

Ötegezegen Geçiş Gözlemleri

Gözde SARAL, Zahide TERZİOĞLU ve Ethem DERMAN

Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Ankara
saralgzde@gmail.com

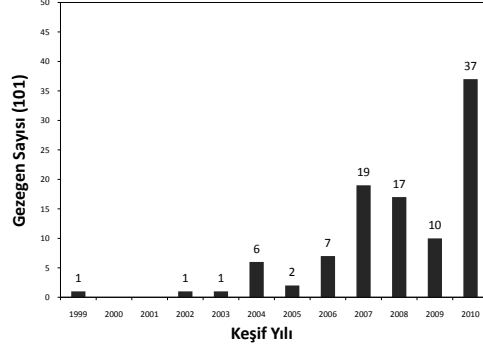
Özet Bu çalışmada Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde (AUG) ötegezegen geçiş gözlemlerine ilişkin elde edilen ilk sonuçlar sunulmaktadır. AUG'de ilk ötegezegen gözlemleri 2009 yılı Ağustos ayında geçiş gözlemi projesi ile yürütülmeye başlanmıştır. Kullanılan aletler 16" Schmidt-Cassegrain Meade LX200GPS teleskop ve Apogee ALTA U47 CCD kamerasıdır. Işık eğrisi analizinde Wilson-Devinney yöntemine dayanan Phoebe 0.29d kodu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, geçiş gözlemlerinde elde edilen ışık eğrilerinin analizinde Phoebe 0.29d'nin uygun bir kod olduğunu göstermektedir.

1 Giriş

Son yıllarda gökbilimin en önemli başarılarından biri Güneş dışındaki diğer yıldızların çevresinde dolanan gezegenlerin (ötegezegen) keşfedilmesi olmuştur. İlk ötegezegen PSR1257+12 (Wolszczon and Frail, 1992) bir atarca çevresinde keşfedildikten üç yıl sonra bir anakol yıldızı çevresinde dolanan 51 Peg (Mayor and Queloz, ?) keşfedilmiştir. Transit (geçiş) gösterdiği bilinen ilk ötegezegen ise HD 209458'dir (Charbonneau et al. 2000). Ötegezegenlerin gözlenmesi sonucu bu gezegenlerin fiziksel özellikleri (kütle, yarıçap, yörünge dış merkezliği, yörünge eğimi, vb.) ile birlikte atmosferleri de incelenmeye başlanmıştır. Bu çalışmalar gezegen oluşum kuramı ve evrimi ile ilgili çok değerli bilgiler edinmemizi sağlamaktadır.

27 Ağustos 2010 tarihi itibarıyla keşfedilmiş ötegezegen sayısı 490'dır ve bunlardan 101 tanesinin geçiş gösterdiği bilinmektedir (<http://exoplanet.eu>). Küçük teleskoplarla (10- 14") geçiş gözlemlerinin yapılmaya başlanmasının yanısıra, yer tabanlı gezegen araştırma projeleri ve uzay teleskoplarıyla yapılan gözlemler geçiş gösterdiği bilinen ötegezegenlerin sayısını hızla artırmaktadır. Öyle ki 2007 yılında sadece 9 tane geçiş gösteren gezegen olduğu bilinirken 6 ay sonrasında bu sayı 14'e ve 3 yıl sonrasında 101'e ulaşmıştır (Şekil 1).

Geçiş yöntemiyle ötegezegen keşfinin kısa sürede hızlanmasının en önemli nedenlerinden biri kuşkusuz yerden yapılan keşif programlarının artmasıdır. Yer tabanlı keşif programlarına örnek olarak WASP (Pollacco et al. 2006), HATNet (Bakos et al. 2004), TrES, XO (McCullough et al. 2005) verilebilir. Ötegezegenlerin çoğu bu projelerin ismini taşımaktadır. Yer tabanlı gözlemlerin yanısıra uzay



Şekil 1. Keşif yıllarına göre geçiş gösteren ötegezegenlerin sayısı. Veriler exoplanet.eu internet sitesinden alınmıştır (Schneider 1995).

