



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ



ÖTEGEZEĞENLERİN GEÇİŞ GÖZLEMLERİNİN

FOTOMETRİK ANALİZLERİ

Çağlar PÜSKÜLLÜ

Fizik Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZİ

ÖTEGEZEĞENLERİN GEÇİŞ GÖZLEMLERİNİN
FOTOMETRİK ANALİZLERİ
Çağlar PÜSKÜLLÜ
Fizik Anabilim Dalı
Tezin Sunulduğu Tarih: **22/12/2016**

Tez Danışmanı:
Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

ÇANAKKALE

Çağlar PÜSKÜLLÜ tarafından Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN yönetiminde hazırlanan ve **22/12/2016** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Ötegezegenlerin Geçiş Gözlemlerinin Fotometrik Analizleri**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Prof. Dr. Kadri YAKUT

.....

Başkan

Prof. Dr. Ahmet ERDEM

.....

Üye

Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

.....

Üye

Prof. Dr. Selçuk BİLİR

.....

Üye

Doç. Dr. İbrahim BULUT

.....

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:.....

Bu tez çalışması, TÜBİTAK tarafından 113F353 numaralı proje ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi tarafından, 13CT100-523 ve 13CT100-537 no’lu projeler ile desteklenmiştir.

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Çağlar PÜSKÜLLÜ

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmam boyunca benden yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam, Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN, aynı zamanda çalışma sũresince önerilerini ve desteklerini esirgemeyen hocalarım, Prof. Dr. Ahmet ERDEM ve Prof. Dr. Edwin BUDDING ve Prof. Dr. Selçuk BİLİR'e sonsuz teŐekkũrlerimi sunarım.

ağlar PŐSKŐLLŐ
anakkale, Aralık 2016



SİMGELER VE KISALTMALAR

M_{\star}	Yıldızın kütlesi
M_g	Gezegeenin kütlesi
R_{\star}	Yıldızın yarıçapı
R_g	Gezegeenin yarıçapı
M_{\odot}	Güneş'in kütlesi: $1,99 \times 10^{30}$ kg
R_{\odot}	Güneş'in yarıçapı: $6,96 \times 10^8$ m
M_J	Jüpiter'in kütlesi: $1,90 \times 10^{27}$ kg
R_J	Jüpiter'in yarıçapı: $7,15 \times 10^7$ m (ekvatorıda)
M_{yer}	Yer'in kütlesi: $5,97 \times 10^{24}$ kg
R_{yer}	Yer'in yarıçapı: $6,38 \times 10^6$ m (ekvatorıda)
P	Yörünge dönemi
t_o	Geçiş (ortası) zamanı
t	Işık elemanı
BJD	Barisentrik Jülyen günü
a	Yarı büyük eksen uzunluğu
e	Yörünge dışmerkezliği
b	Geçiş parametresi
u	Doğrusal kenar kararma katsayısı
T_e	Etkin sıcaklık
T'_{eq}	Denge sıcaklığı
g	Yüzey çekim ivmesi
ρ	Yoğunluk
Θ	Safronov Sayısı
[Fe/H]	Demir-hidrojen bolluğu oranı
NASA	Amerikan Uzay ve Havacılık Dairesi (İng. National Aeronautics and Space Administration)
NEA	NASA Ötegezegeen Arşivi (İng. NASA Exoplanet Archive)
ÇOMÜG	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi
T122	ÇOMÜG 122 cm ayna çaplı teleskop
T60	ÇOMÜG İstanbul Üniversitesi 60 cm ayna çaplı teleskop
TUG100	TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi 100 cm ayna çaplı teleskop
CCD	Charge Coupled Device

AP42	Apogee Alta U42 CCD alıcısı
AP47	Apogee Alta U42 CCD alıcısı
STL1001E	SBIG STL-1001E CCD alıcısı
SI1100	Spectral Instruments 1100 CCD alıcısı
SC/LC	<i>Kepler</i> kısa/uzun aralıklı verisi (İng. short/long cadence)
TTV	Geçiş Zamanı Değişimi (İng. Transit Timing Variation)
O-C	Gözlenen – Hesaplanan (İng. Observed – Calculated)
BVRI	<i>B,V,R,I</i> Bessell/Johnson/Cousins süzgeçleri/parlaklıkları
Kp	<i>Kepler</i> parlaklığı
Bin.	Binning (Veri gruplama)
mkadir	milikadir
'	yay dakikası
"	yay saniyesi
px	piksel
°C	Celsius derece
K	Kelvin derece
χ^2_{ind}	İndirgenmiş ki-kare

ÖZET

ÖTEGEZEĞENLERİN GEÇİŞ GÖZLEMLERİNİN FOTOMETRİK ANALİZLERİ

Çağlar PÜSKÜLLÜ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman : Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

22/12/2016, 137

Bu çalışmada farklı gözlemevlerinde farklı teleskoplarla gözlemleri yapılan ötegezegenlerin geçiş ışık eğrileri analizleri ve *Kepler* uydu teleskobuyla gözlenen bazı ötegezegenlerin ışık eğrileri analizleri sunulmaktadır. Sıcak Jüpiterlerden TrES-3b, Qatar-1b, HAT-P-36b ve WASP-10b gezegenlerinin yeni geçiş gözlemleri elde edilmiş olup, her bir geçiş ışık eğrisi çözümünden bulunan parametrelerin ağırlıklı ortalamaları önceki çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılarak verilmiştir. Benzer şekilde *Kepler* uydu teleskobu ile gözlenen HAT-P-7b, Kepler-6b, Kepler-8b, Kepler-79b,c,d,e ve Kepler-491b'nin verileri alınmış, ışık eğrileri çözümleri yapılarak bulunan değerler, önceki çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Geçiş ışık eğrileri analizlerinde WinFitter yazılımı kullanılmıştır. Yer tabanlı gözlemleri yapılmış gezegenlerin yarıçapları şöyle hesaplanmıştır: TrES-3b için $R_g = 1,388 \pm 0,035 R_J$, Qatar-1b için $R_g = 1,142 \pm 0,025 R_J$, HAT-P-36b için $R_g = 1,234 \pm 0,026 R_J$ ve WASP-10b için $R_g = 1,183 \pm 0,040 R_J$. Geçiş ışık eğrilerinden geçiş zamanları ve geçiş zamanlarının hataları bulunmuş, ışık elemanları hesaplanmıştır. TrES-3b, Qatar-1b, HAT-P-36b, WASP-10b, HAT-P-7b ve Kepler-491b'nin O-C dağılımlarında sinüsel TTV'ler meydana getirebilecek başka cisimlerin tedirginlik etkileri aranmış, bulgular gösterilmiştir. Keşif bulguları dışında ilk kez, Kepler-491b'in kapsamlı fotometrik analizi bu çalışmada verilmiş ve fotometrik kütle tayini yapılmıştır. Ayrıca gezegenlerin temel parametreleri ile kimyasal yapıları tartışılmış, ilişkiler incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Ötegezegenler, Gezegenli Sistemler, Sıcak Jüpiterler, Gezegen Geçışı, Işık Eğrisi.

ABSTRACT

PHOTOMETRIC ANALYSIS OF TRANSIT LIGHT CURVES OF EXOPLANETS

Çağlar PÜSKÜLLÜ

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Doctoral Dissertation in Physics

Advisor : Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

22/12/2016, 137

Analysis of exoplanet transit light curves observed at various observatories and telescopes and some exoplanets' observations obtained by *Kepler* space telescope are given. New photometric observations of the exoplanet transits of hot Jupiters TrES-3b, Qatar-1b, HAT-P-36b and WASP-10b are presented. Retrieved *Kepler* light curve data of HAT-P-7b, Kepler-6b, Kepler-8b, Kepler-79b,c,d,e and Kepler-491b were analysed. Weighted mean values of light curves' solutions for all planetary systems are reported and compared with the results from previous studies. Transit light curves were analysed using WinFitter code. The planet radius of the ground-based observations were calculated to be $R_p = 1,388 \pm 0,035 R_J$ for TrES-3b; $R_p = 1,142 \pm 0,025 R_J$ for Qatar-1b; $R_p = 1,234 \pm 0,026 R_J$ for HAT-P-36b and $R_p = 1,183 \pm 0,040 R_J$ for WASP-10b. Transit times and their uncertainties were also determined and a new linear ephemeris was computed for each system. Sinusoidal TTVs were searched in O-C times of TrES-3b, Qatar-1b, HAT-P-36b, WASP-10b, HAT-P-7b and Kepler-491b for perturbing objects and the results were given. Detailed photometrical analysis of Kepler-491b were presented for the first time and a photometric mass was estimated for the planet. Additionally, basic parameters and chemical composition of the studied planets are discussed and investigated for the relations between them.

Keywords: Extrasolar Planets, Planetary Systems, Hot Jupiters, Planet Transit, Light Curve.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1. Ötegezegenler ve Yıldızları	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı	6
BÖLÜM 2	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
2.1. Ötegezegen Araştırmalarında Son Durum	7
2.2. Sıcak Jüpiterler	9
2.3. Geçiş Gösteren Ötegezegenler ve Işık Değişimleri	11
2.3.1. Işık ve Dikine Hız Eğrileri	13
2.3.2. Geçiş Zamanı Değişimleri	17
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE METOT	19
3.1. Yer Tabanlı Gözlemler	19
3.2. <i>Kepler</i> Uydu Gözlemleri	23
3.3. Geçiş Işık Eğrileri Analizleri.....	24
3.3.1. Geçiş Kuramı.....	25
3.3.2. Işık Eğrisi Analizleri: WINFITTER	28
3.4. Geçiş Zamanı Değişimleri Analizleri.....	32
3.4.1. Lomb-Scargle Frekans Analizi.....	34
BÖLÜM 4	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	36
4.1. Seçilen Bazı Ötegezegenlerin Yer Tabanlı Işık Eğrileri ve Geçiş Zamanları Analizleri	36
4.1.1. TrES-3b.....	36
4.1.2. Qatar-1b	43

4.1.3. HAT-P-36b.....	49
4.1.4. WASP-10b	55
4.2. Bazı Ötegezegenlerin <i>Kepler</i> Geçiş Eğrilerinin Analizleri ve Geçiş Ortası Zamanları	59
4.2.1. HAT-P-7b (Kepler-2b)	60
4.2.2. Kepler-6b	70
4.2.3. Kepler-8b	76
4.2.4. Kepler-79b, c, d, e	83
4.2.5. Kepler-491b.....	97
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	105
KAYNAKLAR	120
ÖZGEÇMİŞ	I

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Onaylanan gezegenleri barındıran yıldızların HR diyagramı üzerindeki dağılımları. Siyah noktalar, dağılım bölgelerindeki gezegen içermeyen örnekleri; yıldız kütesine bağlı olarak renklendirilmiş içi boş daireler ise gezegenli yıldızları göstermektedir	3
Şekil 1.2. Etkin sıcaklıkları $3000 < T_e (K) < 7000$ olan gezegen içeren yıldızların frekans dağılımları (mavi). Bu dağılım içinden geçiş gösterenler (yeşil), V parlaklığı 14 kadirin altında olanlar (sarı) ve geçiş derinliği (δ) $> 0,01$ olanlar (kırmızı çizgi) farklı renklerle gösterilmiştir (Exoplanets Data Explorer, 6 Aralık 2016).....	4
Şekil 1.3. Ötegezegenler ve yıldızları kütle – yarıçap dağılımı (NASA Ötegezegen Arşivi - NEA, 2016). Grafikte yıldızlar, grafiğin sağ üst köşesine yerleşerek (kırmızı noktalar) dağılırken; grafiğin ortasında dev gezegenleri, kütle ve yarıçapın azalmasına bağlı olarak grafiğin sol alt köşesine yerleşen düşük kütleli gezegenleri görmekteyiz. Sarı ile işaretli nokta Güneş ve turuncu daireler, Güneş Sistemi gezegenlerini göstermektedir.....	4
Şekil 2.1. Keşfedilme yöntemlerine göre keşif yılı – keşif sayısı dağılımı (NEA).....	7
Şekil 2.2. Gözlem projeleriyle yıllara göre keşfedilen ötegezegen sayısı (Southworth, 2016).....	8
Şekil 2.3. Yarıçapı $10 R_{yer}$ 'den, kütle $40 M_{yer}$ 'den küçük geçiş (mavi), dikine hız (yeşil) ve zaman değişimi (turuncu) yöntemiyle keşfedilen ötegezegenlerin kütle-yarıçap dağılımı. Kesikli çizgilerle gösterilen kusursuz demir (Fe), kusursuz enstatit minerali ($MgSiO_3$) ve kusursuz su (H_2O) yapısını temsil eden model eğrileri (NEA, Aralık 2016).....	9
Şekil 2.4. Gezegenlerin logaritmik ölçekte kütle-yarıçap dağılımı. Kesikli çizgi, Jüpiterin grafikteki konumunu; düz kırmızı çizgi Jüpiter yoğunluğunu göstermektedir. Gezegenlerin kütle ve yarıçap değerleri, NEA'den alınmıştır.....	10
Şekil 2.5. Gezegenli bir yıldız sisteminde geçiş yapan bir gezegenin bakış doğrultumuzdaki gösterimi ve geçiş sırasında yörünge hareketine bağlı ışık eğrisinin oluşumu.	11
Şekil 2.6. Geçiş geometrisine bağlı geçiş olasılığı.....	12
Şekil 2.7. <i>Kepler</i> ile ölçülen Güneş benzeri, $V = 12$ kadir parlaklığındaki nokta kaynakların gürültü düzeyleri (Gilliland ve ark., 2011).....	13
Şekil 2.8. (i) Dikine hız verisiyle keşfedilip sonrasında geçiş gözlemi yapılan ilk gezegen olma özelliği taşıyan HD 209458b'nin ışık eğrisi (Charbonneau ve ark., 2000) ve (ii) dikine hız eğrisi (Mazeh ve ark., 2000).....	15
Şekil 2.9. Kenar kararma etkisinin geçiş ışık eğrisine etkileri. Gezegenin, yıldız diski ile olan temas noktaları (a-g), ışık eğrisi üzerinde de gösterilmiştir (Coughlin, 2013).....	15
Şekil 2.10. KOI-258b'nin geçiş zamanları ve sinüsel TTV modeli (Mazeh ve ark., 2013)	18
Şekil 3.1. TUG100'de 12.11.2013 gecesi gözlenen WASP-10'nun CCD çerçevesinde odak dışı üç boyutlu profil görüntüsü	20
Şekil 3.2. Geçiş geometrisi (Winn, 2010)	26
Şekil 3.3. WinFitter 2.6 sürümü ana penceresi	28
Şekil 4.1. TrES-3b geçiş eğrileri, model ve artıkları.....	39
Şekil 4.2. TrES-3b geçiş geometrisi ve tüm geçişlerin 70 noktaya binning yapılmasıyla oluşturulan geçiş ışık eğrisi ve ağırlıklı model ortalama eğrisi	41
Şekil 4.3. TrES-3b'nin geçiş ortası zamanları değişimi (bu çalışma, literatür ve ETD verileriyle birlikte)	42

Şekil 4.4. TrES-3b'nin ETD verileriyle elde edilen Lomb-Scargle periodogramı. Düz çizgi tüm verilerin; aralıklı çizgi, zaman hatası $\sigma_{t0} \leq 0,0005$ BJD olanların frekans dağılımını göstermektedir.....	42
Şekil 4.5. Qatar-1b geçiş eğrileri, model ve artıkları	45
Şekil 4.6. Qatar-1b geçiş geometrisi ve tüm geçişlerin 70 noktaya ortaklanmasıyla oluşturulan geçiş ışık eğrisi ve ağırlıklı model ortalama eğrisi	47
Şekil 4.7. Qatar-1b'nin Lomb-Scargle frekans eğrisi. Kesikli çizgi %5 FAP seviyesine karşılık gelen normalize şiddeti göstermektedir	48
Şekil 4.8. Qatar-1b'nin geçiş ortası zamanları değişimi (bu çalışma, literatür ve ETD verileriyle birlikte)	49
Şekil 4.9. HAT-P-36b geçiş eğrileri, model ve artıkları.....	51
Şekil 4.10. HAT-P-36b geçiş geometrisi ve tüm geçişlerin 180 noktaya binning yapılmasıyla oluşturulan geçiş ışık eğrisi ve ağırlıklı model ortalama eğrisi...	53
Şekil 4.11. HAT-P-36b'nin geçiş ortası zamanları değişimi (bu çalışma, literatür ve ETD verileriyle birlikte)	54
Şekil 4.12. HAT-P-36b'nin Lomb-Scargle frekans eğrisi. Kesikli çizgi %5 FAP seviyesine karşılık gelen normalize şiddeti göstermektedir	54
Şekil 4.13. WASP-10b geçiş eğrileri, model ve artıkları	56
Şekil 4.14. WASP-10b geçiş geometrisi ve tüm geçişlerin 90 noktaya ortaklanmasıyla oluşturulan geçiş ışık eğrisi ve ağırlıklı model ortalama eğrisi	58
Şekil 4.15. WASP-10b'nin geçiş ortası zamanları değişimi (bu çalışma, literatür ve ETD verileriyle birlikte)	59
Şekil 4.16. WASP-10b'nin Lomb-Scargle frekans eğrisi. Kesikli çizgi %5 FAP seviyesini göstermektedir	59
Şekil 4.17. HAT-P-7b <i>Kepler</i> geçiş eğrileri, model ve artıkları	65
Şekil 4.18. (i) Üst bölmede HAT-P-7b geçiş geometrisi, orta bölmede ortalamaya alınan geçişlerin 4800 noktaya binning yapılmasıyla oluşturulan geçiş ışık eğrisi ve üzerine çizilen ağırlıklı model ortalama eğrisi (kırmızı) ile binning verisinin model eğrisi (gri), alt bölmede ise binning verisinin modeli artıkları çizdirilmiştir. (ii) Üst bölmede örtülme ışık eğrisi ve (i)'de tanımlandığı şekilde üzerine çizilen model eğriler ve artıkları.....	66
Şekil 4.19. HAT-P-7b'nin <i>Kepler</i> SC verilerinin analizi ile okunan 47 adet zamanla (bkz. Çizelge 4.26) oluşturulan O-C değişiminin Lomb-Scargle frekans tayfı.....	69
Şekil 4.20. HAT-P-7b'nin O-C dağılımı ve değişime uydurulan doğru. Geçiş zamanları, BJD (2450000+) olarak verilmiştir	69
Şekil 4.21. Kepler-6b'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları	72
Şekil 4.22. Kepler-6b geçiş geometrisi, geçiş ışık eğrisi ve artıkları. Işık eğrisi, HAT-P-7b ışık eğrisi için uygulanan yöntemle 2400 noktaya binning yapılmıştır. Şekildeki gösterimler, Şekil 4.18i alt yazısında açıklanmıştır	74
Şekil 4.23. Kepler-6b'nin O-C değişimi ve değişime uydurulan doğrulan eğri. Geçiş zamanları, BJD (2450000+) olarak verilmiştir	76
Şekil 4.24. Kepler-8b'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları	80
Şekil 4.25. Kepler-8b geçiş geometrisi, geçiş ışık eğrisi ve artıkları. Işık eğrisi, HAT-P-7b ışık eğrisi için uygulanan yöntem ile 2400 noktaya binning yapılmıştır. Şekildeki gösterimler, Şekil 4.18i alt yazısında açıklanmıştır.....	81
Şekil 4.26. Kepler-8b'nin O-C dağılımı ve değişime uydurulan doğrulan eğri. Geçiş zamanları, BJD (2450000+) olarak verilmiştir	82
Şekil 4.27. Kepler-79b'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları	87
Şekil 4.28. Kepler-79c'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları	89
Şekil 4.29. Kepler-79d'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları	91

Şekil 4.30. Kepler-79e'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları	93
Şekil 4.31. (i) Kepler-79b, (ii) Kepler-79c, (iii) Kepler-79d ve (iv) Kepler-79e geçiş geometrileri, geçiş ışık eğrileri ve artıkları. Işık eğrileri, HAT-P-7b ışık eğrisi için uygulanan yöntemle 2400 noktaya binning yapılmıştır. Şekildeki gösterimler, Şekil 4.18i alt yazısında açıklanmıştır. Geçiş geometrisi gösteriminde yıldızın boyutu eksenler dağılımına bağlı olarak görece olarak değişmektedir.....	95
Şekil 4.32. (i) Kepler-79b, (ii) Kepler-79c, (iii) Kepler-79d ve (iv) Kepler-79e'nin O-C dağılımları ve dağılıma uydurulan doğrulan eğriler. Geçiş zamanları, BJD (2450000+) olarak verilmiştir	96
Şekil 4.33. Kepler-491b'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları	100
Şekil 4.34. Kepler-491b'nin geçiş geometrisi, geçiş ışık eğrisi ve artıkları. Işık eğrisi, HAT-P-7b ışık eğrisi için uygulanan yöntemle 900 noktaya binning yapılmıştır. Şekildeki gösterimler, Şekil 4.18i alt yazısında açıklanmıştır.....	102
Şekil 4.35. (i) Kepler-491b geçiş dışı verisinin Lomb-Scargle periodogramı (ii) $P_{\text{geçişdışı}} = 16,574$ gün değeriyle 0 – 1 arası evrelendirilmiş akı grafiği	103
Şekil 4.36. (i) O-C diyagramı ve (ii) Lomb-Scargle periodogramı. Baskın frekans olan bulunan $f_1 = 0,00733 \pm 0,00048$ değeri %5 FAP seviyesinin altında görülmektedir.....	103
Şekil 5.1. Yıldızın etkin sıcaklığı (T_e)'ye karşılık gezegenin denge sıcaklığı (T'_{eq}) değişiminde kontur çizgileri üzerilerine yazılmış rakamlar, o çizginin a/R_{\star} değerlerini göstermektedir. TrES-3b, Qatar-1b ve Kepler-8b, mavi ile renklendirilmiş, $a/R_{\star} = 6$ çizgisine yakın görülmektedir.....	109
Şekil 5.2. Kütle-yarıçap diyagramı ve bu çalışmada incelenen gezegenlerin diyagramdaki yerleri (kare noktalar). Dağılımda, TEPcat kataloğu kullanılmıştır (çizgiler) ve diyagramda yukarıdan aşağıya, sırasıyla, $\rho = 0,25; 0,5; 1,0$ ve $2,0 \rho_J$ yoğunluk eğrileri çizilmiştir.....	110
Şekil 5.3. Bu çalışmadaki 13 ve NEA'den alınan doğrulanmış 329 gezegenin $M_g - \rho_g$ değişimi. Hatzes ve Rauer (2015) tarafından verilen sınırlar $M_g = 0,3 M_J$ ve $M_g = 60 M_J$ kesikli düz çizgilerle gösterilmiştir. Neptün altı cisimleri ayırmak için mavi kesikli eğri kullanılmıştır. H/He modellerinde kesikli çizgiler, uç durumlara karşılık gelirken düz çizgilerden üstteki 300Myıl, alttaki ise 1Gyıl yaşındaki gezegenleri göstermektedir. Düşük kütleli büyük yoğunluklu gezegenler (çemberler) üzerine işaretlenmiş kesikli-noktalı çizgi ise Neptün altı cisimler için tam karasal gezegenlere geçişi gösterir model eğriyi temsil etmektedir (Lopez ve Fortney, 2014). Bu çalışmadaki gezegenler, çalışmada hesaplanan değerlere göre eşkenar dörtgenler ile işaretlenmiştir Neptün, Uranüs ve Yer'in diyagram üzerindeki konumları gezegenlerin baş harfleriyle gösterilmiştir.....	114
Şekil 5.4. (i) Neptün altı gaz gezegenlerin $R_g - M_g$ değişimi ve değişime uydurulan üstel eğri (bkz. Denklem 5.2). (ii) Bu gezegenlerin $R_g - \rho_g$ değişimi ve beklenen eğri. Dikey kesikli çizgi, $R_g = 1,75 R_{\text{yer}}$ çizgisidir. Kepler-79b,c,e'nin grafik içindeki yeri, eşkenar dörtgenlerle temsil edilmektedir.....	116
Şekil 5.5. Kepler-79 sistemi gezegenlerinin kütle-yarıçap dağılım grafiğindeki yerleri, Güneş sistemi gezegenleri ile birlikte gösterilmiştir. Düz çizgilerden en alttaki kusursuz demir, üstündeki ise kusursuz su gezegenleri için dağılım hattını temsil etmektedir. Kesikli çizgiler ise Neptün gezegeni yoğunluğuna göre kalibre edilmiş kuramsal çizgileri gösterip yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla, $\rho = 0,05; 0,1; 0,25; 0,5$ ve $1,0 \rho_N$ 'dir.....	118

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Ötegezegenler için yaygın kullanılan sınıflar (Mendez, 2011)	5
Çizelge 1.2. Fressin ve ark. (2013) tarafından verilen yarıçap sınıflaması	6
Çizelge 2.1. $V = 10$ kadir parlaklığındaki bir nokta kaynağın poz sürelerine bağlı ölçebileceği duyarlılık seviyeleri ($\mu e^{\prime}/e^{\prime}$) (Dressing ve Charbonneau, 2013)...	13
Çizelge 3.1. Teleskoplar ve odak düzlemi aletleri kurgularının özellikleri.....	19
Çizelge 3.2. Çalışma için yapılan fotometrik ötegezegen gözlemleri.....	20
Çizelge 3.2'nin devamı.....	21
Çizelge 3.3. Tez çalışmasında kullanılan <i>Kepler</i> gözlemleri	24
Çizelge 4.1. TrES-3 sisteminin temel özellikleri	37
Çizelge 4.2. TrES-3b gözlem günlüğü	38
Çizelge 4.3. TrES-3b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri	38
Çizelge 4.4. TrES-3b'nin geçiş ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları	40
Çizelge 4.5. TrES-3b gözlemleriyle ölçülen geçiş zamanları.....	42
Çizelge 4.6. Qatar-1 sisteminin temel özellikleri.....	43
Çizelge 4.7. Qatar-1b gözlem günlüğü.....	44
Çizelge 4.8. Qatar-1b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri	44
Çizelge 4.9. Qatar-1b'nin geçiş ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları	46
Çizelge 4.10. Qatar-1b gözlemleriyle ölçülen geçiş zamanları	48
Çizelge 4.11. HAT-P-36 sisteminin temel özellikleri.....	49
Çizelge 4.12. HAT-P-36b gözlem günlüğü	50
Çizelge 4.13. HAT-P-36b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri	51
Çizelge 4.14. HAT-P-36b'nin geçiş ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları.....	52
Çizelge 4.15. HAT-P-36b gözlemleriyle ölçülen geçiş zamanları.....	54
Çizelge 4.16. WASP-10 sisteminin temel özellikleri.....	55
Çizelge 4.17. WASP-10b gözlem günlüğü	55
Çizelge 4.18. WASP-10b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri	56
Çizelge 4.19. WASP-10b'nin geçiş ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları.....	57
Çizelge 4.20. WASP-10b gözlemleriyle ölçülen geçiş zamanları	58
Çizelge 4.21. HAT-P-7 sisteminin temel özellikleri.....	61
Çizelge 4.22. HAT-P-7b'nin çözüme alınan <i>Kepler</i> SC verileri	62
Çizelge 4.23. HAT-P-7b modelleri sonuç parametreleri.....	63
Çizelge 4.23'ün devamı	64
Çizelge 4.24. HAT-P-7b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri	65
Çizelge 4.25. HAT-P-7b'nin ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve	

gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları	67
Çizelge 4.26. HAT-P-7b'nin <i>Kepler</i> ışık eğrilerinden ölçülen geçiş zamanları	68
Çizelge 4.26'nin devamı.....	69
Çizelge 4.27. Kepler-6 sisteminin temel özellikleri.....	70
Çizelge 4.28. Kepler-6b'nin çözüme alınan <i>Kepler</i> SC verileri bilgileri	71
Çizelge 4.29. Kepler-6b'nin ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları	71
Çizelge 4.30. Kepler-6b modelleri sonuç parametreleri.....	73
Çizelge 4.31. Kepler-6b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri	74
Çizelge 4.32. Kepler-6b'nin <i>Kepler</i> ışık eğrilerinden ölçülen geçiş zamanları.....	75
Çizelge 4.33. Kepler-8 yıldızının temel özellikleri.....	76
Çizelge 4.34. Kepler-8b'nin çözüme alınan <i>Kepler</i> LC verileri bilgileri.....	77
Çizelge 4.35. Kepler-8b'nin ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları	78
Çizelge 4.36. Kepler-8b modelleri sonuç parametreleri.....	79
Çizelge 4.37. Kepler-8b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri	80
Çizelge 4.38. Kepler-8b'nin <i>Kepler</i> ışık eğrilerinden ölçülen geçiş zamanları.....	82
Çizelge 4.39. Kepler-79 sisteminin ışık elemanları, yörünge ve gezegenlerinin özellikleri *	83
Çizelge 4.40. Kepler-79 yıldızının temel özellikleri.....	83
Çizelge 4.41. Kepler-79 sisteminin çözüme alınan <i>Kepler</i> LC verileri bilgileri	84
Çizelge 4.42. Kepler-79b,c,d,e'nin ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan ve analizler sonucu hesaplanan yıldızla ilişkin parametrelerin ağırlıklı ortalamaları	85
Çizelge 4.43. Kepler-79b modelleri sonuç parametreleri.....	86
Çizelge 4.44. Kepler-79c modelleri sonuç parametreleri	88
Çizelge 4.45. Kepler-79d modelleri sonuç parametreleri.....	90
Çizelge 4.46. Kepler-79e modelleri sonuç parametreleri	92
Çizelge 4.47. Kepler-79 sisteminin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri	94
Çizelge 4.48. Kepler-79b,c,d ve e'nin düzeltilen ışık elemanları.....	96
Çizelge 4.49. Kepler-491 sisteminin temel özellikleri.....	97
Çizelge 4.50. Kepler-491b'nin çözüme alınan <i>Kepler</i> LC verileri bilgileri.....	98
Çizelge 4.51. Kepler-491b'nin ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları	98
Çizelge 4.52. Kepler-491b modelleri sonuç parametreleri.....	101
Çizelge 4.53. Kepler-491b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri	102
Çizelge 4.54. Kepler-491b'nin <i>Kepler</i> ışık eğrilerinden ölçülen geçiş zamanları.....	104
Çizelge 5.1. Çalışılan dev gezegenlere ilişkin temel parametreler	106
Çizelge 5.2. Çalışılan Neptün altı gezegenlere ilişkin temel parametreler.....	106
Çizelge 5.3. $M_g - \rho_g$ dağılımındaki düşük kütleli büyük yoğunluklu Neptün altı gaz gezegenleri parametreleri (NEA'den alınmıştır)	116

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İçinde yaşadığımız gezegeni ve onun üyesi olduğu Güneş Sistemi'ni anlamak, her zaman bilimin en temel uğraşlarından biri olmuştur. Bu uğraşa katkı verme isteğimiz, bizden başka yaşam biçimlerini bulma merakıyla daha da güçlenmektedir. Artan teknolojik imkanlar sayesinde bir taraftan Güneş Sistemi içinde uzaktan ve yakından yapılan araştırmalar devam ederken; diğer taraftan Güneş Sistemi dışında başka gezegenler bulabilme ümidiyle teleskoplar yardımıyla arayışlara gidilmiştir. Birçoğu robotik olan bu teleskopların gökyüzünü durmaksızın izlemeleriyle sürdürdüğü bu arayışlar sonuç vermiş, Güneş Sistemi dışında da çok sayıda gezegen keşfedilmiş ve keşfedilmeye devam etmektedir.

Keşfedilen gezegenlerin çoğunluğu Güneş Sistemi'ne benzer şekilde bir yıldızın etrafındaki yörüngelerde dolanmaktadır. Bu örnekler sayesinde hem gezegenlerin hem de sistemlerinin incelemesi yapılabilmektedir. Gezegenler incelenerek yapısal özellikleri ve yaşama elverişlilik ortaya çıkarılırken; gezegenlerin birlikte, sistemlerin karşılaştırmalı olarak incelenmesi, gezegen oluşum kuramlarının tartışılmasına, geliştirilmesine ve Güneş Sistemi evriminin daha iyi anlaşılmasına olanak sağlamaktadır.

Günümüz koşullarında Güneş Sistemi dışındaki gezegenlerin araştırılması, gökbilimin temel ölçüm aracı olan teleskoplar ve bunlara bağlı alıcılar ile çeşitli yöntemler sayesinde yapılmaktadır. Bu çalışmada bu yöntemlerden biri olan fotometrik yöntem kullanılarak gezegenli sistemlerin fiziksel ve yörünge parametrelerinin eldesi üzerine odaklanılmıştır.

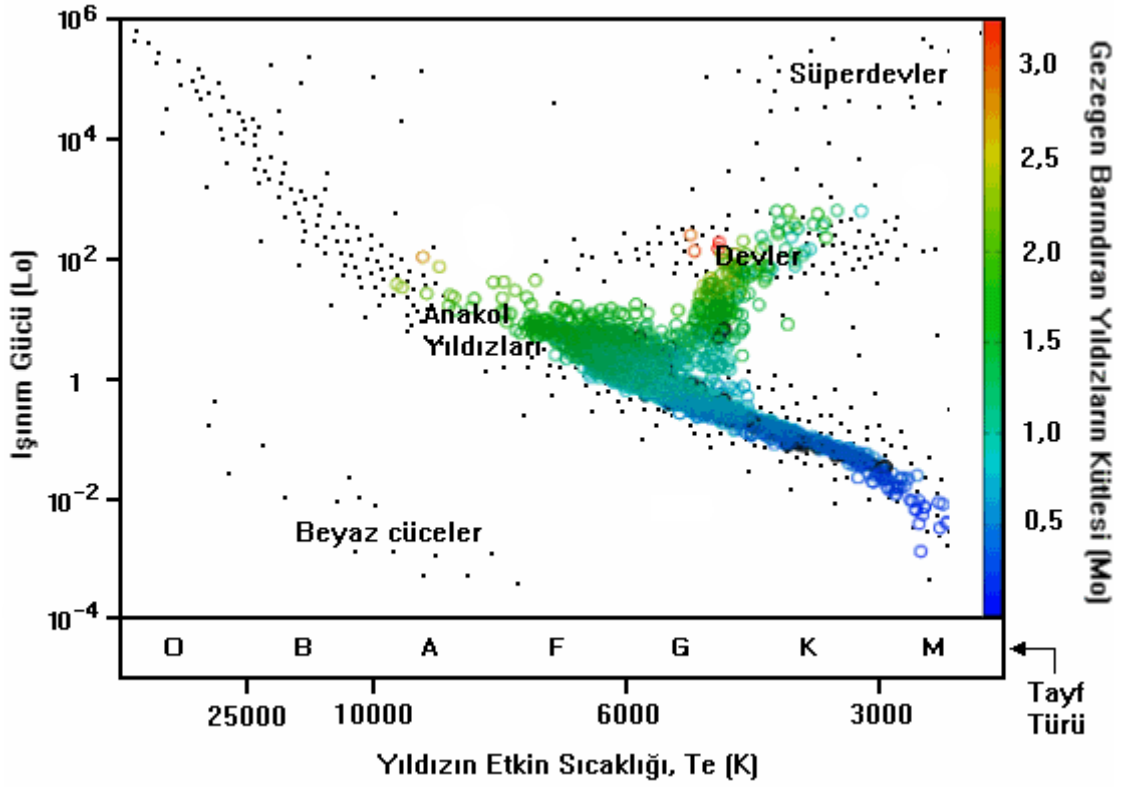
1.1. Ötegezegenler ve Yıldızları

Güneş Sistemi dışında gözlenen gezegenleri, Güneş sistemi üyesi olanlardan ayırmak amacıyla bu dış gezegenlere “ötegezegen” (İng. exoplanet) adı verilmiştir. Gezegenler, birkaç milyon yılda şekillenen ön gezegen disklerdeki tozun makroskobik boyuttaki ilk hali “planetesimal”ları meydana getirmesinin ardından kabaca birkaç Myılda gaz; 10 ile 100 Myılda karasal kütlelere dönüşmesiyle oluşur (Armitage, 2009).

Uluslararası Astronomi Birliği'nin (IAU) Güneş Sistemi için yaptığı tanımla “gezegen, (a) Güneş çevresinde bir yörüngede dolanan; (b) çekim etkisiyle bozulmaz bir küreselliğe ulaşmış, hidrostatik dengede olan, (c) yörüngesinin yakın komşuluğunu temizlemiş küresel bir cisimdir”. Bu tanımla birlikte genel bir kabul olarak “gezegenler,

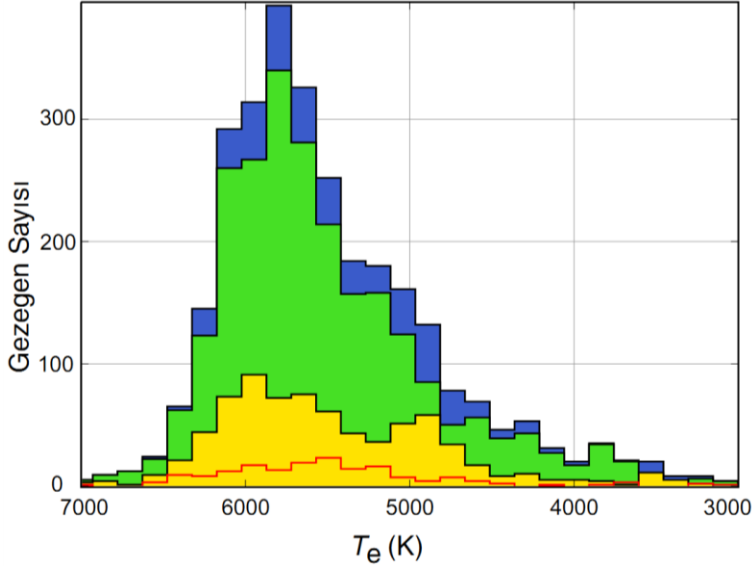
öngezegen diskten kütleçekiminin etkisiyle bozulmaz bir küreselliğe ulaşmış, hidrostatik dengede olan; fakat çekirdeğinde hidrojen yakmaya yetmeyecek kadar kütlesi bulunan cisimlerdir”. Bu nedenle döteryum yanma sınırı olan $0,012 M_{\odot}$ ($13 M_J$)’den küçük kütleli her cisim gezegen sınıfına alınmaktadır (Burrows ve ark., 2001; Seager ve Mallen-Ornelas, 2003). Fakat dev gaz gezegenlerde Sahlmann ve ark. (2013)’nın gözlemsel bulgularına göre $\sim 30 M_J$; Hatzes ve Rauer (2015)’in kütle-yarıçap dağılımına göre $60 M_J$ gezegen olarak kalmanın kütle sınır değeri olarak tanımlanmaktadır. Bir karasal gezegen ise en fazla $10 M_{\text{yer}}$ kütlesine erişebilir; kütlesi $1,9 - 10 M_{\text{yer}}$ aralığında olan böyle cisimlere “kütleli Dünya (süper Yer)” denilmektedir (Charbonneau ve ark., 2009).

Keşfedilen ilk ötegezegenler, PSR B1257+12 pulsarının etrafında dolanan gezegenlerdir ve aynı zamanda ilk pulsar gezegenleri olarak onaylanmışlardır (Wolszczan ve Frail, 1992). Güneş benzeri, dolayısıyla anakol bir yıldızın çevresinde dolanan ilk gezegen, Kanatlıat takımyıldızında gözlenen 51 Pegasi b’dir (Mayor ve Queloz, 1995). Gezegen aynı zamanda keşfedilen ilk “sıcak Jüpiter”dir. Sonraki yıllarda 2950 gezegen keşfedilip onaylanırken; 2504 gezegen ise aday listesinde yer almaktadır (Exoplanets Data Explorer, 6 Aralık 2016). Bu yıldızlar, astronomların arayışlarının Güneş benzeri yıldızlara yoğunlaşması nedeniyle çoğunlukla F, G ve K türü anakol yıldızlarıdır ve Şekil 1.1’de Hertzsprung-Russell (HR) diyagramında görülmektedirler. Güneş’e en yakın gezegenli sistem ise 4,37 ışık yılı uzaklığındaki ayrıca en yakın yıldız sistemi olan Erboğa takımyıldızı üyelerinden Alfa Centauri yıldız sisteminde keşfedilmiştir. α Cen’deki ilk keşif, Dumusque ve ark. (2012) tarafından α Cen B yıldızı için duyurulmuştu. Fakat Rajpaul ve ark. (2016) tarafından yapılan yeniden inceleme, Dumusque ve ark. (2012) çalışmasında kullanılan verinin sahte bir etki içerdiğini, bu nedenle yanlış yorumlandığını gösterirken, Demory ve ark. (2015), α Cen B yıldızının çevresinde Yer benzeri bir gezegenin Hubble uzay teleskobu ile alınmış geçiş ışık eğrilerini yayınladılar. Anglada-Escudé ve ark. (2016) tarafından elde edilen bulgular ise α Cen C (Proxima Centauri)’nin çevresinde Yer benzeri bir gezegen olduğu yönündeydi.

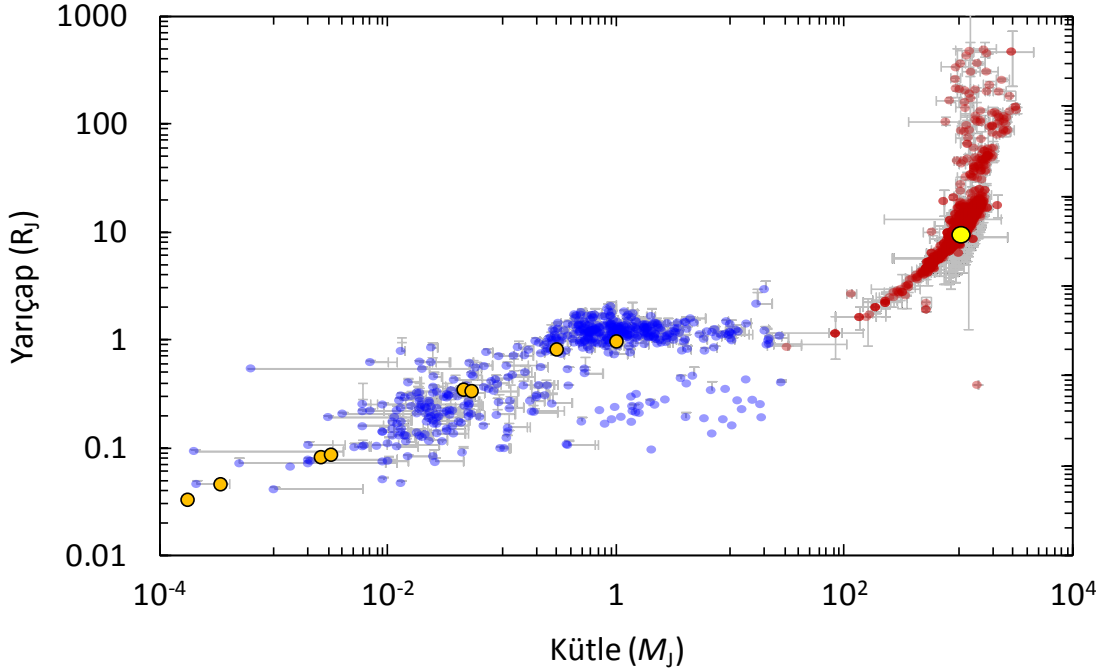


Şekil 1.1. Onaylanan gezegenleri barındıran yıldızların HR diyagramı üzerindeki dağılımları. Siyah noktalar, dağılım bölgelerindeki gezegen içermeyen örnekleri; yıldız kütlesine bağlı olarak renklendirilmiş içi boş daireler ise gezegenli yıldızları göstermektedir

Ötegezegenlerin etrafında dolandıkları yıldızların büyük çoğunluğu 6500 K'den daha soğuk yıldızlardır (bkz. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2). Dolayısıyla konvektif zarflara sahip bu yıldızlarda manyetik etkinliklerin bir sonucu olarak soğuk lekelerle karşılaşmak olasıdır. Leke hareketini tanımlamak, gezegenin eksen eğikliğine ilişkin bilgi sağlamaktadır (Sanchis-Ojeda ve ark., 2011). Gezegenlerin lekeli bir yıldız önünden geçişlerinde elde edilen yüksek duyarlıklı geçiş eğrileri, yıldızın leke haritasını verebilmektedir (Schneider, 2000; Silva-Valio, 2008). Böyle bir geçiş sırasında bir leke bölgesinin örtülmesiyle geçiş eğrileri akı miktarlarında yükselme (eğrinin bir bölgesinde çıkıntı) gözlenmektedir. En bilinen örnekler; HD 189733 b (Pont ve ark., 2007), HD 209458 b (Silva-Valio, 2008), GJ 1214 b (Berta ve ark., 2011; Carter ve ark., 2011), TrES-1 (Dittmann ve ark., 2009), CoRoT-2 b (Wolter ve ark., 2009) ve WASP-4 b (Sanchis-Ojeda ve ark., 2011)'dir. Lekesiz durumlara kıyasla lekeli durumda yıldızın etkin ışınımı azalmakta, gözlenen geçişler daha derin ölçülebilmekte dolayısıyla yıldızın ölçülen yarıçapı da değişebilmektedir (Carter ve ark., 2011).



Şekil 1.2. Etkin sıcaklıkları $3000 < T_e$ (K) < 7000 olan gezegen içeren yıldızların frekans dağılımları (mavi). Bu dağılım içinden geçiş gösterenler (yeşil), V parlaklığı 14 kadirin altında olanlar (sarı) ve geçiş derinliği (δ) $> 0,01$ olanlar (kırmızı çizgi) farklı renklerle gösterilmiştir (Exoplanets Data Explorer, 6 Aralık 2016)



Şekil 1.3. Ötegezegenler ve yıldızları kütle – yarıçap dağılımı (NASA Ötegezegen Arşivi - NEA, 2016). Grafikte yıldızlar, grafiğin sağ üst köşesine yerleşerek (kırmızı noktalar) dağılırken; grafiğin ortasında dev gezegenleri, kütle ve yarıçapın azalmasına bağlı olarak grafiğin sol alt köşesine yerleşen düşük kütleli gezegenleri görmekteyiz. Sarı ile işaretli nokta Güneş ve turuncu daireler, Güneş Sistemi gezegenlerini göstermektedir

Bir gök cisminin kütlesi $13 M_J$ 'ye eriştiğinde merkezinde döteryum yanmaya başlar ve enerji üretimi gerçekleşir. Fakat kabaca $5 M_J$ kütlesinde bir kahverengi cüce yıldız bulunabilirken (Basri ve Brown, 2006); bir dev gezegen, $60 M_J$ kütleyle kadar erişebilir (Hatzes ve Rauer, 2015). Şekil 1.3'te çizilen kütle-yarıçap dağılımında gezegenli sistemlerdeki gezegenler, yıldızlarıyla birlikte görülmektedir. Yıldızlar, büyük kütleleri nedeniyle grafiğin sağ üst köşesine yerleşmişlerdir. Gezegenlerin ise grafiğin ortasında ve sol alt köşesinde toplandıkları görülür. Grafiğin ortasında toplanan dev gezegenlerin geniş kütle aralığına ($\sim 0,079 - 6,0 M_J$) karşılık, dar bir yarıçap aralığında ($\sim 0,535 - 1,334 R_J$) dağılırken; yarıçap ve kütledeki küçülmeye sol alt köşede görülen genel dağılımında azalma eğiliminde olduğu görülür.

Gezegenlerin temel parametreleri, kütle ve yarıçaptır. Bu iki parametrenin belirlenmesiyle yıldızın diğer astrofizik ölçütleri ve yörünge parametrelerinin bilinmesi gezegenin atmosfer ve iç yapısına, oluşumuna ve evrimine ilişkin bilgilere ulaşılabilir. Bu nedenle ötegezegenler için kullanılan en yaygın sınıflama, kütle ve yarıçap dağılımları kullanılarak yapılmaktadır (bkz. Çizelge 1.1 ve Şekil 1.3). Bu sınıflamada Güneş Sistemi gezegenlerinden yararlanılır ve gezegenler, kütle-yarıçap aralıklarında türlerine göre ayrılırlar (Mendez, 2011; Fressin ve ark., 2013). Fakat bu sınıflamalarda Şekil 1.3'te dağılımlarının sınırlarında görülebileceği gibi keskin ayrımlar yoktur.

Çizelge 1.1. Ötegezegenler için yaygın kullanılan sınıflar (Mendez, 2011)

Tür Adı	Kütle Aralığı (M_J ve M_{yer})	Yarıçap Aralığı (R_J ve R_{yer})
Yer benzeri	$1,6 \times 10^{-3} - 6,3 \times 10^{-3}$	0,071 – 0,169
	0,5 – 2	0,8 – 1,9
Kütleli (Süper) Yer	$6,3 \times 10^{-3} - 0,031$	0,116 – 0,294
	2 – 10	1,3 – 3,3
Neptün benzeri	0,031 – 0,157	0,187 – 0,508
	10 – 50	2,1 – 5,7
Jüpiter benzeri	0,079 – 15,7	0,312 – 2,409
	50 – 5000	3,5 – 27

Kütle ve/veya yarıçap sınıflaması, ayrıca ilk kez keşfi yapılan gezegenlerin, belirlenen temel parametrelerinden yararlanılarak diğer parametrelerini tahmin etmeye yönelik hızlı bir araç olarak kullanılır. Bu nedenle *Kepler* uzay teleskobu gibi tarama programlarında veri analiz algoritmaları, böyle bir sınıflamaya ihtiyaç duymaktadır (bkz. Çizelge 1.2; Fressin ve ark., 2013).

Çizelge 1.2. Fressin ve ark. (2013) tarafından verilen yarıçap sınıflaması

Tür Adı	Yarıçap Aralığı (R_{yer})
Dev gezegenler	6 – 22
Dev Neptünler	4 – 6
Küçük Neptünler	2 – 4
Kütleli Dünyalar	1,25 – 2
Yer benzeri	0,8 – 1,25

Kütle-yarıçap dağılımı üzerinden oluşturulan *tür* sınıflamaları dışında dev gezegenlerin atmosfer özelliklerinin doğrudan kullanıldığı kapsamlı *yapı* sınıflamalarına gidilmiştir. İlk olarak Sudarsky ve ark. (2003), Güneş bolluğu ve termokimyasal denge kullanarak yıldız ışınımının gezegenin atmosferi üzerine etkisi ve bulut oluşumunu da dikkate aldıkları bir sınıflama yayınlamışlardır. Sonraları Fortney ve ark. (2008) gezegen atmosferinde ısısal devinimini olanlar ve olmayanlar olarak ayırdıkları tek boyutlu bir sınıflama sunmuşlardır. Fletcher ve ark. (2014) ise gezegen element içeriklerini ve gezegenin ısısal özelliklerini temel alan ayrı bir sınıflama daha oluşturmuştur.

1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının amacı, ötegezegenlerin geçiş eğrilerinin analizlerinden sistemin yörünge ve fiziksel parametrelerine en duyarlı biçimde ulaşmak ve geçiş zamanları değişimlerinde diğer cisimleri araştırmaktır. Ulaşılan fiziksel parametreler yardımıyla gaz gezegenlerin yapısal farklılıklarını ortaya çıkarmak ve anlamaktır.

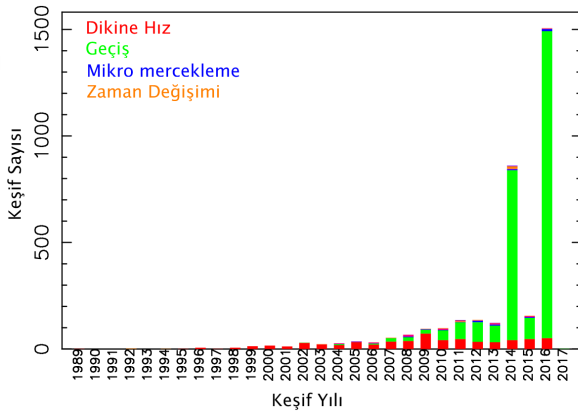
Bu amaçla, sıcak Jüpiter sınıfına giren ötegezegenlerden TrES-3b, Qatar-1b, HAT-P-36b ve WASP-10b gezegenlerinin yer tabanlı gözlemleri yapılmış ve geçiş ışık eğrileri elde edilmiş; *Kepler* uydu teleskobu ile alınan HAT-P-7b, Kepler-6b, Kepler-8b, Kepler-79b,c,d,e ve Kepler-491b'nin ışık eğrileri toplanarak analiz edilmiştir. TrES-3b, Qatar-1b, HAT-P-36b, WASP-10b ve Kepler-491b'nin geçiş zamanları ölçülmüş, O-C değişimleri çıkarılmış ve dönem analizleri yapılmıştır. HAT-P-7b, Kepler-6b, Kepler-8b, Kepler-79b,c,d,e sistemlerinde geçiş zamanları belirlenerek ışık elemanları güncellenmiştir. Gezegenlerin temel yapısal özellikleri gaz gezegenleri dağılımı içinde tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Ötegezegen Araştırmalarında Son Durum

İlk ötegezegen keşiflerinin ardından yer ve uzay tabanlı gözlemsel taramalar sayesinde artan ötegezegen sayısına bağlı olarak gezegenler ve yıldızları hem özel hem de genel değerlendirmelerle literatürde yer almıştır. 1996 yılında, ~10 kadar ötegezegen keşfedilmişken 2003 yılında bu sayı ~100'e; 2014'te ise ~1000'e çıkmıştır. Günümüzde (Aralık 2016), bilinen ötegezegen sayısı 3000 dolayındadır.



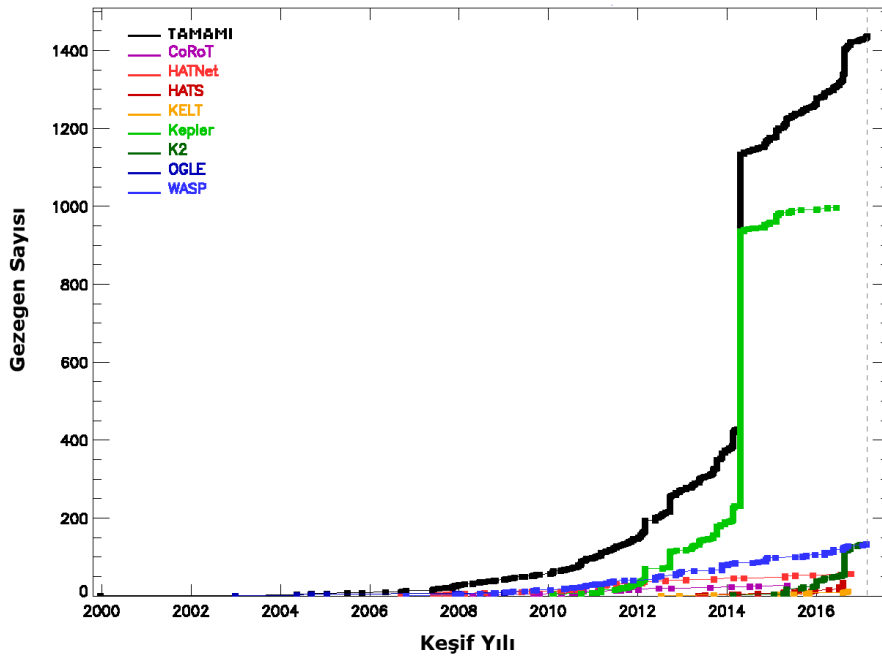
Şekil 2.1. Keşfedilme yöntemlerine göre keşif yılı – keşif sayısı dağılımı (NEA)

Ötegezegenlerin büyük çoğunluğu yer tabanlı teleskoplar ve uydu teleskoplarının yakaladıkları geçiş ışık eğrileri sayesinde bulunmuştur. Bunlardan *CoRoT* uydu teleskobunun gözlemleri Şubat 2007'de başlayıp Mart 2013'te tamamlanmış (Deleuil ve ark., 1997), 26 ötegezegen keşfedilmiştir. *Kepler* uydu teleskobu (Borucki ve ark., 1997) Aralık 2009'da başlayan gözlemlerini Ağustos 2013'te teknik nedenlerle bir süreliğine durdurmak zorunda kalmış ve bu zamana kadar 2215 ötegezegen keşfi yapılmıştır. *CoRoT*, zamanla değişen $2^{\circ},7 \times 3^{\circ},05$ 'lik gözlem alanını görebilirken; *Kepler*, ilk görevi sonlanana kadar Kuğu, Çalgı, Ejderha takımyıldızları arasında $10^{\circ},2 \times 10^{\circ},2$ 'lik sabit bir bölgeyi izlemekteydi. *Kepler* teleskobuyla, Kasım 2013'te *K2* adı verilen, uydunun kalan teknik imkanlarının kullanılacağı ve teleskobun 3 ayda bir farklı bir gözlemsel alana yöneleceği yeni bir gözlem sürecine başlanmıştır.

Keşif amaçlı yer tabanlı gözlem projeleri içinde Trans-Atlantic Exoplanet Survey Network: *TrES* (Alonso ve ark., 2004; Dunham ve ark., 2004; O'Donovan ve ark., 2004), Wide Angle Search for Planets: *SuperWASP* (Street ve ark., 2003), Hungarian Automated

Telescope Network: *HATNet* (Bakos ve ark., 2002), The Kilodegree Extremely Little Telescope, *KELT* (Pepper ve ark., 2004) ve *XO* Projesi (McCullough ve ark., 2005) gözlemlerine devam etmektedir (bkz. Şekil 2.2).

Uydu ve yer-tabanlı gözlem verilerine NASA Ötegezegen Arşivi (NEA): *Exoplanet Archive* - exoplanetarchive.ipac.caltech.edu (Akeson ve ark., 2013), parametrelerine ise Ötegezegen Veri Gezgini: *Exoplanets Data Explorer* - exoplanets.org (Han ve ark., 2014) ve Ötegezegen Ansiklopedisi: *The Extrasolar Planets Encyclopaedia* - exoplanet.eu (Schneider ve ark., 2011) ağ sitelerinden erişilebilmektedir.

