



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ



YILDIZ GEZEĞEN SİSTEMLERİ:

MODEL VE ANALİZ

Oğuz ÖZTÜRK

Fizik Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

**Not: Tez kapağı yüksek lisans tezlerinde “Turkuaz”, doktora tezlerinde “Mavi” dir.
(Tez basımı aşamasında bu sayfa basılmayacaktır. Tez dış kapak örneğidir)**

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

YILDIZ GEZEĞEN SİSTEMLERİ:
MODEL VE ANALİZ
Oğuz ÖZTÜRK
Fizik Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: **01/08/2019**

Tez Danışmanı:
Prof. Dr. Ahmet ERDEM

ÇANAKKALE

Oğuz ÖZTÜRK tarafından Prof. Dr. Ahmet ERDEM yönetiminde hazırlanan ve **01/08/2018** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Yıldız Gezegen Sistemleri: Model ve Analiz**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Prof. Dr. Tolga GÜVER

.....

Başkan

Prof. Dr. Ahmet ERDEM

.....

Üye

Prof. Dr. Esin SOYDUGAN

.....

Üye

Prof. Dr. İbrahim BULUT

.....

Üye

Prof. Dr. Ömür ÇAKIRLI

.....

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:.....

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumunca (TÜBİTAK) (Proje Numarası: 113F353) ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevinde (Proje Numarası: 1024) desteklenmiştir. Bu çalışma aynı zamanda BİDEB 2228-B Yüksek Lisans Öğrencileri için Doktora Bursu Programınca 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.

Oğuz ÖZTÜRK

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde yoğun idari ve akademik çalışmalarına rağmen, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen, gerektiğinde hafta sonlarını dahi benimle çalışarak geçiren saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Ahmet ERDEM'e sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Çalışmamın başından itibaren değerli önerileri, yardımları ve katkılarının yanında beni naziklikleri ve destekleri ile motive eden saygı değer hocam Prof. Dr. Esin SOYDUGAN'a ve saygı değer hocam Prof. Dr. İbrahim BULUT'a sonuz teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarımı gönül rahatlığı içerisinde sürdürebilmem için beni gece gündüz destekleyen sevgili oğlum Doğan Ata ÖZTÜRK'e ve sevgili eşim Başak ÖZTÜRK hanımefendiye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Hayatımın her evresinde bana destek olan annem Bennaz KAVUNCU'ya, babama Beytullah ÖZTÜRK'e ve ablam Ülkü ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimim süresince BİDEB 2228-B Yüksek Lisans Öğrencileri için Doktora Bursu programı kapsamında aldığım destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Ayrıca ÖYP programı kapsamında tarafıma ayrılan ve bu tezin gerçekleşmesinde kullanılan ödenek için YÖK-ÖYP Programına teşekkür ederim.

Son olarak 1024 numaralı proje kapsamında yapılan gözlemlerde desteklerini esirgemeyen TÜBİTAK-TUG ekibine, tüm ÇOMÜ-FBE personeline ve tüm ÇOMÜG ekibine teşekkürü bir borç bilirim.

Oğuz ÖZTÜRK

Çanakkale, Ağustos 2019

SİMGELER VE KISALTMALAR

'	yay dakikası
"	yay saniyesi
K	Kelvin derece
NASA	Amerikan Uzay ve Havacılık Dairesi (İng. National Aeronautics and Space Administration)
NEA	NASA Ötegezegen Arşivi (İng. NASA Exoplanet Archive)
BJD	Barisentrik Jülyen günü
i	Yörünge eğimi
R_s	Yıldızın yarıçapı
R_p	Gezegenin yarıçapı
P	Yörünge dönemi
a	Yarı büyük eksen uzunluğu
e	Yörünge eksantritesi
TTV	Geçiş Zamanı Değişimi (İng. Transit Timing Variation)
k	Gezegen yarıçapının yıldız yarıçapına oranı
q	Gezegen kütlesinin yıldız kütlesine oranı
T_o	Geçiş (ortası) zamanı
T_{eq}	Gezegen denge sıcaklığı
T_{etkin}	Yıldızın etkin sıcaklık
K	Kelvin derece
Ma	Milyon yıl
FLWO	Fred Lawrence Whipple Gözlemevi
$M_{\odot}$	Güneş kütlesi
$R_{\odot}$	Güneş yarıçapı
M_J	Jüpiter kütlesi
R_J	Jüpiter yarıçapı
"	yay saniyesi
SI1100	Spectral Instruments 1100 CCD alıcısı
A_g	Gezegenin geometrik albedosu
A_B	Gezegenin bond albedosu
A_{vuru}	Işıkölçüm Doppler vuru etkisi genliği

A_{elips}	Işı�����m elipsoidal etki genliği
A_{yan}	Işı�����m yansıma etkisi genliği
ppm	Milyonda bir
M_{vuru}	Işı�����m Doppler vuru etkisi genliğinden hesaplanan gezegen k��tesi
M_{elips}	Işı�����m elipsoidal etki genliğinden hesaplanan gezegen k��tesi
AU	Astronomik uzunluk birimi
nm	Nanometre
L_{tot}	Yıldız-gezegen sisteminin toplam açısal momentumu
L_{cri}	Yıldız-gezegen sisteminin kritik açısal momentumu
HST	Hubble Uzay Teleskobu (�ng. Hubble Space Telescope)
[Fe/H]	Demir-hidrojen bolluğu oranı
K	Ana yıldız dikine hız yarı genliği
g_s	Yıldız yüzey çekim ivmesi
g_p	Gezegen yüzey çekim ivmesi
ρ_p	Gezegen yoğunluğu
ρ_J	Jüpiter yoğunluğu
Θ	Safronov Sayısı
r_s	Kesirsel yıldız yarıçapı
r_p	Kesirsel gezegen yarıçapı
�����	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi
TUG	T�����TAK Ulusla Gözlemevi
T100	T�����TAK Ulusal Gözlemevi 100 cm ayna çaplı teleskop
T122	����� 122 cm ayna çaplı teleskop
T60	����� İstanbul �niversitesi 60 cm ayna çaplı teleskop
T30	����� 30 cm ayna çaplı teleskop
STL1001E	SBIG STL-1001E CCD alıcısı
AP47	Apogee Alta U42 CCD alıcısı
SI1100	Spectral Instruments 1100 CCD alıcısı

ÖZET

YILDIZ GEZEĞEN SİSTEMLERİ: MODEL VE ANALİZ

Oğuz ÖZTÜRK

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman : Prof. Dr. Ahmet ERDEM

01/08/2019, 189

Bu çalışmada CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenlerinin, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi'nde (ÇOMÜG) ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) elde edilen yeni geçiş eğrileri sunulmuştur. Gözlenen yeni ötegezegen geçiş eğrilerinin ışıkölçüm analizleri yapılmış ve sonuçlar tartışılmıştır. Aynı zamanda, Kepler uydu teleskobu gözlemleri olan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş eğrilerinin ışıkölçüm analizleri farklı yazılımlar/modeller ile yapılmış ve elde edilen sonuçlar kullanılarak farklı yazılımlar/modeller karşılaştırılmıştır. Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş dışı ışık eğrileri Fourier seri yöntemi ile çözülmüş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

İncelenen sekiz ötegezegenin ışık elemanları güncellenerek maksimum olasılık yöntemi (MLM) yöntemi ile gezegen geçiş ortası zamanı değişimi (TTV) analizi gerçekleştirilmiştir. HAT-P-12b, Kepler-6b, Kepler-8b, Kepler-40b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenlerinin TTV analizleri sonucu elde edilen O-C artıklarında bariz bir çevrimsel değişim tespit edilmemiştir. Öte yandan, CoRoT-2b ötegezegeninin O-C artıklarında farklı frekanslarda çevrimsel değişimler tespit edilmiştir. Bu değişimler muhtemelen CoRoT-2 ana yıldızının manyetik aktivitesi veya CoRoT-2 yıldız-gezegen sistemine çekimsel olarak bağlı cisimler kaynaklı olabilir. WASP-12b ötegezegeninin O-C diyagramında aşağı yönlü parabolik bir değişim görülmüştür. Bu değişim WASP-12b ötegezegeni yörünge döneminin düzenli olarak azaldığını işaret etmektedir. Yörünge dönemindeki bu azalış, ötegezegenin yörünge bozulması modeli ile tartışılmıştır.

Exoplanet Data Explorer (EDE) veri tabanından alınan ve fiziksel parametreleri en az 4σ duyarlılığında elde edilmiş 211 tane yıldız-gezegen sistemi ile beraber bu çalışmada

ele alınan 8 yıldız-gezegen sistemi için ötegezegen denge sıcaklığı ve Safronov sayısı temelli ötegezegen sınıflandırılması tekrar incelenmiştir. Son olarak, EDE veri tabanından alınan ve fiziksel parametreleri en az 2σ duyarlılığında elde edilen 737 yıldız-gezegen sistemi kullanılarak ana yıldızın dikine hız yarı genliğini etkileyen fiziksel parametreler istatistiksel olarak incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Işıkolçüm, Yıldız-Gezegen Sistemleri, Ötegezegenler, Yıldızlar.



ABSTRACT

STAR-PLANET SYSTEMS: MODELLING AND ANALYSIS

Oğuz ÖZTÜRK

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Doctoral Dissertation in Physics

Advisor : Prof. Dr. Ahmet ERDEM

01/08/2019, 189

We present new transit light curves of CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES- 2b, WASP-12b, and WASP-52b obtained at Çanakkale Onsekiz Mart University Observatory (ÇOMÜG) and TÜBİTAK National Observatory (TUG). The new transit light curves were analyzed and results were discussed. At the same time, photometric analysis of transit light curves of Kepler-6b, Kepler-8b and Kepler-40b obtained by Kepler space telescope were done using different software's/models and the software's/models used in the analyses were then compared by means of the results obtained from the analysis. Out-of-transit light curves of Kepler-6b, Kepler-8b and Kepler-40b were solved using the Fourier series method and results were discussed.

The transit ephemerides of these eight exoplanets were updated and transit-timing variation (TTV) analyses were performed, using the maximum likelihood method (MLM). No cyclic variations were detected in the O-C residuals of HAT-P-12b, Kepler-6b, Kepler-8b, Kepler-40b, TrES-2b, WASP-12b and WASP-52b exoplanets. On the other hand, several cyclic variations at frequencies were detected in the O-C residuals of CoRoT-2b. These variations are probably due to the magnetic activity of CoRoT-2 host star and additional bodies which are gravitational bound to CoRoT-2 star planet system. O-C diagram of WASP-12b displays a downward parabolic variation. This variation indicates that the orbital period of the exoplanet is secularly decreasing. The mechanism responsible for this period decrease is discussed in terms of the orbital decay model.

Exoplanet classification based on planetary equilibrium temperature and Safronov number was re-examined using 211 exoplanets, whose physical parameters were obtained with at least 4σ precision, taken from the Exoplanet Data Explorer (EDE) database and eight planetary systems presented in this study. Finally, statistical examination of physical

parameters affecting the radial velocities of host stars were discussed using 737 star-planet systems, whose physical parameters were obtained with at least 2σ precision, taken from the EDE database.

Keywords: Photometry, Star-Planet Systems, Exoplanets, Stars.



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	
YILDIZ – GEZEĞEN SİSTEMLERİNİN IŞIKÖLÇÜM ANALİZLERİNDE KULLANILAN YAZILIMLAR.....	5
2.1. Mandel ve Agol (2002) gezegen geçiş modeli.....	7
2.2. JKTEBOP Yazılımı.....	14
2.3. WinFitter Yazılımı	15
BÖLÜM 3	
İNCELENEN KAYNAKLARIN LİTERATÜR ÖZETLERİ	16
3.1. CoRoT-2 Yıldız – Gezegen Sistemi.....	16
3.2. HAT-P-12 Yıldız – Gezegen Sistemi.....	19
3.3. TrES-2 Yıldız – Gezegen Sistemi	20
3.4. WASP-12 Yıldız – Gezegen Sistemi	24
3.5. WASP-52 Yıldız – Gezegen Sistemi	27
3.6. Kepler-6 Yıldız – Gezegen Sistemi.....	29
3.7. Kepler-8 Yıldız – Gezegen Sistemi.....	31
3.8. Kepler-40 Yıldız – Gezegen Sistemi.....	33
BÖLÜM 4	
GÖZLEMLER	34
4.1. Takip Gözlemleri	34
4.1.1. CoRoT-2b Takip Gözlemleri.....	35
4.1.2. HAT-P-12b Takip Gözlemleri.....	36
4.1.3. TrES-2b Takip Gözlemleri	38
4.1.4. WASP-12b Takip Gözlemleri	40
4.1.5. WASP-52b Takip Gözlemleri	43

4.2. Kepler Uydu Gözlemleri	45
4.2.1. Kepler-6b Gözlemleri	45
4.2.2. Kepler-8b Gözlemleri	47
4.2.3. Kepler-40b Gözlemleri	49
BÖLÜM 5	
GEÇİŞ ORTASI ZAMANI DEĞİŞİMİ (TTV) ANALİZLERİ	50
5.1. CoRoT-2b Ötegezegeninin TTV Analizi	56
5.2. HAT-P-12b Ötegezegeninin TTV Analizi	62
5.3. TrES-2b Ötegezegeninin TTV Analizi	64
5.4. WASP-12b Ötegezegeninin TTV Analizi.....	66
5.5. WASP-52b Ötegezegeninin TTV Analizi.....	68
5.6. Kepler-6b Ötegezegeninin TTV Analizi.....	71
5.7. Kepler-8b Ötegezegeninin TTV Analizi.....	75
5.8. Kepler-40b Ötegezegeninin TTV Analizi.....	77
BÖLÜM 6	
GEÇİŞ EĞRİSİ ANALİZLERİ	80
6.1. Takip Gözlemleri Yapılan Ötegezegenlerin Geçiş Eğrisi Analizleri.....	80
6.2. Kepler Gözlemleri Olan Ötegezegenlerin Geçiş Eğrisi Analizleri	96
BÖLÜM 7	
KEPLER GÖZLEMLERİNİN GEZEĞEN GEÇİŞİ DIŞI IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ.....	124
7.1. Elipsoidal Etki.....	125
7.2. Doppler Vuru Etkisi	127
7.3. Yansıma Etkisi	128
7.4. Gezegen Geçiş Dışı Işık Eğrisi Modeli	129
BÖLÜM 8	
SONUÇ VE TARTIŞMALAR	140
KAYNAKLAR	166
EKLERİ	I
EK 1. Kepler-6 Kaynağının Kepler Gözlemleri Bilgileri.	II
EK 2. Kepler-6b Ötegezegeninin Kepler Gözlemlerinden Hesaplanan Geçiş Ortası Zamanları.	III
EK 3. Kepler-8 Kaynağının Kepler Gözlemleri Bilgileri.	XIV
EK 4. Kepler-8b Ötegezegeninin Kepler Gözlemlerinden Hesaplanan Geçiş Ortası Zamanları.	XV
EK 5. Kepler-40 Kaynağının Kepler Gözlemleri Bilgileri.	XXVII

EK 6. Kepler-40b Ötegezegeninin Kepler Gözlemlerinden Hesaplanan Geçiş Ortası Zamanları.	XXVIII
EK 7. CoRoT-2b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları.	XXXIII
EK 8. HAT-P-12b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları.	XXXVIII
EK 9. TrES-2b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları.	XL
EK 10. WASP-12b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları.	LVIII
EK 11. WASP-52b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları.	LXVII
EK 12. Kepler-6b ötegezegeninin, ETD veri tabanı gözlem verilerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları.	LXXI
EK 13. Kepler-8b ötegezegeninin, ETD veri tabanı gözlem verilerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları.	LXXI
EK 14. CoRoT-2b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellemesinde kullanılan fiziksel parametreler.....	LXXII
EK 15. HAT-P-12b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellemesinde kullanılan fiziksel parametreler.....	LXXIII
EK 16. TrES-2b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellemesinde kullanılan fiziksel parametreler.....	LXXIV
EK 17. WASP-12b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellemesinde kullanılan fiziksel parametreler.....	LXXV
EK 18. WASP-52b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellemesinde kullanılan fiziksel parametreler.....	LXXVI
EK 19. Kepler-6b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellemesinde kullanılan fiziksel parametreler.....	LXXVII
EK 20. Kepler-8b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellemesinde kullanılan fiziksel parametreler.....	LXXVII
EK 21. Kepler-40b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellemesinde kullanılan fiziksel parametreler.....	LXXVII
ÖZGEÇMİŞ	LXXVIII

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Gözlemcinin gözünden, gezegenin yıldızı önünden geçerken yıldız-gezegen sistemi geometrisi (Mandel ve Agol (2002) çalışmasındaki Şekil 1'den uyarlanmıştır).....	6
Şekil 2.2. $k = 0.125$ durumu için kenar kararmasının olmadığı durumda Mandel ve Agol (2002) modelinden elde edilen kuramsal gezegen geçiş eğrisi.....	9
Şekil 2.3. Yıldız kenar kararmasının geometrisi. Gözlemcinin bakış doğrultusu ile yıldız diski yüzey normali arasındaki açı θ ile gösterilmiştir (Mandel ve Agol 2002 çalışmasındaki Şekil 1'den uyarlanmıştır).....	9
Şekil 2.4. $k = 0.125$ durumu için c_1, c_2, c_3 ve c_4 kenar kararma katsayılarının farklı değerleri için Mandel ve Agol (2002) modelinden elde edilen teorik gezegen geçiş eğrileri.....	14
Şekil 3.1. CoRoT-2 ana yıldızı ve buna çok yakın olan 2MASS J19270636+0122577 yıldızının 2MASS tarafından elde edilen görüntüsü.....	17
Şekil 3.2. CoRoT-2 yıldızının CoRoT uydu gözlemi ile elde edilen normalize akı-zaman diyagramı (Alonso ve ark. 2008).	18
Şekil 3.3. 1 Temmuz 2016 tarihinde TUG'da gözenen TrES-2 ana yıldızı (sarı daire) ve yakınında görülen bileşen yıldız (kare içerisindeki küçük yıldız).	22
Şekil 3.4. WASP-12A ve kendisinden ~ 300 AU uzaklıkta bulunan WASP-12B ve WASP-12C çift yıldız sistemi (Bechter ve ark. 2014).	25
Şekil 4.1. CoRoT-2b ötegezegeninin gözlenen geçiş eğrileri.....	36
Şekil 4.2. HAT-P-12b ötegezegeninin gözlenen geçiş eğrileri.....	38
Şekil 4.3. TrES-2b ötegezegeninin gözlenen geçiş eğrileri.	40
Şekil 4.4. WASP-12b ötegezegeninin gözlenen geçiş eğrileri.	42
Şekil 4.5. WASP-52b ötegezegeninin gözlenen geçiş eğrileri.	44
Şekil 4.6. Kepler-6 kaynağının Kepler teleskobu ile uzun poz süresinde gözlenen ışık eğrileri.....	46
Şekil 4.7. Kepler-6 kaynağının Kepler teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen ışık eğrileri.....	46
Şekil 4.8. Kepler-8 kaynağının Kepler teleskobu ile uzun poz süresinde gözlenen ışık eğrileri.....	48
Şekil 4.9. Kepler-8 kaynağının Kepler teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen ışık eğrileri.....	48
Şekil 4.10. Kepler-40 kaynağının Kepler teleskobu ile uzun poz süresinde gözlenen ışık eğrileri.....	49
Şekil 5.1. CoRoT-2b ötegezegeninin CoRoT gözlemlerinden hesaplanan geçiş ortası zamanlarından elde edilen O-C artıkları. Alonso ve ark. (2008) çalışmasında verilen ışık elemanı ile elde edilen O-C diyagramı üs diyagramda gösterilmiştir. Çizelge 5.3'de verilen güncel ışık elemanı ile elde edilmiş O-C diyagramı ise alt diyagramda verilmiştir. O-C artıklarına yapılan lineer model, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her iki diyagramda da, gözlemsel hatalar siyah renkte gösterilmiştir. İlave hataları da içeren hatalar ise, alt diyagramda, gri renkte gösterilmiştir.....	57
Şekil 5.2. CoRoT-2b ötegezegeninin CoRoT gözlemlerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen O-C artıkları için elde edilen LS periodogramı.....	59
Şekil 5.3. CoRoT-2b ötegezegenin yer tabanlı gözlemlerden elde edilen geçiş ortası	

- zamanları kullanılarak elde edilen O-C artıkları üst diyagramda verilmiştir. Hem yer hem de uydu tabanlı gözlemlerden elde edilen geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen O-C artıkları orta ve alt diyagramlarda verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, orta ve alt diyagramda, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panellerde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir..... 60
- Şekil 5.4. CoRoT-2b ötegezegeninin mevcut tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen O-C artıkları için elde edilen LS diyagramı. 61
- Şekil 5.5. HAT-P-12b ötegezegeni için elde edilen O-C diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir. 63
- Şekil 5.6. HAT-P-12b ötegezegeninin tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen O-C artıkları için elde edilen LS diyagramı. 64
- Şekil 5.7. TrES-2b ötegezegeninin elde edilen O-C diyagramı. Tüm yer tabanlı geçiş gözlemlerinden elde edilen geçiş ortası zamanları, Kepler teleskobu ile gözlenen 435 geçiş ortası zamanları ile birleştirilmiştir. En iyi Lineer model alt panelde s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise gri renkle gösterilmiştir. Alt paneldeki kesikli çizgiler, lineer model için 95 % güven aralığını göstermektedir. 65
- Şekil 5.8. TrES-2b ötegezegeninin tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen O-C artıkları için elde edilen LS diyagramı. 66
- Şekil 5.9. WASP-12b ötegezegeni için elde edilen O-C diyagramı. En iyi kuadratik model fiti alt panelde, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Geçiş ortası ve ikinci tutulma ortası zamanların gözlemsel hataları her iki panelde siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Alt panelde görülen kesikli çizgiler, kuadratik model için 95 % güven aralığını temsil etmektedir. 67
- Şekil 5.10. WASP-12b ötegezegeninin $O - C$ artıkları için elde edilen LS diyagramı. 68
- Şekil 5.11. WASP-P-52b ötegezegeni için elde edilen O-C diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir. 69
- Şekil 5.12. WASP-52b ötegezegeninin $O - C$ artıkları için elde edilen LS diyagramı. 70
- Şekil 5.13. Kepler-6b ötegezegeni için sadece Kepler uydu gözlemlerinden elde edilen geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen O-C diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde

görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.	71
Şekil 5.14. Kepler-6b ötegezegeninin sadece Kepler uydu gözlemlerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen O-C artıkları için LS diyagramı.	73
Şekil 5.15. Kepler-6b ötegezegeni için tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen O-C diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.	74
Şekil 5.16. Kepler-6b ötegezegeninin tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen O-C artıkları için LS diyagramı.	75
Şekil 5.17. Kepler-8b ötegezegeni için tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen O-C diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.	76
Şekil 5.18. Kepler-8b ötegezegeninin tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen O-C artıkları için LS diyagramı.	77
Şekil 5.19. Kepler-40b ötegezegeni için elde edilen O-C diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.	78
Şekil 5.20. Kepler-40b ötegezegeninin $O - C$ artıkları için LS diyagramı.	79
Şekil 6.1. CoRoT-2b gezegeninin gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Kırmızı ve sarı noktalar, sırasıyla, R ve V süzgeçlerinde gözlenen geçiş eğrilerini temsil etmektedir. Siyah düz çizgi ve siyah noktalar ise gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.	87
Şekil 6.2. HAT-P-12b gezegeninin gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Kırmızı ve sarı noktalar, sırasıyla, R ve V süzgeçlerinde gözlenen geçiş eğrilerini temsil etmektedir. Siyah düz çizgi ve siyah noktalar ise gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.	88
Şekil 6.3. TrES-2b gezegeninin gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Kırmızı ve sarı noktalar, sırasıyla, R ve V süzgeçlerinde gözlenen geçiş eğrilerini temsil etmektedir. Siyah düz çizgi ve siyah noktalar ise gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.	89
Şekil 6.4. WASP-12b gezegeninin gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Kırmızı ve sarı noktalar, sırasıyla, R ve V süzgeçlerinde gözlenen	

- geçiş eğrilerini temsil etmektedir. Siyah düz çizgi ve siyah oktaerlar ise gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.90
- Şekil 6.5. WASP-52b gezegeninin gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Kırmızı noktalar R süzgecinde gözlenen geçiş eğrilerini temsil etmektedir. Siyah düz çizgi ve siyah oktaerlar ise gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.91
- Şekil 6.6. Kepler-8b ötegezegeninin uzun poz (sol) ve kısa poz (sağ) çeyrek 2 süresinde gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Sarı noktalar, karşılık gelen Kepler çeyrek zamanı içerisinde gözlenen ve 0.001 evre aralıkları ile birleştirilen gözlemsel veriyi göstermektedir. Siyah düz çizgi ve diyagramların altında görülen sarı noktalar ise, sırasıyla, gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.99
- Şekil 6.7. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yarıçaplar oranının ($k = R_p/R_s$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararar varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.106
- Şekil 6.8. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen kesirsel yıldız yarıçapı oranının ($r_s = R_s/a$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararar varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.106
- Şekil 6.9. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yörünge eğiminin (i) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararar varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.107
- Şekil 6.10. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen evre kaymasının ($\Delta\phi$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararar varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.107
- Şekil 6.11. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen lineer kenar kararar katsayısının (u) Kepler çeyrek zamanlara göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, WinFitter ve lineer kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. Siyah düz çizgi Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik u değerini temsil etmektedir.108
- Şekil 6.12. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için ikinci

- derece kenar kararına etkisi varsayımı altında JKTEBOP kodu çözümlerinden elde edilen ikinci derece kenar kararına sabitlerinin (a, b) Kepler çeyrek zamanlara göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, çözümden elde edilen a ve b sabitlerini temsil etmektedir. Siyah ve kırmızı düz çizgiler sırasıyla Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik a ve b değerlerini temsil etmektedir. 108
- Şekil 6.13. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Sarı noktalar, karşılık gelen Kepler çeyrek zamanı içerisinde gözlenen ve 0.001 evre aralıkları ile birleştirilen gözlemsel veriyi göstermektedir. Siyah düz çizgi ve diyagramların altında görülen sarı noktalar ise, sırasıyla, gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir. 109
- Şekil 6.14. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yarıçaplar oranının ($k = R_p/R_p$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararına varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. 111
- Şekil 6.15. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen kesirsel yıldız yarıçapı oranının ($r_s = R_s/a$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararına varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. 111
- Şekil 6.16. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yörünge eğiminin (i) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararına varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. 112
- Şekil 6.17. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen evre kaymasının ($\Delta\phi$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararına varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. 112
- Şekil 6.18. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen lineer kenar kararına katsayısının (u) Kepler çeyrek zamanlara göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, WinFitter ve lineer kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. Siyah düz çizgi Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik u değerini temsil etmektedir. 113
- Şekil 6.19. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için ikinci derece kenar kararına etkisi varsayımı altında JKTEBOP kodu çözümlerinden elde edilen ikinci derece kenar kararına sabitlerinin (a, b) Kepler çeyrek

- zamanlara göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, çözümden elde edilen a ve b sabitlerini temsil etmektedir. Siyah ve kırmızı düz çizgiler sırasıyla Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik a ve b değerlerini temsil etmektedir. 113
- Şekil 6.20. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Sarı noktalar, karşılık gelen Kepler çeyrek zamanı içerisinde gözlenen ve 0.001 evre aralıkları ile birleştirilen gözlemsel veriyi göstermektedir. Siyah düz çizgi ve diyagramların altında görülen sarı noktalar ise, sırasıyla, gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir. 114
- Şekil 6.21. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yarıçaplar oranının ($k = R_p/R_p$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararma varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. 116
- Şekil 6.22. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen kesirsel yıldız yarıçapı oranının ($r_s = R_s/a$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararma varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. 116
- Şekil 6.23. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yörünge eğiminin (i) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararma varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. 117
- Şekil 6.24. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen evre kaymasının ($\Delta\phi$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararma varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. 117
- Şekil 6.25. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen lineer kenar kararma katsayısının (u) Kepler çeyrek zamanlara göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, WinFitter ve lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. Siyah düz çizgi Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik u değerini temsil etmektedir. 118
- Şekil 6.26. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için ikinci derece kenar kararma etkisi varsayımı altında JKTEBOP kodu çözümlerinden elde edilen ikinci derece kenar kararma sabitlerinin (a, b) Kepler çeyrek zamanlara göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, çözümden elde edilen a ve b sabitlerini temsil etmektedir. Siyah ve kırmızı düz çizgiler

sırasıyla Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik a ve b değerlerini temsil etmektedir.	118
Şekil 6.27. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Sarı noktalar, karşılık gelen Kepler çeyrek zamanı içerisinde gözlenen ve 0.001 evre aralıkları ile birleştirilen gözlemsel veriyi göstermektedir. Siyah düz çizgi ve diyagramların altında görülen sarı noktalar ise, sırasıyla, gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.	119
Şekil 7.1. (a) Kepler-6b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi. Büyük ve küçük sarı noktalar, sırasıyla, gözlem noktalarını ve geçiş dışı ışık eğrisi fitinden (siyah çizgi) elde edilen artıkları göstermektedir. (b) Kesikli mavi çizgi, kesikli kırmızı çizgi ve kesikli yeşil çizgi, sırasıyla, geçiş dışı fitinden elde edilen Doppler vuru etkisi, elipsoidal etki ve yansıma etkisi kaynaklı akı değişimlerini temsil etmektedir. Bu üç yakınlık etkisinin toplamı siyah düz çizgi ile gösterilmiştir.	134
Şekil 7.2. (a) Kepler-8b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi. Büyük ve küçük sarı noktalar, sırasıyla, gözlem noktalarını ve geçiş dışı ışık eğrisi fitinden (siyah çizgi) elde edilen artıkları göstermektedir. (b) Kesikli mavi çizgi, kesikli kırmızı çizgi ve kesikli yeşil çizgi, sırasıyla, geçiş dışı fitinden elde edilen Doppler vuru etkisi, elipsoidal etki ve yansıma etkisi kaynaklı akı değişimlerini temsil etmektedir. Bu üç yakınlık etkisinin toplamı siyah düz çizgi ile gösterilmiştir.	136
Şekil 7.3. (a) Kepler-40b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi. Büyük ve küçük sarı noktalar, sırasıyla, gözlem noktalarını ve geçiş dışı ışık eğrisi fitinden (siyah çizgi) elde edilen artıkları göstermektedir. (b) Kesikli mavi çizgi, kesikli kırmızı çizgi ve kesikli yeşil çizgi, sırasıyla, geçiş dışı fitinden elde edilen Doppler vuru etkisi, elipsoidal etki ve yansıma etkisi kaynaklı akı değişimlerini temsil etmektedir. Bu üç yakınlık etkisinin toplamı siyah düz çizgi ile gösterilmiştir.	139
Şekil 8.1. Fiziksel parametreleri duyarlı olarak elde edilmiş 211 tane ötegezegen ve bu çalışmada ele alınan 5 ötegezegen için (a) Safronov sayısı –gezegen denge sıcaklığı ve (b) gezegen kütlesi – gezegen denge sıcaklığı diyagramları.	145
Şekil 8.2. Fiziksel parametreleri duyarlı olarak elde edilmiş 211 ötegezegen ile bu çalışmada ele alınan beş ötegezegen için oluşturulan kütle-yarıçap diyagramı. Diyagram üzerindeki düz, kesikli, noktalı ve kesikli-noktalı çizgiler, sırasıyla, $\rho = 0.25, 0.5, 1.0$ ve $2.0 \rho_J$ yoğunluk çizgilerini temsil etmektedir.	146
Şekil 8.3. Fiziksel parametreleri duyarlı olarak elde edilmiş 211 tane ötegezegen ile birlikte Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenleri için (a) Safronov sayısı – gezegen denge sıcaklığı ve (b) gezegen kütlesi – gezegen denge sıcaklığı diyagramları.	149
Şekil 8.4. Fiziksel parametreleri duyarlı olarak elde edilmiş 211 ötegezegen ile bu çalışmada ele alınan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenleri için oluşturulan kütle-yarıçap diyagramı. Diyagram üzerindeki düz, kesikli, noktalı ve kesikli-noktalı çizgiler, sırasıyla, $\rho = 0.25, 0.35, 0.65$ ve $1.35 \rho_J$ yoğunluk çizgilerini temsil etmektedir.	149
Şekil 8.5. Ana yıldızın dikine hız yarı genlik değerlerine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı.	151
Şekil 8.6. Ötegezegenlerin yörünge dönemlerine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı.	152
Şekil 8.7. Ötegezegen kütlesine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı.	153
Şekil 8.8. Seçilen yıldız-gezegen sistemlerinde gezegen kütlesi - ana yıldız kütlesi dağılımı.	154

Şekil 8.9. Ana yıldız kütlelerine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı.	155
Şekil 8.10. Yörünge eksantritesine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı....	155
Şekil 8.11. (a) Eksantrik bir yörüngede hareket eden bir ötegezegenine sahip HD 20782 ana yıldızının dikine hız diyagramı (O'Toole ve ark. 2009). (b) Dairesel bir yörüngede hareket eden bir ötegezegenine sahip WASP-43 ana yıldızının dikine hız diyagramı (Hellier ve ark. 2011).	156
Şekil 8.12. Seçilen yıldız-gezegen sistemlerinde, ötegezegenlerin yörünge eksantritelerinin yörünge dönemlerine göre değişimi.	157
Şekil 8.13. Seçilen 737 yıldız-gezegen sistemi için elde edilen ana yıldızın dikine hız yarı genliğinin gezegen kütlelerine göre değişimi.	158
Şekil 8.14. Seçilen 737 yıldız-gezegen sistemi için ana yıldızın dikine hız yarı genliklerinin $\frac{M_p \sin i}{P^{1/3}}$ terimine göre değişimi.	159
Şekil 8.15. Seçilen 737 yıldız-gezegen sistemi için ana yıldızın dikine hız yarı genliklerinin $\frac{M_p \sin i}{P^{1/3} M_s^{2/3}}$ terimine göre değişimi.	159
Şekil 8.16. Seçilen 737 yıldız-gezegen sistemi için ana yıldızın dikine hız yarı genliklerinin $\frac{M_p \sin i}{P^{1/3} M_s^{2/3} \sqrt{1-e^2}}$ terimine göre değişimi. Noktalı kesikli çizgi en küçük kareler yöntemi ile elde edilen lineer fiti temsil etmektedir.	160
Şekil 8.17. Seçilen 737 yıldız-gezegen sistemi için elde edilen ana yıldızın dikine hız yarı genliğinin gezegen kütlelerine ve yörünge dönemine göre değişimi.	161
Şekil 8.18. Yörünge dönemi $1 \leq P < 2$ gün, $100 \leq P < 150$ gün, $400 \leq P < 500$ gün olan ötegezegenleri içeren yıldız gezegen sistemleri için ana yıldızın dikine hız yarı genliğinin gezegen kütlelerine ve yörünge dönemine göre değişimi.	161
Şekil 8.19. Grup 2 (koyu mavi noktalar), grup 11 (açık mavi noktalar) ve grup 18 (kırmızı noktalar) yıldız-gezegen sistemleri için elde edilen ana yıldızın dikine hız yarı genliklerinin gezegen kütlelerine göre değişimi. Düz çizgi, kesikli çizgi ve kesikli noktalı çizgi sırasıyla grup 1, grup 11 ve grup 18 yıldız gezegen sistemlerinin dikine hız yarı genliklerinin gezegen kütlelerine göre değişimlerine en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılan lineer fitleri temsil etmektedir.	164

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Mandel ve Agol (2002) modelinde, 4-parametrelî kenar kararma etkisi varsayımında yıldızdan alınan ışık akısı fonksiyonları.....	13
Çizelge 4.1. Gözlemlerde kullanılan teleskopların ve CCD kameraların temel özellikleri.	34
Çizelge 4.2. CoRoT-2b ötegezegeninin geçiş gözlem bilgileri.	35
Çizelge 4.3. HAT-P-12b ötegezegeninin geçiş gözlem bilgileri.	37
Çizelge 4.4. TrES-2b ötegezegeninin geçiş gözlem bilgileri.....	39
Çizelge 4.5. WASP-12b ötegezegeninin geçiş gözlem bilgileri.	41
Çizelge 4.6. WASP-52b ötegezegeninin geçiş gözlem bilgileri.	43
Çizelge 5.1. Takip gözlemleri yapılan ötegezegenlerin gözlenen geçiş ortası zamanları. ..	52
Çizelge 5.2. Bu tez kapsamında incelenen ötegezegenlerin geçiş sürelerinin MLM sonucu hesaplanan maksimum hata değerleri ile karşılaştırılması.	55
Çizelge 5.3. CoRoT-2b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimine MLM ile yapılan lineer ve kuadratik model fitleri sonucu elde edilen parametreler.	58
Çizelge 5.4. HAT-P-12b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimine MLM ile yapılan lineer ve kuadratik model fitleri sonucu elde edilen parametreler.....	63
Çizelge 5.5. TrES-2b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimine MLM ile yapılan lineer ve kuadratik model fitleri sonucu elde edilen parametreler.	65
Çizelge 5.6. WASP-12b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimine MLM ile yapılan lineer ve kuadratik model fitleri sonucu elde edilen parametreler.....	67
Çizelge 5.7. WASP-52b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimine MLM ile yapılan lineer ve kuadratik model fitleri sonucu elde edilen parametreler.....	69
Çizelge 5.8. Kepler-6b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimlerine MLM kullanılarak yapılan en iyi model fitleri sonucu elde edilen parametreler.....	72
Çizelge 5.9. Kepler-8b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimlerine MLM kullanılarak yapılan en iyi model fitleri sonucu elde edilen parametreler.....	76
Çizelge 5.10. Kepler-40b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimlerine MLM kullanılarak yapılan en iyi model fitleri sonucu elde edilen parametreler.....	79
Çizelge 6.1. CoRoT-2b geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararma kabulü altında yapılan JKTEBOP çözümleri.	82
Çizelge 6.2. HAT-P-12b geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararma kabulü altında yapılan JKTEBOP çözümleri.....	83
Çizelge 6.3. TrES-2b geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararma kabulü altında yapılan JKTEBOP çözümleri.	84
Çizelge 6.4. WASP-12b geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararma kabulü altında yapılan JKTEBOP çözümleri.....	85
Çizelge 6.5. WASP-52b geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararma kabulü altında yapılan JKTEBOP çözümleri.....	86
Çizelge 6.6. CoRoT-2b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür ile karşılaştırılması.	92
Çizelge 6.7. HAT-12b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür ile karşılaştırılması.	92
Çizelge 6.8. TrES-2b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür ile karşılaştırılması.	93
Çizelge 6.9. WASP-12b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür ile karşılaştırılması.	93
Çizelge 6.10. WASP-52b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür ile karşılaştırılması.	94

Çizelge 6.11. Yer tabanlı takip gözlemleri yapılan yıldız- gezegen sistemlerinin elde edilen fiziksel parametreleri.	95
Çizelge 6.12. Kepler-8b ötegezegeninin uzun poz (sol) ve kısa poz (sağ) çeyrek 2 süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen geçiş parametreleri.	100
Çizelge 6.13. Kepler-6b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararma kabulü altında WinFitter çözümleri.	100
Çizelge 6.14. Kepler-8b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararma kabulü altında WinFitter çözümleri.	101
Çizelge 6.15. Kepler-40b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararma kabulü altında WinFitter çözümleri.	101
Çizelge 6.16. Kepler-6b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararma kabulü altında JKTEBOP çözümleri.	102
Çizelge 6.17. Kepler-8b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararma kabulü altında JKTEBOP çözümleri.	102
Çizelge 6.18. Kepler-40b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararma kabulü altında JKTEBOP çözümleri.	103
Çizelge 6.19. Kepler-6b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararma kabulü altında JKTEBOP çözümleri.	104
Çizelge 6.20. Kepler-8b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararma kabulü altında JKTEBOP çözümleri.	104
Çizelge 6.21. Kepler-40b ötegezegeninin Kepler teleskobu ile uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararma kabulü altında JKTEBOP çözümleri.	105
Çizelge 6.22. Kepler-6b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması.	121
Çizelge 6.23. Kepler-8b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması.	122
Çizelge 6.24. Kepler-40b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması.	122
Çizelge 6.25. Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin bu çalışmada elde edilen fiziksel parametreleri.	123
Çizelge 7.1. Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş dışı ışık eğrileri fitleri sonucu elde edilen parametreler.	132
Çizelge 7.2. Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş dışı ışık eğrileri fitleri sonucu hesaplanan fiziksel parametreler.	132
Çizelge 7.3. Kepler-6b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi çözümünden elde edilen fiziksel parametrelerin literatür değerleri ile karşılaştırılması (α_{vuru} teriminin 0.8 ve 1.2 değerleri için hesaplanan gezegen kütle değerleri, bkz. Çizelge 7.2).	135
Çizelge 7.4. Kepler-8b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi çözümünden elde edilen fiziksel parametrelerin literatür değerleri ile karşılaştırılması (α_{vuru}	

teriminin 0.8 ve 1.2 değerleri için hesaplanan gezegen ktle değerleri, bkz. Çizelge 7.2).	137
Çizelge 7.5. Kepler-40b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi çözümünden elde edilen fiziksel parametrelerin literatür değerleri ile karşılaştırılması (* α_{vuru} teriminin 0.8 ve 1.2 değerleri için hesaplanan gezegen ktle değerleri, bkz. Çizelge 7.2).	138
Çizelge 8.1. WASP-12b tegezegeninin MLM ile elde edilen TTV analizi sonuçlarının, gözlenen geçiş ortası zamanlarının hatalarına göre ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış O-C analizleri sonuçları ile karşılaştırılması.	144
Çizelge 8.2. 737 yıldız gezegen sisteminden oluşturulan grupların yörünge dönem aralıkları, içerdikleri yıldız-gezegen sistemi sayıları ve lineer fitlerden elde edilen A eğimi değerleri.	163
Çizelge 8.3. Yıldız-gezegen sistemi gruplarının dikine hız yarı genliği-gezegen ktlesi diyagramlarından elde edilen eğimler (bkz. Çizelge 8.2) kullanılarak hesaplanan bazı gezegenlerin ktleleri ve literatür değerleri ile karşılaştırılması.	165

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanoğlunun varoluşundan beri kendisini sürekli meşgul eden soruların başında kuşkusuz “Evrende yalnız mıyız? Dünya benzeri gezegenler var mı? Başka gezegenlerde yaşam olabilir mi?” gibi sorular gelir. Bu soruların cevaplarını bulabilmek şüphesiz bilim insanlarının en önemli motivasyon kaynağı olmuştur. Güneş sistemimiz içerisinde ve/veya dışarısında başka dünyaların ve bu dünyalardaki olası yaşamların araştırılması son yıllarda büyük bir hız kazanmıştır. Bu araştırmalar neticesinde güneş sistemimiz dışında olan ve ötegezegen olarak adlandırılan birçok gezegen keşfedilmiş, keşfedilen gezegenlerin kütleleri, yarıçapları, atmosferik yapıları, atmosfer sıcaklıkları, yüzey yapısı gibi birçok bilgiye ulaşılabilmektedir. Tüm bu bilgilerin ışığında keşfedilen gezegenlerde yaşam olup olmayacağı konusu gözlemsel kantılar eşliğinde günümüzde gerçekçi olarak tartışılabilmektedir.