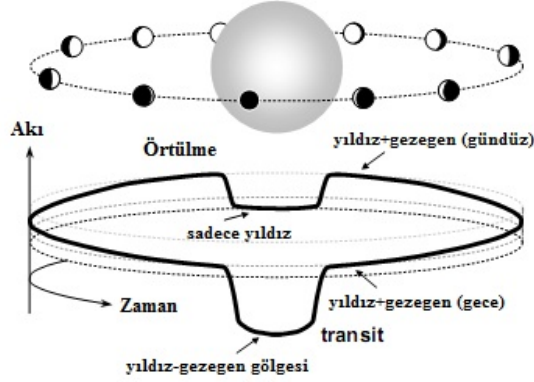
teleskopları ile (CoRoT, Kepler) yapılan gözlemler sistemdeki başka cisimlerden kaynaklanabilen geçiş zamanı değişimlerinin yüksek duyarlılıklarla çalışılmasına da izin vermektedir. Bunun sonucunda sistemdeki diğer gezegenlerin hatta uyduların bulunmasını sağlayacak daha duyarlı ışık eğrileri elde edilebilmektedir. Ayrıca daha sönük yıldızlar çevresinde dolanan gezegenlerin keşfedilmesi de uzay teleskopları sayesinde mümkün olmaktadır.

2 Geçiş Yöntemi ve Getirileri

Bir ötegezegenin çevresinde dolandığı yıldızın önünden geçişi sırasında yıldız ışığının bir kısmı engellendiğinden gelen akıda bir miktar düşüş olur. Geçişin sona ermesinin ardından akı yükselir ve ardından gezegen yıldız tarafından örtüldüğünde akı tekrar düşer (Şekil 2).

2.1 Fotometrik Çalışmalar

Geçiş gösteren gezegen gözlemleriyle birlikte geçiş fotometrisi adıyla yeni bir alan doğmuştur. Geçiş fotometrisi ile ötegezegenin yıldız diski önünden geçişinin başlama ve bitiş zamanları hesaplanır, geçiş geometrisi ve örtülmenin derinliği konusunda bilgiler elde edilir. Bu bilgiler ile ışık eğrileri modellenerek geçiş gösteren sistemin bazı gezegen parametreleri elde edilir. Bunlar, gezegen-yıldız yarıçap oranı (R_g/R_y), yıldız yarıçapı biriminde yarı büyük eksen uzunluğu (a/R_y), yörünge eğimi i , kenar karması parametreleri, transit zamanı (T_0), giriş ve



Şekil 2. Geçiş ve örtülme olaylarının gösterimi (Winn 2010)

çıkış evreleri ve transit süresi. Geçiş gözlemleri ile elde edilen geçiş zamanı ve dönem değerleri tayfsal veya astrometrik verilerden elde edilenlerden daha duyarlıdır (Winn 2010), dolayısıyla bu çalışmalar çok değerli bilgiler sağlar.

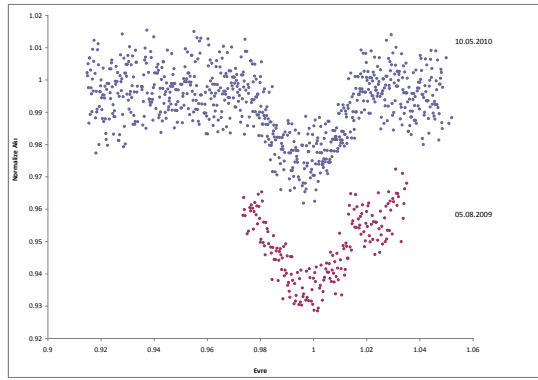
Geçiş olaylarını gözlemenin temel nedenlerinden biri gezegenin kütlesini ve yarıçapını belirlemektir. Ancak tek bir ışık eğrisi ile bu mümkün değildir. Işık eğrisi gezegen yarıçapını değil gezegen-yıldız yarıçap oranını (R_g/R_y) verir, buna karşılık kütlesi hakkında birşey söylemez. Gezegenin kütlesini öğrenmek için ışık eğrisine ek olarak yıldızın dikine hız gözlemi gereklidir. Fotometrik gözlemlerden gezegenin yarıçapı, dikine hız gözlemlerinden ise kütlesi elde edildiğinde gezegenin yoğunluğuna gidilerek iç yapısı modellenebilir. Böylece gezegen oluşum ve evrim modelleri çalışılabilir.

Geçiş zamanı değişimleri başka gezegen ve uyduların hatta gezegen halkalarının varlığını ortaya çıkarabilir. Fotometrik olarak yapılabilecek bir diğer çalışma da geçiş sırasında gezegenin farklı filtrelerde gözlenmesidir. Burada amaç gezegen yıldızın önünden geçtiği süre boyunca kenar kararması fonksiyonunu elde etmektir. Geçiş geometrisinin ve yıldızın kenar kararmasının çalışılması sistemin oluşumu ve evrimi çalışmaları için önemlidir.