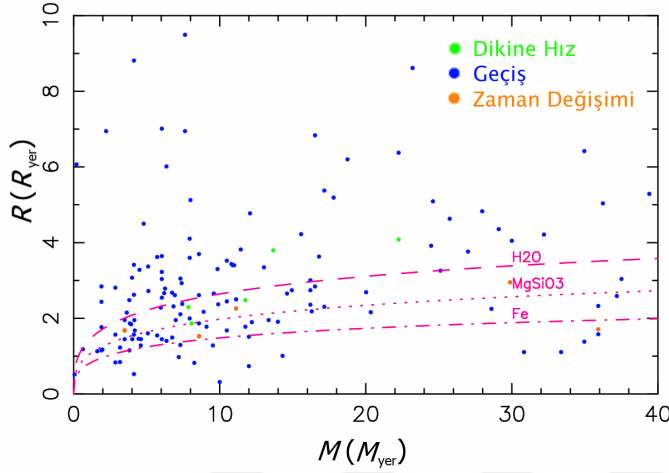


Şekil 2.2. Gözlem projeleriyle yıllara göre keşfedilen ötegezegen sayısı (Southworth, 2016)

Ötegezegen Geçiş Veritabanı (ETD): *Exoplanet Transit Database* - var.astro.cz/ETD (Poddany ve ark., 2010) üzerinden, ötegezegenlerin zamana karşılık parlaklık olarak alınmış gözlemsel verileri girdi olarak gönderilerek bu geçiş verilerinin çözümleri geçiş geometrisiyle birlikte alınabilmektedir. Girdisi yapılan verilerin geçiş ortası zamanları da grafikler ve çizelgelerle ETD'de yer almaktadır. Veritabanı, aynı zamanda listelediği ötegezegenlerin gözlemsel bilgilerini ve gelecekteki geçiş zamanlarını kullanıcıya bir biçimde sunması nedeniyle gözlemcilere büyük kolaylık sağlamaktadır.

Kepler uzay teleskobu, atmosfersiz bir ortamda çalışmanın avantajıyla yer tabanlı izlenmesi zorluklar içeren geçiş yapan Jüpiter'den küçük gezegenleri keşfedebilmektedir

(bkz. Şekil 2.3 ve ayrıca bkz. Bölüm 3.2). Bu gezegenlerin içinde yer alan Neptün ve Satürn benzeri gaz gezegenler, karasal ve Yer benzeri gezegenler araştırılmaktadır. Şekil 2.3'te yarıçapı $10 R_{\text{yer}}$ 'den, kütlesi $40 M_{\text{yer}}$ 'den küçük ötegezegenlerin kütle-yarıçap dağılımı, keşif yöntemlerine göre işaretlenmiş; kusursuz demir (Fe), kusursuz enstatit (MgSiO_3) ve kusursuz su (H_2O) yapısını temsil eden model eğrileri ile birlikte görülmektedir.



Şekil 2.3. Yarıçapı $10 R_{\text{yer}}$ 'den, kütlesi $40 M_{\text{yer}}$ 'den küçük geçiş (mavi), dikine hız (yeşil) ve zaman değişimi (turuncu) yöntemiyle keşfedilen ötegezegenlerin kütle-yarıçap dağılımı. Kesikli çizgilerle gösterilen kusursuz demir (Fe), kusursuz enstatit minerali (MgSiO_3) ve kusursuz su (H_2O) yapısını temsil eden model eğrileri (NEA, Aralık 2016)

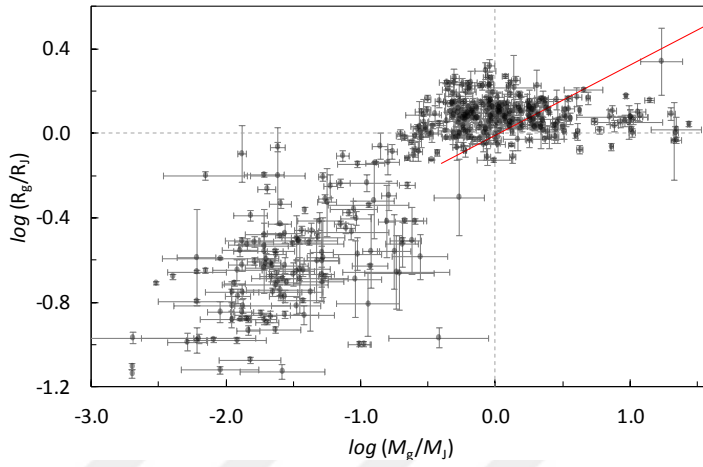
2.2. Sıcak Jüpiterler

Günümüz ışıkölçüm teknolojileriyle en fazla sayıda keşfi yapılmış ötegezegen, yıldızlarına yakın yörüngelerde ($a < 0,1 \text{ AB}$) dolanan, kısa dönemli ($P \lesssim 10$ gün) Jüpiter benzeri gaz gezegenlerdir (Rice ve ark., 2008; Wang ve ark., 2015). Kısa süren geçişleri ve %1'in üzerinde olan geçiş derinlikleri, bu gezegenlerin yer tabanlı küçük teleskoplarla gözlenebilmesini mümkün kılmaktadır. Bu tür gezegenlerin var olabileceği, keşifler başlamadan çok önce, Isaacman ve Sagan (1977) tarafından gezegen oluşum senaryolarını içeren simülasyon yazılımı ile tahmin edilmişti. Yapısal olarak benzerleriyle karşılaştırıldığında yüksek ölçülen yüzey sıcaklıklarından dolayı bu tür gaz gezegenlere "sıcak Jüpiter" denmektedir.

Sıcak Jüpiterlerin yıldızlarına olan yakınlıkları nedeniyle, dairesel yörüngelerde dolanıyor oldukları ve dönme-dolanma kilitlenmesinde bulunmaları beklenir. Bu sebeple gezegenin yıldız bakan yüzeyi hep aydınlık (gündüz) olacağı için karanlık (gece) tarafıyla

arasında belirgin bir sıcaklık farkı oluşacaktır. Bu sıcaklık farkları gezegenin albedosu hesaplanarak çıkarılabilmektedir. Sıcak Jüpiterlerin, yıldızlarına neden çok yakın dolandıkları, henüz kapsamlı cevaplanamamış, araştırılmaya ve tartışılmaya devam eden bir konudur.

Yoğunluk dağılımında hacimleri nedeniyle dağılımın dışına çıkan örnekler “şişmiş Jüpiter” olarak adlandırılır. Gözlemsel olarak elde edilmiş genel dağılımda şişmiş Jüpiterler için en küçük kütle değerleri $\sim 0,4 M_J$ ’den başlarken; yarıçapları $\sim 0,9 R_J$ ’nin üstüne çıkmaktadır (bkz. Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Gezegenlerin logaritmik ölçekte kütle-yarıçap dağılımı. Kesikli çizgi, Jüpiterin grafikteki konumunu; düz kırmızı çizgi Jüpiter yoğunluğunu göstermektedir. Gezegenlerin kütle ve yarıçap değerleri, NEA’den alınmıştır

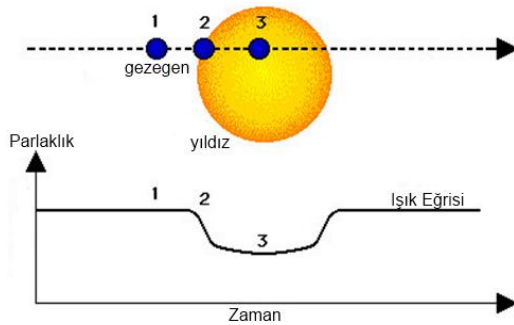
Gezegen yarıçapında şişme birçok sıcak Jüpiterin en belirgin özelliğidir. Standart evrim modellerinin dışına çıkan şişmiş sıcak Jüpiterleri açıklamak için içsel ısınma, rüzgarlarla taşınan iç enerji, dönme-dolanma eğikliğine bağlı tedirginliğin neden olduğu ısınma, atmosferik akışın meydana getirdiği direnç ve yıldız etkisiyle ısınmaya bağlı yörünge tedirginliği varsayımlarına dayalı çok sayıda tartışma yapılmıştır (Arras ve Socrates, 2010). Yıldız ışınımının etkisini dikkate alan Demory ve Seager (2011)’a göre dev gezegenlerde yarıçap büyümesi (şişmesi), yıldız akısının etkisiyle olmaktadır. Gezegene ulaşan yıldız akısının $\langle F \rangle \sim 2 \times 10^8 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ’nin altında olması durumunda, beklenen yarıçapın kusursuz bir H/He gezegeni oluşturamayacak kadar küçük olması nedeniyle bu mekanizmanın etkin olmadığını ifade etmişlerdir. Hartman ve ark. (2016)’na göre ise bu gezegenlerin yarıçapları, sistemin yaşıyla ilişkilidir. Bu ilişki gezegen yarıçapı

ile denge sıcaklığı arasında çok daha güçlü bir bağ ortaya koyarken gezegen yarıçapının yıldızının evriminden dolayı ışınım gücünün artmasından kaynaklandığı gösterilmiştir.

Ötegezegenler için NEA kullanılarak çizilmiş kütle-yarıçap dağılımı Şekil 2.4'te verilmiştir. Bu dağılımda Jüpiter'in konumu (kesikli çizgiler) ve Jüpiter'in yoğunluk eğrisi de gösterilmiştir. Bu grafikte yerleşimiyle kendini diğer gezegenlerden ayırdıkları seçilen ve boyutları nedeniyle keşif sayısının fazla olduğu dev gezegenlerin büyük çoğunluğunun Jüpiter'den daha kütleli ve daha büyük boyutlu olduğunu görebiliyoruz. Küçük kütleleri, büyük yarıçapları nedeniyle Jüpiter yoğunluğun çok altına inmiş (Şekil 2.4'te Jüpiter'in kütle-yarıçap oranını boyunca ilerledikçe yoğunluk çizgisinin sol üstünde kalan) gezegenler, şişmiş sıcak Jüpiterlerdir. Küçük kütleli ($M_g \leq 10 M_{yer}$) gezegenlerin bulunmasıyla birlikte dev gaz gezegenlerle olan farkları çok daha belirgin ortaya çıkmaktadır. Yarıçapları $R_g \lesssim 1,5 R_{yer}$ olan bu gezegenler, az miktarda barındırdıkları atmosferleriyle Güneş Sistemimizdeki karasal gezegenlere benzerken, gaz gezegenlerin belirgin hidrojen ve helyum zarflarının olduğu görülmüştür. Yakın Jüpiterlerde çekimsel bozulma ve yansımayı içeren yakınlık etkileri çok daha önemli olmakta; yakınlık etkileri gösteren ışık eğrilerinde sadece geometrik analizlerin kullanıldığı modeller yetersiz kalmaktadır.

2.3. Geçiş Gösteren Ötegezegenler ve Işık Değişimleri

Bir gezegenin yörünge hareketi sırasında, bakış doğrultusunda gözlemciyle, çevresinde dolandığı yıldız arasına girmesine “geçiş” denir (bkz. Şekil 2.5). Bir gezegen geçişi sırasında yıldız akısında yıldızın ve gezegenin yarıçaplarına bağlı olarak azalma gözlenir. Güneş benzeri bir yıldız çevresinde dolanan Jüpiter benzeri dev bir gezegenin geçişi, %1'lik bir ışık değişimi meydana getirirken, Yer benzeri bir gezegende bu değer, 100 kat daha küçük olacaktır (Burrows, 2014).

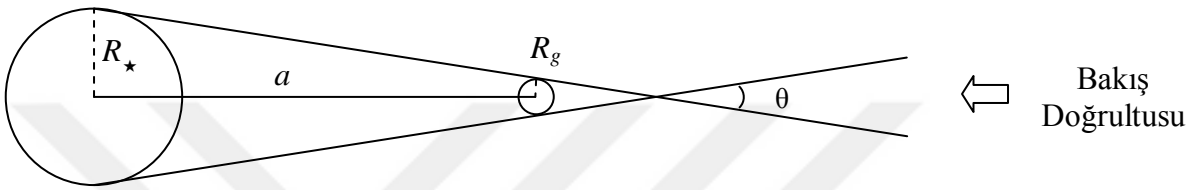


Şekil 2.5. Gezegenli bir yıldız sisteminde geçiş yapan bir gezegenin bakış doğrultumuzdaki gösterimi ve geçiş sırasında yörünge hareketine bağlı ışık eğrisinin oluşumu

Geçişler bakış doğrultumuzda olmadığı sürece gözlenemez. Yarıçapı $R_g \ll R_\star$ (veya $a \gg R_\star$) ve dairesel yörüngede dolanan, başka bir deyişle yörünge basıklığı $e = 0$ olan bir gezegenin geçiş olasılığı,

$$p_{geciş} = \sin \theta \approx \left(\frac{R_\star}{a} \right) \quad (2.1)$$

olarak verilir (Sackett, 1999; Winn, 2010). Burada θ , gölge konisinin tepe açısı; R_\star , yıldızın yarıçapı, a , yarı-büyük eksen uzunluğudur (bkz. Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Geçiş geometrisine bağlı geçiş olasılığı

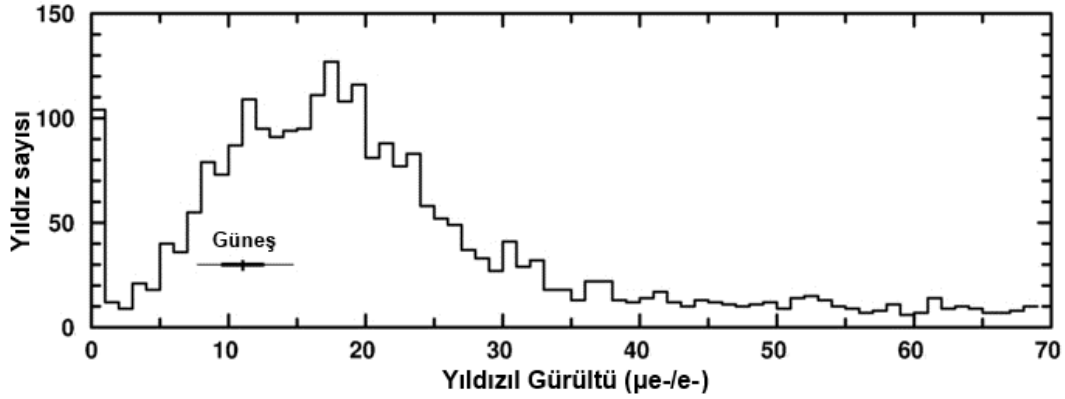
Yıldızına yakın gezegenlerin geçişleri, uzak gezegenlerle karşılaştırıldığında çok daha kolay tespit edilir. $R_\star = 1 R_\odot$ yarıçaplı bir yıldızdan Yer uzaklığında dolanan bir gezegenin geçiş olasılığı, $p = \% 0,46$ iken gezegen, Jüpiter uzaklığında ise olasılık, $p = \%0,10$ 'a düşer. $a = 0,05$ AB olan bir sıcak Jüpiter'in Güneş benzeri bir yıldızı önünden geçiş yapma olasılığı $\%10$ 'dur (Charbonneau ve ark., 2000; Hidas ve ark., 2005; Beatty ve Seager, 2010; Fischer ve ark., 2014). Gezegen, bir M tayf türü cüce yıldızın etrafında ise $p = \%4$ 'e kadar azalır. Buradan, basit bir yaklaşımla FGK tayf türü yıldızların $\%1$ 'i sıcak Jüpiter barındırıyor ve bunların $\%10$ 'u geçiş gösteriyorsa, tek bir Jüpiter geçişi yakalayabilmek için yaklaşık 1000 yıldız bakılması gerektiği ortaya çıkar.

Yer tabanlı fotometrik gözlemlerde kullanılan alıcılar genellikle CCD (Charge Coupled Device)'ler olmaktadır. Bir CCD alıcı ile yapılan ışıkölçümün sinyal/gürültü oranı (S/G), yıldızların yeterince parlak olduğu durumlar için,

$$S/G = \sqrt{C_\star t_b} \quad (2.2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, C_\star hedef yıldızın alıcıda saniyede sayılan elektron miktarı ve t_b biriktirme süresidir. Güneş-Yer çiftine benzer gezegenlerin geçişlerini yakalamak için alıcının toplam gürültüsünün milyonda seksen beşini ($85 \mu e^-/e^-$) geçmemesi gerekmektedir.

Buna ek olarak Güneş'in yüzey etkinliği milyonda on ($10 \mu e^-/e^-$) kadardır (bkz. Şekil 2.7; (Gilliland ve ark., 2011).



Şekil 2.7. *Kepler* ile ölçülen Güneş benzeri, $V = 12$ kadir parlaklığındaki nokta kaynakların gürültü düzeyleri (Gilliland ve ark., 2011)

Örneğin $V = 10$ kadir parlaklığındaki bir nokta kaynağı, 1 m'lik bir teleskop ve ona bağlı bir CCD alıcısı ile 60 s pozladığımızda $78 \mu e^-/e^-$ duyarlılığına kadar ölçebilirken, 600 s pozlayarak $25 \mu e^-/e^-$ duyarlılığına kadar inebiliriz. Aynı cisim, 60 s pozlayarak bu duyarlılığına yakın düzeyde almak istersek 5 m'lik bir teleskopa ihtiyacımız olmaktadır (bkz. Çizelge 2.1). Pozlama zamanı aldığımız veri sıklığını belirlediği için ötegezegen gözlemlerinde zaman-duyarlılık ilişkisi gözlemlerde dikkate alınması gereken bir noktadır.

Çizelge 2.1. $V = 10$ kadir parlaklığındaki bir nokta kaynağın poz sürelerine bağlı ölçebileceği duyarlılık seviyeleri ($\mu e^-/e^-$) (Dressing ve Charbonneau, 2013)

$V = 10$ kadir	5 s	60 s	600 s
10 cm teleskop	2690	780	250
1 m teleskop	270	78	25
5 m teleskop	54	16	5

2.3.1. Işık ve Dikine Hız Eğrileri

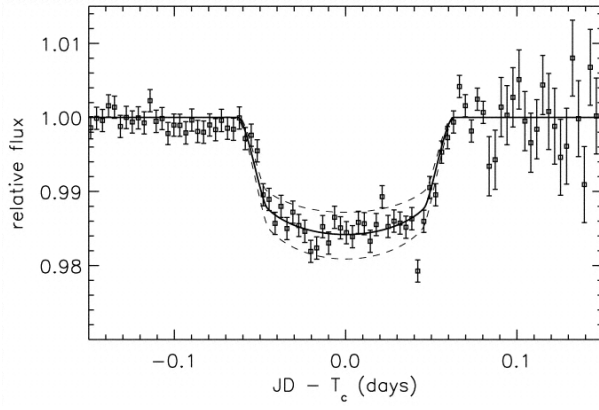
Ötegezegen çalışmalarında geçiş fotometrisi ve tayfsal ölçümler birlikte başlamış ve çoğunlukla birlikte yürütülmektedir. Yer tabanlı fotometrik taramalardan keşfedilen ötegezegenler, dikine hız ölçümlerinde belirleninceye kadar aday sınıfında bekletilmektedir. Daha duyarlı ölçüm yapabilen *Kepler* gibi uzay teleskoplarında istatistiksel belirlemelerle gezegen keşifleri doğrudan onaylanabilmektedir ki şimdiye kadar sadece dikine hız ölçümleriyle keşfedilmiş gezegenlerin sayısı (~ 550), geçiş ile

keşfedilenlerin sayısının yarısından azdır (bkz. Şekil 2.1). Dolayısıyla geçiş fotometrisinin ilk hedefi yüksek duyarlıklı ışık eğrileri elde edebilmek olmalıdır. Elde edilen ışık eğrilerinin çözümüyle; yörünge dönemi, yörünge eğim açısı, yörünge dışmerkezliği, geçiş parametresi, normalize ayırlık, yarıçaplar oranı bulunabilir. Evre eğrisi olarakta bilinen geçiş dışı ışık eğrisinin analiziyle; gezegen atmosferine; tedirginlik etkilerinin çıkarılmasıyla bileşenlerin kütle oranına ilişkin bilgiler elde edilebilir. Gezegenin örtülmesiyle alınan ikinci minimum eğrisi yardımıyla gezegenin ısısal ışınmı, bir diğer deyişle gündüz sıcaklığı belirlenebilmektedir (Snellen ve ark., 2009). Gündüz-gece sıcaklıkları karşılaştırılarak gezegen yüzeyinden yansıyan ışık miktarı (albedo) hesaplanıp gezegen dış atmosferi hakkında doğrudan çıkarımlar yapılabilmektedir.

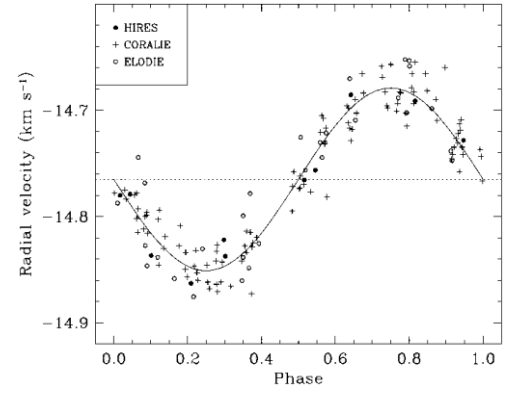
Geçiş gösteren bir gezegenin, uzun süreli ve sık fotometrik gözlemlerle takip edilmesiyle gezegenin yarıçapını daha duyarlı ölçebilmek (örn. Maciejewski ve ark., 2011), geçiş zamanı değişimini (TTV) oluşturmak; buradan TTV analizi yardımıyla başka cisimlerin varlığını ortaya çıkarabilmek (örn. Maciejewski ve ark., 2011), yıldızın leke değişimi, zonklama gibi bünyesel özelliklerini belirleyebilmek (örn. Rabus ve ark., 2009; Sanchis-Ojeda ve ark., 2011) ve gezegenin manyetik alanını örnekleyebilmek (örn. Llama ve ark., 2013) mümkün olmaktadır.

Gezegenli sistemlerin tayf gözlemleri, gözlemsel koşulların sınırları gereği öncelikle sistemin dikine hız eğrilerini elde edilebilme amacına yöneliktir. Dikine hız eğrilerinin çözümüyle; yörünge dönemi, yörünge basıklığı ve yarı-büyük eksen uzunluğu ile bileşenlerin kütleleri bulunabilir.

HD 209458b, önce dikine hız değişiminde farkedilen, sonrasında geçiş gözlemi ile doğrulanan ve ışık eğrisi elde edilen ilk gezegendir. HD 209458b'nin ilk ışık eğrisinden ortalama yarıçapı $R_g = 1,27 R_J$ ve yörünge eğim açısı, $i = 87^\circ,1$ olarak hesaplanmış; ışık eğrisindeki saçılma nedeniyle yarıçapının %10 düzeyinde büyük yada küçük olabileceği bulunmuştur (Charbonneau ve ark., 2000; bkz. Şekil 2.8i).



(i)

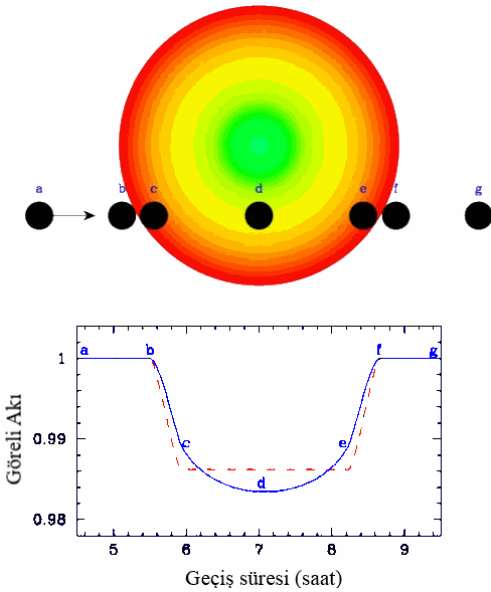


(ii)

Şekil 2.8. (i) Dikine hız verisiyle keşfedilip sonrasında geçiş gözlemi yapılan ilk gezegen olma özelliği taşıyan HD 209458b'nin ışık eğrisi (Charbonneau ve ark., 2000) ve (ii) dikine hız eğrisi (Mazeh ve ark., 2000).

HD 209458b, HD 189733b ile birlikte yüzey tayfı alınabilmiş olan iki gezegenden biridir (Deming ve ark., 2005). Gezegenler soğuk cisimler olmaları nedeniyle tayfları, geçiş tayfı ve yansıma tayfı; eğer yeterince sıcak bir atmosfere sahipse ısısal tayfı olmak üzere üç farklı yöntemle alınabilir.

Geçiş sırasında gezegen diski değişmez karanlık bir yüzey olarak kabul edilir ve ışık eğrisi analizinde kenar kararma etkisi sadece yıldızı için dikkate alınır. Kenar kararma etkisi, geçiş ışık eğrisinin biçimini değiştirebilen, geçiş derinliğine etki eden parametrelerden biridir (bkz. Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Kenar kararma etkisinin geçiş ışık eğrisine etkileri. Gezegenin, yıldız diski ile olan temas noktaları (a-g), ışık eğrisi üzerinde de gösterilmiştir (Coughlin, 2013)

Yıldızın kesirsel yarıçapı r_{\star} , gezegenin kesirsel yarıçapı r_g ve yörünge eğikliği i , ışık eğrisiyle hesaplanan en duyarlı parametrelerdendir ve geometrik parametreler olarak adlandırılır. Geçiş geometrisinde belirleyici geçiş parametresi, b , yıldız yarıçapı R_{\star} 'yi dikkate alır (bkz. Denklem 2.3). Özellikle yarıçap ölçümleri, geçiş eğrisinin derinliğine bağlıdır (Bölüm 3.3.1'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır).

$$b = \frac{a}{R_{\star}} \cos i \quad (2.3)$$

Gezegenin yüzey denge sıcaklığı (T'_{eq}), yansımaya etkileri sadeleştirilmiş bağıntıyla hesaplanmaktadır:

$$T'_{eq} = T_e \sqrt{\frac{R_{\star}}{2a}} \quad (2.4)$$

Burada, a , R_{\star} ile aynı birimdedir. Yansımaya etkisi biliniyorsa, A_B Bond albedo ve γ sıcaklık dağılım katsayısı olmak üzere Denklem 2.4, $[\gamma (1 - A_B)]^{\frac{1}{4}}$ ile çarpılmalıdır (López-Morales ve Seager, 2007).

Gezegenin yüzeyini ısıtan ana mekanizma olan yıldız ışınımı, gezegenin birim yüzeyine düşen, gezegene ulaşan akıdır:

$$\langle F \rangle = DT_e^4 \frac{R_{\star}^2}{a^2} \sqrt{\frac{1}{1 - e^2}} \quad (2.5)$$

Burada e , yörünge basıklığını tanımlar. Stefan-Boltzmann sabiti $D = 5,6704 \times 10^{-5} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-4}$ olarak verilir.

Kütleçekim odaklama parametresi olarak tanımlanan Safranov sayısı (Θ), Denklem 2.6 ile verilir (Safranov, 1972).

$$\Theta = \frac{1}{2} \left(\frac{v_{kaçış}}{v_{yörünge}} \right)^2 = \frac{a}{R_g} \frac{M_g}{M_{\star}} \quad (2.6)$$

Denklemden, $v_{kaçış}$ kaçış hızını ve $v_{yörünge}$ ise yörünge hızını ifade etmektedir. Safranov sayısı, bir gezegenin diğer cisimler üzerindeki tedirginliğinin bir ölçüsüdür diyebiliriz.

Hansen ve Barman (2007) tarafından önerilen sınıflamaya göre gezegenlerin denge sıcaklıklarıyla, Safronov sayıları arasında iki küme oluşturan bir dağılım ilişkisi vardır. $\Theta \sim 0,07 \pm 0,01$ aralığında dağılan gezegenler I. sınıf ve $\Theta \sim 0,04 \pm 0,01$ aralığında olanlar ise II. sınıf olmaktadır. II. sınıfa düşen cisimler, aynı T'_{eq} değerinde çoğunlukla daha sıcak yıldızlar çevresinde daha uzakta dolanmaktadırlar. Sınıflar arasındaki temel fark, kütlede görülmektedir. II. sınıf bir gezegen, I. sınıfa göre çok daha küçük kütleli; buna karşın bağlı buldukları yıldızları daha büyük kütlelidir.

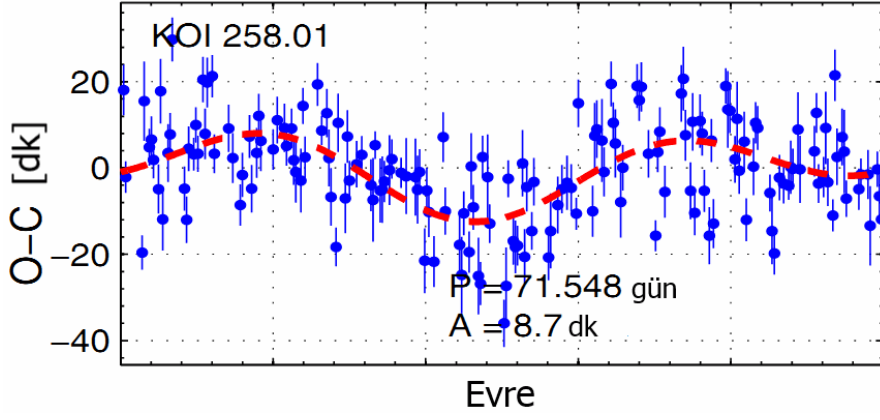
2.3.2. Geçiş Zamanı Değişimleri

İzlenen bir gezegenin geçiş zamanlarında gözlenen dönemli değişimlerin analizi, sistemdeki başka gezegenlerin ortaya çıkarılmasında etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Agol ve ark., 2005; Holman ve Murray, 2005; Steffen ve Agol, 2005; Miller-Ricci ve ark., 2008).

Geçiş zamanı değişimlerini (TTV) oluşturan, gözlenen gezegenin yörünge tedirginliğine neden olan cisimlerin kütle ve yörünge parametrelerini çıkarabilmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Agol ve ark. (2005), Holman ve Murray (2005), Steffen ve Agol (2005) gözlenen geçiş zamanı değişimini yapay olarak üretebilmek için çok cisim problemini kullanmışlardır. Fakat bu yöntem, değişkenleri bilinmeyen çok sayıda cismin çözümünü içerdiği için çok zaman almaktadır. Nesvorný ve Morbidelli (2008) ve Lithwick ve ark. (2012) tarafından önerilen diğer bir yöntemde tedirginlik analitik yollar ile hesaplanır. Nesvorný ve Morbidelli (2008)'nin analitik yaklaşımı, doğrudan yörüngedeki cismin parametreleri üzerinden gidilen diğer yaklaşıma göre 10^4 kat daha hızlı çalışmaktadır. Fakat dönme-dolanma kilitlenmesindeki gezegenler için uygun değildir. Son zamanlarda Hadden ve Lithwick (2017), *Kepler* verilerinden yararlanarak 55 *Kepler* yıldızının 145 ötegezegeninin TTV analizlerini sunmuşlardır. Çalışmalarında her iki yöntemi de kullanmışlar ve gezegen kütleleri ile yörünge basıklıklarını hesaplamışlardır. Hadden ve Lithwick (2017)'in ifade ettikleri gibi TTV sistemlerinin istatistiksel analizi zorluklar barındırmaktadır. Bu zorlukların en belirginini çok sayıda parametrenin birlikte çözülmesi gerekliliği nedeniyle güçlü dejenere durumlar ortaya çıkmasıdır.

Gözlenen geçiş zamanları sayesinde TTV'ye doğrudan frekans analizi uygulanarak, salınımına neden olan frekansın bulunması, böylece TTV döneminin çıkarılması (P_{ttv}) sağlanabilmektedir. Bu çalışmada geçiş zamanları dağılımına frekans analizi yapılarak TTV olasılığı tartışılmıştır (bkz. Bölüm 3.4). Örneğin KOI-258b için Mazeş ve ark. (2013), cismin gözlenen – hesaplanan (İng. observed–calculated, O-C) geçiş zamanlarıyla

oluşturulan dağılıma frekans analizi uygulayarak TTV d6nemi $P \sim 71,5 \pm 1,5$ g6n, genliği $A = 8,75 \pm 0,79$ dakika olan bir salınım bulmuşlardır (bkz. Şekil 2.10).



Şekil 2.10. KOI-258b'nin geçiş zamanları ve sin6sel TTV modeli (Mazeh ve ark., 2013)

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1. Yer Tabanlı Gözlemler

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi (ÇOMÜG)'nde İstanbul Üniversitesi ortaklığı ile kurulan 60 cm ayna çaplı teleskobu (T60), ÇOMÜG 122 cm ayna çaplı teleskobu (T122) ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) 100 cm (TUG100) ayna çaplı teleskobu kullanılarak CoRot-2b, HAT-P-3b, HAT-P-36b, HAT-P-37b, Qatar-1b, TrES-2b, TrES-3b, WASP-10b, WASP-12b, WASP-33b ve WASP-58b ötegezegenlerinin geçişleri toplamda 53 gece gözlenmiştir. HAT-P-36b, Qatar-1b, TrES-3b ve WASP-10b için yapılan gözlemlerde kullanılabilir 40 geçiş ışık eğrisi elde edilmiştir.

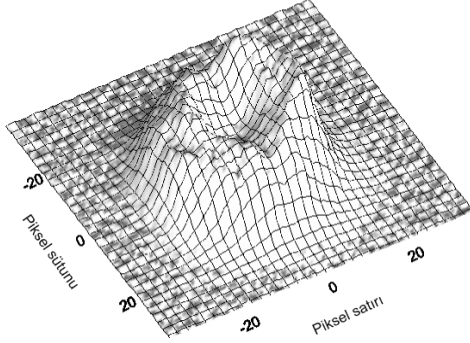
2012 yılı Mart ayında başlayan gözlemlerde sıklıkla T60 ve T122 ve bu iki teleskoba bağlı Apogee Alta U42 CCD (AP42) alıcıları kullanılmıştır. Her biri $13,5\mu\text{m} \times 13,5\mu\text{m}$ olan, 2048×2048 px çerçeve boyutuna sahip Apogee Alta U42 CCD'ler, piksel başına T60'da $0'',580$; T122'de $0'',232$ ölçeğine sahiptir. T60, SBIG STL-1001E (1024×1024 , 24 μm px) CCD alıcıyla kullanıldığında piksel ölçeği $1'',031$ olmaktadır. TUG teleskobu T100 odak düzleminde Spectral Instruments SI 1100 serisi, "Cryo-cooler" soğutmalı (-100°C) CCD kamera bulunmaktadır. Her biri $15\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$ boyutlarındaki dört alıcı yonga, 4096×4037 pikselden oluşmaktadır. Piksel ölçeği $0,31''/\text{px}$ 'dir. Okuma süresi 1×1 binning için 45 s, 2×2 binning için 13 s'dir. TUG100'de gözlemler, takip kamerasıyla yapılmaktadır. Kullanılan gözlem aletlerinin bilgileri, Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Teleskoplar ve odak düzlemi aletleri kurgularının özellikleri

Gözlemevi	Teleskop	CCD Alıcı	Görüş alanı (')	Piksel ölçeği ("/px)
ÇOMÜG	T122	Apogee Alta U42	$7,8 \times 7,8$	0,23
ÇOMÜG	T122	SBIG STL1001E	$7,1 \times 7,1$	0,42
ÇOMÜG	T60	Apogee Alta U42	$19,8 \times 19,8$	0,58
ÇOMÜG	T60	SBIG STL1001E	18×18	1,06
TUG	T100	Spectral Instruments SI1100	$21,1 \times 20,8$	0,31

Yer tabanlı geçiş gözlemlerinde fotometrik duyarlılık %1'den daha iyi olmalıdır. Bu nedenle duyarlı veri alabilecek tekniklere başvurulmaktadır. Southworth ve ark. (2009)'na göre odak-dışı görüntülerdeki rastlantısal ve düz alan düzeltmesinden gelen hataları azaltmak mümkündür. Odak bozma yöntemiyle optik sistemin odağı, nokta kaynaktan halka kaynağa yaklaştırılarak bozular (bkz. Şekil 3.1). Tregloan-Reed ve Southworth (2013)'a göre odak bozma sadece seyrek bölgelerdeki parlak cisimler için uygun

olmaktadır. Eğer kaynak çok sönükse arkaplan ve okuma gürültüsünden etkilenme miktarı artacaktır. Eğer kaynak kalabalık bir bölgede yer alıyorsa kaynağın nokta yayılım fonksiyonu yakın çevresindeki kaynaklarla karışabilmektedir.



Şekil 3.1. TUG100’de 12.11.2013 gecesi gözlenen WASP-10’nun CCD çerçevesinde odak dışı üç boyutlu profil görüntüsü

Yapılan gözlemler içinden çözüme alınabilecek kalitedeki ışık eğrilerinin gözlem tarihleri, teleskop, alıcı ve süzgeç bilgileri, Çizelge 3.2’de verilmiştir. Işık eğrisindeki gürültünün geçiş eğrisi duyarlılığından büyük olduğu durumlara ek olarak hava ve teknik şartlar nedeniyle oluşan kesintiler, örneklerin çoğu için yaklaşık 90 dk süren geçişin kaçırılmasına, yarım kalmasına, eksik başlanmasına neden olabilmektedir. Tüm bu durumlarda veri, gerekli görülmedikçe çözüme alınmamıştır. CoRoT-2b, HAT-P-3b, HAT-P-37b, TrES-2b, WASP-12, WASP-33 ve WASP-58b veri sayısı ve kalitesi yeterli olmadığından analize alınmamıştır.

Çizelge 3.2. Çalışma için yapılan fotometrik ötegezegen gözlemleri

Gezegen No.	Sıra No.	Ötegezegen Adı	Tarih	Teleskop + CCD	Filtre
1	1	CoRoT-2b	14.06.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
2	2	HAT-P-3b	03.05.2012	T60+AP42	R Bessell
	3	HAT-P-3b	23.02.2014	TUG100+SI1100	R Bessell
3	4	HAT-P-36b	17.03.2012	T60+AP42	VR Bessell
	5	HAT-P-36b	02.04.2012	T60+AP42	R Bessell
	6	HAT-P-36b	22.04.2012	T60+AP42	R Bessell
	7	HAT-P-36b	19.01.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
	8	HAT-P-36b	23.01.2016	TUG100+SI1100	R Bessell
	9	HAT-P-36b	27.01.2016	T60+AP42	R Bessell
	10	HAT-P-36b	08.02.2016	TUG100+SI1100	R Bessell
	11	HAT-P-36b	16.02.2016	T60+AP42	R Bessell
	12	HAT-P-36b	21.04.2016	TUG100+SI1100	R Bessell
	13	HAT-P-36b	07.05.2016	T60+AP42	R Bessell

Çizelge 3.2'nin devamı

Gezegen No.	Sıra No.	Ötegezegen Adı	Tarih	Teleskop + CCD	Filtre
4	14	HAT-P-37b	02.04.2012	T60+AP42	R Bessell
	15	HAT-P-37b	17.08.2012	T60+AP42	R Bessell
	16	HAT-P-37b	25.08.2014	T122+AP42	R Bessell
5	17	Qatar-1b	14.06.2014	TUG100+SI1100	R Bessell
	18	Qatar-1b	01.07.2014	T122+AP42	R Bessell
	19	Qatar-1b	28.07.2014	T122+AP42	R Bessell
	20	Qatar-1b	24.08.2014	T122+AP42	R Bessell
	21	Qatar-1b	20.09.2014	TUG100+SI1100	R Bessell
	22	Qatar-1b	30.09.2014	T60+STL1001E	R Bessell
	23	Qatar-1b	11.04.2015	T122+STL1001E	R
	24	Qatar-1b	15.05.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
	25	Qatar-1b	25.05.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
	26	Qatar-1b	04.08.2015	T122+STL1001E	R
	27	Qatar-1b	03.11.2015	T60+AP42	R Bessell
28	Qatar-1b	13.11.2015	T60+AP42	R Bessell	
29	Qatar-1b	20.11.2015	T60+AP42	R Bessell	
6	30	TrES-2b	24.06.2014	T60+AP42	R Bessell
	31	TrES-3b	03.06.2012	T122+AP42	VR Bessell
7	32	TrES-3b	07.06.2012	T122+AP42	VR Bessell
	33	TrES-3b	27.05.2013	T122+AP42	R Bessell
	34	TrES-3b	13.07.2013	T122+AP42	VR Bessell
	35	TrES-3b	15.06.2014	TUG100+SI1100	VR Bessell
	36	TrES-3b	02.07.2014	T122+AP42	R Bessell
	37	TrES-3b	27.04.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
	38	TrES-3b	30.06.2015	T122+STL1001E	R
	39	TrES-3b	08.07.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
	40	TrES-3b	21.07.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
	41	TrES-3b	07.08.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
	42	TrES-3b	24.08.2015	T60+AP42	R Bessell
8	43	WASP-10b	13.12.2012	T60+STL1001E	R
	44	WASP-10b	12.11.2013	TUG100+SI1100	R Bessell
	45	WASP-10b	08.07.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
	46	WASP-10b	08.08.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
	47	WASP-10b	15.11.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
9	48	WASP-12b	21.01.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
	49	WASP-12b	14.01.2016	T60+AP42	R Bessell
10	50	WASP-33b	06.12.2013	TUG100+SI1100	BVR Bessell
	51	WASP-33b	28.12.2013	T60+AP42	BVR Bessell
	52	WASP-33b	25.08.2015	TUG100+SI1100	R Bessell
11	53	WASP-58b	24.07.2013	T122+AP42	VR Bessell

Görüntülerin fotometrik analizi için IRAF DAOPHOT ve AstroImageJ yazılımları kullanılmaktadır (Stetson, 1987). AstroImageJ ve dahili programları, Collins ve Kielkopf (2013) tarafından derlenen ve geliştirilen ve ImageJ üzerinde çalışan yazılımlardır. Fotometri sonucu alınan çıktı, hatalarıyla birlikte zamana karşılık akı veya parlaklık değişimi olabilmektedir. Görüntülerin arındırılması işlemi, alışılagelen sıfır seviye akım

(bias), kara akım (dark) ve düz alan (flat) düzeltmelerini içermektedir. Görüntü analizinde açıklık fotometrisi hedef, iç gök ile dış gök çemberleri, ışık eğrisinin en az saçılma gösterdiği en uygun değerlerde hedef ve birden fazla mukayese için seçilmektedir. Bunun için fotometriye başlamadan tüm görüntüleri temsil edecek bir ortalama açıklık değeri belirlenmekte; fotometri sırasında hedeflerin yarı yükseklikteki tam genişlik (FWHM) değerleri ile “çok mukayeseli değişen açıklık fotometrisi” uygulanmaktadır.

Veri kalitesine karar verebilmek için fotometrik ve ışık eğrisi geçiş dışı verisi duyarlılıkları ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Fotometrik duyarlılık analiz yazılımlarından alınır ve ışık eğrisini oluşturan her bir noktayla çizdirilmektedir. Gözlemsel duyarlılık hesabında geçiş dışında kalan noktaların standart sapması kullanılmakta olup, bu çalışmada $\sigma_{\text{gözlem}}$ ile ifade edilmiştir. Özellikle takibin duyarlı olmadığı teleskoplarda düz alan düzeltmesinin çoğunlukla saçılmayı arttırdığı görülmüştür. Southworth ve ark. (2014) duyarlı bir takibin değerinin 2" daha az olması gerektiğini öngörmektedir. Southworth ve ark. (2015)'na göre hedefin komşu pikseller üzerindeki küçük miktarlardaki hareketi, düz alan düzeltmesi gerektirmemektedir. Büyük miktarlardaki yer değiştirme durumunda ise, alıcıdaki değişken aydınlanmanın etkisini giderebilmek için düzeltmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda T122 ve T60 teleskoplarında düzeltme yapılması önemliken; ototakibin bulunmadığı bu teleskoplarda eğer homojen dağılımlı düz alan görüntüsü almak mümkün olamıyorsa, düzeltme iyileştirme yerine görüntüyü bozmaktır. Sonuç olarak piksel duyarlılık farklılıklarının getireceği saçılma, düzeltmenin getireceği olası saçılmaya tercih edilmektedir.

Işık eğrisinde saçılma olarak ortaya çıkan alıcı gürültüsü, beyaz gürültüdür. Alıcının hassasiyeti ve/veya toplanan foton miktarı arttıkça beyaz gürültü azalmaktadır (bkz. Bölüm 2.3). Işık eğrileri beyaz gürültüye ek olarak kırmızı (sistemik) gürültü de barındırabilir. Bu gürültüler, zamana bağlı eğilimler olarak ortaya çıkar. Sistemik gürültülerin, yıldızın etkinliği, atmosferik etkiler ve aletsel etkiler kaynaklı olabildiği bilinmektedir. Sistemik gürültü meydana getiren aletsel etkilerin başında teleskobun takibi gelmektedir. Hedefin CCD çerçevesi üzerindeki hareketiyle piksel duyarlılıklarına bağlı olarak ışık eğrisi değişebilmektedir. Işık eğrisi, atmosferik sönümlenme ve/veya hedef yıldız ile mukayese yıldız arasındaki renk farklılıkları nedeniyle de seviye değişimi gösterebilmektedir. Bu çalışmada seviye değişimi eğilimleri, geçiş dışında kalan noktalardan geçen bir doğru denklemini ile düzeltilmektedir. Bunun dışında farklı uygulamalar da bulunmaktadır:

- Petrucci ve ark. (2013)'na göre geçiş dışındaki noktalara Legendre polinomunu uygulanır ve eğilim çıkarılır.

- Ioannidis ve ark. (2014)'na göre tüm veri, ikinci dereceden polinom uydurulan noktalara bölünür.
- Geçiş dışına uydurulan birinci ve ikinci dereceden polinomlar, ışık eğrisinden çıkarılır (Maciejewski ve ark., 2011). Bu yöntem aynı zamanda hedef yıldızın etkinliğinin işaretlerini ve olası ay etkisinin parlaklık gradyentini ortadan kaldırmaktadır.
- Fark fotometrisinde hedef ve yakın çevresindeki ışık şiddeti değişmeyen bir yıldız, aynı boyutta açıklık ile indirgenir. Hedef cismin ışık eğrisi, mukayesenin değişimine bölünür. Eğer mukayese hedef yıldızla yeterince yakınsa, bu gök saydamlığındaki değişimin etkilediği kısa zaman (yaklaşık poz süresi) ölçeğindeki değişimleri yok eder. Ayrıca uzun zaman ölçeğindeki değişimleri de kaldırır.

3.2. Kepler Uydu Gözlemleri

Kepler Uzay Teleskobu, kısaca *Kepler*, dört yıllık sürede ~150.000'nin üzerinde yıldızı gözlemiştir. Teleskobun ana hedefi, fotomerik yöntemle ötegezegen keşfi yapmaktır. Şimdiye kadar 575'i çoklu sistem olmak üzere, 3400'ün üzerinde doğrulanmış; 4500'ün üzerinde doğrulanmayı bekleyen gezegenli sistem keşfetmiştir (NEA, 2016). Teleskobun fotometrik duyarlılığı, $V = 12$ kadir bir yıldız için 6,5 saatlik bir sürede milyonda 20'den daha az olarak verilmiştir (Batalha, 2014). *K2* için bu duyarlılık, aynı koşullar altında ~ milyonda 300'e düşmüştür (Howell ve ark., 2014). *K2*'de gözlenebilen cisim sayısı ~10.000'dir.

Kepler uydu verilerine doğrudan zaman serisi haliyle ulaşılabilmektedir. Bu veriler, kısa ve uzun zaman aralıklı olmak üzere iki türde dağıtılmaktadır. İlk tür veride 54,2 saniyelik poz süreleriyle alınan kısa aralıklı (Short Cadence – SC) gözlem noktaları bulunmaktadır. Uzun aralıklı gözlem (Long Cadence – LC) verilerinde süre aralığı 1626 saniye, ~30 dakikadır. SC gözlem verileri, LC verilerine göre zaman ekseninde daha duyarlıdır. *Kepler* veritabanında ayrıca geçiş parametrelerinin TCE (Threshold Crossing Events) algoritmasıyla hesaplanmış değerleri de yer almaktadır (Twicken ve ark., 2016). NEA veritabanı kullanılarak ışık eğrileri alınan ve çözümleri yapılan *Kepler* gezegenleri listesi Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Tez çalışmasında kullanılan *Kepler* gözlemleri

Ötegezegen Adı	Gözlem Çeyreği ve Veri Türü	Başlangıç - Bitiş Zamanları (BJD - 2454833+)
HAT-P-7b (<i>Kepler</i> -2b)	0 - 17 SC	121 - 1591
<i>Kepler</i> -6b	2 - 6, 9,10, 12 SC	170 - 629, 809 - 1000, 1099 - 1182
<i>Kepler</i> -8b	0 - 17 LC	121 - 1591
<i>Kepler</i> -79b	1 - 17 LC	132 - 1591
<i>Kepler</i> -79c	1 - 17 LC	132 - 1591
<i>Kepler</i> -79d	1, 3 - 17 LC	132 - 165, 260 - 1591
<i>Kepler</i> -79e	1 - 16 LC	132 - 1558
<i>Kepler</i> -491b	1 - 17 LC	132 - 1591

3.3. Geçiş Işık Eğrileri Analizleri

Bu çalışmada toplamda 40 geçiş ışık eğrisi, dört cisim için yapılan yer tabanlı gözlemlerle; 124 ışık eğrisi *Kepler* gözlem verilerinden alınarak analize hazır hale getirilmiştir.

Gözlenen geçiş ışık eğrileri, her gece kendi içinde olmak üzere birer birer analiz edilmektedir. Dolayısıyla ışık eğrisi sayısı kadar sonuç değeri elde edilmiştir. *Kepler* gözlemlerinde ise geçişler, sadece kendi gözlem çeyreği içinde evrelendirilerek birleştirilmekte ve analize alınmaktadır. Her iki durumda da cihazlar için bir gözlem sezonunun verisi kullanılmış olmaktadır.

Geçiş ışık eğrileri analize alınmadan önce akı değerleri bire normalize edilmektedir. Normalize edilmiş ve eğime doğrusal düzeltme uygulanmış veri çözüldükten sonra artıklarında, zaman ortalaması yöntemiyle sistematik gürültünün derecesi hesaplanmıştır (Winn ve ark., 2008). Bu yöntemde akı değişimindeki sistematik gürültünün hesabı, $S = \sigma_r / \sigma_N$ bulunarak yapılmaktadır. S katsayısının birden büyük olduğu durumlarda geçiş dışı verinin gözlemsel duyarlılığı ($\sigma_{gözlem}$), S ile çarpılarak ağırlıklandırılmış, σ_s olarak verilmiştir. Burada σ_r , geçişdışı verisi en iyi doğrusal eğrisinden gelen artıkların N adet noktaya gruplanması sonucu elde edilen noktalardan hesaplanan standart sapmadır. σ_N ise artıkların toplam süresinin, giriş ve çıkış süresine bölünerek elde edilen her K gruplama sayısını veren N sayısı seçilerek, Denklem 3.1 ile hesaplanır (Petrucci ve ark., 2013):

$$\sigma_N = \frac{\sigma_{gözlem}}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{K}{K-1}} \quad (3.1)$$

Yıldızın kütle (M_\star), yarı-büyük eksen uzunluğu (a) ve etkin yüzey sıcaklığı (T_e) literatürden alınarak analizlerden bulunan değerlerle yıldız (R_\star , ρ_\star , $\log g_\star$) ve gezegenin

$(R_g, \rho_g, \log g_g, T'_{eq})$ fiziksel parametreleri hesaplanmış, sonuç parametreleri ağırlıklı ortalamalarla verilmiştir. Ortalama değerler üzerinden ışık eğrisi modeli oluşturulmuş; binning uygulanan veriyle birlikte çizdirilmiştir.

Binning işlemi için önce evrelendirilmiş gözlem sezonları birleştirilmiş, evreye göre sıralandıktan sonra istenilen nokta sayısına ulaşmak için, n tamsayı olmak üzere, her n noktanın ortalaması alınmıştır.

3.3.1. Geçiş Kuramı

Gezegen geçişi en basit yaklaşımla farklı boyutlardaki iki dairenin geometrisiyle çözümler (bkz. Şekil 3.2). Yıldız çemberinin merkezinden gezegenin bakış doğrultumundaki yörüngesine olan dikey uzaklığına geçiş (veya etki) parametresi, b denir (bkz. Denklem 2.3). Geçiş ışık eğrisinde gezegen çemberinin yörünge hareketinde yıldız çemberine yaklaşarak ona değdiği yani geçişin başladığı an (t_I) ile gezegen çemberinin tümüyle yıldız önüne geçmesi (t_{II}) arasında geçen süre “geçişe giriş süresi”dir. Gezegen çemberinin yıldız çemberinden uzaklaşması sırasında da tam geçişten çıktığı an (t_{III}) ile gezegen çemberinin yıldız çemberinden ayrıldığı, geçişin bittiği an (t_{IV}) arasındaki sürede “geçişten çıkış süresi”dir. Sadece geçişi içeren başka hiçbir etkinin olmadığı basit geometrik yaklaşımda giriş ve çıkış süreleri eşittir ve Şekil 3.2’de τ_{gc} ile gösterilmiştir. Geçiş derinliği, bileşenlerin yarıçaplarına bağlıdır: $\delta = R_g^2/R_\star^2$. Kesirsel yarıçaplar, $r_\star = R_\star/a$ ve $r_g = R_g/a$ olarak yazılır. Sistemdeki bileşenler, numaralarla ifade edildiğinde yıldız her zaman birinci bileşen olmalıdır.

Yörünge dönemi P olan bir gezegen, dairesel bir yörüngede Kepler’in üçüncü yasasına göre yıldızın çevresinde dolar:

$$P^2 = \frac{4\pi a^3}{G(M_\star + M_g)} \quad (3.2)$$

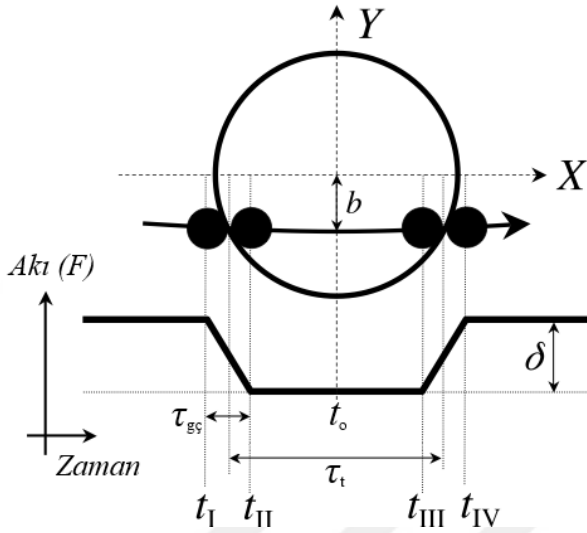
Burada G , evrensel çekim sabitidir. Eğer $M_g \ll M_\star$ yaklaşımı yapılırsa, M_\star ve P ’nin bilinmesiyle a bulunabilir. Yıldızlı kütle-yarıçap ilişkisi,

$$R_\star = \alpha M_\star^x \quad (3.3)$$

bağıntısıyla α , Hertzsprung-Russell diyagramı yıldız grupları (anakol, dev, vb.) için seçilen bir sabit ve x , bu grupların üssel ifade edilen bir fonksiyonu olmak üzere verilir.

Cox (2002)'a göre F-K tayf türü anakol yıldızları için $\alpha = 1$ ve $x \sim 0,8$ alınabilir. Böylece bilinen M' 'ye karşılık R tahmin edilebilir.

Winn (2010) tarafından verilen tam geçiş geometrisi Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Winn (2010), bu gösterimleri kullanarak $R_{\star} \ll a$ şartları altında şu çıkarımların yapılabileceğini göstermiştir:



Şekil 3.2. Geçiş geometrisi (Winn, 2010)

Geçiş parametresi,

$$b = \frac{a}{R_{\star}} \cos i \frac{1 - e^2}{(1 + e \sin \omega)} \quad (3.4)$$

bağıntısıyla yörünge durumuna göre hesaplanabilir. Süreklilik akısı $F_{\text{geçiş dışı}}$ ve t_o geçiş ortası anında ölçülen akı $F_{\text{geçiş ortası}}$ olmak üzere geçiş derinliği,

$$\delta = \frac{F_{\text{geçiş dışı}} - F_{\text{geçiş ortası}}}{F_{\text{geçiş dışı}}} = \frac{R_g^2}{R_{\star}^2} \quad (3.5)$$

buradan, yarıçaplar oranı,

$$k = \frac{R_g}{R_{\star}} = \sqrt{\delta} \quad (3.6)$$

yazılabilir.

Geçiş giriş veya çıkış süresi,

$$\tau_{g\zeta} = \frac{r_g P}{\pi \sqrt{1 - b^2}} \quad (3.7)$$

ve tam geçiş süresi,

$$\tau_t = r_\star P \pi^{-1} \sqrt{1 - b^2} \quad (3.8)$$

olarak hesaplanır. Yıldızın kesirsel yarıçapı

$$r_\star = \frac{R_\star}{a} = \frac{\pi \sqrt{\tau_t \tau_{g\zeta}} (1 \pm e \sin \omega)}{\delta^{\frac{1}{4}} P \sqrt{1 - e^2}} \quad (3.9)$$

olarak yazılır. Değme anları, dairesel yörüngeler için,

$$t_{14} \equiv t_{IV} - t_I = \frac{P}{\pi} \sin^{-1} \left[\frac{R_\star \sqrt{(1 + k)^2 - b^2}}{a \sin i} \right] \quad (3.10)$$

$$t_{23} \equiv t_{III} - t_{II} = \frac{P}{\pi} \sin^{-1} \left[\frac{R_\star \sqrt{(1 - k)^2 - b^2}}{a \sin i} \right] \quad (3.11)$$

elips yörüngeler için Denklem 3.10 ve 3.11'in $\sqrt{1 - e^2}/(1 \pm e \sin \omega)$ ile çarpılmasıyla elde edilebilir. $R_g \ll R_\star \ll a$ şartları altındaki tam geçiş durumunda geçiş parametresi,

$$b = \left[\frac{(1 - \sqrt{\delta})^2 - (t_{14}/t_{23})^2 + (1 + \sqrt{\delta})^2}{1 - (t_{14}/t_{23})^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.12)$$

bağıntısıyla bulunabilir ve buradan Denklem 2.3 yardımıyla yörüngenin eğim açısı i hesaplanabilir. $R_\star \ll a$ yaklaşımı, $t_{14}\pi/P \ll 1$ ile eşdeğerdir.

3.3.2. Işık Eğrisi Analizleri: WINFITTER

Geçiş ışık eğrilerinin analizleri, Rhodes ve Budding (2014) tarafından sunulan WinFitter yazılımı ile yapılmıştır.