Tarihsel olarak ötegezegenlerin keşif süreçlerine bakıldığında, ilk ötegezegenin 1992 yılında, pulsar PSR B1257+12 yıldızının etrafında keşfedildiği görülmektedir (Wolszczan ve Frail 1992). Bundan üç yıl sonra, 1995 yılında, güneş benzeri bir yıldız olan 51 Pegasi etrafında dolanan Jüpiter benzeri bir ötegezegen keşfedilmiştir (Mayor ve Queloz, 1995). 1995 yılı sonrasında gelişen teknoloji ile orantılı olarak farklı ötegezegen gözlem teknikleri ve yöntemleri geliştirilmiştir. Bu gelişmelerin neticesinde keşfedilen gezegen sayıları günümüzde (Haziran 2019) 3949’a ulaşmıştır. Ötegezegenlerin keşif yöntemlerine göre güncel sayısal dağılımı NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından (https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/counts_detail.html) aşağıdaki gibi verilmiştir.

- Konum-ölçüm yöntemi: 1
- Doğrudan görüntüleme yöntemi: 45
- Ana yıldızın dikine hız ölçümü yöntemi: 736
- Işıkölçüm gezegen geçiş yöntemi: 3053
- Gezegen geçiş ortası zamanı değişimi (TTV) yöntemi: 16
- Tutulma zamanı değişimi: 9
- Mikro-mercekleme yöntemi: 75
- Atarca zamanı değişimi yöntemi: 6
- Titreşim (pulsation) zamanı değişimi: 2
- Yörünge parlaklık modülasyonu yöntemi: 6

Yukarıdaki tablodan görüleceği üzere, ötegezegen keşiflerinde yaygın olarak ışıkölçüm ve dikine hız ölçümü yöntemi kullanılmaktadır.

Günümüz teknolojisi sayesinde yıldız-gezegen sistemlerinin 1 m/s duyarlılığında dikine hız ve milikadir duyarlılığında ışıkölçüm gözlemleri yapılabilmektedir. Güneş sistemimiz dışı gezegenler hakkında en doğru bilgiye ulaşmamızı sağlayan en önemli imkânımız olarak, büyük bütçeler ayrılarak gerçekleştirilen Kepler (Borucki ve ark. 2009) ve CoRoT (Convection, Rotation and planetary Transits , Auvergne ve ark. 2009) uydu görevi boyunca yapılan duyarlı ışıkölçüm gezegen gözlemleri verilebilir. Uydu gözlemlerinin yanı sıra yer tabanlı gözlem projeleri olan WASP (Wide Angle Search for Planets , Pollacco ve ark. 2006), HATNet (The Hungarian Automated Telescope Network , Bakos ve ark. 2002), TrES (The Trans-atlantic Exoplanet Survey, Alonso ve ark. 2004), XO (McCullough ve ark. 2005) ve KELT (The Kilodegree Extremely Little Telescope , Pepper ve ark. 2007) gibi gözlem projeleri kapsamında yapılan ışıkölçüm gezegen gözlemleri de ötegezegenlerin ışıkölçüm yöntemi ile araştırılmasında büyük bir öneme sahiptirler.

Birbirlerine fiziksel olarak bağlı bir yıldız-gezegen sisteminde, eğer gezegenin yörünge eğimi uygun bir açı değerinde ise gezegen yıldızının önünden geçerken yıldızının bir bölümünü kapatır ve bu nedenle yıldız akısında bir düşme görülür. Gezegenin yıldız önünden geçtiği süre boyunca gözlenen bu ışık eğrisine gezegenin geçiş eğrisi denilmektedir. Bir gezegenin gözlenen geçiş eğrisi biçimi, yıldız-gezegen sistemini oluşturan yıldız ve gezegenin fiziksel özellikleri yanında yörünge özelliklerine de bağlı olarak değişmektedir. Gözlenen geçiş eğrisi derinliğinden gezegenin yarıçapının yıldızın yarıçapına oranı (R_p^2/R_s^2), ardışık gezegen geçiş zamanlarından gezegenin yörünge dönemi (P), geçiş süresinden kesirsel yıldız yarıçapı (R_s/a , a : yarı büyük eksen uzunluğu) ve yörünge eğimi (i) hesaplanabilmektedir. Ayrıca gözlenen geçiş eğrisi biçiminden ana yıldızın kenar karama etkisi incelenebilmektedir. (bkz. Mandel ve Agol 2002, Eastman ve ark. 2013).

Gezegenin tüm yörünge hareketi boyunca yıldızın gözlenen akısında birtakım küçük akı değişimleri de görülebilmektedir. Bunun sebebi, gezegenin yörünge hareketi boyunca yıldızı tedirgin etmesinden ileri gelmektedir. Geçiş dışındaki bu akı değişimleri, elipsoidal etki, Doppler vuru etkisi ve yansıma etkisi kaynaklıdır. Yakınlık etkileri aracılığı ile gezegen kütlesi ışıkölçüm yöntemi ile hesaplanabilmekte ve gezegen atmosferinin geometrik/bond albedo değerleri, yüzey sıcaklığı gibi parametreler elde edilerek atmosferik yapısı hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir (bkz. Mazeh ve Faigler 2010,

Barclay ve ark. 2012, Esteves ve ark. 2013, Faigler ve Mazeh 2015). Bu etkiler Bölüm 7’de ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Gezegenin yörünge döneminde görülen periyodik değişim, yıldıza fiziksel olarak bağlı bir başka gezegenin varlığına işaret edebilir. Bu durumda, geçiş ortası zamanı değişimi (İng. Transit Timing Variation – TTV) modellenerek, tedirgin eden olası gezegenin yörünge dönemi ve olası kütlesi hakkında bilgi sahibi olunabilir. Bu duruma örnek olarak Kepler-19c ötegezegeninin keşfi verilebilir (Ballard ve ark. 2011). Yıldız gezegen sistemlerinin TTV analizleri Bölüm 5’de ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Işıkölçüm geçiş gözlemleri ile yıldız-gezegen sistemi adayı olarak belirlenen sistemdeki ötegezegenin varlığını doğrulamak ve ana yıldızın etrafında başka bir bileşen yıldız olup olmadığını tespit etmek için, aday yıldız-gezegen sistemindeki ana yıldızın dikine hız gözlemleri yapılmaktadır (bkz. O'Donovan ve ark. 2006, Quinn ve ark. 2012, Hébrard ve ark. 2013). Ayrıca, ana yıldızın dikine hız gözlemleri ile ötegezegen kütlesi belirlenebilmektedir (bkz. Gaudi ve Winn 2007, Seager 2010).

Bu tez çalışmasında üç ana amaç bulunmaktadır: (i) Literatürde, ötegezegenlerin geçiş ışık eğrilerini modellemede en çok kullanılan yazılımları/ programları tartışmak, (ii) Özellikle TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi’nde (TUG) ve Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi’nde (ÇOMÜG), gözlem kriterlerine göre seçilen yıldız-gezegen sistemlerinin fotometrik gözlemlerini yaparak ışıkölçüm analizlerini yapmak, (iii) Kepler uydu teleskobu ile gözlenen Kepler ötegezegenlerinin ışık eğrilerini farklı yazılımlarla modellemek ve böylece farklı modellerden elde edilen sonuçları tartışmak.

Bu tez toplamda 8 bölümden oluşmaktadır. Bölüm 2’de, yıldız-gezegen sistemlerinin ışıkölçüm analizlerinde kullanılan modeller/yazılımlar incelenmiştir. Seçilen ötegezegenlerin seçim kriterleri ile beraber literatür özetleri Bölüm 3’de verilmiştir. Işıkölçüm takip gözlemleri yapılan CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenlerinin gözlem bilgileri ile beraber Kepler uydu gözlemleri olan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin gözlem bilgileri Bölüm 4’te verilmiştir. Bölüm 5’te, tez projesi kapsamında seçilen ötegezegenlerin TTV analizleri verilmiştir. TTV analizlerinde maksimum olasılık yöntemi kullanılarak ağırlıklı O-C analizi yapılmış ve kullanılan yöntem Bölüm 5’te ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Işıkölçüm takip gözlemleri yapılan 5 ötegezegen ile birlikte seçilen Kepler ötegezegenlerinin geçiş eğrisi çözümleri Bölüm 6’da verilmiştir. Takip gözlemleri yapılan 5 ötegezegenin geçiş eğrisi analizleri ikinci derece kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP kodu kullanılarak yapılmıştır. Bu tez çalışmasını bir diğer amacı, gezegen geçiş eğrisi çözümlerinde

kullanılan farklı modelleri birbirleri ile karşılaştırmaktır. Bu kapsamda Kepler uydu teleskobu ile duyarlı ışıkölçüm gözlemleri yapılan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş eğrileri hem WinFitter hem de JKTEBOP yazılımları çözülmüş ve her iki yazılımdan elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Yıldız-gezegen sistemlerinde görülen elipsoidal etki, Doppler vuru etkisi ve yansıma etkisi Bölüm 7’de ele alınmıştır. Aynı zamanda seçilen ötegezegenlerin geçiş dışı ışık eğrileri çözümleri Bölüm 7’de verilmiştir. Son bölümde yapılan ışıkölçüm analizlerinden elde edilen bulgular tartışılmıştır. Bu bölümde aynı zamanda yıldız-gezegen sistemlerindeki ana yıldızın dikine hız yarı genliğini etkileyen yörünge parametreleri incelenerek sonuçlar tartışılmıştır.

Bu tez kapsamında çıkan bilimsel makaleler ile birlikte uluslararası toplantılarda sunularak tam metin olarak yayınlanmış bildiriler aşağıda verilmiştir.

- Makaleler
 - Öztürk O., Erdem A., 2019. New photometric analysis of five exoplanets: CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b, and WASP-52b. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 486 (2): 2290–2307.
- Bildiriler
 - Öztürk O., Erdem A., 2018. Re-examining the light curves of Kepler-6b, Kepler-8b and Kepler-40b. AIP Conference Proceedings, 2042 (1): id.020014.
 - Öztürk O., Erdem A., 2018. Statistical examination of orbital elements affecting radial velocity semi-amplitude of host star in star-planet systems. AIP Conference Proceedings, 1935 (1): id.030003.
 - Öztürk O., Erdem A., 2018. On the classification of exoplanets according to Safronov number. AIP Conference Proceedings, 1935 (1): id.030002.
 - Öztürk O., Erdem A., 2017. Effect of planetary mass on the orbit of star-planet systems. AIP Conference Proceedings, 1815 (1): id.080018.

BÖLÜM 2

YILDIZ – GEZEĞEN SİSTEMLERİNİN IŞIKÖLÇÜM ANALİZLERİNDE KULLANILAN YAZILIMLAR

Ötegezegen geçiş ışık eğrilerinin çözümünde kullanılan birçok yazılım vardır. Bunlara örnek olarak TAP (Gazak ve ark. 2012), EXOFAST (Eastman ve ark. 2013), JKTEBOP (Southworth ve ark. 2004; Southworth 2008; Southworth 2010) ve WinFitter (Rhodes ve Budding 2014) yazılımları verilebilir.

Gezegen geçiş eğrisi çözümlerinde en önemli etkenlerden biri çözümde kabul edilen ana yıldız kenar kararma etkisidir. Yıldız diskinin merkezinden kenarlarına göre daha çok ışınım gelmektedir. Bu nedenle bir yıldız-gezegen sisteminde gözlenen ana yıldızın merkez bölgesi, yıldız diski kenarlarına göre daha parlaktır. Parlaklıktaki bu değişime ana yıldızın kenar kararması, geçiş eğrisinde gösterdiği etkiye de kenar kararma etkisi denilmektedir. Yıldız kenar kararması, yıldız diskinin kenarlarına doğru gidildikçe bakış doğrultumuz ile yıldız atmosferi yüzey normali doğrultusunda çıkan ışık arasındaki açı (θ) kaynaklıdır (bkz. Claret ve Bloemen 2011, Claret ve ark. 2013). Gezegen geçiş ışık eğrisi üzerinde kenar kararma etkisi, yıldızın fiziksel parametrelerine bağlı olarak değişir. Kenar kararma etkisi gözlemin yapıldığı süzgecin etkin dalga boyuna, yıldız sıcaklığına, metal bolluğuna ve yüzey çekim ivmesine bağlıdır.

Başlıca kenar kararma kanunları olarak lineer, ikinci dereceden, karekök, logaritmik, üstel ve lineer olmayan kenar kararma kanunları verilebilir (bkz. Claret ve Bloemen 2011, Claret ve ark. 2013). Lineer, ikinci dereceden, karekök, logaritmik, üstel ve lineer olmayan dört katsayılı kenar kararma kanunları altında yıldızdan alınan ışık şiddeti ($I(r)$) sırasıyla (2.1), (2.2), (2.3), (2.4), (2.5) ve (2.6) denklemleri ile verilmektedir (bkz. Claret ve ark. 2013).

$$\frac{I(r)}{I(0)} = 1 - u(1 - \mu) \quad (2.1)$$

$$\frac{I(r)}{I(0)} = 1 - a(1 - \mu) - b(1 - \mu^2) \quad (2.2)$$

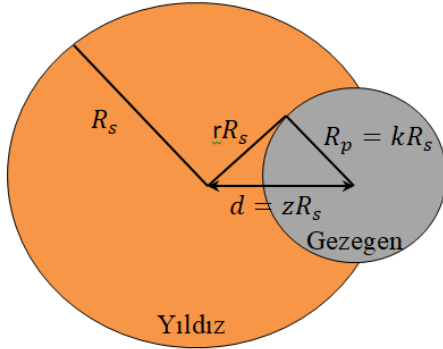
$$\frac{I(r)}{I(0)} = 1 - c(1 - \mu) - d(1 - \sqrt{\mu}) \quad (2.3)$$

$$\frac{I(r)}{I(0)} = 1 - e(1 - \mu) - f\mu \ln(\mu) \quad (2.4)$$

$$\frac{I(r)}{I(0)} = 1 - g(1 - \mu) - \frac{h}{(1 - e^\mu)} \quad (2.5)$$

$$\frac{I(r)}{I(0)} = 1 - c_1(1 - \mu^{0.5}) - c_2(1 - \mu) - c_3(1 - \mu^{1.5}) - c_4(1 - \mu^2) \quad (2.6)$$

Yukarıdaki denklemlerde u, a, b, c, d, e, f, c_n katsayıları gözlemin yapıldığı süzgecin etkin dalga boyuna, yıldız sıcaklığına, metal bolluğuna ve yüzey çekim ivmesine bağlı olarak değişen sabitlerdir (bkz. Claret ve Bloemen 2011, Claret ve ark. 2013) ve $\mu = \cos \theta = \sqrt{(1 - r^2)}$ olarak tanımlanır. r terimi, yıldız diski üzerindeki normalize edilmiş yarıçap koordinatıdır ve alacağı değerler $0 \leq r \leq 1$ arasındadır (bkz. Şekil 2.1). θ açısı, bakış doğrultumuz ile yıldız atmosferi yüzey normali doğrultusunda çıkan ışık arasındaki açıdır (bkz. Şekil 2.3). $I(0)$ yıldız diski merkezinden gelen ışık şiddetidir. Literatürde, tüm bu kenar kararım kanunları içerisinde, yıldız gezegen sistemlerinin geçiş eğrisi çözümlerinde ikinci derece kenar kararım kabulü yeterli bir varsayım olarak kabul görmektedir (bkz. Mandel ve Agol 2002, Southworth 2008).



Şekil 2.1. Gözlemcinin gözünden, gezegenin yıldızı önünden geçerken yıldız-gezegen sistemi geometrisi (Mandel ve Agol (2002) çalışmasındaki Şekil 1'den uyarlanmıştır).

EXOFAST programı Eastman ve ark. (2013) tarafından, IDL programında yazılmış, yıldız gezegen sistemlerinin gözlenen ışıkölçüm gezegen geçiş ve dikine hız eğrilerinin, isteğe bağlı olarak eş zamanlı veya ayrı ayrı olarak modellenmesinde kullanılan bir yazılımdır. EXOFAST programında Markov Chain Monte Carlo (MCMC) algoritması

(bkz. Johnson ve ark. 2011) ve Mandel ve Agol (2002) tarafından verilen gezegen geçiş modeli kullanılmıştır. Mandel ve Agol (2002) tarafından verilen gezegen geçiş modeli bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu yazılımda gezegen geçiş eğrisi czmnde ikinci derece kenar kararma etkisi kabulü yapılmıştır.

TAP (Transit Analysis Package, Gazak ve ark. 2012) yazılımı da EXOFAST yazılımına benzer olarak IDL programında yazılan ve gezegen geçiş eğrisi czmlerinde Mandel ve Agol (2002) tarafından verilen modelin kullanıldığı bir programdır. TAP yazılımında gezegen geçiş eğrisi fiti yapılırken MCMC algoritması kullanılmaktadır. EXOFAST programından farklı olarak, TAP yazılımında farklı süzgeçlerde, farklı teleskoplarda veya farklı hava koşullarında gözlenen gezegen geçiş eğrileri eş zamanlı olarak birlikte czlelebilmektedir.

EXOFAST ve TAP programlarında, hem yıldız hem de gezegen Mandel ve Agol (2002) modelinde açıklandığı üzere birer küre olarak ele alınmış, yıldız ve gezegenin birbirlerine uyguladıkları cekimsel etkiler göz ardı edilmiştir. Bunun yanı sıra, bu yazılımlarda modelleme yapılırken gezegenin ana yıldız arkasında olduğu ikinci tutulma evresinde görülen gezegen atmosferi tarafından yansıyan ışık etkisi, yıldızın gezegene bakan bölgesinin şişimi sonucu görülen elipsoidal etki kaynaklı ışık değişimi, ana yıldızın yörünge hareketi kaynaklı hareketi dolayısı ile görülen Doppler vuru etkisi gibi etkiler EXOFAST ve TAP yazılımlarında ihmal edilen etkilerdir. Yansıma etkisi, elipsoidal etki ve Doppler vuru etkisi Bölüm 7’de ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

2.1. Mandel ve Agol (2002) gezegen geçiş modeli

Mandel ve Agol (2002), birbirlerine fiziksel olarak bağlı bir yıldızdan ve bir gezegenden oluşan yıldız gezegen sistemini modellemek için yıldız ve gezegeni birer küre olarak ele almıştır. Mandel ve Agol (2002) modelinde kabul edilen yıldız gezegen sistemi modeli şekil 1,1’de gösterilmiştir. şekil 2.1’de görülen $d, R_p, R_s, z = d/R_s$ ve $k = R_p/R_s$ sırasıyla yıldız ve gezegen merkezleri arasındaki gökyüzü izdüşüm uzaklığı, gezegen yarıçapı, yıldız yarıçapı, merkezler arası normalize edilmiş ayrıklık ve yarıçaplar oranıdır.

Kenar kararmasının olmadığı durum için yıldızın gezegen tarafından kapatılmayan bölümünden alınan akısı $F^e(k, z)$ fonksiyonu ile aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$F^e(k, z) = 1 - \lambda^e(k, z) \quad (2.7)$$

(2.7) denkleminde görülen $\lambda^e(k, z)$ terimi, gezegenin yıldızdan olan uzaklığına (z) ve yarıçaplar oranına (k) bağlı olarak, gezegenin yıldızı kapatan bölgesinden alınamayan akıyı temsil etmektedir. Gezegenin yıldızın hiçbir bölgesini kapatmadığı durumda ($d > R_s + R_p$ veya $d/R_s = z > (R_s + R_p)/R_s = 1 + k$) $\lambda^e(k, z)$ teriminin değeri 0 olur, yani yıldızdan alınan akıdan herhangi bir kayıp olmaz ($F^e(k, z) = 1$).

$\lambda^e(k, z)$ teriminin olası 4 tane değeri vardır. Bunlar z ve k terimlerine bağlı olarak aşağıdaki gibidir.

$$\lambda^e(k, z) = \begin{cases} 0 & , 1 + k < z \\ \frac{1}{\pi} \left[k^2 \kappa_0 + \kappa_1 - \sqrt{\frac{4z^2 - (1 + z^2 - k^2)^2}{4}} \right] & , |1 - k| < z \leq 1 + k \\ k^2 & , z \leq 1 - k \\ 1 & , z \leq k - 1 \end{cases} \quad (2.8)$$

Burada, κ_0 ve κ_1 , k ve z terimlerine bağlı olan fonksiyonlardır ve aşağıdaki gibi verilir.

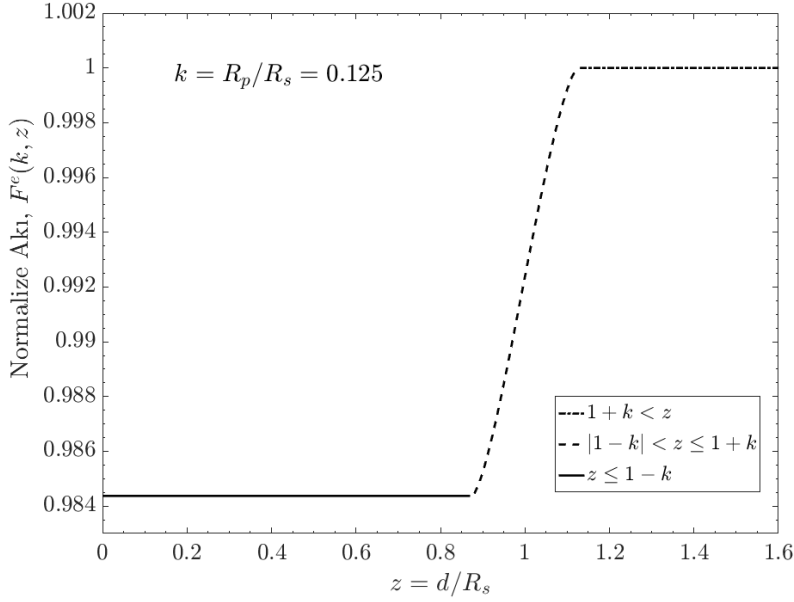
$$\kappa_1 = \cos^{-1} \left[\frac{1 - k^2 + z^2}{2z} \right] \quad (2.9)$$

$$\kappa_0 = \cos^{-1} \left[\frac{k^2 + z^2 - 1}{2kz} \right] \quad (2.10)$$

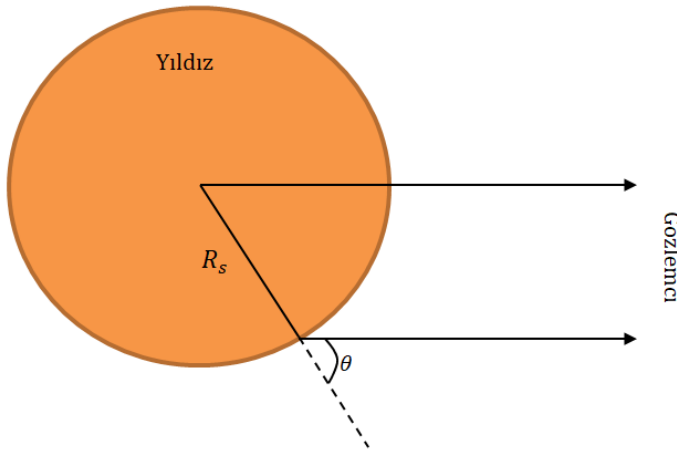
Mandel ve Agol (2002) modeline göre kenar kararmasının olmadığı durum için beklenen ışıkölçüm gezegen geçiş eğrisine bir örnek Şekil 2.2’de verilmiştir.

Kenar kararma etkisinin en genel biçimi olan 4-katsayılı kenar kararma varsayımı (2.6) denklemi ile verilmiştir. Bir yıldız yüzeyinin gözlenebilen derinliği, o yıldız atmosferinin donukluk (opasite) özelliğine ek olarak, yıldızın yüzey normali ile bakış doğrultumuz arasındaki θ açısına bağlıdır. Bu açı Şekil 2.3’de gösterilmiştir. 4-katsayılı kenar kararma varsayımı altında ışıkölçüm gezegen geçiş eğrisi modeli, Mandel ve Agol (2002) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$F(k, z) = \left[\int_0^1 dr \, 2r \, I(r) \right]^{-1} \int_0^1 dr \, I(r) \frac{d[F^e(k/r, z/r)r^2]}{dr} \quad (2.11)$$



Şekil 2.2. $k = 0.125$ durumu için kenar kararmasının olmadığı durumda Mandel ve Agol (2002) modelinden elde edilen kuramsal gezegen geçiş eğrisi.



Şekil 2.3. Yıldız kenar kararmasının geometrisi. Gözlemcinin bakış doğrultusu ile yıldız diski yüzey normali arasındaki açı θ ile gösterilmiştir (Mandel ve Agol 2002 çalışmasındaki Şekil 1'den uyarlanmıştır).

(2.11) denkleminde görülen $F^e(k/r, z/r)$ fonksiyonu, (2.7) denklemi ile verilen fonksiyondur. Mandel ve Agol (2002), gezegen geçiş eğrilerini inceleyebilmek için ötegezegenin yörünge üzerindeki konumuna, yörünge eğimine, gezegen yarıçapının yıldız yarıçapına oranına göre (2.11) denklemini 11 tane durum için ayrı ayrı incelemiştir. Bunun için öncelikle aşağıda verilen ve a, b ve Ω terimleri ile gösterilen dönüşümler yapılmıştır.

$$a \equiv (z - k)^2 \quad (2.12)$$

$$b \equiv (z + k)^2 \quad (2.13)$$

$$\Omega \equiv \sum_{n=0}^4 c_n (n + 4)^{-1} \quad (2.14)$$

Mandel ve Agol (2002) tarafından verilen 11 tane durum aşağıda ayrı ayrı verilmiştir.

Durum I: Bu durumda, yıldız gezegen tarafından örtülmemiştir ve bu nedenle, $F_I = 1$ olur.

Durum II: Burada, gezegen diski, yıldız merkezini örtemeyecek şekilde yıldız uzvu üzerindedir. Bu durum için aşağıdaki gibi bir N parametresi tanımlanmıştır.

$$N = \frac{(1-a)^{(n+6)/4}}{(b-a)^{1/2}} B\left(\frac{n+8}{4}, \frac{1}{2}\right) \left[\frac{z^2-k^2}{a} F_1\left(\frac{1}{2}, 1, \frac{1}{2}, \frac{n+10}{4}; \frac{a-1}{a}, \frac{1-a}{b-a}\right) - {}_2F_1\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{n+10}{4}; \frac{1-a}{b-a}\right) \right] \quad (2.15)$$

N parametresinde görülen $B(a, b), F_1(a, b_1, b_2, c; x, y)$ ve ${}_2F_1(a, b, c; x)$ formundaki fonksiyonlar sırasıyla, beta fonksiyonu, iki değişkenli Appell hipergeometrik fonksiyonu ve Gauss hipergeometrik fonksiyonudur. Durum II için yıldız akısı aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$F_{II} = 1 - (2\pi\Omega)^{-1} \sum_{n=0}^4 N c_n (n + 4)^{-1} \quad (2.16)$$

(2.16) denklemi ile verilen F_{II} akısı, gezegenin yıldız yüzeyini önüne gelerek örtmeye başladığı andaki ile yıldız yüzeyinden yavaş yavaş çıktığı andaki $(\frac{1}{2} + |k - \frac{1}{2}| < z < 1 + k)$ akı değişimini verir.

Durum III ve Durum IV: Durum III ve IV de, gezegen diski tamamen yıldız diski içindedir fakat yıldız merkezini örtmemektedir ($z \neq 0$). Burada da M ve L gibi iki parametre tanımlanmıştır.

$$M = (1 - a)^{(n+4)/4} \left[\frac{z^2-k^2}{a} F_1\left(\frac{1}{2}, -\frac{n+4}{4}, 1, 1; \frac{b-a}{1-a}, \frac{a-b}{a}\right) - {}_2F_1\left(-\frac{n+4}{4}, \frac{1}{2}, 1; \frac{b-a}{1-a}\right) \right] \quad (2.17)$$

$$L = k^2 \left(1 - \frac{k^2}{2} - z^2 \right) \quad (2.18)$$

Bu durumda yıldızdan alınan akı, Durum III ve IV için aşağıdaki gibi olur.

$$F_{III,IV} = 1 - (4\Omega)^{-1} \left[c_0 k^2 + 2 \sum_{n=1}^3 M c_n (n+4)^{-1} + c_4 L \right] \quad (2.19)$$

(2.19) denkleminde $c_0 = 1 - c_1 - c_2 - c_3 - c_4$ değerindedir. Durum III ve IV te verilen akı fonksiyonunun geçerli olması için, mutlaka ve mutlaka gezegenin büyüklüğü, yıldızın büyüklüğünün yarısından küçük olmalıdır ($0 < k < 0.5$).

Durum V: Bu durumda, gezegenin kenarı, yıldız diskinin merkezine dokunmakta ve gezegenin tümü yıldız diski içinde yer almaktadır. Bu durumdaki bağıl F_V akısı (2.20) denkleminde verilmiştir.

$$F_V = \frac{1}{2} + (2\Omega)^{-1} \sum_{n=0}^4 c_n (n+4)^{-1} {}_2F_1 \left(\frac{1}{2}, -\frac{n+4}{4}, 1; 4k^2 \right) \quad (2.20)$$

Durum VI: Bu durumda, gezegenin çapı, yıldızın yarıçapına eşittir ve gezegen diskinin bir kenarı yıldız merkezine değerken, diğer kenarı yıldızın diskinin kenarına değmektedir. Bu durumdaki bağıl akı aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$F_{VI} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\sqrt{\pi}\Omega} \sum_{n=0}^4 \frac{c_n}{n+4} \Gamma \left(\frac{3}{2} + \frac{n}{4} \right) / \Gamma \left(2 + \frac{n}{4} \right) \quad (2.21)$$

(2.21) denkleminde görülen $\Gamma(n)$ formundaki fonksiyonlar Gamma fonksiyonlarıdır.

Durum VII: Bu durumda, gezegen diski yıldız merkezine değmekte fakat gezegen tümüyle yıldız diski içinde yer almamaktadır. Yani, gezegenin çapı, yıldızın yarıçapından büyüktür ($0.5 < k < \infty$). Bu durumdaki bağıl akı aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$F_{VII} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4k\pi\Omega} \sum_{n=0}^4 \frac{c_n}{n+4} B \left(\frac{1}{2}, \frac{n+8}{4} \right) {}_2F_1 \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{n+10}{4}; \frac{1}{4k^2} \right) \quad (2.22)$$

Durum VIII: Bu durumda, gezegen hem yıldızın merkezini hem de kenarını örtmektedir. VIII durumunda, gezegenin büyüklüğü, yıldız büyüklüğünün yarısından fazla

olmalıdır veya bir başka değişle gezegenin çapı, yıldızın yarıçapından büyüktür ($0.5 < k < \infty$). Bu durumda yıldızdan alınan akı aşığıdaki gibi olur.

$$F_{VIII} = -(\Omega)^{-1} \sum_{n=0}^4 Nc_n(n+4)^{-1} \quad (2.23)$$

Durum IX: Bu durumda, gezegen diski tamamen yıldız diski içindedir ve yıldız merkezini kapatmaktadır. Bu durumdaki bağıl akı aşığıdaki gibidir.

$$F_{IX} = (4\Omega)^{-1} \left[c_0(1 - k^2) + c_4 \left(\frac{1}{2} - L \right) - 2 \sum_{n=1}^3 Mc_n(n+4)^{-1} \right] \quad (2.24)$$

Bu durum, $k \ll 1$ ve gökyüzü düzlemi ile gezegenin yörünge düzlemi arasındaki açının (i) neredeyse 90 derece olması koşulunda geçerlidir.

Durum X: Bu durumda, gezegenin merkezi yıldız diskinin merkezi ile çakışıktır ($z = 0$). Bu durum, gezegen geçişinin tam orta noktasını (0 evresi) temsil eder. Bu koşullar altında yıldızdan alınan ışık akısı aşığıdaki denklemlle temsil edilir.

$$F_X = (\Omega)^{-1} \sum_{n=0}^4 c_n(1 - k^2)^{(n+4)/4}(n+4)^{-1} \quad (2.25)$$

(2.25) bağıntısı sadece ve sadece gökyüzü düzlemi ile gezegenin yörünge düzlemi arasındaki açının (i) neredeyse 90 derece olduğı durumunda geçerlidir.

Durum XI: Bu durumda, gezegen, yıldızı tamamen örtmektedir. Dolayısıyla yıldızdan herhangi bir ışık akısı gözlenemez ($F_{XI} = 0$). Bu durumda gezegen muhtemel bir yıldızdır.

Yukarıda anlatılan 11 durum, yıldız ve gezegenin yarıçaplar oranına (k), yıldız ve gezegenin merkezler arası normalize edilmiş ayırlıklığına ($z = d/R_s$) ve yörünge eğimine göre (i) Çizelge 2.1 de özetlenmiştir.

4-katsayılı kenar kararmla kabulü altında yukarıda anlatılan geçiş eğrisi modelinde $c_1 = c_3 = 0$ alınır ise kenar kararmla kabulü ikinci dereceden kenar kararmla kabulüne indirgenmiş olur.

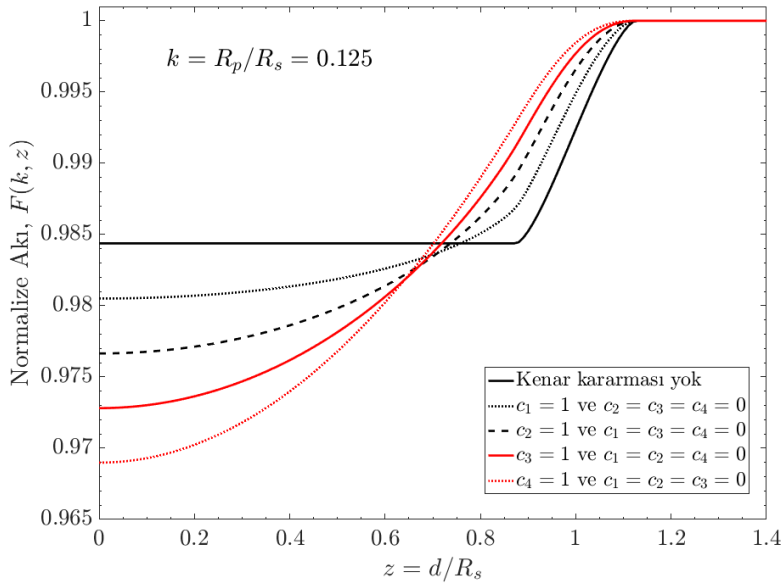
4-katsayılı kenar kararmla kabulü altında, yarıçaplar oranı $k = 0.125$ olan bir yıldız-gezegen sistemi için Mandel ve Agol (2002) modeline göre beklenen gezegen geçiş eğrilerine örnek Şekil 2.4'te verilmiştir. Şekil 2.4'ten görüldüğü üzere kenar kararmla

katsayılarının (c_n) farklı değerleri için farklı geçiş eğrileri elde edilmiştir. Bu durum, kenar kararma kabulünün gezegen geçiş eğrisi üzerindeki etkisini ve önemini bariz bir şekilde göstermektedir. Kenar kararma katsayılarının değerleri gezegen geçiş eğrisi derinliğini doğrudan etkileyen bir parametredir ve bu nedenle gözlenen gezegen geçiş eğrisi çözümlerinde büyük bir öneme sahiptir.