2.2 Tayfsal Çalışmalar

Tayfsal çalışmalar ötegezegenlerin atmosferleri hakkında bilgi sağlar. Geçiş sırasında yıldız ışığının bir kısmı gezegenin üst atmosferi içinden geçer. Bu sırada atmosferdeki atom ve moleküllerin özelliklerine bağlı olarak alınan tayfta soğurma çizgileri görülür. Bu çizgiler gözlemciye ötegezegen atmosferinin bileşimi hakkında bilgi verir. Diğer taraftan ötegezegen, yıldız diskinin arkasına geçerken yani örtülme olayı gerçekleşirken yapılan gözlemler gezegenin parlaklık dağılımı ve

yüzev sıcaklığı hakkında bilgi verir (Winn 2010). Gezegen atmosferi tarafından oluşturulan tayfsal değişimlere ek olarak yıldız diskinde bağlı olarak meydana gelen değişimler de vardır. Bunlardan en göze çarpanı yıldızın dönmesinden kaynaklanan bir etki olan Rossiter-McLaughlin Etkisidir. Yıldız diskinin gözlemciye yaklaşan tarafındaki ışık maviye kayar, uzaklaşan tarafındaki ise kırmızıya kayar. Böylelikle yıldızın soğurma çizgilerinin biçimi bozulur. Geçiş sırasında yapılan gözlemlerle sistemin dikine hızlarını inceleyerek gezegen oluşum ve göçlerine ilişkin çalışmalar yapılabilir.



Şekil 3. TrES-3b ötegezegeninin AÜG 'de elde edilen ilk geçiş ışık eğrileri

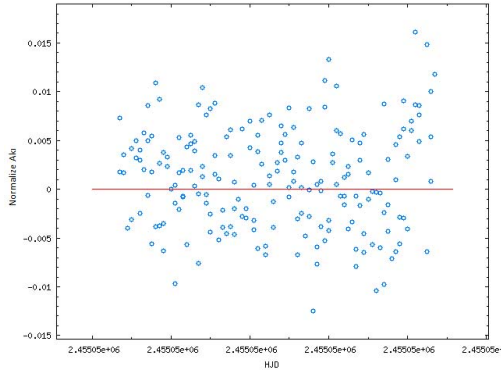
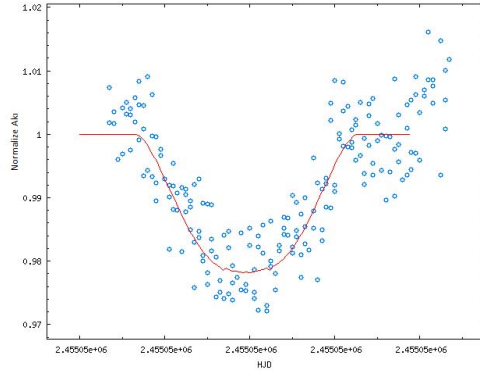
3 Ankara Üniversitesi Gözlemevi Geçiş Gözlemleri

AUG 'de ilk ötegezegen gözlemleri 2009 yılı Ağustos ayında geçiş gözlemi projesi kapsamında yürütülmeye başlanmıştır. Gözlemlerde 16" Schmidt- Cassegrain Meade LX200GPS teleskop ve Apogee ALTA U47 CCD kamera kullanılmaktadır. Gözlenen ötegezegenler TrES-3b, HATP-1b, XO-2b, XO-4b, WASP-3b, WASP-12b, WASP,13b, WASP-21b ve WASP-33b 'dir. Bu çalışmada TrES-3b ötegezegenine ait 5 Ağustos 2009 ve 10 Mayıs 2010 tarihli ışık eğrilerinden (Şekil 3) elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