WinFitter yazılımı, Fitter kaynak kodunu kullanan kullanıcı dostu arayüze sahip bir uygulamadır (bkz. Şekil 3.3). Fitter ise, χ^2 indirgemesi kullanan hesaplama adımları, Budding ve Najim (1980) tarafından geliştirilen ve Budding ve Zeilik (1987) tarafından yükseltelen bir algoritmadır (ayrıca bkz. Budding ve Demircan, 2007). Yazılım, kullanıcının verideki bilgiyi etkin bir şekilde değerlendirebilmesini sağlamak amacıyla Hessian eğrilik matrislerini kullanır (Bevington, 1969). En iyi çözüm, χ^2 'nin en küçük olduğu değerde bulunur. Yazılım, değişimi izlenebilen ve adımları denetlenebilen bu değere yaklaşabilmek için iyileştirme adımları içerir. Sonrasında Hessian eğrilik matrisi ve tersi olan hata matrisini en iyi değer komşuluğunda hesaplar. Hessian matrisindeki negatif öz değerler (ayrıca hata matrisinin ortogonalinde görülen negatif elemanlar) belirsizliği ve karşılık gelen özvektörleriye hangi değişkenlerin daha iyi koşullandığını gösterir. Değişkenin hesaplanabilecek en iyi değeri açıkça verinin kalitesine bağlıdır. Özetle, Fitter uygulaması, kullanıcıyı, eldeki veriyi sınırlarına göre değerlendirmeye zorlamaktadır ve kullanıcının bu sınırlar dışında hareket etmesini önleyecek bilgiler sunmaktadır.



Şekil 3.3. WinFitter 2.6 sürümü ana penceresi

Yazılım, ışık eğrisi modellemesi için 16 girdi parametresi kullanır. Bunlardan ikisi, U ve $\Delta\phi_0$ ışık eğrisinin yatay ve dikey ekseninde referans noktaları olarak kullanılır. U , ışık eğrisinin süreklilik akısını (Şekil 3.2'ye göre $U = F_{\text{geçiş dışı}}$) ve $\Delta\phi_0$ zaman eksenindeki geçiş ortası konumu ayarlamaktadır. r_1 , k , i ve e ile M_0 yörüngenin ortalama anomalisi, u_1 ve u_2

bileşenlerin doğrusal kenar kararma katsayıları geçiş modellemesindeki en etkin parametreler olarak kullanılır. Bileşenlerin kesirsel ışıtmaları L_1 ve L_2 'de yazılmalıdır. Kütle oranı $q=M_2/M_1$, bileşenlerin çekim kararma katsayıları β_1 ve β_2 , ve ısıtma etki parametreleri E_1 ve E_2 , geçiş dışında baskın olan yakınlık etkilerini çözmek için dikkate alınır (Budding ve Najim, 1980). Karacisim yaklaşımı yapılırsa, çekim kararma katsayıları yerine bileşenlerin yüzey sıcaklıkları T_1 ve T_2 ; E_1 yerine Å biriminde etkin dalgaboyu ve E_2 yerine empirik albedo katsayısı kullanılır.

WinFitter, geçiş geometrisiyle birlikte tüm ışık eğrisini uydurabilmek için “Radau modeli”nden yararlanır (Kopal, 1959). Böylece yakınlık etkilerini de çözebilmektedir. Yakınlık etkilerinden olan yansımaya etkisi, Budding (1974) tarafından ayrıntılı tartışılmıştır. (Budding ve ark., 2016b), yansımaya etkisini özetle şöyle açıklamaktadır: “Baş bileşenin ışınımı L_1 , diğer bileşen üzerine ΔL_{R2} kadar ışınım şiddetiyle etkirse, Denklem 3.13’te verildiği şekilde yazılır.

$$\Delta L_{R2} = E_2(\lambda, T)L_1 \left\{ r_2^2 \frac{2[(\pi - \theta) \cos \theta + \sin \theta]}{3\pi} + r_2^3 \frac{[3 \cos^2 \theta + 2 \cos \theta - 1]}{8} + \frac{r_2^4 \cos^2 \theta \sin \theta}{\pi} - \frac{r_1^2 r_2^2 \sin \theta}{\pi} \left(\pi - \frac{12[5 + (\pi - 5)u]}{5(3 - u)} \right) \right\} \quad (3.13)$$

Burada $\theta = \cos^{-1}(\cos \phi \sin i)$ ile verilir. ϕ , yansıtıcı cismin yörünge evresini; i , bakış doğrultusundaki yörünge eğim açısını göstermektedir. Dalgaboyu λ ve sıcaklık T , yansıtıcı yüzeyin ışınım etki katsayısı E_2 'ye bağlıdır. E_2 'nin açılımı, Denklem 3.14 ile verilmiştir.

$$E_2 = \frac{J(\lambda, T_2)T_1^4}{J(\lambda, T_1)T_2^4} \left(\frac{x_2 \psi}{4(1 - e^{-x_2})} \right) \quad (3.14)$$

Burada $x_2 = hc/D\lambda T_2$ ile verilen Boltzmann-Planck terimi ve ψ , kenar kararmasına bağlı bir fonksiyondur ($\psi = 1, 2, \dots, n$). Göreceli küçük ölçekli yansılarda akı, $J(\lambda, T)$, Planck fonksiyonu $B(\lambda, T)$ ile yer değiştirilebilir. Böylece karacisim yaklaşımı yapılmış olur. ψ etkisi ve denklemdeki diğer yaklaşımlar, empirik olarak ayarlanabilen bir katsayıya dahil edilmiş olarak kabul edilebilir. Bu katsayı empirik albedodur. Genel termodinamik yaklaşımlar altında bolometrik albedonun tüm yönlerdeki etkisi toplamının bire eşit olmasını beklenir.

Barclay ve ark. (2012) tarafından geometrik albedo Denklem 3.15 ile verilir:

$$A_g = r_2^2 A_r \quad (3.15)$$

Burada A_r , ϕ_1 parametresi Denklem 3.13'ün büyük parantezi içindeki ilk terimi tanımlamak üzere $A_r = \pi \Delta L_{R2} / \phi_1$ şeklinde açılır ve ϕ_n , Denklem 3.13'te ihmal edilen parametreleri göstermek üzere $A_g = \frac{2}{3} E_2 (1 + \phi_n / \phi_1)$ olarak yazılır. Buradan A_r 'nin paydasındaki ifadeyi, Denklem 3.13'te L_1 parantezi içindeki ifadeyle eşitlemek uygunsuz olmaz. Bu durumda $A_g \sim E_2$ yaklaşımı yansıyan ışığın ısısal ışıma gibi davranacağını işaret etmektedir. Dolayısıyla Lambert yasasına uyan en ideal koşullarda A_g ve E_2 arasında bir katsayı kadar farkın olması gerekmektedir”.

Yansıma etkisinin dışında çekimsel etki nedeniyle ışık eğrisi biçiminde değişimler meydana gelebilir. Budding ve ark. (2016b), bu durumu şöyle özetlemektedir: “Işık eğrisini bozan çekimsel etki, $\Delta L_{E1}(0)$ ile ifade edebileceğimiz bir tekdüze terim, bir de kenar kararma etkisinin dahil olduğu $\Delta L_{E1}(1)$ teriminin birleşimidir (Budding, 1974):

$$\begin{aligned} \Delta L_{E1}(0) &= \left(2 + \frac{Y_{0,2}}{4}\right) P_2(n_0) v_2 / 3 \\ &- \left(2 + \frac{Y_{0,2}}{4}\right) P_2(l_0) w_2 \\ &+ \left(1 + \frac{Y_{0,4}}{24}\right) P_4(l_0) w_4 / 8 \end{aligned} \quad (3.16)$$

ve

$$\begin{aligned} \Delta L_{E1}(1) &= \left(8 + \frac{4Y_{1,2}}{5}\right) P_2(n_0) v_2 / 9 \\ &- \left(8 + \frac{4Y_{1,2}}{5}\right) P_2(l_0) w_2 / 3 \\ &- \left(3 + \frac{Y_{1,3}}{6}\right) P_3(l_0) w_3 / 2 \end{aligned}$$

Denklem, doğrusal formda düzenlenirse,

$$\Delta L_{E1}(1) = 3[(1 - u)\Delta L_{E1}(0) + u\Delta L_{E1}(1)] / (3 - u) \quad (3.17)$$

olarak yazılır. Burada yine Kopal (1959) tarafından verilen çıkarımlar kullanılır. Dönme ve tedirginlik katsayıları olan v_j, w_j parametrelerini kullanarak logaritmik yoğunluk niceliği η_j 'yi hesaplamak için, Radau denkleminin integrasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Alt indis

j , küresel yüzey harmonikleri $P_j(\lambda)$ fonksiyonuna aittir. Bu fonksiyonda tedirginlik için λ yerine $l_0 = \cos \phi \sin i$; dönme için $n_0 = \cos i$ bağıntıları kullanılır. ϕ , yıldızın ortak kütle merkezini baz alan yörüngesinin evresini göstermektedir.

Sonuç olarak tedirginlik terimleri, $w_j = (2j + 1)qr_1^{j+1}/(j + \eta_j)$ olarak; dönme bozulması terimleri, $v_j = (2j + 1)(1 + q)\Omega^2 r_1^{j+1}/[(j + \eta_j)\Omega_0^2]$ olarak bulunur. Burada Ω , yıldızın açısal dönme hızıdır.

Denklem 3.16'da verilen $Y_{i,j}$ nicelikleri, fiziksel yapıyı kapsadığı gibi kenar kararına ve çekim kararına etkilerini de içermektedir. Tedirginlik ve dönme etkisi terimlerinde görüldüğü gibi kütle oranı, q parametresinin ışık eğrisi üzerindeki etkisinin r_1 ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir.”

Çözümlerde U , $\Delta\phi_0$, k , r_1 ve i ilgili cismin tüm ışık eğrileri için aynı girdi değerleriyle başlanarak serbest bırakılmıştır. Süreklilik akısı 1'e normalize edildiği için $U = 1,0$; geçiş ortası sıfır olmak üzere, veri $-0,5$ ile $0,5$ arasında evrelendirildiği için $\Delta\phi_0 = 0,0$ ile çözüme başlanmıştır. Diğer parametrelerin, başlangıç değerleri, Denklem 3.2 ile başlayan Denklem 3.12 ile biten hesaplamalarla seçilen değerlerin, en güncel literatür değerleriyle birlikte kullanılmasıyla belirlenmiştir. Sadece yıldızın ışığı dikkate alınmış, bu nedenle $L_1 = 1,0$ ve $L_2 = 0,0$ yazılmış ve literatürden alınan q ile birlikte sabit tutulmuştur. Yörünge dairesel kabul edilmiştir ($e = 0$). *Kepler* ışık eğrileri çözümlerinde, literatürde bulunması halinde, $e \neq 0$ durumları dikkate alınmıştır. Karacisim modeli benimsenmiş, ayrıca $E_2 = 1$ alınmıştır. Yıldızın sıcaklığı T_1 , tayfsal çalışmalardan toplanmaya çalışılmış, T_2 ise Denklem 2.4 ile hesaplanmıştır. Yıldızın doğrusal kenar kararına katsayısı, u_1 , Claret ve Bloemen (2011) çizelgelerinden literatürdeki parametreler üzerinden hesaplanarak alınmış; $u_2 = 0$ yazılmış ve her ikisi çözüm boyunca sabit tutulmuştur.

Çalışmadaki tüm analizler için kullanılan bu yöntem, gerekmedikçe değiştirilmeden izlenmiştir. Çıktılar verilirken u_1 yerine u ifadesi kullanılmıştır. u , gerektiğinde birleştirilmiş veri ile her bir eğriden bulunan değerlerin ortalamaları kullanılarak serbest bırakılmıştır.

Analiz için kullanılacak literatür dışı başlangıç parametreleri, birleştirilen geçiş eğrilerinin meydana getirdiği tek bir geçiş eğrisinin geometrisi üzerinden ve en iyi tek bir geçiş ışık eğrisi üzerinden olmak üzere iki farklı yöntemle hesaplanmıştır. Geçiş eğrileri birleştirildiğinde, birleştirmeyi en uygun düzeyde yapabilmek için normalizasyon işlemi geçiş dışını belirleyen aralıkların seçimiyle tüm ışık eğrilerinde ortak bir değere ulaşmaya kadar tekrar edilmiş; her bir ışık eğrisi bulunan ortak değer üzerinden normalize edilmiştir.

Birleştirilmiş geçiş eğrileri üzerinden başlangıç parametrelerini seçilmesinin bazı etkileri olabileceği düşünülmüştür. Bu etkiler aşağıda sıralanmıştır:

- Çok saçılma gösteren geçiş ışık eğrilerinde birbirlerine yakın indirgenmiş kare (χ^2_{ind}) değerlerinde birden fazla çözüme ulaşılabilmektedir. Birleştirilmiş geçiş ışık eğrisinin böyle durumlarda birden fazla çözüme ulaşması.
- Geçiş ortası zamanı değişimi gösteren bir geçişte birleştirilmiş ışık eğrisinde ortalamayı temsil etmemesi.
- Yıldızlarının bünyesel etkinliklerinden kaynaklanan etkilerin geçiş ışık eğrisi üzerindeki bozulmaların birleştirilmiş eğri üzerinde de ortalamayı değiştirecek katkılar oluşturmasıdır.

Yukarıda sıralanan nedenlere bağlı olarak çok sayıda geçiş ışık eğrisi elde edildiğinden emin olunmadan birleştirilme yöntemi uygulamasına gidilmemektedir. Bu yöntemin yerine, gözlemi $< 2''$ takip duyarlılığı ile tam bir geçiş ışık eğrisi elde edilmiş, geçiş dışı verisi saçılması $\sigma_{\text{gözlem}} < 2$ milikadir olan ve yıldızının bünyesel etkinliklerinin yansımadağı, düşünülen (geçiş dışında $\chi^2_{\text{ind}} \sim 1$) tek bir geceye ait geçiş ışık eğrisi başlangıç parametrelerini belirlemek üzere kullanılmaktadır.

3.4. Geçiş Zamanı Değişimleri Analizleri

Geçiş ortası zamanı ya da geçiş zamanı, geçiş süresinin tam ortasındaki andır. Örtün çift yıldızlar için yaygın kullanılan ifadeyle, “1. minimum” olarak ta bilinir ve genellikle Jülyen günü (JD) olarak okunur. Yer merkezli Jülyen günü, Güneş sistemi ortak kütle merkezine göre düzenlenmelidir. Bu nedenle geçiş ışık eğrileri zaman eksenini, Barysentrik Jülyen gününe (BJD_{TDB}), Eastman ve ark. (2010) tarafından verilen yöntemle çevrilmiştir. Geçiş eğrisinden ölçülen geçiş zamanları, gözlenen değerler olarak alınır ve ilk geçiş zamanı t_0 ve yörünge dönemi P ile hesaplanan değerlerden farklarının (O-C) değişim içerip içermediği araştırılmak üzere dizilir. Bu dizinin, değişimlerin olmadığı durumlarda gözlenen zamanlarla değişiminin sabit olması gerekir. Eğer değişimlere rastlanırsa, bu değişimin tekrarlayan (dönemli) olup olmadığına bakılır. Dönemli değişimlerin belirgin kaynaklarından biri, sistemdeki olası başka cisimlerdir. Dolayısıyla olası gezegenlere ilişkin dönem, kütle ve yörünge parametreleri bulunabilir.

Bu çalışmada geçiş zamanları, WinFitter ile okunmuştur. Modelde yer alan $\Delta\phi_0$ değeri derece cinsinden, evre ortasının kayma miktarı olarak verilmektedir. Model ile bulunan $\Delta\phi_0$ niceliğiyle geçiş zamanının kayma miktarı Δt_0 'a geçilmek istenirse,

$$\Delta t_o = \left(\frac{1}{360} \Delta \varphi_o \right) P \quad (3.18)$$

yazılır. Önceki ışık elemanlarına göre okunan geçiş zamanı t'_o olmak üzere düzeltilmiş geçiş zamanı,

$$t_o = t'_o + \Delta t_o \quad (3.19)$$

elde edilir. Çevrim değeri, $E = (t-t_o)/P$ bulunarak, ilgili geçişin düzeltilmiş ışık elemanları,

$$t = t_o + P \times E \quad (3.20)$$

ile verilir.

Ölçülen bu geçiş ortası zaman değerlerine ek olarak ilgili cismin literatür ve ETD verisinden de yararlanılmıştır. Alınan değerlerin hataları, $\sigma_{t_o} > 0,0005$ BJD olduğu durumlarda değerler hesaplama alınmamıştır.

Geçiş zamanlarıyla oluşturulan O-C dağılımı önce ağırlıklı doğrusal analize alınmış ve ışık elemanları hesaplanmıştır. Işık elemanları düzeltilmesi yapılan zamanlarda sinüsel TTV bulmak amacıyla Bölüm 3.4.1'de ayrıntılarıyla açıklanan Lomb-Scargle frekans analizi uygulanmış ve frekansları listelenmiştir. Bulunan baskın frekans veya frekanslara (f_{ttv}) göre sinüsel değişim en küçük kareler yöntemiyle çözümlenerek genlik (A_{ttv}) ve faz (E_{ttv}) elde edilmiştir. Buradan hem doğrusal hem de sinüsel ifadeyi birlikte yazabiliriz:

$$t = t_o + EP + A_{ttv} \sin 2\pi \frac{E - E_{ttv}}{P_{ttv}} \quad (3.21)$$

Doğrusal ve sinüsel terimin analizi ki-kare (χ^2) çözümlemesi (Denklem 3.22) ile birlikte verilmiştir. Ki-kare (χ^2) çözümlemesi, gözlenen (G) ve hesaplanan (H) kümedeki N tane eleman için $i = 1, 2, \dots, N$ olmak üzere,

$$\chi^2 = \sum_i^N \left(\frac{G - H}{\sigma_i} \right)^2 \quad (3.22)$$

ile hesaplanmıştır; model parametre sayısı p olan analiz modeli için serbestlik derecesi, $SD = N - p$ kullanılarak $\chi^2_{ind} = \chi^2 / SD$ verilmiştir.

Frekans analizinden bulunan genlik (A_{ttv}), tedirginlik meydana getiren cismin kütlesi ve dışmerkezliğiyle ilişkilidir (Lithwick ve ark., 2012) ve Bölüm 2.3.2’de anlatılan yöntemlerle beklenen genlik değeri üzerinden cismin kütlesi ve yörüngenin dış merkezliği hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada Bölüm 2.3.2’de anlatılan çok cisim analizi ve TTV’nin analitik çözümlerine gidilmemiştir.

3.4.1. Lomb-Scargle Frekans Analizi

Zaman serisi, gözlemsel bir deneyde farklı zamanlarda alınmış bir dizi veridir. Bu veri dizisinde önemli bir değişim bulmak amacıyla yapılan araştırmaya, zaman serisi çözümleri, bir başka deyişle “dönem analizleri” denir. Dönem analizlerinde istatistik yöntemlerle kullanılabilen gibi seri analizi yöntemleri de kullanılabilir. En yaygın kullanılan seri analizi yöntemi, bir dizi trigonometrik fonksiyonları (değişken dönem, genlik ve evrelerle uygulanan sinüs ve kosinüs) kullanarak çözüme gitmeyi hedefleyen Fourier analizleridir. Lomb-Scargle analizi, bu analizlerden biridir (Lomb, 1976; Scargle, 1982). Çalışmalarda zaman serisinin verilerini geçiş zamanları oluşturur ve bu zamanların çevrim sayısına göre dizildikleri O-C dağılımları Lomb-Scargle frekans analizine alınır. (Maciejewski ve ark., 2011; Fukui ve ark., 2011; Mazeh ve ark., 2013).

Lomb-Scargle analiziyle değişen aralıklı alınmış verilerde sinüs ve kosinüs dalgaları bulunarak şiddetin derecesine göre bulunan frekans, güç tayfında gösterilir. Scargle (1982) tarafından verilmiş Denklem 3.23, standart periodogram bağıntısının t_j örnekleme zamanlarında ortogonal olacak sinüs-kosinüs dalgaları çiftini içerir zaman gecikmesi τ ’yu bulacak biçimde değiştirilmesinden oluşuyor. Açısal frekans ω olmak üzere, frekansın gücü,

$$P_x(\omega) = \frac{1}{2} \left(\frac{[\sum_j X_j \cos \omega(t_j - \tau)]^2}{\sum_j \cos^2 \omega(t_j - \tau)} + \frac{[\sum_j X_j \sin \omega(t_j - \tau)]^2}{\sum_j \sin^2 \omega(t_j - \tau)} \right) \quad (3.23)$$

Burada zaman gecikmesi τ ,

$$\tan 2\omega\tau = \frac{\sum_j \sin 2\omega t_j}{\sum_j \cos 2\omega t_j} \quad (3.24)$$

ile verilir. Böylece her frekans ω için salınım bağıntısı,

$$\phi(t) = A \sin \omega t + B \cos \omega t \quad (3.25)$$

yazılır. Tüm verilerin geçiş zamanı değişimlerine Lomb-Scargle yöntemiyle frekans analizi uygulanmıştır. Bu yöntemde frekans penceresi, ν ortalama zaman farkı olmak üzere $f_{Nyquist} = 1/2 \nu$ ile tanımlanan Nyquist frekansına kadar açılmıştır.

Her iki nesnenin frekans analizinde baskın frekansın belirlenmesi, “yanlış uyarı olasılığı”na (İng. *false alarm probability – FAP*) göre yapılmıştır (Horne ve Baliunas, 1986). Bu yaklaşımda, rasgele gürültü,

$$\begin{aligned} Pr\{Z > z\} &= 1 - F_Z(z) \\ &= 1 - [1 - \exp(-1)]^N [Z = \max_n P(\omega_n)] \end{aligned} \quad (3.26)$$

bağıntısıyla verilir. Burada, N , aralıktaki bağımsız frekans sayısı ve z , frekans gücü $P(\omega)$, gelişigüzel seçim durumunu ifade eder. Horne ve Baliunas (1986), N_i 'leri Denklem 3.27 ile hesaplamıştır.

$$N_i = -6,362 + 1,193N_0 + 0,00098N_0^2 \quad (3.27)$$

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde elde edilen ve toplanan gözlem verileri üzerinden yapılan analizler ve bu analizlerin sonuçları verilmiştir. Yer tabanlı ve *Kepler* gözlemleri için ana başlıklar altında incelenen gezegene ilişkin alt bölümler yer almaktadır. Başlıkları gezegen adlarıyla verilen her alt bölümde gezegen hakkında bilgi, bulunduğu sistemin temel özellikleri, gözlem bilgileri bulunmaktadır. Gezegene ilişkin bu bölümlerin iç bölümlerinde önce “Geçiş Işık Eğrileri Çözümü” başlığıyla 3.3. bölümde anlatılan yöntemler kullanılarak yapılmış geçiş ışık eğrileri ve ışık eğrileri analizleri; ardından “Geçiş Ortası Zamanları ve Analizi” başlığıyla 3.4.1. bölümde anlatılan yöntemlerle gerçekleştirilmiş geçiş zamanı analizleri verilmektedir.

(Geçiş) ışık eğrileri modelleri birlikte çizdirilmiş ve (geçiş) ışık eğrilerinin ağırlıklı ortalama ile hesaplanan değerleri ve bu değerlerle oluşturulan kuramsal geçiş ışık eğrisi sunulmuştur. Çözümlerin ortalama parametreleri, literatür ile karşılaştırılmıştır. Geçiş zamanı analizlerinde önce O-C dağılımına doğrusal düzeltme yapılarak ışık elemanları hesaplanmış; düzeltilen dağılımda Lomb-Scargle yöntemi kullanılarak sinüsel değişim aranmıştır. Kullanılan zamanlar listelenmiş ve O-C grafiklerinde modelleriyle birlikte verilmiştir.

4.1. Seçilen Bazı Ötegezegenlerin Yer Tabanlı Işık Eğrileri ve Geçiş Zamanları Analizleri

3.1. Bölümde yer alan ve o bölümde anlatılan yöntemlerle geçiş ışık eğrileri elde edilen ötegezegenlerden TrES-3b, Qatar-1b, HAT-P-36b ve WASP-10b ışık eğrileri ve geçiş zamanları analizleri için seçilmiştir.

4.1.1. TrES-3b

TrES-3 (GSC 03089-00929), $0,9 M_{\odot}$ kütlede neredeyse metal fakiri ($[Fe/H] = -0,2$) olan G tayf türü bir yıldızdır. Yıldıza ilişkin temel parametre değerleri, Torres ve ark. (2008)'dan alınmıştır (bkz. Çizelge 4.1). Gezegeni O'Donovan ve ark. (2007) tarafından keşfedilmiştir. Çalışmalarında ışıkölçüm ve tayfsal analizleri birlikte kullanarak, TrES-3b'nin 1,3 gün dolanım süresine sahip $1,92 M_J$ kütlede bir gezegen olduğunu hesaplamışlardır. Ayrıca, gezegenin yarıçapı ve geçiş parametresini, sırasıyla, $R_g = 1,295 R_J$ and $b = 0,827$ olarak vermişlerdir. Winn ve ark. (2008); Gibson ve ark.

(2009); Vavvko ve ark. (2013) sistemi fotometrik olarak çalışmışlardır. Sozzetti ve ark. (2009) ise fotometrik ve tayfsal bir çalışma sonucunda normalize ayırıklık, a/R_{\star} 'nin sıcaklık ve metal bolluğu değerleriyle ilişkisini kullanarak yıldız parametrelerini buldular. Buradan yıldızın kütesini, $M_{\star} = 1,404 M_{\odot}$, yarıçapını $R_{\star} = 1,846 R_{\odot}$ olarak hesapladılar. Ayrıca Torres ve ark. (2008) tarafından da tartışılan, temel gezegen parametrelerinin duyarlılığının kullanılan yöntemle ilgili olarak değişebileceğini söylediler.

Çizelge 4.1. TrES-3 sisteminin temel özellikleri

Parametre	Değer
Kütle, $M_{\star} (M_{\odot})$	$0,928^{+0,028}_{-0,048}$
Yarıçap, $R_{\star} (R_{\odot})$	$0,829^{+0,015}_{-0,022}$
Yoğunluk, $\rho_{\star} (cgs)$	$2,304 \pm 0,066$
Yüzey Çekim İvmesi, $\log g_{\star} (cgs)$	$4,4 \pm 0,1$
Etkin Sıcaklık, $T_e (K)$	5650 ± 75
[Fe/H]	$-0,19 \pm 0,08$
Yaş (G yıl)	$0,9^{+2,8}_{-0,8}$
Geçiş ortası zamanı, $t_o (BJD)$	$2454185,9109932 \pm 0,0000502^a$
Yörünge Dönemi, $P (gün)$	$1,306186483 \pm 0,000000070^a$
Normalize ayırıklık, a/R_{\star}	$5,94 \pm 0,21$
Doğrusal kenar kararırma katsayısı, u	$(R) 0,567^b$
Safronov Sayısı (Θ)	---

^a Kundurthy ve ark. (2013)'dan alınmıştır. Diğer tüm değerler Sozzetti ve ark. (2009)'dan alınmıştır.

^b Claret ve Bloemen (2011) çizelgelerinden hesaplamıştır.

Knutson ve ark., 2008; de Mooij ve Snellen, 2009; Fressin ve ark., 2009; Croll ve ark. (2010), TrES-3b gezegeninin örtülme eğrilerini elde etti. Fressin ve ark. (2009), gezegenin yörüngesinin dairesel olduğunu; fakat TrES-3b'nin şişmiş yarıçapını açıklamak için yörünge daireselleşmesinden de sorumlu olduğu düşünülen ve tartışılan çekimsel ısınmaya ilişkin yaklaşımın dışarıda bırakılması gerektiğini önerdiler. Bu durum, Croll ve ark. (2010) tarafından doğrulandı. Yakın kızılötede yapılan gözlemlerde örtülme eğrisi girişinde kendini gösteren sistematik saçılmanın yörünge basıklığı modeliyle temsil edilebileceği tartışıldı (de Mooij ve Snellen, 2009). Bazı yazarlar, uzun dönemi geçişleri ve geçiş ortası zamanı değişimlerini araştırdı (Sozzetti ve ark., 2009; Christiansen ve ark.,

2011; Kundurthy ve ark., 2013; Vavvko ve ark., 2013). Sadece Kundurthy ve ark. (2013), geçiş ortası zamanı değişimine ilişkin kanıt bulamadıklarını açıkladılar.

TrES-3b'nin gözlemleri, Çizelge 4.2'de sunulmuştur. $\sigma_{\text{gözlem}}$ ve σ_s 'nin hesaplama ayrıntıları, Bölüm 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. TrES-3b gözlem günlüğü

Tarih	Teleskop+CCD	Nokta sayısı	Bin.	Poz süresi (s)	Hava kütlesi	$\sigma_{\text{gözlem}}$ (mkadir)	σ_s (mkadir)
03.06.2012	T122+AP42	178	1	20	1,05 - 1,00 - 1,13	4,7	15,2
07.06.2012	T122+AP42	109	1	20	1,11 - 1,00 - 1,02	2,8	2,8
27.05.2013	T122+AP42	110	1	100	1,43 - 1,03	2,3	2,3
13.07.2013	T122+AP42	123	1	60	1,01 - 1,00 - 1,65	2,6	2,6
15.06.2014	TUG100+SI1100	64	2	40	1,21 - 1,00 - 1,01	3,4	3,4
02.07.2014	T122+AP42	216	2	45	1,06 - 1,00 - 1,09	2,3	4,9
27.04.2015	TUG100+SI1100	196	2	80	2,02 - 1,01	2,4	2,6
30.06.2015	T122+STL1001E	97	1	80	1,03 - 1,33	3,3	3,3
08.07.2015	TUG100+SI1100	58	2	20	1,06 - 1,00	2,5	2,5
21.07.2015	TUG100+SI1100	211	2	80	1,01 - 1,00 - 2,13	1,9	2,8
07.08.2015	TUG100+SI1100	154	2	80	1,00 - 1,54	1,6	1,6
24.08.2015	T60+AP42	153	1	80	1,02 - 2,00	2,0	3,0

Geçiş Işık Eğrileri Çözümü

Çözüm, Bölüm 3.3.2'de anlatılan yöntem ile yapılmış ve elde edilen parametreler hatalarıyla birlikte Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Aynı çizelgede literatür değerleriyle karşılaştırması yer almaktadır. Çizelge 4.3'teki parametrelerle hesaplanan kuramsal eğriler ile gözlemlerin uyumu ise Şekil 4.1'de görülebilir. TrES-3b'nin 3 Haziran 2012 ve 02 Temmuz 2014 tarihli gözlem verilerinde, sırasıyla $S = 3,2$ ve $2,1$ olarak ölçülen sistematik etkiler nedeniyle bu iki geçiş model parametreleri ortalamadan çıkarılmıştır (bkz. Şekil 4.1). TrES-3b çözümlerinin $\chi^2_{\text{ind}} = 0,8 - 1,2$ aralığında dağıldığı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. TrES-3b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri

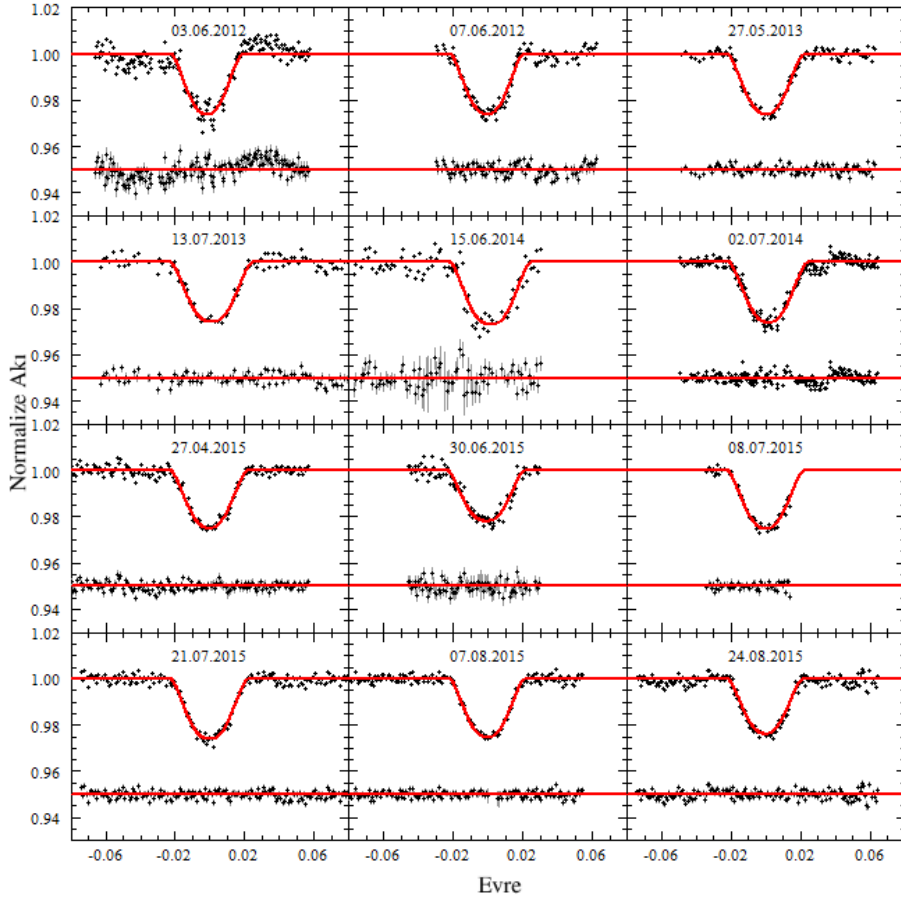
Çalışma	r_1	$k (r_2/r_1)$	i ($^\circ$)	$t_{IV} - t_I$ (dk)
O'Donovan ve ark. (2007)	$0,165 \pm 0,0027$	$0,1660 \pm 0,0024$	$82,15 \pm 0,21$	—
Sozzetti ve ark. (2009)	$0,1687 \pm 0,0140$	$0,1655 \pm 0,0020$	$81,85 \pm 0,16$	—
Gibson ve ark. (2009)	—	$0,1664 \pm 0,0011$	$81,73 \pm 0,13$	$79,92 \pm 1,44$
Col ve ark. (2010)	—	$0,1662 \pm 0,0046$	—	$83,77 \pm 1,15$
Southworth (2010) ¹	$0,1666 \pm 0,0017$	$0,1639 \pm 0,0037$	$82,07 \pm 0,17$	—
Lee ve ark. (2011)	$0,1674 \pm 0,0023$	$0,1603 \pm 0,0042$	$81,77 \pm 0,14$	—

Çizelge 4.3'ün devamı

Çalışma	r_1	$k (r_2/r_1)$	i (°)	$t_{IV} - t_I$ (dk)
Christiansen ve ark. (2011)	$0,1664 \pm 0,0204$	$0,1661 \pm 0,0343$	$81,99 \pm 0,3$	$81,9 \pm 1,1$
Southworth (2011) ¹	$0,1682 \pm 0,0014$	$0,1635 \pm 0,0025$	$81,93 \pm 0,13$	—
Kundurthy ve ark. (2013) ²	$0,1675 \pm 0,0008$	$0,1652 \pm 0,0009$	$81,95 \pm 0,06$	—
	$0,1698 \pm 0,0014$	$0,1649 \pm 0,0015$	$81,51 \pm 0,14$	—
Turner ve ark. (2013)	$0,1721 \pm 0,0056$	$0,1693 \pm 0,0087$	$81,35 \pm 0,63$	$81,30 \pm 0,23$
Vavko ve ark. (2013) ²	$0,1682 \pm 0,0032$	$0,1644 \pm 0,0047$	$81,86 \pm 0,28$	$79,20 \pm 1,38$
	$0,1696 \pm 0,0024$	$0,1669 \pm 0,0027$	$81,76 \pm 0,14$	$79,08 \pm 0,72$
Bu çalışma	$0,1674 \pm 0,0021$	$0,1659 \pm 0,0022$	$81,94 \pm 0,17$	$82,89 \pm 0,25$

¹ Yazarlar literatürden topladıkları ışık eğrisi çözümünü sunmuştur.

² Yazarlar iki farklı yöntemle elde ettikleri çözümlerini sunmuştur.



Şekil 4.1. TrES-3b geçiş eğrileri, model ve artıkları

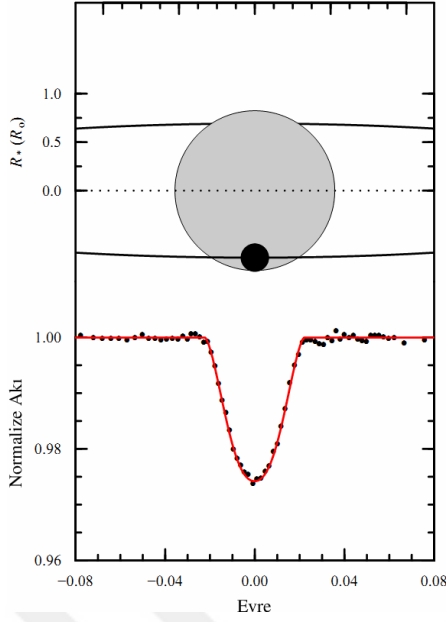
Analizler için literatürden alınan parametreler ve analizler sonucunda elde edilen parametrelerin ağırlıklı ortalama değerleri, Çizelge 4.4'te verilmiştir. Tüm geçiş ışık eğrilerinin birleştirilerek 70 noktaya binning yapılmasıyla elde edilen gözlemsel noktalar,

hesaplanan ağırlıklı ortalama değerleri ile elde edilen model eğrisiyle birlikte çizilmiştir (bkz. Şekil 4.2). Bu şekilde geçiş geometrisi, geçiş ışık eğrisinin hemen üstünde yıldızın yarıçapı üzerinden Güneş yarıçapı biriminde gösterilmiştir. Geometriye göre gezegen çemberi, yıldız çemberinin kenarına çok yakın seyretmektedir. Bu durum, geçiş parametresi, $b = 0,840 \pm 0,025$ olarak hesaplanan sistemde gezegenin geçiş ışık eğrisinin neden “v” biçimli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3’te verilen literatür değerlerinin bu çalışmada dahil olmak üzere hata sınırları mertebeleri içinde dağıldığı görülmektedir. Safronov sayısı, Denklem 2.6 yardımıyla $\Theta = 0,068 \pm 0,003$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer ile TrES-3b, Safronov II. sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 4.4. TrES-3b’nin geçiş ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları

Alınan parametreler	
$M_{\star} (M_{\odot})$	$0,915 \pm 0,031$
$M_g (M_J)$	$1,910 \pm 0,064$
$T_c (K)$	5650 ± 75
Elde edilen parametreler	
a/R_{\star}	$5,93 \pm 0,09$
$R_{\star} (R_{\odot})$	$0,824 \pm 0,013$
$\rho_{\star} (\rho_{\odot})$	$1,619 \pm 0,077$
$\log g_{\star} (cgs)$	$4,57 \pm 0,01$
$R_g (R_J)$	$1,388 \pm 0,035$
$\rho_p (\rho_J)$	$0,660 \pm 0,051$
$\log g_g (cgs)$	$3,39 \pm 0,02$
$T'_{eq} (K)$	1641 ± 25
Safronov Sayısı (Θ)	$0,068 \pm 0,003$
$Ak_1 \langle F \rangle (10^9 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2})$	$1,642 \pm 0,082$



Şekil 4.2. TrES-3b geçiş geometrisi ve tüm geçişlerin 70 noktaya binning yapılmasıyla oluşturulan geçiş ışık eğrisi ve ağırlıklı model ortalama eğrisi

Geçiş Ortası Zamanları ve Analizi

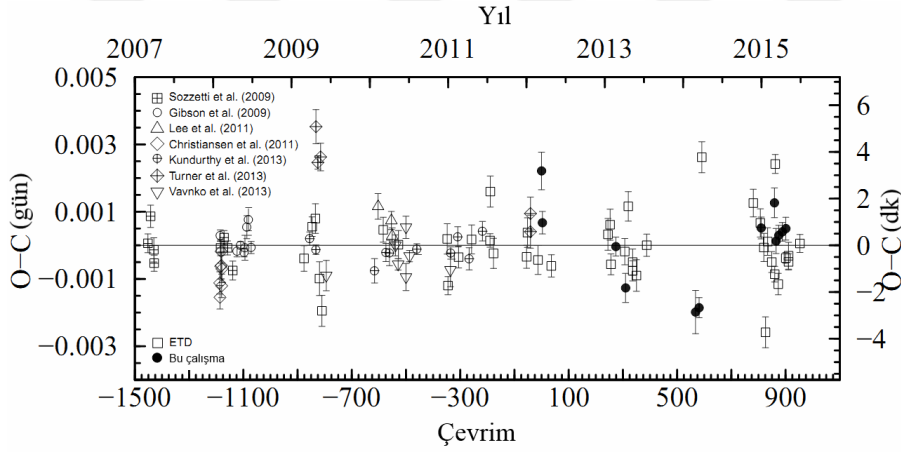
TrES-3b'nin geçiş gözlemlerinden elde edilen geçiş zamanları, hataları ve O-C değerleri Çizelge 4.5'te listelenmiştir. Bu zamanlar, literatür ve ETD'den alınan zamanlarla birleştirilmiş ve O-C dağılımı oluşturulmuştur (bkz. Şekil 4.3). Buradan ışık elemanları,

$$t = 2456082,49390 (3) + 1,30618 (4) \times E \quad (4.1)$$

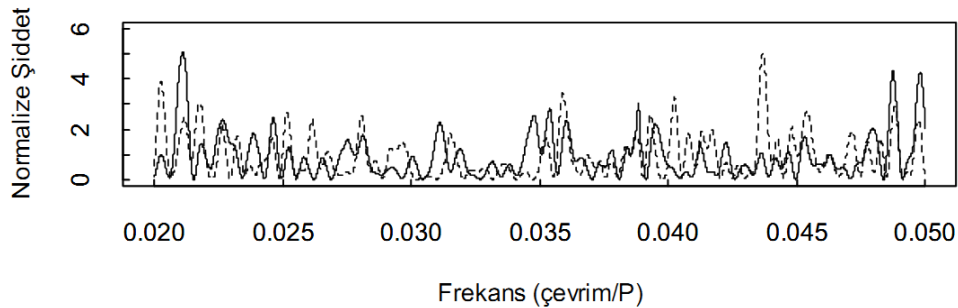
olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ışık elemanlarıyla bu dağılım için indirgenmiş ki-kare $\chi^2_{\text{ind}} = 7,6$ değerinde olduğu bulunmuştur. O-C dağılımında ışık elemanları düzeltilmesi sonrası TTV araştırması için Lomb-Scargle frekans analizine alınmıştır. Yaklaşık 8 yıllık veri ve yüksek χ^2_{ind} belirteciye rağmen, %5 FAP değerini aşan baskın frekans veya frekanslar gözlenmemiştir (bkz. Şekil 4.4). Şekil 4.4'te frekans eksenini, Nyquist frekansı ile sınırlandırılmıştır. Dikey eksen ise normalize güç olarak verilmiştir. ETD verileri önce tamamı, sonra zaman hatası $\sigma_{t_0} \leq 0,0005$ olanlar olmak üzere iki ayrı veri setiyle frekans analizine alınmıştır. Şekil 4.3'te sadece zaman hatası $\sigma_{t_0} \leq 0,0005$ olanlar çizdirilmiştir. Üç yıllık bir zaman dilimine yayılan bu çalışmanın verileri, Şekil 4.3 ile verilen grafikte siyah noktalarla gösterilmiştir. Bu şekilde yıl ve çevrim yatay eksenlerde, O-C değişimi gün ve dakika birimleriyle gösterilen iki ayrı dikey eksenle verilmiştir.

Çizelge 4.5. TrES-3b gözlemleriyle ölçülen geçiş zamanları

Tarih	Süzgeç	Çevrim	t_0 (BJD _{TDB} - 2450000+)	O-C (gün)
03.06.2012	R_{Bessel}	0	$6082,49611 \pm 0,00056$	0,00221
07.06.2012	R_{Bessel}	3	$6086,41313 \pm 0,00034$	0,00067
27.05.2013	R_{Bessel}	274	$6440,38897 \pm 0,00028$	-0,00004
13.07.2013	R_{Bessel}	310	$6487,41046 \pm 0,00043$	-0,00127
15.06.2014	R_{Bessel}	568	$6824,40586 \pm 0,00064$	-0,00198
02.07.2014	R_{Bessel}	581	$6841,38641 \pm 0,00030$	-0,00185
27.04.2015	R_{Bessel}	810	$7140,50550 \pm 0,00033$	0,00052
30.06.2015	R_{Cousins}	859	$7204,50938 \pm 0,00044$	0,00126
08.07.2015	R_{Bessel}	865	$7212,34536 \pm 0,00037$	0,00013
21.07.2015	R_{Bessel}	875	$7225,40740 \pm 0,00030$	0,00030
07.08.2015	R_{Bessel}	888	$7242,38793 \pm 0,00028$	0,00040
24.08.2015	R_{Bessel}	901	$7259,36845 \pm 0,00034$	0,00050



Şekil 4.3. TrES-3b'nin geçiş ortası zamanları değişimi (bu çalışma, literatür ve ETD verileriyle birlikte)



Şekil 4.4. TrES-3b'nin ETD verileriyle elde edilen Lomb-Scargle periodogramı. Düz çizgi tüm verilerin; aralıklı çizgi, zaman hatası $\sigma_{t_0} \leq 0,0005$ BJD olanların frekans dağılımını göstermektedir

4.1.2. Qatar-1b

Qatar-1b, Alsubai ve ark. (2011) tarafından $1,09 M_J$ kütleinde bir gezegen olarak duyuruldu. TrES-3b gibi yıldızından yaklaşık $a = 0,023$ AB uzaklığındaki yörüngesinde bir tam dönüşü 1,4 günde tamamlamaktadır. Qatar-1, neredeyse metal zengini ($[Fe/H] = 0,2$) ve K tayf türü bir yıldızdır. Yıldıza ilişkin temel parametre değerleri, Alsubai ve ark. (2011)'den alınmıştır (bkz. Çizelge 4.6). İlk geçiş zamanı değişimi, von Essen ve ark. (2013) tarafından analiz edilerek TTV dönemi, ilk baskın frekansla 187 ± 17 gün olarak verilmiştir. Covino ve ark. (2013) yörünge parametrelerini geliştirmiş ve izdüşümü dönme dolanma eğikliğini $\lambda = 8^\circ,4 \pm 7,1$ olarak bulmuşlar; ayrıca yıldızın etkin olduğunu ifade etmişlerdir. Son zamanlarda Mislis ve ark. (2015), on iki geçiş eğrisini yayınladıkları Qatar-1b'nin geçişi sırasında leke örtmesi göstermediğini söyleyerek, bu durumu gezegenin düşük yoğunluklu bir leke bölgesinde seyrediyor oluşuna bağlamışlardır.

Çizelge 4.6. Qatar-1 sisteminin temel özellikleri

Parametre	Değer
Kütle, $M_\star (M_\odot)$	$0,850 \pm 0,030$
Yarıçap, $R_\star (R_\odot)$	$0,823 \pm 0,025$
Yoğunluk, ρ_\star (cgs)	$1,52 \pm 0,12$
Yüzey Çekim İvmesi, $\log g_\star$ (cgs)	$4,536 \pm 0,024$
Etkin Sıcaklık, T_e (K)	4861 ± 125
[Fe/H]	$0,20 \pm 0,10$
Yaş (Gül)	> 6
Geçiş ortası zamanı, t_0 (BJD)	$2455799,57954 \pm 0,00004^a$
Yörünge Dönemi, P (gün)	$1,42002586 \pm 0,00000275^a$
Normalize ayıklık, a/R_\star	$6,12 \pm 0,06$
Doğrusal kenar kararım katsayısı, u	(R) $0,668^b$
Safronov Sayısı (Θ)	$0,0629 \pm 0,0019$

^a Mislis ve ark. (2015), diğer tüm değerler, Alsubai ve ark. (2011)'den alınmıştır.

^b Claret ve Blomen (2011) çizelgelerinden hesaplamıştır.

Qatar-1b'nin gözlemleri, Çizelge 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Qatar-1b gözlem günlüğü

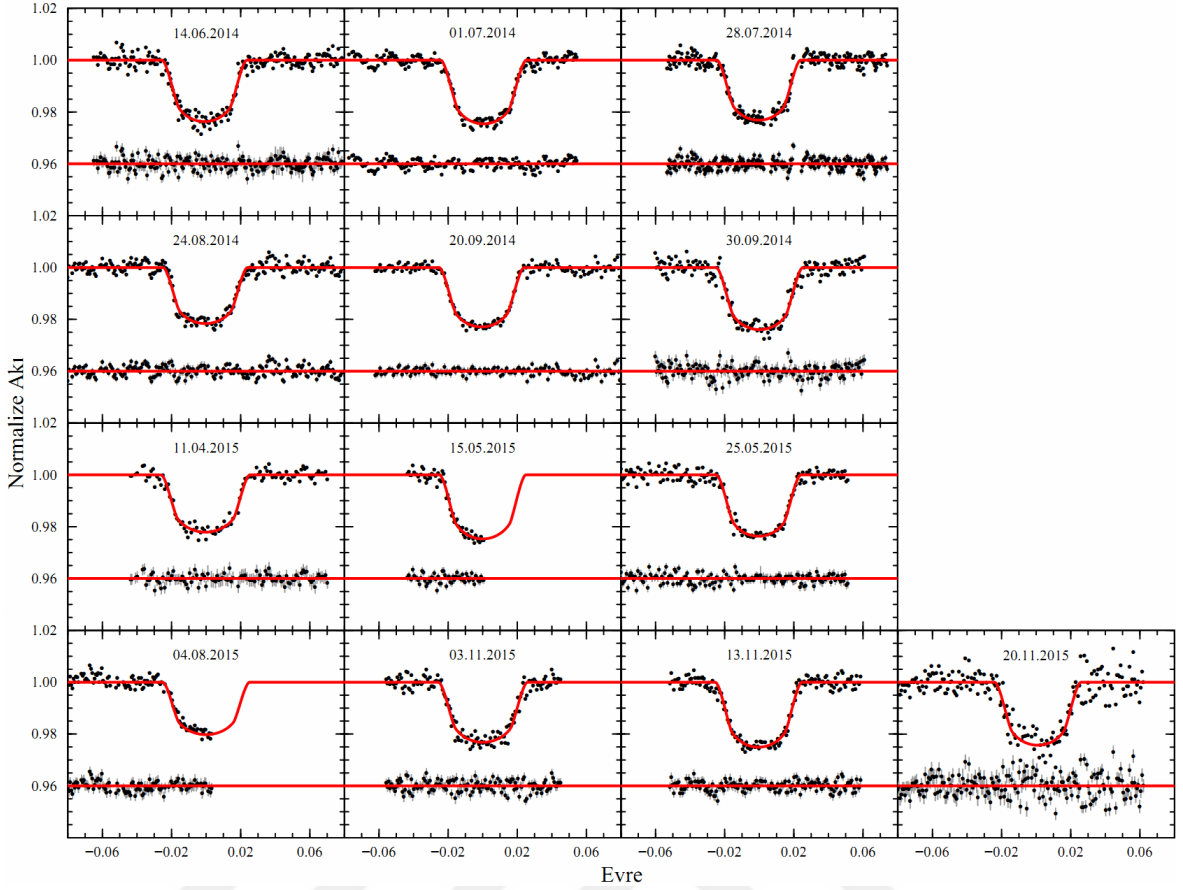
Tarih	Teleskop+CCD	Nokta sayısı	Bin.	Poz süresi (s)	Hava kütlesi	$\sigma_{\text{gözlem}}$ (mkadir)	σ_s (mkadir)
14.06.2014	TUG100+SI1100	217	2	60	1,58 - 1,14	2,5	2,5
01.07.2014	T122+AP42	195	1	80	1,29 - 1,10 - 1,11	2,1	2,1
28.07.2014	T122+AP42	261	1	52	1,13 - 1,10 - 1,22	2,2	2,2
24.08.2014	T122+AP42	269	1	100	1,12 - 1,10 - 1,63	2,5	2,5
20.09.2014	TUG100+SI1100	245	2	90	1,15 - 2,25	2,2	2,7
30.09.2014	T60+STL1001E	198	1	90	1,10 - 1,37	2,6	2,6
11.04.2015	T122+STL1001E	120	1	120	2,20 - 1,31	2,2	2,2
15.05.2015	TUG100+SI1100	75	2	80	1,30 - 1,18	3,4	3,4
25.05.2015	TUG100+SI1100	226	2	80	2,14 - 1,14	2,3	2,6
04.08.2015	T122+STL1001E	116	1	80	1,11 - 1,10 - 1,16	2,2	2,4
03.11.2015	T60+AP42	140	1	80	1,24 - 1,85	2,5	2,5
13.11.2015	T60+AP42	153	1	80	1,19 - 1,78	2,1	2,1
20.11.2015	T60+AP42	212	1	80	1,33 - 2,88	4,7	4,7

Geçiş Işık Eğrileri Çözümü

Qatar-1b geçiş ışık eğrileri, WinFitter yazılımı ile analiz edilerek model ve artıkları, Şekil 4.5'te ve elde edilen parametrelerin ağırlıklı ortalamaları, Çizelge 4.8'de hataları ve literatürdeki diğer parametre değerleriyle birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.8. Qatar-1b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri

Çalışma	r_1	$k (r_2/r_1)$	$i (^\circ)$	$t_{IV} - t_I$ (dk)
Alsubai ve ark. (2011)	$0,1633 \pm 0,0053$	$0,1454 \pm 0,0015$	$83,47 \pm 0,40$	$96,71 \pm 1,11$
von Essen ve ark. (2013)	$0,1558 \pm 0,0024$	$0,1435 \pm 0,0008$	$84,52 \pm 0,24$	—
Covino ve ark. (2013)	$0,1601 \pm 0,0025$	$0,1513 \pm 0,0008$	$83,82 \pm 0,25$	$97,63 \pm 1,44$
Misliş ve ark. (2015)	$0,1640 \pm 0,0030$	$0,1475 \pm 0,0009$	$84,03 \pm 0,16$	—
Maciejewski ve ark. (2015)	$0,1582 \pm 0,0017$	$0,14591 \pm 0,0008$	$84,26 \pm 0,17$	$98,50 \pm 1,70$
Collins ve ark. (2017)	$0,1600 \pm 0,0018$	$0,1463 \pm 0,0006$	$84,08 \pm 0,16$	$99,66 \pm 0,47$
Bu çalışma	$0,1641 \pm 0,0028$	$0,1476 \pm 0,0011$	$83,95 \pm 0,26$	$102,62 \pm 0,78$



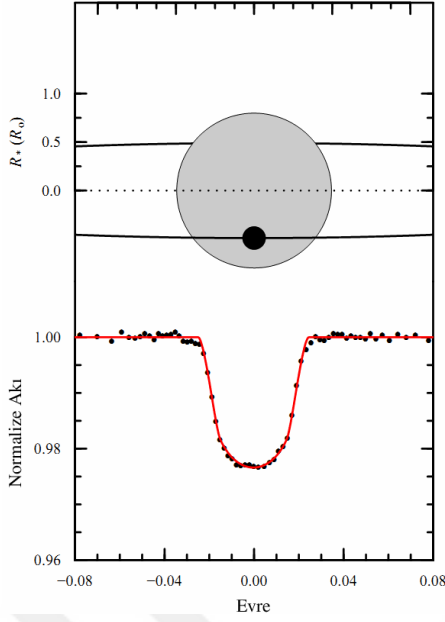
Şekil 4.5. Qatar-1b geçiş eğrileri, model ve artıkları

Çizelge 4.8’de görüldüğü gibi bu çalışmada elde edilen model parametreleri, en yakın Mislis ve ark. (2015) tarafından verilen parametrelerle uyumlu görünmektedir. Geçiş süresi $t_{IV} - t_I = 102,62 \pm 0,78$ dakika olarak bulunmuş olup literatür değerlerinden ortalama 3σ kadar uzaktadır. Analizler için literatürden alınan parametreler ve analizler sonucunda elde edilen yörünge ve fiziksel parametreler ağırlıklı ortalamaları üzerinden Çizelge 4.9’da verilmiştir. Bu parametreler yardımıyla Qatar-1b’nin, Safronov sayısı $\Theta = 0,053 \pm 0,002$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerle gezegenin I. ve II. sınıf arasında kaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.9. Qatar-1b'nin geçiş ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları

Alınan parametreler	
$M_{\star} (M_{\odot})$	$0,850 \pm 0,030$
$M_g (M_J)$	$1,090 \pm 0,011$
$T_e (K)$	4861 ± 125
Elde edilen parametreler	
a/R_{\star}	$6,31 \pm 0,11$
$R_{\star} (R_{\odot})$	$0,798 \pm 0,016$
$\rho_{\star} (\rho_{\odot})$	$1,665 \pm 0,103$
$\log g_{\star} (cgs)$	$4,56 \pm 0,02$
$R_g (R_J)$	$1,142 \pm 0,025$
$\rho_p (\rho_J)$	$0,680 \pm 0,045$
$\log g_g (cgs)$	$3,32 \pm 0,02$
$T'_{eq} (K)$	1368 ± 29
Safronov Sayısı (Θ)	$0,053 \pm 0,002$
Ak1 $\langle F \rangle (10^9 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2})$	$0,798 \pm 0,060$

Tüm geçiş ışık eğrilerinin birleştirilerek 70 noktaya binning yapılmasıyla elde edilen gözlemsel noktalar, hesaplanan ağırlıklı ortalama değeri ile elde edilen model eğrisiyle birlikte çizilmiştir (bkz. Şekil 4.6). Duyarlılığı ($\sigma_s = 4,7$ mkadir), kümelenmiş gözlemsel saçılma ortalamasının 2σ üstünde olması nedeniyle 21 Kasım 2015 tarihli geçiş eğrisi ve eksik noktalar nedeniyle 4 Ağustos 2015 tarihli geçiş eğrisi analiz çıktıları, ortalama hesaplanırken dışarıda bırakılmıştır. Geçiş geometrisi, ortalama geçiş ışık model eğrisinin hemen üstünde gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Qatar-1b geçiş geometrisi ve tüm geçişlerin 70 noktaya ortaklanmasıyla oluşturulan geçiş ışık eğrisi ve ağırlıklı model ortalama eğrisi

Geçiş Ortası Zamanları ve Analizi

Qatar-1b gözlemlerinden elde edilen geçiş zamanları, hataları ve O-C değerleri, Çizelge 4.10'da listelenmiştir. Literatür, ETD ve bu çalışmadaki zamanlar kullanılarak O-C değişimine ağırlıklı doğru uydurulmuş ve ışık elemanları,

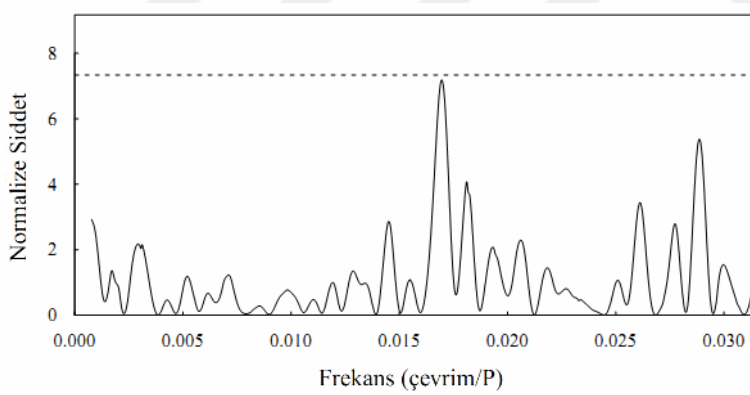
$$t = 2456823,41366 (4) + 1,4200248 (1) \times E \quad (4.2)$$

indirgenmiş $\chi^2_{\text{ind}} = 5,2$ değeriyle hesaplanmıştır. Uygulanan frekans analizinde %5 FAP seviyesine karşılık gelen normalize frekans şiddetine yakın bir $f_1 = 0,0169 \pm 0,0001$ çevrim P^{-1} (~ 84 gün) baskın frekansı görülmüştür (bkz. Şekil 4.7). Bu baskın frekansın %6,5 FAP seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. O-C değişimine en küçük kareler yöntemiyle sinüs eğrisi uydurularak $A_{\text{ttv}} = 0,00053 \pm 0,0001$ gün (45,8 s) genliği hesaplanmıştır (Şekil 4.8). Bu değer von Essen ve ark. (2013) tarafından verilen değerle benzer olduğu görülürken, yazar tarafından verilen her iki frekansın ($f_1 = 0,00759 \pm 0,00075$ çevrim P^{-1} ve $f_2 = 0,00367 \pm 0,00059$ çevrim P^{-1}) bu çalışmadaki verilere göre %95 olasılığında yanlış uyarı olduğu bulunmuştur.