Çizelge 2.1. Mandel ve Agol (2002) modelinde, 4-parametrelili kenar kararma etkisi varsayımında yıldızdan alınan ışık akısı fonksiyonları.

Durum	$k = \frac{R_p}{R_s}$	$z = \frac{d}{R_s}$	F	$i(^{\circ})$
I	$(0, \infty)$ 0	$[1 + p, \infty)$ $[0, \infty)$	1	-
II	$(0, \infty)$	$\left(\frac{1}{2} + \left p - \frac{1}{2}\right , 1 + p\right)$	(2.16) denklemi	-
III	$\left(0, \frac{1}{2}\right)$	$(p, 1 - p)$	(2.19) denklemi	-
IV	$\left(0, \frac{1}{2}\right)$	$1 - p$	(2.19) denklemi	-
V	$\left(0, \frac{1}{2}\right)$	p	(2.20) denklemi	-
VI	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	(2.21) denklemi	-
VII	$\left(\frac{1}{2}, \infty\right)$	p	(2.22) denklemi	-
VIII	$\left(\frac{1}{2}, \infty\right)$	$[1 - p , p)$	(2.23) denklemi	-
IX	$(0, 1)$	$\left(0, \frac{1}{2} - \left p - \frac{1}{2}\right \right)$	(2.24) denklemi	$\sim 90^{\circ}$
X	$(0, 1)$	0	(2.25) denklemi	$\sim 90^{\circ}$
XI	$(1, \infty)$	$[0, 1 - p)$	0	-

Özellikle yer tabanlı ışıkölçüm yıldız-gezegen sistemi gözlemlerinden elde edilen geçiş eğrilerinin çözümlerinde, kabul edilen kenar kararma etkisinin kenar kararma katsayıları genellikle sabit tutulur. Bu tür geçiş eğrisi çözümlerinin gerçekçi olarak yapılabilmesi ancak ve ancak kenar kararma katsayılarının gerçeğe yakın değerlerde alınmış olmasına bağlıdır. Bu önemden ötürü literatürde ana yıldızların sıcaklıklarına, metal bolluklarına, gravitasyonel yüzey çekim sabitlerine ve gözlemin yapıldığı süzgecin etkin dalga boyuna göre literatürde kenar kararma katsayılarının tablolarının verildiği birçok çalışma vardır (bkz. Claret ve Bloemen 2011, Claret ve ark. 2013).



Şekil 2.4. $k = 0.125$ durumu için c_1, c_2, c_3 ve c_4 kenar kararma katsayılarının farklı değerleri için Mandel ve Agol (2002) modelinden elde edilen teorik gezegen geçiş eğrileri.

2.2. JKTEBOP Yazılımı

JKTEBOP, EBOP yazılımından (Popper ve Etzel, 1981) türetilmiş bir program olup hem örten ayrık çift yıldız sistemlerinin hem de yıldız-ötegezegen sistemlerinin ışık eğrilerine uygulanabilmektedir. JKTEBOP kodunda, çift sistemi oluşturan yıldız ve gezegen, üç eksenli elipsoidler olarak göz önüne alınırlar. Gezegen geçiş eğrisi modeli, yıldız ve gezegeni temsil eden iç içe geçmiş üç eksenli elipsoidler üzerinden alınan integrallerin nümerik hesapları ile gerçekleştirilmektedir (bkz. Southworth ve ark. 2004, Southworth 2008, Southworth 2011). Geçiş eğrisi modeli sonucu elde edilen parametre değerlerinin hataları, MCMC ve gözlemsel artık permütasyonları gibi farklı tekniklerle ayrı ayrı belirlenebilmekte, bu sayede farklı tekniklerle elde edilen hata değerleri karşılaştırılabilmektedir (bkz. Southworth ve ark. 2004, Southworth 2008, Southworth 2011). EXOFAST ve TAP yazılımlarına benzer olarak, gezegenden yansıyan ışık etkisi, yıldızın dönmesinden kaynaklı elipsoidal değişimler kaynaklı ışık değişimi, yıldızın hem yörünge hareketi hem de kendi eksenindeki dönmesi kaynaklı gözlenen ışıktaki Doppler vuru etkisi gibi etkiler JKTEBOP yazılımında ihmal edilen etkilerdir.

Gezegen geçiş eğrisi çözümünde gözlenen geçiş eğrisine fit yaparken Levenberg–Marquardt algoritması kullanılır. Bu yazılım ile geçiş eğrisi çözümleri isteğe bağlı olarak lineer, ikinci dereceden, karekök, logaritmik, üstel ve 4-katsayılı kenar kararma kabulleri altında yapılabilir.

JKTEBOP yazılımı ile gözlenen gezegen geçişi eğrisine fit yapılırken kullanılan temel fiziksel parametreler, kesirsel yıldız ve gezegen yarıçapları toplamı ($R_s/a + R_p/a$, a yörünge yarı büyük eksenini temsil etmektedir), yarıçaplar oranı ($k = R_p/R_s$), yörünge eğimi (i), gezegen kütlesinin yıldız kütlesine oranı ($q = M_p/M_s$), yörünge eksantritesi (e), kenar kararma katsayıları, gezegenin yörünge dönemi yörünge (P) ve referans gezegen geçiş ortası zamanı (T_0) parametreleridir.

2.3. WinFitter Yazılımı

WinFitter kodu, yakın çift sistemlerin fotometrik analizinde kullanılan CurveFit (Rhodes ve Budding 2014) yazılımının yıldız – gezegen sistemlerine uyarlanmış halidir. WinFitter kodunda hem yıldız hem de gezegen birer akışkan cisim olarak ele alınır ve Kopal (1959) tarafından geliştirilen Radau denklemlerinin çözümlerine dayanır. Burada, WinFitter yazılımında kullanılan fiziksel model hakkında kısa bilgi sunulmuştur. WinFitter yazılımı ile yıldız-gezegen sistemlerinin ışık eğrilerinin modellenmesi hakkında ayrıntılı bilgi için Budding ve ark. (2018) ve Huang ve ark. (2019) çalışmalarına bakılabilir.

WinFitter kodu, gözlemsel veriyi temsil eden en iyi teorik fiti elde ederken Levenberg – Marquardt algoritmasını kullanır ve ana yıldızın kenar kararma etkisini, lineer kenar kararma kanunu varsayımı altında modeller (bkz. Rhodes ve Budding 2014, Budding ve ark. 2016, Budding ve ark. 2018). WinFitter yazılımında, yıldız-gezegen sistemlerinin ışık eğrilerini modellemede, yıldızın gezegene bakan bölgesinin şişimi sonucu görülen elipsoidal etki kaynaklı ışık değişimi, ana yıldızın yörünge hareketi kaynaklı hareketi dolayısı ile görülen Doppler vuru etkisi ve gezegenin ana yıldız arkasında olduğu ikinci tutulma evresinde görülen gezegen atmosferi tarafından yansıyan ışık etkisi modellenenilmektedir. Bu etkiler ayrıntılı olarak Bölüm 7’de ele alınmıştır.

WinFitter kodu ile gözlemsel veriye fit yapılırken kullanılan başlıca parametreler şu şekildedir: yıldız ve gezegen kütlesi (M_s, M_p), yıldız ve gezegen ısıtmaları (L_s, L_p), yörünge dönemi (P), yörünge eğimi (i), yıldız etkin sıcaklığı (T_{etkin}), gezegen denge sıcaklığı (T_{eq}), yıldız ve gezegenin yarıçapları (R_s, R_p) ve yörünge eksantritesi (e) dir. Çözüm boyunca yapılan iterasyonlar, en küçük $\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(O_i - C_i)^2}{\sigma_i^2}$ değeri elde edilene kadar sürdürülür. Burada O gözlenen değeri, C teorik fitten hesaplanan değeri, σ gözlemsel hatayı ve N gözlem noktası sayısını temsil etmektedir. Model sonucu elde edilen parametrelerin hataları, çözüm sonucunda elde edilen ters Hessian matrislerinin köşegen elemanlarından türetilmektedir (bkz. Budding ve ark. 2018, Huang ve ark. 2019) .

BÖLÜM 3

İNCELENEN KAYNAKLARIN LİTERATÜR ÖZETLERİ

Bu tez projesi kapsamında, yer tabanlı ışıkölçüm takip gözlemleri yapılması planlanan yıldız gezegen sistemleri, tezin amaçlarına göre ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) ile Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi (ÇOMÜG) gözlem kriterlerine göre seçilmişlerdir. Her iki gözlemevindeki gözlem kriterleri aşağıdaki gibidir.

- Işıkölçüm gezegen geçiş gözlemlerinde gözlenecek geçiş derinliği (δ) en az 1.3-1.5 % kadar olmalıdır.
- Gözlenen kaynağın parlaklığı görsel (V) bölgede $7 < V < 13.5$ kadir arasında yer almalıdır.

Bu gözlem kriterleri göz önünde bulundurularak CoRoT-2 ($V = 12.6$ kadir, $\delta \sim 0.028$), HAT-P-12 ($V = 12.8$ kadir, $\delta \sim 0.020$), TrES-2 ($V = 11.4$ kadir, $\delta \sim 0.016$), WASP-12 ($V = 11.7$ kadir, $\delta \sim 0.014$) ve WASP-52 ($V = 12.0$ kadir, $\delta \sim 0.027$) kaynakları seçilmiştir. Takip gözlemleri yapılan bu beş kaynağın gözlem bilgileri Bölüm 4'te verilmiştir.

Bu tezin bir diğer amacı, duyarlı ışıkölçüm gözlemleri yapılan yıldız-gezegen sistemlerinin gözlenen gezegen geçiş ışık eğrilerini farklı fiziksel modeller kullanan yazılımlar yardımıyla çözmek ve modellerden elde edilen sonuçlar aracılığı ile farklı modelleri birbirleri ile karşılaştırmaktır. Bu kapsamda, gözlemleri Kepler uydu teleskobu ile yapılan Kepler-6, Kepler-8 ve Kepler-40 sistemleri seçilmiştir. Kepler görevi ve seçilen sistemlerin Kepler gözlemleri hakkında ayrıntılı bilgi Bölüm 4'te verilmiştir.

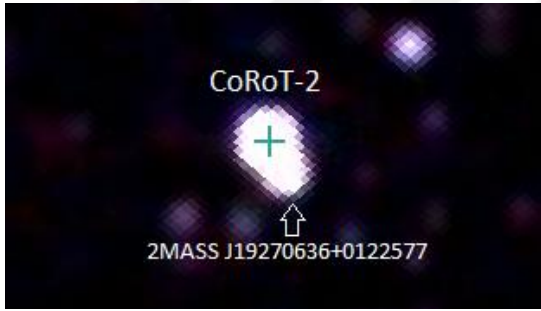
Bu bölümde, tez projesi kapsamında seçilen yıldız – gezegen sistemlerinin literatür bilgilerine yer verilmiştir.

3.1. CoRoT-2 Yıldız – Gezegen Sistemi

CoRoT-2 yıldız gezegen sistemi, CoRoT (Auvergne ve ark. 2009) uydu gözlemleri ile Alonso ve ark. (2008) tarafından keşfedilmiştir. CoRoT-2 sisteminin CoRoT gözlemleri, 16 Mayıs ile 15 Ekim 2007 tarihleri arasında kırmızı, yeşil ve mavi dalga boylarına karşılık gelen geniş dalga boyu aralığında yapılmıştır. İlginç bir doğaya sahip CoRoT-2 sistemi, birçok bilim insanı tarafından günümüze değin hem yer tabanlı ışıkölçüm geçiş gözlemleri ile hem de gezegenin ana yıldız arkasında olduğu ikinci tutulma gözlemleri ile incelenmiştir (bkz. Alonso ve ark. 2009, Huber ve ark. 2009,

Alonso ve ark. 2010, Rauer ve ark. 2010, Gillon ve ark. 2010, Snellen ve ark. 2010, Guillot ve Havel 2011, Deming ve ark. 2011, Schröter ve ark. 2011, Madhusudhan 2012; Moses ve ark. 2013, Borsa ve Poretti 2013, Wilkins ve ark. 2014).

152 günlük CoRoT uydu gözlemleri ile aday yıldız-gezegen sistemi olarak belirlenen CoRoT-2 sistemindeki gezegenin varlığı, Alonso ve ark (2008) ve Bouchy ve ark. (2008) tarafından SOPHIE, CORALIE ve HARPS tayf çekerleri ile yapılan tayfsal gözlemleriyle doğrulanmıştır. Bouchy ve ark. (2008), ana yıldızın tayfsal gözlemleri sonucu bu yıldızın G7V tayf türünden güneş bolluğuna sahip, güçlü *Li I* salma ve soğurma çizgileri gösteren genç ve aktif bir yıldız olduğu sonucuna ulaşılmışlardır. Daha sonrasında, Schröter ve ark. (2011) sistemin tutulma süresince optik ve X-ışını bölgesinde tayfsal gözlemlerini yaparak, CoRoT-2 ana yıldızının G6-G7 arasında tayfa sahip bir cüce yıldız olduğu sonucuna varmışlardır. CoRoT-2 ana yıldızının ışıkölçüm gözlemlerinde göze çarpan bir diğer nokta ana yıldızla neredeyse bitişik bir başka yıldızın (2MASS J19270636+0122577) varlığıdır (bkz. Alonso ve ark. 2008, Gillon ve ark. 2010, Schröter ve ark. 2011). CoRoT-2 ana yıldızı ve bu yıldızla çok yakın olan 2MASS J19270636+0122577 yıldızının 2MASS (Two Micron All-Sky Survey) tarafından elde edilen görüntüsü Şekil 3.1 de verilmiştir.

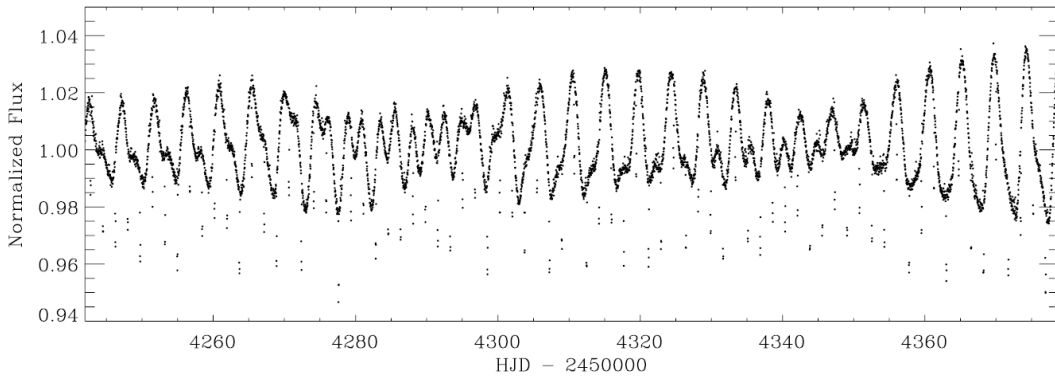


Şekil 3.1. CoRoT-2 ana yıldızı ve buna çok yakın olan 2MASS J19270636+0122577 yıldızının 2MASS tarafından elde edilen görüntüsü.

CoRoT-2 ana yıldızına neredeyse bitişik görülen 2MASS J19270636+0122577 yıldızının optik ve kızıl öte bölgelerindeki parlaklıkları, bu sistemin CoRoT-2 yıldızı ile aynı uzaklıkta olan geç *K* veya erken *M* türünden bir yıldız olduğunu göstermektedir (bkz. Alonso ve ark. 2008, Gillon ve ark. 2010, Schröter ve ark. 2011). İlk başta 2MASS J19270636+0122577 yıldızının CoRoT-2 ana yıldızına çekimsel olarak bağlı olup olmadığı tam olarak anlaşılmısa da (bkz. Alonso ve ark. 2008, Gillon ve ark. 2010) daha sonra Schröter ve ark. (2011) yapmış olduğu tayfsal ve X-ışını bölgedeki gözlemleri

sonucu 2MASS J19270636+0122577 yıldızının, CoRoT-2 ana yıldızına fiziksel olarak bağılı olduğunu doğrulamıştır.

CoRoT görevi kapsamında gözlenen CoRoT-2 yıldızının elde edilen ışık eğrisi, yıldız üzerindeki leke nedeniyle, Şekil 3.2 de görüldüğü üzere, tutulmalar dışında da değişim göstermektedir (bkz. Alonso ve ark. 2008, Lanza ve ark. 2009). Lanza ve ark. (2009) CoRoT uydu gözlemlerini kullanarak ana yıldız üzerindeki lekelerin çoğunun her iki kutup boylamı üzerinde olması gerektiğini tespit etmiştir.



Şekil 3.2. CoRoT-2 yıldızının CoRoT uydu gözlemi ile elde edilen normalize akı-zaman diyagramı (Alonso ve ark. 2008).

CoRoT-2 sisteminin hem CoRoT uydu görevi kapsamında optik bölgede (Alonso ve ark. 2008), hem de Spitzer Uzay Teleskopu görevi kapsamında kızıl öte bölgede (Gillon ve ark. 2010, Deming ve ark. 2011) gözlemleri yapılmıştır. Ayrıca yer tabanlı gözlemlerle (Alonso ve ark. 2010) gezegenin ana yıldız arkasında olduğu ikinci tutulma gözlemleri de yapılmıştır. Sistemin ışıkölçüm ikinci tutulma gözlemlerinden CoRoT-2b gezegeninin atmosfer yapısı hakkında bilgi edinmek amaçlanmıştır. Spitzer görevi kapsamında sistemin 8 μm ve 4.5 μm dalga boylarında gözlemleri yapılmış olmakla birlikte 8 μm de yapılan gözlemlerden alınan akının 4.5 μm dalga boyunda yapılan gözlem sonucu alınan akıdan daha küçük olduğu görülmüştür. Bir başka deyişle, 4.5 μm dalga boyundaki ikinci tutulma derinliği (0.510 ± 0.042 %) 8 μm dalga boyundaki derinlikten (0.41 ± 0.11 %) daha büyük olarak gözlenmiştir (Gillon ve ark. 2010). Gözlenen dalga boyuna bağlı olarak ikinci tutulmada görülen bu değişim ile birlikte ana yıldızda görülen leke etkisi, gezegen atmosferinin herhangi bir standart atmosfer modeli ile tam olarak açıklanamamasına sebep olmuştur (bkz. Schröter ve ark. 2011, Gillon ve ark. 2010). Öte yandan Madhusudhan (2012), ikinci tutulmada gözlenen bu akı değişiminin gezegen atmosferinin karbon

bakımından veya oksijen bakımından oldukça zengin olması durumlarıyla açıklanabileceğini öne sürmüştür. Daha sonrasında Moses ve ark. (2013), karbon oksijen bolluğu oranının dev gezegenlerin kimyası ve bileşimi üzerine olan etkilerini incelemiş ve elde ettikleri model aracılığı ile CoRoT-2b gezegeninin karbonca zengin olabileceğini belirtmişlerdir. İkinci tutulmanın bir diğer tayfsal gözlemleri Wilkins ve ark. (2014) tarafından 1.1-1.7 μm dalga boyları arasında yapılmış ve bu gözlemler sonucu gezegenin kara cisim sıcaklığı 1788 ± 18 K olarak elde edilmiştir.

Knutson ve ark. (2010) CoRoT-2 sisteminin KECK ve HIRES tayf çekerleri ile alınan tayfını inceleyerek CoRoT-2 ana yıldızının o zamana kadar gözlenen manyetik olarak en aktif ana yıldız olduğunu tespit etmişlerdir. Ammler-von Eiff ve ark. (2009), Bouchy ve ark. (2008) çalışmasında verilen yüksek çözünürlüklü UVES tayf verisini tekrar analiz ederek ana yıldızın metal bolluğunu hassas bir şekilde elde etmişlerdir. Gillon ve ark. (2010), ana yıldızın yeni UVES tayf gözlemlerini yaparak bu yıldızın yaşının 30 ile 316 Ma arasında olacağını ve gezegen yörünge eksantritesinin 0.014 mertebesinde olması gerektiğini tespit etmişlerdir. Schröter ve ark. (2011) hem CoRoT-2 ana yıldızının hem de buna bağlı görsel bileşenin (bkz. Şekil 1) yeni UVES tayfını alarak ana yıldızın etkin sıcaklığını, yüzey çekimini, metal bolluğunu, uzaklığını ve ana yıldızın yaşını hesaplamışlardır. Schröter ve ark. (2011), sistemin aynı zamanda Chandra X-ışını gözlemlerini yapmış ve CoRoT-2 ana yıldızında X-ışını salmalarını tespit ederek yıldızın X-ışını bölgesindeki ısıtmasını $1.9 \times 10^{29} \text{ erg s}^{-1}$ olarak elde etmiştir. CoRoT-2 yıldızının yakınında görsel olarak görülebilen 2MASS J19270636+0122577 yıldızının (bkz. Şekil 3.1) CoRoT-2 yıldızına çekimsel olarak bağlı olduğunu doğrulayan Schröter ve ark. (2011), bu bileşenin, gezegenin eksantrik bir yörüngede dolanım hareketi yapmasına sebep olabileceğini vurgulamışlardır.

3.2. HAT-P-12 Yıldız – Gezegen Sistemi

HAT-P-12 sistemi, The Hungarian-made Automated Telescope Network (HATNet, Bakos ve ark. 2004) projesi kapsamında Arizona da bulunan HAT-5 teleskobuyla Ocak-Temmuz 2006 tarihleri arasında yapılan gözlemler ile Hartman ve ark. (2009) tarafından aday yıldız gezegen sistemi olarak belirlenmiştir. Aday yıldız gezegen olarak belirlenen HAT-P-12 sisteminin, daha sonrasında, 27 Mart 2007 ile 17 Eylül 2008 tarihleri arasında Hawaii de bulunan Keck I teleskobu ve buna bağlı HIRES tayf çekerleri ile Hartman ve ark. (2009) tarafından 22 tane dikine hız ölçümü yapılmıştır. Yapılan dikine hız gözlemleri sonucunda yıldız-gezegen sistemi olduğu kesinleşen HAT-P-12 sisteminin duyarlı

ışıkölçüm takip gözlemleri, Hartman ve ark. (2009) tarafından, Arizona’da bulunan 1.2 m ayna çaplı FLWO teleskobu ve buna bağlı KeplerCam CCD kamerası ile gerçekleştirilmiştir. FLWO gözlemleri ile 27 Mart 2007, 25 Nisan 2007, 5 Şubat 2009 ve 6 Mart 2009 tarihlerinde sistemin 4 tane gezegen geçiş eğrisi elde edilmiştir. Hartman ve ark. (2009), HAT-P-12b gezegeninin $0.733 \pm 0.018 M_{\odot}$ kütleli ve $0.701^{+0.017}_{-0.012} R_{\odot}$ yarıçaplı K4 türünden bir cüce yıldız etrafında 3.21 gün yörünge dönemi ile dolanan $0.211 \pm 0.012 M_J$ kütleli ve $0.959^{+0.029}_{-0.021} R_J$ yarıçaplı bir gezegen olduğunu belirtmişlerdir.

Bu sistem üzerine literatürde birçok tayfsal ve ışıkölçüm çalışması yer almaktadır (bkz. Line ve ark. 2013, Mallonn ve ark. 2015, Sada ve Ramón-Fox 2016, Mancini ve ark. 2018, Alexoudi ve ark. 2018, Deibert ve ark. 2019).

3.3. TrES-2 Yıldız – Gezegen Sistemi

TrES-2/Kepler-1 yıldız-gezegen sistemi ilk olarak TrES (Trans-Atlantic Exoplanet Survey, Alonso ve ark. 2004) projesi kapsamında gözlenmiş ve O’Donovan ve ark. (2006) tarafından keşfedilmiştir. Kepler görevinde belirlenen ilk ötegezegen olan TrES-2b/Kepler-1b gezegeninin 2009-2013 yılları arasında Kepler uydusu gözlemleri (Borucki ve ark. 2011) ile 435 adet hassas gezegen geçiş eğrisi elde edilmiştir. Hem ana yıldızın hem de gezegenin mutlak parametrelerini belirlemek için, 2006 yılından günümüze kadar, sistemin hem tayfsal hem de yer ve uydusu tabanlı ışıkölçüm gözlemlerini içeren birçok çalışma bulunmaktadır (bkz. Budding ve ark. 2016, Wöllert ve ark. 2015, Faigler ve Mazeh 2015, Raetz ve ark. 2014, Bergfors ve ark. 2013, Barclay ve ark. 2012, Schröter ve ark. 2012, Kipping ve Bakos 2011, Kipping ve Spiegel 2011, Christiansen ve ark. 2011, Mislis ve ark. 2010, Ammler-von Eiff ve ark. 2009, Holman ve ark. 2007, Sozzetti ve ark. 2007).

Holman ve ark. (2007) TrES-2b sisteminin ışıkölçüm gözlemlerini, 11 Eylül 2006, 16 Eylül 2006 ve 2 Kasım 2006 tarihlerinde FLWO 1.2 m ayna çaplı teleskop ile yaparak 3 tane geçiş ışık eğrisi elde etmişlerdir. Atmosferik ve kenar kararma etkilerini minimum hale getirmek için, sistemin gözlemlerini KeplerCam kamerası ile Sloan Digital Sky Survey (SDSS) z süzgecinde (etkin dalga boyu 913.4 nm) gerçekleştirmişlerdir. Gözlemlerden elde edilen normalize akıdaki maksimum hata 0.0018 mertebesinde dir. Sozzetti ve ark. (2007) tarafından verilen tayfsal analiz sonuçları ile beraber elde ettikleri ışık eğrilerini analiz eden Holman ve ark. (2007), TrES-2b sisteminin fiziksel parametrelerini güncellemişlerdir.

Birçok araştırmacı, TrES-2 sisteminin gözlenen geçiş ışık eğrilerinden sistemin geçiş süresinde bir değişim olduğundan şüphelenmişlerdir ve değişimin yörünge eğikliğindeki

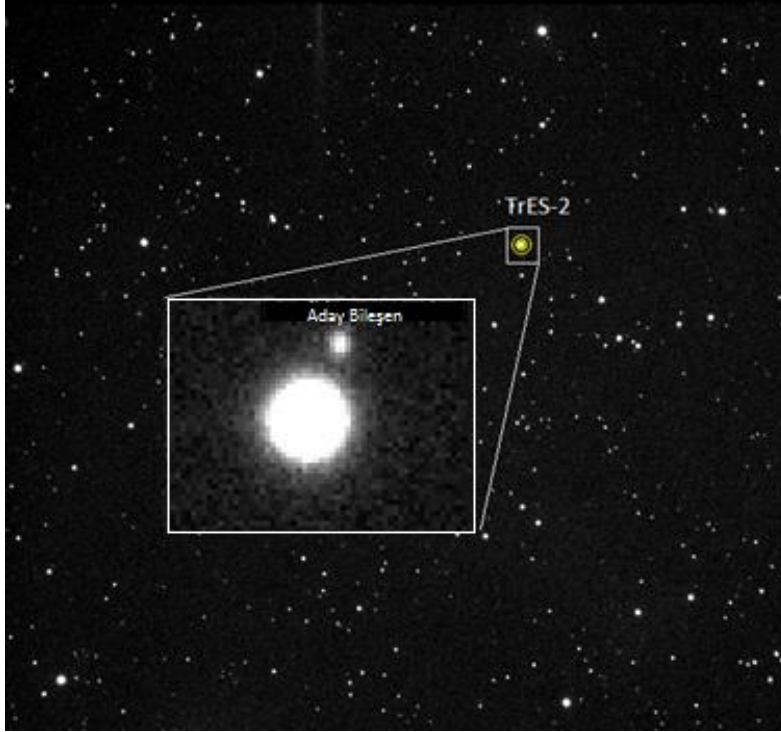
zamanla azalmadan kaynaklanabileceğinden şüphelenmişlerdir (bkz. Mislis ve Schmitt 2009, Mislis ve ark. 2010, Schröter ve ark. 2012). Fakat en güncel çalışmalardan biri olan Raetz ve ark (2014), hem gözledikleri 31 geçiş eğrilerinden hem de Kepler uydusu tarafından gözlen 435 geçiş eğrilerinden, geçiş süresinde bariz bir değişim tespit edememişlerdir.

Sistemin tayfsal gözlemleri O'Donovan ve ark. (2006), Winn ve ark. (2008) ve Thomas ve ark. (2016) tarafından yapılmıştır. O'Donovan ve ark. (2006) 2-4 Ağustos 2006 tarihleri arasında Hawaii adalarında bulunan W. M. Keck Gözlemevi'nde Keck I 10 m teleskopunu ve buna bağlı HIRES tayf çekerini kullanarak sistemin tayfsal gözlemlerini yapmışlardır. Gözlem süresince 11 tane dikine hız verisi almışlardır. Sistemin yüksek çözünürlük tayfindan, ana yıldızın sıcaklığını $T_{etkin} = 5960 \pm 100$ K, tayf türünü $G0V$ ve kütesini $M_s = 1.08^{+0.11}_{-0.05} M_{\odot}$ olarak hesaplamışlardır. Duyarlı dikine hız ölçümlerinden gezegenin kütesini $M_p = 1.28^{+0.09}_{-0.04} M_J$ olarak tahmin etmişlerdir. Aynı zamanda sistemin B , r , R ve I süzgeçlerinde elde ettikleri geçiş eğrisinden gezegenin yarıçapını $R_p = 1.24^{+0.09}_{-0.06} R_J$ olarak hesaplamışlardır.

Bir diğer dikine hız ölçümleri, sistemdeki Rossiter-McLaughlin (RM) etkisini incelemek ve yıldızın kendi etrafında dönme eksenini ile yörünge açısal momentum vektörü arasındaki açının izdüşümünü (spin -yörünge açısı λ) belirlemek amacıyla Winn ve ark. (2008) tarafından 26 Nisan 2007 tarihinde Keck I 10 m teleskopunu ve buna bağlı HIRES tayf çekerini ile gerçekleştirilmiştir. Winn ve ark. (2008) gezegenin ana yıldız önünden geçtiği süre boyunca toplamda 56 tane dikine hız ölçümü almışlardır. Geçiş süresinde alınan dikine hız ölçümlerini kullanarak spin-yörünge açısını $\lambda = -9^{\circ} \pm 12^{\circ}$ olarak hesaplamış ve yıldızın dönme eksenini ile yörünge açısal momentum vektörünün neredeyse aynı hizada oldukları sonucuna ulaşmışlardır. Yıldızın kendi eksenini etrafında izdüşüm dönme hızını ($v \sin i = 1.0 \pm 0.6$ km/s olarak hesaplamışlardır. Winn ve ark. (2008), elde ettikleri bulgular ışığında, TrES-2b sistemindeki gezegenin yörünge hareketi yönü ile yıldızın kendi eksenini etrafındaki dönme yönünün aynı olduğunu belirtmişlerdir.

TrES-2 yıldız gezgen sistemine çok yakın görülen bir başka aday bileşen yıldız ilk olarak Daemgen ve ark. (2009) tarafından Mayıs 2007 - Kasım 2007 arasında AstraLux Lucky Imaging kamerası ile Calar Alto gözlemevinde yapılan gözlemler ile tespit edilmiştir. Daha sonrasında Wöllert ve ark. (2015), 25 Haziran 2013 tarihinde yine Calar Alto gözlemevinde AstraLux Lucky Imaging kamerası ile TrES-2 sisteminin SDSS i ve z süzgeçlerinde gözlemlerini yapmış ve TrES-2 sistemi civarında aday bileşenin varlığını

doğrulamıştır. Wöllert ve ark. (2015) belirlenen aday bileşenin TrES-2 sistemindeki ana yıldızdan olan iz düşüm uzaklığını 1.106 ± 0.006 " olarak ve bu bileşenin TrES-2 ana yıldızına göre *i* ve *z* süzgeçlerindeki parlaklık farkını da, sırasıyla, 3.83 ± 0.04 ve 3.37 ± 0.05 kadir olarak belirlemişlerdir. TrES-2 ana yıldızının ve yanında bulunan aday bileşenin 1 Temmuz 2016 tarihinde TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ndeki (TUG) T100 teleskobu ve buna bağlı SI1100 CCD kamerası ile R süzgecinde alınan görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiştir. Keşfedilen bu aday bileşenin TrES-2 ana yıldızına fiziksel olarak bağlı olup olmadığı henüz tam olarak belli değildir (bkz. Bergfors ve ark. 2013, Raetz ve ark. 2014, Wöllert ve ark. 2015). Bu bileşenin TrES-2 ana yıldızına çekimsel olarak bağlı olduğu kabul edildiğinde, bileşenin tayf türü, Wöllert ve ark. (2015) tarafından (*i-z*) renginden yaklaşık olarak *K7-M3* arasında olduğu tahmin edilmektedir. Aday bileşen yıldızın TrES 2 ana yıldızına olan yakınlığı nedeniyle TrES-2 sisteminin ışıkölçüm gözlemleri aday bileşenden gelen akıyı da içermekte ve TrES-2 sisteminin gözlenen ışık eğrisini etkilemektedir.



Şekil 3.3. 1 Temmuz 2016 tarihinde TUG'da gözenen TrES-2 ana yıldızı (sarı daire) ve yakınında görülen bileşen yıldız (kare içerisindeki küçük yıldız).

TrES-2 sisteminin farklı dalga boylarında, hem NASA EPOCh (Christiansen ve ark. 2011), Spitzer (O'Donovan ve ark. 2010) ve Kepler uydusu (Kipping ve Bakos 2011,

Kipping ve Spiegel 2011) ile hem de yer tabanlı teleskoplar (Croll ve ark. 2010) ile gezegenin ana yıldız arkasında olduğu ikinci tutulma gözlemleri de yapılmıştır. O'Donovan ve ark. (2010), Spitzer uydusu üzerindeki kızıl öte kamera ile 30 Kasım 2006 ve 16 Ağustos 2007 tarihlerinde TrES-2b sisteminin ikinci tutulmasını 3.6 μm , 4.5 μm , 5.8 μm ve 8.0 μm dalga boylarında gözlemişleridir. Gözlenen gezegen-yıldız akısı oranını açıklamak için akla en yakın senaryonun, termo-kimyasal denge kabulü altında gezegen atmosferindeki ısısal tersinirlik olması gerektiğini öne sürmüşlerdir. O'Donovan ve ark. (2010), gözlemsel olarak elde edilen ikinci tutulma zamanlarının, yıldız gezegen sisteminin yörüngesinin dairesel olması durumunda beklenen tutulma zamanları ile uyumlu olduğunu ve bu nedenle yörüngesinin dairesel olması gerektiğini vurgulamışlardır.

Croll ve ark. (2010) 10 Haziran 2009 tarihinde Canada–France–Hawaii teleskopu üzerindeki Geniş-alan kızıl öte kamerası (WIRCam) ile K_s süzgecinde TrES-2 sisteminin yer tabanlı ikinci tutulma gözlemlerini yapmışlardır. İkinci tutulma derinliğini yaklaşık olarak 0.062 % oranında tespit etmişler ve buradan gezegenin yıldızdan ışık alan bölgesinin K_s süzgeci parlaklık sıcaklığını ~ 1640 K olarak belirlemişlerdir. Gözlenen ikinci tutulma zamanından, O'Donovan ve ark. (2010) gibi Croll ve ark. (2010)'da sistemin yörüngesinin dairesel olması gerektiğini vurgulamışlardır.

Sistemin Kepler uydu gözlemleri ile elde edilen geçiş ışık eğrisini analiz eden Kipping ve Spiegel (2011) ve Kipping ve Bakos (2011), TrES-2b ötegezegeninin geometrik albedosunun (A_g) 0.0253 den küçük olması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Kepler uydu gözlemlerini inceleyen bir diğer çalışma Barclay ve ark. (2012) çalışmasıdır. Bu çalışmada A_{vuru} ve A_{elips} genlikleri yaklaşık olarak, sırasıyla, 2.79 ppm ve 3.44 ppm olarak hesaplamışlardır. Barclay ve ark. (2012) astrosismik analiz sonucunda ana yıldız kütlelerini ve yarıçapını $M_s \sim 0.94 M_\odot$ ve $R_s \sim 0.95 R_\odot$ olarak hesaplamışlardır. Yıldızın elde edilen mutlak parametrelerinden, ışık eğrisi çözümlerinden ve A_{vuru} ve A_{elips} genliklerinden, gezegenin kütlelerini ve yarıçapını $M_p \sim 1.44 M_J$ ve $R_p \sim 1.16 R_J$ olarak hesaplamışlardır. Sistemin yansıma etkisi kaynaklı akı değişim genliğini 3.41 ppm olarak hesaplayan Barclay ve ark. (2012), makalelerindeki (12) denklemini kullanarak geometrik albedo değerini $A_g \sim 0.0136$ olarak hesaplamışlardır. Esteves ve ark. (2013) sistemin Kepler uydu gözlemlerinden elde edilen ışık eğrisini analiz ederek, geometrik albedo aralığını 0.0041 – 0.0287 olarak bond albedo ($A_B = \frac{3}{2} A_g$) aralığını ise 0.0062-0.0431 olarak belirlemişlerdir. Bond albedo aralığı için gezegenin denge sıcaklık (T_{eq}) aralığının 1470-1880 K olması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Doppler ve elipsoidal etkiler nedeniyle

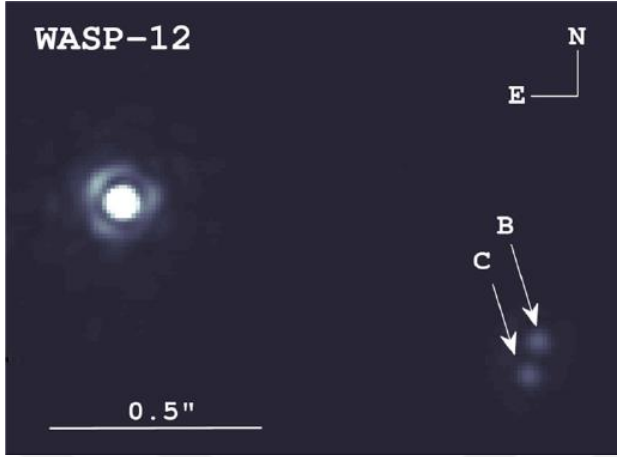
ortaya çıkan akı değişim genliklerini $A_{vuru} \sim 2.40$ ppm ve $A_{elips} \sim 3.67$ ppm olarak tespit etmişlerdir. Gezegenin Doppler ve elipsoidal akı genliklerinden ayrı ayrı hesaplanan gezegen kütlelerini ise sırasıyla $M_p \sim 1.28 M_J$ ve $M_p \sim 1.37 M_J$ olarak hesaplamışlardır. Barclay ve ark. (2012) ve Esteves ve ark. (2013) çalışmalarına ek olarak, Kepler uydu gözlemleri üzerine olan en güncel çalışma Faigler ve Mazeh (2015) çalışmasıdır. Bu çalışmada Faigler ve Mazeh (2015), geçiş dışı ışık eğrisini beş tane Fourier katsayısından oluşan bir Fourier serisi ile modellemişlerdir. Buna göre TrES-2b sisteminin ışık eğrisindeki yansıma, Doppler vuru ve elipsoidal değişim etkilerinden kaynaklı akı genliklerini $A_{yan} = 1.5 \pm 1.1$ ppm, $A_{vuru} = 1.9 \pm 1.3$ ppm ve $A_{elips} = 2.9 \pm 0.6$ ppm olarak hesaplamışlardır. Sistemin hem Doppler vuru genliğinden hem de elipsoidal değişim genliğinden gezegenin kütlesi aralığının $0.90-1.22 M_J$ olması gerektiğini öne sürmüşlerdir.

