

# ETAP: Bir Ötegezegen Transit Eğrisi Analiz Programı

Volkan Bakış<sup>1\*</sup>, Osman Demircan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Çanakkale, Türkiye

## Özet

Ötegezegen geçişinin sebep olduğu ışık değişiminin modellenmesi için yeni bir yazılım tanıtılmıştır. Yazılımın üzerine kurulduğu model örtme çift yıldızlar için geliştirilmiş olan yeni ve genel bir örtme-örtülme fonksiyonunu kullanmaktadır (Kopal (1977); Kopal ve Demircan (1978)). Yazılım, ötegezegen ve barınak yıldızının kesirsel yarıçapları, yörüngenin eğimi, yörünge basıklığı, enberinin boylamı, herhangi bir dereceden kenar karama katsayılarını ve geçiş zamanını içeren parametreleri en küçük  $\chi^2$ 'yi verecek şekilde bulmaktadır. Parametrelerin hataları jackknife yöntemi ile bulunmaktadır. Bu çalışmada literatürde iyi bilinen ötegezegen geçişleri arasından seçilen bazı ötegezegenli sistemler analiz edilerek yazılımın ilk uygulaması yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** (stars:) binaries (including multiple): close, Yıldız Tayfi

## 1 Ötegezegenler ve ETAP

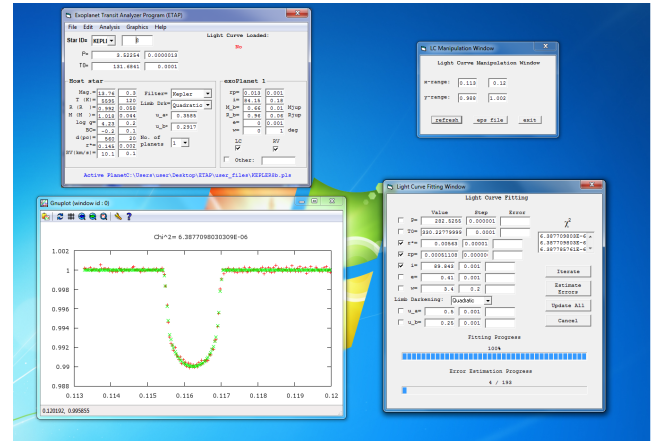
Ötegezegenlerin ışık eğrilerinin analizleri genellikle ötegezegeni temsil eden opak bir diskin çembersel yıldız diskinde örttüğü alanın hesaplanması için görel olarak basit geometrik algoritmalara dayanır. Literatürde ışık eğrilerini ve/veya dikine hız eğrilerini analiz eden bir çok yazılım kodu mevcuttur; TAP Gazak ve ark. (2012), JKTEBOP Southworth ve ark. (2008), FITSH Pál (2012), PHEOBE Prša ve Zwitter (2005), VARTOOLS Hartman (2008), Nightfall5, PhoS-T Mislis ve ark. (2012), Systemic Meschiari ve ark. (2009) ve EXOFAST Eastman ve Gaudi (2013). Yeni yazılım ETAP farklı seçilen kenar karamasına sahip küresel bir yıldız etrafında basık yörüngede dolanan ötegezegen(ler) için oluşturulmuştur. Tutulmadan (örtme yada örtülme, parçalı yada halkalı) kaynaklanan ışık kaybı için benzersiz bir formül kullanmaktadır (Kopal (1977); Kopal ve Demircan (1978)). ETAP yazılımında en iyi fiti sağlayan model için hata hesabı istatistik yöntem olan jackknife ile sağlanmaktadır (Quenouille (1956); Tukey (1958)). Jackknife yönteminin farklı olan özelliği veriden parametrelere taşınan hatayı en makul ve güçlü bir şekilde vermesidir.

## 2 Bazı Uygulamalar

ETAP yazılımı kullanımı kolay tasarlanmıştır. Girdi dosyası olarak sadece bire normalize edilmiş zamana karşı transit eğrisi verisi kullanılmaktadır. Başlangıç parametreleri ile model gözlem ile karşılaştırılıp en uygun değerler belirlendikten sonra program istenilen adımda model fiti yapar. En küçük  $\chi^2$ 'yi veren model parametreleri bulunduktan sonra parametrelerin hataları ayrı bir menüden hesaplanır. Jackknife, yöntem gereği tüm veriden sırayla bir veri eksiltip model fiti yaptığından, parametre hatalarının bulunması en iyi parametrelerin bulunmasından daha uzun sürer. Programın çalışma esnasından bir görünüm Şekil 1'de verilmiştir.