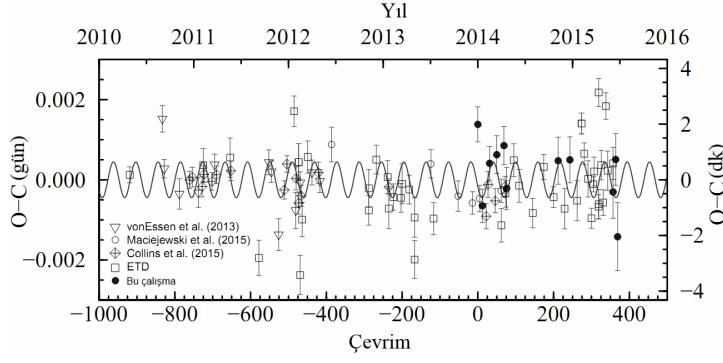
Çizelge 4.10. Qatar-1b gözlemleriyle ölçülen geçiş zamanları

Tarih	Süzgeç	Çevrim	t_o (BJD _{TDB} - 2450000+)	O-C (gün)
14.06.2014	R_{Bessel}	0	$6823,41503 \pm 0,00049$	0,00141
01.07.2014	R_{Bessel}	12	$6840,45333 \pm 0,00042$	-0,00059
28.07.2014	R_{Bessel}	31	$6867,43474 \pm 0,00042$	0,00035
24.08.2014	R_{Bessel}	50	$6894,41544 \pm 0,00048$	0,00058
20.09.2014	R_{Bessel}	69	$6921,39598 \pm 0,00050$	0,00065
30.09.2014	R_{Cousins}	76	$6931,33525 \pm 0,00053$	-0,00025
11.04.2015	R_{Cousins}	212	$7124,45974 \pm 0,00063$	0,00086
25.05.2015	R_{Bessel}	243	$7168,48089 \pm 0,00059$	0,00124
03.11.2015	R_{Bessel}	357	$7330,36243 \pm 0,00073$	-0,00004
13.11.2015	R_{Bessel}	364	$7340,30326 \pm 0,00064$	0,00062
20.11.2015	R_{Bessel}	369	$7347,40129 \pm 0,00081$	-0,00148

Çizelge 4.10’da verilen geçiş zamanları, Şekil 4.8’de noktalarla, 2010 yılından başlayan ETD ve literatür verileri ise çeşitli simgelerle gösterilmiştir. Yaklaşık üçer aylık boşluklar barındıran Şekil 4.8’deki O-C değişiminde elde edilen f_1 , A_{ttv} ve E_{ttv} kullanılarak Bölüm 3.4’teki yöntemle sinüsel model eğri çizdirilmiştir.



Şekil 4.7. Qatar-1b'nin Lomb-Scargle frekans eğrisi. Kesikli çizgi %5 FAP seviyesine karşılık gelen normalize şiddeti göstermektedir



Şekil 4.8. Qatar-1b'nin geçiş ortası zamanları değişimi (bu çalışma, literatür ve ETD verileriyle birlikte)

4.1.3. HAT-P-36b

HAT-P-36b, Bakos ve ark. (2012) tarafından keşfedilmiştir. Gezegen, V parlaklığı 12,26 kadir, etkin sıcaklığı 5580 K olan bir yıldızın çevresinde dolanmaktadır. Yıldızın element bolluğu, $[Fe/H] = 0,26 \pm 0,10$ 'dir. Mancini ve ark. (2015), HAT-P-36b'nin Rossiter-McLaughlin etkisini inceledikleri çalışmada dönme dolanma eksenlerinin hizalı olduğu bulunmuştur. Aynı çalışmada yıldızın leke etkinliği yardımıyla yıldızın dönme dönemi $P_{\text{dönme}} = 15,3 \pm 0,4$ gün olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.11. HAT-P-36 sisteminin temel özellikleri

Parametre	Değer
Kütle, M_{\star} (M_{\odot})	$1,022 \pm 0,049$
Yarıçap, R_{\star} (R_{\odot})	$1,096 \pm 0,056$
Yoğunluk, ρ_{\star} (cgs)	$0,913 \pm 0,027^a$
Yüzey Çekim İvmesi, $\log g_{\star}$ (cgs)	$4,37 \pm 0,04$
Etkin Sıcaklık, T_e (K)	5560 ± 100
[Fe/H]	$0,26 \pm 0,10$
Yaş (Gyıl)	$4,5^{+2,4}_{-1,4}$
Geçiş ortası zamanı, t_0 (BJD)	$2455565,18167 \pm 0,00036^a$
Yörünge Dönemi, P (gün)	$1,32734683 \pm 0,00000048^a$
Normalize ayırıklık, a/R_{\star}	$5,13 \pm 0,08$
Doğrusal kenar kararım katsayısı, u	(R) $0,615^b$
Safronov sayısı (Θ)	$0,0658 \pm 0,0030$

^a Mancini ve ark. (2015). Diğer tüm değerler, Bakos ve ark. (2012)'den alınmıştır.

^b Claret ve Bloemen (2011) çizelgelerinden hesaplanmıştır.

Sistemin literatürde yer alan parametreleri, Çizelge 4.11’de listelenmektedir. HAT-P-36’nın Mancini ve ark. (2015) tarafından $4,5_{-1,4}^{+2,4}$ Gyr olarak verilen yaşının Güneş’in yaşına yakın olduğunu görülmektedir.

HAT-P-36b’nin on adet geçiş ışık eğrisi gözlenmiştir (bkz. Çizelge 4.12). Geçiş gözlemlerinin duyarlılığı, $2 \leq \sigma_{\text{gözlem}} \leq 5,3$ milikadir aralığında ölçülmüştür. Bazı gözlemlerde sistematik gürültünün varlığı da yüksektir; bu gürültünün teleskopların takip duyarlılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca takibin duyarlı olduğu gözlemlerin artıklarında başka bir sistematik değişim de dikkati çekmektedir. Mancini ve ark. (2015), bu sistematik etkinin yıldız lekelerinden kaynaklandığını açıklamışlardır. Bu çalışmanın geçiş ışık eğrilerindeki sistematik gürültüler, $S = 1,3 - 1,8$ aralığında ölçülmüştür. Gözlem duyarlılığının geniş bir aralıkta dağılması ve kümelenme olmaması nedeniyle ortalamadan dışlanan gözlem verisi olmamıştır.

Çizelge 4.12. HAT-P-36b gözlem günlüğü

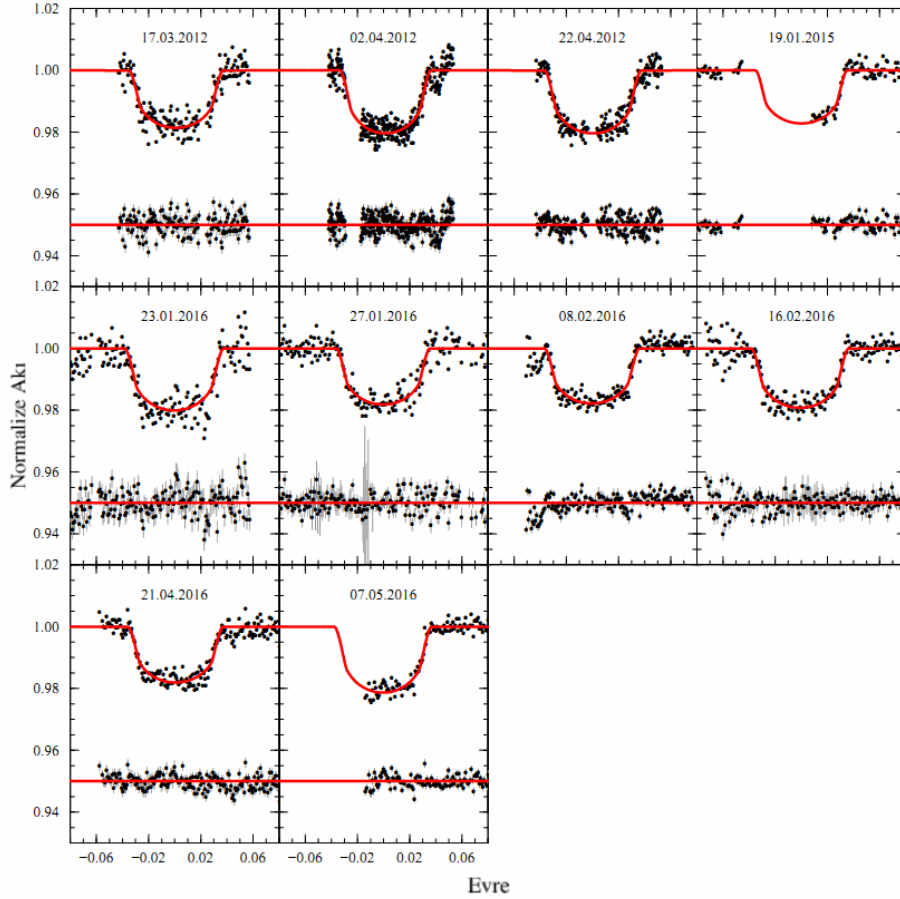
Tarih	Teleskop+CCD	Nokta sayısı	Bin.	Poz süresi (s)	Hava kütlesi	$\sigma_{\text{gözlem}}$ (mkadir)	σ_s (mkadir)
17.03.2012	T60 + AP42	172	1	60	1,01 - 1,28	3,4	3,4
02.04.2012	T60 + AP42	315	1	16	1,01 - 1,00 - 1,16	4,2	4,2
22.04.2012	T60 + AP42	210	1	30	1,03 - 1,00 - 1,07	2,9	2,9
19.01.2015	TUG100 + SI1100	130	2	80	1,68 - 1,01 - 1,03	2,0	2,0
23.01.2016	T60 + AP42	193	2	80	1,79 - 1,01	4,8	4,8
27.01.2016	TUG100 + SI1100	213	2	80	1,95 - 1,01 - 1,02	3,2	3,2
08.02.2016	T60 + AP42	164	2	80	1,45 - 1,01	3,8	5,3
16.02.2016	TUG100 + SI1100	204	2	80	1,84 - 1,01	3,4	3,4
21.04.2016	T60 + AP42	208	2	80	1,02 - 2,11	2,9	5,1
07.05.2016	TUG100 + SI1100	167	2	80	1,04 - 2,26	2,1	2,1

Geçiş Işık Eğrileri Çözümü

Çözümler, Bölüm 3.3.2’de açıklanan yöntem ile yapılmış ve elde edilen parametrelerin ağırlıklı ortalamaları, hataları ve önceki çalışmalar ile birlikte Çizelge 4.13’te verilmiştir. Aynı çizelgede literatürden toplanan verilerde bulunmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Mancini ve ark. (2015)’nin sonuçlarıyla 1σ hata sınırları içinde uyumludur. Gözlemsel veriler ile onların analiziyle elde edilen model eğrileri Şekil 4.9’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.13. HAT-P-36b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri

Çalışma	r_1	$k (r_2/r_1)$	$i (^\circ)$	$t_{IV} - t_1$ (dk)
Bakos ve ark. (2012)	$0,2145 \pm 0,0101$	$0,1186 \pm 0,0012$	$86,00 \pm 1,30$	—
Mancini ve ark. (2015)	$0,2027 \pm 0,0298$	$0,1287 \pm 0,0216$	$85,86 \pm 0,21$	—
Bu çalışma	$0,2041 \pm 0,0035$	$0,1217 \pm 0,0011$	$86,62 \pm 0,73$	$135,96 \pm 0,78$



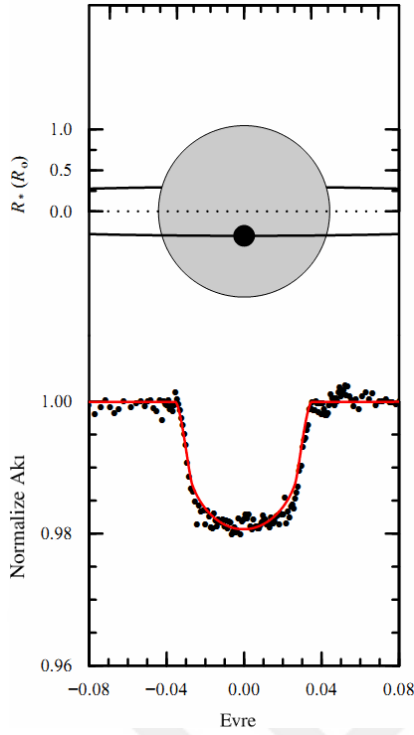
Şekil 4.9. HAT-P-36b geçiş eğrileri, model ve artıkları

Literatürden derlenen parametreler ile analizler sonucunda hesaplanan parametrelerin ağırlıklı ortalamaları, Çizelge 4.14'te verilmiştir. Tüm geçiş ışık eğrilerinin birleştirilerek 180 noktaya binning yapılmasıyla oluşturulan gözlemsel noktalar, hesaplanan ağırlıklı ortalama değeri ile elde edilen model eğrisiyle birlikte çizilmiştir (bkz. Şekil 4.10). Şekil 4.10'da yer alan geçiş geometrisi, geçiş ışık eğrisinin hemen üstünde gösterilmiştir. Geometriye göre gezegen çemberi, yıldız çemberinin merkezine çok yakın seyretmektedir. Bu durum, geçiş parametresi, $b = 0,288 \pm 0,062$ olarak hesaplanan sistemde gezegenin yıldız çemberi içinde çok daha uzun bir süre yol almasına; buna bağlı olarak geçiş ışık

eğrisi tabanının düze yakın bir biçim almasına neden olmaktadır. Bu noktada binning yapılmış gözlemsel verinin, HAT-P-36 yıldızının doğrusal kenar kararına etkisi Claret ve Bloemen (2011) tarafından verilen çizelgelerle hesaplanan $u = 0,615$ değerini kullanan model eğriye göre uyumsuz olduğu düşünülebilir. Nitekim, binning yapılmış veri için hesaplanan doğrusal kenar kararına katsayısı, $u = 0,380 \pm 0,088$ 'dir. Fakat bu sistemde gözlemsel hataların yüksek olması (en düşük $\sigma_{\text{gözlem}} = 2,0$; bkz. Çizelge 4.12), binning uygulamasının sağlıklı sonuç vermesini zorlaştırmaktadır.

Çizelge 4.14. HAT-P-36b'nin geçiş ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları

Alınan parametreler	
$M_{\star} (M_{\odot})$	$1,022 \pm 0,049$
$M_g (M_J)$	$1,832 \pm 0,087$
$T_e (K)$	5560 ± 100
Elde edilen parametreler	
a/R_{\star}	$4,89 \pm 0,12$
$R_{\star} (R_{\odot})$	$1,048 \pm 0,020$
$\rho_{\star} (\rho_{\odot})$	$0,876 \pm 0,053$
$\log g_{\star} (\text{cgs})$	$4,40 \pm 0,02$
$R_g (R_J)$	$1,234 \pm 0,026$
$\rho_p (\rho_J)$	$0,863 \pm 0,059$
$\log g_g (\text{cgs})$	$3,47 \pm 0,02$
$T'_{\text{eq}} (K)$	1779 ± 35
Safronov Sayısı (Θ)	$0,067 \pm 0,004$
$A_{K1} \langle F \rangle (10^9 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2})$	$2,293 \pm 0,155$



Şekil 4.10. HAT-P-36b geçiş geometrisi ve tüm geçişlerin 180 noktaya binning yapılmasıyla oluşturulan geçiş ışık eğrisi ve ağırlıklı model ortalama eğrisi

Şekil 4.9'daki gözlemsel ve model eğriler kendi içinde değerlendirildiğinde doğrusal kenar kararırma katsayısının $u = 0,466 \pm 0,059$ 'dan (16.02.2016), $u = 0,329 \pm 0,080$ 'e (08.02.2016) değiştiği görülmektedir. Yüksek miktarda saçılma nedeniyle HAT-P-36b'nin tüm analizleri, Claret ve Bloemen (2011) tarafından verilen çizelgelerle hesaplanan $u = 0,615$ değeriyle sürdürülmüştür.

Geçiş Ortası Zamanları ve Analizi

HAT-P-36b gözlemlerinden elde edilen geçiş zamanları, hataları ve O-C değerleri, Çizelge 4.15'te verilmiş, bu zamanlar ile birlikte ETD ve literatürden alınan değerlerle O-C dağılımı çizdirilmiştir (bkz. Şekil 4.11). Dağılımdan ışık elemanları,

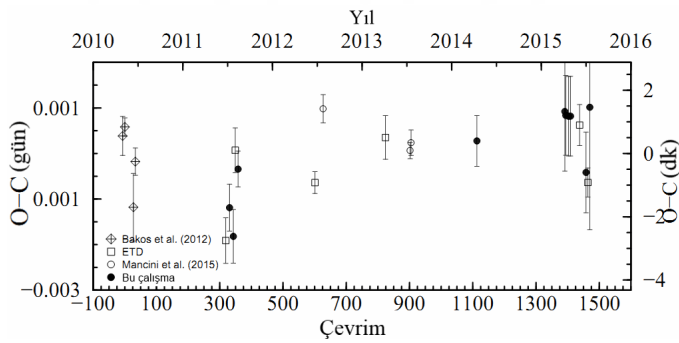
$$t = 2455565,18164 (13) + 1,3273466 (2) \times E \quad (4.3)$$

olarak hesaplanmıştır. Bu doğrusal eğri, indirgenmiş $\chi^2_{\text{ind}} = 3,4$ değerindedir. Lomb-Scargle frekans analiziyle, en baskın frekans olan $f_1 = 0,0042 \pm 0,0001$ çevrim P^{-1} (~238 gün) değeriyle uygulanan sinüs değişimi, indirgenmiş $\chi^2_{\text{ind}} = 3,3$ olarak bulunmaktadır. Bulunan değerler içinde belirgin bir baskın frekans olmamakla birlikte; frekansların %5

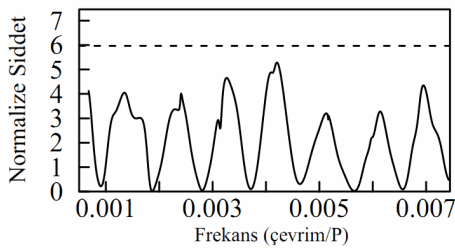
FAP sınırına karşılık gelen normalize frekans şiddetini aşmadığı görülmektedir (bkz. Şekil 4.12). Yaklaşık 6 yıla yayılan gözlemsel verilerde Çizelge 4.15'te verilen zamanlara ek olarak literatür ve ETD'den yararlanılmıştır. Şekil 4.11 ile verilen grafikte siyah noktalarla gösterilen bu çalışmanın zamanları ve literatür zaman değerlerinde hatalar yüksektir. ETD'den toplanan zamanlarda $\sigma_{t_0} \leq 0,0005$ sınırlaması gözetildiği için veri sayısı da azdır.

Çizelge 4.15. HAT-P-36b gözlemleriyle ölçülen geçiş zamanları

Tarih	Süzgeç	Çevrim	t_0 (BJD _{TDB} - 2450000+)	O-C (gün)
17.03.2012	R_{Bessel}	331	$6004,53218 \pm 0,00052$	-0,00128
02.04.2012	R_{Bessel}	343	$6020,45971 \pm 0,00059$	-0,00191
22.04.2012	R_{Bessel}	358	$6040,37138 \pm 0,00039$	-0,00044
19.01.2015	R_{Bessel}	1113	$7042,51868 \pm 0,00056$	0,00000
23.01.2016	R_{Bessel}	1391	$7411,52168 \pm 0,00131$	0,00058
27.01.2016	R_{Bessel}	1394	$7415,50364 \pm 0,00088$	0,00049
08.02.2016	R_{Bessel}	1403	$7427,44974 \pm 0,00087$	0,00047
16.02.2016	R_{Bessel}	1409	$7435,41382 \pm 0,00088$	0,00047
21.04.2016	R_{Bessel}	1458	$7500,45257 \pm 0,00089$	-0,00077
07.05.2016	R_{Bessel}	1470	$7516,38216 \pm 0,00269$	0,00065



Şekil 4.11. HAT-P-36b'nin geçiş ortası zamanları değişimi (bu çalışma, literatür ve ETD verileriyle birlikte)



Şekil 4.12. HAT-P-36b'nin Lomb-Scargle frekans eğrisi. Kesikli çizgi %5 FAP seviyesine karşılık gelen normalize şiddeti göstermektedir

4.1.4. WASP-10b

WASP-10b, Christian ve ark. (2009) tarafından keşfedilen bir ötegezegendir. Yörüngesinde dolandığı yıldızın V parlaklığı 12,7 kadir, etkin sıcaklığı 4675 K olarak verilmiştir. Cruz ve ark. (2015), gezegenin örtülme anındaki ışık değişimini K_s filtresinde gözlemişler, gezegen yıldız akıları oranını hesaplayarak, gezegenin aydınlık tarafındaki sıcaklığını $T_{Ks} = 1647 \pm 131$ K olarak bulmuşlardır. Gezegenin denge sıcaklığının ise en fazla $T'_{eq} = 1224$ K olması gerektiğini söylemişlerdir. WASP-10 sisteminin temel özellikleri Çizelge 4.16'da yer almaktadır.

Çizelge 4.16. WASP-10 sisteminin temel özellikleri

Parametre	Değer
Kütle, M_{\star} (M_{\odot})	$0,73 \pm 0,1$
Yarıçap, R_{\star} (R_{\odot})	$0,678^{+0,028}_{-0,032}$
Yoğunluk, ρ_{\star} (cgs)	$2,359^{+0,053}_{-0,047}$
Yüzey Çekim İvmesi, $\log g_{\star}$ (cgs)	$4,51^{+0,06}_{-0,05}$
Etkin Sıcaklık, T_e (K)	4675 ± 100
[Fe/H]	$0,03 \pm 0,02^a$
Yaş (G yıl)	$0,27 \pm 0,08^b$
Geçiş ortası zamanı, t_o (BJD)	$2454664,038090 \pm 0,000048$
Yörünge Dönemi, P (gün)	$3,09272932 \pm 0,00000032$
Normalize ayıklık, a/R_{\star}	$11,895 \pm 0,083$
Doğrusal kenar kararma katsayısı, u	$(R) 0,684^c$
Safronov sayısı (Θ)	---

^a Christian ve ark. (2009), ^b Maciejewski ve ark. (2011), diğer tüm değerler ise Barros ve ark. (2013)'dan alınmıştır. ^c Claret ve Bloemen (2011) çizelgelerinden hesaplamıştır.

Çizelge 4.17. WASP-10b gözlem günlüğü

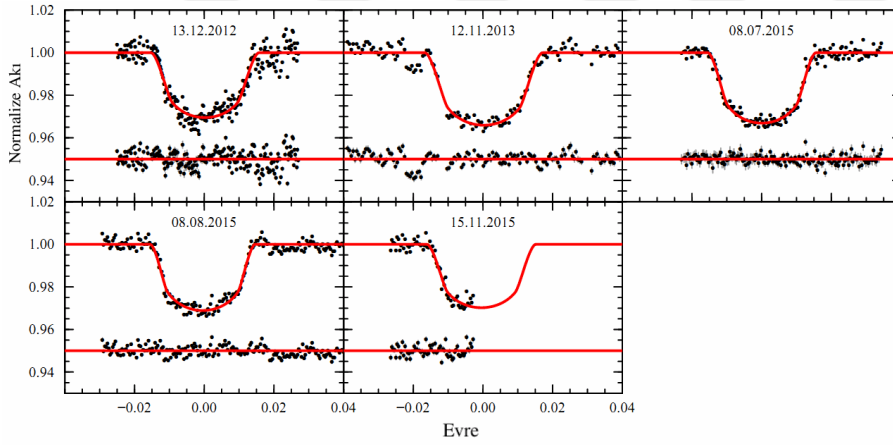
Tarih	Teleskop+CCD	Nokta sayısı	Bin.	Poz süresi (s)	Hava kütlesi	$\sigma_{gözlem}$ (mkadir)	σ_s (mkadir)
13.12.2012	T60 + AP42	237	1	50	1,17 - 2,50	4,1	4,1
12.11.2013	TUG100+SI1100	140	2	90	1,01 - 2,40	3,1	3,1
08.07.2015	TUG100+SI1100	153	2	80	2,13 - 1,02	2,2	2,2
08.08.2015	TUG100+SI1100	233	2	80	2,32 - 1,00 - 1,05	2,3	2,3
15.11.2015	TUG100+SI1100	64	2	80	1,01 - 1,14	2,6	2,6

Geçiş Işık Eğrileri Çözümü

WASP-10b için çözüme uygun beş ışık eğrisi toplanmıştır (bkz. Şekil 4.13). Gözlem özeti, Çizelge 4.17’de görülmektedir. $\sigma_{\text{gözlem}}$ ve σ_s ’nin hesaplama ayrıntıları, Bölüm 3.1’de verilmiştir. Herbir geçiş eğrisinin çözümü, en iyi eğri üzerinden hesaplanan parametreler ile başlanarak aynı adımlarla ayrı ayrı yapılmıştır. Gözlemsel eğriler, modelleri ve artıkları, Şekil 4.13’te ve elde edilen parametrelerin ağırlıklı ortalamaları Çizelge 4.18’de hataları ve literatürdeki değerleriyle birlikte yer almaktadır. Geçiş modellerinde doğrusal kenar kararırma katsayısı, $u = 0,684$ olarak alınmıştır (Claret ve Bloemen, 2011).

Çizelge 4.18. WASP-10b’nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri

Çalışma	r_1	$k (r_2/r_1)$	i (°)	$t_{IV} - t_1$ (dk)
Christian ve ark. (2009)	$0,0976 \pm 0,0290$	$0,1698 \pm 0,0578$	$86,90 \pm 0,60$	$141,38 \pm 2,74$
Barros ve ark. (2013)	$0,0841 \pm 0,0006$	$0,1575 \pm 0,0003$	$88,66 \pm 0,12$	$134,18 \pm 0,31$
Bu çalışma	$0,0916 \pm 0,0022$	$0,1650 \pm 0,0151$	$87,39 \pm 0,34$	$138,95 \pm 1,92$



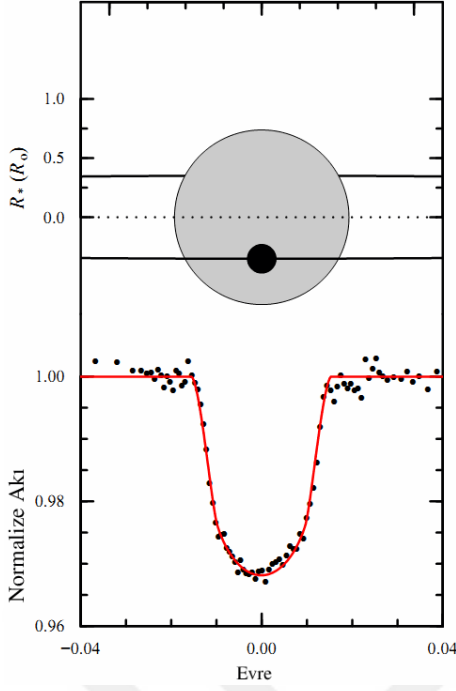
Şekil 4.13. WASP-10b geçiş eğrileri, model ve artıkları

WASP-10b ışık eğrileri analizleri ile bulunan değerlerin ağırlıklı ortalamaları hesaplanmış ve bu değerler, Çizelge 4.19’da sunulmuştur. Bu çalışmada elde edilen WASP-10b’nin fiziksel ve yörünge değerlerinin Christian ve ark. (2009) ile Barros ve ark. (2013) tarafından hesaplanan değerlerin arasında olduğu, Christian ve ark. (2009)’na yaklaşık 1σ kadar uzakta kaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.19. WASP-10b'nin geçiş ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları

Alınan parametreler	
$M_{\star} (M_{\odot})$	$0,73 \pm 0,010$
$M_g (M_J)$	$3,14 \pm 0,19$
$T_e (K)$	4675 ± 100
Elde edilen parametreler	
a/R_{\star}	$10,88 \pm 0,61$
$R_{\star} (R_{\odot})$	$0,740 \pm 0,024$
$\rho_{\star} (\rho_{\odot})$	$1,713 \pm 0,202$
$\log g_{\star} (cgs)$	$4,558 \pm 0,039$
$R_g (R_J)$	$1,183 \pm 0,040$
$\rho_p (\rho_J)$	$1,612 \pm 0,199$
$\log g_g (cgs)$	$3,74 \pm 0,04$
$T'_{eq} (K)$	1002 ± 26
Safronov Sayısı (Θ)	$0,273 \pm 0,041$
Ak1 $\langle F \rangle (10^9 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2})$	$0,229 \pm 0,020$

WASP-10b'nin kütlesi $M_g = 3,14 \pm 0,19 M_J$ 'dir (Barros ve ark., 2013). Buna bağlı olarak, Safronov sayısı, Denklem 2.6 ile $\Theta = 0,273 \pm 0,041$ olarak hesaplanmıştır. WASP-10b, $M_g \sim 3 M_J$ olan HD 17156b ve CoRoT-2b örnekleri gibi bir "kütleli (süper) Jüpiter"dir. Gezegenin geçiş geometrisi, 90 noktaya binning uygulanmış veri ve ağırlıklı ortalama değerler kullanılarak çizdirilen model eğriyle birlikte Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Sistematik etkiyle ağırlıklandırılmış gözlemsel hataları, $2,2 \leq \sigma_s \text{ (mkadir)} \leq 4,1$ aralığında dağılan geçiş ışık eğrilerinde birleştirilmiş eğrinin biçimini bozabilecek saçılmalı yapılar bulunmaktadır. Bu yapıların gözlemsel veri ile ortalama model eğri arasında kendini gösteren farkların oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Az sayıda verinin bulunması, istatistiksel olarak birleştirilen ve binning uygulanan verinin duyarlılığını azaltmaktadır.



Şekil 4.14. WASP-10b geçiş geometrisi ve tüm geçişlerin 90 noktaya ortaklanmasıyla oluşturulan geçiş ışık eğrisi ve ağırlıklı model ortalama eğrisi

Geçiş Ortası Zamanları ve Analizi

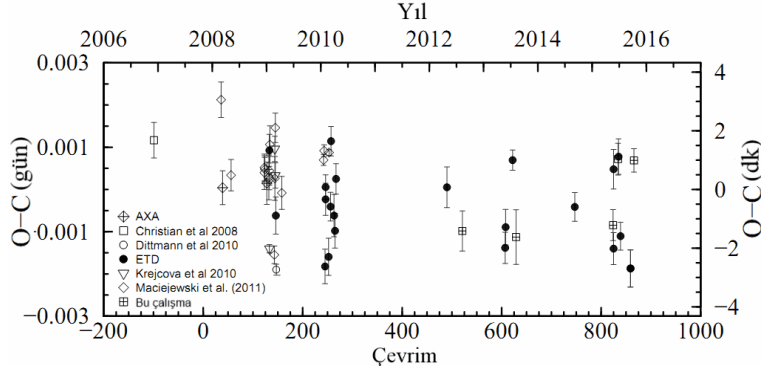
WASP-10b için için gözlemlerden elde edilen geçiş zamanları, hataları ve O-C değerleri Çizelge 4.20’de verilmiştir. Literatür, ETD ve bu çalışmadaki zamanlar kullanılarak oluşturulan ve Şekil 4.15 ile verilen O-C değişiminden ışık elemanları,

$$t = 2454664,03792 (6) + 3,0927303 (2) \times E \quad (4.4)$$

olarak hesaplanmıştır. Bu doğrusal eğri, indirgenmiş $\chi^2_{\text{ind}} = 19,8$ değerindedir. Lomb-Scargle frekans analiziyle, baskın frekans olan $f_1 = 0,01162 \pm 0,0003$ çevrim P^{-1} (~266 gün) değeriyle uygulanan sinüs değişimi, indirgenmiş $\chi^2_{\text{ind}} = 26,2$ olarak bulunmaktadır.

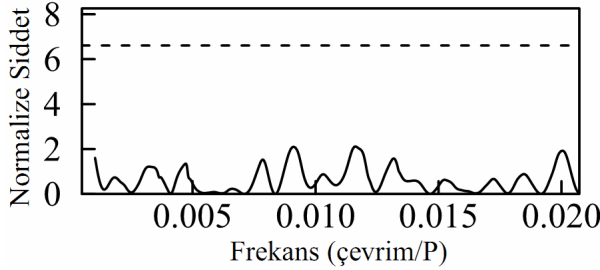
Çizelge 4.20. WASP-10b gözlemleriyle ölçülen geçiş zamanları

Tarih	Süzgeç	Çevrim	t_o (BJD _{TDB} - 2450000+)	O-C (gün)
13.12.2012	R_{Bessell}	521	$6275,34943 \pm 0,00047$	-0,0006795
12.11.2013	R_{Bessell}	629	$6609,36416 \pm 0,00065$	-0,0007365
08.07.2015	R_{Bessell}	824	$7212,44685 \pm 0,00037$	-0,000298
08.08.2015	R_{Bessell}	834	$7243,37572 \pm 0,00038$	0,001275
15.11.2015	R_{Bessell}	866	$7342,34306 \pm 0,00028$	0,00127



Şekil 4.15. WASP-10b'nin geçiş ortası zamanları değişimi (bu çalışma, literatür ve ETD verileriyle birlikte)

Şekil 4.16 ile verilen frekans penceresinde bu frekansa karşılık gelen normalize şiddet değeri, %5 FAP sınırının çok altında kalmaktadır. Bununla birlikte doğrusal eğri uydurmada χ^2_{ind} değerinin birin çok üstünde olması, WASP-10b'nin geçiş zamanı değişiminde saçılmanın da yüksek olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda gözlenebilirliğe bağlı olarak verideki mecburi dağılımın belirgin bir frekans bulmaya imkan sağlamayacak olması da muhtemel bir durum olarak görünmektedir.



Şekil 4.16. WASP-10b'nin Lomb-Scargle frekans eğrisi. Kesikli çizgi %5 FAP seviyesini göstermektedir

4.2. Bazı Ötegezegenlerin *Kepler* Geçiş Eğrilerinin Analizleri ve Geçiş Ortası Zamanları

Bu bölümde, *Kepler* teleskobu ile gözlenen ve 3.2. Bölümde listelenen HAT-P-7b, Kepler-6b, Kepler-8b, Kepler-79b,c,d,e ve Kepler-491b ötegezegenlerinin ışık eğrileri çalışılmıştır. Model eğriler, 3.3. Bölümde anlatılan binning yöntemi uygulanan veri üzerine çizdirilmiştir; ayrıca HAT-P-7b, Kepler-6b, ve Kepler-8b için binning uygulanmış veri kullanılarak analiz yapılmış ve binning verisi analizi model bulguları verilerek eğrisi, ortalama model eğriyle birlikte aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Geçiş zamanı analizlerinde, sağlıklı dikine hız verisi bulunan sistemlerde sinüsel değişim aranmamış; O-C değişimine ağırlıklı doğrusal eğri uydurularak sadece ışık elemanları bulunmuştur. Veriler, veri türünde kümelendiği için O-C değişimlerinde, sadece uzun dönemli değişimleri yakalamak olası görünmektedir. Ayrıca LC veri türünün geçiş zamanı analizleri için yeterli duyarlılıkta olmaması nedeniyle (bkz. Kipping ve Bakos, 2011), frekans veya frekansları çıkarmakta zorlaşmaktadır. Bu nedenlerle bu bölümde sadece HAT-P-7 sistemi çok sayıda SC verisi zamanı okunduğu ve literatürde Kepler-491 sistemine ilişkin O-C değişimi yer almadığı için frekans analizlerine alınmıştır.

Geçiş eğrisinin biçimi onu oluşturan nokta sayısına bağlı olduğu için modelleme amacıyla *Kepler* veritabanından veriler toplanırken, SC ve LC veri türleri arasında seçim yapılmıştır. LC verilerinde her bir nokta arasında 30 dakika bulunmaktadır. Bu nedenle seçimde belirleyici etken geçiş süresi olmalıdır. Yüksek duyarlılıkları *Kepler* ışık eğrilerinde geçiş eğrisinin giriş-çıkışları ve derinlikleri de dikkate alınacağı için seçim yapılırken her iki veri türünde geçişler üst üste çizdirilmiş ve seçim, veri türlerinde ışık eğrisi biçimindeki (omuz, iniş-çıkış eğrisi ve taban eğrisinde) uyum kontrol edilerek yapılmıştır. Seçilen veri türünün veritabanındaki tüm çeyrekleri çözüme alınmıştır. SC verilerindeki nokta sayısı göz önüne alındığında, tek bir çeyrekteki nokta sayısı 400.000'i geçebilmektedir. Bu nedenle NEA veritabanı, verinin dağıtımını kolaylaştırmak için çeyrekteki verileri üç parçaya bölerek dağıtmaktadır. SC verisinin kullanıldığı durumlarda, çözüm sayısını çoğaltarak ortalama duyarlılığı arttırmak amacıyla çeyrek içindeki birer aylık parçalar birleştirilmeyerek olduğu gibi kullanılmıştır.

Çözümlerde kütle oranı, q değişmez kabul edilmiştir. Kepler-491b için gezegenin kütlesi bilinmediğinden kütle oranı taraması yapılmış; taramadan bulunan değer, çözümlerde kullanılmıştır.

4.2.1. HAT-P-7b (Kepler-2b)

HAT-P-7b, Pál ve ark. (2008) tarafından HATNet projesinde keşfi yapılan ve *Kepler* teleskobunun gözlem alanına düşen $V = 10,5$ kadir parlaklığında, $M_{\star} = 1,47 M_{\odot}$ kütlelerinde bir yıldızın çevresinde dolanan $M_g = 1,776 M_J$ kütleli bir gezegendir (bkz. Çizelge 4.21). HAT-P-7'nin $T_e = 6441$ K olarak ölçülen etkin sıcaklık ve $R_{\star} = 1,84 R_{\odot}$ olarak ölçülen yarıçap değeri, onun ışınım şiddetinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durumda gezegeni de yıldızına olan yakınlığı nedeniyle ($a = 0,0377$ AB) yüksek yüzey sıcaklığına sahip olmaktadır. Wong ve ark. (2016)'na göre gezegenin $T'_{eq} = 2667 \pm 57$ K'dir. Pál ve ark. (2008), gezegen yüzeyine düşen akının $\langle F \rangle = 4,7 \times 10^9$ erg cm⁻² s⁻¹ olduğunu

söylemişlerdir. *Kepler* verilerini kullanarak örtülme ve evre eğrilerini inceleyen Morris ve ark. (2013) gezegenin gündüz sıcaklığını $T_B = 2733 \pm 21$ K olarak hesaplarken Esteves ve ark. (2015) $T_B = 2860 \pm 30$ K olarak vermişler ve en büyük denge sıcaklığını ise $T'_{eq} = 2820 \pm 40$ K olarak hesaplamışlardır. Wong ve ark. (2016), gezegenin kütleini $M_g = 1,682 \pm 0,021 M_J$, yarıçapını $R_g = 1,491 \pm 0,061 R_J$ olarak vermiştir. Literatürden toplanan sisteme ilişkin özet bilgiler, Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. HAT-P-7 sisteminin temel özellikleri

Parametre	Değer
Kütle, $M_\star (M_\odot)$	$1,47 \pm 0,07$
Yarıçap, $R_\star (R_\odot)$	$1,84 \pm 0,17$
Yoğunluk, ρ_\star (cgs)	$0,8^{+0,2}_{-0,3}$
Yüzey Çekim İvmesi, $\log g_\star$ (cgs)	$4,02 \pm 0,01$
Etkin Sıcaklık, T_e (K)	6441 ± 69
[Fe/H]	$+0,15 \pm 0,08$
Yaş (G yıl)	$2,2 \pm 1,0$
Geçiş ortası zamanı, t_o (BJD)	$2454731,68039 \pm 0,00023$
Yörünge Dönemi, P (gün)	$2,2047375 \pm 0,0000012$
Normalize ayıklık, a/R_\star	$4,1545^{+0,0029}_{-0,0025}$
Doğrusal kenar kararım katsayısı, u	$(Kp) 0,532^a$
Safronov sayısı (Θ)	$0,0564 \pm 0,0060^b$

^a Claret ve Bloemen (2011) çizelgelerinden hesaplamıştır. Diğer tüm değerler, Wong ve ark. (2016)'dan alınmıştır. ^b Çizelgedeki değerler üzerinden hesaplanmıştır.

İlk dikine hız ölçümleri, Pál ve ark. (2008) tarafından yapılmış ve yörünge basıklığı $e = 0$ olarak hesaplanmıştır. Daha sonra Wong ve ark. (2016), yörünge parametrelerini $e = 0,0016^{+0,0034}_{-0,0010}$ ve $\omega = 165^{+93}_{-66}$ olarak güncelleştirmişlerdir.

Geçiş Işık Eğrileri Çözümü

Kepler veritabanından çözüm için alınan HAT-P-7b geçiş ışık eğrileri, 0 – 17 çeyrekleri dahil arasındaki SC verilerinin tamamıdır. LC verileri kullanılmamıştır (bkz. Çizelge 4.22). HAT-P-7, parlaklığı nedeniyle yer tabanlı gözlemlere de uygundur. Fakat bu çalışma devam ediyorken gözlemlerin *Kepler* teleskobunda sürüyor olması nedeniyle, yer tabanlı gözlem yapma ihtiyacı doğmamıştır.

Çizelge 4.22. HAT-P-7b'nin çözüme alınan *Kepler* SC verileri

Veri No.	Çeyrek No.	Zaman aralığı (BJD - 2454833+)
1	00	121 – 130
2	01	132 – 165
3,4,5	02	170 – 200, 200 – 230, 231 – 258
6,7,8	03	260 – 291, 291 – 321, 324 – 350
9,10,11	04	352 – 383, 384 – 413, 413 – 442
12	05	505 – 538
13,14,15	06	539 – 567, 567 – 598, 599 – 629
16,17,18	07	630 – 660, 661 – 690, 691 – 720
19,20,21	08	735 – 753, 753 – 782, 782 – 802
22,23,24	09	809 – 845, 846 – 874, 875 – 906
25,26,27	10	907 – 937, 938 – 969, 970 – 1000
28,29,30	11	1001 – 1032, 1033 – 1063, 1064 – 1098
31,32,33	12	1099 – 1126, 1127 – 1154, 1155 – 1182
34,35,36	13	1183 – 1215, 1216 – 1245, 1246 – 1273
37,38,39	14	1274 – 1305, 1306 – 1336, 1337 – 1371
40,41,42	15	1373 – 1404, 1405 – 1435, 1436 – 1471
43,44,45	16	1472 – 1477, 1489 – 1525, 1526 – 1558
46,47	17	1559 – 1582, 1587 – 1591

Çözümler, 3.3.2. Bölümde anlatılan yöntem ile her çeyrek verisi için yapılmış ve elde edilen parametreler, hataları ve ağırlıklı ortalamalarıyla birlikte Çizelge 4.23'te verilmiş, geçiş ışık eğrileri, modelleri ve artıklarıyla birlikte Şekil 4.17'de çizilmiştir. Wong ve ark. (2016) tarafından verilen $e = 0,0016$ ve $\omega = 165^\circ$, sadece birleştirilmiş ve binning yapılmış veride sabit tutularak kullanılmış olup, χ^2 değerinin dairesel yörünge çözümüyle karşılaştırıldığında %5'lik bir değişim gösterdiği bulunmuştur. Birleştirilmiş ve binning uygulanmış veride doğrusal kenar kararma katsayısı, u serbest bırakılarak $u = 0,468 \pm 0,012$ olarak bulunmuştur. Sonuçlar, kullanılan veri setlerinin ağırlıklı ortalama değerleri (Çizelge 4.23) ve binning verisi analiz değerleri olmak üzere literatür karşılaştırmasıyla Çizelge 4.24'te verilmiştir.

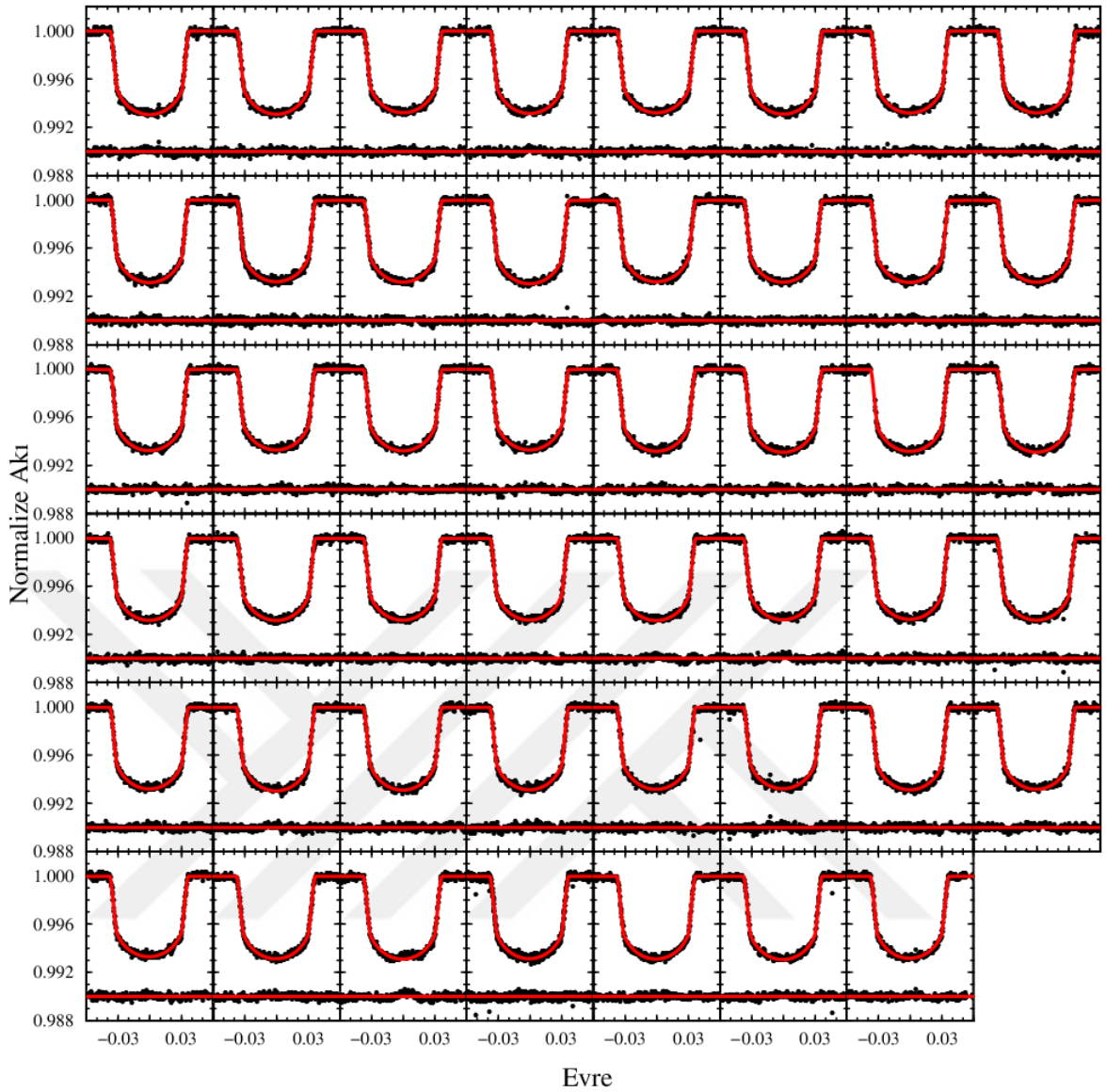
Çizelge 4.24'te verilen birleştirilmiş ağırlıklı ortalama modeli ve binning modeli analizinden bulunan model parametreleri karşılaştırılırsa, u serbest çözümün model parametrelerini değiştirdiği görülebilir. Her iki model literatürü desteklemesine rağmen, binning modeli daha uyumlu görünmektedir. Şekil 4.18'de model eğrilerin karşılaştırılması, geçiş geometrisiyle birlikte verilmektedir. Bu şekilde aynı zamanda ortalama model eğriye (kırmızı çizgi) kıyasla daha iyi uyum gösteren binning model eğrisinin (gri çizgi) artıkları yer almaktadır. Şekilde kullanılan gözlemsel veri, ortalamaya alınan geçişlerin 4800 noktaya binning yapılmasıyla oluşturulan geçiş ışık eğrisidir (Şekil 4.18i) ve ikinci bir şekil olarak örtülme eğrisi de verilmektedir (Şekil 4.18ii).

Çizelge 4.23. HAT-P-7b modelleri sonuç parametreleri

Veri No.	$\Delta\varphi_o$	$\Delta\varphi_o$ hata	r_1	r_1 hata	k	k hata	r_2	r_2 hata	i (°)	i hata	χ^2_{ind}	σ_{AKI} (1/1000)	S	σ_s (1/1000)
1	0,042	0,012	0,2347	0,0017	0,07840	0,00018	0,01840	0,00018	84,05	0,24	1,107	0,167	3,737	0,625
2	0,045	0,013	0,2347	0,0022	0,07829	0,00022	0,01838	0,00022	83,99	0,30	0,932	0,179	3,454	0,617
3	0,059	0,009	0,2348	0,0005	0,07757	0,00009	0,01821	0,00006	83,98	0,07	1,051	0,158	2,796	0,441
4	0,066	0,011	0,2347	0,0026	0,07797	0,00025	0,01830	0,00026	83,94	0,35	1,021	0,159	2,831	0,450
5	0,068	0,012	0,2349	0,0026	0,07735	0,00025	0,01817	0,00026	84,06	0,36	0,972	0,165	3,738	0,616
6	0,080	0,011	0,2348	0,0025	0,07806	0,00025	0,01833	0,00025	84,00	0,34	1,119	0,157	3,242	0,507
7	0,053	0,011	0,2351	0,0027	0,07754	0,00026	0,01823	0,00027	83,91	0,36	1,015	0,156	2,617	0,408
8	0,038	0,011	0,2348	0,0024	0,07742	0,00023	0,01818	0,00024	83,99	0,33	1,180	0,164	2,752	0,451
9	0,093	0,012	0,2347	0,0027	0,07785	0,00027	0,01827	0,00027	83,90	0,37	0,916	0,166	2,490	0,414
10	0,096	0,011	0,2357	0,0023	0,07701	0,00021	0,01815	0,00022	83,84	0,31	0,974	0,170	2,942	0,501
11	0,124	0,011	0,2347	0,0023	0,07716	0,00021	0,01811	0,00022	83,94	0,31	1,231	0,153	2,917	0,447
12	0,084	0,012	0,2348	0,0026	0,07794	0,00024	0,01830	0,00026	83,93	0,35	1,043	0,174	3,752	0,652
13	0,145	0,013	0,2347	0,0029	0,07697	0,00027	0,01806	0,00029	83,95	0,40	0,900	0,176	2,504	0,441
14	0,135	0,011	0,2348	0,0024	0,07718	0,00022	0,01812	0,00024	83,93	0,33	1,224	0,153	3,040	0,466
15	0,142	0,011	0,2357	0,0017	0,07733	0,00016	0,01823	0,00017	83,86	0,23	1,045	0,169	2,683	0,453
16	0,095	0,011	0,2347	0,0026	0,07722	0,00024	0,01812	0,00025	83,89	0,35	1,092	0,161	3,252	0,524
17	0,131	0,011	0,2349	0,0023	0,07686	0,00021	0,01806	0,00023	84,00	0,32	1,087	0,160	3,318	0,530
18	0,138	0,012	0,2348	0,0041	0,07663	0,00037	0,01799	0,00040	83,91	0,56	1,034	0,160	2,476	0,397
19	0,120	0,011	0,2348	0,0023	0,07702	0,00022	0,01808	0,00023	83,92	0,32	1,074	0,161	2,531	0,407
20	0,157	0,011	0,2340	0,0024	0,07648	0,00022	0,01790	0,00024	84,06	0,34	1,055	0,164	2,670	0,438
21	0,161	0,012	0,2348	0,0030	0,07723	0,00028	0,01813	0,00030	83,93	0,41	0,996	0,168	3,096	0,520
22	0,132	0,012	0,2347	0,0024	0,07769	0,00022	0,01824	0,00024	83,95	0,32	1,009	0,161	3,567	0,574
23	0,148	0,015	0,2347	0,0031	0,07729	0,00027	0,01814	0,00030	83,93	0,41	0,979	0,170	2,458	0,417
24	0,177	0,012	0,2348	0,0027	0,07757	0,00025	0,01821	0,00027	84,02	0,37	1,009	0,170	4,172	0,708
25	0,161	0,012	0,2349	0,0029	0,07723	0,00027	0,01814	0,00028	83,92	0,39	1,123	0,157	3,656	0,575
26	0,115	0,011	0,2352	0,0007	0,07730	0,00009	0,01818	0,00007	83,93	0,08	1,084	0,167	2,928	0,489
27	0,178	0,012	0,2348	0,0026	0,07714	0,00024	0,01812	0,00026	83,96	0,35	1,000	0,167	2,837	0,474
28	0,188	0,012	0,2348	0,0027	0,07710	0,00025	0,01810	0,00027	83,93	0,37	0,935	0,171	2,644	0,452
29	0,151	0,011	0,2348	0,0023	0,07728	0,00021	0,01815	0,00023	83,99	0,32	1,348	0,149	4,140	0,617
30	0,201	0,012	0,2347	0,0029	0,07695	0,00027	0,01806	0,00029	84,00	0,40	0,993	0,170	2,410	0,409
31	0,193	0,012	0,2348	0,0027	0,07678	0,00025	0,01803	0,00027	83,92	0,37	0,928	0,164	2,067	0,339

Çizelge 4.23'ün devamı

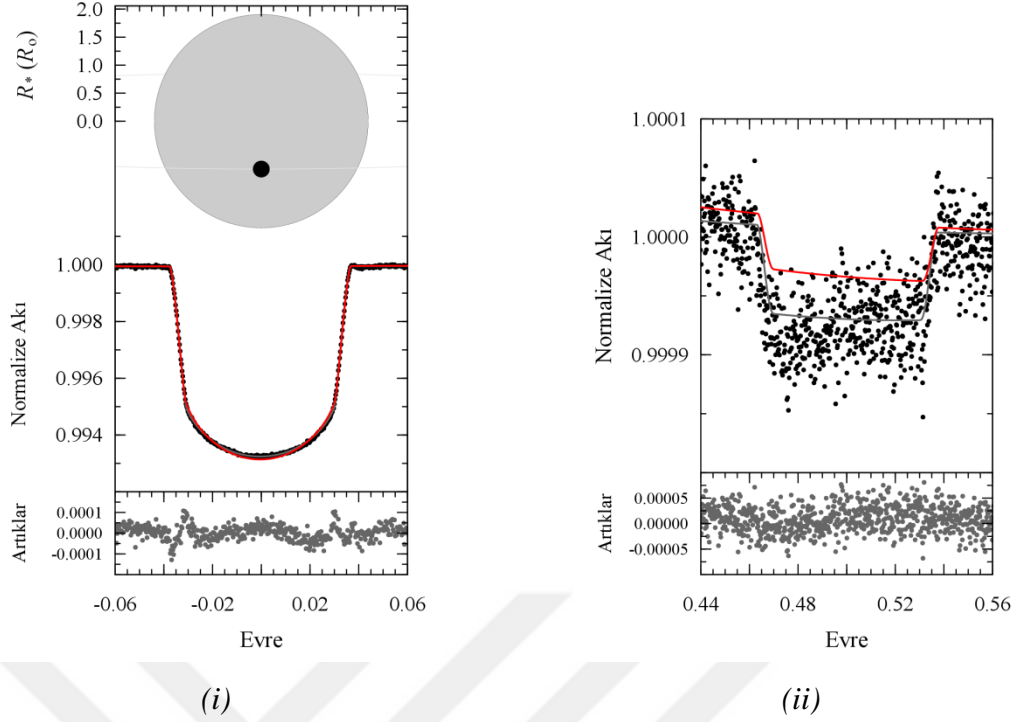
Veri No.	$\Delta\varphi_0$	$\Delta\varphi_0$ hata	r_1	r_1 hata	k	k hata	r_2	r_2 hata	i (°)	i hata	χ^2_{ind}	σ_{AKI} (1/1000)	S	σ_s (1/1000)
32	0,166	0,012	0,2348	0,0029	0,07709	0,00027	0,01810	0,00029	84,01	0,40	0,966	0,171	3,169	0,543
33	0,177	0,012	0,2349	0,0026	0,07705	0,00024	0,01810	0,00025	83,95	0,35	1,062	0,163	2,551	0,415
34	0,196	0,011	0,2348	0,0024	0,07793	0,00023	0,01830	0,00024	84,00	0,34	1,225	0,158	4,272	0,676
35	0,200	0,015	0,2348	0,0030	0,07759	0,00028	0,01822	0,00030	83,93	0,40	0,748	0,170	3,469	0,590
36	0,230	0,014	0,2348	0,0044	0,07740	0,00041	0,01818	0,00044	84,01	0,62	0,908	0,176	2,101	0,371
37	0,207	0,025	0,2348	0,0052	0,07717	0,00048	0,01812	0,00052	84,03	0,73	1,075	0,194	6,482	1,260
38	0,239	0,014	0,2348	0,0029	0,07696	0,00027	0,01807	0,00028	83,91	0,39	0,938	0,190	4,048	0,768
39	0,207	0,013	0,2348	0,0028	0,07746	0,00026	0,01819	0,00027	83,96	0,38	0,952	0,176	3,934	0,692
40	0,262	0,013	0,2347	0,0028	0,07726	0,00026	0,01814	0,00028	83,91	0,38	0,889	0,167	3,092	0,516
41	0,244	0,013	0,2348	0,0027	0,07639	0,00025	0,01794	0,00026	84,00	0,37	0,887	0,172	2,604	0,447
42	0,208	0,012	0,2351	0,0026	0,07742	0,00024	0,01821	0,00026	83,98	0,36	1,045	0,159	3,368	0,534
43	0,249	0,012	0,2348	0,0026	0,07761	0,00024	0,01822	0,00026	83,94	0,36	1,086	0,172	3,893	0,670
44	0,237	0,009	0,2364	0,0020	0,07752	0,00018	0,01833	0,00020	83,76	0,27	0,988	0,174	2,589	0,450
45	0,248	0,011	0,2348	0,0026	0,07755	0,00024	0,01821	0,00026	83,94	0,35	1,095	0,157	3,686	0,579
46	0,252	0,013	0,2348	0,0027	0,07783	0,00025	0,01827	0,00027	83,94	0,37	0,928	0,179	3,638	0,651
47	0,224	0,011	0,2347	0,0024	0,07725	0,00023	0,01813	0,00024	83,91	0,33	1,107	0,160	2,961	0,475
Ağ. Ort:	0,151	0,002	0,2349	0,0003	0,07738	0,00003	0,01819	0,00003	83,95	0,04	1,029	0,166	3,183	0,532



Şekil 4.17. HAT-P-7b *Kepler* geçiş eğrileri, model ve artıkları

Çizelge 4.24. HAT-P-7b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri

Çalışma	r_1	$k (r_2/r_1)$	$i (^\circ)$
Morris ve ark. (2013)	$0,24095 \pm 0,00023$	$0,07759 \pm 0,00003$	$83,11 \pm 0,03$
Esteves ve ark. (2015)	$0,24070 \pm 0,00017$	$0,07752 \pm 0,00002$	$83,14 \pm 0,02$
Wong ve ark. (2016)	$0,24814 \pm 0,00985$	$0,07809 \pm 0,00068$	$82,20 \pm 1,20$
Bu çalışma (ağırlıklı ortalama)	$0,23491 \pm 0,00027$	$0,07738 \pm 0,00030$	$83,95 \pm 0,04$
Bu çalışma (binning modeli)	$0,23611 \pm 0,00051$	$0,07766 \pm 0,00044$	$83,63 \pm 0,07$



Şekil 4.18. (i) Üst bölmede HAT-P-7b geçiş geometrisi, orta bölmede ortalamaya alınan geçişlerin 4800 noktaya binning yapılmasıyla oluşturulan geçiş ışık eğrisi ve üzerine çizilen ağırlıklı model ortalama eğrisi (kırmızı) ile binning verisinin model eğrisi (gri), alt bölmede ise binning verisinin modeli artıkları çizdirilmiştir. (ii) Üst bölmede örtülme ışık eğrisi ve (i)'de tanımlandığı şekilde üzerine çizilen model eğriler ve artıkları

HAT-P-7b artıklarında gözlenen salınım, Esteves ve ark. (2015) tarafından $A_{\text{artık}} = 1,9 (\pm 0,2) \times 10^{-6}$ düzeyinde bir genlikte bulunmuş ve salınımı gelgitler ile kabaran ve alçalan yüzeyin yansıyan ışığa etkisi olarak yorumlanmıştır. Cowan ve ark. (2013), evre eğrilerinin gezegenin yüzey parlaklık haritasına bağlı olarak salınımlar gösterebileceğini söylemişlerdi.