3.4. WASP-12 Yıldız – Gezegen Sistemi

WASP-12 yıldız gezegen sistemi, WASP (Pollacco ve ark. 2006) projesi kapsamında, La Palma'da (Kanarya Adaları) yer alan SuperWASP-N kamerası ile Ağustos 2004 – Mart 2007 tarihleri arasında yapılan ışıkölçüm gözlemleri ile aday yıldız gezegen sistemi olarak belirlenmiştir (Hebb ve ark. 2009). Aday yıldız gezegen sistemi olarak belirlenen bu sistemin duyarlı ışıkölçüm takip gözlemleri ile birlikte yapılan dikine hız gözlemleri sonucunda Hebb ve ark. (2009), WASP-12 sisteminin $1.35^{+0.14}_{-0.14} M_{\odot}$ kütleli ve $1.57^{+0.07}_{-0.07} R_{\odot}$ yarıçaplı yıldız etrafında, $1.091423^{+0.000003}_{-0.000003}$ gün yörünge dönemi ile dolanan $1.41^{+0.10}_{-0.10} M_J$ kütleli ve $1.79^{+0.09}_{-0.09} R_J$ yarıçaplı bir gezegenden oluştuğunu keşfetmişlerdir. Keşif yayınından sonra WASP-12 sistemi ile ilgili literatürde ışıkölçüm ve tayfsal birçok çalışma yayınlanmıştır (bkz. Campo ve ark. 2011, Chan ve ark. 2011, Chan ve ark. 2012, Crossfield ve ark. 2012, Bergfors ve ark. 2013, Maciejewski ve ark. 2013, Bechter ve ark. 2014, Maciejewski ve ark. 2016, Collins ve ark. 2017, Patra ve ark. 2017, Bailey ve Goodman 2019).

WASP-12 yıldız gezegen sistemindeki ana yıldız, kendisinden yaklaşık 300 AU uzaklıkta bulunan ve her biri $M3V$ tayf türünden olan bir çift yıldız sistemi ile üçlü bir yıldız sistemi oluşturmaktadır (bkz. Crossfield ve ark. 2012, Bergfors ve ark. 2013, Bechter ve ark. 2014). Bechter ve ark. (2014) tarafından Keck AO teleskobu ile yüksek çözünürlükte alınan bu üçlü yıldız sisteminin görüntüsü Şekil 3.4'te verilmiştir. WASP-12BC çift yıldız sistemi WASP-12A sisteminden ~ 300 AU kadar uzak olması nedeniyle

bu çift sistemin WASP-12A üzerindeki dinamik etikleri ihmal edilebilir bir mertebededir (bkz. Bechter ve ark. 2014, Collins ve ark. 2017).



Şekil 3.4. WASP-12A ve kendisinden $\sim 300AU$ uzaklıkta bulunan WASP-12B ve WASP-12C çift yıldız sistemi (Bechter ve ark. 2014).

WASP-12b gezegeninin literatürde verilen TTV analizi çalışmaları için Maciejewski ve ark. (2016, 2018), Collins ve ark. (2017) ve Patra ve ark. (2017) çalışmaları verilebilir. Collins ve ark. (2017), 5 Kasım 2009 ile 7 Şubat 2015 tarihleri arasında gözledikleri 23 tane gezegen geçiş ortası zamanları kullanarak WASP-12b gezegeninin TTV analizini yapmışlardır. Collins ve ark. (2017), gezegenin yörünge döneminde bariz bir değişim tespit edememiştir. Maciejewski ve ark. (2016, 2018), WASP-12b gezegeninin sadece geçiş ortası zamanlarını kullanarak TTV analizini gerçekleştirmiş ve gezegenin yörünge döneminin $\sim 10^{-2}$ s yıl^{-1} hız mertebesi ile azaldığını belirtmişlerdir. TTV analizinde, hem mevcut tüm gezegen geçiş ortası zamanları hem de gezegenin yıldız arkasında olduğu ikinci tutulma ortası zamanları kullanan Patra ve ark. (2017), yapmış oldukları TTV analizi sonucunda gezegenin yörünge dönemi azalma hızını $(-2.9 \pm 0.3) \times 10^{-2}$ s yıl^{-1} olarak hesaplamışlardır. Her iki çalışmada da, görülen yörünge dönemindeki azalmaya sebep olabilecek iki mekanizma tartışılmıştır. Birinci mekanizma olarak gezegenin yörünge bozulması önerilmiştir. Bu mekanizma ayrıntılı olarak WASP-12b nin TTV analizi bölümünde (bkz. Bölüm 5) ve Bölüm 8’de verilmiş olmakla birlikte, konunun daha iyi anlaşılması açısından burada da kısaca değinmek yerinde olacaktır.

Birbirlerine fiziksel olarak bağlı bir yıldız – gezegen sisteminde gezegenin sabit bir yörüngede yörünge hareketini sürdürebilmesi ve dengede kalabilmesi için, sistemin toplam açısal momentumunun (L_{tot}), kritik açısal momentumu (L_{cri}) olarak adlandırılan açısal

momentumdan büyük olması gerekmektedir (bkz. Hut 1980, Levrard ve ark. 2009, Damiani ve Lanza 2015). Aksi durumda gezegen, yörünge hareketi kaynaklı açısal momentumunu yıldıza aktaracak ve en sonunda yıldızın içine düşecektir (bkz. Damiani ve Lanza 2015, Essick ve Weinberg 2016). Maciejewski ve ark. (2016, 2018) ve Patra ve ark. (2017), WASP-12 yıldız gezegen sisteminin toplam açısal momentum değerinin kritik açısal momentum değerinden küçük olması nedeniyle gezegenin yörünge döneminde bir azalma gözlemlendiği ve bunun sonucu olarak gezegenin yıldıza doğru yaklaştığı önerisini getirmişlerdir. Bir diğer mekanizma ise dairesel olmayan yörüngelerde hareket eden sıcak Jüpiter benzeri gezegenlerde görülebilen eksen dönmesi mekanizmasıdır (bkz. Jordán ve Bakos 2008, Pál ve Kocsis 2008). Patra ve ark. (2017) eksen dönmesi varsayımı altında, eksen dönmesi hızını $\dot{\omega} = 26 \pm 3^{\circ} \text{ yıl}^{-1}$ olarak ve buna karşılık eksen dönmesi dönemini de 14 ± 2 yıl olarak hesaplamışlardır. Patra ve ark. (2017), WASP-12b gezegeninde görülen yörünge dönemi azalmasına sebep olabilecek mekanizmanın ancak ve ancak hassas geçiş ortası ve ikinci tutulma ortası zamanlarının gözlenmesi ile anlaşılacağı sonucuna varmışlardır.

WASP-12 ana yıldızının dikine hız gözlemleri Hebb ve ark. (2009) ve Husnoo ve ark. (2011) tarafından yapılmıştır. Collins ve ark. (2017), Hebb ve ark. (2009) ve Husnoo ve ark. (2011) tarafından verilen dikine hız verilerini kullanarak, yıldızın dönme eksenini ile gezegenin yörünge açısal momentumu arasındaki gökyüzü iz düşüm açısını $\lambda = -90^{+23}_{-26}$ olarak hesaplamışlardır.

WASP-12 yıldız gezegen sisteminin atmosferik yapısını inceleyebilmek için farklı dalga boylarında yer ve uydu tabanlı birçok gezegen geçiş ve ikinci tutulma gözlemleri yapılmıştır (bkz. Swain ve ark. 2013, Sing ve ark. 2013, Stevenson ve ark. 2014, Kreidberg ve ark. 2015). Stevenson ve ark. (2014), geniş dalga boyu aralığında HST ve Spitzer InfraRed Array Camera ile $3.6 \mu\text{m}$ ve $4.5 \mu\text{m}$ dalga boylarında o zamana kadar gözlenen tüm gezegen geçiş ve ikinci tutulma gözlemlerini kullanarak gezegen atmosferinin karbonca zengin olması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Daha sonrasında Kreidberg ve ark. (2015), 1 Ocak -4 Mart 2014 tarihleri arasında Hubble Uzay Teleskobu (HST) ile $0.82 \mu\text{m}$ - $1.65 \mu\text{m}$ dalga boyu aralığında WASP-12b gezegeninin 6 tane geçiş eğrisini gözlemiştir. Kreidberg ve ark. (2015), gezegen yarıçapının yıldız yarıçapına oranının gözlenen dalga boyuna göre değişiminden, WASP-12b gezegen atmosferinde su soğurmasının olması gerektiği ile ilgili güçlü kanıt bulmuşlardır.

3.5. WASP-52 Yıldız – Gezegen Sistemi

WASP-52b sistemi ilk olarak Hébrard ve ark. (2013) tarafından, Temmuz 2008-Kasım 2009 tarihleri arasında, SuperWASP-North geniş bant (400-700 nm) (Pollacco ve ark. 2006) ışıkölçüm gezegen geçiş gözlemleri ile yıldız gezegen sistemi adayı olarak belirlenmiştir. Aday yıldız gezegen sistemi olarak belirlendikten sonra WASP-52 yıldız-gezegen sisteminin tayfsal gözlemleri, Fransa'da Haute-Provence Gözlemevi'nde yer alan 1.93m ayna çaplı teleskop ve buna bağlı SOPHIE tayf çekeri (Bouchy ve ark. 2009) ve La Silla da yer alan 1.2m ayna çaplı Euler-Swiss teleskopu ve buna bağlı CORALIE tayf çekeri (Queloz ve ark. 2000) ile Hébrard ve ark. (2013) tarafından yapılmıştır. Bu gözlemler neticesinde aday yıldız gezegen sistemi olarak belirlenen WASP-52 sisteminin bir yıldız-gezegen sistemi olduğu doğrulanmıştır. Hébrard ve ark.(2013) yapmış oldukları ışıkölçüm ve tayfsal gözlemler neticesinde, WASP-52b sisteminin, $K2V$ tayf türüne sahip $0.87 \pm 0.03 M_{\odot}$ kütleli ve $0.79 \pm 0.02 R_{\odot}$ yarıçaplı bir ana yıldız etrafında yörünge dönemi 1.7497798 ± 0.0000012 gün olan $0.46 \pm 0.02 M_J$ kütleli ve $1.27 \pm 0.03 R_J$ yarıçaplı şişmiş bir sıcak Jüpiter'den oluşan bir sistem olduğu sonucuna varmışlardır. Hébrard ve ark. (2013), yapmış oldukları tayfsal gözlemler sonucunda ana yıldızın $Ca II H$ ve K çizgilerinde salma çizgileri gösterdiğini ve bu nedenle ana yıldızın aktif bir yıldız olabileceğini belirtmişlerdir. Tayfsal RM etkisini de gözleyen Hébrard ve ark. (2013), ana yıldız ekvator düzlemi ile gezegenin yörünge düzlemi arasındaki gökyüzü iz düşüm açısını $\lambda = 24^{+17}_{-9}$ olarak hesaplamışlardır.

WASP-52b sistemi ile ilgili bir diğer çalışma Baluev ve ark (2015) tarafından verilmiştir. Bu çalışmada, Aralık 2012- Kasım 2014 tarihleri arasında gözlenen ve Exoplanet Transit Database (ETD) veri tabanında yayınlanan 22 tane geçiş ortası zamanını kullanarak TTV analizi yapılmış ve analiz sonucunda ana yıldız etrafında dolanan herhangi bir üçüncü cisim mevcudiyeti ile ilgili bir bulgu bulunamamıştır.

Sistemin bir diğer ışıkölçüm gözlemi Swift ve ark. (2015) tarafından r süzgecinde 18 Eylül 2014 tarihinde yapılmıştır. Swift ve ark. (2015) yapmış oldukları gezegen geçiş eğrisi analizi sonucu, Hébrard ve ark. (2013)'nın sonuçları ile uyumlu geçiş parametreleri elde etmişlerdir.

Kirk ve ark. (2016), WASP-52b sisteminin 7 Eylül 2012 tarihinde La Palma'da yer alan 4.2m William Herschel Teleskopu (WHT) ile eş zamanlı SDSS u ($\lambda_{etkin} = 3557$ Angström) , g ($\lambda_{etkin} = 4825$ Angström) ve etkin dalga boyu sodyum çizgisinde ($\lambda_{etkin} = 5912$ Angström) olan süzgeçlerle 0.5 milikadir duyarlılığında geçiş gözlemini

yapmışlardır. Elde ettikleri ışık eğrilerinde, tutulma orta noktasının her iki tarafında birer çıkıntı olarak kendisini gösteren bir etki tespit etmişlerdir. Işık eğrisinde, tutulma orta noktasının her iki tarafında da kendisini gösteren çıkıntılar hem yıldız fotosferindeki iki leke ile hem de fotosfer üzerindeki parlak bir bölge varsayımı altında modellenmiştir. Fotosfer üzerindeki iki leke etkisi ile geçiş ışık eğrisi modellendiğinde, gezegen yarıçapının yıldız yarıçapına oranının Hébrard ve ark (2013) tarafından elde edilen orandan 6σ kadar büyük olduğunu belirtmişlerdir. Fakat geçiş ışık eğrisinin, yıldız üzerindeki bir parlak bölge varsayımı altında modellendiğinde, elde edilen yarıçaplar oranının 1σ hata çerçevesinde Hébrard ve ark (2013) tarafından verilen oran ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Kirk ve ark. (2016), aynı zamanda farklı dalga boylarında yapmış olduğu gözlemlerle hem iki leke modeli hem de parlak bölge modeli için yarıçaplar oranının dalga boyuna göre değişimini incelemişlerdir. İki leke modeli varsayımı altında yarıçaplar oranının dalga boyuna göre dikkate değer oranda değişmemesine rağmen, parlak bölge ile elde edilen yarıçaplar oranının uzun dalga boyuna doğru büyüdüğünü tespit etmişlerdir. Bu nedenle her iki model için gezegen atmosferindeki opaklık kaynağı için Rayleigh saçılmasının baskın olmadığını önermişlerdir. Parlak bölge modeli ile gezegen yarıçapının uzun dalga boyunda artmasının, gezegen atmosferinde $Na I$ olmasının bir işareti olabileceğini belirtmişlerdir.

Mancini ve ark. (2017), 23 Temmuz 2014, 6 Ağustos 2014, 8 Ağustos 2014 ve 5 Eylül 2014 tarihlerinde yapmış oldukları gözlemlerden elde ettikleri geçiş eğrilerinin tümünde, tutulma esnasında kendisini periyodik olarak gösteren birbiri ile benzer olan leke etkisi tespit etmişlerdir. 14-15 günlük dönemler ile gezegenin ana yıldızın önünden geçtiği zamanlarda kendisini gösteren leke etkisini modelleyen Mancini ve ark. (2017), bu etkinin ana yıldız üzerindeki tek bir lekeden kaynaklanabileceği varsayımı altında, ana lekenin konumunu, büyüklüğünü ve lekenin ana yıldız fotosferine göre kesirsel parlaklığını her bir geçiş eğrisi için hesaplamışlardır. Ana yıldız üzerindeki lekenin bir tane olması kabulü altına, gezegenin yörünge açısal momentum vektörü ile ana yıldızın kendi eksenini etrafındaki dönme eksenini arasındaki gökyüzü iz düşüm açısını (λ) ve gerçek açıyı (ψ) sırasıyla $\lambda = 3^{0.8} \pm 8^{0.4}$ ve $\psi = 20^{0} \pm 50^{0}$ olarak hesaplamışlardır. Mancini ve ark. (2017) aynı zamanda sistemin güncel geçiş eğrileri ile birlikte Hébrard ve ark. (2013) tarafından verilen ana yıldızın etkin sıcaklığı ($T_{etkin} = 5000 \pm 100$ K), metal bolluğu ($[Fe/H] = 0.03 \pm 0.12$) ve dikine hız yarı genliği ($K = 84.3 \pm 3$ m/s) değerlerini kullanarak WASP-52b sisteminin fiziksel parametrelerini güncellemişlerdir. TTV değişiminin inceleyen Mancini ve ark. (2017) bariz bir periyodik sinyal tespit

edilememesine rağmen sistemin yörünge döneminin sabit olmadığı sonucuna varmışlardır. Bu sonucun sistemdeki herhangi bir üçüncü cisimden kaynaklanabileceği gibi ana yıldız üzerindeki lekeden de kaynaklanabileceğini vurgulayan Mancini ve ark. (2017), geçiş zamanı değişimini daha hassas ve doğru olarak inceleyebilmek için mümkünse aynı teleskoplarla elde edilen geçiş ortası zamanı gözlemlerine ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır. Farklı dalga boylarında elde ettikleri geçiş eğrileri aracılığı ile dalga boyuna göre gezegen yarıçapının yıldız yarıçapına oranının ($k = R_p/R_s$) neredeyse sabit olduğunu tespit eden Mancini ve ark. (2017), gezegen atmosferinin opak olmamasının bir belirteci olabileceğini fakat bu durumu doğrulamak için sistemin daha çok ışıkölçüm gözlemlerine ihtiyaç duyulduğunu vurgulamışlardır.

Bir diğer gözlem Louden ve ark. (2017) tarafından gerçekleştirilmiştir. Louden ve ark. (2017), WHT ve buna bağlı auxiliary-port camera (ACAM) ile geniş bir dalga boyu aralığında (4000-8750 Anström) gezegenin iki tane geçiş ışık eğrisini gözlemişlerdir. Gözledikleri her bir geçiş eğrilerini 250 Angström aralıklarla ayıklayarak, toplamda 36 tane geçiş eğrisi elde etmişlerdir. Gözlemin yapıldığı etkin dalga boyuna göre gezegen yarıçapının yıldız yarıçapına oranının ($k = R_p/R_s$) inceleyen Louden ve ark. (2017), 4000-7750 Anström arasında yarıçaplar oranının neredeyse herhangi bir değişim göstermediğini ancak daha uzun dalga boylarında yarıçaplar oranının dalga boyu ile orantılı olarak arttığını gözlemlemişlerdir. Uzun dalga boylarında görülen bu değişimin, sistemde bilinmeyen bir soğurucunun varlığına işaret olabileceğini önermişlerdir.

Bruno ve ark. (2018), 28 Ağustos 2016 tarihinde HST ile yakın –kızılöte bölgede WASP-52b gezegeninin geçiş eğrisi gözlemlerini sunmuşlardır. Bruno ve ark. (2018), ana yıldız fotosferindeki lekenin gezegen geçiş eğrisi ve gezegenin geçirgenlik tayfı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yıldız fotosfer üzerindeki leke varsayımı altında modellenen geçiş eğrisinden hesaplanan yarıçaplar oranı ile lekesiz model varsayımı altından hesaplanan yarıçaplar oranının birbirlerine yakın değerde olduğunu göstermişlerdir.

3.6. Kepler-6 Yıldız – Gezegen Sistemi

Kepler-6b gezegeni, Kepler uydu gözlemleri kullanılarak Dunham ve ark. (2010) tarafından aday-yıldız gezegen sistemi olarak belirlenmiştir. Sonrasında, Dunham ve ark. (2010), Kepler-6 yıldızının, Tillinghast teleskobuna bağlı TRES tayfçokeri ve Nordic Optical teleskobuna bağlı FIES tayfçokeri ile tayfsal gözlemlerini yaparak, Kepler-6 yıldızına bağlı Kepler-6b gezegenin varlığını doğrulamışlardır. Işıkölçüm Kepler uydu ve

dikine hız gözlem verilerinin analizi sonucunda, Dunham ve ark. (2010), Kepler-6 yıldız gezegen sisteminin, $1.209^{+0.044}_{-0.038} M_{\odot}$ kütleli ve $1.391^{+0.017}_{-0.034} R_{\odot}$ yarı çaplı yıldız etrafında 3.234723 ± 0.000017 gün yörünge dönemi ile dairesel yörüngede dolanan $0.669^{+0.025}_{-0.030} M_J$ kütleli ve $1.323^{+0.026}_{-0.029} R_J$ yarıçaplı bir gezegenden oluştuğu sonucuna varmışlardır. Kepler-6 sisteminin Kepler uydu gözlemleri, keşif yayınından sonra da devam etmiş ve elde edilen yeni gözlem verilerinin analizleri birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır (bkz. Kipping ve Bakos 2011, Désert ve ark. 2011, Demory ve Seager 2011, Esteves ve ark. 2013, Angerhausen ve ark. 2015).

Kepler-6b öte gezegeninin TTV analizi Kipping ve Bakos (2011) ve Mazeh ve ark. (2013) tarafından yapılmıştır. Kipping ve Bakos. (2011), TTV analizini sadece 0. ve 1. Kepler çeyrek gözlemlerinden elde edilen 13 adet geçiş ortası zamanı ile gerçekleştirmişlerdir. Buradaki Kepler çeyreği terimi, gözlemin yapıldığı tarih aralığını belirtmektedir. Örneğin 3. Kepler çeyreği ile ifade edilmek istenen, 18 Eylül 2009 – 16 Aralık 2009 tarihleri aralığında yapılan Kepler uydusu gözlemleridir. Kipping ve Bakos (2011) bu çalışmalarında, Kepler-6b gezegeninin yörünge döneminde bariz bir değişim tespit edememişlerdir. Daha sonrasında Mazeh ve ark. (2013), ilk 12 Kepler çeyreği boyunca gözlenen gezegen geçiş ortası zamanları kullanarak, Kepler-6 gezegeninin TTV analizini yenilemişler ve gezegenin yörünge döneminde bariz bir değişim tespit edememişlerdir.

Kepler-6 yıldız gezegen sisteminin gezegen geçişi ve geçiş dışı ışık eğrisi analizi birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır (bkz. Dunham ve ark. 2010, Kipping ve Bakos 2011, Désert ve ark. 2011, Demory ve Seager 2011, Esteves ve ark. 2013, Angerhausen ve ark. 2013). İlk geçiş eğrisi analizi keşif yayını olan Dunham ve ark. (2010) tarafından verilmiştir ve bu analizde sadece uzun poz süresinde yapılan (~ 29.4 dakika poz süresinde yapılan gözlemler) 0. Kepler çeyrek gözlemleri kullanılmıştır. Daha sonrasında Kipping ve Bakos (2011), sistemin o zamana kadarki tüm uzun poz gözlem verilerini kullanarak, 0-1 evre arasındaki tüm ışık eğrisi analizini yapmışlardır. Gezegenin yıldız arkasında olduğu anda gezegen atmosferinden yansıyan ışık değişim genliğini modelleyen Kipping ve Bakos (2011), gezegenin geometrik albedosunun 0.32 den küçük olması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Désert ve ark. (2011), hem $3.6 \mu m$ ve $4.5 \mu m$ dalga boylarında yapılan Spitzer uydu gözlem verilerini hem de Kepler uzun poz süresindeki 0-1 Kepler çeyrek gözlemlerini ve kısa poz (1 dakikalık poz süresinde yapılan gözlemler) 2-4 Kepler çeyrek gözlemlerini kullanarak, ikinci tutulma derinliğini 22 ± 7 ppm olarak ve gezegen

atmosferinin geometrik albedo değerini 0.11 ± 0.04 olarak belirlemişlerdir. Demory ve Seager (2011), sadece uzun poz 1. Kepler çeyrek gözlemlerinden elde edilen 0-1 evresi arasındaki ışık eğrisini analiz ederek, gezegen atmosferinin geometrik albedo değerini 0.18 ± 0.09 ve gezegen denge sıcaklığını 1411 K olarak hesaplamışlardır. Esteves ve ark. (2013) kısa poz 2-6, 9-13 Kepler çeyrek gözlemlerini ve uzun poz 0, 1, 8 ve 14 Kepler çeyrek gözlem verilerini kullanarak ikinci tutulma derinliğini 8.9 ± 3.8 ppm olarak elde etmiştir. Esteves ve ark. (2013) aynı zamanda gezegen atmosferinin geometrik albedo değerini 0.059 ± 0.025 olarak hesaplamışlardır. Kepler uydu verilerini kullanan en son çalışma Angerhausen ve ark. (2015) tarafından verilmiştir. Bu çalışmada 2009-2013 yılları arasında yapılan tüm Kepler uydu gözlem verileri kullanılmıştır. Angerhausen ve ark. (2015), ikinci tutulma derinliğini 11.3 ± 4.2 ppm olarak elde etmiştir. Bu derinliğe karşılık gelen gezegen atmosferinin geometrik albedo ve bond albedo değerlerini, sırasıyla, 0.07 ± 0.03 ve 0.11 ± 0.04 olarak hesaplamışlardır. Esteves ve ark. (2013), gezegenin ana yıldızı tedirgin etmesi sonucu ortaya çıkan elipsoidal etki kaynaklı akı değişim genliğini 2.7 ± 1.0 ppm olarak ve bu etki kaynaklı akı değişiminden gezegen kütleini ışıkölçüm olarak 1.02 ± 0.40 M_J değerinde hesaplamışlardır. Angerhausen ve ark. (2015) ise Doppler vuru etkisi kaynaklı akı değişim genliğini 1.0 ± 0.9 ppm olarak elde etmişlerdir.

3.7. Kepler-8 Yıldız – Gezegen Sistemi

Kepler-8b gezegeni, ilk olarak Jenkins ve ark. (2010) tarafından uzun poz 0. ve 1. Kepler çeyrek gözlem verileri kullanılarak aday-yıldız gezegen sistemi olarak belirlenmiş. Daha sonrasında Jenkins ve ark. (2010), 1 Ocak 2009 ile 31 Ekim 2009 tarihleri arasında 10m ayna çaplı Keck I teleskobu ve buna bağlı HIRES tayf çekeri ile yaptıkları ana yıldızın dikine hız gözlemleri ile gezegen varlığını doğrulamışlardır. Işıkölçüm Kepler uydu ve dikine hız gözlem verilerinin analizi sonucunda, Jenkins ve ark. (2010), Kepler-8 yıldız gezegen sisteminin, $1.213^{+0.067}_{-0.063}$ $M_{\odot}$ kütleli ve $1.486^{+0.053}_{-0.062}$ $R_{\odot}$ yarı çaplı *F8IV* türü yıldız etrafında $3.52254^{+0.00003}_{-0.00005}$ gün yörünge dönemi ile dairesel yörüngede dolanan $0.603^{+0.13}_{-0.19}$ M_J kütleli ve $1.419^{+0.056}_{-0.058}$ R_J yarıçaplı bir gezegenden oluştuğu sonucuna varmışlardır. Jenkins ve ark. (2010) ana yıldızın, Keck I teleskobu ve buna bağlı HIRES tayf çekeriyle, 29 Ekim 2009 tarihindeki gezegen geçişi evresi süresince 8 tane dikine hız verisini elde etmişlerdir. Gezegen geçişi esnasında alınan bu dikine hız verileri sayesinde, yıldızın dönme eksenini ile gezegenin yörünge açısal momentum vektörü arasındaki gökyüzü iz düşüm açısını -26.4 ± 10.1 derece olarak hesaplamışlardır. Jenkins ve ark.

(2010) ayrıca ana yıldızın gözlenen tayfında *Ca II H* ve *K* bölgelerinde salma çizgileri tespit etmişler ve bu durumun, Kepler 8 ana yıldızı kromosferinin zayıf bir manyetik aktiviteye sahip olmasından kaynaklanabileceğini öne sürmüşlerdir. Kepler-8 sisteminin Kepler uydu gözlemleri, keşif yayınından sonra da devam etmiş ve elde edilen yeni gözlem verilerinin analizleri birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır (bkz. Kipping ve Bakos 2011, Demory ve Seager 2011, Coughlin ve López-Morales 2012, Esteves ve ark. 2013, Mazeh ve ark. 2013 Angerhausen ve ark. 2015).

Kepler-8b öte gezegeninin TTV analizi Kipping ve Bakos (2011) ve Mazeh ve ark. (2013) tarafından yapılmıştır. Kipping ve Bakos (2011), TTV analizini sadece 0-1 Kepler çeyrek gözlemlerinden elde edilen 13 adet geçiş ortası zamanı ile gerçekleştirmişlerdir. Kipping ve Bakos (2011) bu çalışmalarında, Kepler-8b gezegeninin yörünge döneminde bariz bir değişim tespit edememişlerdir. Daha sonrasında Mazeh ve ark. (2013), ilk 12 Kepler çeyrek zamanı boyunca gözlenen gezegen geçiş ortası zamanları kullanarak, Kepler-8 gezegeninin TTV analizini yenilemişler ve gezegenin yörünge döneminde bariz bir değişim görememişlerdir.

Kepler-8 yıldız gezegen sisteminin gezegen geçişi ve geçiş dışı ışık eğrisi analizi birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır (bkz. Jenkins ve ark. 2010, Kipping ve Bakos 2011, Coughlin ve López-Morales 2012, Esteves ve ark. 2013). İlk geçiş eğrisi analizi, keşif yayını olan Jenkins ve ark. (2010) tarafından verilmiştir ve bu analizde sadece uzun poz 0-1 Kepler çeyrek gözlemleri kullanılmıştır. Daha sonrasında Kipping ve Bakos (2011), sistemin o zamana kadarki tüm uzun poz gözlem verilerini kullanarak, 0-1 evre arasındaki tüm ışık eğrisi analizini yapmışlardır. Gezegenin yıldız arkasında olduğu anda gezegen atmosferinden yansıyan ışık değişim genliğini modelleyen Kipping ve Bakos (2011), gezegenin geometrik albedosunun 0.63 den küçük olması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Aynı yıl içerisinde Demory ve Seager (2011), sadece uzun poz 1. Kepler çeyrek gözlemlerinden elde edilen 0-1 evresi arasındaki ışık eğrisini analiz ederek, gezegen atmosferinin geometrik albedo değerini 0.21 ± 0.10 ve gezegen denge sıcaklığını 1567 K olarak hesaplamışlardır. 2. Kepler çeyrek gözlem verilerini kullanan Coughlin ve López-Morales (2012), gezegenin yıldız arkasında olduğu anda görülen ikinci tutulma derinliğini -5.8 ± 45.9 ppm olarak elde etmiş ve geometrik albedonun maksimum değerinin $0.36^{+0.36}_{-0.33}$ kadar olması gerektiğini önermişlerdir. Kısa poz 2-7 Kepler çeyreği, 9-13 Kepler çeyreği ve uzun poz 0, 1, 8, 14 Kepler çeyrek zamanı gözlem verilerini kullanan Esteves ve ark. (2013), ikinci tutulma derinliğini 26.2 ± 5.6 ppm olarak elde etmiş ve gezegen atmosferinin geometrik albedo değerini 0.134 ± 0.030 olarak belirlemişlerdir.

Son olarak, mevcut tüm Kepler uydu gözlemlerini kullanan Angerhausen ve ark. (2015), ikinci tutulma derinliğini 16.50 ± 4.45 ppm olarak belirleyerek, geometrik ve bond albedo değerlerini, sırasıyla, 0.11 ± 0.03 ve 0.16 ± 0.04 olarak elde etmişlerdir. Esteves ve ark. (2013) vuru etkisi genliğini 2.5 ± 1.2 ppm olarak elde etmişlerdir, Angerhausen ve ark. (2015) ise tüm Kepler verilerini kullanarak bu genliğin 1ppm den küçük olması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Esteves ve ark. (2013) ve Angerhausen ve ark. (2015), gezegenin ana yıldızı tedirgin etmesi sonucu ortaya çıkan elipsoidal etki kaynaklı akı değişim genliğini sırasıyla 4.0 ± 1.4 ppm ve 3.7 ± 2.0 ppm olarak elde etmiştir. Esteves ve ark. (2013), Doppler vuru etkisi kaynaklı akı değişim genlik değerinden, gezegenin kütleini ışıkölçüm olarak $1.85^{+0.90}_{-0.88} M_J$ değerinde, elipsoidal etkisi kaynaklı akı değişim genlik değerinden ise gezegen kütleini $1.23 \pm 0.43 M_J$ değerinde hesaplamışlardır.

3.8. Kepler-40 Yıldız – Gezegen Sistemi

Kepler-40b gezegeni, Santerne ve ark. (2011) tarafından Kepler uydusu uzun poz 1. çeyrek gözlemleri ile aday-yıldız gezegen sistemi olarak belirlenmiştir. Santerne ve ark. (2011) sonrasında Observatoire de Haute-Provence’de (Fransa) yer alan 1.93m ayna çaplı teleskop ve buna bağlı SOPHIE tayf çekeri ile Kepler-40 yıldızının tayfsal gözlemini yaparak, Kepler-40b gezegeninin varlığını doğrulamıştır. Santerne ve ark. (2011), Kepler-40 yıldız gezegen sisteminin, $1.48 \pm 0.06 M_{\odot}$ kütleli ve $2.13 \pm 0.06 R_{\odot}$ yarı çaplı *F5IV* türü yıldız etrafında 6.87349 ± 0.00064 gün yörünge dönemi ile dairesel yörüngede dolanan $2.2 \pm 0.4 M_J$ kütleli ve $1.17 \pm 0.04 R_J$ yarıçaplı bir gezegenden oluştuğu sonucuna varmışlardır.

Mazeh ve ark. (2013), ilk 12 quarter boyunca gözlenen gezegen geçiş ortası zamanları kullanarak, Kepler-40b gezegeninin TTV analizini yapmışlar ve gezegenin yörünge döneminde bariz bir değişim tespit edememişlerdir. Angerhausen ve ark. (2015), 2009-2012 yılları arasındaki tüm uzun poz gözlem verilerini kullanarak, gezegenin yakınlık etkileri (yansıma ve elipsoidal etki) ve ana yıldızın yörünge hareketi sonucu meydana gelen Doppler vuru etkisi kaynaklı akı değişimlerini incelemişlerdir. Angerhausen ve ark. (2015), yansıma etkisi, elipsoidal etki ve Doppler vuru etkisi akı değişim genliklerini sırasıyla 7.91 ± 7.55 ppm, 5.6 ± 2.1 ppm ve 8.5 ± 2.9 ppm olarak hesaplamışlardır. Yansıma etkisi kaynaklı akı değişim genliğinden, gezegen atmosferinin geometrik albedo değerini 0.09 ± 0.08 olarak bulmuşlardır.

BÖLÜM 4

GÖZLEMLER

4.1. Takip Gözlemleri

Bu tez projesi kapsamında CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenlerinin ışıkölçüm takip gözlemleri yapılmıştır. Takip gözlemlerinde, TUG'da bulunan 1.00 m ayna çaplı Ritchey-Chrétien teleskobu (T100) ve ÇOMÜG'de bulunan 0.30 m (T30), 0.60 m (T60) Cassegrain-Schmidt teleskopları ve 1.22 m (T122) aynı çaplı Cassegrain-Nasmyth teleskobu kullanılmıştır. T60 ve T122 teleskopları kullanılarak yapılan tüm takip gözlemlerinde STL 1001E CCD kameraları kullanılmıştır. T30 ve T100 teleskopları ile yapılan takip gözlemlerinde ise, sırasıyla, AP47 ve SI 1100 CCD kameraları kullanılmıştır. Gözlemlerde kullanılan teleskoplar ve bunlara bağlı CCD kameraların temel özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. T30 ve T60 teleskopları ile yapılan tüm gözlemler Bessel R ($\lambda_{R,etkin} \sim 635$ nm) süzgecinde, T122 teleskobunda yapılan gözlemler ise hem Bessel R ($\lambda_{R,etkin} \sim 635$ nm) hem de Bessel V ($\lambda_{V,etkin} \sim 550$ nm) süzgeçlerinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. Gözlemlerde kullanılan teleskopların ve CCD kameraların temel özellikleri.

Tel.	Odak Uzaklığı (mm)	CCD Kamera	CCD Piksel Boyutu (mikron)	Görüş Alanı (yay dakikası)	Piksel Ölçeği (yay saniyesi/piksel)
T30	3048	AP47	13	15 × 15	0.65
T60	4800	STL-1001E	24	18 × 18	1.06
T100	1000	SI 1100	15	21.1 × 20.8	0.31
T122	1220	STL-1001E	24	7.1 × 7.1	0.42

Tüm gözlemler, Southworth ve ark. (2009) tarafından verilen odak dışı teknik olarak bilinen yöntem ile yapılmıştır. Tüm gözlemler, hızlı okuma ile sinyal/gürültü oranı arasındaki uyumu daha iyi hale getirebilmek için CCD binning 2 × 2 de yapılmıştır. Gözlem görüntülerinin kalibrasyonunda ve fark ışıkölçümü uygulanarak geçiş eğrilerinin elde edilmesinde AstroImageJ (Collins ve ark. 2017) kodu kullanılmıştır. Her gözlem gecesinde en az 10'ar tane Bias, Dark ve Flat görüntüleri alınarak ham gözlem görüntüleri, atmosferik ve elektronik etkilerden arındırılmıştır. Fark ışıkölçümünde, saçılması en az olan geçiş eğrisini elde edebilmek için görüntü üzerinde birden çok mukayese yıldızı

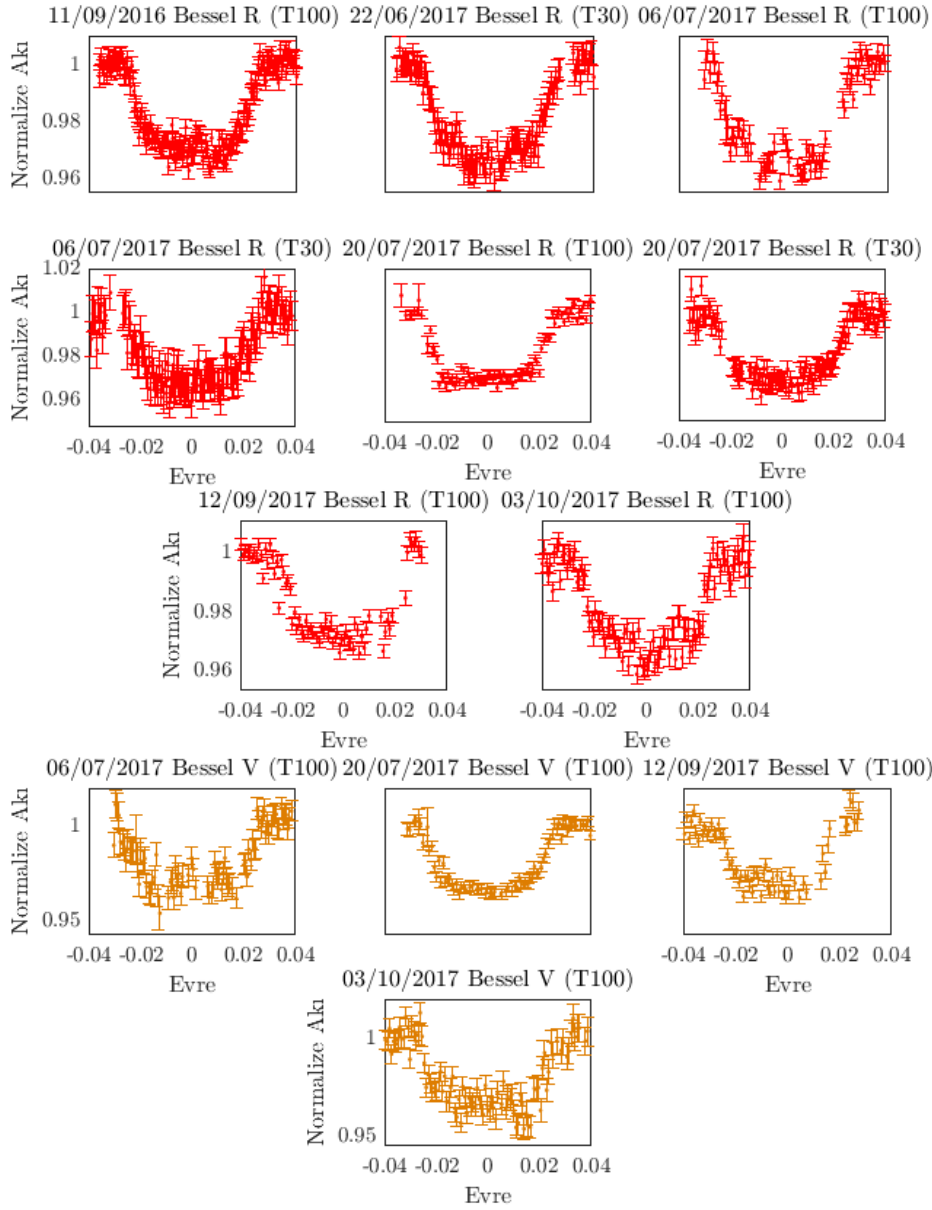
kullanılmıştır. Gözlem verilerinin evrelendirilmesi, Bölüm 5’de elde edilen güncel ışık elemanları ile yapılmıştır. Elde edilen geçiş ışık eğrileri, geçiş dışı veriye doğrusal fit yapılarak düzeltilmiş ve bu doğrusal fitlerin standart sapmaları (σ) hesaplanmıştır.