ETAP altı geçiş eğrisine başarılı bir şekilde uygulanmıştır: Kepler 4b, 7b, 8b, 12b, 86b, 412b. Elde edilen fitlere ait parametreler Tablo 1'de verilmiş olup kesirsel yarıçaplar ve yörünge eğimi gibi temel parametreler de literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Gözlem ve teorik modeller Şekil 2-7'da gösterilmiştir.

\* volkanbakis@akdeniz.edu.tr



Şekil 1. ETAP programının model fiti sırasında alınmış bir ekran görüntüsü.

## 3 Sonuçlar ve Tartışma

Ötegezegen geçişleriyle oluşan ışık değişimi tutulma fonksiyonu ile ifade edilir. Bu çalışmada kullanılan tutulma fonksiyonu her türden örtme-örtülme için geçerli olan bir fonksiyondur. Yeni analiz programı (ETAP) literatürde iyi bilinen altı ötegezegen geçişi gösteren sisteme başarılı bir şekilde uygulanmış ve sonuçlar literatür ile karşılaştırılmıştır. Yazılım kodu gelecekte yansıma, basıklık, manyetik aktivite vb. diğer optik etkileri içerecek şekilde genişletilecektir.

## Teşekkür

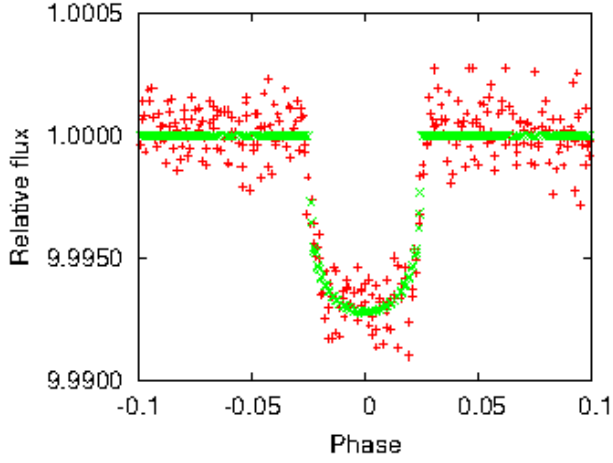
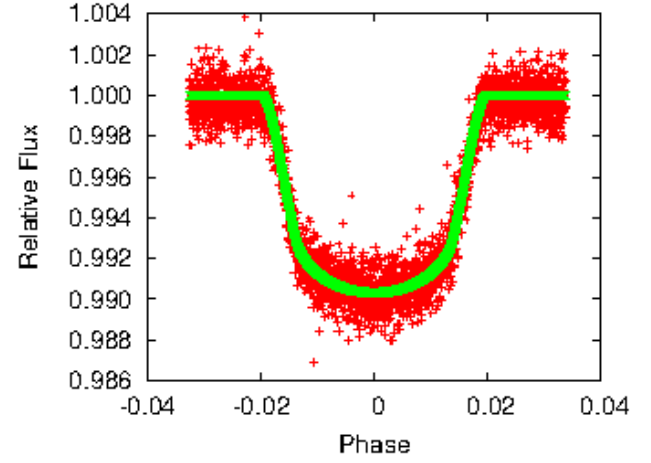
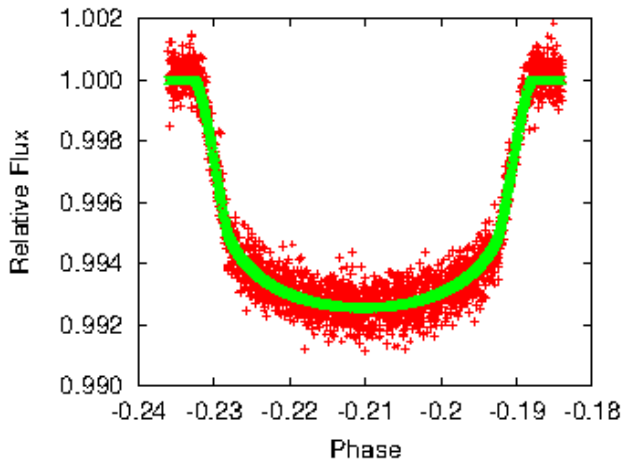
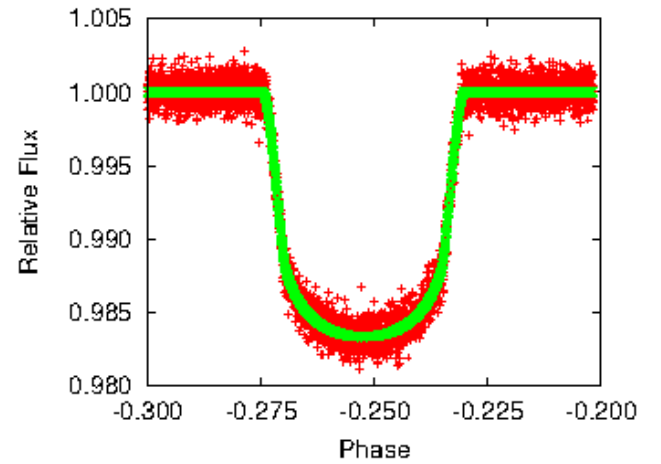
Yazılımın farklı sistemler üzerinde uygulanması için transit verilerinin hazırlamasında yardım eden Yüksek Lisans öğrencisi Efcan TUNÇ'a teşekkür ederiz.