Analize alınan ve analizden bulunan yörünge ve fiziksel parametreler, Çizelge 4.25'te listelenmiştir. Çizelgede yer aldığı gibi gezegenin yıldızından aldığı akı $\langle F \rangle = 5,410 (\pm 0,011) \times 10^9 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ görece yüksek bir değere sahiptir.

Çizelge 4.25. HAT-P-7b'nin ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları

Alınan parametreler	
$M_{\star} (M_{\odot})$	$1,47 \pm 0,07$
$M_g (M_J)$	$1,682 \pm 0,021$
$T_e (K)$	6441 ± 69
Elde edilen parametreler	
a/R_{\star}	$8,11 \pm 0,13$
$R_{\star} (R_{\odot})$	$1,905 \pm 0,005$
$\rho_{\star} (\rho_{\odot})$	$0,213 \pm 0,002$
$\log g_{\star} (cgs)$	$4,046 \pm 0,004$
$R_g (R_J)$	$1,434 \pm 0,004$
$\rho_p (\rho_J)$	$0,436 \pm 0,006$
$\log g_g (cgs)$	$3,277 \pm 0,005$
$T'_{eq} (K)$	2207 ± 5
Safronov Sayısı (Θ)	$0,0487 \pm 0,0009$
Ak1 $\langle F \rangle (10^9 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2})$	$5,410 \pm 0,011$

Geçiş Ortası Zamanları ve Analizi

HAT-P-7b için her bir çeyrek verisinin analizlerinden elde edilen geçiş zamanları, hataları ve O-C değerleri Çizelge 4.26'da listelenmiştir. Bu zamanlara ağırlıklı doğru uydurularak ışık elemanları,

$$t = 2454731,68048 (9) + 2,2047392 (3) \times E \quad (4.5)$$

olarak hesaplanmıştır. Bu doğrusal düzeltme, $SD = 45$ serbestlik derecesinde indirgenmiş $\chi^2_{ind} = 0,1$ değerindedir. SC verileri sayesinde hassas zaman okuması yapılabilen ve *Kepler* ile elde edilmiş 4 yıla yayılmış bir O-C verisi bulunan HAT-P-7b'nin frekans analizi, Şekil 4.19'da verilmiştir. Şekil 4.20'de ise O-C grafiği doğru düzeltmesi yapılmadan ölçülen zamanları göstermektedir. O-C dağılımındaki değişimin HAT-P-7b'nin yörünge dönemi kaynaklı bir değişim olduğunu söyleyebiliriz; buna ek olarak dönem düzeltmesi yapılan değişime uygulanan Lomb-Scargle frekans analiziyle Şekil 4.19'daki güç tayfı elde edilmiştir. %5 FAP seviyesine karşılık gelen normalize frekans şiddetini geçemeyen

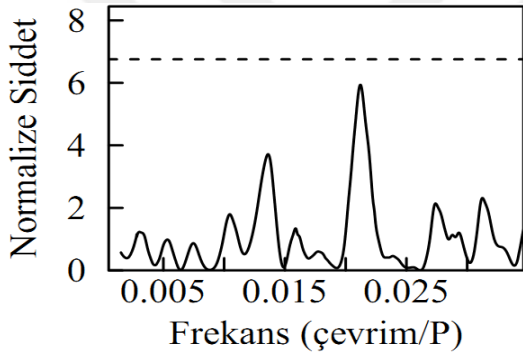
$P_{\text{ttv}} = 104,0 \pm 0,7$ güne karşılık gelen bir baskın frekans, $f_{\text{ttv}} = 0,0212 \pm 0,0001$ çevrim P^{-1} ölçülmüştür. FAP seviyesinin altında kalması nedeniyle veriye bu frekans üzerinden sinüs modeli uygulanmamıştır.

Çizelge 4.26. HAT-P-7b'nin *Kepler* ışık eğrilerinden ölçülen geçiş zamanları

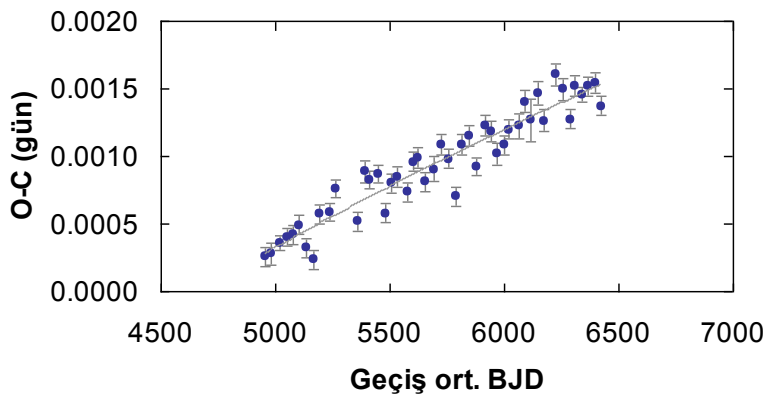
Veri No.	Çevrim	t_o (BJD _{TDB} - 2450000+)	O-C (gün)
1	102	4956,56384 ± 0,00013	-0,000029
2	112	4978,61123 ± 0,00015	-0,000028
3	131	5020,50132 ± 0,00015	0,000015
4	145	5051,36769 ± 0,00017	0,000033
5	157	5077,82455 ± 0,00019	0,000025
6	167	5099,87199 ± 0,00020	0,000078
7	184	5137,35236 ± 0,00021	-0,000124
8	197	5166,01385 ± 0,00023	-0,000237
9	209	5192,47104 ± 0,00024	0,000077
10	230	5238,77053 ± 0,00026	0,000049
11	240	5260,81807 ± 0,00027	0,000202
12	285	5360,03101 ± 0,00032	-0,000126
13	299	5390,89770 ± 0,00034	0,000219
14	308	5410,74028 ± 0,00035	0,000140
15	324	5446,01611 ± 0,00036	0,000149
16	339	5479,08688 ± 0,00038	-0,000169
17	351	5505,54395 ± 0,00039	0,000031
18	363	5532,00084 ± 0,00041	0,000053
19	382	5573,89074 ± 0,00043	-0,000097
20	396	5604,75728 ± 0,00044	0,000099
21	404	5622,39521 ± 0,00045	0,000113
22	417	5651,05661 ± 0,00047	-0,000091
23	435	5690,74198 ± 0,00049	-0,000029
24	451	5726,01795 ± 0,00050	0,000116
25	466	5759,08891 ± 0,00052	-0,000013
26	478	5785,54548 ± 0,00053	-0,000316
27	490	5812,00271 ± 0,00054	0,000046
28	505	5845,07383 ± 0,00056	0,000078
29	519	5875,93992 ± 0,00058	-0,000177
30	537	5915,62549 ± 0,00060	0,000093
31	548	5939,87756 ± 0,00061	0,000025
32	562	5970,74371 ± 0,00062	-0,000168
33	576	6001,61010 ± 0,00064	-0,000125
34	584	6019,24811 ± 0,00065	-0,000028
35	605	6065,54762 ± 0,00067	-0,000041

Çizelge 4.26'nın devamı

Veri No.	Çevrim	t_o (BJD _{TDB} - 2450000+)	O-C (gün)
36	615	6087,59517 ± 0,00068	0,000120
37	629	6118,46136 ± 0,00071	-0,000046
38	642	6147,12314 ± 0,00071	0,000125
39	655	6175,78452 ± 0,00073	-0,000099
40	676	6222,08434 ± 0,00075	0,000198
41	693	6259,56476 ± 0,00077	0,000056
42	707	6290,43087 ± 0,00078	-0,000191
43	714	6305,86428 ± 0,00079	0,000044
44	730	6341,14000 ± 0,00081	-0,000058
45	742	6367,59691 ± 0,00082	-0,000018
46	755	6396,25852 ± 0,00083	-0,000018
47	766	6420,51046 ± 0,00085	-0,000208



Şekil 4.19. HAT-P-7b'nin *Kepler* SC verilerinin analizi ile okunan 47 adet zamanla (bkz. Çizelge 4.26) oluşturulan O-C değışiminin Lomb-Scargle frekans tayfı



Şekil 4.20. HAT-P-7b'nin O-C dağılımı ve değışime uydurulan doğru. Geçiş zamanları, BJD (2450000+) olarak verilmiştir

4.2.2. Kepler-6b

Kepler-6 sistemi, kütlesi $M_{\star} = 1,21 M_{\odot}$, yarıçapı $R_{\star} = 1,39 R_{\odot}$ olan bir yıldızla; $a = 0,04852$ AB uzaklığındaki bir yörüngede dolanan $M_g = 0,668 M_J$ kütleli bir gezegen barındırmaktadır. Yıldızının etkin sıcaklığı $T_e = 5647$ K olarak verilmiştir (bkz. Çizelge 4.27). Kipping ve Bakos (2011) tarafından yapılan çalışmada örtülme eğrisi görülmezken Esteves ve ark. (2015) örtülme eğri ve evre eğrisini çalışmış ve gezegenin gündüz sıcaklığını $T_B = 2060 \pm 140$ K; gezegenin maksimum denge sıcaklığını $T'_{eq} = 1860 \pm 20$ K olarak hesaplamışlardır. Dunham ve ark. (2010) tarafından alınan dikine hız ölçümleriyle yörünge basıklığı $e = 0$ bulunmuştur.

Çizelge 4.27. Kepler-6 sisteminin temel özellikleri

Parametre	Değer
Kütle, $M_{\star} (M_{\odot})$	$1,209^{+0,044}_{-0,038}$
Yarıçap, $R_{\star} (R_{\odot})$	$1,391^{+0,017}_{-0,034}$
Yoğunluk, $\rho_{\star} (cgs)$	$0,40^{+0,06}_{-0,04}$
Yüzey Çekim İvmesi, $\log g_{\star} (cgs)$	$4,236 \pm 0,011$
Etkin Sıcaklık, $T_e (K)$	5647 ± 44
[Fe/H]	$+0,34 \pm 0,04$
Yaş (G yıl)	$2,2 \pm 1,0$
Geçiş ortası zamanı, $t_o (BJD)$	$2454954,486528^{+0,000009}_{-0,000012}$
Yörünge Dönemi, $P (gün)$	$3,2346996 \pm 0,0000004$
Normalize ayıklık, a/R_{\star}	$7,503 \pm 0,022$
Doğrusal kenar kararma katsayısı, u	$(Kp) 0,613^a$
Safronov sayısı (Θ)	$0,0411 \pm 0,0060^b$

^a Claret ve Bloemen (2011) çizelgelerinden hesaplamıştır. Diğer tüm değerler, Esteves ve ark. (2015)'den alınmıştır. ^b Çizelgedeki değerler üzerinden hesaplanmıştır.

Geçiş Işık Eğrileri Çözümü

Kepler veritabanından çözüm için alınan Kepler-6b geçiş ışık eğrileri, veritabanında bulunan SC verilerinin tamamıdır. Bu veri türü, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10 ve 12. çeyreklerini içermektedir. LC verileri kullanılmamıştır (bkz. Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. Kepler-6b'nin çözüme alınan *Kepler* SC verileri bilgileri

Veri No.	Çeyrek No.	Zaman aralığı (BJD - 2454833+)
1,2,3	02	170 – 200, 200 – 230, 231 – 258
4,5,6	03	260 – 291, 291 – 321, 324 – 350
7,8,9	04	352 – 383, 384 – 413, 413 – 442
10	05	505 – 538
11,12,13	06	539 – 567, 567 – 598, 599 – 629
14,15,16	09	809 – 845, 846 – 874, 875 - 906
17,18,19	10	907 – 937, 938 – 969, 970 – 1000
20,21,22	12	1099 – 1126, 1127 – 1154, 1155 – 1182

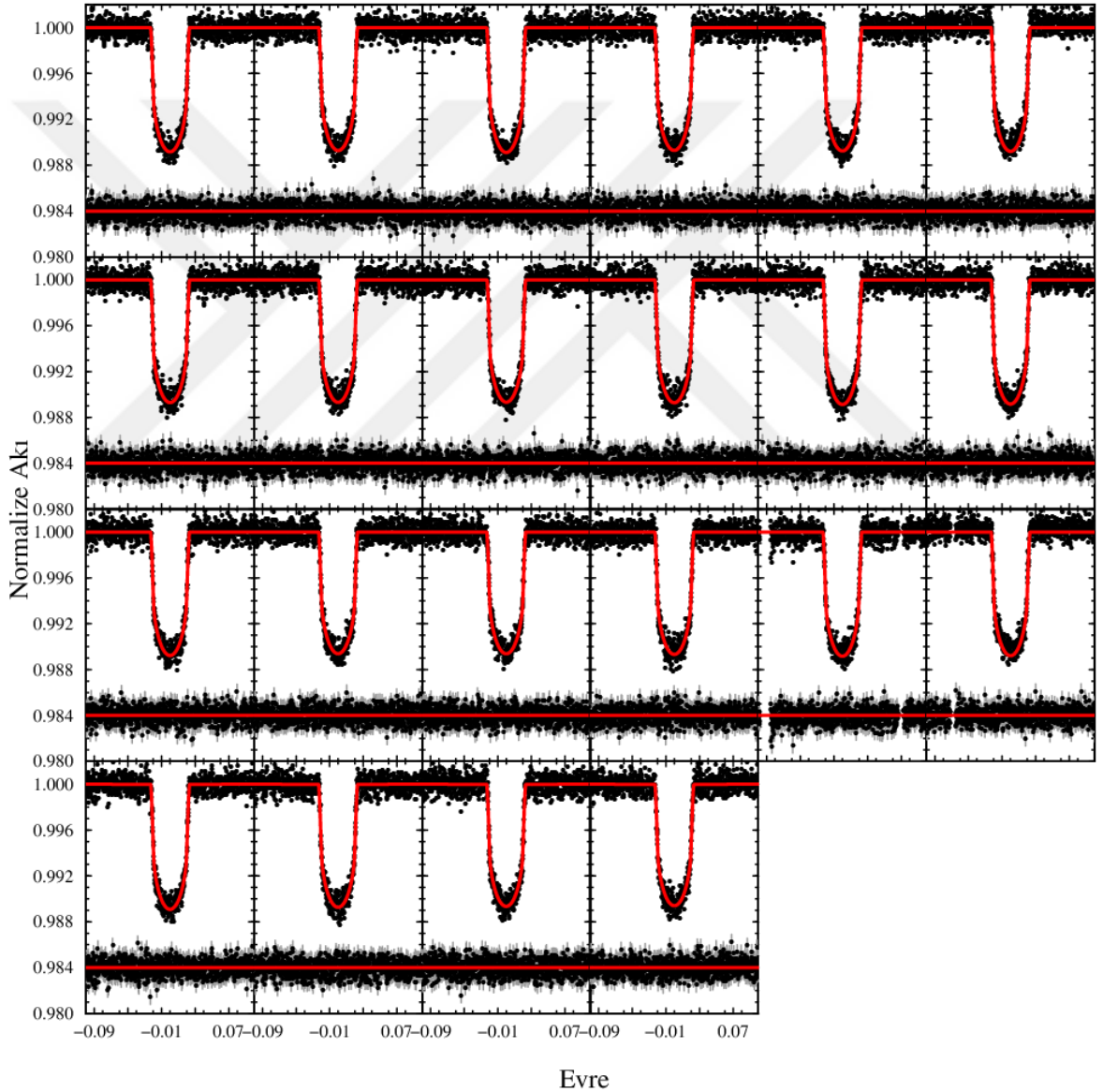
Çizelge 4.28'de listelenen verilerin analizleri için literatürden alınan ve analizlerden elde edilen parametreler, Çizelge 4.29'da verilmektedir. Her çeyrek verisi için elde edilen parametreler, hataları ile ağırlıklı ortalamaları, Çizelge 4.30'da ve modelleri ile artıkları Şekil 4.21'de sunulmuştur.

Çizelge 4.29. Kepler-6b'nin ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları

Alınan parametreler	
$M_{\star} (M_{\odot})$	$1,209^{+0,044}_{-0,038}$
$M_g (M_J)$	$0,668 \pm 0,038$
$T_e (K)$	5647 ± 44
Elde edilen parametreler	
a/R_{\star}	$9,81 \pm 0,12$
$R_{\star} (R_{\odot})$	$1,315 \pm 0,010$
$\rho_{\star} (\rho_{\odot})$	$0,532 \pm 0,013$
$\log g_{\star} (cgs)$	$4,283 \pm 0,007$
$R_g (R_J)$	$1,192 \pm 0,009$
$\rho_p (\rho_J)$	$0,371 \pm 0,011$
$\log g_g (cgs)$	$3,069 \pm 0,010$
$T'_{eq} (K)$	1462 ± 10
Safronov Sayısı (Θ)	$0,0425 \pm 0,0014$
$Ak1 \langle F \rangle (10^9 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2})$	$1,041 \pm 0,026$

3.3. Bölümdeki yöntem kullanılarak elde edilen 2400 noktaya binning yapılmış gözlemsel veri, ortalama model ve binning yapılmış verinin analiziyle elde edilen model

ile birlikte Şekil 4.22’de gösterilmektedir. Şekilde kenar kararım katsayısı u serbest çözüm eğrisi, 4.2.1. Bölümde anlatıldığı gibi gri ile çizilmiş, artıkları verilmiştir. Birleştirilmiş ve binning yapılmış verinin analizi, Çizelge 4.30’da verilen ortalama değerler ve literatür ile birlikte Çizelge 4.31’de verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar 1σ hata sınırları içinde literatürdeki güncel çalışmalarla uyumludur. Dunham ve ark. (2010) tarafından bulunan değerler, sadece *Kepler* gözlem çeyreğinin ilki olan ve deneme sezonu olarak bilinen 0. çeyrek verisi ile yapılmıştır. Birleştirilmiş ve binning uygulanmış veri kullanılarak, $u = 0,547 \pm 0,0067$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.21. Kepler-6b’nin geçiş eğrileri, model ve artıkları

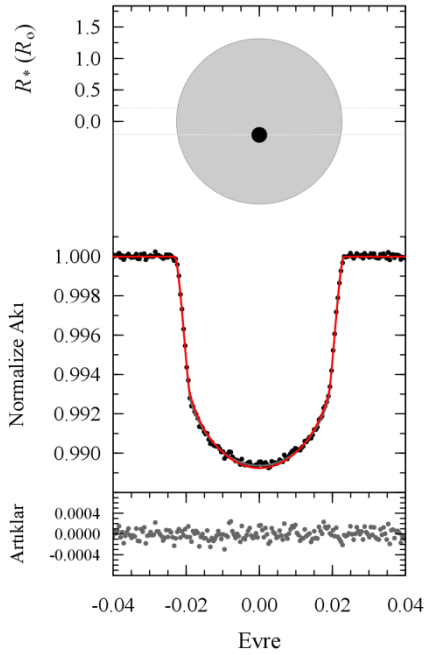
Çizelge 4.30. Kepler-6b modelleri sonuç parametreleri

Veri No.	$\Delta\varphi_0$	$\Delta\varphi_0$ hata	r_1	r_1 hata	k	k hata	r_2	r_2 hata	i (°)	i hata	χ^2_{ind}	σ_{AKI} (1/1000)	S	σ_s (1/1000)
1	0,0060	0,0185	0,1340	0,0030	0,0935	0,0007	0,0125	0,0004	88,76	1,13	1,007	0,597	1,843	1,101
2	-0,0206	0,0191	0,1338	0,0044	0,0930	0,0010	0,0124	0,0005	88,71	1,55	0,972	0,627	1,047	0,656
3	-0,0073	0,0197	0,1341	0,0043	0,0938	0,0010	0,0126	0,0005	88,83	1,67	0,971	0,618	1,367	0,845
4	0,0637	0,0193	0,1341	0,0050	0,0931	0,0011	0,0125	0,0006	88,70	1,77	1,071	0,614	1,293	0,794
5	-0,0035	0,0196	0,1338	0,0044	0,0932	0,0010	0,0125	0,0005	88,70	1,56	0,972	0,640	1,090	0,698
6	-0,0182	0,0198	0,1340	0,0037	0,0934	0,0008	0,0125	0,0005	88,74	1,32	1,011	0,610	1,017	0,620
7	-0,0268	0,0199	0,1341	0,0056	0,0930	0,0013	0,0125	0,0007	88,75	2,08	1,049	0,618	0,896	0,618
8	-0,0032	0,0196	0,1341	0,0043	0,0929	0,0010	0,0125	0,0005	88,69	1,47	1,038	0,634	0,932	0,634
9	-0,0497	0,0191	0,1338	0,0044	0,0929	0,0010	0,0124	0,0005	88,61	1,44	1,017	0,622	1,128	0,701
10	0,0129	0,0188	0,1341	0,0047	0,0930	0,0011	0,0125	0,0006	88,78	1,76	1,025	0,612	1,061	0,649
11	-0,0031	0,0197	0,1340	0,0041	0,0937	0,0010	0,0125	0,0005	88,80	1,58	1,022	0,625	1,085	0,677
12	0,0028	0,0184	0,1338	0,0038	0,0935	0,0009	0,0125	0,0005	88,82	1,48	1,014	0,622	1,070	0,665
13	-0,0069	0,0203	0,1341	0,0101	0,0932	0,0022	0,0125	0,0012	88,78	3,74	0,995	0,642	0,920	0,642
14	0,0086	0,0192	0,1342	0,0050	0,0925	0,0011	0,0124	0,0006	88,78	1,90	1,008	0,615	1,053	0,647
15	-0,0029	0,0197	0,1346	0,0040	0,0926	0,0009	0,0125	0,0005	88,72	1,42	0,972	0,623	1,004	0,625
16	-0,0020	0,0179	0,1341	0,0036	0,0928	0,0008	0,0124	0,0004	88,79	1,31	1,083	0,591	1,062	0,627
17	0,0232	0,0197	0,1340	0,0042	0,0935	0,0010	0,0125	0,0005	88,75	1,55	0,979	0,630	0,977	0,630
18	-0,0104	0,0202	0,1339	0,0054	0,0933	0,0012	0,0125	0,0007	88,71	1,95	0,982	0,610	0,969	0,610
19	-0,0341	0,0182	0,1339	0,0042	0,0938	0,0010	0,0126	0,0005	88,84	1,67	1,087	0,603	1,052	0,635
20	0,0238	0,0651	0,1342	0,0180	0,0930	0,0040	0,0125	0,0022	88,83	7,07	0,989	0,627	1,210	0,758
21	0,0077	0,0197	0,1342	0,0038	0,0927	0,0009	0,0124	0,0005	88,83	1,51	0,953	0,653	1,032	0,674
22	-0,0094	0,0219	0,1344	0,0037	0,0925	0,0008	0,0124	0,0005	88,69	1,29	0,985	0,631	1,066	0,672
Ağ. Ort.:	-0,0034	0,0042	0,1341	0,0009	0,0931	0,0002	0,0125	0,0001	88,75	0,34	1,009	0,621	1,099	0,690

Çizelge 4.31. Kepler-6b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri

Çalışma	r_1	$k (r_2/r_1)$	$i (^\circ)$
Dunham ve ark. (2010)	$0,14184 \pm 0,00022$	$0,09829 \pm 0,00014$	$86,80 \pm 0,30$
Southworth (2011)	$0,13210 \pm 0,00060$	---	$89,90 \pm 0,10$
Esteves ve ark. (2015)	$0,13328 \pm 0,00039$	$0,09424 \pm 0,00012$	$88,93 \pm 0,19$
Bu çalışma (ağırlıklı ortalama)	$0,13405 \pm 0,00092$	$0,09314 \pm 0,00021$	$88,75 \pm 0,34$
Bu çalışma (binning modeli)	$0,13396 \pm 0,00153$	$0,09405 \pm 0,00034$	$88,47 \pm 0,46$

Hem ağırlıklı ortalama hem de binning model eğrisinde derinliği $\delta = 0,00003$ olan örtülme eğrisi gözlenmiştir. Örtülme eğrisi, ham verinin hatası $\sigma_{\text{gözlem}} = 0,00062$ ve binning uygulanmış verinin hatası $\sigma_{\text{bin}} = 0,00009$ dikkate alındığında istatistiksel olarak anlamlı olmadığı için çizdirilmemiş ve tartışılmamıştır.



Şekil 4.22. Kepler-6b geçiş geometrisi, geçiş ışık eğrisi ve artıkları. Işık eğrisi, HAT-P-7b ışık eğrisi için uygulanan yöntemle 2400 noktaya binning yapılmıştır. Şekildeki gösterimler, Şekil 4.18i alt yazısında açıklanmıştır

Geçiş Ortası Zamanları ve Analizi

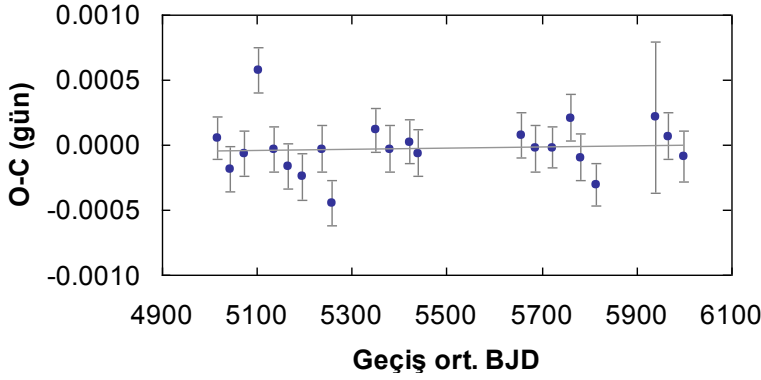
Her bir SC çeyrek verisinin analiziyle Kepler-6b ışık eğrilerinden okunan geçiş zamanları, hataları ve doğrusal düzeltmesi yapılmış O-C değerleri Çizelge 4.32’de yer almaktadır. Çizelgedeki zamanlar kullanılarak ışık elemanları,

$$t = 2454954,48650 (71) + 3,2346996 (4) \times E \quad (4.6)$$

olarak hesaplanmıştır. Bu doğrusal düzeltme, indirgenmiş $\chi^2_{\text{ind}} = 1,28$ değerini $SD = 20$ ’de vermektedir. Şekil 4.33 ile verilen O-C dağılımında doğru düzeltmesi uygulanmamış zamanlar yer almaktadır.

Çizelge 4.32. Kepler-6b’nin *Kepler* ışık eğrilerinden ölçülen geçiş zamanları

Veri No.	Çevrim	t_o (BJD _{TDB} – 2450000+)	O-C (gün)
1	19	5015,94587 ± 0,00017	0,000081
2	27	5041,82323 ± 0,00017	-0,000158
3	37	5074,17035 ± 0,00018	-0,000039
4	46	5103,28328 ± 0,00018	0,000600
5	56	5135,62967 ± 0,00018	-0,000003
6	65	5164,74184 ± 0,00018	-0,000136
7	74	5193,85406 ± 0,00018	-0,000213
8	87	5235,90536 ± 0,00018	-0,000001
9	94	5258,54784 ± 0,00018	-0,000419
10	122	5349,11999 ± 0,00018	0,000145
11	131	5378,23215 ± 0,00019	0,000002
12	144	5420,28329 ± 0,00018	0,000054
13	150	5439,69141 ± 0,00019	-0,000032
14	217	5656,41642 ± 0,00019	0,000109
15	226	5685,52861 ± 0,00020	0,000006
16	237	5721,11032 ± 0,00019	0,000014
17	249	5759,92694 ± 0,00020	0,000241
18	256	5782,56953 ± 0,00021	-0,000060
19	266	5814,91632 ± 0,00020	-0,000273
20	304	5937,83542 ± 0,00060	0,000247
21	313	5966,94757 ± 0,00022	0,000103
22	323	5999,29441 ± 0,00024	-0,000050



Şekil 4.23. Kepler-6b'nin O-C değişimi ve değişime uydurulan doğrulan eğri. Geçiş zamanları, BJD (2450000+) olarak verilmiştir

4.2.3. Kepler-8b

Kepler-8 sistemi kütlesi $M_{\star} = 1,21 M_{\odot}$, yarıçapı $R_{\star} = 1,49 R_{\odot}$ olan yıldız ile $M_g = 0,59 M_J$ kütleli bir gezegenden oluşmaktadır (Esteves ve ark., 2015). Görece sönük ($V \sim 13,89$ kadir) olan yıldızının etkin sıcaklığı, $T_e = 6213$ K olarak bulunmuştur (bkz. Çizelge 4.33). Dikine hız ölçümlerinde Rossiter-McLaughlin etkisi çözülerek dönme-dolanma eksenleri arasındaki açı, $\lambda = -26^{\circ},4 \pm 10^{\circ},1$ hesaplanmıştır (Jenkins ve ark., 2010). Yine aynı çalışmada $v \sin i = 10,5 \pm 0,7 \text{ kms}^{-1}$ bulunmuştur. Kipping ve Bakos (2011), yörüngenin istatistiksel olarak dairesel olması gerektiğini söylemişler ve örtülme eğrisi gözleyemediklerini açıklamışlardır. Esteves ve ark. (2015), gezegenin maksimum denge sıcaklığını, $T'_{\text{eq}} = 2140 \pm 50$ K; gündüz sıcaklığını, $T_B = 2400 \pm 200$ K bulmuşlardır, gezegenin yarıçapını $R_g = 1,416 \pm 0,062 R_J$ olarak elde etmişlerdir. Literatürden toplanan sisteme ilişkin temel bilgiler, Çizelge 4.33'te verilmiştir.

Çizelge 4.33. Kepler-8 yıldızının temel özellikleri

Parametre	Değer
Kütle, $M_{\star} (M_{\odot})$	$1,213^{+0,067}_{-0,062}$
Yarıçap, $R_{\star} (R_{\odot})$	$1,486^{+0,053}_{-0,062}$
Yoğunluk, $\rho_{\star} (\text{cgs})$	$0,27^{+0,11}_{-0,08}$
Yüzey Çekim İvmesi, $\log g_{\star} (\text{cgs})$	$4,174 \pm 0,026$
Etkin Sıcaklık, $T_e (\text{K})$	6213 ± 150
[Fe/H]	$-0,055 \pm 0,03$
Yaş (Gyıl)	---

Çizelge 4.33'ün devamı

Parametre	Değer
Geçiş ortası zamanı, t_o (BJD)	2454954,11931 \pm 0,00002
Yörünge Dönemi, P (gün)	3,5224991 \pm 0,0000007
Normalize ayıklık, a/R_\star	6,854 ^{+0,018} _{-0,017}
Doğrusal kenar kararım katsayısı, u	(Kp) 0,548 ^a
Safronov sayısı (Θ)	0,0325 \pm 0,0118 ^b

^a Claret ve Bloemen (2011) çizelgelerinden hesaplamıştır. Diğer tüm değerler, Esteves ve ark. (2015)'den alınmıştır. ^b Çizelgedeki değerler üzerinden hesaplanmıştır.

Geçiş Işık Eğrileri Çözümü

Kepler veritabanından çözüm için alınan ışık eğrileri, veritabanında bulunan LC verilerinin tamamıdır. Veritabanı *Kepler-8* için 0'dan 17. çeyreğe kadar 18 çeyrek LC verisi içermektedir. *Kepler-8b*'nin analizlerinde SC verileri kullanılmamıştır (bkz. Çizelge 4.34). Analizler için literatürden alınan ve analizler ile ulaşılan parametreler, Çizelge 4.35'te verilmektedir.

Çizelge 4.34. *Kepler-8b*'nin çözüme alınan *Kepler* LC verileri bilgileri

Veri No.	Çeyrek No.	Zaman aralığı (BJD - 2454833+)
1	00	121 – 130
2	01	132 – 165
3	02	170 – 258
4	03	260 – 350
5	04	352 – 442
6	05	443 – 538
7	06	539 – 629
8	07	630 – 720
9	08	735 – 802
10	09	809 – 906
11	10	907 – 1000
12	11	1001 – 1098
13	12	1099 – 1182
14	13	1183 – 1273
15	14	1274 – 1371
16	15	1373 – 1471
17	16	1472 – 1558
18	17	1559 – 1591

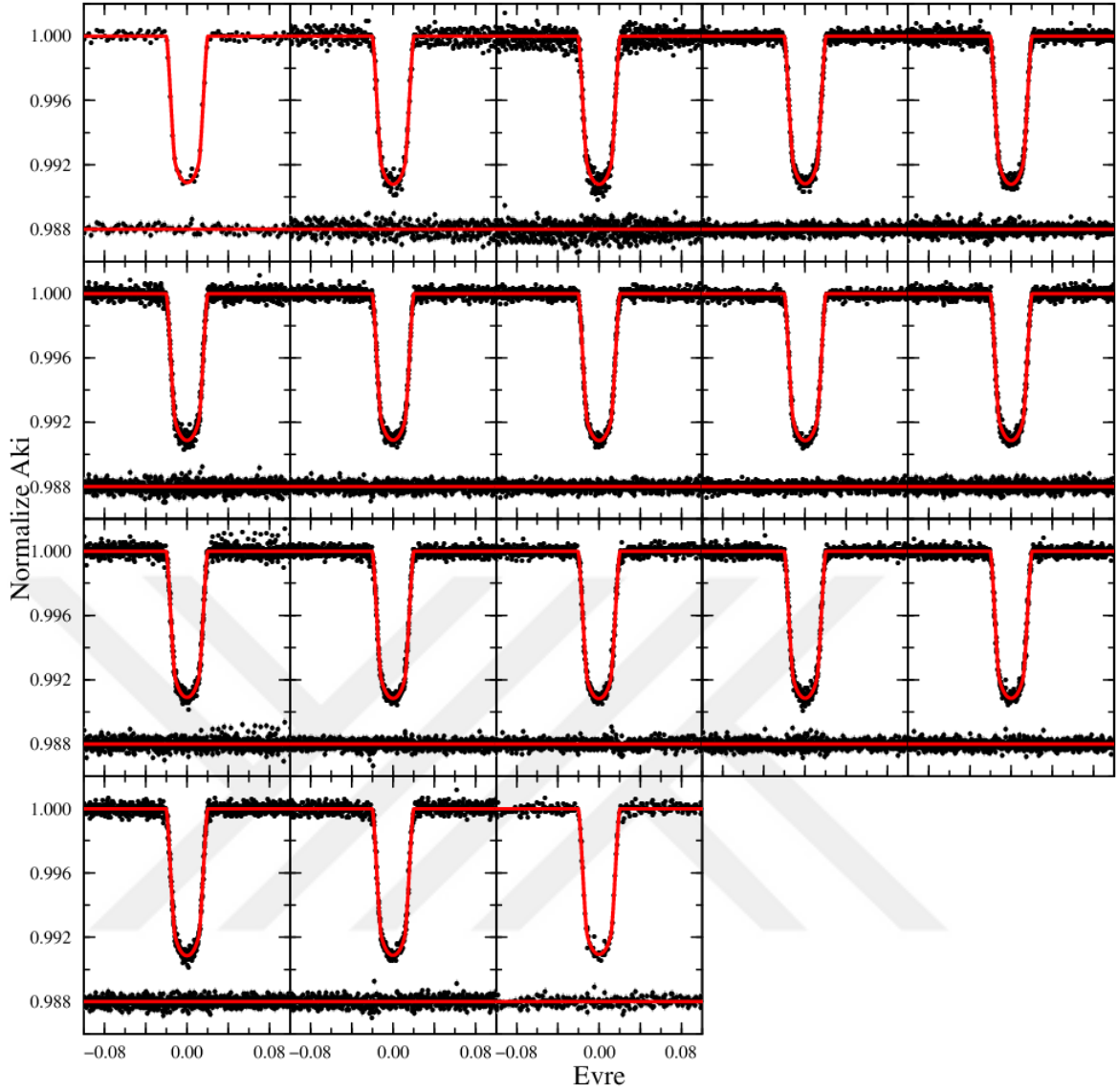
Çizelge 4.35. Kepler-8b'nin ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları

Alınan parametreler	
$M_{\star} (M_{\odot})$	$1,213^{+0,067}_{-0,062}$
$M_g (M_J)$	$0,59^{+0,13}_{-0,12}$
$T_e (K)$	6213 ± 150
Elde edilen parametreler	
a/R_{\star}	$10,39 \pm 0,19$
$R_{\star} (R_{\odot})$	$1,712 \pm 0,009$
$\rho_{\star} (\rho_{\odot})$	$0,242 \pm 0,005$
$\log g_{\star} (cgs)$	$4,055 \pm 0,007$
$R_g (R_J)$	$1,631 \pm 0,009$
$\rho_p (\rho_J)$	$0,126 \pm 0,007$
$\log g_g (cgs)$	$2,736 \pm 0,025$
$T'_{eq} (K)$	1782 ± 12
Safronov Sayısı (Θ)	$0,0285 \pm 0,0021$
Akı $\langle F \rangle (10^9 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2})$	$2,303 \pm 0,089$

Çözümler, 3.3.2. Bölümde anlatılan yöntem ile her çeyrek verisi için yapılmış ve elde edilen parametreler, hataları ve ağırlıklı ortalamalarıyla birlikte Çizelge 4.36'da verilmiş, geçiş ışık eğrileri, modelleri ve artıklarıyla birlikte Şekil 4.24'da çizilmiştir. Sonuçlar, kullanılan veri setlerinin ağırlıklı ortalama değerleri (Çizelge 4.36) ve binning verisi analiz değerleri olmak üzere literatür karşılaştırmasıyla birlikte Çizelge 4.37'de verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen ortalama ve binning modeli birbirini 1σ hata sınırlarında desteklemektedir. Fakat literatür değerleri ortalaması ile karşılaştırıldığında kesirsel yarıçap, r_1 ve yörünge eğikliği i 'de hata sınırlarının 3σ dışına çıkan farklılık görülmektedir. Bu durum, verinin zamansal çözünürlüğüne bağlı olarak biçimsel farklılıklar içerip içermediğini düşündürmektedir. Jenkins ve ark. (2011) çalışmalarında sadece 0. çeyrek verisini kullanmışlardır. Bu çalışmada ise tüm çeyrekler için LC verileri kullanılmışken Esteves ve ark. (2015), LC'den 7 çeyrek, SC'den 11 çeyrek verisi olarak analizlerini yapmışlardır. Kepler-8b'nin LC verileri saçılması $\sigma_{\text{gözlem (LC)}} \sim 0,00016$ iken SC verileri saçılması $\sigma_{\text{gözlem (SC)}} \sim 0,0011$ olarak ölçülmüş ve akıda daha duyarlı olan LC verileri seçilmiştir.

Çizelge 4.36. Kepler-8b modelleri sonuç parametreleri

Veri No.	$\Delta\phi_0$	$\Delta\phi_0$ hata	r_1	r_1 hata	k	k hata	r_2	r_2 hata	i (°)	i hata	χ^2_{ind}	σ_{AKI} (1/1000)	S	σ_s (1/1000)
1	-0,00859	0,02480	0,1646	0,0031	0,0977	0,0006	0,0161	0,0004	82,55	0,23	1,139	0,197	1,085	0,214
2	-0,02426	0,02605	0,1646	0,0045	0,0983	0,0008	0,0162	0,0006	82,55	0,33	1,022	0,384	0,760	0,384
3	-0,01278	0,02115	0,1650	0,0030	0,0981	0,0006	0,0162	0,0004	82,57	0,22	0,945	0,421	0,880	0,421
4	-0,01228	0,00985	0,1651	0,0013	0,0981	0,0003	0,0162	0,0002	82,53	0,10	0,962	0,216	0,980	0,216
5	-0,00502	0,01123	0,1647	0,0015	0,0983	0,0003	0,0162	0,0002	82,55	0,12	0,808	0,252	0,986	0,252
6	0,01019	0,01251	0,1646	0,0018	0,0978	0,0003	0,0161	0,0002	82,55	0,13	0,830	0,278	0,943	0,278
7	-0,01587	0,01017	0,1648	0,0012	0,0977	0,0002	0,0161	0,0002	82,55	0,09	0,966	0,234	0,988	0,234
8	-0,00907	0,00975	0,1647	0,0014	0,0979	0,0003	0,0161	0,0002	82,55	0,11	0,940	0,205	0,982	0,205
9	-0,00907	0,00887	0,1646	0,0013	0,0979	0,0002	0,0161	0,0002	82,55	0,10	1,138	0,202	0,982	0,202
10	0,00080	0,01026	0,1646	0,0014	0,0979	0,0003	0,0161	0,0002	82,55	0,10	1,039	0,235	0,986	0,235
11	0,00080	0,01026	0,1646	0,0014	0,0979	0,0003	0,0161	0,0002	82,55	0,10	1,039	0,299	0,905	0,299
12	0,01470	0,00945	0,1647	0,0015	0,0980	0,0003	0,0161	0,0002	82,55	0,11	1,058	0,215	1,044	0,225
13	0,02333	0,01074	0,1676	0,0014	0,0985	0,0003	0,0165	0,0002	82,32	0,10	0,955	0,220	0,881	0,220
14	0,00370	0,00963	0,1646	0,0017	0,0979	0,0003	0,0161	0,0002	82,55	0,13	1,125	0,224	0,998	0,224
15	0,00388	0,00995	0,1648	0,0014	0,0979	0,0003	0,0161	0,0002	82,55	0,11	1,144	0,225	0,969	0,225
16	0,01749	0,01069	0,1647	0,0016	0,0979	0,0003	0,0161	0,0002	82,55	0,12	0,821	0,242	0,924	0,242
17	0,01362	0,01394	0,1645	0,0020	0,0979	0,0004	0,0161	0,0003	82,54	0,15	1,018	0,272	0,987	0,272
18	0,01000	0,01935	0,1647	0,0030	0,0975	0,0006	0,0161	0,0004	82,55	0,23	1,002	0,253	0,911	0,253
Ağ. Ort:	-0,00120	0,00268	0,1649	0,0004	0,0980	0,0001	0,0162	0,0001	82,53	0,03	0,997	0,254	0,955	0,256



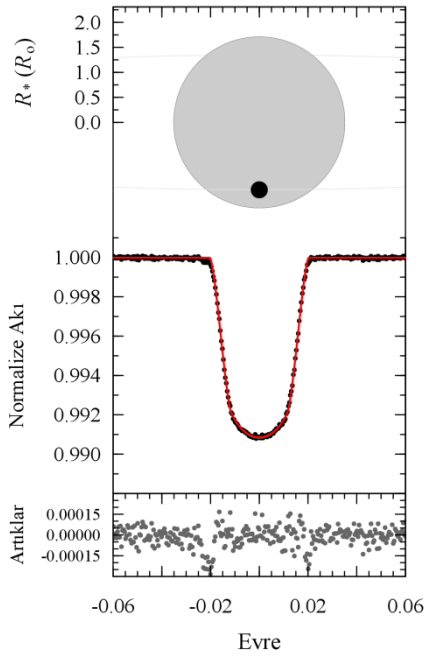
Şekil 4.24. Kepler-8b'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları

Çizelge 4.37. Kepler-8b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri

Çalışma	r_1	$k (r_2/r_1)$	$i (^\circ)$
Jenkins ve ark. (2010)	$0,14347 \pm 0,00412$	$0,09809 \pm 0,0004$	$84,07 \pm 0,33$
Southworth (2011)	$0,14320 \pm 0,00182$	---	$84,23 \pm 0,16$
Esteves ve ark. (2015)	$0,14590 \pm 0,00038$	$0,09575 \pm 0,00019$	$83,978 \pm 0,036$
Bu çalışma (ağırlıklı ortalama)	$0,16493 \pm 0,00038$	$0,09575 \pm 0,00007$	$82,53 \pm 0,03$
Bu çalışma (binning modeli)	$0,16488 \pm 0,00053$	$0,09817 \pm 0,00008$	$82,55 \pm 0,04$

3.3. Bölümdeki yöntem kullanılarak elde edilen 2400 noktaya binning yapılmış gözlemsel veri, ortalama model ve binning yapılmış verinin analiziyle elde edilen model

ile birlikte Şekil 4.25'te gösterilmektedir. Şekilde artıklar, binning modelinden gelmektedir. Aynı şekilde gezegenin geometrisi de geçiş ışık eğrisinin üzerinde çizdirilmiştir. Birleştirilmiş ve binning uygulanmış veride doğrusal kenar kararma katsayısı serbest bırakılarak $u = 0,572 \pm 0,039$ olarak bulunmuştur. Hem ağırlıklı ortalama hem de binning model eğrisinde derinliği $\delta = 0,00002$ olan örtülme eğrisi gözlenmiştir. Örtülme eğrisi, ham verinin hatası $\sigma_{\text{gözlem}} = 0,00025$ ve binning verinin hatası $\sigma_{\text{bin}} = 0,00005$ dikkate alındığında istatistiksel olarak anlamlı olmadığı için çizdirilmemiş ve tartışılmamıştır.



Şekil 4.25. Kepler-8b geçiş geometrisi, geçiş ışık eğrisi ve artıkları. Işık eğrisi, HAT-P-7b ışık eğrisi için uygulanan yöntem ile 2400 noktaya binning yapılmıştır. Şekildeki gösterimler, Şekil 4.18i alt yazısında açıklanmıştır

Geçiş Ortası Zamanları ve Analizi

Kepler-8b için her bir çeyrek verisinin analizlerinden elde edilen geçiş zamanları, hataları ve O-C değerlerine ağırlıklı doğru uydurularak düzeltilen ışık elemanları,

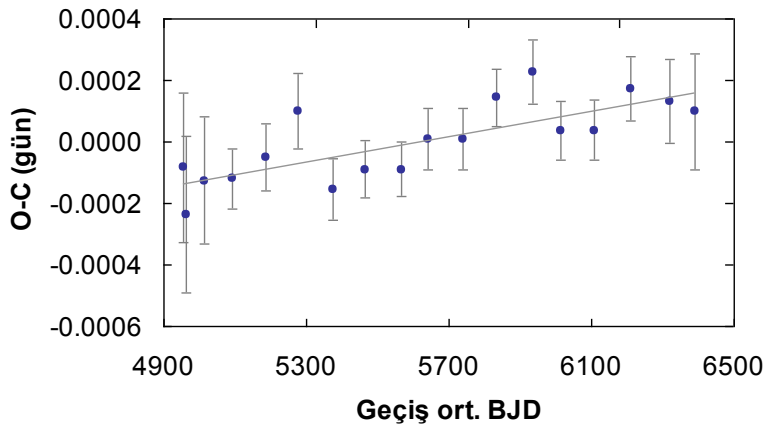
$$t = 2454954,11918 (7) + 3,5224998 (4) \times E \quad (4.7)$$

ile ifade edilmiştir. Bu doğrusal düzeltme, $SD = 16$ serbestlik derecesinde indirgenmiş $\chi^2_{\text{ind}} = 0,24$ değerindedir. Kepler-8b'nin ölçülen zamanları, düzeltilmiş O-C değerleriyle

birlikte verilmiştir (Çizelge 4.38). O-C grafiğinde ise ölçülen zamanlar düzeltme uygulanmadan gösterilmektedir (Şekil 4.26).

Çizelge 4.38. Kepler-8b'nin *Kepler* ışık eğrilerinden ölçülen geçiş zamanları

Veri No.	Çevrim	t_o (BJD _{TDB} - 2450000+)	O-C (gün)
1	0	4954,11923 ± 0,00024	0,000050
2	3	4964,68657 ± 0,00026	-0,000106
3	17	5014,00167 ± 0,00021	-0,000003
4	39	5091,49665 ± 0,00010	-0,000014
5	66	5186,60420 ± 0,00012	0,000038
6	92	5278,18933 ± 0,00014	0,000168
7	119	5373,29655 ± 0,00013	-0,000106
8	145	5464,88159 ± 0,00014	-0,000058
9	174	5567,03406 ± 0,00015	-0,000080
10	195	5641,00664 ± 0,00017	0,000003
11	223	5739,63662 ± 0,00019	-0,000018
12	250	5834,74423 ± 0,00020	0,000099
13	278	5933,37429 ± 0,00022	0,000163
14	301	6014,39157 ± 0,00023	-0,000045
15	327	6105,97655 ± 0,00025	-0,000062
16	356	6208,12916 ± 0,00027	0,000051
17	388	6320,84909 ± 0,00030	-0,000010
18	408	6391,29904 ± 0,00034	-0,000060



Şekil 4.26. Kepler-8b'nin O-C dağılımı ve değişime uydurulan doğrusal eğri. Geçiş zamanları, BJD (2450000+) olarak verilmiştir

4.2.4. Kepler-79b, c, d, e

Kepler-79, dört gezegenli bir sistemdir. İlk olarak Steffen ve ark. (2010) tarafından ilk çeyrek veride geçiş yakalama algoritmalarıyla üç gezegenli bir sistem olarak tanımlanmıştır. Steffen ve ark. (2010), ilk çeyrek verisinde geçiş zamanı değişimi (TTV) göremediklerini; fakat bu gezegenlerin TTV gösterebileceklerini öngörmüşlerdi. Sonraları Steffen ve ark. (2012) tarafından Kepler-79'un altı çeyrek verisi kullanılarak TTV'leri gösterilmiştir. Xie (2013) ise sistemde dördüncü bir gezegenin bulunma olasılığını ortaya atmış ve bu durum Jontof-Hutter ve ark. (2014) tarafından TTV analizleriyle kanıtlanmıştır. Sistemdeki gezegenlerin yörünge parametreleri ve kütle, yarıçap değerleri Çizelge 4.39'te verilmiştir. Yıldızı ise $T_e = 6174$ K sıcaklığında, $M_\star = 1,165 M_\odot$ kütlelerinde $R_\star = 1,302 R_\odot$ yarıçapında olan F tayf türünde bir cücedir (bkz. Çizelge 4.40).

Çizelge 4.39. Kepler-79 sisteminin ışık elemanları, yörünge ve gezegenlerinin özellikleri*

Gezegen	t_0 (JD 2545900+)	P (gün)	a (AB)	e	M_{yer}	R_{yer}
b	$784,307^{+0,002}_{-0,002}$	$13,4845^{+0,0002}_{-0,0002}$	$0,117 \pm 0,002$	$0,015 \pm 0,012$	$10,9^{+7,4}_{-6,2}$	$3,47^{+0,07}_{-0,07}$
c	$806,475^{+0,004}_{-0,004}$	$27,4029^{+0,0008}_{-0,0006}$	$0,187 \pm 0,003$	$0,030 \pm 0,027$	$5,9^{+1,9}_{-2,3}$	$3,72^{+0,08}_{-0,08}$
d	$821,011^{+0,002}_{-0,001}$	$52,0902^{+0,0009}_{-0,0010}$	$0,287 \pm 0,004$	$0,025 \pm 0,059$	$6,0^{+2,1}_{-1,6}$	$7,16^{+0,13}_{-0,16}$
e	$802,126^{+0,003}_{-0,005}$	$81,0659^{+0,0013}_{-0,0011}$	$0,386 \pm 0,005$	$0,012 \pm 0,044$	$4,1^{+1,2}_{-1,1}$	$3,49^{+0,14}_{-0,14}$

* Çizelgedeki tüm değerler, Jontof-Hutter ve ark., (2014)'ndan alınmıştır.

Çizelge 4.40. Kepler-79 yıldızının temel özellikleri

Parametre	Değer
Kütle, $M_\star (M_\odot)$	$1,165^{+0,044}_{-0,045}$
Yarıçap, $R_\star (R_\odot)$	$1,302^{+0,026}_{-0,027}$
Yoğunluk, ρ_\star (cgs)	$0,741^{+0,026}_{-0,034}$
Yüze çekim ivmesi, $\log g_\star$ (cgs)	$4,274^{+0,012}_{-0,013}$
Etkin Sıcaklık, T_e (K)	6174^{+88}_{-117}
[Fe/H]	$-0,073^{+0,062}_{-0,008}$
Yaş (G yıl)	$3,44^{+0,60}_{-0,91}$
Doğrusal kenar kararım katsayısı u	(Kp) $0,541^a$

^a Claret ve Bloemen (2011) çizelgelerinden hesaplamıştır. Diğer tüm değerler, Jontof-Hutter ve ark. (2014)'dan alınmıştır.