4.1.1. CoRoT-2b Takip Gözlemleri

CoRoT-2b ötegezegeninin ışıkölçüm geçiş gözlemleri T100 ve T30 teleskoplarında gerçekleştirilmiştir. T100 teleskobu ile 5, T30 teleskobu ile 3 tane tam geçiş ışık eğrisi elde edilmiştir. 6 Temmuz 2017 ve 20 Temmuz 2017 tarihlerinde yapılan geçiş gözlemleri, hem T100 teleskobunda hem de T30 teleskobunda gerçekleştirilmiştir. T100 teleskobu ile 11 Eylül 2016 tarihinde yapılan geçiş gözlemi sadece Bessel R süzgecinde yapılmış iken diğer tüm gözlemler hem Bessel R hem de Bessel V süzgeçlerinde yapılmıştır. CoRoT-2b ötegezegeninin geçiş gözlemlerinde kullanılan teleskoplar, filtreler, poz süreleri ve geçiş dışı standart sapma değerleri (σ) Çizelge 4.2’de verilmiştir. Elde edilen geçiş ışık eğrileri Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. CoRoT-2b ötegezegeninin geçiş gözlem bilgileri.

Gözlem Günü	Teleskop	Filtre	Poz Süresi (s)	σ (mili kadir)
11 Eylül 2016	T100	R	40	3.0
22 Haziran 2017	T30	R	80	2.8
6 Temmuz 2017	T100	R	30	3.5
		V	35	5.2
6 Temmuz 2017	T30	R	80	6.1
20 Temmuz 2017	T100	R	40	3.1
		V	45	2.3
20 Temmuz 2017	T30	R	80	4.3
12 Eylül 2017	T100	R	40	2.8
		V	45	3.5
3 Ekim 2017	T100	R	40	4.2
		V	45	5.4



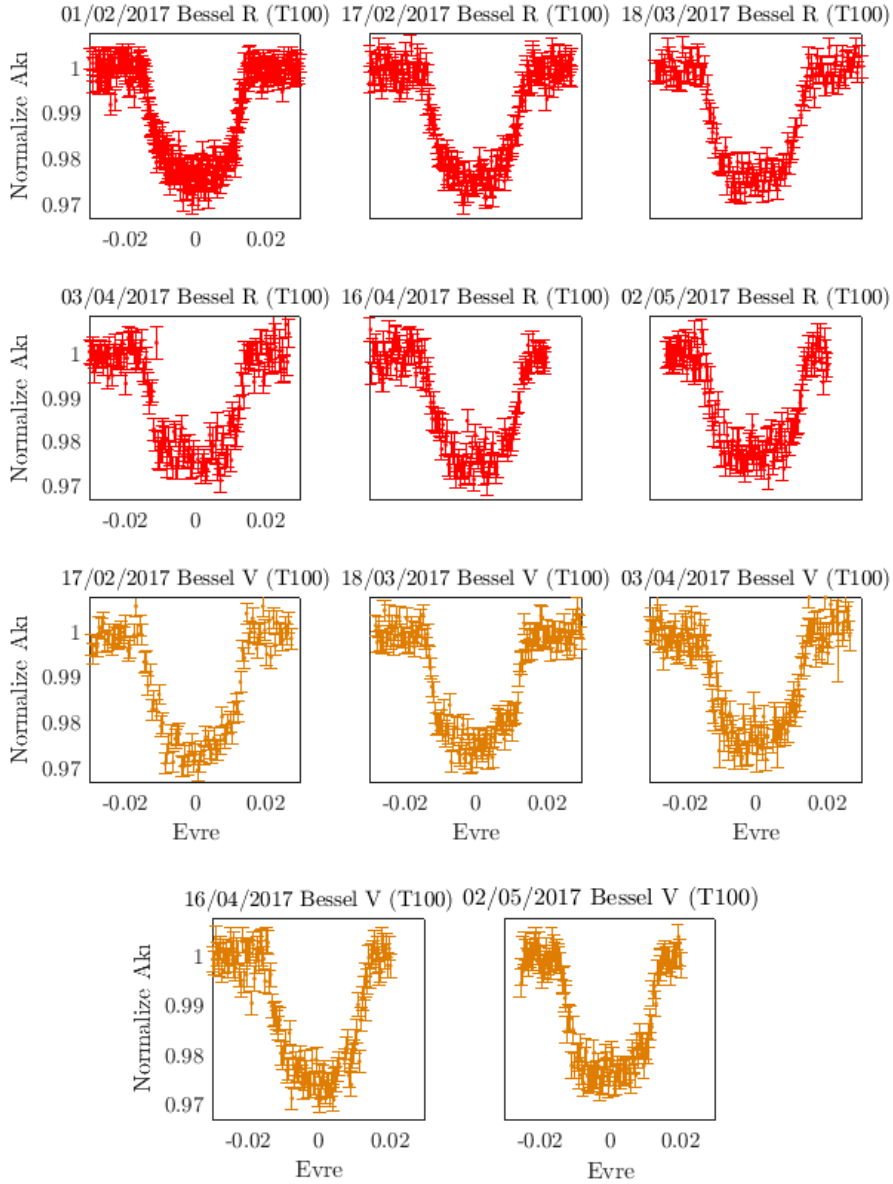
Şekil 4.1. CoRoT-2b ötegezegeninin gözlenen geçiş eğrileri.

4.1.2. HAT-P-12b Takip Gözlemleri

HAT-P-12b ötegezegeninin T100 teleskobu ile 6 tane tam geçiş ışık eğrisi gözlenmiştir (bkz. Şekil 4.2). 1 Şubat 2017 tarihli gözlem sadece Bessel R süzgecinde yapılmış iken diğer tüm gezegen geçiş gözlemleri hem Bessel R hem de Bessel V süzgeçlerinde yapılmıştır. HAT-P-12b ötegezegeninin geçiş gözlemlerinde kullanılan teleskoplar, filtreler, poz süreleri ve geçiş dışı standart sapma değerleri (σ) Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. HAT-P-12b ötegezegeninin geçiş gözlem bilgileri.

Gözlem Günü	Teleskop	Filtre	Poz Süresi (s)	σ (mili kadir)
1 Şubat 2017	T100	R	25	2.0
17 Şubat 2017	T100	R	25	2.3
		V	45	2.7
18 Mart 2017	T100	R	25	2.3
		V	45	2.4
3 Nisan 2017	T100	R	20	3.0
		V	40	3.1
16 Nisan 2017	T100	R	20	2.9
		V	40	2.5
2 Mayıs 2017	T100	R	20	2.4
		V	40	1.9



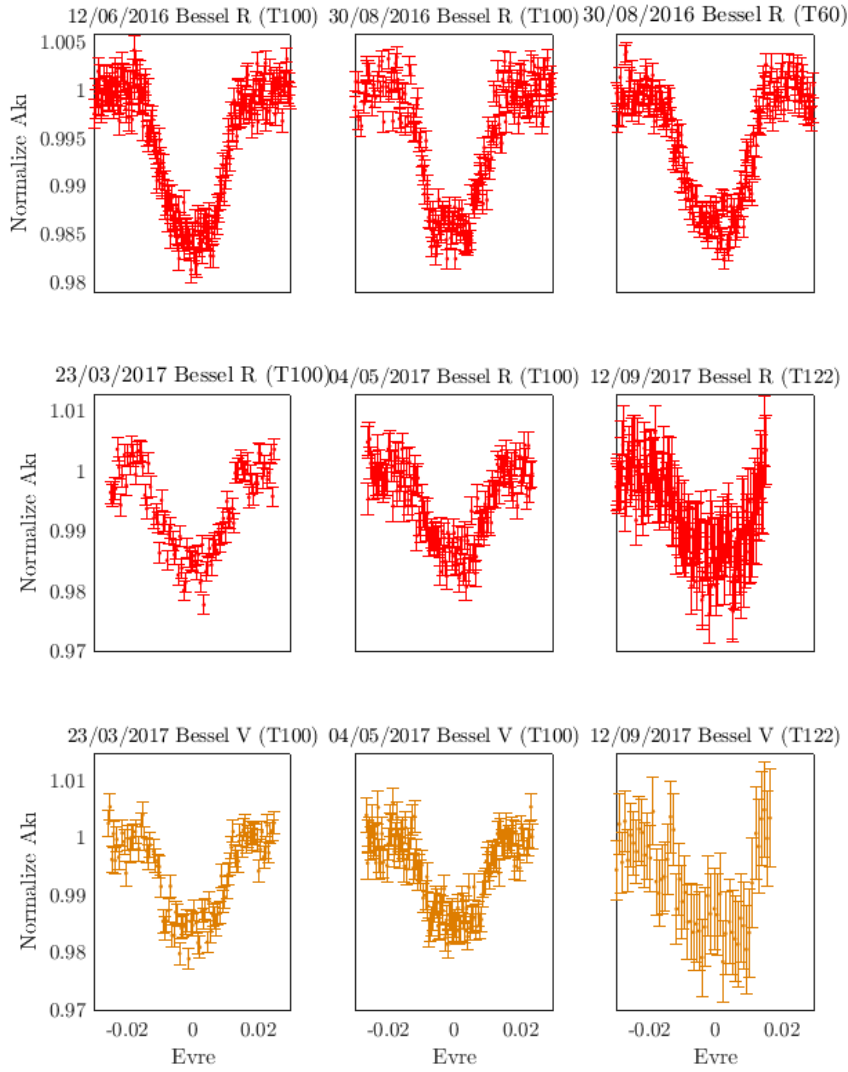
Şekil 4.2. HAT-P-12b ötegezegeninin gözlenen geçiş eğrileri.

4.1.3. TrES-2b Takip Gözlemleri

TrES-2b ötegezegeninin T100 teleskobu ile 4 tane, T122 ve T60 teleskopları ile birer tane gezegen geçiş ışık eğrisi gözlenmiştir. 30 Ağustos 2016 tarihindeki geçiş gözlemi, hem T60 teleskobu hem de T100 teleskobu ile yapılmıştır. T100 teleskobu ile 12 Haziran 2016 ve 30 Ağustos 2016 tarihlerindeki gözlemler sadece Bessel R süzgecinde yapılmış iken, bu teleskop ile yapılan diğer tüm gözlemler hem Bessel R hem de Bessel V süzgeçlerinde gerçekleştirilmiştir. Gezegen geçişi boyunca gözlenen ışık eğrileri Şekil 4.3'te verilmiştir. TrES-2b ötegezegeninin geçiş gözlemlerinde kullanılan teleskoplar, filtreler, poz süreleri ve geçiş dışı standart sapma değerleri (σ) Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. TrES-2b ötegezegeninin geçiş gözlem bilgileri.

Gözlem Günü	Teleskop	Filtre	Poz Süresi (s)	σ (mili kadir)
12 Haziran 2016	T100	R	40	1.6
30 Ağustos 2016	T100	R	40	1.7
	T60	R	50	1.5
23 Mart 2017	T100	R	30 – 35	2.8
		V	35 – 40	2.4
4 Mayıs 2017	T100	R	15	2.7
		V	20	2.7
12 Eylül 2017	T122	R	60	3.3
		V	80	4.3



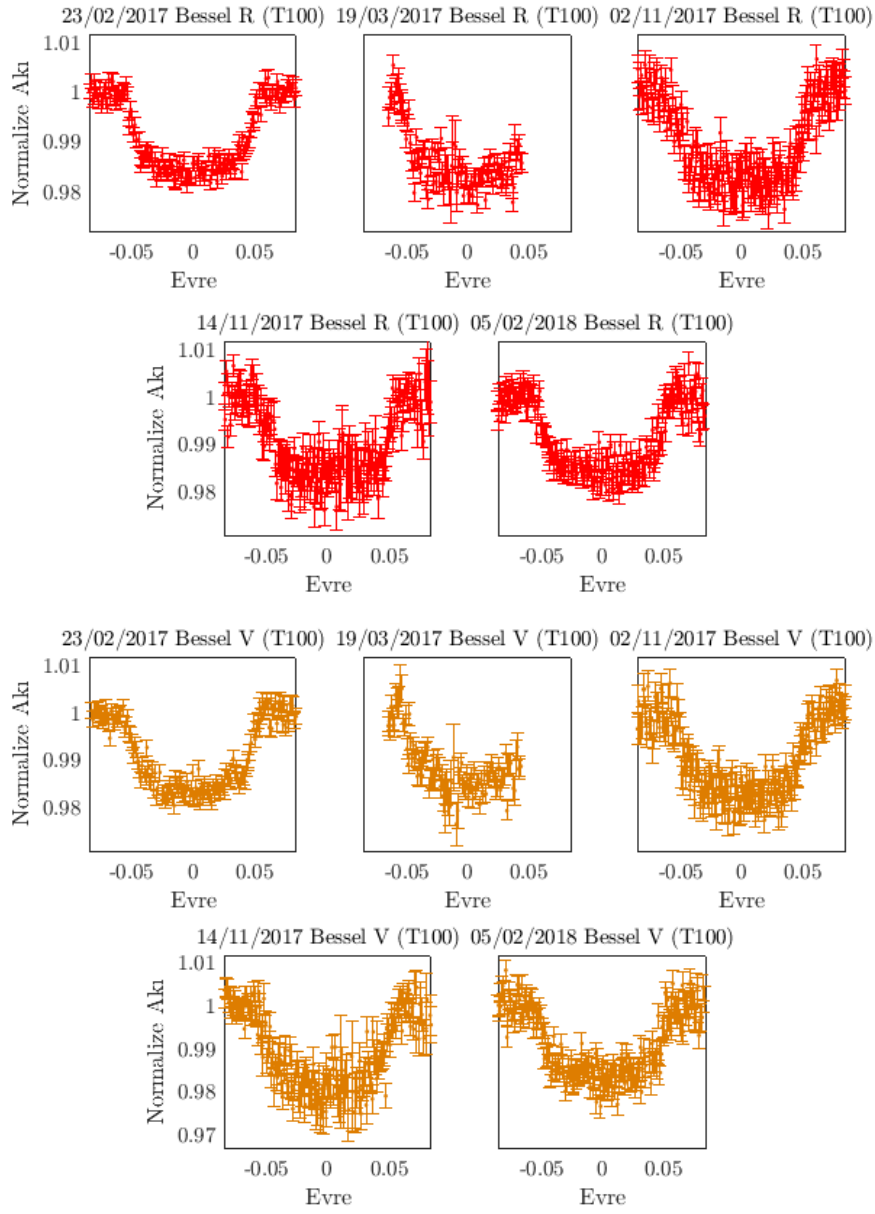
Şekil 4.3. TrES-2b ötegezegeninin gözlenen geçiş eğrileri.

4.1.4. WASP-12b Takip Gözlemleri

WASP-12b ötegezegeninin, Bessel R ve Bessel V süzgeçlerinde T100 teleskobu ile dört tane tam bir tane parçalı geçiş ışık eğrisi elde edilmiştir. WASP-12b ötegezegeninin yıldızı önünden geçişi boyunca gözlenen geçiş ışık eğrileri Şekil 4.4'te verilmiştir. Gözlemlerde verilen poz süreleri ve elde edilen geçiş dışı standart sapma değerleri (σ) Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. WASP-12b ötegezegeninin geçiş gözlem bilgileri.

Gözlem Günü	Teleskop	Filtre	Poz Süresi (s)	σ (mili kadir)
23 Şubat 2017	T100	R	25	1.8
		V	30	1.7
19 Mart 2017	T100	R	25	2.7
		V	30	2.4
2 Kasım 2017	T100	R	10 – 20	3.5
		V	15 – 25	3.2
14 Kasım 2017	T100	R	15	3.4
		V	20	3.3
5 Şubat 2018	T100	R	15	2.7
		V	20	2.8



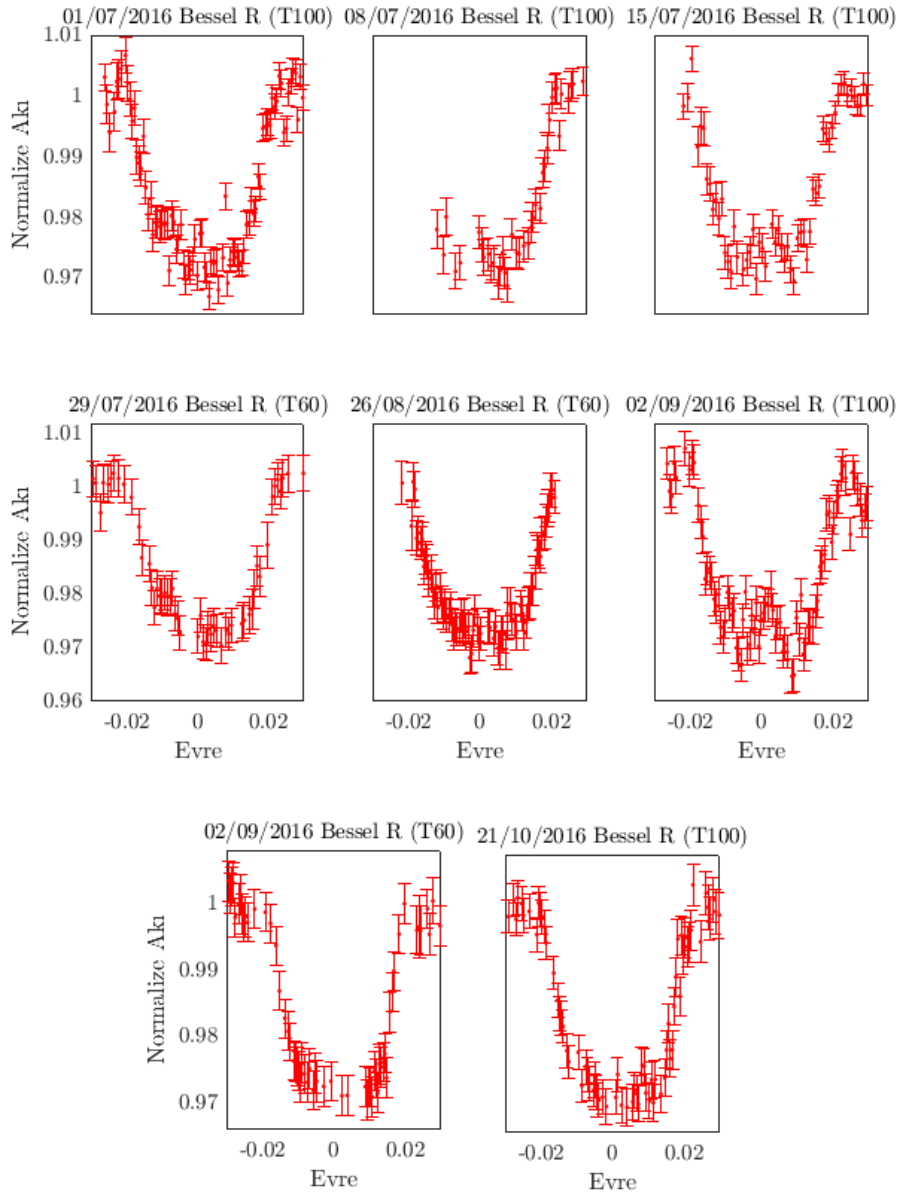
Şekil 4.4. WASP-12b ötegezegeninin gözlenen geçiş eğrileri.

4.1.5. WASP-52b Takip Gözlemleri

WASP-52b ötegezegeninin, T60 teleskobu ile 3, T100 teleskobu ile 5 tane ışıkölçüm geçi gözlemi gerçekleştirilmiştir. 2 Eylül 2016 tarihindeki gezegen geçiş gözlemi her iki teleskop ile yapılmıştır. Tüm gözlemler Bessel R süzgecinde yapılmıştır. Gözlem bilgileri Çizelge 4.6’da, gözlenen geçiş eğrileri ise Şekil 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.6. WASP-52b ötegezegeninin geçiş gözlem bilgileri.

Gözlem Günü	Teleskop	Filtre	Poz Süresi (s)	σ (mili kadir)
1 Temmuz 2016	T100	R	80	2.3
8 Temmuz 2016	T100	R	80	2.6
15 Temmuz 2016	T100	R	80	2.1
29 Temmuz 2016	T60	R	100	3.3
26 Ağustos 2016	T60	R	70	2.5
2 Eylül 2016	T100	R	80	3.3
	T60	R	70	3.2
21 Ekim 2016	T100	R	60 – 80	2.4



Şekil 4.5. WASP-52b ötegezegeninin gözlenen geçiş eğrileri.

4.2. Kepler Uydu Gözlemleri

NASA tarafından yönetilen Kepler uydu teleskobu gözlem görevi, 7 Mart 2009 yılında başlamış ve 3.5 yıldan uzun bir süre içerisinde yaklaşık 150000 tane yıldızın geniş bir dalga boyu aralığında ($\lambda = 400 - 900$ nm) ışıkölçüm gözlemlerini yaparak bu yıldızlar etrafında dolanan gezegenlerin geçiş ışık eğrilerini elde etmiştir (bkz. Borucki ve ark. 2010, Howell ve ark. 2014). Mayıs 2013'e kadar gözlem yapan Kepler uydu teleskobu ile 2327 tane güneş sistemimiz dışı gezegen (ötegezegen) keşfedilmiştir. Mayıs 2013 yılında gözlemleri durdurulan Kepler uydu teleskobu, 29 Ağustos 2018 tarihinde tekrar ışıkölçüm gözlemlere başlamış ve bu yeni görev NASA tarafından Kepler K2 görevi olarak adlandırılmıştır (bkz. Howell ve ark. 2014). K2 görevi süresince, şu ana kadar (Haziran 2019), 354 tane gezegen keşfedilmiştir ve 473 tane aday gezegen belirlenmiştir (bkz. NASA NEA). Kepler K2 gözlemleri halen devam etmektedir.

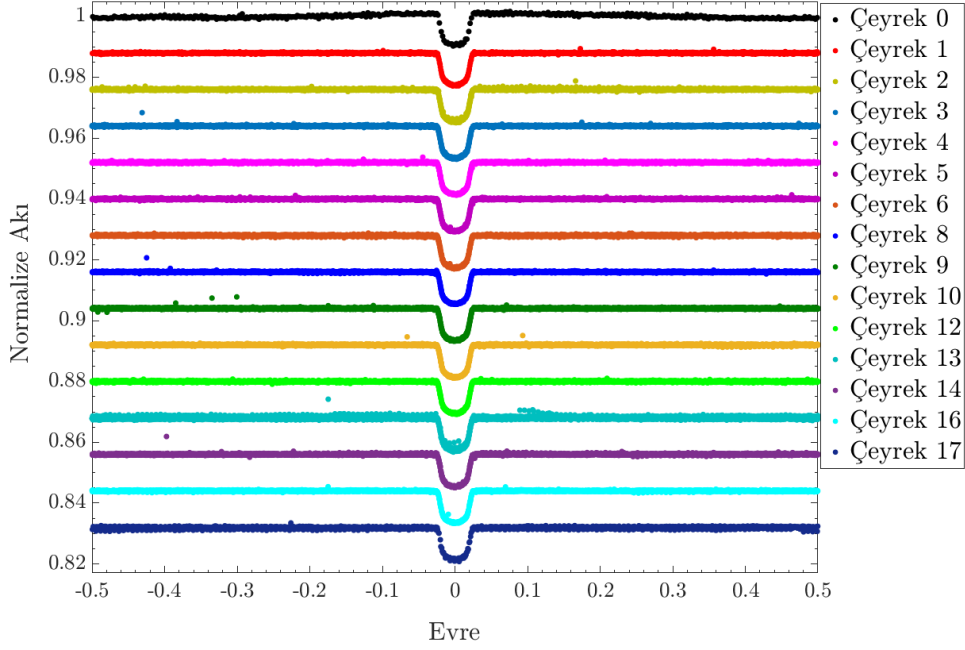
Bu tez projesi kapsamında Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş ve geçiş dışı ışık eğrileri incelenirken, bu ötegezegenlerin, 2009-2013 tarihleri arasında görevini yapan Kepler uydu teleskobu gözlem verileri kullanılmıştır. Tüm Kepler verileri NASA NEA veri tabanından alınmıştır. Bu veri tabanından normalize edilmiş PDCSAP akı değerleri ve bu akıların gözlemlendiği BJD zamanları alınmıştır. Kepler uydu teleskobunun 2009-2013 yılları arasında yaptığı gözlemler, ~29.4dakika ve ~0.98dakika poz sürelerinde olmak üzere iki farklı poz süresinde gerçekleştirilmiştir. Bu veri tabanında ~29.4dakika poz süresi ile alınan gözlemler "Uzun Poz süresi – İng. Long Cadence" ve ~0.98dakika poz sürelerinde alınan gözlemler "Kısa Poz Süresi – İng. Short Cadence" verileri olarak birbirinden ayrılmıştır. Aynı zamanda teleskobun görevi süresince yapılan gözlemler, gözlemin yapıldığı zamanlara göre çeyrek zamanlara (İng. Quarters) ayrılmıştır.

Örneğin, çeyrek 0 gözlemleri ile kast edilen 02/05/2009-11/05/2009 tarihleri arasında yapılan gözlemlerdir. 2009-2013 yılları arasında Kepler görevi boyunca yapılan gözlemler 18 tane çeyreğe ayrılmıştır. K2 görevi kapsamında Ağustos 2018 tarihinde yeniden başlayan Kepler gözlemleri ile 19. çeyrek gözlemleri başlamıştır.

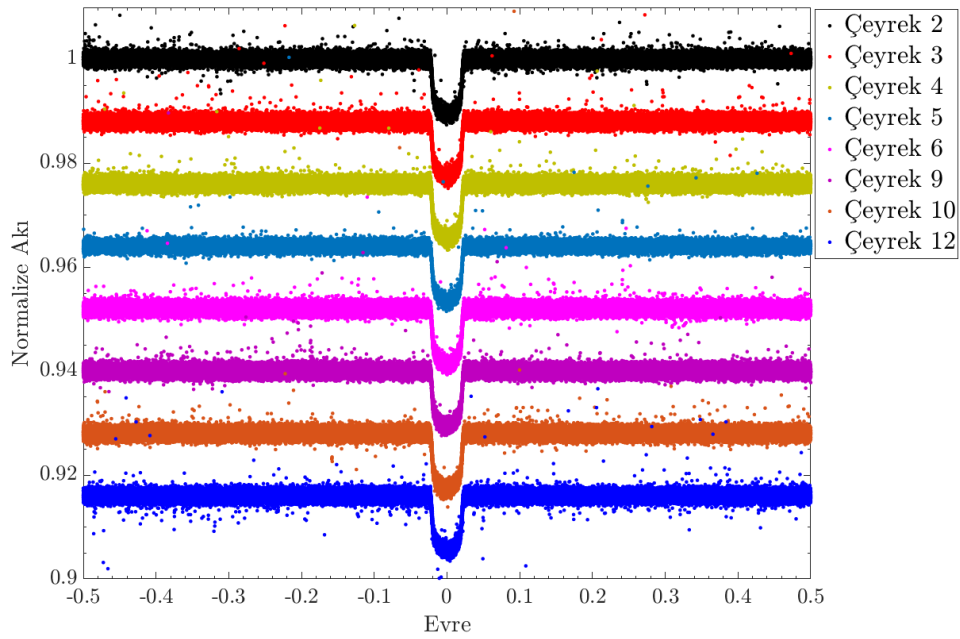
4.2.1. Kepler-6b Gözlemleri

Kepler-6b gezegeninin 2009-2013 yılları arasında Kepler gözlemlerinden 334 tane gezegen geçiş eğrisi elde edilmiştir. Kepler-6 kaynağının Kepler görevi kapsamında yapılan ilk 18 çeyrek gözlemlerinin bilgileri Ek 1'de verilmiştir. Ek 1'den görüldüğü üzere 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10 ve 12 çeyreklerindeki gözlemler hem uzun poz süresinde hem de kısa poz süresinde gözlenmiştir. Hem uzun hem de kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrisi

sayısı 199 tanedir. Uzun ve kısa poz sürelerinde Kepler uydu teleskobu ile elde edilen Kepler-6 kaynağının ışık eğrileri, sırasıyla, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de verilmiştir.



Şekil 4.6. Kepler-6 kaynağının Kepler teleskobu ile uzun poz süresinde gözlenen ışık eğrileri.



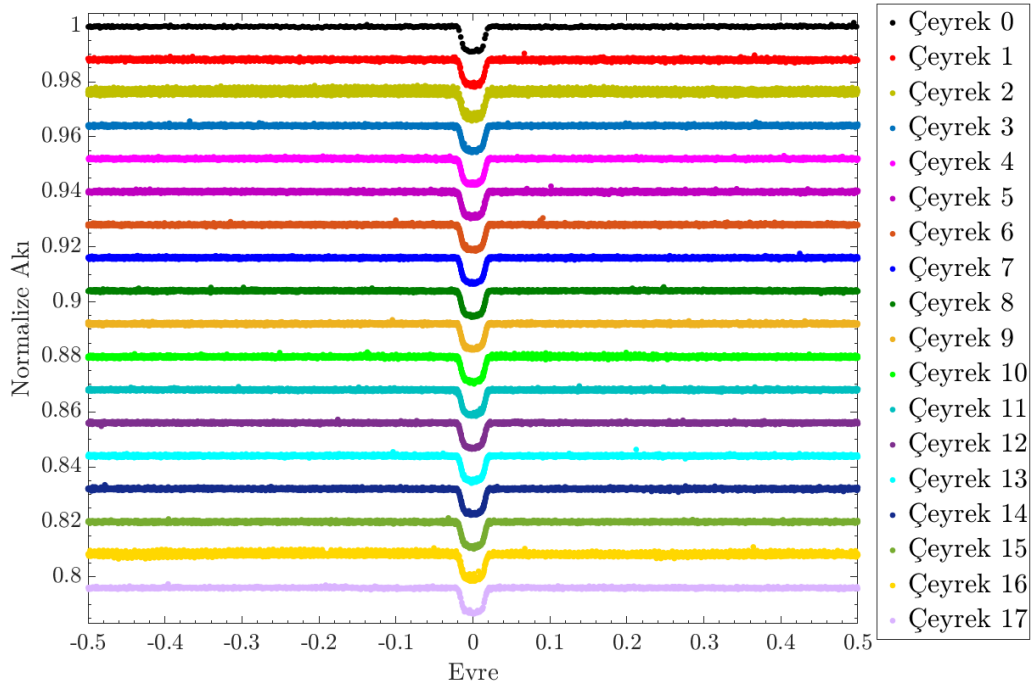
Şekil 4.7. Kepler-6 kaynağının Kepler teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen ışık eğrileri.

Bir sonraki bölümde bahsedileceği üzere, Kepler-6b gezegeninin güncel ışık elemanını elde edebilmek için, Kepler gözlemlerinden elde edilen tüm geçiş eğrilerinden geçiş ortası zamanları hesaplanmıştır. Geçiş orası zamanları Kwee-van Woerden (Kwee ve van Woerden 1956) yöntemi ile hesaplanmıştır. Hem uzun hem de kısa poz süresinde gözlenen 199 tane geçiş eğrisinin geçiş ortası zamanları hesaplanırken, daha duyarlı bir geçiş ortası zamanı elde edebilmek için kısa poz süresinde alınan geçiş gözlemleri tercih edilmiştir. Işık eğrisi evrelendirilirken, elde edilen güncel ışık elemanı kullanılmıştır. Hesaplanan geçiş ortası zamanları Ek 2’de verilmiştir.

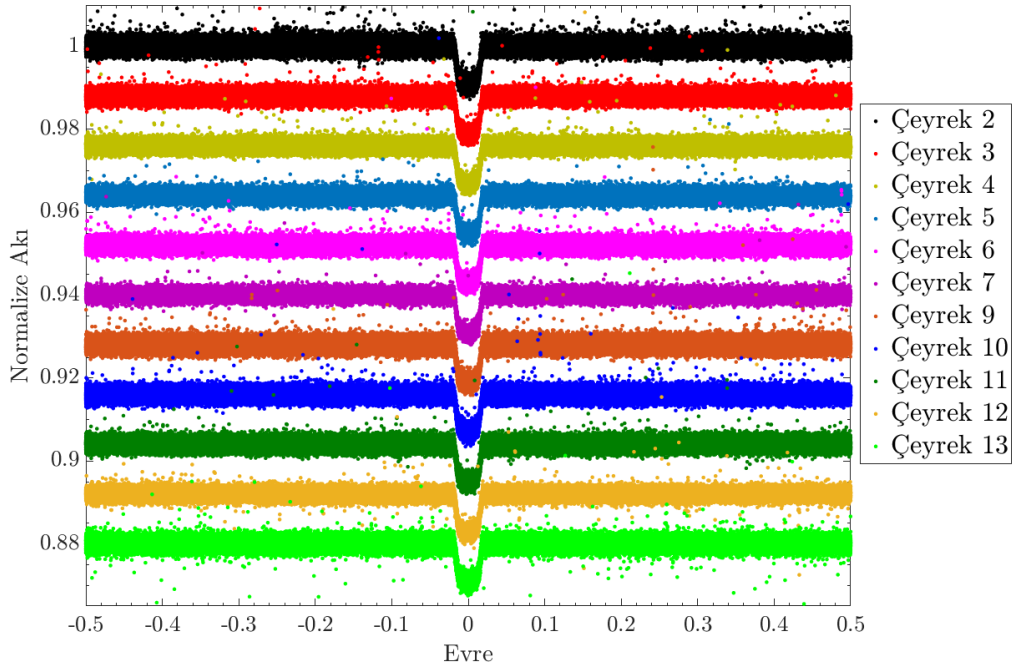
4.2.2. Kepler-8b Gözlemleri

Kepler-8b gezegeninin Kepler gözlemlerinin ilk 18 çeyreğinde, 385 tane tam 4 tane parçalı gezegen geçiş eğrisi elde edilmiştir. Kepler-8 kaynağının Kepler görevi kapsamında gözlem bilgileri Ek 3’te verilmiştir. Ek 3’ten görüldüğü üzere 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12 ve 13 çeyreklerindeki gözlemler hem uzun poz süresinde hem de kısa poz süresinde gözlenmiştir. Hem uzun hem de kısa poz süresinde gözlenen tam geçiş eğrisi sayısı 242 tanedir. Uzun ve kısa poz sürelerinde Kepler uydu teleskobu ile elde edilen Kepler-8 kaynağının ışık eğrileri, sırasıyla, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 da verilmiştir.

Kepler-8b gezegeninin güncel ışık elemanını elde edebilmek için, Kepler gözlemlerinden elde edilen tüm tam geçiş eğrilerinden geçiş ortası zamanları hesaplanmıştır. Geçiş orası zamanları Kwee-van Woerden (Kwee ve van Woerden 1956) yöntemi ile hesaplanmıştır. Hem uzun hem de kısa poz süresinde gözlenen 242 tane geçiş eğrisinden geçiş ortası zamanları hesaplanırken, daha duyarlı bir geçiş ortası zamanı elde edebilmek için kısa poz süresinde alınan geçiş gözlemleri tercih edilmiştir. Ancak bu 242 tane geçiş eğrisi içerisinde kısa poz süresinde elde edilen 230 tanesinin geçiş ortası zamanı okumak için elverişli olduğu görülmüştür. Kalan 12 tane geçiş eğrisinin geçiş ortası zamanları uzun poz süresinde yapılan gözlemler kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak 155 tane geçiş ortası zamanı uzun poz süresi gözlemlerinden, 230 tane geçiş orası zamanı da kısa poz süresi gözlemlerinden hesaplanmıştır. Işık eğrisi evrelendirilirken, elde edilen güncel ışık elemanı kullanılmıştır. Hesaplanan geçiş ortası zamanları Ek 4’te verilmiştir.



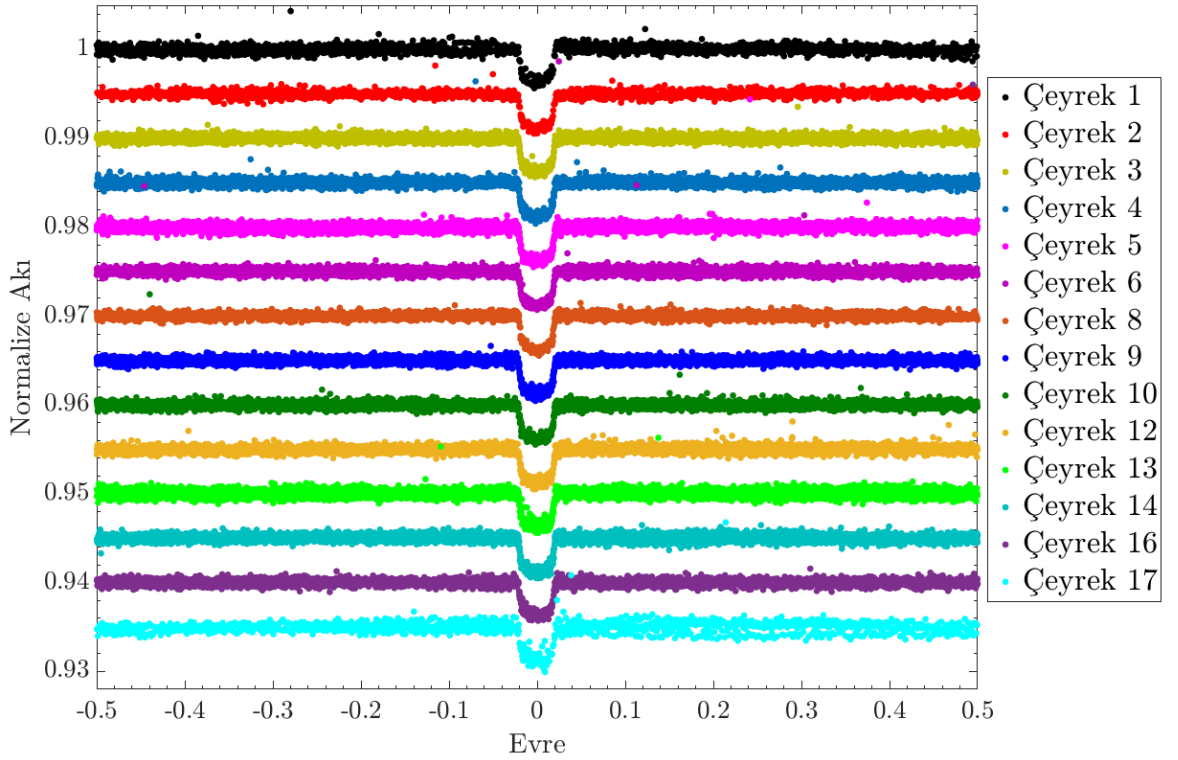
Şekil 4.8. Kepler-8 kaynağının Kepler teleskobu ile uzun poz süresinde gözlenen ışık eğrileri.