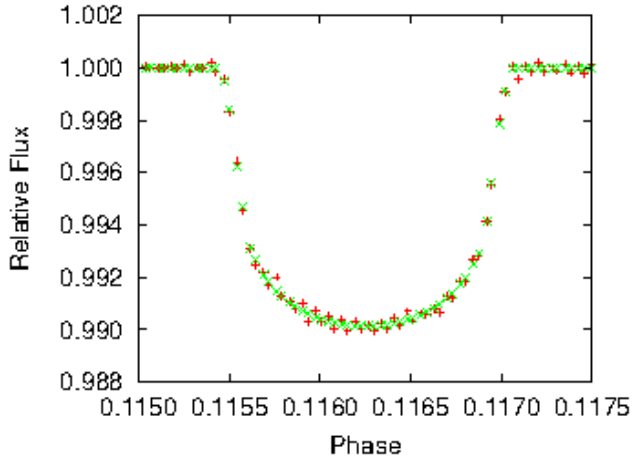
## Kaynaklar

- Eastman, J., Gaudi B. S., Agol E.: EXOFAST: A Fast Exoplanetary Fitting Suite in IDL PASP **125** (2013) 83--112
- Gazak, J., Z., Johnson, J., A., Tonry, J., Dragomir, D., Eastman, J., Mann, A., W., Agol, E.: Transit Analysis Package: An IDL Graphical User Interface for Exoplanet Transit Photometry AdAst **2012** 2012 30--37
- Hartman, J., D.: A deep survey for transiting hot planets in the open

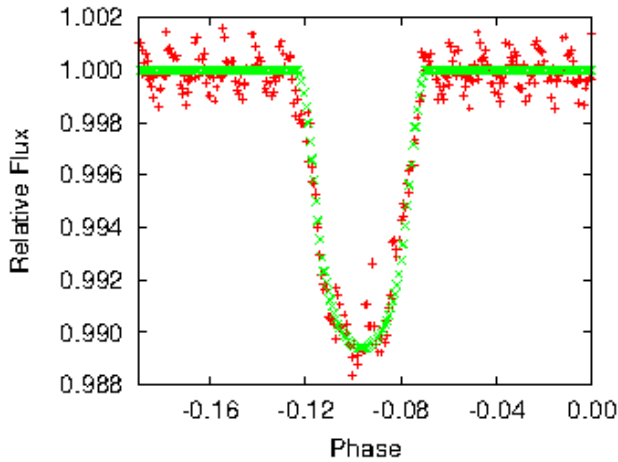
**Çizelge 1.** ETAP ile analiz edilen altı geçiş eğrisinin model parametreleri ve literatür ile karşılaştırılması. \* Sabit tutulan parametreler.