Geçiş Işık Eğrileri Çözümü

Kepler veritabanından çözüm için alınan ışık eğrileri, veritabanında bulunan LC verilerinin tamamıdır. NEA, bu veri türünde *Kepler-79* için 1'den 17. çeyreğe kadar 17 çeyrek verisini sunmaktadır. SC verileri kullanılmamıştır (bkz. Çizelge 4.41). Her gezegen için ışık eğrisi kendi dışındaki gezegen geçişlerinden temizlenmiştir. Bunun için her gezegenin geçiş süreleri (t_{14}) belirlenmiş; Jontof-Hutter ve ark. (2014) tarafından verilen t_0 ve P değerleri kullanılarak evrelendirme yapılmış ve tüm çeyrek verilerinden ilgili gezegen dışındaki geçişleri içeren noktalar, geçiş süreleri kadar temizlenmiştir. Geçiş süreleri, duyarlılığı $\sigma_{\text{gözlem}} = 0,00021$ olan 2. çeyrek verisi kullanılarak belirlenmiştir. Çizelge 4.42'de yer alan yıldızın M_{\star} ve T_e değerleri analize literatürden doğrudan alınan parametreleridir. Aynı çizelgede her bir gezegenin ışık eğrileri analizlerinden hesaplanan yıldıza ilişkin R_{\star} , ρ_{\star} ve $\log g_{\star}$ parametrelerinin ortalamaları verilmiştir. Analizler, her çeyrek verisiyle yapılmış ve elde edilen parametreler, hataları ve ağırlıklı ortalamalarıyla birlikte Çizelge 4.43, 4.44, 4.45 ve 4.46'da verilmiştir. Geçiş ışık eğrileri, modelleri ve artıklarıyla birlikte Şekil 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30'da çizilmiştir. Tüm çözümlerde yörünge basıklığı değerleri, Jontof-Hutter ve ark. (2014)'den alınmıştır. Ortalama sonuçlar, Çizelge 4.47'de literatür karşılaştırmasıyla birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.41. *Kepler-79* sisteminin çözüme alınan *Kepler* LC verileri bilgileri

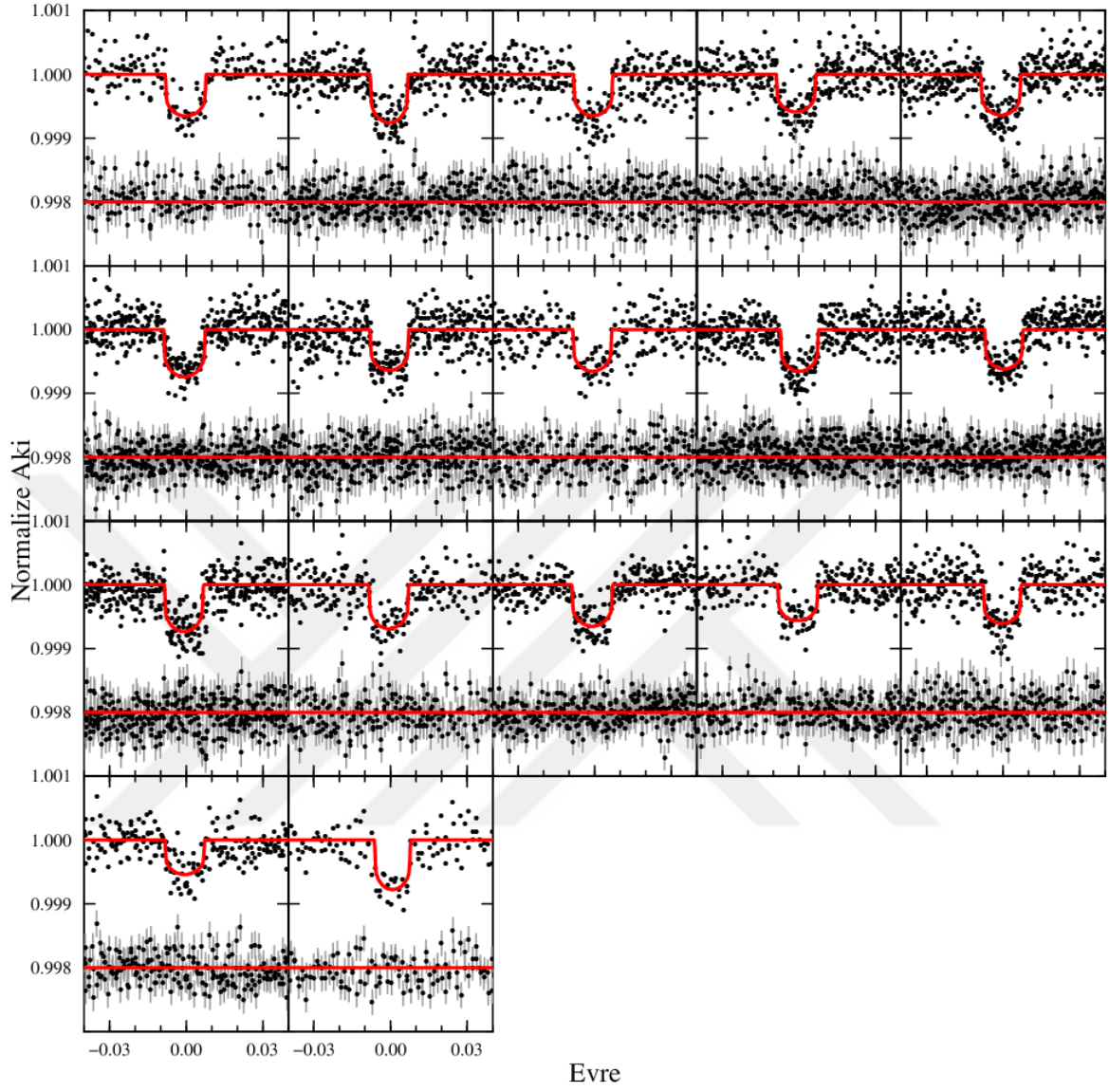
Veri No.	Gezegen	Çeyrek No.	Zaman aralığı (BJD - 2454833+)
1	b,c,d,e	01	132 – 165
2	b,c,e	02	170 – 258
3	b,c,d,e	03	260 – 350
4	b,c,d,e	04	352 – 442
5	b,c,d,e	05	443 – 538
6	b,c,d,e	06	539 – 629
7	b,c,d,e	07	630 – 720
8	b,c,d,e	08	735 – 802
9	b,c,d,e	09	809 – 906
10	b,c,d,e	10	907 – 1000
11	b,c,d,e	11	1001 – 1098
12	b,c,d,e	12	1099 – 1182
13	b,c,d,e	13	1183 – 1273
14	b,c,d,e	14	1274 – 1371
15	b,c,d,e	15	1373 – 1471
16	b,c,d,e	16	1472 – 1558
17	b,c,d	17	1559 – 1591

Çizelge 4.42. Kepler-79b,c,d,e'nin ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan ve analizler sonucu hesaplanan yıldıza ilişkin parametrelerin ağırlıklı ortalamaları

Alınan parametreler	
$M_{\star} (M_{\odot})$	$1,165^{+0,044}_{-0,045}$
$T_c (K)$	6174 ± 100
Elde edilen parametreler	
Ortalama $R_{\star} (R_{\odot})$	$1,29 \pm 0,02$
Ortalama $\rho_{\star} (\rho_{\odot})$	$0,53 \pm 0,01$
Ortalama $\log g_{\star} (cgs)$	$4,28 \pm 0,01$

Çizelge 4.43. Kepler-79b modelleri sonuç parametreleri

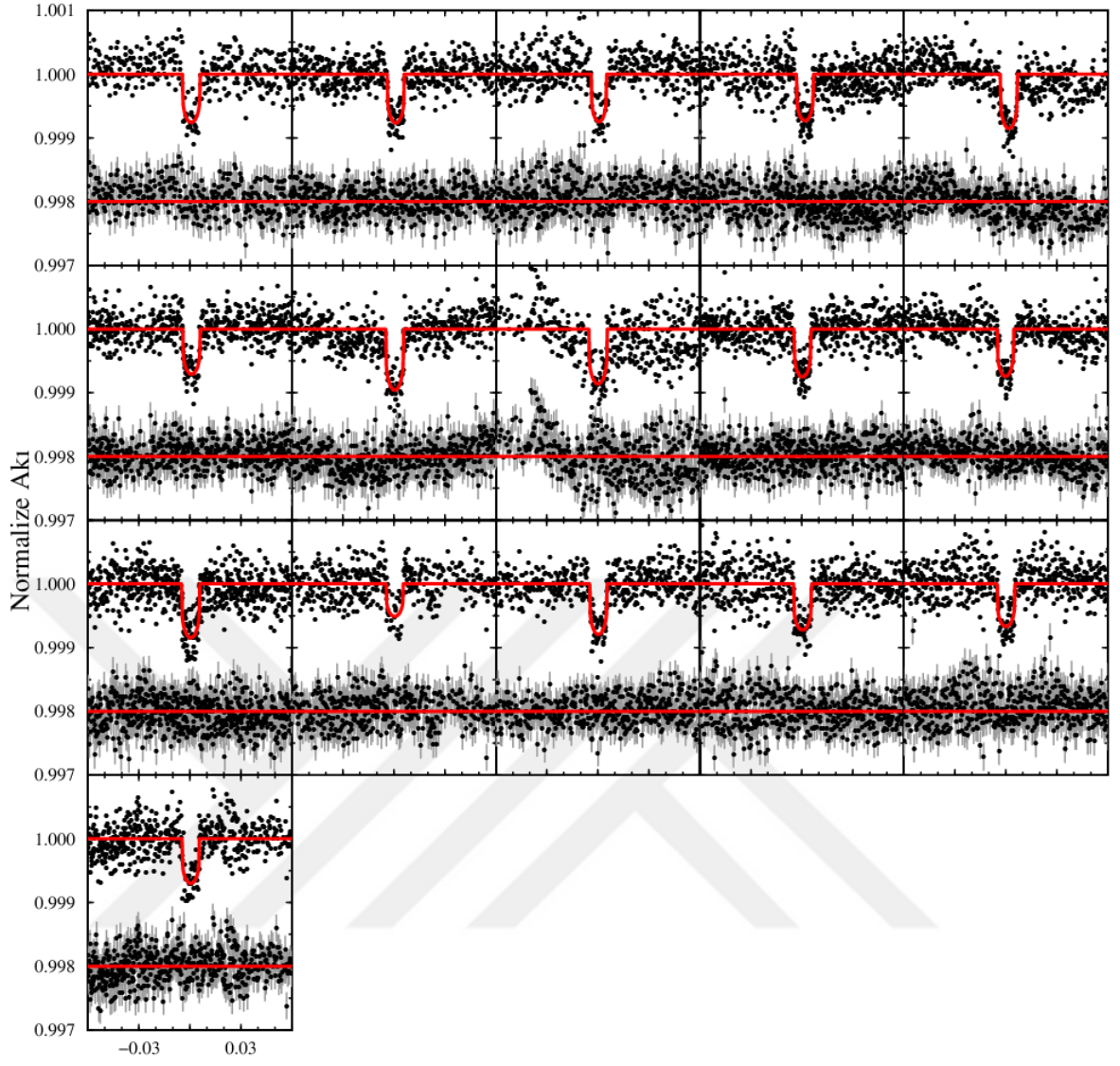
Veri No.	$\Delta\phi_0$	$\Delta\phi_0$ hata	r_1	r_1 hata	k	k hata	r_2	r_2 hata	i (°)	i hata	χ^2_{ind}	σ_{AKI} (1/1000)	S	σ_s (1/1000)
1	0,07420	0,12382	0,05668	0,00485	0,02410	0,00117	0,00137	0,00018	88,34	0,62	1,002	0,254	1,329	0,338
2	0,18513	0,03652	0,05029	0,00151	0,02574	0,00059	0,00129	0,00007	88,72	0,17	1,082	0,222	0,898	0,222
3	0,22403	0,02720	0,05187	0,00181	0,02366	0,00077	0,00123	0,00008	88,75	0,23	0,994	0,269	1,109	0,299
4	0,40051	0,03682	0,05284	0,00195	0,02269	0,00075	0,00120	0,00008	88,63	0,20	0,998	0,258	1,005	0,260
5	0,33016	0,04878	0,06458	0,00871	0,02460	0,00099	0,00159	0,00028	87,52	0,75	0,908	0,255	1,141	0,291
6	0,25830	0,04349	0,05437	0,00165	0,02518	0,00059	0,00137	0,00007	88,75	0,20	0,895	0,239	1,105	0,264
7	0,15263	0,05071	0,05186	0,00226	0,02360	0,00077	0,00122	0,00009	88,67	0,26	0,830	0,279	1,051	0,293
8	0,32715	0,05524	0,05205	0,00143	0,02385	0,00092	0,00124	0,00008	88,68	0,17	0,917	0,270	1,086	0,293
9	-0,03900	0,03957	0,05121	0,00138	0,02445	0,00058	0,00125	0,00006	88,75	0,16	1,007	0,228	1,083	0,247
10	-0,11234	0,03739	0,05192	0,00119	0,02327	0,00058	0,00121	0,00006	88,60	0,11	1,225	0,220	1,284	0,282
11	0,32462	0,02931	0,05147	0,00118	0,02523	0,00058	0,00130	0,00006	88,73	0,15	1,026	0,243	1,093	0,266
12	0,23601	0,04002	0,05221	0,03951	0,02432	0,00447	0,00127	0,00119	88,77	5,52	0,886	0,259	0,998	0,259
13	0,35052	0,03718	0,05364	0,01237	0,02367	0,00143	0,00127	0,00037	88,71	1,71	1,214	0,215	1,125	0,241
14	0,14204	0,40698	0,05218	0,00959	0,02192	0,00230	0,00114	0,00033	88,86	2,13	1,068	0,258	0,969	0,258
15	0,14180	0,05474	0,06093	0,00510	0,02407	0,00087	0,00147	0,00018	87,64	0,42	1,072	0,259	0,996	0,259
16	0,21156	0,31281	0,05228	0,00233	0,02158	0,00118	0,00113	0,00011	88,74	0,65	0,989	0,253	0,988	0,253
17	-0,29625	0,08921	0,05137	0,00386	0,02733	0,00122	0,00140	0,00017	88,38	0,38	1,071	0,238	1,291	0,307
Ağ. Ort:	0,20989	0,01059	0,05204	0,00048	0,02431	0,00020	0,00126	0,00002	88,66	0,05	1,011	0,248	1,091	0,272



Şekil 4.27. Kepler-79b'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları

Çizelge 4.44. Kepler-79c modelleri sonuç parametreleri

Veri No.	$\Delta\phi_0$	$\Delta\phi_0$ hata	r_1	r_1 hata	k	k hata	r_2	r_2 hata	i (°)	i hata	χ^2_{ind}	σ_{AKI} (1/1000)	S	σ_s (1/1000)
1	-0,29937	0,09966	0,03186	0,00327	0,02493	0,00104	0,00079	0,00011	89,85	1,92	1,111	0,241	1,835	0,442
2	-0,41477	0,00760	0,03251	0,00094	0,02529	0,00069	0,00082	0,00005	89,52	0,24	1,192	0,210	1,306	0,274
3	-0,48238	0,19349	0,03286	0,02226	0,02441	0,00456	0,00080	0,00069	89,44	4,61	1,003	0,254	1,444	0,367
4	-0,66748	0,03233	0,03294	0,00161	0,02522	0,00080	0,00083	0,00007	89,28	0,26	1,067	0,261	1,439	0,375
5	-0,64463	0,02539	0,03087	0,00041	0,02659	0,00071	0,00082	0,00003	89,94	0,40	0,991	0,248	1,510	0,374
6	-0,34802	0,02312	0,03155	0,00152	0,02430	0,00070	0,00077	0,00006	89,70	0,51	1,174	0,211	1,332	0,281
7	1,78251	0,05484	0,07966	0,00772	0,02121	0,00075	0,00169	0,00022	88,45	1,30	1,169	0,237	1,381	0,327
8	-0,03925	0,02566	0,03384	0,00119	0,02688	0,00075	0,00091	0,00006	89,59	0,29	1,012	0,328	1,599	0,524
9	-0,09985	0,09870	0,02987	0,00180	0,02496	0,00065	0,00075	0,00006	89,87	0,38	1,004	0,220	1,114	0,245
10	0,06170	0,07996	0,03035	0,00119	0,02483	0,00084	0,00075	0,00006	89,64	0,41	1,145	0,222	1,493	0,332
11	-0,17371	0,03784	0,03366	0,00119	0,02660	0,00070	0,00090	0,00006	89,47	0,29	0,970	0,247	1,145	0,283
12	-0,18342	0,08427	0,02799	0,00154	0,02115	0,00134	0,00059	0,00007	89,51	0,39	1,012	0,250	1,230	0,308
13	-0,11464	0,07769	0,03134	0,00528	0,02556	0,00109	0,00080	0,00017	89,76	1,99	1,013	0,230	1,486	0,341
14	-0,15389	0,03390	0,03264	0,00141	0,02478	0,00082	0,00081	0,00006	89,48	0,31	1,026	0,264	1,410	0,372
15	-0,05022	0,04752	0,03293	0,00172	0,02348	0,00124	0,00077	0,00008	89,53	0,79	0,994	0,267	1,541	0,411
16	-0,17312	0,07763	0,03229	0,00150	0,02424	0,00084	0,00078	0,00006	89,47	0,16	1,220	0,254	1,334	0,338
Ağ. Ort:	-0,35329	0,00615	0,03155	0,00029	0,02492	0,00021	0,00081	0,00002	89,52	0,09	1,069	0,246	1,412	0,350

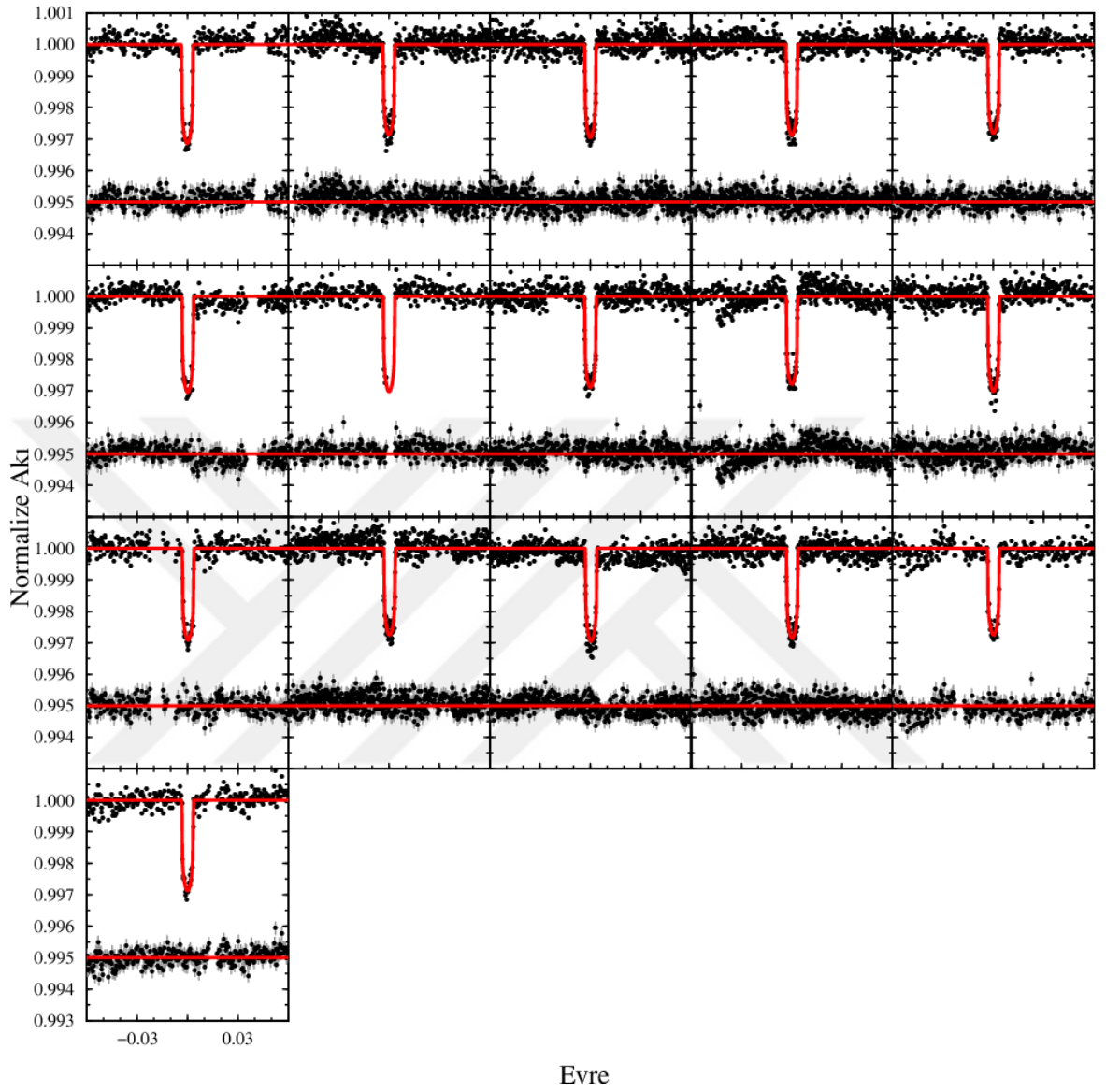


Evre

Şekil 4.28. Kepler-79c'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları

Çizelge 4.45. Kepler-79d modelleri sonuç parametreleri

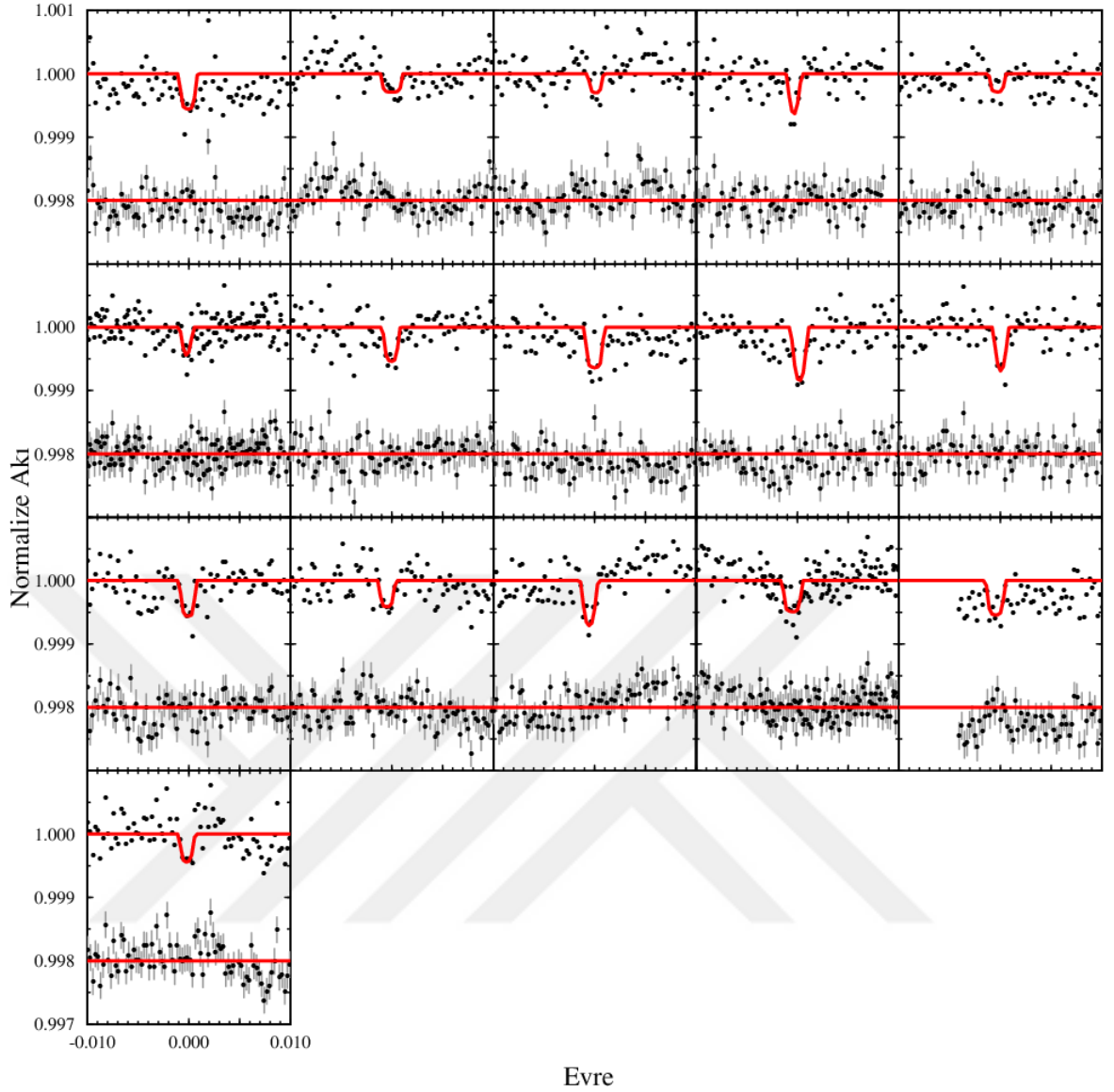
Veri No.	$\Delta\varphi_o$	$\Delta\varphi_o$ hata	r_1	r_1 hata	k	k hata	r_2	r_2 hata	i (°)	i hata	χ^2_{ind}	σ_{AKI} (1/1000)	S	σ_s (1/1000)
1	0,05309	0,00932	0,02090	0,00563	0,05076	0,00361	0,00106	0,00036	89,94	6,45	0,943	0,240	2,109	0,506
2	0,00576	0,00892	0,02075	0,00108	0,04854	0,00078	0,00101	0,00007	89,91	0,79	0,947	0,265	1,837	0,487
3	-0,00208	0,00863	0,02044	0,00213	0,04928	0,00133	0,00101	0,00013	89,91	1,57	1,083	0,252	1,705	0,430
4	0,00314	0,00625	0,02087	0,00270	0,04870	0,00169	0,00102	0,00017	89,92	2,34	1,172	0,225	1,699	0,383
5	-0,05206	0,00927	0,02081	0,00134	0,04816	0,00091	0,00100	0,00008	89,91	1,13	1,070	0,217	1,758	0,381
6	-0,04770	0,00996	0,02084	0,00071	0,04999	0,00072	0,00104	0,00005	89,97	1,78	1,043	0,246	1,680	0,413
7	-0,03170	(sabit)	0,02063	0,00095	0,04972	0,00150	0,00103	0,00008	89,96	1,51	1,003	0,263	2,017	0,530
8	-0,00214	0,00681	0,02079	0,00040	0,04874	0,00045	0,00101	0,00003	89,93	0,37	1,008	0,234	1,487	0,348
9	-0,00915	0,01255	0,02046	0,00535	0,04788	0,00341	0,00098	0,00033	89,91	4,20	0,775	0,278	1,688	0,469
10	-0,04763	0,00639	0,02093	0,00030	0,04971	0,00046	0,00104	0,00002	89,97	0,39	1,022	0,243	1,608	0,391
11	-0,11207	0,00841	0,02087	0,00022	0,04894	0,00054	0,00102	0,00002	90,00	0,36	1,194	0,233	1,597	0,372
12	-0,13242	0,00917	0,02038	0,00042	0,04755	0,00047	0,00097	0,00003	89,98	1,61	0,943	0,244	1,651	0,403
13	-0,14989	0,00792	0,02089	0,00117	0,04919	0,00083	0,00103	0,00007	89,92	1,06	1,202	0,249	2,129	0,529
14	-0,07243	0,00810	0,02080	0,00058	0,04846	0,00054	0,00101	0,00004	89,91	0,51	1,159	0,255	1,667	0,425
15	-0,04686	0,01831	0,02110	0,00646	0,04752	0,00377	0,00100	0,00039	89,90	4,57	0,987	0,251	1,618	0,406
16	-0,00930	0,01150	0,02061	0,00037	0,04855	0,00063	0,00100	0,00003	89,99	1,44	0,993	0,250	1,896	0,473
Ağ. Ort:	-0,04139	0,00221	0,02078	0,00013	0,04878	0,00018	0,00101	0,00001	89,95	0,18	1,034	0,247	1,759	0,434



Şekil 4.29. Kepler-79d'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları

Çizelge 4.46. Kepler-79e modelleri sonuç parametreleri

Veri No.	$\Delta\varphi_o$	$\Delta\varphi_o$ hata	r_1	r_1 hata	k	k hata	r_2	r_2 hata	i (°)	i hata	χ^2_{ind}	σ_{AKI} (1/1000)	S	σ_s (1/1000)
1	0,03191	0,01876	0,01587	0,00164	0,02724	0,00277	0,00043	0,00009	89,13	0,10	1,029	0,252	1,263	0,318
2	0,00000	(sabit)	0,01649	0,00057	0,01896	0,00346	0,00031	0,00007	89,12	0,05	0,995	0,218	1,198	0,262
3	-0,03299	0,04983	0,01567	0,02044	0,02040	0,00418	0,00032	0,00048	89,13	1,18	1,105	0,240	1,162	0,278
4	0,12894	0,06331	0,01523	0,00349	0,03343	0,02320	0,00051	0,00047	89,14	0,22	0,866	0,282	---	0,282
5	0,11441	0,25950	0,01576	0,00194	0,01971	0,00511	0,00031	0,00012	89,13	0,09	0,990	0,252	1,321	0,333
6	0,08163	0,04049	0,01524	0,00809	0,02954	0,01727	0,00045	0,00050	89,14	0,48	0,980	0,234	---	0,234
7	0,01806	0,06506	0,01577	0,00697	0,02736	0,00367	0,00043	0,00025	89,13	0,40	0,892	0,271	1,147	0,311
8	0,01175	0,04351	0,01621	0,00774	0,02855	0,00311	0,00046	0,00027	89,12	0,46	0,867	0,278	1,409	0,392
9	-0,06948	0,02926	0,01565	0,00534	0,03458	0,01462	0,00054	0,00041	89,13	0,34	1,107	0,219	---	0,219
10	-0,01028	0,03634	0,01548	0,00579	0,03377	0,03561	0,00052	0,00075	89,13	0,39	1,054	0,245	---	0,245
11	0,03421	0,03711	0,01577	0,01358	0,02769	0,00323	0,00044	0,00043	89,13	0,80	1,109	0,226	1,098	0,249
12	0,17176	0,04571	0,01577	0,01448	0,02421	0,00453	0,00038	0,00042	89,13	0,86	1,010	0,233	1,172	0,274
13	0,19235	0,03656	0,01572	0,00421	0,03127	0,00734	0,00049	0,00025	89,13	0,26	0,940	0,238	1,058	0,252
14	0,18419	0,02624	0,01615	0,00219	0,02526	0,00252	0,00041	0,00010	89,13	0,13	0,980	0,275	1,490	0,410
15	0,16780	0,04737	0,01628	0,00816	0,02626	0,00329	0,00043	0,00027	89,11	0,48	0,998	0,220	1,327	0,292
16	0,06832	0,03661	0,01571	0,00052	0,02415	0,00486	0,00038	0,00009	89,13	0,03	1,010	0,247	1,114	0,275
Ağ. Ort:	0,06373	0,00936	0,01603	0,00036	0,02543	0,00102	0,00038	0,00004	89,13	0,02	0,996	0,246	1,230	0,304



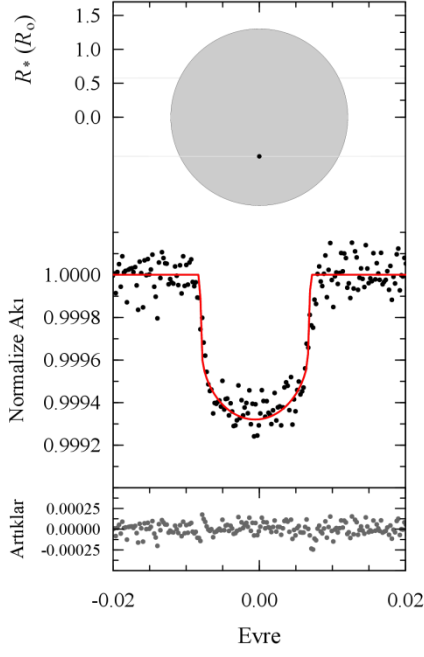
Şekil 4.30. Kepler-79e'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları

Her bileşen için kendi içinde tüm geçiş ışık eğrileri birleştirilmiş ve 3.3. Bölümde verilen yöntemle 2400 noktaya binning uygulanmıştır. Binning yapılmış gözlemsel veriler, Çizelge 4.47'de verilen değerler üzerinden elde edilen model eğrileriyle birlikte çizilmiştir (bkz. Şekil 4.31).

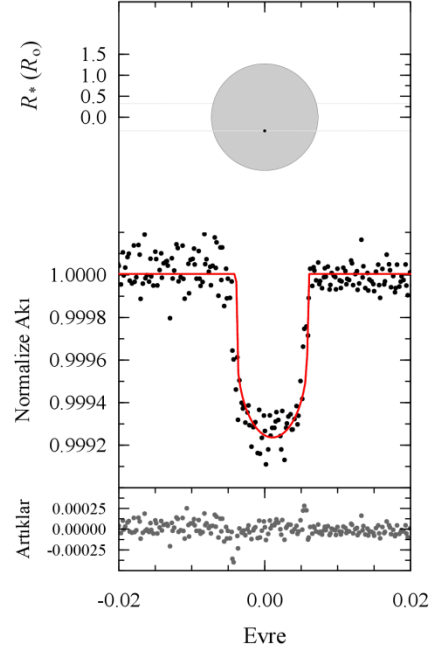
Çizelge 4.47'de görüldüğü gibi Kepler-79 sistemin bileşenleri için hesaplanan modellerin ortalama değerleri Jontof-Hutter ve ark. (2014) çalışmasıyla $\sim 1\sigma$ hata mertebesinde uyumludur. Şekil 4.31'de görülen geçiş ışık eğrileri çizimlerinin üstünde resmedilen geçiş geometrilerinde gezegen-yıldız çemberleri karşılaştırması, bu oranın Kepler-79d bileşeni hariç benzer olduğunu göstermektedir (ayrıca bkz. Çizelge 4.47).

Çizelge 4.47. Kepler-79 sisteminin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri

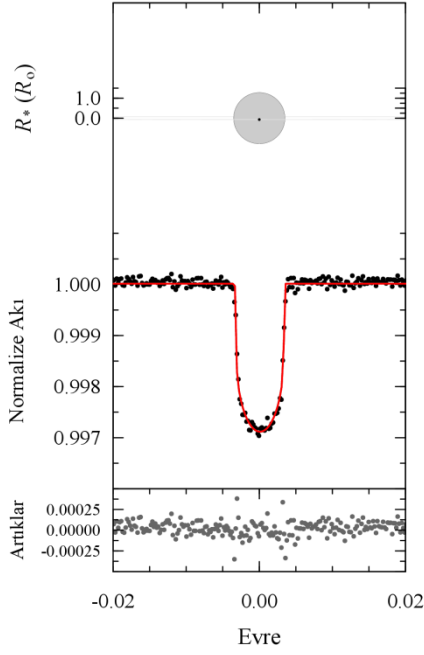
Gezegen	Çalışma	r_1	$k (r_2/r_1)$	$i (^\circ)$
b	Jontof-Hutter ve ark. (2014)	$0,05192 \pm 0,00051$	$0,02442 \pm 0,00018$	$88,78 \pm 0,07$
	Bu çalışma	$0,05192 \pm 0,00048$	$0,02431 \pm 0,00020$	$88,68 \pm 0,06$
c	Jontof-Hutter ve ark. (2014)	$0,03236 \pm 0,00045$	$0,02618 \pm 0,00019$	$89,48 \pm 0,07$
	Bu çalışma	$0,03161 \pm 0,00029$	$0,02534 \pm 0,00022$	$89,53 \pm 0,09$
d	Jontof-Hutter ve ark. (2014)	$0,02109 \pm 0,00030$	$0,05038 \pm 0,00010$	$89,93 \pm 0,07$
	Bu çalışma	$0,02074 \pm 0,00016$	$0,04876 \pm 0,00101$	$89,94 \pm 0,21$
e	Jontof-Hutter ve ark. (2014)	$0,01570 \pm 0,00022$	$0,02458 \pm 0,00094$	$89,13 \pm 0,02$
	Bu çalışma	$0,01603 \pm 0,00036$	$0,02543 \pm 0,00102$	$89,13 \pm 0,02$



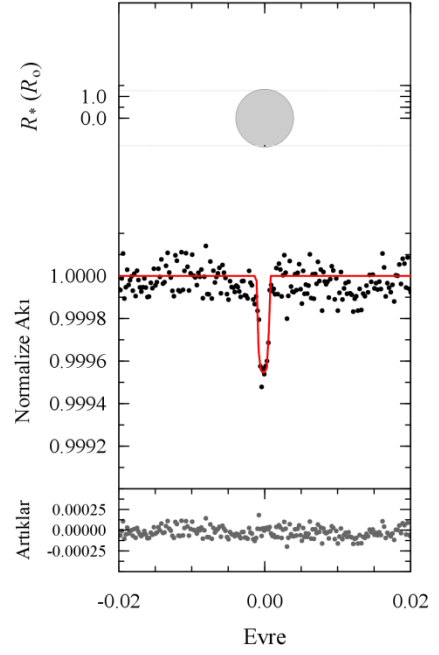
(i) Kepler-79b



(ii) Kepler-79c



(iii) Kepler-79d



(iv) Kepler-79e

Şekil 4.31. (i) Kepler-79b, (ii) Kepler-79c, (iii) Kepler-79d ve (iv) Kepler-79e geçiş geometrileri, geçiş ışık eğrileri ve artıkları. Işık eğrileri, HAT-P-7b ışık eğrisi için uygulanan yöntemle 2400 noktaya binning yapılmıştır. Şekildeki gösterimler, Şekil 4.18i alt yazısında açıklanmıştır. Geçiş geometrisi gösteriminde yıldızın boyutu eksenler dağılımına bağlı olarak görelî olarak değişmektedir

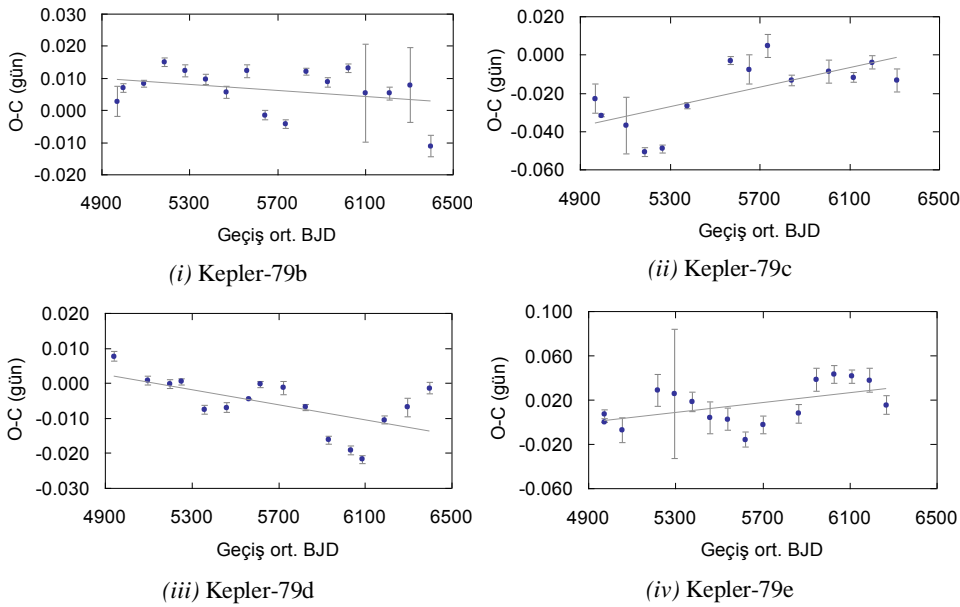
Geçiş Ortası Zamanları ve Analizi

Kepler-79b,c,d ve e'ni gözlenen geçiş zamanlarıyla O-C dağılımları oluşturulmuş (bkz. Şekil 4.32); bu dağılımlara ağırlıklı doğru uydurularak düzeltilen ışık elemanları, Çizelge 4.48'de verilmiştir. Kepler-79b'nin 7. çeyrek verisi, $t_0 = 2455459,98458 \pm 0,00832$ BJD değerinde bulunmuş; O-C değişiminde 1σ sınırı içinde istatistiksel olarak anlamlı bir değer olmadığı için ışık elemanları hesaplanırken dışarıda bırakılmıştır.

Çizelge 4.48. Kepler-79b,c,d ve e'nin düzeltilen ışık elemanları

Gezegen	t_0	P (gün)	χ^2_{ind}
b	2455684,30996 (85)	13,4844446 (56)	4,51 (SD = 15)
c	2455706,46479 (225)	27,4034798 (2424)	1,93 (SD = 14)
d	2455721,00621 (98)	52,0893526 (2655)	1,37 (SD = 15)
e	2455702,13872 (268)	81,068236 (5852)	2,94 (SD = 14)

Sistemin tüm bileşenleri, TTV analizleriyle keşfedilmişti. LC verilerinin kullanıldığı bu çalışmada 4.2. Bölümde bahsedildiği gibi veri hassasiyeti ve veri kümelenmesi nedeniyle tedirginlik etkileri için frekans analizine gidilmemiş sadece ışık elemanları bulunmuştur.



Şekil 4.32. (i) Kepler-79b, (ii) Kepler-79c, (iii) Kepler-79d ve (iv) Kepler-79e'nin O-C dağılımları ve dağılıma uydurulan doğrulan eğriler. Geçiş zamanları, BJD (2450000+) olarak verilmiştir

4.2.5. Kepler-491b

Kepler-491b, 10 Mayıs 2016 tarihinde Morton ve ark. (2016) tarafından geliştirilmiş gezegen tanımlama algoritmasıyla keşfi duyurulan 1284 yeni gezegenden biridir. Morton ve ark. (2016) sistemin, $M_{\star} = 1,04 M_{\odot}$ ve $R_{\star} = 1,03 R_{\odot}$ fiziksel niceliklere sahip bir yıldız ve yarıçapı $R_g = 0,796 R_J$ olan bir gezegen içerdiğini hesaplamışlardır. Gezegenin yörünge dönemi, $P = 4,225384512 \pm 0,000000268$ gündür. Yıldızının etkin sıcaklığı, $T_e = 5582$ K olarak verilmiştir (Morton ve ark., 2016). Sistemin temel özellikleri Çizelge 4.49'da listelenmiştir.

Çizelge 4.49. Kepler-491 sisteminin temel özellikleri

Parametre	Değer
Kütle, $M_{\star} (M_{\odot})$	$1,040^{+0,026}_{-0,028}$
Yarıçap, $R_{\star} (R_{\odot})$	$1,030^{+0,092}_{-0,059}$
Yoğunluk, ρ_{\star} (cgs)	---
Yüzey Çekim İvmesi, $\log g_{\star}$ (cgs)	$4,420^{+0,053}_{-0,074}$
Etkin Sıcaklık, T_e (K)	$5582^{+53,814}_{-61,107}$
[Fe/H]	$0,370^{+0,049}_{-0,053}$
Yaş (G yıl)	$4,47^{+2,26}_{-2,43}$
Geçiş ortası zamanı, t_o (BJD)	$2454970,5606743 \pm 0,0000534$
Yörünge Dönemi, P (gün)	$4,225384512 \pm 2,68 \times 10^7$
Normalize ayrıklık, a/R_{\star}	---
Doğrusal kenar kararım katsayısı, u	$(Kp) 0,647^a$
Safronov sayısı (Θ)	---

^a Claret ve Bloemen (2011) çizelgelerinden hesaplamıştır. Diğer tüm değerler ise Morton ve ark. (2016)'dan alınmıştır.

Geçiş Işık Eğrileri Çözümü

NEA, bu veri türünde Kepler-491 için 1'den 17. çeyreğe kadar 17 çeyrek verisi sunmaktadır. SC verileri kullanılmamıştır (bkz. Çizelge 4.50). Analize alınan literatür parametreleri ve analiz sonucu elde edilen parametreler birlikte Çizelge 4.51'de listelenmiştir.

Çizelge 4.50. Kepler-491b'nin çözüme alınan *Kepler* LC verileri bilgileri

Veri No.	Çeyrek No.	Zaman aralığı (BJD - 2454833+)
1	01	132 – 165
2	02	170 – 258
3	03	260 – 350
4	04	352 – 442
5	05	443 – 538
6	06	539 – 629
7	07	630 – 720
8	08	735 – 802
9	09	809 – 906
10	10	907 – 1000
11	11	1001 – 1098
12	12	1099 – 1182
13	13	1183 – 1273
14	14	1274 – 1371
15	15	1373 – 1471
16	16	1472 – 1558
17	17	1559 – 1591

Çizelge 4.51. Kepler-491b'nin ışık eğrileri analizlerine doğrudan literatürden alınan yıldız ve gezegen fiziksel parametreleri ile analizler sonucu ulaşılan yıldız ve gezegen fiziksel parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları

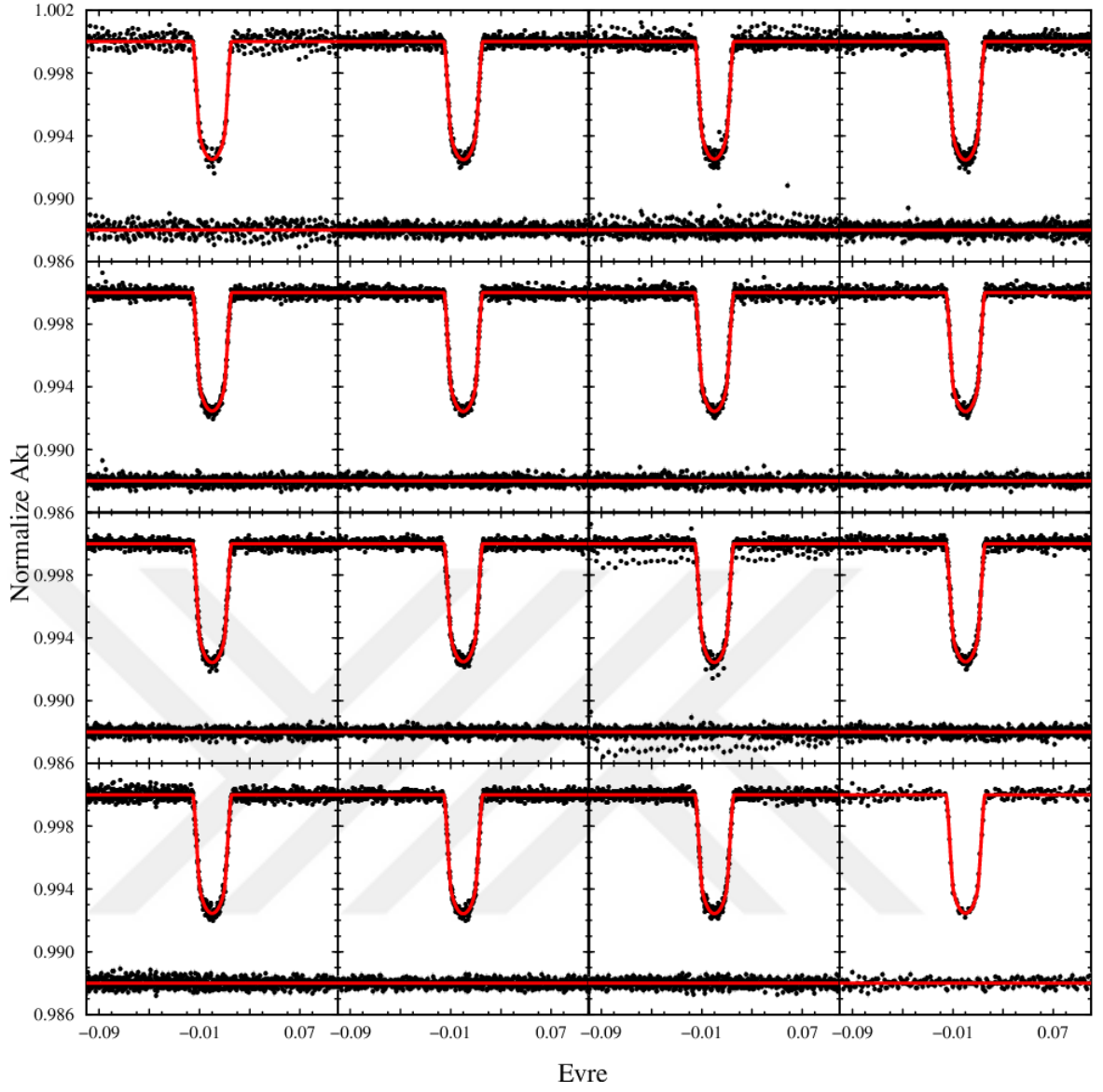
Alınan parametreler	
$M_{\star} (M_{\odot})$	$1,040^{+0,026}_{-0,028}$
$M_g (M_J)$	0,25 *
$T_e (K)$	5582 ± 62
Elde edilen parametreler	
a/R_{\star}	$7,93 \pm 0,08$
$R_{\star} (R_{\odot})$	$1,406 \pm 0,006$
$\rho_{\star} (\rho_{\odot})$	$0,373 \pm 0,005$
$\log g_{\star} (cgs)$	$4,159 \pm 0,005$
$R_g (R_J)$	$1,220 \pm 0,005$
$\rho_p (\rho_J)$	$0,138 \pm 0,089$
$\log g_g (cgs)$	$2,647 \pm 0,280$
$T'_{eq} (K)$	1402 ± 6
Safronov Sayısı (Θ)	$0,0215 \pm 0,0141$
$Ak_1 \langle F \rangle (10^9 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2})$	$0,879 \pm 0,019$

* q taraması ile tahmin edilen değer

Çözümler, her çeyrek verisi için yapılmış ve elde edilen parametreler, hataları ve ağırlıklı ortalamalarıyla birlikte Çizelge 4.52’de verilmiş, geçiş ışık eğrileri, modelleri ve artıklarıyla birlikte Şekil 4.33’te çizilmiştir. Elde edilen model parametreleri literatür değerleriyle Çizelge 4.53’te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Literatürde Kepler-491b’nin kütle değeri bulunmamaktadır. Bu nedenle fotometrik kütle tayini yapılmıştır. Bunun için bir ön analiz uygulanmış, evrim modellerinden gelen yıldızın kesirsel yarıçapı, r_1 sabit tutulup, kütle oranı, q ve geometrik parametreler (U , $\Delta\phi_0$, k ve i) serbest bırakılarak çözülmüştür. 17 çeyrek verisinde en küçük χ^2 değerini veren kütle oranlarının modu alınmış ve $q = 0,00024 \pm 0,00012$ olarak hesaplanmıştır.

Gezegenin geçiş geometrisi, 900 noktaya binning uygulanmış veri ve ağırlıklı ortalama değerler kullanılarak çizdirilen model eğriyle birlikte Şekil 4.34’te gösterilmiştir.





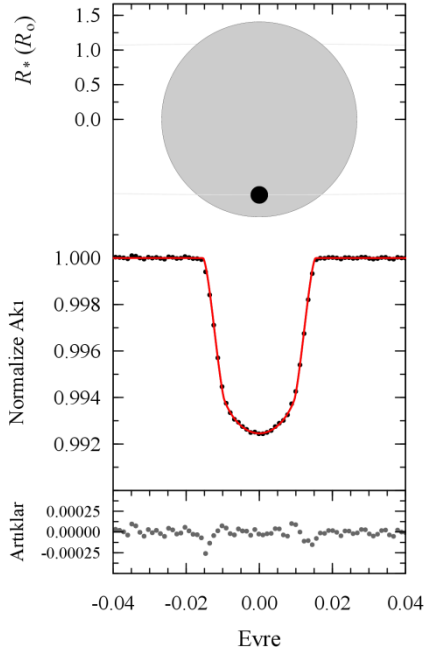
Şekil 4.33. Kepler-491b'nin geçiş eğrileri, model ve artıkları

Çizelge 4.52. Kepler-491b modelleri sonuç parametreleri

Veri No.	$\Delta\phi_0$	$\Delta\phi_0$ hata	r_1	r_1 hata	k	k hata	r_2	r_2 hata	i (°)	i hata	χ^2_{ind}	σ_{AKI} (1/1000)	S	σ_s (1/1000)
1	0,00199	0,03413	0,12421	0,00642	0,08776	0,00166	0,01090	0,00077	84,56	0,50	1,014	0,411	0,862	0,411
2	-0,02028	0,01249	0,12494	0,00229	0,08805	0,00056	0,01100	0,00027	84,50	0,18	1,033	0,240	1,025	0,246
3	-0,00851	0,01486	0,12406	0,00355	0,08773	0,00088	0,01088	0,00042	84,56	0,28	1,029	0,320	1,047	0,335
4	-0,00767	0,01271	0,12735	0,00195	0,08881	0,00049	0,01131	0,00023	84,30	0,15	1,044	0,275	0,944	0,275
5	0,00405	0,01026	0,12675	0,00176	0,08860	0,00043	0,01123	0,00021	84,36	0,13	0,999	0,220	0,967	0,220
6	0,00782	0,01077	0,12390	0,00210	0,08825	0,00051	0,01093	0,00025	84,56	0,16	0,988	0,214	0,887	0,214
7	0,00559	0,01069	0,12783	0,00165	0,08897	0,00040	0,01137	0,00020	84,27	0,12	0,995	0,237	0,948	0,237
8	0,00674	0,01282	0,12632	0,00077	0,08880	0,00028	0,01122	0,00010	84,38	0,06	0,998	0,212	0,982	0,212
9	-0,01094	0,00984	0,12738	0,00164	0,08877	0,00041	0,01131	0,00020	84,30	0,12	0,869	0,196	0,979	0,196
10	-0,00787	0,00954	0,12494	0,00118	0,08840	0,00032	0,01104	0,00014	84,49	0,09	1,013	0,211	1,033	0,218
11	-0,00655	0,00908	0,12482	0,00126	0,08816	0,00033	0,01100	0,00015	84,49	0,10	0,992	0,192	0,999	0,192
12	0,01409	0,01573	0,12496	0,00161	0,08834	0,00047	0,01104	0,00020	84,49	0,12	0,997	0,319	0,978	0,319
13	-0,00236	0,01009	0,12894	0,00153	0,08886	0,00039	0,01146	0,00019	84,20	0,12	1,026	0,213	0,912	0,213
14	-0,01218	0,01273	0,12647	0,00194	0,08862	0,00050	0,01121	0,00023	84,37	0,15	1,031	0,264	0,793	0,264
15	0,00289	0,01009	0,12638	0,00164	0,08868	0,00040	0,01121	0,00020	84,39	0,12	1,010	0,205	0,970	0,205
16	-0,01282	0,01066	0,12638	0,00187	0,08869	0,00045	0,01121	0,00022	84,38	0,14	1,027	0,222	1,062	0,236
17	0,00412	0,02636	0,12657	0,00567	0,08850	0,00122	0,01120	0,00066	84,38	0,42	0,969	0,246	0,803	0,246
Ağ. Ort:	-0,00335	0,00283	0,12618	0,00039	0,08857	0,00011	0,01118	0,00005	84,39	0,03	1,002	0,247	0,952	0,249

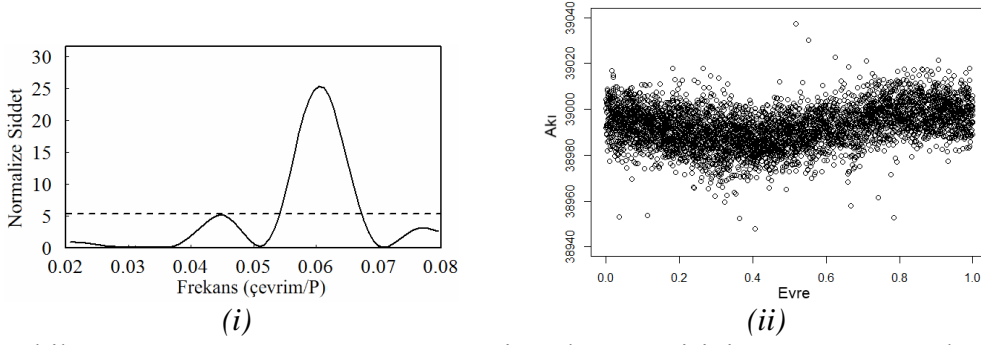
Çizelge 4.53. Kepler-491b'nin literatürden toplanan ve bu çalışmadaki analizlerinden hesaplanan temel model parametrelerinin ortalama değerleri

Çalışma	r_1	$k (r_2/r_1)$	$i (^\circ)$
NEA (Morton ve ark., 2016)	---	$0,07948 \pm 0,00006$	---
Bu çalışma	$0,12618 \pm 0,00039$	$0,08857 \pm 0,00011$	$84,39 \pm 0,03$



Şekil 4.34. Kepler-491b'nin geçiş geometrisi, geçiş ışık eğrisi ve artıkları. Işık eğrisi, HAT-P-7b ışık eğrisi için uygulanan yöntemle 900 noktaya binning yapılmıştır. Şekildeki gösterimler, Şekil 4.18i alt yazısında açıklanmıştır

Işık eğrileri modellemelerine ek olarak geçiş dışı verisine Lomb-Scargle frekans analizi uygulanarak $P_{\text{geçiş dışı}} = 16,574$ gün dönemli ($f_{\text{geçiş dışı}} = 0,0604$) bir salınım bulunmuştur (Şekil 4.45). Bu salınımın döneminin, yörünge döneminin yaklaşık dört katı olduğu görülmektedir. Böyle bir salınım, yıldızda bir veya birden fazla soğuk lekeye işaret etmektedir. Güneş'in ortalama dönme dönemi 26,09 gün olarak bilinmektedir (Donahue ve ark., 1996). Kepler-491'in Güneş benzeri bir yıldız olması leke etkinliği olasılığını güçlendirmektedir (Başka örnekler için bkz. Mancini ve ark., 2015; Sanchis-Ojeda ve ark., 2011). Geçiş ışık eğrisi içinde akı değişimi gözlenmemiştir; dolayısıyla gezegenin lekeyi örtmediği düşünülmektedir.



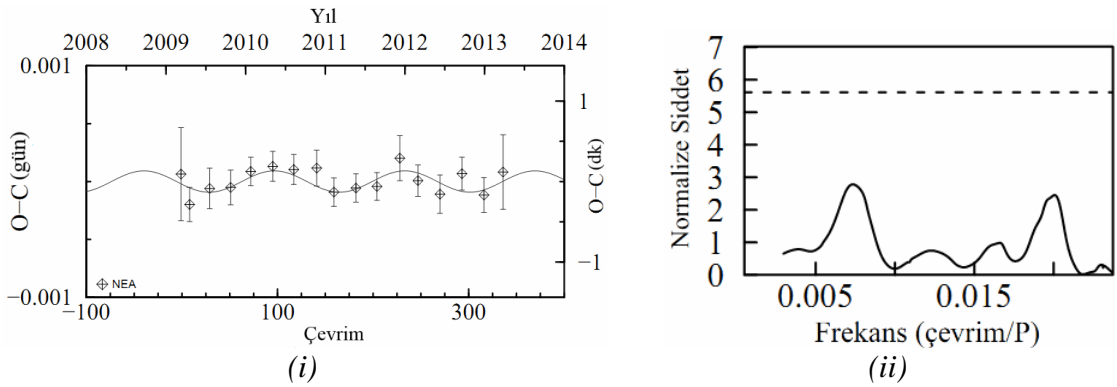
Şekil 4.35. (i) Kepler-491b geçiş dışı verisinin Lomb-Scargle periodogramı (ii) $P_{\text{geçişdışı}} = 16,574$ gün değeriyle 0 – 1 arası evrelendirilmiş akı grafiği

Geçiş Ortası Zamanları ve Analizi

Her bir SC çeyrek verisinin analiziyle Kepler-491b için okunan geçiş zamanları, hataları ve düzeltilen O-C değerleri Çizelge 4.54’te yer almaktadır. Çizelgedeki zamanlar kullanılarak ışık elemanları,

$$t = 2454970,56063 (7) + 4,2253845 (4) \times E \quad (4.8)$$

olarak hesaplanmıştır. Bu doğrusal düzeltme, 15 serbestlik derecesinde indirgenmiş $\chi^2_{\text{ind}} = 0,54$ değerindedir. O-C dağılımında düzeltilmiş zamanlar ve frekans analiziyle hesaplanan sinüs eğrisi gösterilmektedir (Şekil 4.36). Nyquist frekans penceresi içinde baskın frekans, $f_1 = 0,00733 \pm 0,00048$ olarak hesaplanmıştır ve %5 FAP seviyesine karşılık gelen normalize frekans şiddetinin altında kalmaktadır. Frekans değeri, $P_{\text{ttv}} = 576,5 \pm 38,0$ güne karşılık gelmekte olup, bu dönemli sinüsel eğri, $\chi^2_{\text{ind}} = 0,36$ değerini vermektedir (SD=14).