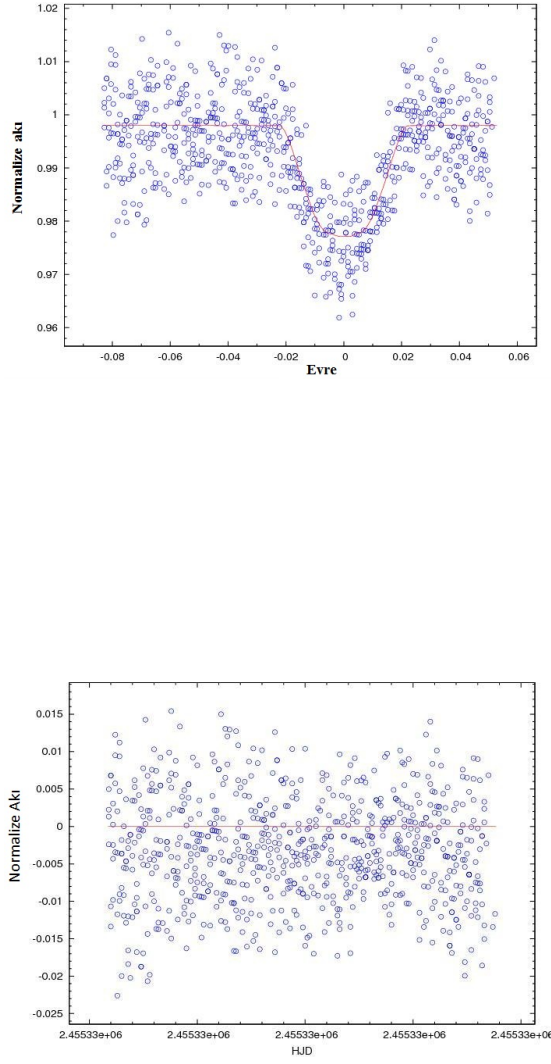
5 Ağustos 2009 tarihli geçiş gözleminde poz süresi 25 s olmak üzere iki saat süreyle R bandında 203 görüntü elde edildi. 10 Mayıs 2010 tarihli geçiş gözleminde poz süresi 15 s olmak üzere R bandında 1103 görüntü elde edildi. Kullanılan mukayese ve denet yıldızları sırasıyla GSC 3089 995 ve GSC 3089 741 'dir. Işık eğrisi minimum zamanı, Parabolik fit, Tracing Paper, Bisectors of Chords,

Kwee and van Woerden, Fourier fit ve Sliding Integrations yöntemlerini kullanan Minima 25d (Nelson 2005) programı kullanılarak elde edildi. Geçiş ortası zamanı 05.08.2009 tarihinde $2455049.29922 \pm 0,00013$ ve 10.05.2010 tarihinde $2455327.51024 - 0.00184$ olarak bulundu.

Tüm CCD görüntüleri standart IRAF yöntemleri ile indirildi ve farklı açıklıklarda ışık ölçümü DAOPHOT paketi kullanılarak yapıldı. 05.08.2009 tarihine ait geçiş ışık eğrisine yapılan teorik fit O-C farklarıyla birlikte Şekil 4'te, 10.05.2010 tarihine ait geçiş ışık eğrisine yapılan teorik fit O-C farklarıyla birlikte Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 4. TrES-3b ötegezegeninin 05.08.2009 tarihli ışık eğrisine yapılan teorik fit ve O-C farkları



Şekil 5. TrES-3b ötegezegeninin 10.05.2010 tarihli ışık eğrisine yapılan teorik fit ve O-C farkları

Geçiş gösteren gezegenleri çalışanlar ışık eğrisi analizi için kendi yazdıkları kodları kullanmayı tercih etmektedirler. Bu çalışmada, genellikle örten çift yıldızların ışık eğrilerini çalışanların iyi bildiği Wilson-Devinney yöntemine (Wilson and Devinney, 1971) dayanan Phoebe 0.29d kodu (Prsa and Zwitter, 2005) kullanılmıştır. Phoebe kodu ile yapılan benzer bir çalışma daha vardır (Poddany 2008). Phoebe ile ışık eğrisi analizi yapmak için girilmesi gereken başlangıç parametreleri vardır. Söz konusu bir çift yıldız değil de bir yıldız ve bir gezegen olunca kullanılması gereken parametreler de değişmektedir. Gezegen sıcaklığı 3500 K'nın altında olduğu için yıldız atmosfer modeli yerine kara cisim modeli kullanılmıştır. Yıldızın sıcaklığına bağlı olarak albedo ve çekim kararması değerleri sırasıyla 0.5 (Rucinski 1969) ve 0.32 (Lucy 1968) olarak alınmıştır. Yarı büyük eksen uzunluğu, yörünge dönemi ve yıldız sıcaklığı için sırasıyla 0.02283 AB, 1.306 gün, 5650 K alınmıştır (Southworth 2010).

Başlangıçta kütle oranı 0.1 ve i yörünge eğikliği 88° alınmıştır. Sentetik ışık eğrileri gözlenen ışık eğrisi ile uyumlu olana kadar farklı kombinasyonlar denenmiş ve en uygun fitler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, son yayınlar ile karşılaştırılmalı olarak Tablo 1'de verilmektedir. Bu sonuçlara dayanarak Phoebe kodunun ötegezegen geçiş ışık eğrilerinin analizi için uygun bir kod olduğunu söyleyebiliriz.