Parametreler	Kepler 4b	Kepler 7b	Kepler 8b	Kepler 12b	Kepler 86b	Kepler 412b
$P^*$ (gün)	3.21346	4.885525	3.52254	4.4379637	282.5255	1.720861232
$T_0^*$ (HJD)	2454132.2354	2454967.27571	2454132.2223	2454133.3333	2454292.5983	2454132.0935
$e^*$	0	0.1	0	0.01	0.41	0.0038
$w^*$ (°)	--	357.1	--	182	3.4	125
$r_s$	0.1519(3)	0.15012(5)	0.14527(2)	0.12525(1)	0.0056(1)	0.2090(6)
$r_s$ (liter.)	0.1516043	0.1503539	0.1430333	0.1240029	0.00565	0.202
$r_p$	0.003689(4)	0.01220(2)	0.01398(1)	0.01480(1)	0.00051(2)	0.0214(1)
$r_p$ (liter.)	0.003657	0.012076	0.013729	0.014246	0.000547	0.0214
$i$ (°)	89.65(3)	85.312(5)	84.154(3)	88.782(2)	89.842(1)	80.903(2)
$i$ (°) (liter.)	89.76	85.18	84.07	88.76	89.83	80.89
$u_1^*, u_2^*$	0.4086, 0.2633	0.3948, 0.2711	0.3585, 0.2917	0.367, 0.274	0.435, 0.248	0.60, 0.36
N	310	2314	3189	4335	56	303
$\chi^2$	3.33E-6	2.29E-4	2.41E-3	2.67E-3	6.04E-6	1.69E-4

**Şekil 2.** Kepler 4b'nin geçiş ışık eğrisi gözlemi ve ona uyan en iyi ETAP modeli.**Şekil 4.** Kepler 8b'nin geçiş ışık eğrisi gözlemi ve ona uyan en iyi ETAP modeli.**Şekil 3.** Kepler 7b'nin geçiş ışık eğrisi gözlemi ve ona uyan en iyi ETAP modeli.**Şekil 5.** Kepler 12b'nin geçiş ışık eğrisi gözlemi ve ona uyan en iyi ETAP modeli.



Şekil 6. Kepler 86b'nin geçiş ışık eğrisi gözlemi ve ona uyan en iyi ETAP modeli.



Şekil 7. Kepler 412b'nin geçiş ışık eğrisi gözlemi ve ona uyan en iyi ETAP modeli.

Quenouille, M., H.: Notes on bias in estimation *Biometrika* **43** (1956) 353–360

Southworth, J., Townsley, D., M., Gänsicke, B., T.: Orbital periods of cataclysmic variables identified by the SDSS - IV. SDSSJ220553.98+115553.7 has stopped pulsating *MNRAS* **388** (2008) 709

Tukey, J., W.: Bias and confidence in not-quite large samples *Ann. Math. Statist.* **29** (1958) 614

Erişim:

O42-1100: [UAK-2015 Program](#) --- [UAK Bildiri](#) --- [Turkish J.A&A.](#)

cluster M37 with the MMT PhDT, Harvard University, Publication Number: AAT 3312389; ISBN: 9780549615378; Advisor: Holman, Matthew J. (2008)

Kopal, Z.: Fourier analysis of the light curves of eclipsing variables. *XII Ap&SS* **51** (1977) 439–460

Kopal, Z., Demircan, O.: Fourier analysis of the light curves of eclipsing variables. *XIV Ap&SS* **55** (1978) 241–261

Meschiari, S., Wolf, A., S., Rivera, E., Laughlin, G., Vogt, S., Butler, P.: Systemic: A Testbed for Characterizing the Detection of Extrasolar Planets. I. The Systemic Console Package *PASP* **121** (2009) 1016–1027

Mislis, D., Heller, R., Fernandez, J., Seemann, U., Ioannidis, P., Avdellidou, C.: The Photometric Software for Transits (PhoS-T) 10th Hellenic Astronomical Conference, Proceedings of the conference held at Ioannina, Greece, 5-8 September 2011. Edited by Iossif Papadakis and Anastasios Anastasiadis. (2012) 12–12

Pál, Á.: Light-curve modelling for mutual transits *MNRAS* **420** (2012) 1630–1635

Prša, A., Zwitter, T.: A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives *ApJ* **628** (2005) 426–438