Şekil 4.36. (i) O-C diyagramı ve (ii) Lomb-Scargle periodogramı. Baskın frekans olan bulunan $f_1 = 0,00733 \pm 0,00048$ değeri %5 FAP seviyesinin altında görülmektedir

Çizelge 4.54. Kepler-491b'nin *Kepler* ışık eğrilerinden ölçülen geçiş zamanları

Veri No.	Çevrim	t_o (BJD _{TDB} - 2450000+)	O-C (gün)
1	-1	4966,33531 ± 0,00040	0,000064
2	8	5004,36351 ± 0,00015	-0,000198
3	29	5093,09673 ± 0,00018	-0,000060
4	51	5186,05519 ± 0,00015	-0,000051
5	72	5274,78841 ± 0,00012	0,000087
6	95	5371,97230 ± 0,00013	0,000131
7	117	5464,93073 ± 0,00013	0,000104
8	141	5566,33997 ± 0,00016	0,000116
9	159	5642,39668 ± 0,00012	-0,000091
10	182	5739,58056 ± 0,00012	-0,000056
11	204	5832,53904 ± 0,00012	-0,000042
12	228	5933,94851 ± 0,00019	0,000202
13	247	6014,23062 ± 0,00014	0,000008
14	270	6111,41435 ± 0,00017	-0,000109
15	293	6208,59837 ± 0,00014	0,000068
16	316	6305,78203 ± 0,00015	-0,000116
17	336	6390,28992 ± 0,00032	0,000082

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmanın konusu olan ötegezegenlerin fotometrik olarak incelenmesi, gezegen araştırmalarının en önemli yöntemlerinden biridir. Fotometrik gözlem analizi ve analiz çıktısını kullanan yöntemler, gezegen keşfinde ve gezegen parametrelerinin bulunmasında büyük rol oynamaktadır. Şimdiye kadar keşfedilen ötegezegenlerin büyük çoğunluğu geçiş gözlemleriyle fotometrik olarak saptanmıştır. Bunun içinde en iyi şartlarda milyonda yirmi duyarlılıktaki parlaklık değişimini kaydedebilen *Kepler* uzay teleskobunun payı büyüktür. Duyarlı veri ile duyarlı parametreler elde edilebildiğinden veri hassasiyeti, geçiş gözlemlerinin başlıca gereksinimlerinden biridir. Bu nedenle tez çalışmasında fotometrik veri kullanarak ötegezegen parametrelerine duyarlı bir biçimde ulaşmak hedeflenmiştir. Bu amaçla küçük teleskoplarla gezegen geçişlerinin yüksek duyarlılıkta kaydedilmesi, elde edilen verinin dikkatle incelenmesi ve analizi üzerinde çalışılırken, *Kepler* teleskobunun sunduğu hassas verinin kullanımı ve evre eğrisi de dahil bütün ışık eğrisinin analizi üzerinde çalışılmıştır.

Hem yer tabanlı hem de *Kepler* ile gözlenmiş fotometrik verilerin analizi yapılarak fiziksel, yörünge ve atmosfer parametrelerine ulaşılmıştır. Geçiş zamanlarının frekans analizleriyle ışık elemanları ve tedirginlik meydana getirebilecek başka cisimlerin varlığı öngörülmüştür. Çalışmada yer tabanlı gözlemlerde ayna çapları, 1,2 m; 1,0 m ve 0,6 m olan teleskoplar kullanılarak toplam 40 gözlem sonucunda TrES-3b, Qatar-1b, HAT-P-36b ve WASP-10b'nin geçiş ışık eğrileri elde edilmiştir. HAT-P-7b, Kepler-6b, Kepler-8b, Kepler-79b,c,d,e ve Kepler-491b geçiş ışık eğrileri ise *Kepler* teleskobu verilerinden derlenerek kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ve ulaşılan temel parametreler, kütle (M_g), yarıçap (R_g), yoğunluk (ρ_g), yüzey çekim ivmesi ($\log g_g$), Safronov sayısı (Θ) ve yüzey denge sıcaklığı (T'_{eq}) çizelgelerde verilmiştir. Çizelge 5.1'de dev gezegenler listelenirken, Çizelge 5.2'de Neptün altı cisimler, Kepler-79b,c,d,e kütle ve yarıçapları hem Jüpiter hem de Yer biriminde verilmiştir. Gezegenlerin kütleleri; TrES-3b, Qatar-1b, HAT-P-36b, WASP-10b, HAT-P-7b, Kepler-6b ve Kepler-8b için sırasıyla Sozetti ve ark. (2009), Alsubai ve ark. (2011), Bakos ve ark. (2012), Barros ve ark. (2013), Wong ve ark. (2016), Esteves ve ark. (2015) ve Esteves ve ark. (2015)'dan alınmıştır. Kepler-491b için analizden gelen fotometrik kütle oranı kullanılarak gezegenin kütlesi hesaplanmıştır. Kepler-79b,c,d,e'nin kütleleri, Jontof-Hutter ve ark. (2014)'nın çalışmasından alınmıştır.

Çizelge 5.1. Çalışılan dev gezegenlere ilişkin temel parametreler

Gezegen	$M_g (M_J)$	$R_g (R_J)$	$\rho_g (\rho_J)$ ve $\rho_g (g\ cm^{-3})$	$\log g_g (cgs)$	Θ	$T'_{eq} (K)$
¹ TrES-3b	$1,910 \pm 0,064$	$1,388 \pm 0,035$	$0,660 \pm 0,051$ $0,886 \pm 0,066$	$3,39 \pm 0,02$	$0,068 \pm 0,003$	1641 ± 25
² Qatar-1b	$1,090 \pm 0,011$	$1,142 \pm 0,025$	$0,680 \pm 0,045$ $0,901 \pm 0,06$	$3,32 \pm 0,02$	$0,053 \pm 0,002$	1368 ± 29
³ HAT-P-36b	$1,832 \pm 0,087$	$1,234 \pm 0,026$	$0,863 \pm 0,059$ $1,145 \pm 0,078$	$3,47 \pm 0,02$	$0,067 \pm 0,004$	1779 ± 35
⁴ WASP-10b	$3,14 \pm 0,19$	$1,183 \pm 0,040$	$1,612 \pm 0,199$ $2,207 \pm 0,210$	$3,74 \pm 0,04$	$0,273 \pm 0,041$	1002 ± 26
⁵ HAT-P-7b	$1,682 \pm 0,021$	$1,434 \pm 0,004$	$0,436 \pm 0,006$ $0,578 \pm 0,008$	$3,277 \pm 0,005$	$0,049 \pm 0,001$	2207 ± 5
⁶ Kepler-6b	$0,668 \pm 0,038$	$1,192 \pm 0,009$	$0,371 \pm 0,011$ $0,492 \pm 0,014$	$3,069 \pm 0,010$	$0,042 \pm 0,001$	1462 ± 10
⁷ Kepler-8b	$0,59^{+0,13}_{-0,12}$	$1,631 \pm 0,009$	$0,126 \pm 0,007$ $0,166 \pm 0,010$	$2,736 \pm 0,025$	$0,028 \pm 0,002$	1782 ± 12
⁸ Kepler-491b	$0,25 \pm 0,17$	$1,220 \pm 0,005$	$0,138 \pm 0,089$ $0,183 \pm 0,118$	$2,647 \pm 0,280$	$0,021 \pm 0,014$	1402 ± 6

Gezegenlerin kütleleri sırasıyla, ¹ Sozetti ve ark. (2009), ² Alsubai ve ark. (2011), ³ Bakos ve ark. (2012), ⁴ Barros ve ark. (2013), ⁵ Wong ve ark. (2016) ve ^{6,7} Esteves ve ark. (2015) alınmış; ⁸ Kepler-491b için bu çalışmada fotometrik kütle bulunmuştur.

Çizelge 5.2. Çalışılan Neptün altı gezegenlere ilişkin temel parametreler

Gezegen	$M_g (M_J)$ ve $M_g (M_{yer})$	$R_g (R_J)$ ve $R_g (R_{yer})$	$\rho_g (\rho_N)$ ve $\rho_g (g\ cm^{-3})$	$\log g_g (cgs)$	Θ	$T'_{eq} (K)$
Kepler-79b	$0,034 \pm 0,023$ $10,9^{+7,4}_{-6,2}$	$0,308 \pm 0,004$ $3,455 \pm 0,046$	$0,89 \pm 0,15$ $1,45 \pm 0,99$	$2,96 \pm 0,07$	$0,023 \pm 0,004$	997 ± 11
Kepler-79c	$0,019 \pm 0,007$ $5,9^{+1,9}_{-2,3}$	$0,316 \pm 0,005$ $3,539 \pm 0,052$	$0,45 \pm 0,05$ $0,73 \pm 0,29$	$2,76 \pm 0,04$	$0,022 \pm 0,002$	780 ± 9
Kepler-79d	$0,019 \pm 0,007$ $6,0^{+2,1}_{-1,6}$	$0,609 \pm 0,006$ $6,827 \pm 0,062$	$0,06 \pm 0,01$ $0,10 \pm 0,04$	$2,21 \pm 0,03$	$0,020 \pm 0,002$	629 ± 6
Kepler-79e	$0,013 \pm 0,004$ $4,1^{+1,2}_{-1,1}$	$0,308 \pm 0,023$ $3,452 \pm 0,261$	$0,33 \pm 0,08$ $0,55 \pm 0,20$	$2,47 \pm 0,08$	$0,024 \pm 0,005$	553 ± 13

Gezegenlerin kütleleri, Jontof-Hutter ve ark. (2014)'dan alınmıştır.

Çalışılan örnekler içinde Qatar-1b'nin Jüpiter'e en yakın örnek olduğu görülmektedir. Yoğunluk olarak en benzer örnek olan HAT-P-36b ise Jüpiter'den 1,8 kat daha büyüktür (Çizelge 5.1). Kepler-79 sistemi üyelerinin yapısal olarak karasal gezegenler ve gaz gezegenler arasında dağıldığı görülmektedir (Çizelge 5.2).

Yer tabanlı gözlemlerde alınmayan evre eğrisi katkısının incelenmesi yapılmamıştır. Kepler gözlemlerinde ise evre eğrisi katkısı, ışık eğrisi analizleri ile çıkarılmış ve (Budding ve ark., 2016a) çalışmasında yapıldığı gibi yakınlık etkileri üzerine tartışılmıştır.

Bu amaçla *Kepler* verisi seçiminde SC veri türü, ışık eğrisinin duyarlılığı açısından tercih edilmelidir. Yüksek duyarlıklı ışık eğrilerinde görülen biçimsel bozulmalar bulguları değiştirebilmektedir. Gilliland ve ark. (2010)'na göre SC-LC veri türleri arasındaki farkın geçiş parametreleri üzerine etkisi, TrES-2b (*Kepler-1b*) örneği için gezegenin yarıçapında %0,012; yörünge eğim açısında $0^\circ,001$ 'lik değişim düzeyinde kalmaktadır. Gilliland ve ark. (2010)'nın ifade ettiği gibi, şekilsel olarak ışık eğrisinin omuz ve taban hatlarında bozulmalar görülebilmektedir. Şekil 4.25 ile verilen *Kepler-8b*'nin binning uygulanmış verisinde görüldüğü gibi bu etkinin çok daha kolay görünmesi mümkün olabilmektedir.

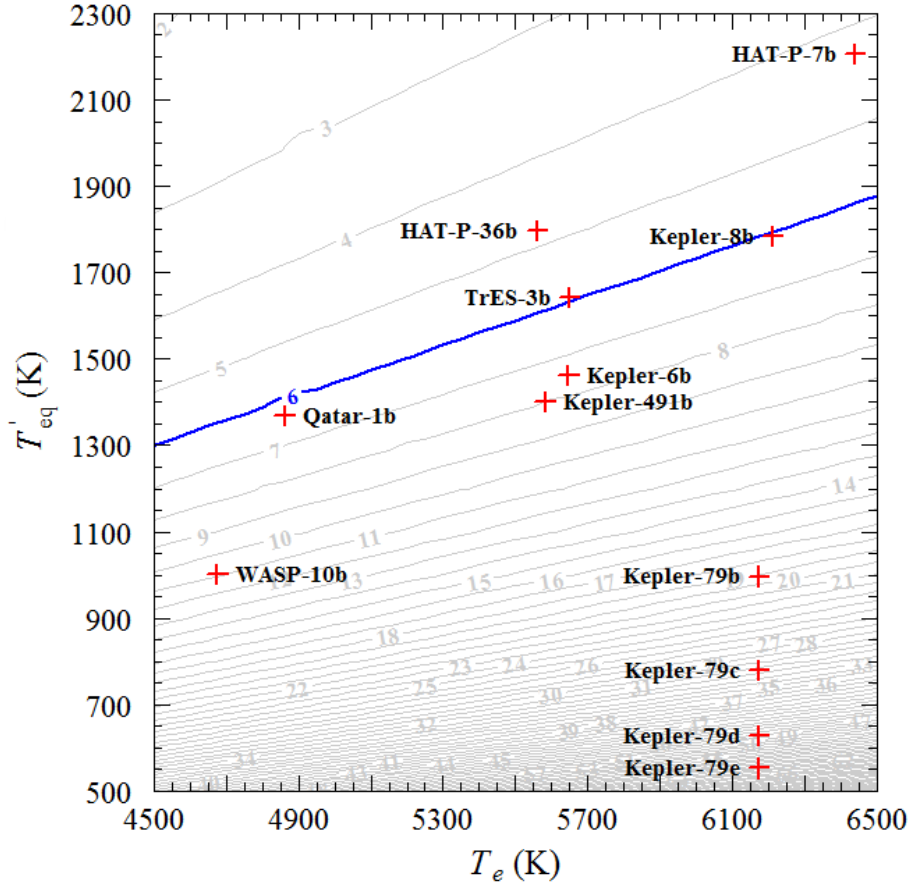
10 geçiş eğrisi üzerinden TrES-3b ve 11 geçiş eğrisi üzerinden Qatar-1b gezegeni fotometrik olarak incelenmiştir. Gezegenlerin yarıçapları, sırasıyla $R_g = 1,388 \pm 0,035 R_J$ ve $R_g = 1,142 \pm 0,025 R_J$ olarak elde edilmiştir. Benzer büyüklükteki yıldızlara sahip ($R_\star \sim 0,83 R_\odot$) ve benzer uzaklıktaki yörüngelerde ($a \sim 0,023$ AB) dolanan ($a/R_\star \sim 6$) bu gezegenlerin yoğunlukları da birbirine çok yakın bulunmuştur. Yapısal olarak benzer olabilecekleri düşünülen TrES-3b'nin yoğunluğu $\rho_{\text{TrES-3b}} = 0,66 \rho_J$ ve Qatar-1b'nin yoğunluğu $\rho_{\text{Qatar-1b}} = 0,68 \rho_J$ 'dir (bkz. Şekil 5.2). Diğer özellikleri ise belirgin farklılıklar göstermektedir. TrES-3b, Qatar-1b'ye göre yaklaşık iki kat kadar daha kütleli bir gezegendir. TrES-3 yıldızı ve gezegeninin, Qatar-1 yıldızı ve gezegenine göre daha sıcak oldukları görülmektedir (bkz. Şekil 5.1). Gezegenler üzerine düşen akılar, $\langle F \rangle_{\text{TrES-3b}} = 1,642(\pm 0,082) \times 10^9 \text{ ergs}^{-1}\text{cm}^{-2}$ ve $\langle F \rangle_{\text{Qatar-1b}} = 0,798(\pm 0,060) \times 10^9 \text{ ergs}^{-1}\text{cm}^{-2}$ gezegenlerin denge sıcaklıkları arasındaki farkın en önemli göstergesidir. Demory ve Seager (2011)'in gösterdikleri gibi gezegenlerin yarıçapları, yıldızdan alınan akı miktarına bağlı olarak artabilmektedir. TrES-3b ve Qatar-1b için bu ilişki anlamlı görünmektedir. Yıldızların etkin sıcaklıkları ile gezegenleri denge sıcaklıkları arasındaki ilişki, Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Bu dağılım, üçüncü boyut olarak normalize ayrıklığı da içerir. TrES-3 ve Qatar-1 sistemi bileşenleri, $a/R_\star \sim 6$ değerine karşılık gelen ve kalın mavi bir çizgiyle gösterilen bu hatta yerleşmiş üç sistemden ikisidir. Yıldızların metal bollukları TrES-3 ve Qatar-1 için sırasıyla, $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{TrES-3}} = -0,2$ ve $[\text{Fe}/\text{H}]_{\text{Qatar-1}} = 0,2$ verilmektedir (Torres ve ark, 2008; Alsubai ve ark., 2011). Normalize ayrıklığı $a/R_\star \sim 6$ olarak hesaplanan üçüncü sistemde *Kepler-8*'in yarıçapı $R_\star = 1,712 \pm 0,009 R_\odot$; metal bolluğu $[\text{Fe}/\text{H}] = -0,055$; sistemin yarı-büyük eksen uzunluğu $a = 0,0474$ AB'dir. Yoğunluğu $\rho = 0,126 \pm 0,007 \rho_J$ olarak bulunan *Kepler-8b* için $\langle F \rangle = 2,303 (\pm 0,089) \times 10^9 \text{ ergs}^{-1}\text{cm}^{-2}$ değeri ile $R_g = 1,631 \pm 0,009 R_J$, Demory ve Seager (2011)'i doğrular niteliktedir.

HAT-P-36b'nin yer tabanlı 10 geçiş ışık eğrisinin analizi sonucu bulunan geometrik parametreler, 1° 'lik fark gösteren yörünge eğim açısı i dışında Mancini ve ark. (2015)

tarafından hesaplanan değerlerle uyumlu görünmektedir. Gezegenin hesaplanan yarıçap değeri $R_g = 1,234 \pm 0,026 R_J$; yoğunluğu $\rho = 0,863 \pm 0,059 \rho_J$ 'dir. Gezegenin denge sıcaklığı $T'_{eq} = 1779$ K, yoğunlukla birlikte örnekler içindeki yüksek değerlerden biridir. Yıldızdan alınan akı $\langle F \rangle = 2,293 (\pm 0,155) \times 10^9 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ değeri Demory ve Seager (2011)'a göre değerlendirilirse gezegenin yarıçapının TrES-3b'nin yarıçapından büyük olması gerekirdi. Bu durum, HAT-P-36b'nin yoğunluğunun daha büyük olmasına bağlanabilir. Kepler-8b dikkate alındığında ayrıştırıcı etkenin yoğunluk ve yüzey çekim ivmesi olması muhtemeldir. HAT-P-36b için yüzey çekim ivmesi $\log g_g (\text{cgs}) = 3,47 \pm 0,02$ iken Kepler-8b için $\log g_g (\text{cgs}) = 2,74 \pm 0,03$ 'dir. Bu karşılaştırmaya, örnekler arasındaki en büyük akı, $\langle F \rangle = 5,410 (\pm 0,011) \times 10^9 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ değerine sahip HAT-P-7b dahil edildiğinde, yüzey çekim ivmesi $\log g_g (\text{cgs}) = 3,277 \pm 0,005$ 'nin görece büyük değeri, yarıçapı $R_g = 1,434 \pm 0,004 R_J$ olarak belirlenen bu gezegenin yarıçapındaki şişme miktarını önleyici bir etki olarak görülebilir. Nitekim, Weiss ve ark. (2013)'na göre bir gezegenin yarıçapındaki şişme, gezegenin kütesine, ağır element bolluğuna ve gezegenin yüzey sıcaklığına bağlı olmaktadır.

WASP-10b, $M_g = 3,14 \pm 0,19 M_J$ kütle değeriyle bir süper-Jüpiterdir. Yarıçapı, gözlenen beş geçiş eğrisi kullanılarak $R_g = 1,183 \pm 0,040 R_J$ bulunmuş ve yoğunluğu $\rho = 1,612 \pm 0,199 \rho_J$ olarak hesaplanmıştır (bkz. Şekil 5.2). Cruz ve ark. (2015)'e göre gezegenin yoğunluğu, $\rho = 1,43 \rho_J$ 'dir. WASP-10b, büyük kütesi nedeniyle Jüpiter'den daha yoğun bir yapıdadır; bu nedenle şişmiş Jüpiter sınıfında yer almaz. Bu gezegen için I. Safranov sınıfının da ötesinde $\Theta = 0,273 \pm 0,041$ bulunmuştur. Hansen ve Barman (2007)'e göre I. sınıf gezegenler, II. sınıf gezegenlere kıyasla daha büyük kütleli ve gözlenen yarıçapları, H/He yapı modelleri ile uyumlu olmaktadır. WASP-10b geçiş ışık eğrilerinde binning uygulamasıyla belirlenen noktalar üzerinden yapılan çözümle yörünge basıklığı $e = 0,09 \pm 0,03$ olarak hesaplanmıştır. WASP-10b'nin yörünge basıklığı, Cruz ve ark. (2015)'de tartışılmış ve e değerinin 0,04 – 0,06 arasında olabileceği; fakat en uygun çözümün dairesel yörünge kabulüyle alınacağını önermektedir. Yapay bir yörünge basıklığı oluşturacak, geçiş eğrisinde bozulmaya neden olabilecek sistematik etkiler, WASP-10b'nin $2,2 \leq \sigma_{\text{gözlem}} (\text{mkadir}) \leq 4,1$ aralığında değişen gözlemlerinde görülmemiştir (bkz. Çizelge 4.17). Ayrıca bu duyarlılıktaki verinin soğuk leke etkisi gibi yıldızın bünyesel etkinliklerini göstermesi olası olmamaktadır. Diğer taraftan Maciejewski ve ark. (2011), WASP-10b'nin; Mancini ve ark. (2015) ise HAT-P-36b'nin yayınladıkları dört ışık eğrisinin üçünde yıldızın leke etkinliğinin kanıtı olduğu söylemiş ve lekeleri modellemiştir. Maciejewski ve ark. (2011) gözlem verileri duyarlılığı, 0,79 ile 1,32

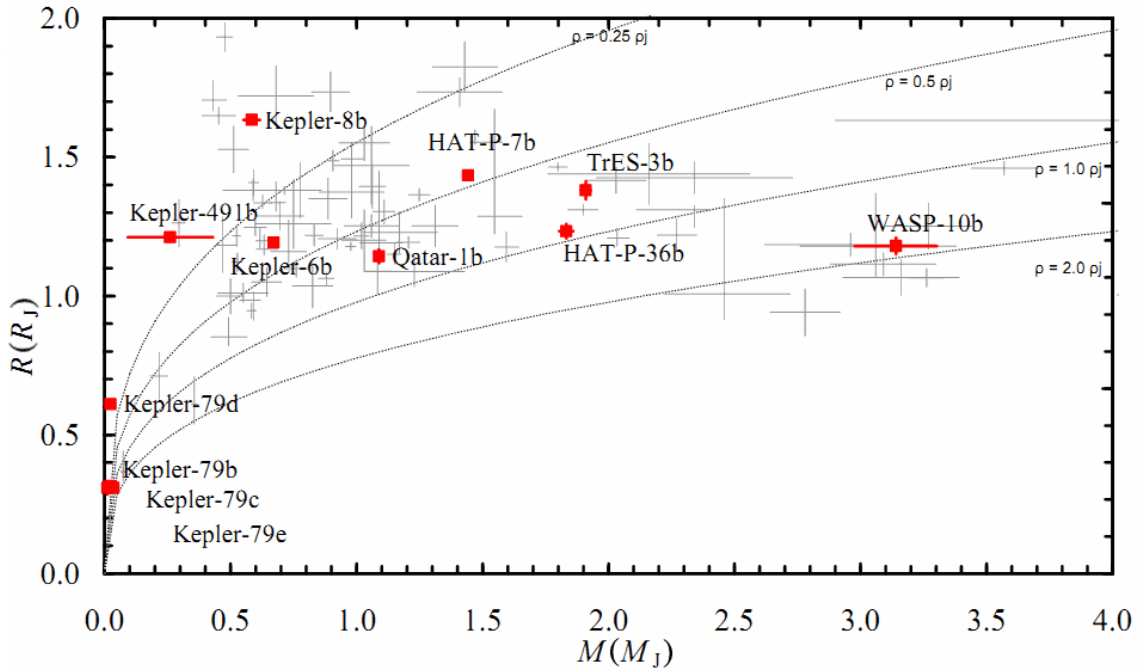
milikadır; Mancini ve ark. (2015) gözlem verileri duyarlılığı ise, 1,10 ile 1,30 milikadır aralığında değişmektedir. Bu çalışmada HAT-P-36b'nin ışık eğrilerinin duyarlılığı, $2 \leq \sigma_{\text{gözlem}} \text{ (mkadir)} \leq 4,8$ arasında kalmaktadır. Bir başka örnekte ise Sanchis-Ojeda ve ark. (2011) yer tabanlı teleskoplar kullandıkları WASP-4b'nin fotometrik çalışmalarında leke modelini uygulayabilmek amacıyla $\sigma_{\text{gözlem}} \text{ (mkadir)} \leq 0,5$ düzeyinde gözlemler elde etmişlerdir.



Şekil 5.1. Yıldızın etkin sıcaklığı (T_e)'ye karşılık gezegenin denge sıcaklığı (T'_{eq}) değişiminde kontur çizgileri üzerilerine yazılmış rakamlar, o çizginin a/R_* değerlerini göstermektedir. TrES-3b, Qatar-1b ve Kepler-8b, mavi ile renklendirilmiş, $a/R_* = 6$ çizgisine yakın görülmektedir

HAT-P-7b sisteminin, $T'_{\text{eq}} = 2207 \pm 5$ K olarak hesaplanan yüzey denge sıcaklığında mesafe nedeniyle yıldızın sıcaklığının payı büyüktür (Şekil 5.1). HAT-P-7b, $M_g = 1,682 M_J$ kütleli bir gezegendir. Sistemin Safronov sayısı $\Theta = 0,0487 \pm 0,0009$, Hansen ve Barman (2007)'e göre gezegenin, Kepler-6'ya benzer olarak ($\Theta = 0,0425 \pm 0,0014$) II. sınıf olduğunu göstermektedir. HAT-P-36 sisteminde $\Theta = 0,067 \pm 0,004$; TrES-3

sisteminde $\Theta = 0,068 \pm 0,003$ olarak bulunan değerler, I. Safronov sınıfını işaret etmektedir. Gezegenlerin kütleleri sırasıyla, $M_g = 1,832 M_J$ ve $1,910 M_J$ 'dir. Qatar-1b, $\Theta = 0,053$ değeriyle her iki sınıf arasında kalmaktadır. Gezegenin kütlesi, $M_g = 0,59 M_J$ olan Kepler-8 sistemi için hesaplanan Safronov sayısı, $\Theta = 0,0285 \pm 0,0021$ örnekler içindeki en küçük değerdir. Kepler-491b için bu çalışmada kullanılan kütle değeriyle Safronov sayısı, $\Theta = 0,0215 \pm 0,0141$ olarak hesaplanmıştır; bu değerle herhangi bir Safronov sınıfına girmemektedir; fakat gezegeninin düşük kütleli olduğu, $R_g = 1,220 \pm 0,005 R_J$ değerinde bulunan yarıçapının ise şişmiş olduğu düşünülürse, gezegen II. sınıf özelliklerine uymaktadır.



Şekil 5.2. Kütle-yarıçap diyagramı ve bu çalışmada incelenen gezegenlerin diyagramdaki yerleri (kare noktalar). Dağılımda, TEP-Cat verileri kullanılmıştır (çizgiler; Southworth, 2016) ve diyagramda yukarıdan aşağıya, sırasıyla, $\rho = 0,25; 0,5; 1,0$ ve $2,0 \rho_J$ yoğunluk eğrileri çizilmiştir

Kepler cisimlerinin ortalama modeli ile binning modeli arasında gözlenen fark, baskın olarak kenar kararım katsayısıyla (u) ilişkilidir. Tüm gezegenlerin binning modelinde, yıldızın kenar kararım katsayısı u_1 serbest bırakılarak yeniden hesaplanmıştır (bkz. 4.5. Bölüm). HAT-P-7b ve Kepler-8b binning modeli, yıldızın kenar kararım katsayılarında belirgin bir değişim belirlenmiştir. HAT-P-7 için u_1 , başlangıç değeri 0,532'den $0,468 \pm 0,012$ 'e %12; Kepler-8 için u_1 , başlangıç değeri 0,548'den

$0,572 \pm 0,039$ 'ye %4 oranında değişmiştir. HAT-P-7b'de hata sınırları dışına da çıkan bu değişim, yıldız yüzey sıcaklığının yeterli duyarlılıkta hesaplanamamış olmasından kaynaklanabilir. Esteves ve ark. (2015), sıcaklığı $T_e = 6350 \pm 80$ K verirken Wong ve ark. (2016), $T_e = 6441 \pm 69$ K olarak vermektedir. Kenar kararması düzeltmesine karşın model artıklarında görülen asimetrik yapı, modellerin dışında bir olgudur. Esteves ve ark. (2015), Morris ve ark. (2013), Van Eylen ve ark. (2013), HAT-P-7b'de benzer yapıyla karşılaşmışlardır.

WinFitter, yansıma etkisini empirik albedo ile hesaplanmaktadır (Denklem 3.14). Bu çalışmada empirik albedolar, HAT-P-7b için $E_2 = 0,241 \pm 0,006$; Kepler-8b için $E_2 = 0,120 \pm 0,020$ olarak hesaplanmıştır. Esteves ve ark. (2015), geometrik albedoları HAT-P-7b için $A_g = 0,204 \pm 0,007$; Kepler-8b için $A_g = 0,133 \pm 0,053$ olarak vermişlerdir. Empirik albedonun sıcaklığı doğrudan kullanması; bu nedenle gezegenin içsel ısıtmasını da kapsamaması nedeniyle, onu geometrik albedoyla eşit göremeyiz; fakat Budding ve ark. (2016)'nın belirttikleri gibi, A_g ile E_2 karacisim koşulunda eşit olacaktır (bkz. Denklem 3.14 ve 3.15). HAT-P-7b için hesaplanan empirik albedo değeri, geometrik albedosundan büyüktür; bu durum gezegenin ısıl ışınımının çok daha etkin olduğunu gösterirken; Kepler-8b için tersi geçerlidir; gezegen atmosferinin yansıtıcılığın görece yükselmesine neden olan bulutlarla kaplı olma ihtimali bulunmaktadır. HAT-P-7b için Esteves ve ark. (2015) gezegende ısıl ışınımın yansıyan ışık üzerinde etkin olabileceğini söylemişlerdir.

Yer tabanlı gözlenen gezegenler içinde sadece Qatar-1b için %6,5 FAP değerinde baskın sayılabilecek bir frekans yakalanmıştır. Bu frekans için tek cismin tedirginliğine dayalı sinüs modeli anlamlı olarak yorumlanabilir. Maciejewski ve ark. (2011) tarafından WASP-10b'de gözlenen TTV, üçüncü bir cisim olarak yorumlanmıştır. Kipping ve Bakos (2011), Kepler-6b'nin O-C analiziyle, $17,27 \pm 0,84$ gün dönemli, $19,7 \pm 5,0$ s genlikli bir değişimi, $2,6\sigma$ düzeyinde frekans ile yakalamışlardı. Bu frekansı yıldızın dönmesiyle ilişkilendirmişlerdi. Bu çalışmada zaman okumaları, *Kepler* verilerinin birleştirilmiş çeyreklerinden yapıldığı için Kepler-491b dışında O-C dağılımlarında sinüsel TTV araştırmasına gidilmemiştir.

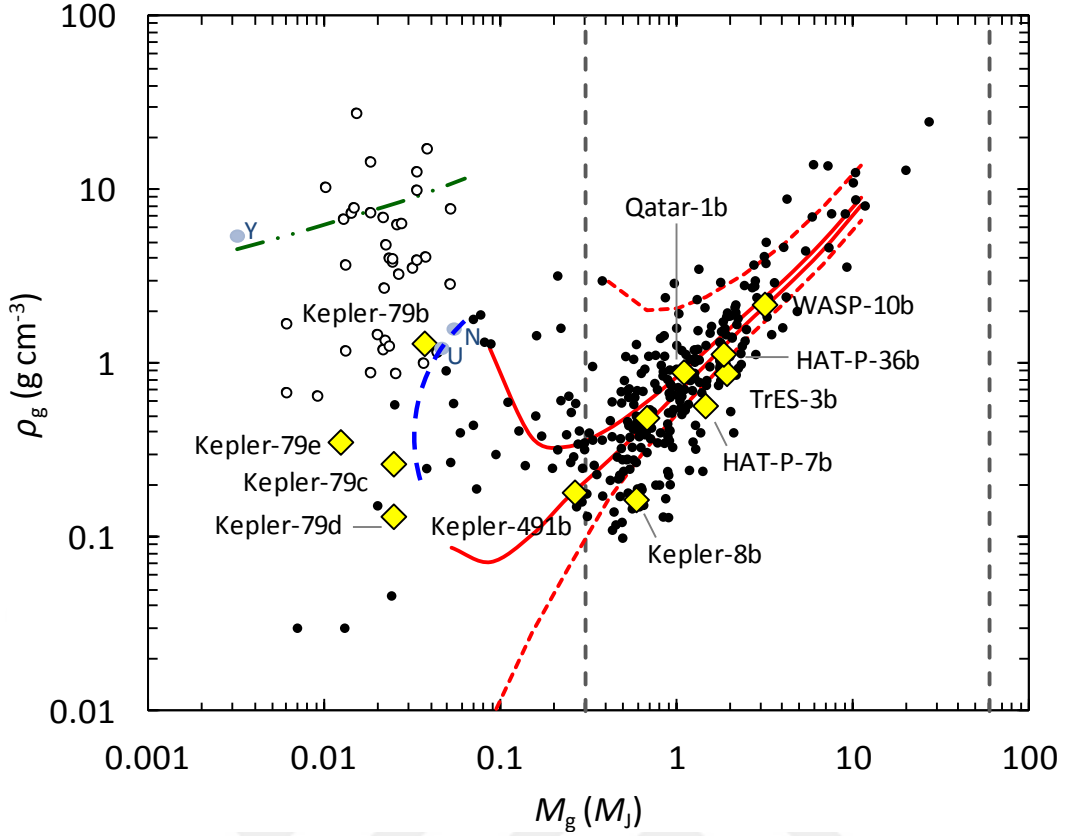
Kepler-491 sistemi ile ilgili fotometrik analizler ayrıntılı olarak ilk kez bu çalışmada verilmiştir. Gezegenin fotometrik kütlesi $M_g = 0,25 \pm 0,17 M_J$, yarıçapı $R_g = 1,220 \pm 0,005 R_J$; yıldızının yarıçapı, $R_g = 1,406 \pm 0,006 R_J$ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda yoğunluğu, $\rho = 0,138 \pm 0,089 \rho_J$ olan gezegen için $\langle F \rangle = 0,879 (\pm 0,019) \times 10^9$ erg $s^{-1} cm^{-2}$ bulunmuş olup, gezegenin yüzey sıcaklığı ($T'_{eq} = 1402 \pm 6$ K), Qatar-1b ve Kepler-6b'ye yakındır (bkz. Şekil 5.1). Gezegenin geçiş dışı verisi incelendiğinde

$P_{\text{geçiş dışı}} = 16,574$ gün dönemli bir salınım yakalanmıştır. Bu salınımın, $T_e = 5582$ K olan yıldızının etkin sıcaklığı göz önüne alındığında bir ya da iki soğuk leke kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Kepler-491b O-C dağılımı, Lomb-Scargle frekans analiziyle %5 FAP seviyesinin altında $P_{\text{ttv}} = 576,5 \pm 38,0$ güne karşılık gelen $f_{\text{ttv}} = 0,00733 \pm 0,00048$ baskın frekansı bulunmuş olup, bu frekansa karşılık gelen sinüs eğrisi geçiş zamanlarındaki hataların büyük olması nedeniyle birden küçük $\chi^2_{\text{ind}} = 0,36$ değerini vermektedir (Şekil 4.36). Kepler-491b'nin O-C dağılımında herbir değer, üç aylık dönemlerin ortalama zamanını göstermektedir. Yeterli çözünürlükte olmamasına rağmen O-C'de gözlenen bu uzun dönemli değişim, başka bir cisim olasılığını güçlendirmektedir.

Denklem 2.6 ile verilen Safronov sayısı, gezegenin ortalama yoğunluğu ve ona bağlı yüzey çekim ivme değeri kullanılarak yeniden düzenlenirse, her iki parametrenin de Θ ile doğrusal ters orantılı bir ilişki içinde olması beklenir. Fakat deneysel bulgular, bazı gezegenler için bu dağılımın desteklenmediğini göstermektedir. Bunun nedeni bu gezegenlerin beklenen kütle – yarıçap dağılımına uymamaları olarak görülür. Bu nedenle bilinen ötegezegenlerin ve bu çalışmadaki ötegezegenlerin kütle – yarıçap ilişkisi tartışılmıştır. Bunun için doğrulanan ötegezegenler içinden NEA veritabanı kullanılarak M_{\star} , M_g ve a değerleri bilinen 329 gezegenin $M_g - \rho_g$ değişimi çizdirilmiştir (bkz. Şekil 5.3). Değişimde noktalar, dev gezegenleri göstermektedir. Hatzes ve Rauer (2015)'e göre dev gezegenler, H/He miktarının azaldığı kütle değeri $M_g \approx 0,3 M_J$ 'den başlayıp kahverengi cüce yıldızlara geçilen $M_g = 60 M_J$ 'ye kadar olan bir aralıkta dağılmaktadır (bkz. Şekil 5.3'te kesikli gri çizgiler). Fortney ve ark. (2007) tarafından dev gezegenler için verilen H/He modelleri kullanılarak bu aralıkta modeller oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5.3'te kırmızı çizgiler). Dev gezegen dağılımında sınır modelleri oluşturmak için Fortney ve ark. (2007) tarafından hesaplanan en genç ve en yaşlı durum senaryoları kullanılmıştır. 300 Myıl yaşındaki 0,045 AB ayrıklığındaki ve katı çekirdeğin olmadığı (%0 M_{yer}) gezegen modeli yoğunlukları düşük olan dev gezegenleri; 4,5 Gyıl yaşındaki 0,95 AB ayrıklığındaki ve katı çekirdek oranı %100 M_{yer} olan gezegen modeli, yoğunlukları büyük olan dev gezegenleri temsil etmek için oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5.3'te kesikli kırmızı çizgiler). Sınır modellerinin dışında kalan noktalardan düşük yoğunluklu olanlar, şişmiş gezegenleri; büyük yoğunluklu olanlar ise ağır element barındıran katı çekirdeklere sahip olması gereken (belki de çok yaşlı) gezegenleri göstermektedir. Fortney ve ark. (2007), çekirdek modeli için buz ve kaya karışımı bir yapıyı dikkate almışlardır. Bu nedenle büyük yoğunluklu, küçük yarıçaplı dev gezegenler için modeller yaş sınırı nedeniyle de uyumlu görünmeyebilir. Sınır modelleri dışında iki ayrı model daha hesaplanmış ve çizdirilmiştir

(bkz. Şekil 5.3'te düz kırmızı çizgiler). Bu modellerden ilki, dev ve düşük kütleli gezegenler arasındaki farkı gösteren 300 Myıl yaşındaki 0,045 AB ayrıklığındaki ve katı çekirdek oranı %25 M_{yer} olan bir gezegenin H/He modelidir. Model, gözlemsel bulguları başarılı bir biçimde temsil etmektedir. İkinci model ise bu çalışmada ele alınan gezegenler için bir ortalama dağılım vermesi amacıyla oluşturulmuştur. Modelde 1 Gyıl yaşındaki 0,02 AB ayrıklığındaki ve katı çekirdek oranı %10 M_{yer} olan bir gezegen için H/He eğrisi üretilmiştir. Şişmiş Jüpiterler olan HAT-P-36b, TrES-3b, HAT-P-7b ve Kepler-8b beklendiği gibi model eğrisinin altında kalmaktadır. Diğer bir şişmiş Jüpiter olan Qatar-1b ise 6 Gyıl'dan büyük olan yaşı nedeniyle bu modelin dışında değerlendirilmelidir.

Hatzes ve ark. (2015)'na göre düşük kütleli gezegenler, $M_g \approx 0,3 M_J$ değerinden küçük kütleli gezegenleri kapsamalıdır. Bu gezegenlerin yoğunluk dağılımlarının çok geniş bir aralıkta olduğu bilinmektedir (bkz. Şekil 5.3). Bu gezegenler, Neptün benzeri ve üstü, Neptün altı, kara veya okyanus gezegenleri olabilir. Bu tür gezegenler içinde Fortney ve ark. (2007) tarafından verilen dev gezegenlerin H/He modelleriyle temsil edilebilen bir dağılım bulunmaktadır. Neptün benzeri, üstü ve dev altı gaz gezegenlerin birlikte bulunduğu bu dağılım, Neptün altı gezegenleri dağılımına kadar uzanarak sonlanır. Burada bir sınır çizerek (bkz. Şekil 5.3'te kesikli mavi eğri), bu sınırın yoğunlukları düşük olan tarafında yarıçapları Neptün'den daha büyük olan ($R_g > 4 R_{\text{yer}}$) cisimleri bırakabilir ve hem dev; hem de Neptün altı gezegenleri H/He modelleriyle temsil edilebiliriz (Fortney ve ark., 2007; Lopez ve Fortney, 2014). Bunun nedeni, $R_g \geq 3 R_{\text{yer}}$ olan Neptün altı gezegenlerde gezegenin diğer element bileşimi ne olursa olsun, H/He zarfının gezegenin yarıçapında belirleyici olmasını sağlayacak kadar baskın olmasıdır (Lopez ve Fortney, 2014). Düşük kütleli gezegenleri içeren bu dağılım içinde modellerle temsil edilemeyen ve yarıçapları $R_g \gtrsim 6,5 R_{\text{yer}}$ ve kütleleri $M_g \lesssim 7,5 R_{\text{yer}}$ olan Kepler-51b,c,d, Kepler-87c ve Kepler-79d'nin bulunduğu yoğunlukları çok düşük olan gezegenler göze çarpar. Bu gezegenlerin ortak noktaları, yörünge dönemlerinin görece büyük olmasıdır. Grup içinde en küçük yörünge dönemi $P = 45$ gün ile Kepler-51b'e aittir (Masuda, 2014). Yarıçapı $R_g = 6,827 \pm 0,062 R_{\text{yer}}$, yoğunluğu $\rho_d = 0,10 \pm 0,04 \text{ g cm}^{-3}$ olarak hesaplanan Kepler-79d'nin yörünge dönemi, $P = 52$ gündür (Jontof-Hutter ve ark., 2014). Bu gezegenlerin kütleleri, TTV analizleriyle belirlenmiştir. Weiss ve Marcy (2014)'e göre bazı durumlarda TTV'den hesaplanan kütleler, dikine hız ölçümleriyle hesaplanandan sistematik olarak daha küçük olmaktadır.



Şekil 5.3. Bu çalışmadaki 13 ve NEA'den alınan doğrulanmış 329 gezegenin $M_g - \rho_g$ değişimi. Hatzes ve Rauer (2015) tarafından verilen sınırlar $M_g = 0,3 M_J$ ve $M_g = 60 M_J$ kesikli düz çizgilerle gösterilmiştir. Neptün altı cisimleri ayırmak için mavi kesikli eğri kullanılmıştır. H/He modellerinde kesikli çizgiler, uç durumlara karşılık gelirken düz çizgilerden üstteki 300Myıl, alttaki ise 1Gyıl yaşındaki gezegenleri göstermektedir. Düşük kütleli büyük yoğunluklu gezegenler (çemberler) üzerine işaretlenmiş kesikli-noktalı çizgi ise Neptün altı cisimler için tam karasal gezegenlere geçişi gösterir model eğriyi temsil etmektedir (Lopez ve Fortney, 2014). Bu çalışmadaki gezegenler, çalışmada hesaplanan değerlere göre eşkenar dörtgenler ile işaretlenmiştir Neptün, Uranüs ve Yer'in diyagram üzerindeki konumları gezegenlerin baş harfleriyle gösterilmiştir

Yarıçapı $R_g \leq 4 R_{\text{yer}}$ olan Neptün kütesinden daha küçük ($M_g \leq 17 M_{\text{yer}}$) gezegenler, Şekil 5.3'te çemberlerle gösterilmiştir. Neptün altı gezegenlerin sınır değerleri Lopez ve Fortney (2014) tarafından $1,75 \leq R_g (R_{\text{yer}}) \leq 4$ olarak verilmektedir. Neptün altı gezegenler içinde yoğunluğu en büyük gezegenleri temsil edecek H/He modeli, Lopez ve Fortney (2014) tarafından verilen çizelgeler kullanılarak oluşturulmuştur. Bu model, 10 Gyıl yaşındaki H/He miktarının kütleyle oranı %0,01 olan ve atmosferindeki gazın en az oranda buharlaşmasını sağlayacak düşük yıldız ışınımı etkisi ($F = 0,1 F_{\text{yer}}$) altındaki bir gezegen

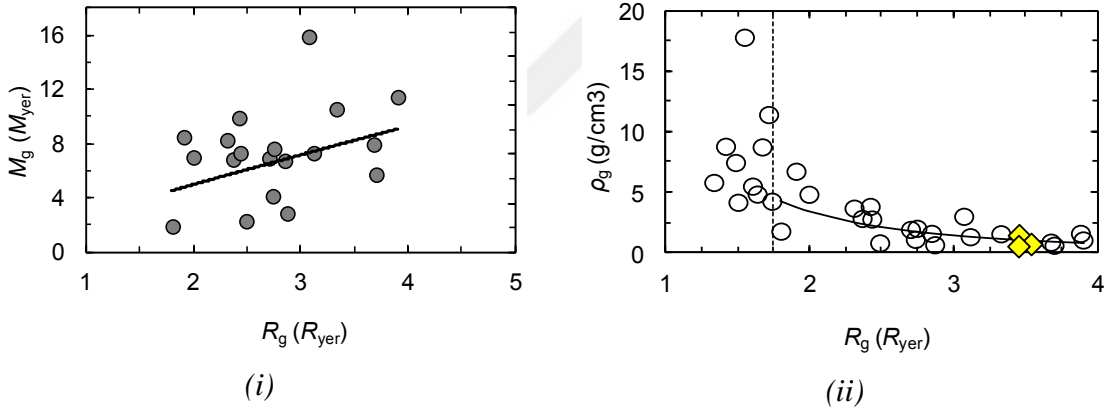
için verilmiştir (bkz. Şekil 5.3'te noktali-kesikli yeşil çizgi). Yarıçapları $3 < R_g (R_{yer}) < 4$ olan Kepler-79b,c,e, Neptün altı gezegenlere birer örnektir. Gezegenlerin yoğunlukları, Jontof-Hutter ve ark. (2014) tarafından verilen kütle değerleri kullanılarak sırasıyla, $\rho_b = 1,45 \pm 0,99 \text{ g cm}^{-3}$, $\rho_c = 0,73 \pm 0,29 \text{ g cm}^{-3}$ ve $\rho_e = 0,55 \pm 0,20 \text{ g cm}^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. Kepler-79 sisteminin TTV analizlerinden gelen kütle değerlerini doğrulamak ve karşılaştırmak için Neptün altı cisimlerin kütle-yarıçap ($M_g - R_g$) ilişkine bakılmıştır. Bunun için öncelikle Weiss ve Marcy (2014) tarafından verilen $M_g - R_g$ ilişkisine bakılmış; daha sonra Weiss ve Marcy (2014)'nin uygulaması, gezegenlerin güncellenen değerleriyle yeniden değerlendirilmiştir. Weiss ve Marcy (2014), $4 R_{yer}$ 'den küçük gezegenler için dağılımında gezegenlerin yoğunluklarının en küçük yarıçap değerinden $1,5 R_{yer}$ değerine kadar yer benzeri element bileşimine uyarak yarıçaplarıyla arttığını; $1,5 R_{yer}$ 'den büyük değerlerde yoğunlukların yarıçap ile azaldığını söylemişlerdir ve $1,5 < R_g (R_{yer}) \leq 4,0$ aralığındaki 43 gezegen için kütle-yarıçap ilişkisini, $\chi^2_{ind} = 3,5$ ve $\sigma_{R-M} = 3,56 M_{yer}$ istatistiksel şartlarıyla empirik olarak Denklem 5.1 ile vermişlerdir:

$$\frac{M_g}{M_{yer}} = 2,69 \left(\frac{R_g}{R_{yer}} \right)^{0,93} \quad (5.1)$$

Kepler-79b,c,e gezegenlerinin kütleleri, Denklem 5.1 kullanılarak sırasıyla, $M_b = 8,52 M_{yer}$; $M_c = 8,71 M_{yer}$; $M_e = 8,51 M_{yer}$ olarak hesaplanır. Bu çalışmada ise Neptün altı gaz gezegenlerin $M_g - R_g$ ilişkisini elde etmek için NEA veritabanından alınarak $M_g - \rho_g$ dağılımı oluşturulan gezegenlerden Lopez ve Fortney (2014) tarafından verilen yarıçap aralığına ($1,75 \leq R_g (R_{yer}) \leq 4$) düşen 19 gaz gezegenin tamamı seçilmiştir. Bu cisimler, Çizelge 5.3'te; cisimlerin $R_g - M_g$ dağılımı ise Şekil 5.4i'de yer almaktadır. Normal şartlar altında bu yarıçap aralığına kütleli (süper) Dünyalar da girmektedir. Büyük yoğunluklarına neden olan katı yapılarıyla Neptün altı gaz gezegenlerden ayrılan bu cisimler için kütlelerinin ulaşabileceği en üst değer, $M_g \sim 10 M_{yer}$ olmaktadır (Charbonneau ve ark., 2009). Fakat kütlesi $M_g = 16,3 M_{yer}$ olan BD+20 594b cismi, Yer içeriğine sahip bir gezegen tanımını almış sıradışı bir örnek olarak keşfedilmiş ve *Kepler* teleskobu ile doğrulanmıştır (Espinoza ve ark., 2016). $R_g - M_g$ dağılımına BD+20 594b ile 55 Cnce, HD97658b, Kepler-22b, HIP116454b ve GJ 1214b isimli diğer kütleli Dünyaları alınmamıştır.

Çizelge 5.3. $M_g - \rho_g$ dağılımındaki Neptün altı gaz gezegenleri parametreleri (NEA'den alınmıştır)

No.	Gezegen	$M_g (M_{yer})$	$R_g (R_{yer})$	$M_* (M_{\odot})$	$a (AB)$	Θ	$\rho (g\ cm^{-3})$
1	Kepler-11b	1,90	1,80	0,96	0,091	0,007	1,79
2	Kepler-20b	8,49	1,91	0,91	0,045	0,016	6,74
3	Kepler-18b	6,99	2,00	0,97	0,045	0,011	4,84
4	Kepler-68b	8,26	2,31	1,08	0,062	0,014	3,69
5	Kepler-454b	6,84	2,37	1,03	0,095	0,019	2,84
6	K2-38c	9,90	2,42	1,07	0,096	0,026	3,83
7	Kepler-289b	7,31	2,43	1,08	0,208	0,041	2,79
8	Kepler-11f	2,29	2,49	0,96	0,250	0,017	0,82
9	Kepler-80b	6,93	2,70	0,73	0,065	0,016	1,93
10	Kepler-289d	4,13	2,73	1,08	0,330	0,033	1,11
11	Kepler-20d	7,63	2,75	0,91	0,345	0,074	2,02
12	Kepler-80c	6,74	2,85	0,73	0,079	0,018	1,61
13	Kepler-11c	2,86	2,87	0,96	0,107	0,008	0,67
14	Kepler-20c	15,89	3,07	0,91	0,093	0,037	3,01
15	Kepler-11d	7,31	3,12	0,96	0,155	0,027	1,33
16	Kepler-11g	10,55	3,33	0,96	0,466	0,108	1,57
17	Kepler-36c	7,95	3,68	1,07	0,128	0,018	0,88
18	CoRoT-24b	5,72	3,70	0,91	0,056	0,007	0,62
19	Kepler-30b	11,44	3,90	0,99	0,180	0,038	1,06

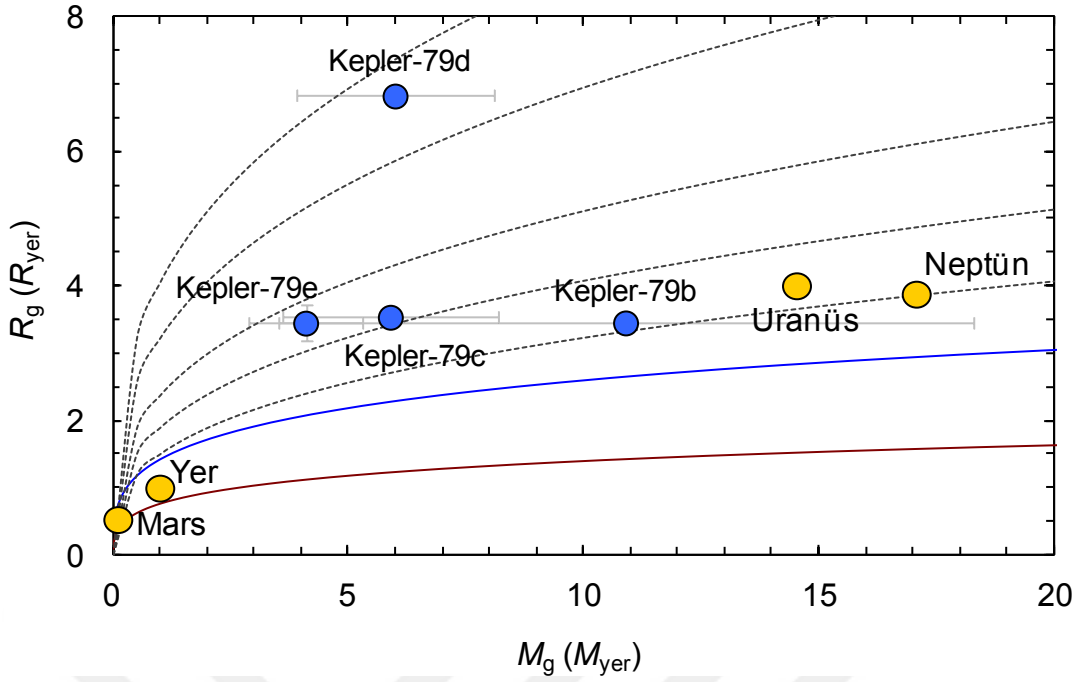


Şekil 5.4. (i) Neptün altı gaz gezegenlerin $R_g - M_g$ değişimi ve değişime uydurulan üstel eğri (bkz. Denklem 5.2). (ii) Bu gezegenlerin $R_g - \rho_g$ değişimi ve beklenen eğri. Dikey kesikli çizgi, $R_g = 1,75 R_{yer}$ çizgisidir. Kepler-79b,c,e'nin grafik içindeki yeri, eşkenar dörtgenlerle temsil edilmektedir

Bu 19 gezegenin, $\sigma_{R-M} = 3,23 M_{yer}$ değerini veren $R_g - M_g$ değişimi elde edilmiş (bkz. Şekil 5.4), üstel eğri uydurularak $\chi^2_{ind} = 1,8$ değerinde Denklem 5.2'e ulaşılmıştır:

$$\frac{M_g}{M_{yer}} = 2,67(\pm 1,76) \left(\frac{R_g}{R_{yer}} \right)^{0,90 \pm 0,55} \quad (5.2)$$

Denklem 5.2 kullanılarak Kepler-79b,c,e gezegenlerinin elde edilen tahmini kütleleri sırasıyla, $M_b = 8,15 M_{\text{yer}}$; $M_c = 8,33 M_{\text{yer}}$; $M_e = 8,14 M_{\text{yer}}$ 'dir. Kepler-79b,c,e ve seçilen ondokuz gezegenin $R_g - \rho_g$ değişimi ve Denklem 5.2 ile bulunan beklenen eğri, Şekil 5.4ii'de gösterilmektedir. Weiss ve Marcy (2014) belirttiği gibi Neptün altı gezegenlerde yoğunluğun yarıçapla azalmasının en olası nedeni, hacimdeki artışın kaynağı kayasal yapıdan uzaklaşmaları, H/He element oranının çoğalmasındır. Bu şartlar altında Kepler-79b'nin kütesinin, Jontof-Hutter ve ark. (2014) tarafından verilen değerden %43 daha küçük; Kepler-79c,e gezegenleri kütlelerinin, sırasıyla %7 ve %52 daha büyük olması beklenmelidir. Kepler-79b'nin Neptün altı bir gezegen olduğu açıktır. Fakat kütlesi nedeniyle yoğun bir gezegendir. Lopez ve Fortney (2014)'in ifade ettikleri gibi bu tür gezegenlerin toplam kütesinin neredeyse tamamı, çekirdeğinden gelmektedir. Lopez ve Fortney (2014) makalesinin 2. ve 4. denkleminde verilen bağıntılarla Jontof-Hutter ve ark. (2014) tarafından verilen kütle değeri kullanılarak gezegenin H/He miktarının kütleyle oranı %4,85 olan bir zarftan oluştuğu, kaya-demir çekirdeğinin gezegenin %53'ünü kapladığı belirlenmiştir. Kepler-79c ve Kepler-79e için de aynı hesaplamalar yapılırsa, gezegenlerin sırasıyla, H/He miktarı kütle kesirleri, %5,80 ve %5,85; kaya-demir çekirdeğinin toplam boyut içindeki oranı, %44 ve %41'dir. Kepler-79e için Denklem 5.2'den elde edilen kütle değeri $M_e = 8,14 M_{\text{yer}}$ dikkate alındığında çekirdeğin, gezegenin toplam yarıçapı içindeki payı %49'a çıkmaktadır ($R_{\text{çekirdek}}/R_{\text{toplam}} = 0,96$). Kepler-79 sisteminin üyeleri, Güneş sistemi gezegenleriyle karşılaştırıldığında bu cisimler, Uranüs ve Yer arasındaki kütle aralığına yerleşmektedir (bkz. Şekil 5.5). Benzer kütlelerdeki iki üyeden Kepler-79d, Neptün'ün %1'inden daha az yoğunken; Kepler-79c, %50 dolaylarında bir Neptün yoğunluğuna sahiptir. Bunun nedeni, Kepler-79d'nin toplam kütesinin %32,5'inin kaynağının gezegenin %77'sini kaplayan H/He zarfı olmasıdır. Lopez ve Fortney (2014), $\sim 10 M_{\text{yer}}$ 'den küçük gezegenlerde H/He zarfının toplam kütleyle oranının ~ 5 'den az ve yarıçapın kütlede bağımsız olduğunu; fakat $\sim 10 M_{\text{yer}}$ 'den büyük gezegenlere geçildiğinde Neptün altı gezegenlerden gaz devlere doğru sert bir yükselişle H/He zarfının kütle üzerinde baskın çıktığını söylemişlerdi. Kepler-79d, sistemin diğer üyeleriyle karşılaştırıldığında, bu durumu en iyi gösteren örneklerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı zamanda gezegen $T'_{\text{eq}} = 629 \pm 50$ K olarak hesaplanan denge sıcaklığı ile soğuk yüzeyi sayesinde atmosferini uzaklaştırmadan tutabilmektedir.



