değişimleri. Sürekli kırmızı eğri çizgi-ortaya yapılan fiti göstermektedir.

Hobbs G. B., Edwards R. T., Manchester R. N., 2006, MNRAS, 369, 655

Ida S., Lin D. N. C., 2004, ApJ, 604, 388

Johnson J. A., Aller K. M., Howard A. W., Crepp J. R., 2010, PASP, 122, 905

Kurucz R., 1993, ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid. Kurucz CD-ROM No. 13. Cambridge, Mass.: Smithsonian Astrophysical Observatory, 1993., 13

Marcy G. W., Butler R. P., 1992, PASP, 104, 270

Mordasini C., Alibert Y., Benz W., Naef D., 2008. p. 235  
([arXiv:0710.5667](https://arxiv.org/abs/0710.5667))

Ryabchikova T., Pakhomov Y., 2015, Baltic Astronomy, 24, 453

Sato B., Kambe E., Takeda Y., Izumiura H., Ando H., 2002, PASJ, 54, 873

Scargle J. D., 1982, ApJ, 263, 835

Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., Davis M., 1998, ApJ, 500, 525

Yılmaz M., et al., 2015, NewA, 34, 108

#### Erişim:

O41-0900: [UAK-2018 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A](#).