Çizelge 1. PHOEBE Analizi sonucu bulunan sistem parametreleri ve son yayınlarla olan karşılaştırması

Parametreler	AUG 05.08.2009	AUG 10.05.2010	Sozzetti vd 2009	Southworth 2010
Yıldız Yarıçapı (R_\odot)	0.760	0.820	$0.829^{+0.015}_{-0.022}$	$0.818^{+0.011}_{-0.013}$
Gezegen Yarıçapı (R_j)	1.168	1.168	$1.336^{+0.031}_{-0.036}$	$1.305^{+0.027}_{-0.025}$
Eğiklik	$82^\circ .60$	$82^\circ .28$	$81^\circ .85 \pm 0.16$	$82^\circ .07 \pm 0.17$
Yıldız Kütleli (M_\odot)	0.926	0.892	$0.928^{+0.028}_{-0.048}$	$0.929^{+0.014}_{-0.013}$
Gezegen Kütleli (M_j)	2.095	2.096	$1.910^{+0.075}_{-0.080}$	$1.910^{+0.060}_{-0.070}$

4 Tartışma ve Sonuç

Geçiş gösterdiği bilinen gezegenlerin yerden küçük teleskoplarla yapılan gözlemleri, yeterli fotometrik doğruluk değeri elde edene kadar fotometrik analiz yöntemlerinin de geliştirilmesi yoluyla ılrde yeni gezegen bulma çalışmalarında yer almak

için önemli ve kaçınılmaz bir ilk adımdır.

Geçiş zamanları bilinen gezegenlerin çok sayıda ışık eğrisi elde edilerek, daha duyarlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu nedenle analiz yöntemlerinin geliştirilmesi geçiş gözlemlerinin en önemli adımlarından biridir.

TrES-3 b ötegezegenine ait yaptığımız ilk geçiş gözlemi sonuçları Phoebe 0.29d'nin geçiş eğrisi analizine uygun bir kod olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda AÜG'de devam etmekte olan geçiş gözlemleri ile elde edilen ışık eğrilerinin analizine Phoebe 0.29d kodu ile devam edilecektir, aynı zamanda alternatif çözüm yöntemleri de denenecektir.

Kaynaklar

- Bakos, G., Noyes, R.W., Kovacs, G., Stanek, K.Z., Sasselov, D.D. and Domsa, I.: Wide-Field Millimagnitude Photometry with the HAT: A Tool for Extrasolar Planet Detection. *PASP* **116** (2004) 266–277
- Charbonneau, D., Brown, T.M., Latham, D.W. and Mayor, M.: Detection of Planetary Transits Across A Sun-Like Star. *ApJ* **529** (2000) 45–48
- Hudgins, W.D. and Filipovic, M.D.: Photometric Techniques Using Small College Research Instruments for Study of the Extrasolar Planetary Transits of HD 209458. *PASA* **19** (2002) 443–447
- Lucy, L.B.: The Structure of Contact Binaries. *ApJ* **151** (1968) 1123L
- Major, M. and Queloz, D.: A Jupiter Mass Companion to a solar-type star. *Nat* **378** (1995) 355M
- McCullough, P.R., Stys, J.E., Valenti, J.A., Fleming, S.W., Janes, K.A. and Heasley, J.N.: The XO Project: Searching for Transiting Extrasolar Planet Candidates. *PASP* **117** (2005) 783–795
- Nelson, R.H.: Web Sitesi. <http://members.shaw.ca/bob.nelson/software1.htm> (2005)
- Poddany, S.: How to use the Phoebe code to solve transiting exoplanet light curve. *OEJV* **95** (2008) 81P
- Pollacco, D., Skillen, I., Cameron, D., Christian, J., Irwin, T., Lister, R., Street, R., West, W., Clarkson, W., Evans, N., Fitzsimmons, A., Haswell, C., Hellier, C., Hodgkin, S., Horne, K., Jones, B., Kane, S., Keenan, F., Norton, A., Osborne, J., Ryans, R. and Wheatley, P.: The WASP Project and SuperWASP Camera. *AP&SS* **304** (2006) 253–255
- Prsa, A. and Zwitter, T.: A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives. *ApJ* **628** (2005) 426–438
- Rucinski, S.M.: The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes. *AcA* **19** 245
- Schneider, J.: Web Sitesi. exoplanet.eu (1995)
- Southworth, J.: Homogeneous studies of transiting extrasolar planets - III. Additional planets and stellar models. *MNRAS* **408** (2010) 1689
- Wilson, R.E., Devinney, R.J.: Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. *ApJ* **166** (1971) 605
- Winn, J.N.: Transits and Occultations. *arXiv* **1001** (2010) 2010
- Wolszczon, A. and Frail, D.A.: A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257+12. *Nature* **355** (1992) 145–147