Şekil 4.9. Kepler-8 kaynağının Kepler teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen ışık eğrileri.

4.2.3. Kepler-40b Gözlemleri

Bu tez projesi kapsamında incelenen, Kepler uydu gözlemleri yapılmış olan bir diğer ötegezegen Kepler-40b ötegezegenidir. Kepler-40 kaynağının 2009-2013 yılları arasında yapılan Kepler uydu gözlemleri sadece uzun poz süresinde yapılmış ve bu gözlemlerden 150 tane gezegen geçiş ışık eğrisi elde edilmiştir. Kepler-40 kaynağı için Kepler uydu gözlemlerinin ilk 18 çeyreğinde yapılan gözlem bilgileri Ek 5’te verilmiştir. Gözlemlerden elde edilen ışık eğrileri ise Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Kepler-40 kaynağının Kepler teleskobu ile uzun poz süresinde gözlenen ışık eğrileri.

Kepler-40 kaynağının gözlenen ışık eğrisini evrelendirmede, bu çalışmada elde edilen güncel ışık elemanı kullanılmıştır. Bunun için öncelikle, Kepler gözlemlerinden elde edilen 150 geçiş eğrisinden 150 tane geçiş ortası zamanı hesaplanmıştır. Geçiş ortası zamanı hesaplamasında Kwee-van Woerden (Kwee ve van Woerden 1956) yöntemi kullanılmıştır. Hesaplanan geçiş ortası zamanları Ek 6’da verilmiştir.

BÖLÜM 5

GEÇİŞ ORTASI ZAMANI DEĞİŞİMİ (TTV) ANALİZLERİ

Bir yıldız etrafındaki yörüngede dolanan gezegeni ve/veya gezegenleri tespit edebilmek için yaygın olarak iki tane gözlemsel teknik kullanılır: ışıkölçüm gezegen geçiş gözlemleri ve ana yıldızın dikine hız gözlemleri. Birbirlerine fiziksel olarak bağlı bir yıldız-gezegen sisteminde, eğer gezegenin yörünge eğimi uygun bir açı değerinde ise (yıldız-gezegen sisteminin yörünge düzlemi gözlemcinin bakış doğrultusu hizasına yakın ise), gezegen yıldızının önünden geçerken, yıldız akısında bir düşme görülür. Gezegenin yıldız önünden geçtiği süre boyunca gözlenen bu ışık eğrisine gezegenin geçiş eğrisi denilmektedir. Gözlenen geçiş eğrisi derinliğinden gezegenin yarıçapının yıldızın yarıçapına oranı (R_p^2 / R_s^2) , geçiş süresinden kesirsel yıldız yarıçapı $(R_s / a, a$: yarı büyük eksen uzunluğu) ve yörünge eğimi (i) hesaplanabilmektedir. Ayrıca geçiş eğrisi biçiminden ana yıldızın kenar kararma katsayısı elde edilebilmektedir (bkz. Mandel ve Agol 2002, Eastman ve ark. 2013).

Öte yandan, geçiş süresince meydana gelen yıldız akısındaki düşüşün gerçekten de gezegen kaynaklı olduğunu doğrulamak ve gezegenin yörünge eksantritesi, kütlesi gibi diğer geometrik ve fiziksel parametrelerini edebilmek için ana yıldızın hassas dikine hız gözlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (bkz. O'Donovan ve ark. 2006, Quinn ve ark. 2012, Hébrard ve ark. 2013). Bu nedenle, yıldız etrafında dolanan gezegen ve/veya gezegenleri tüm fiziksel ve geometrik karakteristiklerini tam olarak elde edebilmek için hem ışıkölçüm gezegen geçiş gözlemlerine hem de dikine hız gözlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Ancak tüm gezegenlerin yörünge eğimi geçiş eğrilerini gözlemek için uygun değildir. Buna ilave olarak, bazılarının yörünge eğimi uygun açıda olsa bile, yarıçapları küçük ise geçiş eğrileri gözlenemeyebilir. Böyle gezegenleri tespit edebilmek için kullanılan yöntemlerden biri olan geçiş ortası zamanı değişimi (İng. Transit Timing Variation – TTV) yöntemi aşağıda anlatılmıştır.

Gezegen geçiş gözlemlerinden elde edilen ardışık geçiş ortası zamanlar arasında geçen süre, birbirlerine fiziksel olarak bağlı sadece bir yıldız ve bir gezegenden oluşan sistem için sabit ve gezegenin yörünge dönemi kadar olmalıdır. Öte yandan çoklu gezegen sistemlerinde her bir gezegen birbirlerini çekimsel olarak etkilemektedir. Bu nedenle geçiş gözlemi yapılan gezegeni tedirgin eden herhangi bir cismin varlığı durumunda (gezegen uydusu, geçiş gözlemleri ile belirlenemeyecek kadar küçük boyutta veya bakış

doğrultumuzda olamayan-geçiş göstermeyen- fakat sisteme fiziksel olarak bağlı bir başka gezegen vb.), gözlenen ardışık geçiş ortası zamanların periyodik olarak değişmesine neden olabilir (bkz. Miralda-Escude' 2002, Agol ve ark. 2005, Ballard ve ark. 2011, Nesvorny ve ark. 2012, Nesvorny ve ark. 2013, Agol ve Deck 2015). Geçiş zamanı değişimi (TTV) modellenerek, tedirgin eden olası gezegenin yörünge dönemi, yörünge eğimine göre olası kütlesi ve yörünge eksantritesi hakkında bilgi sahibi olunabilir (bkz. Ballard ve ark. 2011, Saad-Olivera ve ark. 2019).

Bu bölümde yer tabanlı takip gözlemleri yapılan CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenleri ile Kepler uydu gözlemleri yapılan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin TTV analizleri verilmektedir.

Ele alınan ötegezegenlerin TTV analizlerinde ağırlıklı O (gözlenen geçiş ortası zamanı)- C (hesaplanan geçiş ortası zamanı) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, gözlenen geçiş ortası zamanları (O) hesaplanan geçiş ortası zamanlardan (C) çıkartılarak, gözlemsel hata değerlerine göre ağırlıklandırılır ve evreye karşılık $O - C$ değişimi incelenir. Ele alınan ötegezegenlerin TTV analizleri, literatürde yayınlanan mevcut tüm gezegen geçiş ortası ve gezegenin yıldız arkasında olduğu ikinci tutulma zamanları ile birlikte bu proje kapsamında gözlenen geçiş ortası zamanlar kullanılarak yapılmıştır. Gözlenen geçiş ortası zamanları Kwee-van Woerden (Kwee ve van Woerden 1956) yöntemi ile hesaplanmıştır. Aynı gözlem gününde elde edilen geçiş ortası zamanlarının ortalamaları alınmış ve hesaplanan tüm geçiş ortası zamanları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan gözlemlerden CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenlerinin sırasıyla 6, 6, 5, 5 ve 7 tane geçiş ortası zamanları hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Takip gözlemleri yapılan ötegezegenlerin gözlenen geçiş ortası zamanları.

Ötegezegen	Gün	Teleskop	Filtre (gün)	Gözlenen geçiş ortası (BJD _{TDB} -2400000)
CoRoT-2b	11 Eylül 2016	T100	R	57643.3528 ± 0.0003
	22 Haziran 2017	T30	R	57927.4596 ± 0.0004
	6 Temmuz 2017	T100, T30	R,V	57941.4051 ± 0.0008
	20 Temmuz 2017	T100, T30	R,V	57955.3477 ± 0.0004
	12 Eylül 2017	T100	R,V	58009.3792 ± 0.0005
	3 Ekim 2017	T100	R,V	58030.3008 ± 0.0007
HAT-P-12b	1 Şubat 2017	T100	R	57786.4816 ± 0.0002
	17 Şubat 2017	T100	R,V	57802.5451 ± 0.0005
	18 Mart 2017	T100	R,V	57831.4635 ± 0.0003
	3 Nisan 2017	T100	R,V	57847.5287 ± 0.0004
	16 Nisan 2017	T100	R,V	57860.3807 ± 0.0003
	2 Mayıs 2017	T100	R,V	57876.4453 ± 0.0003
TrES-2b	12 Haziran 2016	T100	R	57552.3790 ± 0.0002
	30 Ağustos 2016	T100, T60	R	57631.4375 ± 0.0003
	23 Mart 2017	T100	R,V	57836.4996 ± 0.0004
	4 Mayıs 2017	T100	R,V	57878.4980 ± 0.0004
	12 Eylül 2017	T122	R,V	58009.4391 ± 0.0007
WASP-12b	23 Şubat 2017	T100	R,V	57808.3402 ± 0.0004
	19 Mart 2017	T100	R,V	57832.3481 ± 0.0006
	2 Kasım 2017	T100	R,V	58060.4587 ± 0.0003
	14 Kasım 2017	T100	R,V	58072.4620 ± 0.0003
	5 Şubat 2018	T100	R,V	58155.4104 ± 0.0005
WASP-52b	1 Temmuz 2016	T100	R	57571.4599 ± 0.0006
	8 Temmuz 2016	T100	R	57578.4589 ± 0.0003
	15 Temmuz 2016	T100	R	57585.4589 ± 0.0004
	29 Temmuz 2016	T60	R	57599.4569 ± 0.0006
	26 Ağustos 2016	T60	R	57627.4558 ± 0.0018
	2 Eylül 2016	T100, T60	R	57634.4521 ± 0.0003
	21 Ekim 2016	T100	R	57683.4453 ± 0.0004

Literatürden, özellikle Exoplanet Transit Database (ETD) veri tabanından (Poddany ve ark. 2010) alınan geçiş ortası zamanları, güneş sistemimiz merkezli güneş günü (BJD_{TDB}) cinsinden verilmemiştir. Bu zamanlar, Eastman ve ark. (2010) tarafından verilen kod kullanılarak BJD_{TDB} birimine çevrilmiştir. Aynı zamanda, ETD veri tabanında verilen geçiş ortası zamanlarının hepsi, veri tabanında paylaşılan gezegen geçiş eğrilerinden tekrar hesaplanmıştır.

CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b gezegenlerinin TTV analizlerinde kullanılan geçiş ortası ve ikinci tutulma ortası zamanları, referansları ile sırasıyla, Ek 7, Ek 8, Ek 9, Ek 10 ve Ek 11’de verilmiştir. Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin Kepler gözlemlerinden hesaplanan ve TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları Ek 2, Ek 4 ve Ek 6’da verilmiştir. Kepler-6b ve Kepler-8b ötegezegenlerinin TTV analizlerinde, Kepler gözlemlerinden hesaplanan geçiş ortası zamanlarına ilave olarak, ETD de verilen gözlem verilerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları da kullanılmıştır. ETD verilerinden hesaplanan bu geçiş ortası zamanları, Kepler-6b için Ek 12’de, Kepler-8b için ise Ek 13’de verilmiştir. Kepler-40b ötegezegeni için ETD de verilen herhangi bir gözlem verisi yoktur.

İncelenen ötegezegenlerin TTV analizlerinde kullanılan bazı geçiş ortası zamanlarının, $O - C$ diyagramlarında bariz bir saçılma gösterdiği ancak bu geçiş ortası zamanların hata değerlerinin oldukça küçük hesaplandığı görülmüştür (bkz. Şekil 5.3, Şekil 5.5, Şekil 5.7, Şekil 5.9 ve Şekil 5.11). Bu nedenle, bu geçiş ortası zamanların hata değerleri gerçek değerlerinden küçük tahmin edilmiştir. Bunun muhtemel sebebi, gözlemlerde sistematik bir şekilde kendisini gösteren kırmızı gürültü/aletsel tedirginlik (red noise/jitter) olabilir (bkz. Pont ve ark. 2006, Winn ve ark. 2008, Petrucci ve ark. 2015). Hata değerlerinin küçük hesaplanması, hata değerlerine göre ağırlıklandırılarak yapılan TTV analizlerinin yanlış sonuçlara yol açabileceğinden dolayı, her bir gözlemsel geçiş ortası zamanlarının hatalarına (σ_i), kırmızı gürültüyü/aletsel tedirginliği de dâhil eden ilave bir hata değeri (s_i) eklenmiştir. Bu durumda her bir $O - C$ noktasının ağırlığı aşağıdaki gibi olur.

$$w_i = \frac{1}{\sigma_i^2 + s_i^2} \quad (5.1)$$

(5.1) denkleminde görülen σ_i ve s_i terimleri, sırasıyla, her bir gözlemsel geçiş ortası ve/veya ikinci tutulma ortası zamanının hatasını ve kırmızı gürültü/altesel tedirginlik (red noise/jitter) sebebiyle ortaya çıkan ilave hata değerini temsil etmektedir.

$O - C$ veri setindeki her bir noktanın, s_i^2 ilave varyans değerini elde edebilmek için, Collier Cameron ve ark. (2006) ve Haywood ve ark. (2016) tarafından önerilen maksimum olasılık yöntemi (İng. Maximum Likelihood Method – MLM) kullanılmıştır. Bu durumda, TTV modelinin olasılık fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\ln(L) = -\frac{n}{2}\ln(2\pi) - \frac{1}{2}\chi^2 - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^N \ln(\sigma_i^2 + s_i^2) \quad (5.2)$$

(2) denkleminde görülen χ^2 terimi, TTV analizi yapılan ötegezegenin geçiş zamanı verisinin ki-kare değeridir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(y_{o,i} - y_{c,i})^2}{\sigma_i^2 + s_i^2} \quad (5.3)$$

(5.3) denkleminde $y_{o,i}$ ve $y_{c,i}$ terimleri, sırasıyla, gözlenen TTV değerine ve modelden elde edilen TTV değerine karşılık gelmektedir. s_i değerine göre maksimum olasılık değerini elde edebilmek için, (5.2) denkleminin s_i terimine göre kısmi türevi alınıp sıfıra eşitlenmiştir.

$$\frac{\partial \ln(L)}{\partial s_i} = 2s_i \left\{ \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2 + s_i^2} - \sum_i \frac{(y_{o,i} - y_{c,i})^2}{[\sigma_i^2 + s_i^2]^2} \right\} = 0 \quad (5.4)$$

İlave varyans değerlerini (s_i^2) hesaplayabilmek için aşağıdaki denklem her bir s_i^2 için iteratif olarak çözülmüştür.

$$\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2 + s_i^2} - \sum_i \frac{(y_{o,i} - y_{c,i})^2}{[\sigma_i^2 + s_i^2]^2} = 0 \quad (5.5)$$

(5.5) denkleminin çözümü sonucu, kırmızı gürültüyü de içeren yeni hata değeri $p_i = (\sigma_i^2 + s_i^2)^{1/2}$ olarak tanımlanmıştır. Eğer yeni hata değeri, 0.001 gün değerinin altında elde edilmiş ise, bu durumda yeni hata değeri $p_i = 0.001$ gün olarak kabul edilmiştir. MLM sonucu hesaplanan yeni hata değerleri içerisinde maksimum değerde

olanlarının, gezegenlerin geçiş süreleri ile karşılaştırılması Çizelge 5.2’de verilmiştir. Çizelge 5.2’den görüldüğü üzere MLM sonucu elde edilen en büyük yeni hata değerlerinin, ötegezegenlerin geçiş sürelerinin 3% ile 12% arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5.2. Bu tez kapsamında incelenen ötegezegenlerin geçiş sürelerinin MLM sonucu hesaplanan maksimum hata değerleri ile karşılaştırılması.

Ötegezegen	Geçiş Süresi (dk)	MLM sonucu Hesaplanan maksimum hata (dk)
CoRoT-2b	$136.0^{+0.2}_{-0.1}^{[1]}$	8.6
HAT-P-12b	$140.3 \pm 0.9^{[2]}$	4.3
Kepler-6b	$236.4 \pm 3.5^{[3]}$	28.8
Kepler-8b	$192.5^{+5.9}_{-6.0}^{[3]}$	10.1
Kepler-40b	$411.6 \pm 3.6^{[4]}$	50.4
TrES-2b	$109.4 \pm 2.3^{[5]}$	5.5
WASP-12b	$175.7 \pm 1.4^{[6]}$	3.6
WASP-52b	$108.6 \pm 0.7^{[7]}$	4.6

^[1]Gillon ve ark. (2010) ^[2]Hartman ve ark. (2009) ^[3]Kipping ve Bakos (2011)
^[4]Santerne ve ark. (2011) ^[5]Seager ve Mallén-Ornelas (2003) ^[6]Maciejewski ve ark
(2011) ^[7]Hébrard ve ark. 2013

$O - C$ değişimini modellemek için lineer ve kuadratik model olmak üzere iki model ele alınmıştır. $O - C$ diyagramına MLM kullanarak lineer ve ikinci dereceden model fitleri yapılmıştır. Ele alınan lineer ve ikinci dereceden modeller, sırasıyla, (5.6) ve (5.7) denklemleri ile aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$T_{geiş\ ortası} = T_0 + P \times E \quad (5.6)$$

$$T_{geiş\ ortası} = T_0 + P \times E + c \times E^2 \quad (5.7)$$

Burada, T_0, P, E ve c , sırasıyla, başlangıç evresindeki geçiş ortası zamanı, yörünge dönemi, çevrim sayısı ve ikinci derece terimin katsayısıdır. Burada c terimi, gezegenin yörünge dönemindeki sürekli değişimi vermektedir.

$O - C$ değişimini temsil edilebilecek en iyi model seçimi için, Akaike information criterion (AIC, Akaike 1973) ve Bayesian information criterion (BIC, Schwarz 1978) kriterleri kullanılmıştır. AIC ve BIC kriterleri, sırasıyla, (5.8) ve (5.9) denklemlerinde verilmiştir.

$$AIC = -2 \ln(L) + 2k \quad (5.8)$$

$$BIC = -2 \ln(L) + k \ln(N) \quad (5.9)$$

(5.8) ve (5.9) denklemlerinde görülen k terimi, ele alınan modeldeki serbest/tahmin edilen parametre sayısını ve N terimi ise toplam geçiş ortası ve ikinci tutulma sayılarını temsil etmektedir.

Elde edilen $O - C$ diyagramında çevrimsel bir değişimin olup olmadığını araştırabilmek için, her bir ötegezegenin $O - C$ artıklarının Lomb-Scargle (LS) periodogramları elde edilmiştir (Lomb 1976, Scargle 1982). Her bir ötegezegen için elde edilen periodogramlardaki en güçlü sinyalin yanlış alarm olasılık (FAP) değerlerini hesaplayabilmek için Horne ve Baliunas (1986) ve Scargle (1982) tarafından verilen aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$FAP = 1 - (1 - e^{-z})^N \quad (5.10)$$

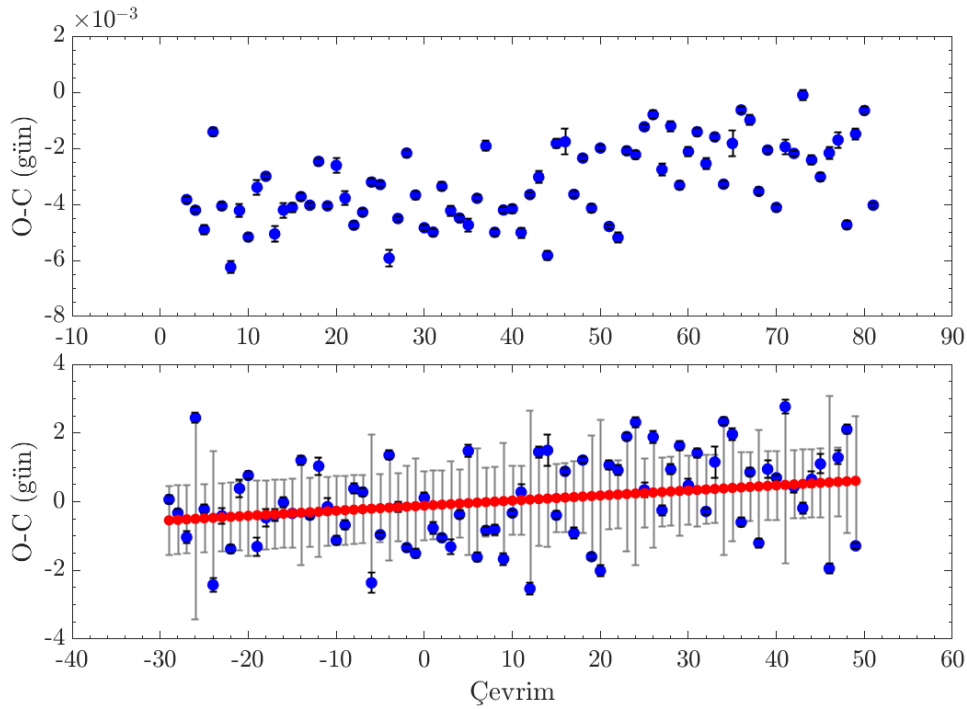
(9) denkleminde görülen z ve N terimleri, periodogramdaki en güçlü sinyalin şiddetini ve bağımsız frekans sayısını ($\sim$ veri sayısını) temsil etmektedir.

5.1. CoRoT-2b Ötegezegeninin TTV Analizi

CoRoT-2b ötegezegeninin fotometrik geçiş gözlemleri, CoRoT uydusu tarafından 16 Mayıs 2007 ile 5 Ekim 2007 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. CoRoT-2b ötegezegeninin, CoRoT uydusu tarafından gözlenen 79 gezegen geçiş eğrisinden geçiş ortası zamanlar hesaplanmış ve CoRoT-2b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılmıştır. Ayrıca, gözlemsel hata değerleri 0.002 gün den küçük olan 41 tane geçiş ortası zamanı ETD veri tabanından seçilerek, bu geçiş ortası zamanlar tekrar hesaplanmış ve TTV analizine dâhil edilmiştir. Bunların dışında, Baluev ve ark. (2015) çalışmasından alınan 18 tane geçiş ortası zamanı ile birlikte takip gözlemlerinden hesapladığımız 6 tane geçiş ortası

zamanı da TTV analizinde gözlemsel veri olarak kullanılmıştır. TTV analizinde kullanılan tüm gözlemsel veri Ek 7’de verilmiştir.

CoRoT-2b’nin TTV analizinde kullanılan gözlemsel veri 10 yıllık bir zamanı kapsamaktadır. Sadece CoRoT uydusu tarafından yapılan gözlemler, bu 10 yıllık zamanın yaklaşık 10 %’unu kapsamakta ve ardışık 80 çevrimi içermektedir. Bu nedenle, CoRoT görevi süresince gözlenen geçiş ortası zamanların $O - C$ diyagramı Şekil 5.1’de ayrı olarak ele alınmıştır. Alonso ve ark. (2008) tarafından verilen lineer ışık elemanı kullanılarak CoRoT gözlemlerinden elde edilen $O - C$ diyagramı Şekil 5.1’in üst panelinde gösterilmiştir.



Şekil 5.1. CoRoT-2b ötegezegeninin CoRoT gözlemlerinden hesaplanan geçiş ortası zamanlarından elde edilen $O - C$ artıkları. Alonso ve ark. (2008) çalışmasında verilen ışık elemanı ile elde edilen $O - C$ diyagramı üs diyagramda gösterilmiştir. Çizelge 5.3’de verilen güncel ışık elemanı ile elde edilmiş $O - C$ diyagramı ise alt diyagramda verilmiştir. $O - C$ artıklarına yapılan lineer model, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her iki diyagramda da, gözlemsel hatalar siyah renkte gösterilmiştir. İlave hataları da içeren hatalar ise, alt diyagramda, gri renkte gösterilmiştir.

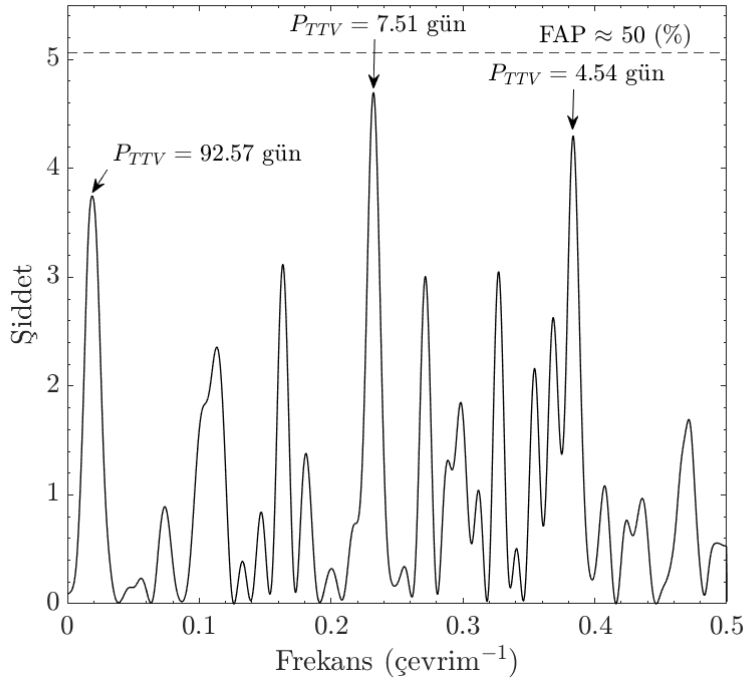
Alonso ve ark. (2008) tarafından verilen ışık elemanı kullanılarak elde edilen $O - C$ diyagramından görüldüğü üzere, diyagram üzerindeki tüm noktalar sıfır çizgisinin altında

yer almaktadır. Bu durumu ortadan kaldırmak için, sıfır evresine karşılık gelen yeni bir T_0 zamanı seçilmiş ve bu yeni ışık elemanı kullanılarak elde edilen $O - C$ diyagramı Şekil 5.1 in alt panelinde gösterilmiştir. Sonrasında, MLM kullanılarak, sadece CoRoT gözlemleri ile elde edilen $O - C$ diyagramına ayrı ayrı lineer ve kuadratik model fitleri yapılmıştır. En iyi lineer ve kuadratik model fitlerinden elde edilen parametreler Çizelge 5.3'te verilmiştir. Çizelge 5.3'ten görüldüğü üzere, kuadratik modelden elde edilen ikinci derece parametresi (c), sadece 1.24σ duyarlılığındadır. Bu nedenle, CoRoT $O - C$ veri seti için en uygun modelin lineer model olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 5.1 alt panel).

Çizelge 5.3. CoRoT-2b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimine MLM ile yapılan lineer ve kuadratik model fitleri sonucu elde edilen parametreler.

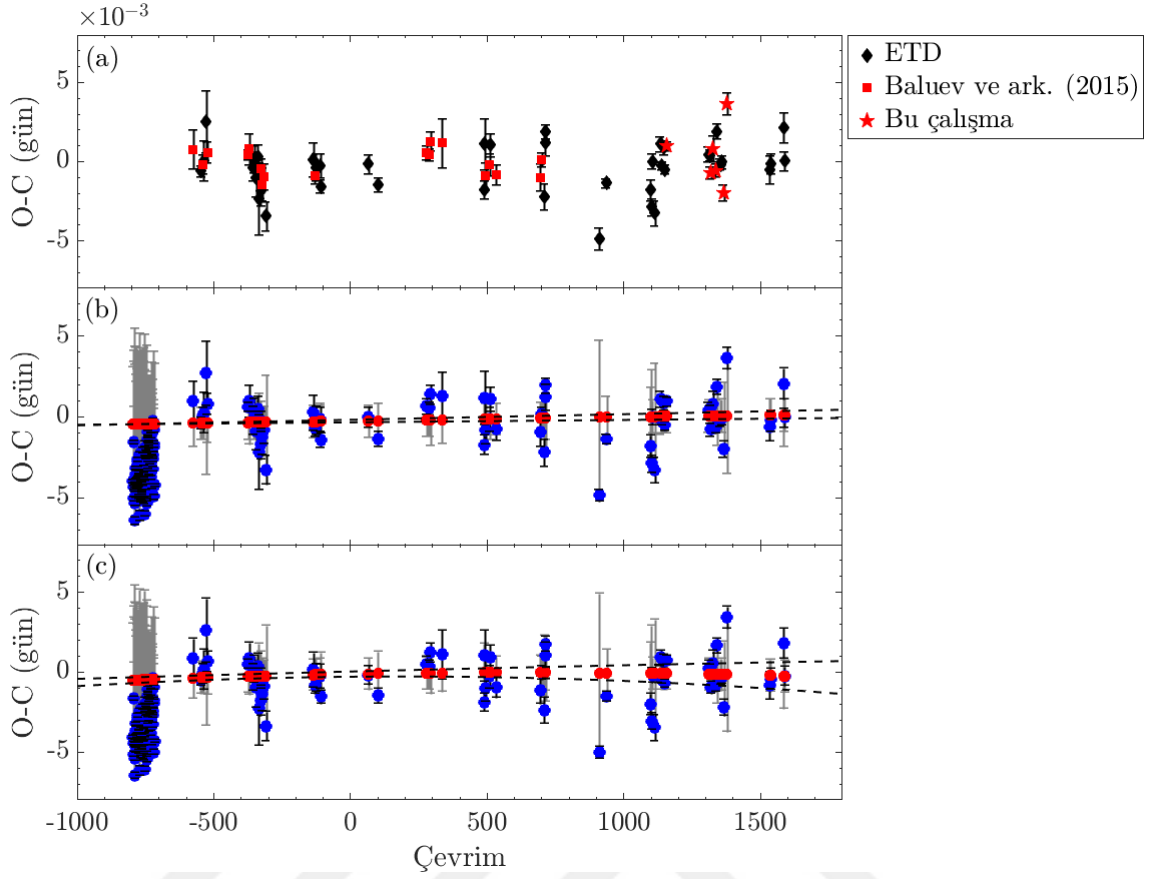
Veri	Model	$T_0(\text{BJD}_{\text{TDB}})$ ($T_0 - 2400000$)	P (gün)	c (gün)	AIC/BIC
CoRoT verisi	Lin.	54293.30804(8)	1.743011 (3)	-	-864.2/-855.1
	Kuad.	54293.3080(1)	1.743009(4)	$1.88(1.51) \times 10^{-7}$	-864.4/-855.3
Yer verisi	Lin.	55628.4475(1)	1.742997(1)	-	-714.5/-706.0
	Kuad.	55628.4474(1)	1.7429968(2)	$1.19(1.99) \times 10^{-10}$	-714.6/-706.0
Tüm veri	Lin.	55628.44733(4)	1.74299698(5)	-	-1428.8/-1417.9
	Kuad.	55628.44747(8)	1.74299703(7)	$-2.30(0.99) \times 10^{-10}$	-1425.5/-1414.5

CoRoT O-C veri seti için lineer model sonucunda elde edilen artıklar kullanılarak elde edilen LS diyagramı Şekil 5.2'de verilmiştir. Şekil 5.2'de 50% FAP seviyesi altında üç tane belirgin sinyal görülmektedir. Ana yıldızın kendi ekseninde dönme dönemine yakın olan 4.54 gün ve 7.51 gün dönemlerine karşılık gelen bu sinyaller, Alonso ve ark. (2009) tarafından da tespit edilmiş ve bu sinyallerin ana yıldızın manyetik aktivitesi kaynaklı olabileceği öne sürülmüştür.



Şekil 5.2. CoRoT-2b ötegezegeninin CoRoT gözlemlerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ artıkları için elde edilen LS periodogramı.

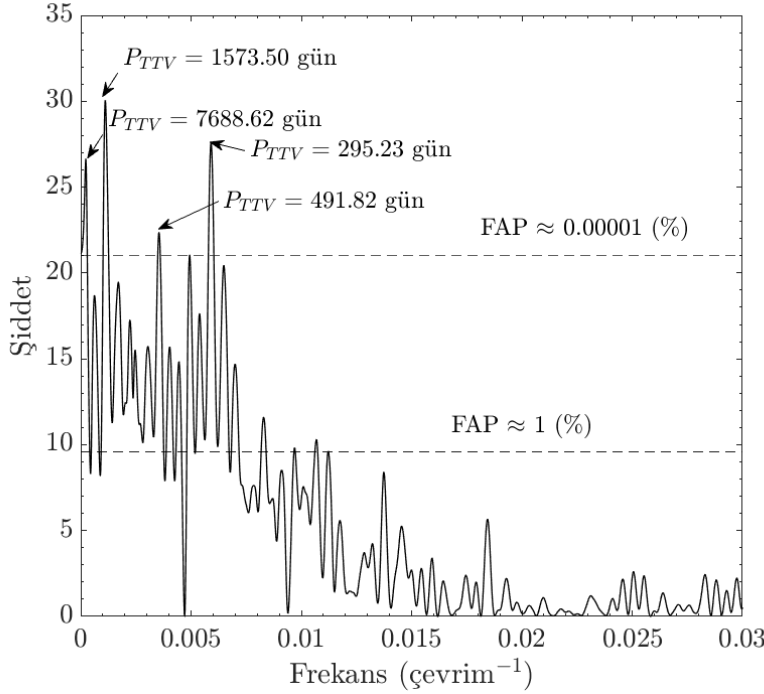
CoRoT-2b ötegezegeninin, Baluev ve ark. (2015) çalışmasında verilen lineer ışık elemanı ve yer tabanlı gözlemlerden elde edilen geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ diyagramı, Şekil 5.3'ün üst panelinde verilmiştir. Yer tabanlı gözlemlerden elde edilen $O - C$ veri setine, ayrı ayrı, MLM yöntemi kullanılarak lineer ve kuadratik model fitleri yapılmış ve fitlerden elde edilen parametreler Çizelge 5.3'te verilmiştir. Kuadratik modelden elde edilen c katsayısının 0.60σ kadar küçük bir duyarlılığa sahip olduğu görüldüğünden, bu veri seti için en uygun modelin lineer model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 5.3. CoRoT-2b ötegezegenin yer tabanlı gözlemlerden elde edilen geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ artıkları üst diyagramda verilmiştir. Hem yer hem de uydu tabanlı gözlemlerden elde edilen geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ artıkları orta ve alt diyagramlarda verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, orta ve alt diyagramda, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panellerde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.

Son olarak, tüm yer ve uydu tabanlı gözlemlerden elde edilen geçiş ortası zamanları birleştirilerek CoRoT-2b ötegezegeninin TTV analizi gerçekleştirilmiştir. Tüm geçiş ortası zamanlar kullanılarak elde edilen $O - C$ veri setine lineer ve kuadratik model fitleri yapılmıştır. Bu lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, Şekil 5.3'ün orta ve alt panellerinde verilmiştir. Fitlerden elde edilen parametreler Çizelge 5.3'te verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller için model seçim kriter olarak kullandığımız AIC/BIC değerlerine baktığımızda, her iki model için elde edilen AIC/BIC değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, kuadratik modelden elde edilen c

katsayısı, CoRoT-2b ötegezegenin yörünge döneminin sabit olmadığını, 0.008 ± 0.003 s/yıl mertebesinde düzenli olarak azaldığını göstermektedir. Ancak, MLM kriterleri olan AIC ve BIC değerlerinin, lineer model en küçük olması ile beraber c katsayısının sadece 2.3σ duyarlılık mertebesinde bulunması, CoRoT-2b ötegezegeninin $O - C$ değişiminin en iyi olarak lineer model ile temsil edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 5.4. CoRoT-2b ötegezegeninin mevcut tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ artıkları için elde edilen LS diyagramı.

Tüm veri kullanılarak yapılan TTV analizinde, lineer model sonucu elde edilen $O - C$ artıklarının LS periodogramı Şekil 5.4'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, 0.00001 % FAP seviyesi üzerinde 4 tane baskın sinyal tespit edilmiştir. Bu sinyallerin karşılık geldiği çevrimsel değişimlerin genlikleri, 0.002 – 0.0025 gün genlikleri arasındadır ve dönemleri 7688.62, 1573.50, 491.82 ve 295.23 gün dür. TTV genliklerinin 0.0025 gün mertebesinde olması, bu çevrimsel değişimlerin, ana yıldızın dikine hız değişiminde kendisini gösterebileceği kanısını uyandırabilir. Ancak, çevrimsel değişimlerin dönemlerinin büyük olması, TTV kaynaklı değişimin ana yıldızın dikine hız eğrisinde görülmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda, Baluev ve ark. (2015), TTV ile dikine hız değişimleri arasında doğrudan bir bağlantının olmayacağını belirtmişlerdir. CoRoT-2b durumunda, baskın sinyallerin olası birçok sebebi

olabileceğinden, durum oldukça karmaşıktır. Sistemde olası bir üçüncü cisim olabileceği gibi, ana yıldızın oldukça aktif bir yıldız olması nedeniyle leke etkisi, gezegenin ana yıldız üzerindeki dinamik etkileri, olası gelgitsel etkiler nedeniyle gezegenin yörünge bozulması gibi birçok etkinin bir arada olması görülen TTV sinyallerini üretebilir. Tüm bu nedenlerle, TTV değişimine sebep olabilecek mekanizma veya mekanizmalardan hangisinin baskın olabileceğini tartışabilmek için CoRoT-2b gezegeninin uzun dönemli takip gözlemleri ile hassas geçiş ortası zamanlarına ihtiyaç vardır.

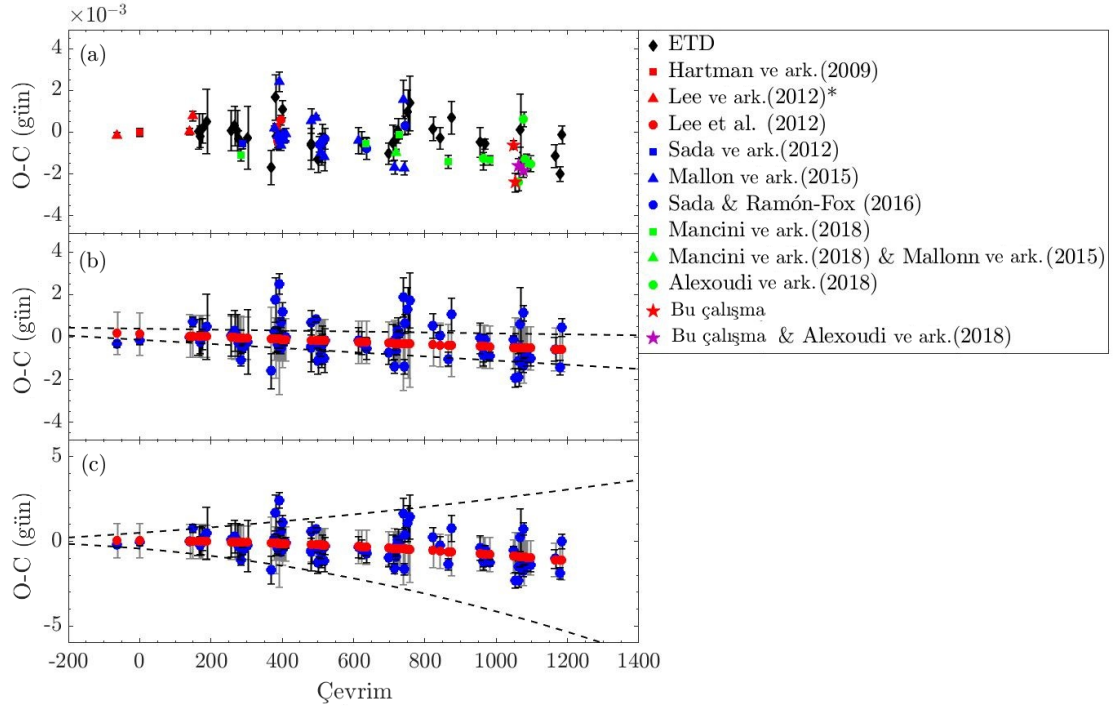
5.2. HAT-P-12b Ötegezegeninin TTV Analizi

HAT-P-12b ötegezegeninin MLM ile yapılan TTV analizinde, gözlemsel hata değerleri 0.002 gün den küçük olan 36 tane geçiş ortası zamanı ETD veri tabanından seçilerek, bu geçiş ortası zamanlar tekrar hesaplanmıştır. Bunların dışında gezegen geçiş ortası zamanı alınan kaynaklar şunlardır: Hartman ve ark. (2009), Lee ve ark. (2012), Sada ve ark. (2012), Mallonn ve ark. (2015), Sada ve Ramón-Fox (2016), Alexoudi ve ark. (2018) ve Mancini ve ark. (2018). Ayrıca, takip gözlemlerinden hesapladığımız 6 tane geçiş ortası zamanı da TTV analizinde gözlemsel veri olarak kullanılmıştır. TTV analizinde kullanılan tüm gözlemsel veriler Ek 8’de verilmiştir.