Şekil 5.5. Kepler-79 sistemi gezegenlerinin kütle-yarıçap dağılım grafiğindeki yerleri, Güneş sistemi gezegenleri ile birlikte gösterilmiştir. Düz çizgilerden en alttaki kusursuz demir, üstündeki ise kusursuz su gezegenleri için dağılım hattını temsil etmektedir. Kesikli çizgiler ise Neptün gezegeni yoğunluğuna göre kalibre edilmiş kuramsal çizgileri gösterip yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla, $\rho = 0,05; 0,1; 0,25; 0,5$ ve $1,0 \rho_N$ 'dir.

Doğrulanmış ötegezegenler için NEA'de verilen parametreler üzerinden gezegenin sıcaklığı bilinen ve Θ değeri hesaplanan 242 gezegenin $\Theta - T'_{eq}$, $M_g - T'_{eq}$ ve $\log g_g - T'_{eq}$ dağılımlarında Hansen ve Barman (2007) tarafından önerilen iki kümeli keskin bir ayırım gözlenmemiştir. Veri sayının artmasıyla Hansen ve Barman (2007) tarafından verilen sınırlar içinde bu tür bir sınıflama geçerliliğini yitirmektedir. Hansen ve Barman (2007) tarafından incelenmemiş olan $\Theta - e$ ilişkisi için NEA ve TEP-Cat parametre kataloglarına bakılmış ve $\Theta \geq 0,3$ değerinde, $e \neq 0$ olan sistemlerle karşılaşma olasılığının %46'dan %84'e çıktığı görülmüştür. Her ne kadar sınıfsal bir ayırım gözlenmemiş olsada, Θ 'nın fiziksel parametrelerle olan ilişkisi, Hansen ve Barman (2007)'in ifade ettikleri türde gözlenmeye devam etmektedir. Yukarıda özellikleri verilen Kepler-491b ve WASP-10b bu duruma iyi birer örnektir. Hansen ve Barman (2007)'e göre $\Theta - T'_{eq}$ değişimde görülen iki sınıflı dağılımda, en olası iki açıklama vardır: İlki gezegenin, gezegen öncesi maddeyle kütleçekimsel etkileşmesi sonucu yörünge küçültmesi; ikincisi gezegenin buharlaşma yoluyla kütle kaybetmesi şeklindedir. Eğer buharlaşma olasılığı söz konusuysa gezegendeki He miktarında azalma olmasıyla birlikte ortalama molekül ağırlığındaki

azalmanın bir sonucu olarak gezegen yarıçapında şişme meydana geleceğini söylemişlerdir. Şişmiş gezegenler olarak adlandırılan dev gezegenlerin yarıçaplarının büyümesi olgusunun Demory ve Seager (2011) ifade ettikleri gibi gezegen üzerine düşen akıyla ilişkili olduğu görülmüştür. Akı miktarı arttıkça yarıçapın büyümesi de artmaktadır. Aynı zamanda Hartman ve ark. (2016), bu gezegenlerin yarıçaplarının, yıldızlarının oransal yaşlarına bağlı olduğunu açıklamışlardır. Bu ilişki gezegenin yarıçapı ile denge sıcaklığı arasında çok daha güçlü bir bağ ortaya koyarken gezegenin yarıçapının yıldızının evrimleşip ışınım gücünün çoğalmasıyla zamanla arttığını da göstermiştir. Hartman ve ark. (2016), büyük ve küçük yarıçaplı gezegenleri yıldızlarının element bolluğunu $[Fe/H]$ karşılaştırmış; belirgin bir fark olmadığı sonucuna varmışlardır. Bu durumda bu çalışmada görüldüğü gibi metalce zengin ve fakir değerlendirilebilecek iki yıldız, TrES-3 ve Qatar-1 sistemleri karşılaştırmasında yıldız akısının etkisi öne çıkmaktadır. $a/R_{\star} \sim 6$ olan bu iki yıldız ve Kepler-8'in gezegenleri için $\langle F \rangle$ ile T'_{eq} ve R_g 'de gözlenen ilişki, Hartman ve ark. (2016) ile bu çalışmadaki bulguları doğrulamaktadır.

Yakın Jüpiterlerin yörünge küçültmesine yönelik kabul gören yaklaşımlardan ilki gezegenin çevresindeki gaz disk ile etkileşerek açılal momentum kaybetmesi; diğeri ise gezegenin gezegen öncesi maddeyle olan kütleçekimsel etkileşiminin bir sonucu olmasıdır. Lopez ve Fortney (2014), eğer gezegenin kaya çekirdeği $\sim 5-10 M_{yer}$ değerleri içinde ise oluşumu sırasında çevresindeki oluşum diskini temizleyecek; aynı zamanda güçlü bir gaz atmosfer tutacak kadar kütleyle erişmiş olacağını ve yakın gaz gezegenlerin bu yolla oluşmasının muhtemel olduğunu söylemektedirler.

Gezegen çalışmalarında keşif sayısının artmasıyla birlikte temel parametreler kütle ve yarıçap ilişkisi çok daha netleşmektedir. Elde edilen yaklaşımlar, gezegenlerin oluşumları, yapıları ve evrimleri hakkında bilgiler sunmaktadır. Tarihsel olarak yıldızları hakkında edindiğimiz bilgiler sayesinde gezegenlerin yaşları ve sıcaklıkları bilinebilmektedir. Büyük kütleli gezegenlerde iç ısı üreten mekanizmalar ise tartışılmaya devam etmektedir. Yörünge hareketlerine bakarak sistem içindeki başka olası cisimler çıkarılabilmektedir. Yörüngelerinin konumu ya da yıldızlarına olan uzaklıkları, oluşum kuramlarını ilgilendiren bir konu olarak tartışılmaktadır. Bunlar içinde sıcak Jüpiterlerin yıldızlarına olan yakınlıkları açıklanması gereken bir soru olarak beklemektedir. Bu konuda öne çıkan en önemli yaklaşım, gezegenin yörünge küçültmesidir. Bu açıdan bu çalışmada incelenen gezegenlerin içinde yörünge dönemleri $P < 5$ gün olan örnekler için yörünge küçülmesiyle sistemin belirlenen parametreleri arasında olabilecek bir ilişki ile karşılaşılmamıştır.

KAYNAKLAR

- Agol E., Steffen J., Sari R. ve Clarkson W., 2005. On detecting terrestrial planets with timing of giant planet transits. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 359: 567-579.
- Akeson R. L., Chen X., Ciardi D., Crane M., Good J., Harbut M., Jackson E., Kane S. R., Laity A. C., Leifer S., Lynn M., McElroy D. L., Papin M., Plavchan P., Ramirez S. V., Rey R., von Braun K., Wittman M., Abajian M., Ali B., Beichman C., Beekley A., Berriman G. B., Berukoff S., Bryden G., Chan B., Groom S., Lau C., Payne A. N., Regelson M., Saucedo M., Schmitz M., Stauffer J., Wyatt P. ve Zhang A., 2013. The NASA Exoplanet Archive: Data and Tools for Exoplanet Research. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 125: 989-999.
- Alonso R., Deeg H. J., Brown T. M. ve Belmonte J. A., 2004. STARE operations experience and its data quality control. *Astronomische Nachrichten*. 325: 594-597.
- Alsubai K. A., Parley N. R., Bramich D. M., West R. G., Sorensen P. M., Collier Cameron A., Latham D. W., Horne K., Anderson D. R., Bakos G. Á., Brown D. J. A., Buchhave L. A., Esquerdo G. A., Everett M. E., Fűrész G., Hartman J. D., Hellier C., Miller G. M., Pollacco D., Quinn S. N., Smith J. C., Stefanik R. P. ve Szentgyorgyi A., 2011. Qatar-1b: a hot Jupiter orbiting a metal-rich K dwarf star. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 417: 709-716.
- Anglada-Escudé G., Amado P. J., Barnes J., Berdiñas Z. M., Butler R. P., Coleman G. A. L., de La Cueva I., Dreizler S., Endl M., Giesers B., Jeffers S. V., Jenkins J. S., Jones H. R. A., Kiraga M., Kürster M., López-González M. J., Marvin C. J., Morales N., Morin J., Nelson R. P., Ortiz J. L., Ofir A., Paardekooper S.-J., Reiners A., Rodríguez E., Rodríguez-López C., Sarmiento L. F., Strachan J. P., Tsapras Y., Tuomi M. ve Zechmeister M., 2016. A terrestrial planet candidate in a temperate orbit around Proxima Centauri. *Nature*. 536: 437-440.
- Armitage P. J., 2009. *Astrophysics of Planet Formation*. Cambridge University Press, Cambridge. 296 p.
- Arras P. ve Socrates A., 2010. Thermal Tides in Fluid Extrasolar Planets. *The Astrophysical Journal*. 714: 1-12.

- Bakos G. Á., Hartman J. D., Torres G., Béky B., Latham D. W., Buchhave L. A., Csubry Z., Kovács G., Bieryla A., Quinn S., Szklenár T., Esquerdo G. A., Shporer A., Noyes R. W., Fischer D. A., Johnson J. A., Howard A. W., Marcy G. W., Sato B., Penev K., Everett M., Sasselov D. D., Furész G., Stefanik R. P., Lázár J., Papp I. ve Sári P., 2012. HAT-P-34b-HAT-P-37b: Four Transiting Planets More Massive than Jupiter Orbiting Moderately Bright Stars. *The Astronomical Journal*. 144: 19.
- Bakos G. Á., Lázár J., Papp I., Sári P. ve Green E. M., 2002. System Description and First Light Curves of the Hungarian Automated Telescope, an Autonomous Observatory for Variability Search. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 114: 974-987.
- Barclay T., Huber D., Rowe J. F., Fortney J. J., Morley C. V., Quintana E. V., Fabrycky D. C., Barentsen G., Bloemen S., Christiansen J. L., Demory B.-O., Fulton B. J., Jenkins J. M., Mullally F., Ragozzine D., Seader S. E., Shporer A., Tenenbaum P. ve Thompson S. E., 2012. Photometrically Derived Masses and Radii of the Planet and Star in the TrES-2 System. *The Astrophysical Journal*. 761: 53.
- Barros S. C. C., Boué G., Gibson N. P., Pollacco D. L., Santerne A., Keenan F. P., Skillen I. ve Street R. A., 2013. Transit timing variations in WASP-10b induced by stellar activity. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 430: 3032-3047.
- Basri G. ve Brown M. E., 2006. Planetesimals to Brown Dwarfs: What is a Planet? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 34: 193-216.
- Batalha N. M., 2014. Exploring exoplanet populations with NASA's Kepler Mission. *Proceedings of the National Academy of Science*. 111: 12647-12654.
- Beatty T. G. ve Seager S., 2010. Transit Probabilities for Stars with Stellar Inclination Constraints. *The Astrophysical Journal*. 712: 1433-1442.
- Berta Z. K., Charbonneau D., Bean J., Irwin J., Burke C. J., Désert J.-M., Nutzman P. ve Falco E. E., 2011. The GJ1214 Super-Earth System: Stellar Variability, New Transits, and a Search for Additional Planets. *The Astrophysical Journal*. 736: 12.
- Bevington P. R., 1969. *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences* McGraw Hill Book Co., NY.
- Borucki W. J., Koch D. G., Dunham E. W. ve Jenkins J. M., 1997. *The Kepler Mission: A*

- Mission To Determine The Frequency Of Inner Planets Near The Habitable Zone For A Wide Range Of Stars. *Planets Beyond the Solar System and the Next Generation of Space Missions*. 119: 153.
- Budding E., 1974. Calculations of Proximity Effects in Close Binary Systems. *Astrophysics and Space Science*. 29: 17-39.
- Budding E. ve Demircan O., 2007. *Introduction to Astronomical Photometry* (2nd ed.). Cambridge University Press, Cambridge. 247-276.
- Budding E. ve Najim N. N., 1980. The system VV ORI and the consistency of photometric analysis of eclipsing binary light curves. *Astrophysics and Space Science*. 72: 369-396.
- Budding E., Püsküllü Ç., Rhodes M. D., Demircan O. ve Erdem A., 2016a. Analysis of the exoplanet containing system Kepler-91. *Astrophysics and Space Science*. 361: 17.
- Budding E., Rhodes M. D., Püsküllü Ç., Ji Y., Erdem A. ve Banks T., 2016b. Photometric analysis of the system Kepler-1. *Astrophysics and Space Science*. 361: 346.
- Budding E. ve Zeilik M., 1987. An analysis of the light curves of short-period RS Canum Venaticorum stars - Starspots and fundamental properties. *The Astrophysical Journal*. 319: 827-835.
- Burrows A. S., 2014. Highlights in the study of exoplanet atmospheres. *Nature*. 513: 345-352.
- Burrows A., Hubbard W. B., Lunine J. I. ve Liebert J., 2001. The theory of brown dwarfs and extrasolar giant planets. *Reviews of Modern Physics*. 73: 719-765.
- Carter J. A., Winn J. N., Holman M. J., Fabrycky D., Berta Z. K., Burke C. J. ve Nutzman P., 2011. The Transit Light Curve Project. XIII. Sixteen Transits of the Super-Earth GJ 1214b. *The Astrophysical Journal*. 730: 82.
- Charbonneau D., Berta Z. K., Irwin J., Burke C. J., Nutzman P., Buchhave L. A., Lovis C., Bonfils X., Latham D. W., Udry S., Murray-Clay R. A., Holman M. J., Falco E. E., Winn J. N., Queloz D., Pepe F., Mayor M., Delfosse X. ve Forveille T., 2009. A super-Earth transiting a nearby low-mass star. *Nature*. 462: 891-894.
- Charbonneau D., Brown T. M., Latham D. W. ve Mayor M., 2000. Detection of Planetary

- Transits Across a Sun-like Star. *The Astrophysical Journal Letters*. 529: L45-L48.
- Christian D. J., Gibson N. P., Simpson E. K., Street R. A., Skillen I., Pollacco D., Collier Cameron A., Joshi Y. C., Keenan F. P., Stempels H. C., Haswell C. A., Horne K., Anderson D. R., Bentley S., Bouchy F., Clarkson W. I., Enoch B., Hebb L., Hébrard G., Hellier C., Irwin J., Kane S. R., Lister T. A., Loeillet B., Maxted P., Mayor M., McDonald I., Moutou C., Norton A. J., Parley N., Pont F., Queloz D., Ryans R., Smalley B., Smith A. M. S., Todd I., Udry S., West R. G., Wheatley P. J. ve Wilson D. M., 2009. WASP-10b: a $3M_J$, gas-giant planet transiting a late-type K star. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 392: 1585-1590.
- Christiansen J. L., Ballard S., Charbonneau D., Deming D., Holman M. J., Madhusudhan N., Seager S., Wellnitz D. D., Barry R. K., Livengood T. A., Hewagama T., Hampton D. L., Lisse C. M. ve A'Hearn M. F., 2011. System Parameters, Transit Times, and Secondary Eclipse Constraints of the Exoplanet Systems HAT-P-4, TrES-2, TrES-3, and WASP-3 from the NASA EPOXI Mission of Opportunity. *The Astrophysical Journal*. 726: 94.
- Claret A. ve Bloemen S., 2011. Gravity and limb-darkening coefficients for the Kepler, CoRoT, Spitzer, uvby, UBVR_IJHK, and Sloan photometric systems. *Astronomy and Astrophysics*. 529: A75.
- Collins K. ve Kielkopf J., 2013. AstroImageJ: ImageJ for Astronomy.
- Collins K. A., Kielkopf J. F. ve Stassun K. G., 2017. Transit Timing Variation Measurements of WASP-12b and Qatar-1b: No Evidence Of Additional Planets. *The Astronomical Journal*. 153: 78.
- Colón K. D., Ford E. B., Lee B., Mahadevan S. ve Blake C. H., 2010. Characterizing transiting extrasolar planets with narrow-band photometry and GTC/OSIRIS. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 408: 1494-1501.
- Coughlin J. L., 2013. Fundamental Parameters of Exoplanets and Their Host Stars. arXiv.
- Covino E., Esposito M., Barbieri M., Mancini L., Nascimbeni V., Claudi R., Desidera S., Gratton R., Lanza A. F., Sozzetti A., Biazzo K., Affer L., Gandolfi D., Munari U., Pagano I., Bonomo A. S., Collier Cameron A., Hébrard G., Maggio A., Messina S., Micela G., Molinari E., Pepe F., Piotto G., Ribas I., Santos N. C., Southworth J.,

- Shkolnik E., Triaud A. H. M. J., Bedin L., Benatti S., Boccato C., Bonavita M., Borsa F., Borsato L., Brown D., Carolo E., Ciceri S., Cosentino R., Damasso M., Faedi F., Martinez Fiorenzano A. F., Latham D. W., Lovis C., Mordasini C., Nikolov N., Poretti E., Rainer M., Rebolo López R., Scandariato G., Silvotti R., Smareglia R., Alcalá J. M., Cunial A., Di Fabrizio L., Di Mauro M. P., Giacobbe P., Granata V., Harutyunyan A., Knapic C., Lattanzi M., Leto G., Lodato G., Malavolta L., Marzari F., Molinaro M., Nardiello D., Pedani M., Prisinzano L. ve Turrini D., 2013. The GAPS programme with HARPS-N at TNG. I. Observations of the Rossiter-McLaughlin effect and characterisation of the transiting system Qatar-1. *Astronomy and Astrophysics*. 554: A28.
- Cowan N. B., Fuentes P. A. ve Haggard H. M., 2013. Light curves of stars and exoplanets: estimating inclination, obliquity and albedo. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 434: 2465-2479.
- Cox, Arthur N., ed. 2002. *Allen's Astrophysical Quantities* Springer Nature.
- Croll B., Jayawardhana R., Fortney J. J., Lafrenière D. ve Albert L., 2010. Near-infrared Thermal Emission from TrES-3b: A Ks-band Detection and an H-band Upper Limit on the Depth of the Secondary Eclipse. *The Astrophysical Journal*. 718: 920-927.
- de Mooij E. J. W. ve Snellen I. A. G., 2009. Ground-based K-band detection of thermal emission from the exoplanet TrES-3b. *Astronomy and Astrophysics*. 493: L35-L38.
- Deleuil M., Barge P., Leger A. ve Schneider J., 1997. Detection of Earth-Sized Planets with the COROT Space Mission. *Planets Beyond the Solar System and the Next Generation of Space Missions*. 119: 259.
- Deming D., Seager S., Richardson L. J. ve Harrington J., 2005. Infrared radiation from an extrasolar planet. *Nature*. 434: 740-743.
- Demory B.-O. ve Seager S., 2011. Lack of Inflated Radii for Kepler Giant Planet Candidates Receiving Modest Stellar Irradiation. *The Astrophysical Journal Supplement Series*. 197: 12.
- Demory B.-O., Ehrenreich D., Queloz D., Seager S., Gilliland R., Chaplin W. J., Proffitt C., Gillon M., Günther M. N., Benneke B., Dumusque X., Lovis C., Pepe F., Ségransan D., Triaud A. ve Udry S., 2015. Hubble Space Telescope search for the

- transit of the Earth-mass exoplanet α Centauri B b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 450: 2043-2051.
- Dittmann J. A., Close L. M., Green E. M. ve Fenwick M., 2009. A Tentative Detection of a Starspot During Consecutive Transits of an Extrasolar Planet from the Ground: No Evidence of a Double Transiting Planet System Around TrES-1. *The Astrophysical Journal*. 701: 756-763.
- Donahue R. A., Saar S. H. ve Baliunas S. L., 1996. A Relationship between Mean Rotation Period in Lower Main-Sequence Stars and Its Observed Range. *The Astrophysical Journal*. 466: 384.
- Dressing C. D. ve Charbonneau D., 2013. The Occurrence Rate of Small Planets around Small Stars. *The Astrophysical Journal*. 767: 95.
- Dumusque X., Pepe F., Lovis C., Ségransan D., Sahlmann J., Benz W., Bouchy F., Mayor M., Queloz D., Santos N. ve Udry S., 2012. An Earth-mass planet orbiting α Centauri B. *Nature*. 491: 207-211.
- Dunham E. W., Borucki W. J., Koch D. G., Batalha N. M., Buchhave L. A., Brown T. M., Caldwell D. A., Cochran W. D., Endl M., Fischer D., Fűrész G., Gautier III, T. ., Geary J. C., Gilliland R. L., Gould A., Howell S. B., Jenkins J. M., Kjeldsen H., Latham D. W., Lissauer J. J., Marcy G. W., Meibom S., Monet D. G., Rowe J. F. ve Sasselov D. D., 2010. Kepler-6b: A Transiting Hot Jupiter Orbiting a Metal-rich Star. *The Astrophysical Journal Letters*. 713: L136-L139.
- Dunham E. W., Mandushev G. I., Taylor B. W. ve Oetiker B., 2004. PSST: The Planet Search Survey Telescope. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 116: 1072-1080.
- Eastman J., Siverd R. ve Gaudi B. S., 2010. Achieving Better Than 1 Minute Accuracy in the Heliocentric and Barycentric Julian Dates. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 122: 935-946.
- Espinoza N., Brahm R., Jordán A., Jenkins J. S., Rojas F., Jofré P., Mädler T., Rabus M., Chanamé J., Pantoja B., Soto M. G., Morzinski K. M., Males J. R., Ward-Duong K. ve Close L. M., 2016. Discovery and Validation of a High-Density sub-Neptune from the K2 Mission. *The Astrophysical Journal*. 830: 43.

- Esteves L. J., De Mooij E. J. W. ve Jayawardhana R., 2015. Changing Phases of Alien Worlds: Probing Atmospheres of Kepler Planets with High-precision Photometry. *The Astrophysical Journal*. 804: 150.
- Exoplanets Data Explorer*. (b.t.). 06 Aralık 2016. <http://exoplanets.org/>
- Fischer D. A., Howard A. W., Laughlin G. P., Macintosh B., Mahadevan S., Sahlmann J. ve Yee J. C., 2014. Exoplanet Detection Techniques. *Protostars and Planets VI*. 715-737.
- Fletcher L. N., Irwin P. G. J., Barstow J. K., de Kok R. J., Lee J.-M. ve Aigrain S., 2014. Exploring the Diversity of Jupiter-Class Planets (Discussion Meeting Contribution). arXiv.
- Fortney J. J., Lodders K., Marley M. S. ve Freedman R. S., 2008. A Unified Theory for the Atmospheres of the Hot and Very Hot Jupiters: Two Classes of Irradiated Atmospheres. *The Astrophysical Journal*. 678: 1419-1435.
- Fortney J. J., Marley M. S. ve Barnes J. W., 2007. Planetary Radii across Five Orders of Magnitude in Mass and Stellar Insolation: Application to Transits. *The Astrophysical Journal*. 659: 1661-1672.
- Fressin F., Torres G., Charbonneau D., Bryson S. T., Christiansen J., Dressing C. D., Jenkins J. M., Walkowicz L. M. ve Batalha N. M., 2013. The False Positive Rate of Kepler and the Occurrence of Planets. *The Astrophysical Journal*. 766: 81.
- Fukui A., Narita N., Tristram P. J., Sumi T., Abe F., Itow Y., Sullivan D. J., Bond I. A., Hirano T., Tamura M., Bennett D. P., Furusawa K., Hayashi F., Hearnshaw J. B., Hosaka S., Kamiya K., Kobara S., Korpela A., Kilmartin P. M., Lin W., Ling C. H., Makita S., Masuda K., Matsubara Y., Miyake N., Muraki Y., Nagaya M., Nishimoto K., Ohnishi K., Omori K., Perrott Y., Rattenbury N., Saito T., Skuljan L., Suzuki D., Sweatman W. L. ve Wada K., 2011. Measurements of Transit Timing Variations for WASP-5b. *Publications of the Astronomical Society of Japan*. 63: 287-.
- Gibson N. P., Pollacco D., Simpson E. K., Barros S., Joshi Y. C., Todd I., Keenan F. P., Skillen I., Benn C., Christian D., Hrudková M. ve Steele I. A., 2009. A Transit Timing Analysis of Nine Rise Light Curves of the Exoplanet System TrES-3. *The Astrophysical Journal*. 700: 1078-1085.

- Gilliland R. L., Chaplin W. J., Dunham E. W., Argabright V. S., Borucki W. J., Basri G., Bryson S. T., Buzasi D. L., Caldwell D. A., Elsworth Y. P., Jenkins J. M., Koch D. G., Kolodziejczak J., Miglio A., van Cleve J., Walkowicz L. M. ve Welsh W. F., 2011. Kepler Mission Stellar and Instrument Noise Properties. *The Astrophysical Journal Supplement Series*. 197: 6.
- Gilliland R. L., Jenkins J. M., Borucki W. J., Bryson S. T., Caldwell D. A., Clarke B. D., Dotson J. L., Haas M. R., Hall J., Klaus T., Koch D., McCauliff S., Quintana E. V., Twicken J. D. ve van Cleve J. E., 2010. Initial Characteristics of Kepler Short Cadence Data. *The Astrophysical Journal Letters*. 713: L160-L163.
- Hadden S. ve Lithwick Y., 2017. Kepler Planet Masses and Eccentricities from Transit Timing Variations. *American Astronomical Society Meeting Abstracts*. 229: 401.03.
- Han E., Wang S. X., Wright J. T., Feng Y. K., Zhao M., Fakhouri O., Brown J. I. ve Hancock C., 2014. Exoplanet Orbit Database. II. Updates to Exoplanets.org. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 126: 827-837.
- Hansen B. M. S. ve Barman T., 2007. Two Classes of Hot Jupiters. *The Astrophysical Journal*. 671: 861-871.
- Hartman J. D., Bakos G. Á., Bhatti W., Penev K., Bieryla A., Latham D. W., Kovács G., Torres G., Csubry Z., de Val-Borro M., Buchhave L., Kovács T., Quinn S., Howard A. W., Isaacson H., Fulton B. J., Everett M. E., Esquerdo G., Béky B., Szklenar T., Falco E., Santerne A., Boisse I., Hébrard G., Burrows A., Lázár J., Papp I. ve Sári P., 2016. HAT-P-65b and HAT-P-66b: Two Transiting Inflated Hot Jupiters and Observational Evidence for the Reinflation of Close-in Giant Planets. *The Astronomical Journal*. 152: 182.
- Hatzes A. P. ve Rauer H., 2015. A Definition for Giant Planets Based on the Mass-Density Relationship. *The Astrophysical Journal Letters*. 810: L25.
- Hidas M. G., Ashley M. C. B., Webb J. K., Irwin M., Phillips A., Toyozumi H., Derekas A., Christiansen J. L., Nutto C. ve Crothers S., 2005. The University of New South Wales Extrasolar Planet Search: methods and first results from a field centred on NGC 6633. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 360: 703-717.
- Holman M. J. ve Murray N. W., 2005. The Use of Transit Timing to Detect Terrestrial-

- Mass Extrasolar Planets. *Science*. 307: 1288-1291.
- Horne J. H. ve Baliunas S. L., 1986. A prescription for period analysis of unevenly sampled time series. *The Astrophysical Journal*. 302: 757-763.
- Howell S. B., Sobeck C., Haas M., Still M., Barclay T., Mullally F., Troeltzsch J., Aigrain S., Bryson S. T., Caldwell D., Chaplin W. J., Cochran W. D., Huber D., Marcy G. W., Miglio A., Najita J. R., Smith M., Twicken J. D. ve Fortney J. J., 2014. The K2 Mission: Characterization and Early Results. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 126: 398-408.
- Ioannidis P., Schmitt J. H. M. M., Avdellidou C., von Essen C. ve Agol E., 2014. Kepler-210: An active star with at least two planets. *Astronomy and Astrophysics*. 564: A33.
- Isaacman R. ve Sagan C., 1977. Computer simulations of planetary accretion dynamics - Sensitivity to initial conditions. *Icarus*. 31: 510-533.
- Jenkins J. M., Borucki W. J., Koch D. G., Marcy G. W., Cochran W. D., Welsh W. F., Basri G., Batalha N. M., Buchhave L. A., Brown T. M., Caldwell D. A., Dunham E. W., Endl M., Fischer D. A., Gautier III, T. ., Geary J. C., Gilliland R. L., Howell S. B., Isaacson H., Johnson J. A., Latham D. W., Lissauer J. J., Monet D. G., Rowe J. F., Sasselov D. D., Howard A. W., MacQueen P., Orosz J. A., Chandrasekaran H., Twicken J. D., Bryson S. T., Quintana E. V., Clarke B. D., Li J., Allen C., Tenenbaum P., Wu H., Meibom S., Klaus T. C., Middour C. K., Cote M. T., McCauliff S., Girouard F. R., Gunter J. P., Wohler B., Hall J. R., Ibrahim K., Kamal Uddin A., Wu M. S., Bhavsar P. A., Van Cleve J., Pletcher D. L., Dotson J. L. ve Haas M. R., 2010. Discovery and Rossiter-McLaughlin Effect of Exoplanet Kepler-8b. *The Astrophysical Journal*. 724: 1108-1119.
- Jontof-Hutter D., Lissauer J. J., Rowe J. F. ve Fabrycky D. C., 2014. Kepler-79's Low Density Planets. *The Astrophysical Journal*. 785: 15.
- Kipping D. ve Bakos G., 2011. An Independent Analysis of Kepler-4b Through Kepler-8b. *The Astrophysical Journal*. 730: 50.
- Kopal Z., 1959. Close binary systems. Chapman & Hall, London. 558 p.
- Kundurthy P., Becker A. C., Agol E., Barnes R. ve Williams B., 2013. APOSTLE: 11 Transit Observations of TrES-3b. *The Astrophysical Journal*. 764: 8.

- Lee J. W., Youn J.-H., Kim S.-L., Lee C.-U. ve Koo J.-R., 2011. Physical Properties of the Transiting Planetary System TrES-3. *Publications of the Astronomical Society of Japan*. 63: 301-.
- Lithwick Y., Xie J. ve Wu Y., 2012. Extracting Planet Mass and Eccentricity from TTV Data. *The Astrophysical Journal*. 761: 122.
- Llama J., Vidotto A. A., Jardine M., Wood K., Fares R. ve Gombosi T. I., 2013. Exoplanet transit variability: bow shocks and winds around HD 189733b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 436: 2179-2187.
- Lomb N. R., 1976. Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophysics and Space Science*. 39: 447-462.
- Lopez E. D. ve Fortney J. J., 2014. Understanding the Mass-Radius Relation for Sub-neptunes: Radius as a Proxy for Composition. *The Astrophysical Journal*. 792: 1.
- López-Morales M. ve Seager S., 2007. Thermal Emission from Transiting Very Hot Jupiters: Prospects for Ground-based Detection at Optical Wavelengths. *The Astrophysical Journal Letters*. 667: L191-L194.
- Maciejewski G., Dimitrov D., Neuhäuser R., Tetzlaff N., Niedzielski A., Raetz S., Chen W. P., Walter F., Marka C., Baar S., Krejcová T., Budaj J., Krushevska V., Tachihara K., Takahashi H. ve Mugrauer M., 2011. Transit timing variation and activity in the WASP-10 planetary system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 411: 1204-1212.
- Maciejewski G., Fernández M., Aceituno F. J., Ohlert J., Puchalski D., Dimitrov D., Seeliger M., Kitze M., Raetz S., Errmann R., Gilbert H., Pannicke A., Schmidt J.-G. ve Neuhäuser R., 2015. No variations in transit times for Qatar-1 b. *Astronomy and Astrophysics*. 577: A109.
- Maciejewski G., Raetz S., Nettelmann N., Seeliger M., Adam C., Nowak G. ve Neuhäuser R., 2011. Analysis of new high-precision transit light curves of WASP-10 b: starspot occultations, small planetary radius, and high metallicity. *Astronomy and Astrophysics*. 535: A7.
- Mancini L., Esposito M., Covino E., Raia G., Southworth J., Tregloan-Reed J., Biazzo K., Bonomo A. S., Desidera S., Lanza A. F., Maciejewski G., Poretti E., Sozzetti A.,

- Borsa F., Bruni I., Ciceri S., Claudi R., Cosentino R., Gratton R., Martinez Fiorenzano A. F., Lodato G., Lorenzi V., Marzari F., Murabito S., Affer L., Bignamini A., Bedin L. R., Boccato C., Damasso M., Henning T., Maggio A., Micela G., Molinari E., Pagano I., Piotto G., Rainer M., Scandariato G., Smareglia R. ve Zanmar Sanchez R., 2015. The GAPS Programme with HARPS-N at TNG. VIII. Observations of the Rossiter-McLaughlin effect and characterisation of the transiting planetary systems HAT-P-36 and WASP-11/HAT-P-10. *Astronomy and Astrophysics*. 579: A136.
- Masuda K., 2014. Very Low Density Planets around Kepler-51 Revealed with Transit Timing Variations and an Anomaly Similar to a Planet-Planet Eclipse Event. *The Astrophysical Journal*. 783: 53.
- Mayor M. ve Queloz D., 1995. A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature*. 378: 355-359.
- Mazeh T., Nachmani G., Holczer T., Fabrycky D. C., Ford E. B., Sanchis-Ojeda R., Sokol G., Rowe J. F., Zucker S., Agol E., Carter J. A., Lissauer J. J., Quintana E. V., Ragozzine D., Steffen J. H. ve Welsh W., 2013. Transit Timing Observations from Kepler. VIII. Catalog of Transit Timing Measurements of the First Twelve Quarters. *The Astrophysical Journal Supplement Series*. 208: 16.
- Mazeh T., Naef D., Torres G., Latham D. W., Mayor M., Beuzit J.-L., Brown T. M., Buchhave L., Burnet M., Carney B. W., Charbonneau D., Drukier G. A., Laird J. B., Pepe F., Perrier C., Queloz D., Santos N. C., Sivan J.-P., Udry S. ve Zucker S., 2000. The Spectroscopic Orbit of the Planetary Companion Transiting HD 209458. *The Astrophysical Journal Letters*. 532: L55-L58.
- McCullough P. R., Stys J. E., Valenti J. A., Fleming S. W., Janes K. A. ve Heasley J. N., 2005. The XO Project: Searching for Transiting Extrasolar Planet Candidates. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 117: 783-795.
- Mendez A., (2 Ekim 2011). A Mass Classification for both Solar and Extrasolar Planets. 6 Aralık 2016, <http://phl.upr.edu/library/notes/amassclassificationforbothsolarandextrasolarplanets>
- Miller-Ricci E., Rowe J. F., Sasselov D., Matthews J. M., Guenther D. B., Kuschnig R., Moffat A. F. J., Rucinski S. M., Walker G. A. H. ve Weiss W. W., 2008. MOST

- Space-based Photometry of the Transiting Exoplanet System HD 209458: Transit Timing to Search for Additional Planets. *The Astrophysical Journal*. 682: 586-592.
- Mislis D., Mancini L., Tregloan-Reed J., Ciceri S., Southworth J., D'Ago G., Bruni I., Baştürk Ö., Alsubai K. A., Bachelet E., Bramich D. M., Henning T., Hinse T. C., Iannella A. L., Parley N. ve Schroeder T., 2015. High-precision multiband time series photometry of exoplanets Qatar-1b and TrES-5b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 448: 2617-2623.
- Morris B. M., Mandell A. M. ve Deming D., 2013. Kepler's Optical Secondary Eclipse of HAT-P-7b and Probable Detection of Planet-induced Stellar Gravity Darkening. *The Astrophysical Journal Letters*. 764: L22.
- Morton T. D., Bryson S. T., Coughlin J. L., Rowe J. F., Ravichandran G., Petigura E. A., Haas M. R. ve Batalha N. M., 2016. False Positive Probabilities for all Kepler Objects of Interest: 1284 Newly Validated Planets and 428 Likely False Positives. *The Astrophysical Journal*. 822: 86.
- NASA Exoplanet Archive (NEA)*. (b.t). 6 Aralık 2016.
<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>
- Nesvorný D. ve Morbidelli A., 2008. Mass and Orbit Determination from Transit Timing Variations of Exoplanets. *The Astrophysical Journal*. 688: 636-646.
- O'Donovan F. T., Charbonneau D., Bakos G. Á., Mandushev G., Dunham E. W., Brown T. M., Latham D. W., Torres G., Sozzetti A., Kovács G., Everett M. E., Baliber N., Hidas M. G., Esquerdo G. A., Rabus M., Deeg H. J., Belmonte J. A., Hillenbrand L. A. ve Stefanik R. P., 2007. TrES-3: A Nearby, Massive, Transiting Hot Jupiter in a 31 Hour Orbit. *The Astrophysical Journal*. 663: L37-L40.
- O'Donovan F. T., Charbonneau D. ve Kotredes L., 2004. First Results From Sleuth: The Palomar Planet Finder. *The Search for Other Worlds*. 713: 169-172.
- Pál A., Bakos G. Á., Torres G., Noyes R. W., Latham D. W., Kovács G., Marcy G. W., Fischer D. A., Butler R. P., Sasselov D. D., Sipocz B., Esquerdo G. A., Kovács G., Stefanik R., Lázár J., Papp I. ve Sári P., 2008. HAT-P-7b: An Extremely Hot Massive Planet Transiting a Bright Star in the Kepler Field. *The Astrophysical Journal*. 680: 1450-1456.

- Pepper J., Gould A. ve Depoy D. L., 2004. KELT: The Kilodegree Extremely Little Telescope. *The Search for Other Worlds*. 713: 185-188.
- Petrucci R., Jofré E., Schwartz M., Cúneo V., Martnez C., Gómez M., Buccino A. P. ve Mauas P. J. D., 2013. No Transit Timing Variations in WASP-4. *The Astrophysical Journal Letters*. 779: L23.
- Poddany S., Brát L. ve Pejcha O., 2010. Exoplanet Transit Database. Reduction and processing of the photometric data of exoplanet transits. *New Astronomy*. 15: 297-301.
- Pont F., Gilliland R. L., Moutou C., Charbonneau D., Bouchy F., Brown T. M., Mayor M., Queloz D., Santos N. ve Udry S., 2007. Hubble Space Telescope time-series photometry of the planetary transit of HD 189733: no moon, no rings, starspots. *Astronomy and Astrophysics*. 476: 1347-1355.
- Rabus M., Alonso R., Belmonte J. A., Deeg H. J., Gilliland R. L., Almenara J. M., Brown T. M., Charbonneau D. ve Mandushev G., 2009. A cool starspot or a second transiting planet in the TrES-1 system? *Astronomy and Astrophysics*. 494: 391-397.
- Rajpaul V., Aigrain S. ve Roberts S., 2016. Ghost in the time series: no planet for Alpha Cen B. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 456: L6-L10.
- Rhodes M. ve Budding E., 2014. Analysis of selected Kepler Mission planetary light curves. *Astrophysics and Space Science*. 351: 451-471.
- Rice W. K. M., Armitage P. J. ve Hogg D. F., 2008. Why are there so few hot Jupiters? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 384: 1242-1248.
- Sackett P. D., 1999. Searching for Unseen Planets via Occultation and Microlensing. *NATO Advanced Science Institutes (ASI) Series C*. 532: 189.
- Safronov V. S. 1972. Evolution of the protoplanetary cloud and formation of the earth and planets.
- Sahlmann J., Lazorenko P. F., Ségransan D., Martn E. L., Queloz D., Mayor M. ve Udry S., 2013. Astrometric orbit of a low-mass companion to an ultracool dwarf. *Astronomy and Astrophysics*. 556: A133.
- Sanchis-Ojeda R., Winn J. N., Holman M. J., Carter J. A., Osip D. J. ve Fuentes C. I.,

2011. Starspots and Spin-orbit Alignment in the WASP-4 Exoplanetary System. *The Astrophysical Journal*. 733: 127.
- Scargle J. D., 1982. Studies in astronomical time series analysis. II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *The Astrophysical Journal*. 263: 835-853.
- Schneider J., 2000. The Scientific Potential of High Precision Transits of Giant Planets. *From Giant Planets to Cool Stars*. 212: 284.
- Schneider J., Dedieu C., Le Sidaner P., Savalle R. ve Zolotukhin I., 2011. Defining and cataloging exoplanets: exoplanet.eu database. *Astronomy and Astrophysics*. 532: A79.
- Seager S. ve Mallen-Ornelas G., 2003. A Unique Solution of Planet and Star Parameters from an Extrasolar Planet Transit Light Curve. *The Astrophysical Journal*. 585: 1038-1055.
- Silva-Valio A., 2008. Estimating Stellar Rotation from Starspot Detection during Planetary Transits. *The Astrophysical Journal Letters*. 683: L179.
- Snellen I. A. G., de Mooij E. J. W. ve Albrecht S., 2009. The changing phases of extrasolar planet CoRoT-1b. *Nature*. 459: 543-545.
- Southworth J., 2010. Homogeneous studies of transiting extrasolar planets - III. Additional planets and stellar models. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 408: 1689-1713.
- Southworth J., 2011. Homogeneous studies of transiting extrasolar planets - IV. Thirty systems with space-based light curves. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 417: 2166-2196.
- Southworth J., (3 Eylül 2016). TEPCat: catalogue of the physical properties of transiting planetary systems. 9 Ekim 2016, <http://www.astro.keele.ac.uk/jkt/tepcat/>
- Southworth J., Hinse T. C., Burgdorf M., Calchi Novati S., Dominik M., Galianni P., Gerner T., Giannini E., Gu S.-H., Hundertmark M., Jørgensen U. G., Juncher D., Kerins E., Mancini L., Rabus M., Ricci D., Schäfer S., Skottfelt J., Tregloan-Reed J., Wang X.-B., Wertz O., Alsubai K. A., Andersen J. M., Bozza V., Bramich D. M., Browne P., Ciceri S., D'Ago G., Damerdjy Y., Diehl C., Dodds P., Elyiv A., Fang X.-

- S., Finet F., Figuera Jaimes R., Hardis S., Harpsøe K., Jessen-Hansen J., Kains N., Kjeldsen H., Korhonen H., Liebig C., Lund M. N., Lundkvist M., Mathiasen M., Penny M. T., Popovas A., Prof. S., Rahvar S., Sahu K., Scarpetta G., Schmidt R. W., Schönebeck F., Snodgrass C., Street R. A., Surdej J., Tsapras Y. ve Vilela C., 2014. High-precision photometry by telescope defocussing - VI. WASP-24, WASP-25 and WASP-26. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 444: 776-789.
- Southworth J., Hinse T. C., Jørgensen U. G., Dominik M., Ricci D., Burgdorf M. J., Hornstrup A., Wheatley P. J., Anguita T., Bozza V., Novati S. C., Harpsøe K., Kjærgaard P., Liebig C., Mancini L., Masi G., Mathiasen M., Rahvar S., Scarpetta G., Snodgrass C., Surdej J., Thöne C. C. ve Zub M., 2009. High-precision photometry by telescope defocusing - I. The transiting planetary system WASP-5. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 396: 1023-1031.
- Southworth J., Mancini L., Ciceri S., Budaj J., Dominik M., Figuera Jaimes R., Haugbølle T., Jørgensen U. G., Popovas A., Rabus M., Rahvar S., von Essen C., Schmidt R. W., Wertz O., Alsubai K. A., Bozza V., Bramich D. M., Calchi Novati S., D'Ago G., Hinse T. C., Henning T., Hundertmark M., Juncher D., Korhonen H., Skottfelt J., Snodgrass C., Starkey D. ve Surdej J., 2015. High-precision photometry by telescope defocusing - VII. The ultrashort period planet WASP-103. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 447: 711-721.
- Sozzetti A., Torres G., Charbonneau D., Winn J. N., Korzennik S. G., Holman M. J., Latham D. W., Laird J. B., Fernandez J., O'Donovan F. T., Mandushev G., Dunham E., Everett M. E., Esquerdo G. A., Rabus M., Belmonte J. A., Deeg H. J., Brown T. N., Hidas M. G. ve Baliber N., 2009. A New Spectroscopic and Photometric Analysis of the Transiting Planet Systems TrES-3 and TrES-4. *The Astrophysical Journal*. 691: 1145-1158.
- Steffen J. H. ve Agol E., 2005. An analysis of the transit times of TrES-1b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 364: L96-L100.
- Steffen J. H., Batalha N. M., Borucki W. J., Buchhave L. A., Caldwell D. A., Cochran W. D., Endl M., Fabrycky D. C., Fressin F., Ford E. B., Fortney J. J., Haas M. J., Holman M. J., Howell S. B., Isaacson H., Jenkins J. M., Koch D., Latham D. W., Lissauer J. J., Moorhead A. V., Morehead R. C., Marcy G., MacQueen P. J., Quinn

- S. N., Ragozzine D., Rowe J. F., Sasselov D. D., Seager S., Torres G. ve Welsh W. F., 2010. Five Kepler Target Stars That Show Multiple Transiting Exoplanet Candidates. *The Astrophysical Journal*. 725: 1226-1241.
- Steffen J. H., Ford E. B., Rowe J. F., Fabrycky D. C., Holman M. J., Welsh W. F., Batalha N. M., Borucki W. J., Bryson S., Caldwell D. A., Ciardi D. R., Jenkins J. M., Kjeldsen H., Koch D. G., Prvsa A., Sanderfer D. T., Seader S. ve Twicken J. D., 2012. Transit Timing Observations from Kepler. VI. Potentially Interesting Candidate Systems from Fourier-based Statistical Tests. *The Astrophysical Journal*. 756: 186.
- Stetson, P. B., 1987. DAOPHOT - A computer program for crowded-field stellar photometry. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 99: 191-222.
- Street R. A., Pollaco D. L., Fitzsimmons A., Keenan F. P., Horne K., Kane S., Collier Cameron A., Lister T. A., Haswell C., Norton A. J., Jones B. W., Skillen I., Hodgkin S., Wheatley P., West R. ve Brett D., 2003. SuperWASP: Wide Angle Search for Planets. *Scientific Frontiers in Research on Extrasolar Planets*. 294: 405-408.
- Sudarsky D., Burrows A. ve Hubeny I., 2003. Theoretical Spectra and Atmospheres of Extrasolar Giant Planets. *The Astrophysical Journal*. 588: 1121-1148.
- Torres G., Winn J. N. ve Holman M. J., 2008. Improved Parameters for Extrasolar Transiting Planets. *The Astrophysical Journal*. 677: 1324-1342.
- Tregloan-Reed J. ve Southworth J., 2013. An extremely high photometric precision in ground-based observations of two transits in the WASP-50 planetary system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 431: 966-971.
- Turner J. D., Smart B. M., Hardegree-Ullman K. K., Carleton T. M., Walker-LaFollette A. M., Crawford B. E., Smith C.-T. W., McGraw A. M., Small L. C., Rocchetto M., Cunningham K. I., Towner A. P. M., Zellem R., Robertson A. N., Guvenen B. C., Schwarz K. R., Hardegree-Ullman E. E., Collura D., Henz T. N., Lejoly C., Richardson L. L., Weinand M. A., Taylor J. M., Daugherty M. J., Wilson A. A. ve Austin C. L., 2013. Near-UV and optical observations of the transiting exoplanet TrES-3b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 428: 678-690.
- Twicken J. D., Jenkins J. M., Seader S. E., Tenenbaum P., Smith J. C., Brownston L. S.,

- Burke C. J., Catanzarite J. H., Clarke B. D., Cote M. T., Girouard F. R., Klaus T. C., Li J., McCauliff S. D., Morris R. L., Wohler B., Campbell J. R., Kamal Uddin A., Zamudio K. A., Sabale A., Bryson S. T., Caldwell D. A., Christiansen J. L., Coughlin J. L., Haas M. R., Henze C. E., Sanderfer D. T. ve Thompson S. E., 2016. Detection of Potential Transit Signals in 17 Quarters of Kepler Data: Results of the Final Kepler Mission Transiting Planet Search (DR25). *The Astronomical Journal*. 152: 158.
- Van Eylen V., Lindholm Nielsen M., Hinrup B., Tingley B. ve Kjeldsen H., 2013. Investigation of Systematic Effects in Kepler Data: Seasonal Variations in the Light Curve of HAT-P-7b. *The Astrophysical Journal Letters*. 774: L19.
- Vavňko M., Maciejewski G., Jakubík M., Krejčová T., Budaj J., Pribulla T., Ohlert J., Raetz S., Parimucha S. ve Bukowiecki L., 2013. Photometric follow-up of the transiting planetary system TrES-3: transit timing variation and long-term stability of the system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 432: 944-953.
- von Essen C., Schröter S., Agol E. ve Schmitt J. H. M. M., 2013. Qatar-1: indications for possible transit timing variations. *Astronomy and Astrophysics*. 555: A92.
- Wang J., Fischer D. A., Horch E. P. ve Huang X., 2015. On the Occurrence Rate of Hot Jupiters in Different Stellar Environments. *The Astrophysical Journal*. 799: 229.
- Weiss L. M., Marcy G. W., Rowe J. F., Howard A. W., Isaacson H., Fortney J. J., Miller N., Demory B.-O., Fischer D. A., Adams E. R., Dupree A. K., Howell S. B., Kolbl R., Johnson J. A., Horch E. P., Everett M. E., Fabrycky D. C. ve Seager S., 2013. The Mass of KOI-94d and a Relation for Planet Radius, Mass, and Incident Flux. *The Astrophysical Journal*. 768: 14.
- Winn J. N. 2010. Transits and Occultations. *ArXiv E-Prints*. 1001: 2010v5.
- Winn J. N., Holman M. J., Torres G., McCullough P., Johns-Krull C., Latham D. W., Shporer A., Mazeh T., Garcia-Melendo E., Foote C., Esquerdo G. ve Everett M., 2008. The Transit Light Curve Project. IX. Evidence for a Smaller Radius of the Exoplanet XO-3b. *The Astrophysical Journal*. 683: 1076-1084.
- Wolszczan A. ve Frail D. A., 1992. A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257 + 12. *Nature*. 355: 145-147.

- Wolter U., Schmitt J. H. M. M., Huber K. F., Czesla S., Müller H. M., Guenther E. W. ve Hatzes A. P., 2009. Transit mapping of a starspot on CoRoT-2. Probing a stellar surface with planetary transits. *Astronomy and Astrophysics*. 504: 561-564.
- Wong I., Knutson H. A., Kataria T., Lewis N. K., Burrows A., Fortney J. J., Schwartz J., Shporer A., Agol E., Cowan N. B., Deming D., Désert J.-M., Fulton B. J., Howard A. W., Langton J., Laughlin G., Showman A. P. ve Todorov K., 2016. 3.6 and 4.5 μm Spitzer Phase Curves of the Highly Irradiated Hot Jupiters WASP-19b and HAT-P-7b. *The Astrophysical Journal*. 823: 122.
- Xie J.-W., 2013. Transit Timing Variation of Near-resonance Planetary Pairs: Confirmation of 12 Multiple-planet Systems. *The Astrophysical Journal Supplement Series*. 208: 22.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Çağlar PÜSKÜLLÜ

Doğum Yeri : MERSİN

Doğum Tarihi : 10.08.1984

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri
Bölümü (2003 – 2007)

Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Uzay
Bilimleri ve Teknolojileri (2007 – 2010)

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar -SCI -Diğer

Püsküllü, Ç.; Soydugan, F., Erdem, A. ve Budding, E. "Photometric Investigation of Hot Exoplanets: TrES-3b and Qatar-1b", New Astronomy (Hakem değerlendirmesinde)

Budding, E.; Rhodes, M. D.; Püsküllü, Ç.; Ji, Y.; Erdem, A. ve Banks, T., 2016.
"Photometric analysis of the system Kepler-1" Astrophysics and Space Science, 361, 346,

Budding, E.; Püsküllü, Ç.; Rhodes, M. D.; Demircan, O.ve Erdem, A. "Analysis of the exoplanet containing system Kepler-91", Astrophysics and Space Science, 361, 17

Soydugan F., Aliçavuş F., Bilir S., Soydugan E., Püsküllü Ç. ve Senyüz T., "Toward Understanding the Nature of the Young Detached Binary System HD 350731", Astronomical Journal, vol.150, 2015.

Ak T., Bilir S., Özdönmez A., Soydugan F., Soydugan E., Püsküllü Ç., Ak S. ve Eker Z., "The Galactic Kinematics of Cataclysmic Variables", Astrophysics and Space Science, vol.357, 2015.

Soydugan F., Tüysüz M., Şenyüz T., Soydugan E., Püsküllü Ç., "Near Contact Binaries: Basic Relationships And Photometric Applications", 29. Balkan Physics Letters, 1-4 Temmuz 2013, vol.21, pp.227-233.

Soydugan E., Soydugan F., Şenyüz T., Püsküllü Ç., Demircan O., "A Comprehensive Photometric Study Of The Algol-Type Eclipsing Binary: Bg Pegasi", New Astronomy, vol.16, pp.72-78, 2011.

Soydugan E., Soydugan F., Senyüz T., Püsküllü Ç., Tüysüz M., Bakis V., Bilir S., Demircan O., "Discovery of delta Scuti type oscillations in two Algol-type binaries: DY Aqr and BG Peg", Information Bulletin on Variable Stars, vol.5902, 2009.

b) Bildiriler -Uluslararası -Ulusal

Püsküllü Ç. ve Soydugan F., "Analyses of Some Exoplanets' Transits and Transit Timing Variations", AIP Conferance Series, 2016. (basımda).

Püsküllü Ç. ve Soydugan F., "Photometric Analysis of the Exoplanet Containing System Kepler-491", AIP Conferance Series, 2016. (basımda).

Erdem A., Budding E., Rhodes M., Püsküllü Ç., Soydugan F., Soydugan E., Tüysüz M. ve Demircan O., "Analysis of Exoplanet Light Curves", Living Together: Planets, Host Stars and Binaries, Litomysl, Çek Cumhuriyeti, 8-12 Eylül 2014, vol.496, pp.365-365.

Püsküllü Ç., Soydugan F., Erdem A., Budding E., Soydugan E., Tüysüz M., Rhodes M. ve Demircan O., "Photometric Study of Hot Jupiters: WASP-10 b and HAT-P-36 b", Living Together: Planets, Stellar Binaries and Stars with Planets, Litomysl, Çek Cumhuriyeti, 8-12 Eylül 2014, vol.496, pp.356.

Püsküllü Ç., Soydugan F., Erdem A., Budding E., "Geçiş Eğrileri Analizleri için Yeni Bir Yazılım: WinFitter ve Uygulamaları", XIV. Astronomi Kongresi, Ankara, Türkiye, 2-6 Şubat 2015 (Basımda).

Püsküllü Ç., Soydugan F., "Sıcak Jüpiterlerden Tres-3b ve Qatar-1b'nin Fotometrik Çözümleri", XIV. Astronomi Kongresi, Ankara, Türkiye, 2-6 Şubat 2015 (Basımda).

Tüysüz M., Şenyüz T., Püsküllü Ç., "Ist60 Teleskobu Performans Değerlendirmesi ve İlk Gözlemler", Türkiye'deki Teleskoplarla Bilim Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 14-15 Mayıs 2012, ss.218-220.

Soydugan E., Şenyüz T., Soydugan F., Püsküllü Ç., "Oea Türü Bir Çift Sistem: Bg Peg", XVIII. Ulusal Astronomi Kongresi, Adana, Türkiye, 31 Ağustos-4 Eylül 2010.

Püsküllü Ç., Soydugan F., "O, B ve A Yıldızlarında P-Cygni Profilleri Ve Mutlak Parametreler", XVIII. Ulusal Astronomi Kongresi, Adana, Türkiye, 31 Ağustos-4 Eylül 2010, ss.365-372.

Püsküllü Ç., Soydugan F., "O, B ve A tür Yıldızlarında Rüzgar-Dönme Hızı İlişkisi", 26. Uluslararası Fizik Kongresi, Bodrum, Türkiye, 24 - 27 Eylül 2009, s.273.

Püsküllü Ç., Soydugan F., "Algol Türü Çift Sistemler Ry Aqr, Sz Her, Rv Lyr Ve V913 Oph'un Yörünge Dönemi Değişimlerinde Olası Üçüncü Cisim Etkisi", XVI. Ulusal Astronomi Kongresi, Çanakkale, Türkiye, 8-12 Eylül 2008, cilt.7, no.37, ss.142-157.

Püsküllü Ç., Soydugan F., Krticka J., "Seçilmiş Bazı Sıcak Yıldızların HST Moröte Tayflarında P Cygni Profilleri", XVI. Ulusal Astronomi Kongresi, Çanakkale, Türkiye, 8-12 Eylül 2008, cilt.7, no.37, ss.1319-1322.

Dönmez A., Soyduğan F., Erdem A., Soyduğan E., Şenyüz T., Püsküllü Ç., Tüysüz M., "Integral Uydusunun Optik Kamerası ile Elde Edilen Bazı Örtlen Çiftlerin Işık Eğrilerinin Çözümleri", XVI. Ulusal Astronomi Kongresi, Çanakkale, Türkiye, 8-12 Eylül 2008, cilt.7, no.37, ss.1003-1012.

c) Katıldığı Projeler

Örtlen Çiftlerden Örtlen Ötegezegenlere, 2014. TÜBİTAK MFAG 113F353 (2014 – 2017).

O, B ve A Türü Yıldızlarda P Cygni Profilleri, BAP Y.Lisans, 2009/05, Araştırmacı, 2009.

AstroÇOMÜ: Astronomi Yaz Bilim Kampı, 2010. TÜBİTAK 110B085.

AstroÇOMÜ: Astronomi Yaz Bilim Kampı, 2011. TÜBİTAK 111B199.

AstroÇOMÜ: Astronomi Yaz Bilim Kampı, 2013. TÜBİTAK 113B095.

AstroÇOMÜ: Astronomi Yaz Bilim Kampı, 2014. TÜBİTAK 213B666.

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Araştırma Görevlisi
(2009 – devam ediyor)

İLETİŞİM

E-posta Adresi : caglarpuskullu@gmail.com