HAT-P-12b ötegezegeninin $O - C$ diyagramı Şekil 5.5’de verilmiştir. MLM yöntemi kullanılarak, tüm $O - C$ veri setine ayrı ayrı lineer ve kuadratik model fitleri yapılmıştır. Fitlerden elde edilen parametreler Çizelge 5.4’te verilmiştir. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, Şekil 5.5’in orta ve alt panellerinde verilmiştir. Kuadratik model fiti sonucu olarak, gezegenin yörünge döneminin sürekli olarak 0.014 ± 0.012 s/yıl hızı ile azaldığı tespit edilmiştir. Öte yandan, her iki model için MLM kriterlerinin (AIC/BIC) birbirlerine çok yakın değerde oldukları görülmüştür. Bu kriterlerin her iki model için birbirlerine çok yakın olması, iki model arasındaki en iyi modelin seçimini zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda kuadratik model sonucu elde edilen ikinci derece c katsayısının sadece 1σ duyarlılığında elde edilmiş olması, HAT-P-12b ötegezegenin $O - C$ değişiminin en iyi olarak lineer ışık elemanı ile temsil edilebileceğini göstermektedir.

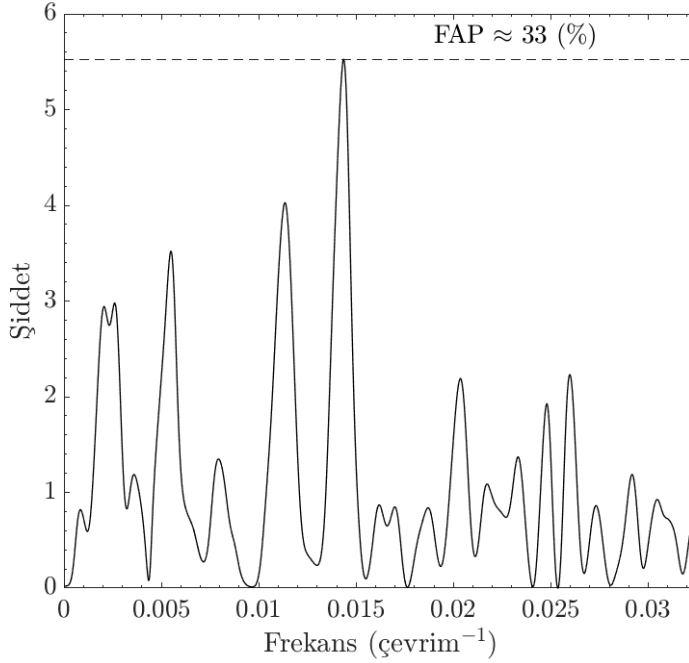
Çizelge 5.4. HAT-P-12b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimine MLM ile yapılan lineer ve kuadratik model fitleri sonucu elde edilen parametreler.

Model	$T_0(\text{BJD}_{\text{TDB}})$ ($T_0 - 2400000$)	P (gün)	c (gün)	AIC/BIC
Lin.	54419.19570(13)	3.21305920 (19)	-	-936.04/-926.82
Kuad.	54419.19560(23)	3.21305967(82)	$-7.10(6.22) \times 10^{-10}$	-936.19/-926.97



Şekil 5.5. HAT-P-12b ötegezegeni için elde edilen $O - C$ diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.

Lineer model fiti sonucunda elde edilen $O - C$ artıkları kullanılarak elde edilen LS periodogramı ise Şekil 5.6’da verilmiştir. Şekil 5.6’dan görüldüğü üzere, 33 % FAP seviyesi üzerinde herhangi bir baskın sinyal tespit edilememiştir.



Şekil 5.6. HAT-P-12b ötegezegeninin tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ artıkları için elde edilen LS diyagramı.

5.3. TrES-2b Ötegezegeninin TTV Analizi

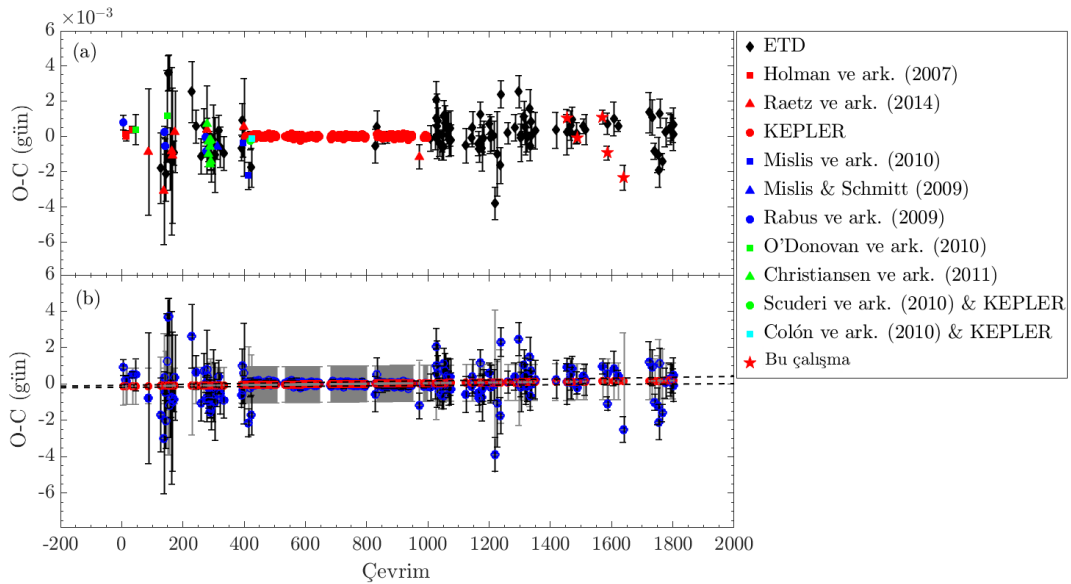
2 Mayıs 2009 ile 11 Mayıs 2013 tarihleri arasında, TrES-2b (Kepler-1b) ötegezegeninin Kepler uydusu ile 435 tane gezegen geçiş gözlemi yapılmıştır. Kepler uydusu ile gözlenen geçiş ortası zamanları Raetz ve ark. (2014) tarafından hesaplanmış ve burada TTV analizine dâhil edilmiştir. Gözlemsel hata değerleri 0.002 gün den küçük olan 95 tane geçiş ortası zamanı ETD veri tabanından seçilerek, TTV analizinde kullanılmak üzere tekrar hesaplanmıştır. TrES-2b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan diğer geçiş ortası zamanlarının alındığı kaynaklar şunlardır: Holman ve ark. (2007), Mislis ve Schmitt (2009), Rabus ve ark. (2009), Mislis ve ark.(2010), O'Donovan ve ark. (2010), Scuderi ve ark. (2010), Colón ve ark. (2010), Christiansen ve ark. (2011) ve Raetz ve ark. (2014). Ayrıca, takip gözlemlerinden hesapladığımız 5 tane geçiş ortası zamanı da TTV analizinde gözlemsel veri olarak kullanılmıştır. Analizde kullanılan tüm veri Ek 9'da verilmiştir.

TrES-2b ötegezegeninin MLM ile yapılan TTV analizi sonucu elde edilen parametreler Çizelge 5.5'te, $O - C$ diyagramı ise Şekil 5.7'de verilmektedir. Çizelge 5.5'ten görüldüğü üzere, MLM yöntemi ile yapılan TTV analizi, en iyi model olarak lineer modeli vermektedir.

Çizelge 5.5. TrES-2b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimine MLM ile yapılan lineer ve kuadratik model fitleri sonucu elde edilen parametreler.

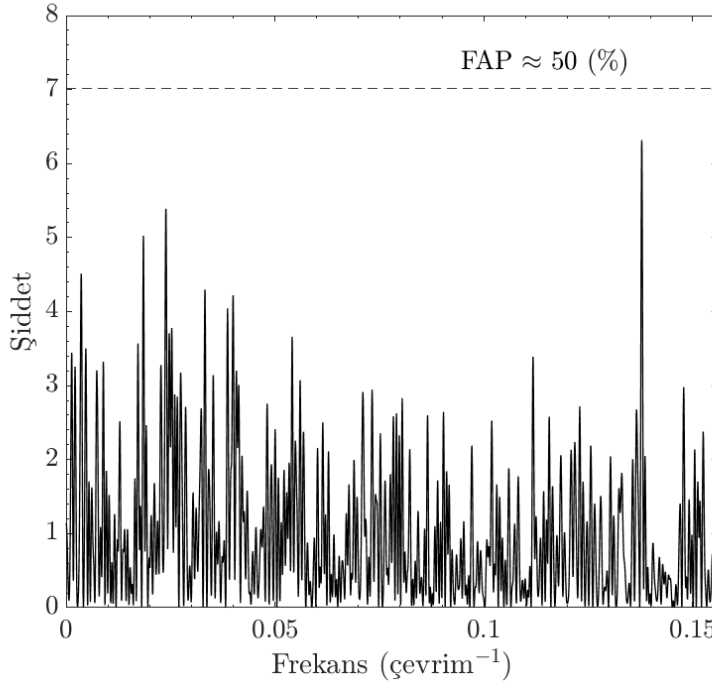
Model	$T_0(\text{BJD}_{\text{TDB}})$ ($T_0 - 2400000$)	P (gün)	c (gün)	AIC/BIC
Lin.	53957.63538(3)	2.47061354 (4)	-	-2888.80/-2887.30
Kuad.	53957.63545(5)	2.47061339(13)	$6.80(6.85) \times 10^{-11}$	-2885.62/-2883.36

$O - C$ veri setine yapılan en iyi lineer model fiti Şekil 5.7'nin alt panelinde gösterilmiştir. Raetz ve ark. (2014) çalışmasındaki TTV analizinde 490 tane geçiş ortası zamanı kullanılmışken, bu çalışmada TrES-2b'nin 564 tane geçiş ortası zamanı kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Raetz ve ark. (2014) tarafından verilen sonuçlarla uyumlu olmakla birlikte, model fiti sonucu elde edilen parametrelerin hataları biraz daha büyük değerde bulunmuştur. Bunun muhtemel sebebi, TrES-2b'nin $O - C$ diyagramındaki saçılma gösteren nokta sayısının, Raetz ve ark. (2014)'nın çalışmasındakine göre daha fazla olmasındandır.



Şekil 5.7. TrES-2b ötegezegeninin elde edilen $O - C$ diyagramı. Tüm yer tabanlı geçiş gözlemlerinden elde edilen geçiş ortası zamanları, Kepler teleskobu ile gözlenen 435 geçiş ortası zamanları ile birleştirilmiştir. En iyi Lineer model alt panelde s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise gri renkle gösterilmiştir. Alt paneldeki kesikli çizgiler, lineer model için 95 % güven aralığını göstermektedir.

Lineer model sonucu elde edilen $O - C$ artıklarının LS periodogramı Şekil 5.8 de verilmiştir. LS periodogramında 50 % FAP seviyesinin üzerinde herhangi bir sinyal tespit edilememiştir. Elde edilen bu sonuç, Raetz ve ark. (2014), Kipping ve Bakos (2011) ve Schröter ve ark. (2012) çalışmalarında elde edilen sonuçları doğrulamaktadır.

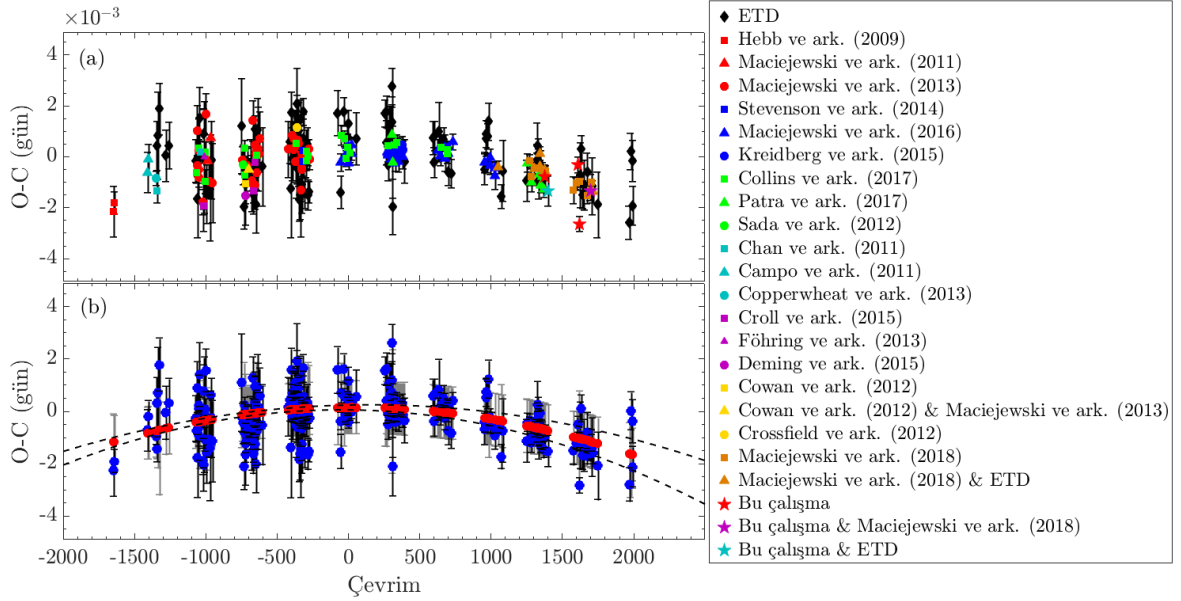


Şekil 5.8. TrES-2b ötegezegeninin tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ artıkları için elde edilen LS diyagramı.

5.4. WASP-12b Ötegezegeninin TTV Analizi

Gözlemsel hata değerleri 0.002 gün den küçük olan 112 tane geçiş ortası zamanı ETD veri tabanından seçilerek, TTV analizinde kullanılmak üzere tekrar hesaplanmıştır. Diğer geçiş ortası zamanlarının ve gezegenin yıldız arkasında olduğu ikinci tutulma ortası zamanlarının alındığı kaynaklar şunlardır: Hebb ve ark. (2009), Campo ve ark. (2011), Chan ve ark. (2011), Maciejewski ve ark. (2011), Cowan ve ark. (2012), Crossfield ve ark. (2012), Sada ve ark. (2012), Copperwheat ve ark. (2013), Föhring ve ark. (2013), Maciejewski ve ark. (2013), Stevenson ve ark. (2014), Croll ve ark. (2015), Deming ve ark. (2015), Kreidberg ve ark. (2015), Maciejewski ve ark. (2016), Collins ve ark. (2017), Patra ve ark. (2017) ve Maciejewski ve ark. (2018). 10 tane ikinci tutulma ortası zaman TTV analizine dâhil edilmiştir. Aynı zamanda bu çalışmada gözlenen 5 tane geçiş ortası

zamanı WASP-12b nin MLM yöntemi ile yapılan TTV analizinde gözlemsel veri olarak kullanılmıştır. Analizde kullanılan tüm veri Ek10’da verilmiştir.



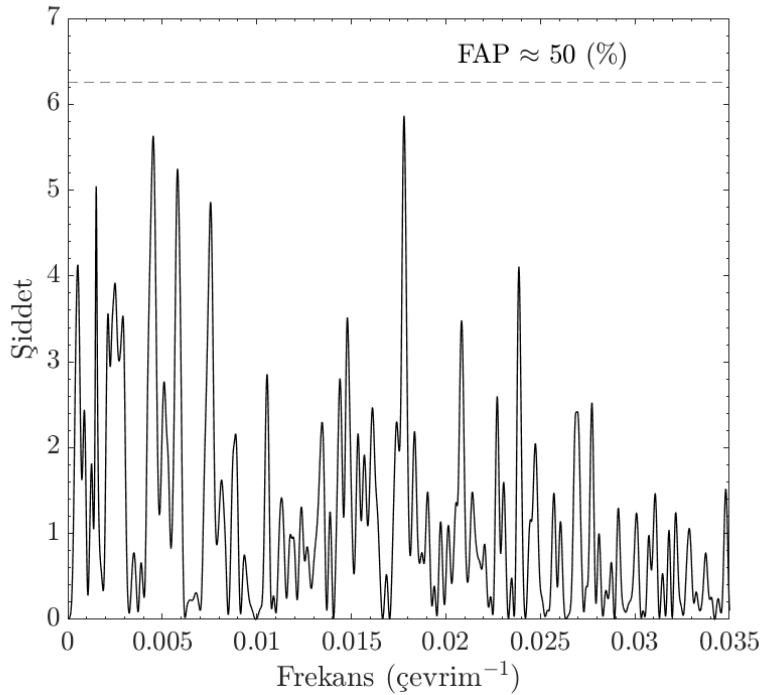
Şekil 5.9. WASP-12b ötegezegeni için elde edilen $O - C$ diyagramı. En iyi kuadratik model fiti alt panelde, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Geçiş ortası ve ikinci tutulma ortası zamanların gözlemsel hataları her iki panelde siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Alt panelde görülen kesikli çizgiler, kuadratik model için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.

WASP-12b ötegezegeninin, tüm geçiş ortası ve ikinci tutulma ortası zamanlarını içeren, Patra ve ark. (2017) çalışmasında verilen lineer ışık elemanı kullanılarak elde edilen $O - C$ diyagramı, Şekil 5.9’un üst panelinde verilmiştir. $O - C$ veri setine ayrı ayrı MLM yöntemi ile lineer ve kuadratik model fitleri yapılmıştır. Model fitlerinden elde edilen parametreler Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. WASP-12b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimine MLM ile yapılan lineer ve kuadratik model fitleri sonucu elde edilen parametreler.

Model	$T_0(\text{BJD}_{\text{TDB}})$ ($T_0 - 2400000$)	P (gün)	c (gün)	AIC/BIC
Lin.	56305.45559(3)	1.09141992 (4)	-	-1276.89/-1276.06
Kuad.	56305.45576(5)	1.09142005(4)	$-4.70(43) \times 10^{-10}$	-1286.49/-1285.25

MLM analizi sonucunda, WASP-12b'nin $O - C$ diyagramının, c teriminin $\sim 11\sigma$ duyarlılığında elde edilmesinin yanında AIC/BIC kriterlerinin en düşük değerlerinin kuadratik model sonucu elde edilmesinden dolayı, en iyi olarak kuadratik model ile modellenebileceği anlaşılmıştır. Kuadratik model fiti sonucu elde edilen c katsayısına göre, WASP-12b nin yörünge döneminin düzenli olarak 0.027 ± 0.002 s/yıl hızı ile bir azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Yörünge dönemindeki bu azalış hızı, sırasıyla, Patra ve ark. (2017) ve Maciejewski ve ark. (2018) tarafından elde edilen yörünge dönemi azalma hızları olan 0.029 ± 0.003 s/yıl ve 0.028 ± 0.002 s/yıl değerleri ile uyumludur. Öte yandan, kuadratik fit sonucu elde edilen $O - C$ artıklarının LS periodogramı 50 % FAP seviyesi üzerinde herhangi bir sinyal vermemektedir (bkz. Şekil 5.10).

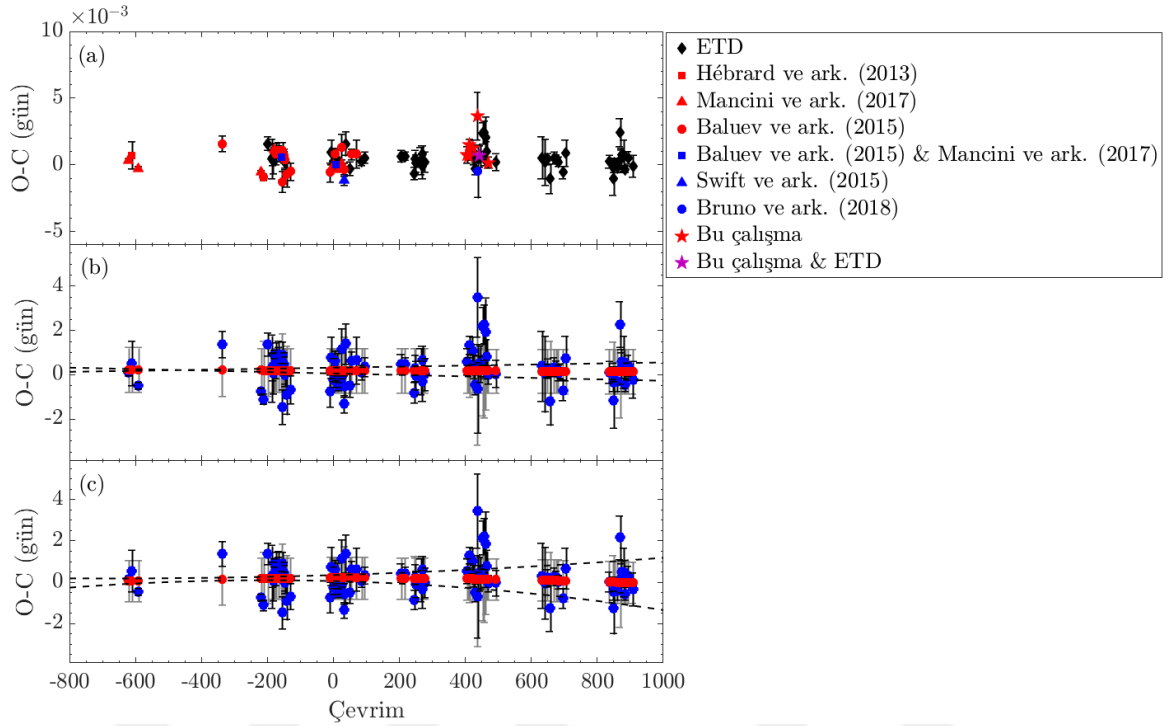


Şekil 5.10. WASP-12b ötegezegeninin $O - C$ artıkları için elde edilen LS diyagramı.

5.5. WASP-52b Ötegezegeninin TTV Analizi

Gözlemsel hata değerleri 0.002 gün den küçük olan 54 tane geçiş ortası zamanı ETD veri tabanından seçilerek, WASP-52b ötegezegenin TTV analizinde kullanılmak üzere tekrar hesaplanmıştır. Diğer geçiş ortası zamanlarının alındığı kaynaklar şunlardır: Hébrard ve ark. (2013), Baluev ve ark.(2015), Swift ve ark. (2015), Mancini ve ark. (2017) ve Bruno ve ark. (2018). Aynı zamanda, bu çalışmada gözlenen 7 tane geçiş ortası zamanı da TTV analizine dâhil edilmiştir. Analizde kullanılan tüm veri Ek 11’de verilmiştir.

WASP-52b ötegezegeninin $O - C$ diyagramı Şekil 5.11 de verilmiştir. $O - C$ veri setine ayrı ayrı MLM yöntemi ile lineer ve kuadratik model fitleri yapılmıştır. Model fitlerinden elde edilen parametreler Çizelge 5.7’de verilmiştir.

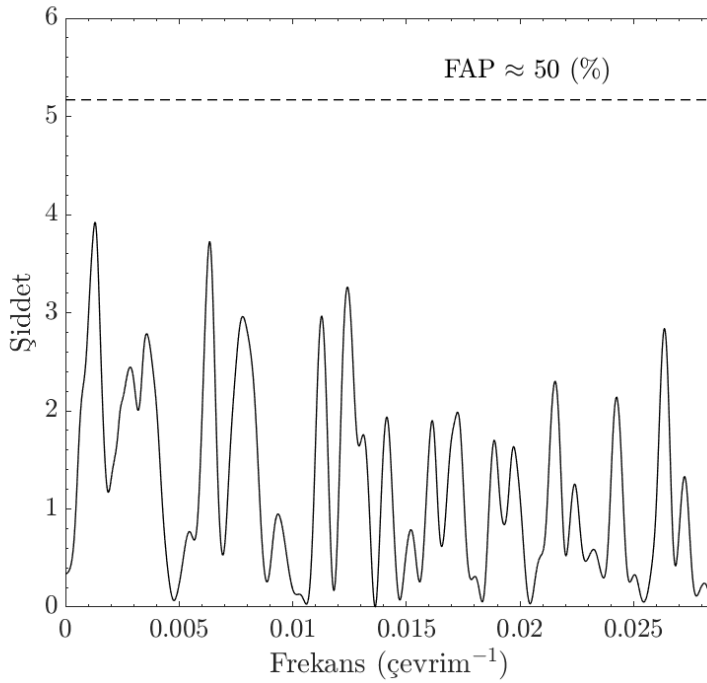


Şekil 5.11. WASP-P-52b ötegezegeni için elde edilen $O - C$ diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.

Çizelge 5.7. WASP-52b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimine MLM ile yapılan lineer ve kuadratik model fitleri sonucu elde edilen parametreler.

Model	$T_0(\text{BJD}_{\text{TDB}})$ ($T_0 - 2400000$)	P (gün)	c (gün)	AIC/BIC
Lin.	56862.79795(7)	1.74978114 (14)	-	-1005.62/-996.19
Kuad.	56862.79796(7)	1.74978123(22)	$-3.20(3.40) \times 10^{-10}$	-1005.88/-996.45

Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, Şekil 5.11'in orta ve alt panellerinde verilmiştir. Her iki model için MLM kriterlerinin (AIC/BIC) birbirlerine çok yakın değerde elde edilmesi, iki model arasındaki en iyi modelin seçimini zorlaştırmaktadır. Aynı zamanda kuadratik model sonucu elde edilen ikinci derece c katsayısının sadece 0.94σ duyarlılığında elde edilmiş olması, WASP-52b ötegezegenin $O - C$ değişiminin en iyi olarak lineer ışık elemanı ile temsil edilebileceğini göstermektedir. WASP-52b ötegezegeninin MLM yöntemi ile yapılan TTV analizinde toplamda 88 tane geçiş ortası zamanı kullanılmıştır. Bir diğer çalışma olan Mancini ve ark. (2017) çalışmasında, WASP-52b ötegezegeninin TTV analizi yapılırken sadece 20 geçiş ortası zamanı kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar (bkz. Çizelge 5.7) Mancini ve ark. (2017) çalışması ile uyumlu olmakla birlikte, Mancini ve ark. (2017) çalışmasına göre 2.7 kat daha duyarlıdır.

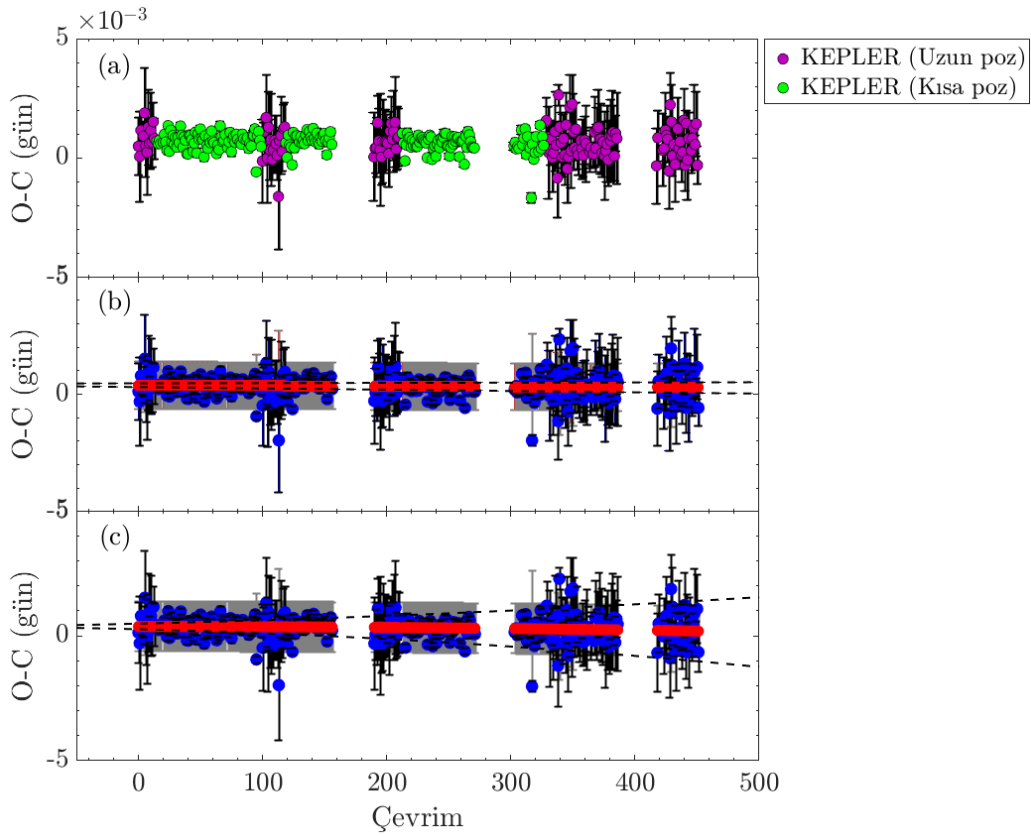


Şekil 5.12. WASP-52b ötegezegeninin $O - C$ artıkları için elde edilen LS diyagramı.

Şekil 5.12 den görüldüğü üzere, lineer fit sonucu elde edilen O-C artıklarının LS periodogramı 50 % FAP seviyesi üzerinde herhangi bir sinyal vermemektedir. Bu sonuç da Mancini ve ark. (2017) çalışmasında ulaşılan sonucu doğrulamaktadır.

5.6. Kepler-6b Ötegezegeninin TTV Analizi

Kepler-6b ötegezegeninin ışıkölçüm geçiş gözlemleri Kepler uydu teleskobu ile 2009-2013 yılları arasında geniş bir dalga boyu aralığında gerçekleşmiştir. Kepler uydu teleskobu ile bu yıllar arasında hem uzun poz hem de kısa poz sürelerinde toplamda 334 tane gezegen geçişi gözlenmiştir. Gözlenen bu geçiş eğrilerinden, 334 tane geçiş ortası zamanı hesaplanmış ve TTV analizinde kullanılmıştır. Kepler gözlemlerinden hesaplanan ve TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları Ek 2’de verilmiştir. Ayrıca, ETD veri tabanından seçilen 9 tane gezegen geçiş eğrisinden geçiş ortası zamanları okunarak TTV analizine dâhil edilmiştir. ETD veri tabanından seçilen ve TTV analizine dâhil edilen geçiş ortası zamanları Ek 12’de verilmiştir.



Şekil 5.13. Kepler-6b ötegezegeni için sadece Kepler uydu gözlemlerinden elde edilen geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.

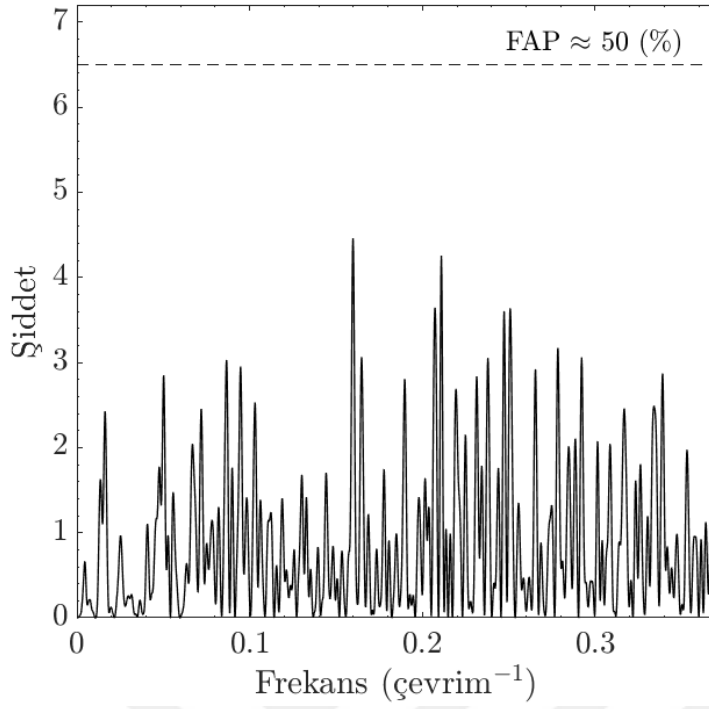
Kepler-6b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan gözlemsel veri, 2009 ile 2017 yıllarını içeren yaklaşık 8 yıllık bir zaman aralığını kapsamaktadır. Sadece Kepler uydusu tarafından yapılan gözlemler, bu 8 yıllık zamanın yaklaşık 50%'sini kapsamakta ve ardışık 334 çevrimi içermektedir. Bu nedenle, Kepler görevi süresince gözlenen geçiş ortası zamanlarından elde edilen $O - C$ diyagramı Şekil 5.13'de ayrı olarak ele alınmıştır.

Esteves ve ark. (2013) tarafından verilen lineer ışık elemanı kullanılarak Kepler gözlemlerinden elde edilen $O - C$ diyagramı Şekil 5.13'ün üst panelinde gösterilmiştir. MLM kullanılarak, $O - C$ veri setine ayrı ayrı lineer ve kuadratik model fitleri yapılmıştır. En iyi lineer ve kuadratik model fitlerinden elde edilen parametreler Çizelge 5.8'de verilmiştir. Çizelge 5.8'den görüldüğü üzere, kuadratik modelden elde edilen ikinci derece parametresi (c), sadece 0.62σ duyarlılığındadır. Bu nedenle, Kepler $O - C$ veri seti için en uygun modelin lineer model olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 5.13 orta panel).

Çizelge 5.8. Kepler-6b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimlerine MLM kullanılarak yapılan en iyi model fitleri sonucu elde edilen parametreler.

Veri	Model	$T_0(\text{BJD}_{\text{TDB}})$ ($T_0 - 2400000$)	P (gün)	c (10^{-10} gün)	AIC/BIC
KEPLER verisi	Lin.	54954.48619(4)	3.2346993(2)	-	-1703.9/-1702.9
	Kuad.	54954.48617(6)	3.2346995(6)	-8.5(13.7)	-1701.9/-1700.3
Tüm veri	Lin.	54954.48619(4)	3.2346996(1)	-	-1739.0/-1737.9
	Kuad.	54954.48616(5)	3.2346996(4)	-6.6(6.3)	-1736.1/-1734.5

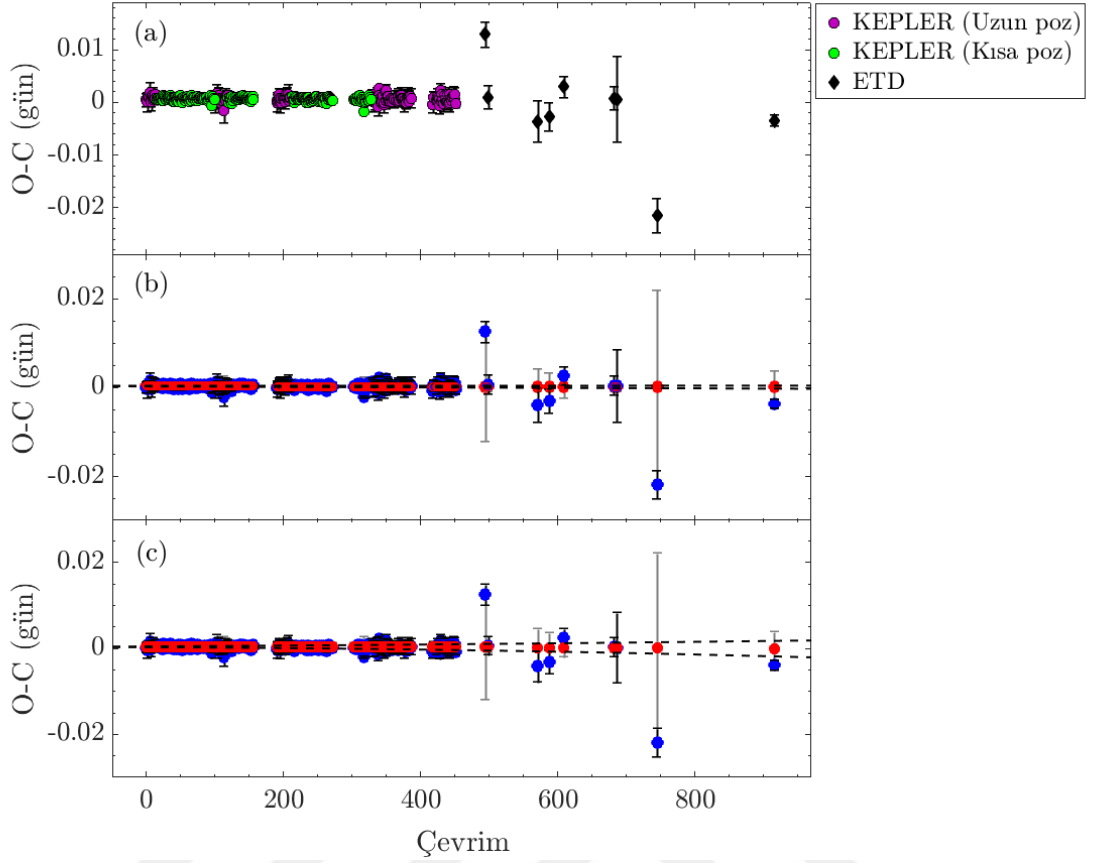
Kepler $O - C$ veri seti için lineer model sonucunda elde edilen artıklar kullanılarak elde edilen LS diyagramı Şekil 5.14 de verilmiştir. Şekil 5.14'den görüldüğü üzere, LS diyagramında 50 % FAP seviyesi üzerinde herhangi bir sinyal tespit edilmemiştir. Bu nedenle Kepler-6b ötegezegeninin TTV değişimi çevrimsel bir değişim göstermemektedir.



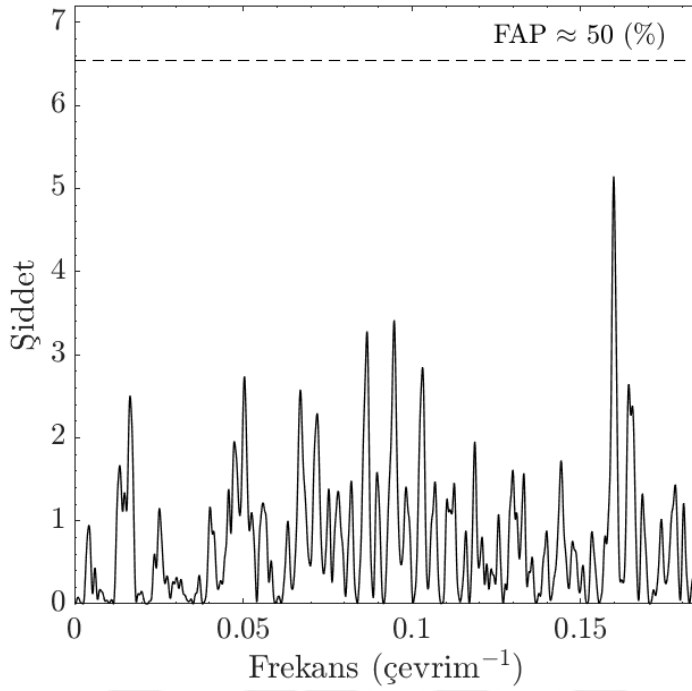
Şekil 5.14. Kepler-6b ötegezegeninin sadece Kepler uydusu gözlemlerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ artıkları için LS diyagramı.

Kepler-6b ötegezegeninin, hem Kepler uydusu gözlemlerinden hem de yer tabanlı ETD gözlemlerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ diyagramı Şekil 5.15 de verilmiştir. MLM yöntemi kullanılarak, tüm geçiş ortası zamanlarından elde edilen $O - C$ veri setine ayrı ayrı lineer ve kuadratik model fitleri yapılmıştır. En iyi lineer ve kuadratik model fitlerinden elde edilen parametreler Çizelge 5.8’de verilmiştir. Çizelge 5.8’den görüldüğü üzere, kuadratik modelden elde edilen ikinci derece parametresi (c), sadece 1.05σ duyarlılığındadır. Bu nedenle, Kepler $O - C$ veri seti için en uygun modelin lineer model olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 5.15 orta panel).

Tüm $O - C$ veri seti için lineer model sonucunda elde edilen artıklar kullanılarak elde edilen LS diyagramı Şekil 5.16’da verilmiştir. Şekil 5.16’dan görüldüğü üzere, LS diyagramında 50 % FAP seviyesi üzerinde herhangi bir sinyal tespit edilmemiştir. Bu nedenle tüm geçiş ortası zamanlar kullanılarak elde edilen $O - C$ diyagramında çevrimsel bir değişim tespit edilememiştir.



Şekil 5.15. Kepler-6b ötegezegeni için tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.



Şekil 5.16. Kepler-6b ötegezegeninin tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ artıkları için LS diyagramı.

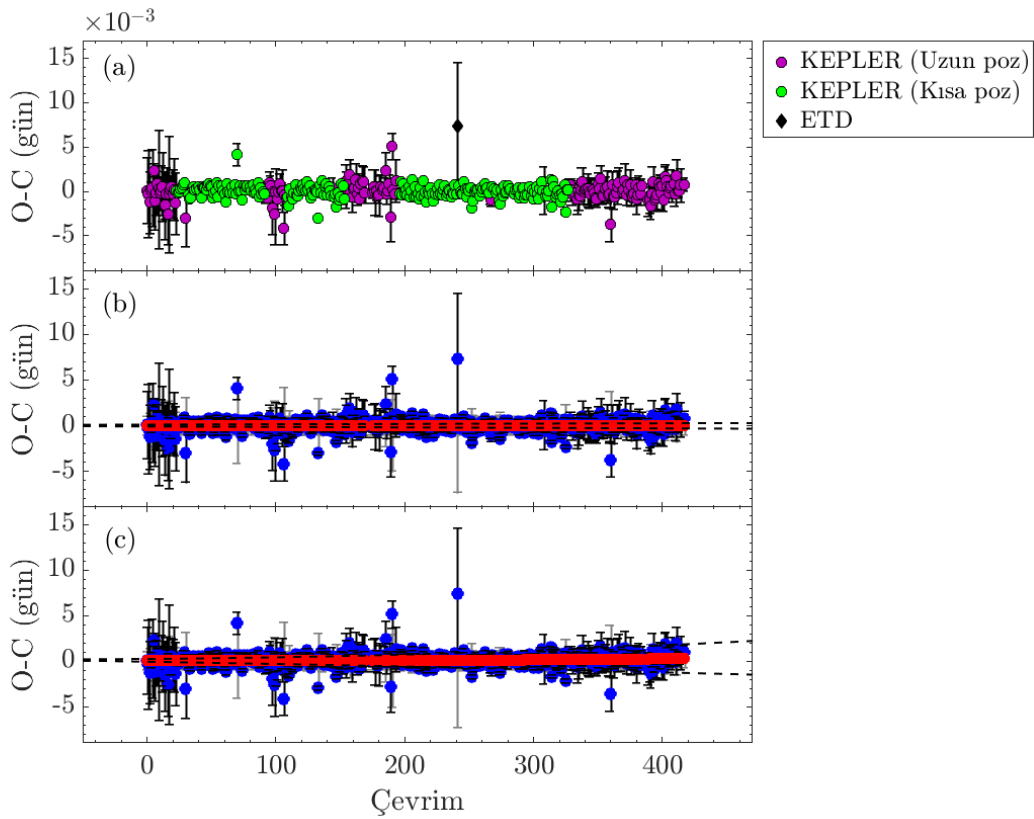
5.7. Kepler-8b Ötegezegeninin TTV Analizi

Kepler-8b ötegezegeninin, Kepler uydu teleskobu ile 2009-2013 yılları arasında hem uzun poz hem de kısa poz sürelerinde toplamda 385 tane gezegen geçişi gözlenmiştir. Gözlenen bu geçiş eğrilerinden, 385 tane geçiş ortası zamanı hesaplanmış ve TTV analizinde kullanılmıştır. Kepler gözlemlerinden hesaplanan ve TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları Ek 4'te verilmiştir. Ayrıca, ETD veri tabanından seçilen 1 tane gezegen geçiş eğrisinden geçiş ortası zamanı okunarak TTV analizine dâhil edilmiştir. ETD veri tabanından seçilen ve TTV analizine dâhil edilen geçiş ortası zamanı, Ek 13'te verilmiştir.

Kepler-8b ötegezegeninin mevcut tüm geçiş ortası zamanları ve Esteves ve ark. (2013) tarafından verilen lineer ışık elemanı kullanılarak elde edilen $O - C$ diyagramı, Şekil 5.17'nin üst panelinde gösterilmiştir. MLM yöntemi kullanılarak, tüm geçiş ortası zamanlarından elde edilen $O - C$ diyagramına ayrı ayrı lineer ve kuadratik model fitleri yapılmıştır. En iyi lineer ve kuadratik model fitlerinden elde edilen parametreler, sırasıyla, Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Kepler-8b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimlerine MLM kullanılarak yapılan en iyi model fitleri sonucu elde edilen parametreler.

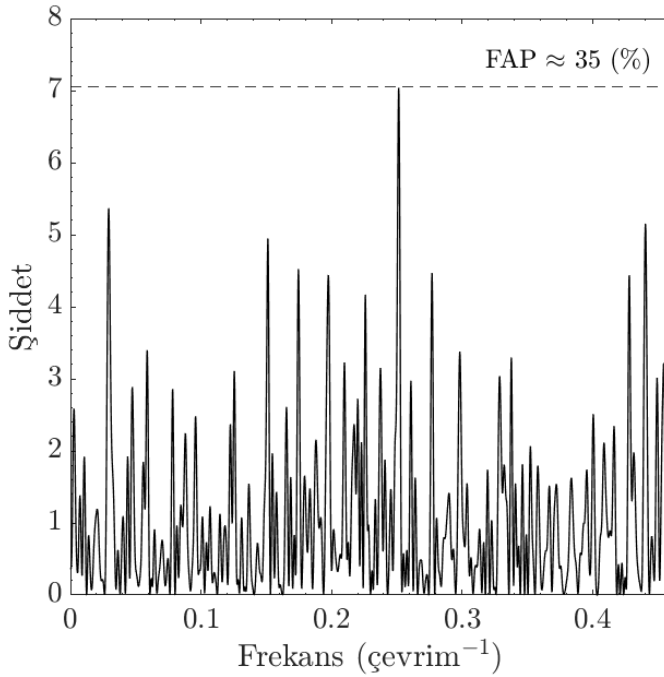
Veri	Model	$T_0(\text{BJD}_{\text{TDB}})$ ($T_0 - 2400000$)	P (gün)	c (10^{-9} gün)	AIC/BIC
KEPLER verisi Tüm veri	Lin.	54954.11911(5)	3.5224990(2)	-	-1921.61/-1920.43
	Kuad.	54954.11915(8)	3.5224985(9)	2.61(2.05)	-1919.77/-1918.02
	Lin.	54954.11911(5)	3.5224990(3)	-	-1923.85/-1922.67
	Kuad.	54954.11915(9)	3.5224985(9)	2.61(2.05)	-1922.01/-1920.25



Şekil 5.17. Kepler-8b ötegezegeni için tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.

Çizelge 5.9'dan görüldüğü üzere, kuadratik modelden elde edilen ikinci derece parametresi (c), sadece 1.27σ duyarlılığındadır. Bu nedenle, Kepler-8b'nin $O - C$ değişimi için en uygun modelin lineer model olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 5.17 orta panel).

Tüm $O - C$ veri seti için lineer model sonucunda elde edilen artıklar kullanılarak elde edilen LS diyagramı Şekil 5.18'de gösterilmiştir. Şekil 5.18'den görüldüğü üzere, LS diyagramında 35 % FAP seviyesi üzerinde herhangi bir baskın sinyal tespit edilmemiştir. Bu nedenle Kepler-8b ötegezegeninin TTV değişiminde baskın bir çevrimsel değişim tespit edilmemiştir.

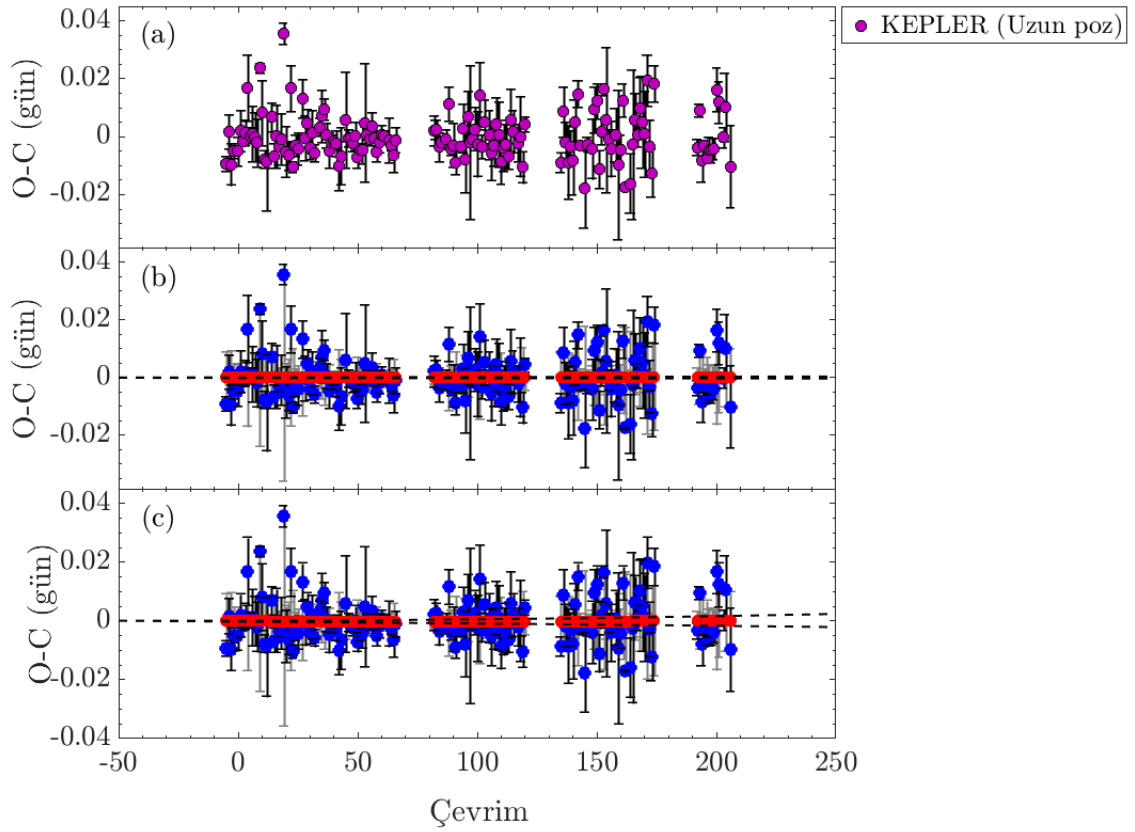


Şekil 5.18. Kepler-8b ötegezegeninin tüm geçiş ortası zamanları kullanılarak elde edilen $O - C$ artıkları için LS diyagramı.

5.8. Kepler-40b Ötegezegeninin TTV Analizi

Kepler-40b ötegezegeninin Kepler uydusu teleskobu ile 2009-2013 yılları arasında sadece uzun poz süresinde gözlemleri yapılmıştır. Bu ötegezegenin Kepler teleskobu ile 150 tane geçişi gözlenmiştir. Gözlenen bu geçiş eğrilerinden, 150 tane geçiş ortası zamanı hesaplanmış ve TTV analizinde kullanılmıştır. Kepler gözlemlerinden hesaplanan ve TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları Ek 6'da verilmiştir. Kepler-40b ötegezegeninin ETD'de yayınlanan geçiş ortası zamanı yoktur.

Santerne ve ark. (2011) tarafından verilen lineer ışıık elemanı kullanılarak elde edilen $O - C$ diyagramı Şekil 5.19'un üst panelinde gösterilmiştir.



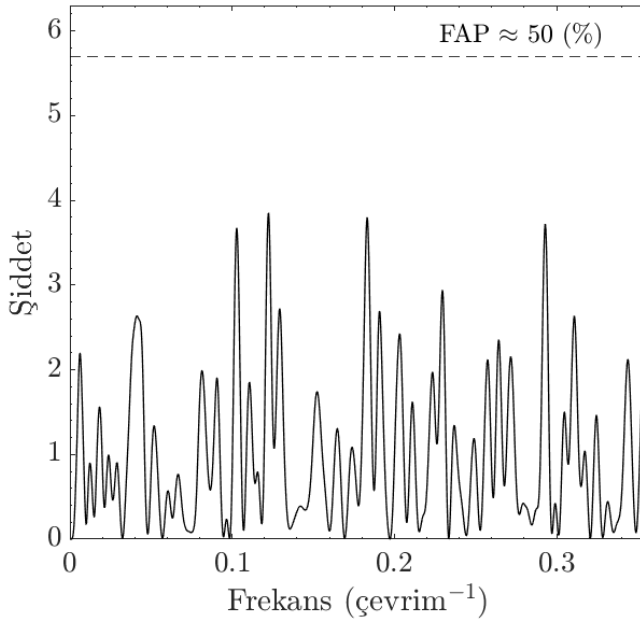
Şekil 5.19. Kepler-40b ötegezegeni için elde edilen $O - C$ diyagramı. Lineer ve kuadratik modellerin karşılaştırılması, sırasıyla, orta ve alt panelde verilmiştir. Lineer ve kuadratik modeller, s_i ilave hatalarını da içeren kırmızı noktalar ile gösterilmiştir. Her üç panelde de gözlemsel hatalar siyah renkle, ilave hataları da içeren hatalar ise orta ve alt panelde gri renkle gösterilmiştir. Orta ve alt panelde görülen kesikli çizgiler, sırasıyla, lineer ve kuadratik modeller için 95 % güven aralığını temsil etmektedir.

MLM kullanılarak tüm geçiş ortası zamanlarından elde edilen $O - C$ diyagramına ayrı ayrı lineer ve kuadratik model fitleri yapılmıştır. En iyi lineer ve kuadratik model fitlerinden elde edilen parametreler, Çizelge 5.10'da verilmiştir. Çizelge 5.10'dan görüldüğü üzere, kuadratik modelden elde edilen ikinci derece parametresi (c), sadece 1.28σ duyarlılığındadır. Bu nedenle, Kepler $O - C$ veri seti için en uygun modelin lineer model olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 5.19 orta panel).

Çizelge 5.10. Kepler-40b ötegezegeninin geçiş zamanı değişimlerine MLM kullanılarak yapılan en iyi model fitleri sonucu elde edilen parametreler.

Veri	Model	$T_0(\text{BJD}_{\text{TDB}})$ ($T_0 - 2400000$)	P (gün)	c (10^{-8} gün)	AIC/BIC
KEPLER verisi	Lin.	55005.52106(6)	6.8731702(5)	-	-537.46/-537.11
	Kuad.	55005.52113(8)	6.8731679(19)	1.21(0.94)	-536.33/-535.81

Kepler geçiş ortası zamanları $O - C$ veri seti için lineer model sonucunda elde edilen artıklar kullanarak elde edilen LS diyagramı Şekil 5.20’de verilmiştir. Şekil 5.20’den görüldüğü üzere, LS diyagramında 50 % FAP seviyesi üzerinde herhangi bir sinyal tespit edilmemiştir. Bu nedenle tüm geçiş ortası zamanlar kullanarak elde edilen $O - C$ diyagramında çevrimsel bir değişim tespit edilememiştir.



Şekil 5.20. Kepler-40b ötegezegeninin $O - C$ artıkları için LS diyagramı.

BÖLÜM 6

GEÇİŞ EĞRİSİ ANALİZLERİ

Bu bölümde ışıkölçüm takip gözlemleri yapılan CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenlerinin ve Kepler gözlemleri olan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş eğrileri analizleri sunulmuştur.

Bölüm 1’de değinildiği üzere, WinFitter kodu sadece lineer kenar kararma varsayımı altında geçiş eğrisi çözümü verirken, JKTEBOP kodu ile ikinci derece kenar kararma kabulü altında da çözüm yapılabilir. Literatürdeki birçok çalışmada, yer tabanlı ışıkölçüm gözlemleri yapılan ötegezegenlerin geçiş eğrileri çözümlerinin ikinci derece kenar kararma varsayımı altında yapılmasının daha gerçekçi sonuçlar verdiğine değinilmektedir (bkz. Mandel ve Agol 2002, Southworth 2008). Bu nedenle bu çalışmada takip gözlemleri yapılan 5 ötegezegenin geçiş eğrilerinin çözümleri JKTEBOP yazılımı kullanılarak ana yıldız fotosferinin ikinci derece kenar kararma etkisi gösterdiği kabulü altında yapılmıştır.

Öte yandan, bu tez çalışmasını bir diğer amacı, gezegen geçiş eğrisi çözümlerinde kullanılan farklı modelleri birbirleri ile karşılaştırmaktır. Bu kapsamda Kepler uydu teleskobu ile duyarlı ışıkölçüm gözlemleri yapılan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş eğrileri hem WinFitter hem de JKTEBOP yazılımları çözülmüş ve her iki yazılımdan elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır (bkz. Bölüm 6.2)

Yaygın olarak kullanılan diğer programlar olarak EXOFAST ve TAP yazılımları verilebilir (bkz. Bölüm 1). Bu yazılımlar IDL tabanlı yazılımlar olduklarından dolayı bu yazılımlarla çözüm yapılmamış ve karşılaştırmaya gidilmemiştir.

6.1. Takip Gözlemleri Yapılan Ötegezegenlerin Geçiş Eğrisi Analizleri

Takip gözlemleri yapılan 5 ötegezegenin geçiş eğrilerinin, JKTEBOP kodu ile yapılan çözümlerinde kullanılan fiziksel parametreler, CoRoT-2, HAT-P-12, TrES-2, WASP-12 ve WASP-52 yıldız gezegen sistemleri için, sırasıyla, Ek 14, Ek 15, Ek 16, Ek 17 ve Ek 18’de referansları ile birlikte verilmiştir.

Kullanılan fiziksel parametrelerden görüldüğü üzere tüm ötegezegenlerin geçiş eğrilerinin çözümlerinde, yörüngeleri dairesel olarak kabul edilmiştir ($e = 0$). Yıldız-gezegen sistemlerinin kütle oranları ($q = M_p/M_s$) ve ana yıldızların etkin sıcaklıkları

(T_{etkin}) literatürden alınarak sabit tutulmuştur (bkz. CoRoT-2b için Ek 14, HAT-P-12b için Ek 15, TrES-2b için Ek 16, WASP-12b için Ek 17, WASP-52b için Ek 18).

Her bir ana yıldızın ikinci dereceden (a, b) kenar kararma katsayıları, ana yıldızların etkin sıcaklıkları, gözlemlerin yapıldığı süzgeçlerin etkin dalga boyları ve ana yıldızların metal bolluk değerleri göz önüne alınarak, Claret ve Bloemen (2011) tablosunda ara değer hesabı yapılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan kenar kararma katsayıları CoRoT-2b için Ek 14'te, HAT-P-12b için Ek 15'te, TrES-2b için Ek 16'da, WASP-12b için Ek 17'de ve WASP-52b için Ek 18'de verilmiştir. Bölüm 4'te verildiği üzere, gezegen geçiş gözlemlerinin duyarlılığı 1.6-4.3 mili kadir mertebesinde değiştiğinden kenar kararma katsayıları çözümlerde sabit tutulmuştur.

JKTEBOP kodu ile yapılan geçiş eğrisi modellemesinde serbest bırakılan parametreler şunlardır: Normalize akı değeri (U), yarıçaplar oranı ($k = R_p/R_s$), evre kayması ($\Delta\phi$), yıldız gezegen sisteminin toplam kesirsel yarıçapı ($r_s + r_p = (R_s + R_p)/a$) ve yörünge eğimi (i). Çözümlerden elde edilen gezegen geçiş parametreleri CoRoT-2b için Çizelge 6.1, HAT-P-12b için Çizelge 6.2, TrES-2b için Çizelge 6.3, WASP-12b için Çizelge 6.4 ve WASP-52b için Çizelge 6.5'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. CoRoT-2b geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan JKTEBOP çözümleri.

Tarih	Tel.	Filt.	k	r_s^{**}	i	$\Delta\phi$
11.09.2016	T100	R	0.160 ± 0.003	0.147 ± 0.009	88.09 ± 1.35	-0.0001 ± 0.0002
22.06.2017	T30	R	0.165 ± 0.003	0.149 ± 0.010	88.18 ± 0.62	0.0003 ± 0.0004
6.07.2017	T100	R	0.166 ± 0.002	0.150 ± 0.011	88.56 ± 1.32	-0.0004 ± 0.0003
	T100	V	0.165 ± 0.011	0.151 ± 0.027	88.83 ± 1.31	-0.0008 ± 0.0006
	T30	R	0.160 ± 0.005	0.150 ± 0.010	87.68 ± 1.84	-0.0008 ± 0.0007
20.07.2017	T100	R	0.165 ± 0.001	0.149 ± 0.009	88.30 ± 0.26	-0.0007 ± 0.0001
	T100	V	0.165 ± 0.005	0.147 ± 0.015	88.94 ± 1.43	-0.0011 ± 0.0003
	T30	R	0.157 ± 0.007	0.148 ± 0.009	87.91 ± 1.71	0.0004 ± 0.0003
12.09.2017	T100	R	0.159 ± 0.005	0.150 ± 0.010	87.61 ± 0.43	-0.0021 ± 0.0003
	T100	V	0.160 ± 0.007	0.145 ± 0.017	88.95 ± 1.08	-0.0042 ± 0.0004
3.11.2017	T100	R	0.157 ± 0.008	0.150 ± 0.008	88.09 ± 1.45	0.0003 ± 0.0004
	T100	V	0.168 ± 0.009	0.154 ± 0.025	88.51 ± 1.45	0.0021 ± 0.0006
Ortalama*		R	0.161 ± 0.004	0.149 ± 0.009	88.07 ± 1.02	
		V	0.165 ± 0.007	0.148 ± 0.019	88.85 ± 1.32	

*Her bir parametrenin ortalama değeri, gecelik geçiş dışı standart sapma değerlerine göre ağırlandırılarak hesaplanmıştır. ** r_s parametreleri, JKTEBOP kodu ile elde edilen $r_s + r_p$ ve k parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.2. HAT-P-12b geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan JKTEBOP çözümleri.

Tarih	Tel.	Filt.	k	r_s^{**}	i	$\Delta\phi$
01.02.2017	T100	R	0.136 ± 0.004	0.084 ± 0.007	88.66 ± 0.75	0.0000 ± 0.0001
17.02.2017	T100	R	0.140 ± 0.004	0.086 ± 0.002	88.42 ± 0.43	-0.0002 ± 0.0001
	T100	V	0.142 ± 0.007	0.086 ± 0.010	88.90 ± 0.32	-0.0002 ± 0.0002
18.03.2017	T100	R	0.141 ± 0.007	0.088 ± 0.003	88.15 ± 0.47	-0.0001 ± 0.0002
	T100	V	0.141 ± 0.006	0.089 ± 0.002	88.23 ± 0.44	-0.0001 ± 0.0002
03.04.2017	T100	R	0.137 ± 0.005	0.084 ± 0.009	88.90 ± 0.90	0.0001 ± 0.0001
	T100	V	0.139 ± 0.007	0.090 ± 0.002	88.18 ± 0.41	-0.0002 ± 0.0001
16.04.2017	T100	R	0.141 ± 0.007	0.089 ± 0.003	87.95 ± 0.47	-0.0002 ± 0.0002
	T100	V	0.138 ± 0.007	0.084 ± 0.011	88.62 ± 0.76	-0.0001 ± 0.0002
02.05.2017	T100	R	0.141 ± 0.007	0.096 ± 0.005	87.35 ± 0.61	-0.0002 ± 0.0002
	T100	V	0.139 ± 0.007	0.090 ± 0.004	87.99 ± 0.59	-0.0001 ± 0.0002
Ortalama*		R	0.139 ± 0.006	0.088 ± 0.005	88.24 ± 0.60	
		V	0.140 ± 0.007	0.088 ± 0.006	88.36 ± 0.51	

*Her bir parametrenin ortalama değeri, gecelik geçiş dışı standart sapma değerlerine göre ağırlandırılarak hesaplanmıştır. ** r_s parametreleri, JKTEBOP kodu ile elde edilen $r_s + r_p$ ve k parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.3. TrES-2b geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan JKTEBOP çözümleri.

Tarih	Tel.	Filt.	k	r_s^{**}	i	$\Delta\phi$
12.06.2016	T100	R	0.129 ± 0.002	0.127 ± 0.004	83.92 ± 0.29	0.0003 ± 0.0001
30.08.2016	T100	R	0.125 ± 0.001	0.121 ± 0.001	84.20 ± 0.10	0.0001 ± 0.0001
	T60	R	0.122 ± 0.003	0.129 ± 0.005	83.90 ± 0.33	0.0013 ± 0.0001
23.03.2017	T100	R	0.134 ± 0.005	0.133 ± 0.006	83.45 ± 0.29	-0.0003 ± 0.0001
	T100	V	0.136 ± 0.007	0.128 ± 0.005	83.95 ± 0.39	0.0000 ± 0.0003
04.05.2017	T100	R	0.126 ± 0.005	0.129 ± 0.009	83.62 ± 0.60	-0.0002 ± 0.0003
	T100	V	0.130 ± 0.004	0.128 ± 0.009	83.84 ± 0.11	-0.0001 ± 0.0001
12.09.2017	T122	R	0.122 ± 0.007	0.129 ± 0.008	84.03 ± 0.23	-0.0001 ± 0.0007
	T122	V	0.130 ± 0.019	0.124 ± 0.002	84.50 ± 0.61	-0.0019 ± 0.0017
Ortalama*		R	0.126 ± 0.003	0.128 ± 0.005	83.89 ± 0.29	
		V	0.133 ± 0.009	0.127 ± 0.005	84.03 ± 0.34	

*Her bir parametrenin ortalama değeri, gecelik geçiş dışı standart sapma değerlerine göre ağırlandırılarak hesaplanmıştır. ** r_s parametreleri, JKTEBOP kodu ile elde edilen $r_s + r_p$ ve k parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4. WASP-12b geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan JKTEBOP çözümleri.

Tarih	Tel.	Filt.	k	r_s^{**}	i	$\Delta\phi$
23.02.2017	T100	R	0.117 ± 0.002	0.340 ± 0.021	81.44 ± 3.08	-0.0002 ± 0.0004
	T100	V	0.115 ± 0.001	0.341 ± 0.025	82.54 ± 0.60	-0.0002 ± 0.0006
19.03.2017	T100	R	0.121 ± 0.009	0.335 ± 0.032	83.10 ± 1.60	0.0002 ± 0.0011
	T100	V	0.107 ± 0.011	0.342 ± 0.065	84.54 ± 2.50	0.0005 ± 0.0027
2.11.2017	T100	R	0.124 ± 0.008	0.342 ± 0.010	82.63 ± 0.59	-0.0005 ± 0.0006
	T100	V	0.119 ± 0.002	0.343 ± 0.008	82.61 ± 0.75	0.0008 ± 0.0007
14.11.2017	T100	R	0.121 ± 0.002	0.343 ± 0.008	82.92 ± 0.70	0.0010 ± 0.0007
	T100	V	0.123 ± 0.002	0.342 ± 0.011	84.34 ± 0.95	0.0009 ± 0.0007
5.02.2018	T100	R	0.114 ± 0.001	0.345 ± 0.011	80.11 ± 0.41	0.0000 ± 0.0006
	T100	V	0.117 ± 0.002	0.344 ± 0.016	82.32 ± 0.69	0.0003 ± 0.0007
Ortalama*		R	0.119 ± 0.004	0.341 ± 0.018	81.92 ± 1.51	
		V	0.116 ± 0.004	0.342 ± 0.027	83.21 ± 1.09	

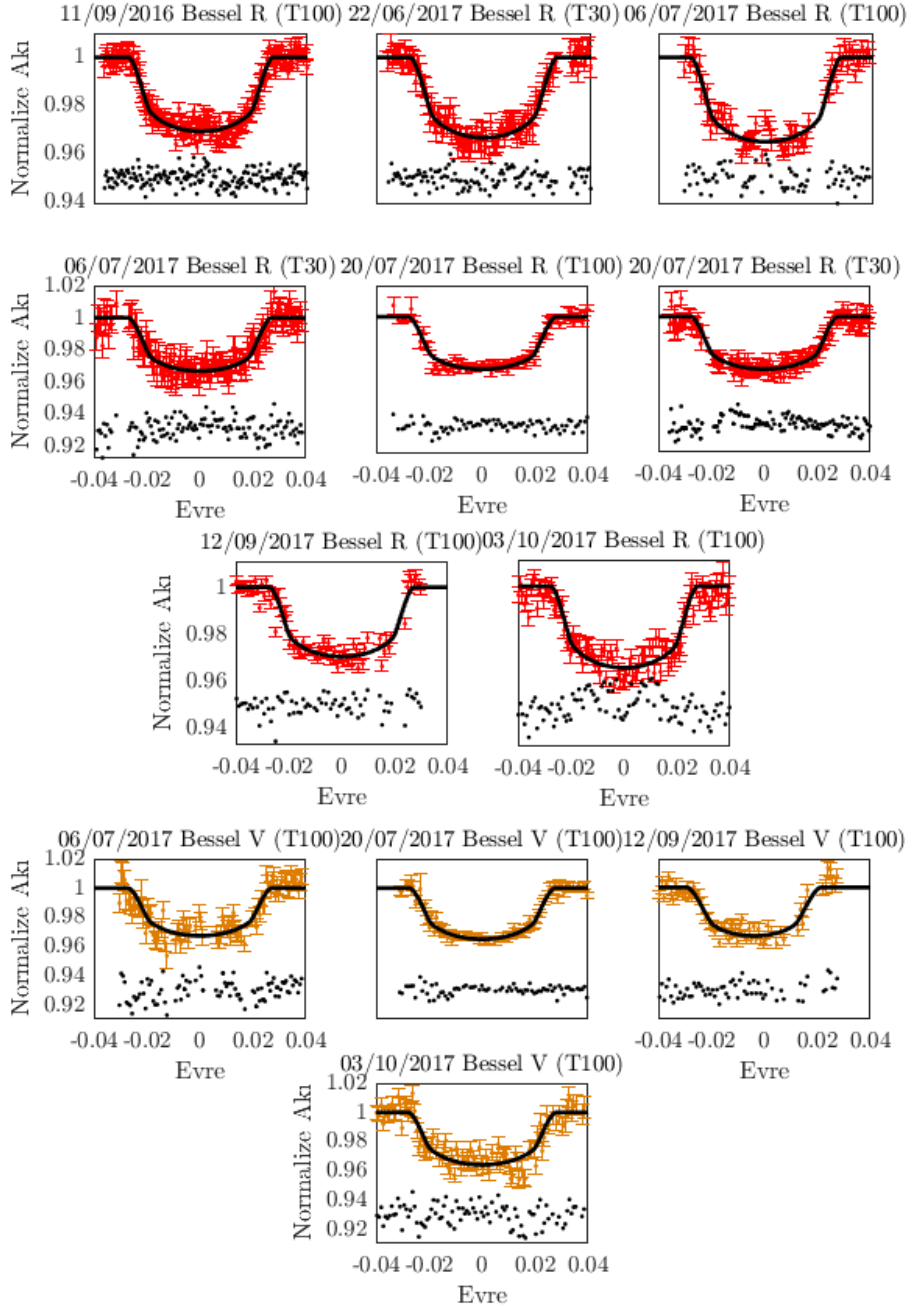
*Her bir parametrenin ortalama değeri, gecelik geçiş dışı standart sapma değerlerine göre ağırlandırılarak hesaplanmıştır. ** r_s parametreleri, JKTEBOP kodu ile elde edilen $r_s + r_p$ ve k parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.5. WASP-52b geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan JKTEBOP çözümleri.

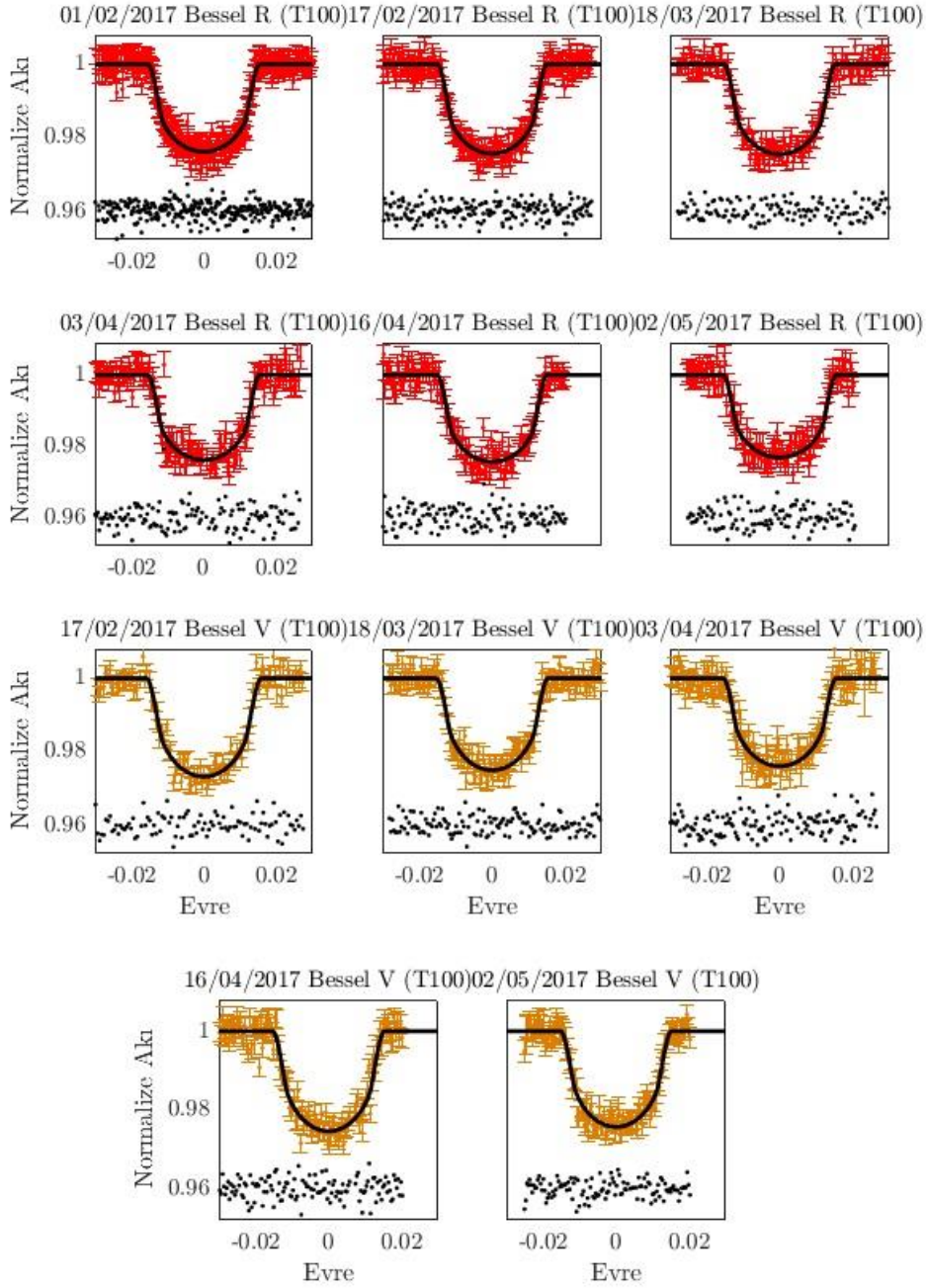
Tarih	Tel.	Filt.	k	r_s^{**}	i	$\Delta\phi$
1.07.2016	T100	R	0.158 ± 0.001	0.136 ± 0.001	85.35 ± 0.66	0.0001 ± 0.0002
8.07.2016	T100	R	0.160 ± 0.003	0.139 ± 0.004	85.00 ± 0.96	0.0000 ± 0.0008
15.07.2016	T100	R	0.157 ± 0.006	0.135 ± 0.013	85.17 ± 1.21	-0.0004 ± 0.0003
29.07.2016	T60	R	0.155 ± 0.007	0.138 ± 0.001	85.35 ± 1.00	0.0005 ± 0.0005
26.08.2016	T60	R	0.155 ± 0.003	0.131 ± 0.007	85.75 ± 0.70	-0.0007 ± 0.0001
2.09.2016	T100	R	0.160 ± 0.002	0.138 ± 0.001	85.25 ± 1.00	-0.0001 ± 0.0003
	T60	R	0.165 ± 0.003	0.135 ± 0.004	85.15 ± 0.51	-0.0002 ± 0.0003
21.10.2016	T100	R	0.161 ± 0.003	0.141 ± 0.007	84.93 ± 0.63	-0.0001 ± 0.0003
Ortalama*		R	0.159 ± 0.004	0.137 ± 0.005	85.24 ± 0.84	

*Her bir parametrenin ortalama değeri, gecelik geçiş dışı standart sapma değerlerine göre ağırlandırılarak hesaplanmıştır. ** r_s parametreleri, JKTEBOP kodu ile elde edilen $r_s + r_p$ ve k parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır.

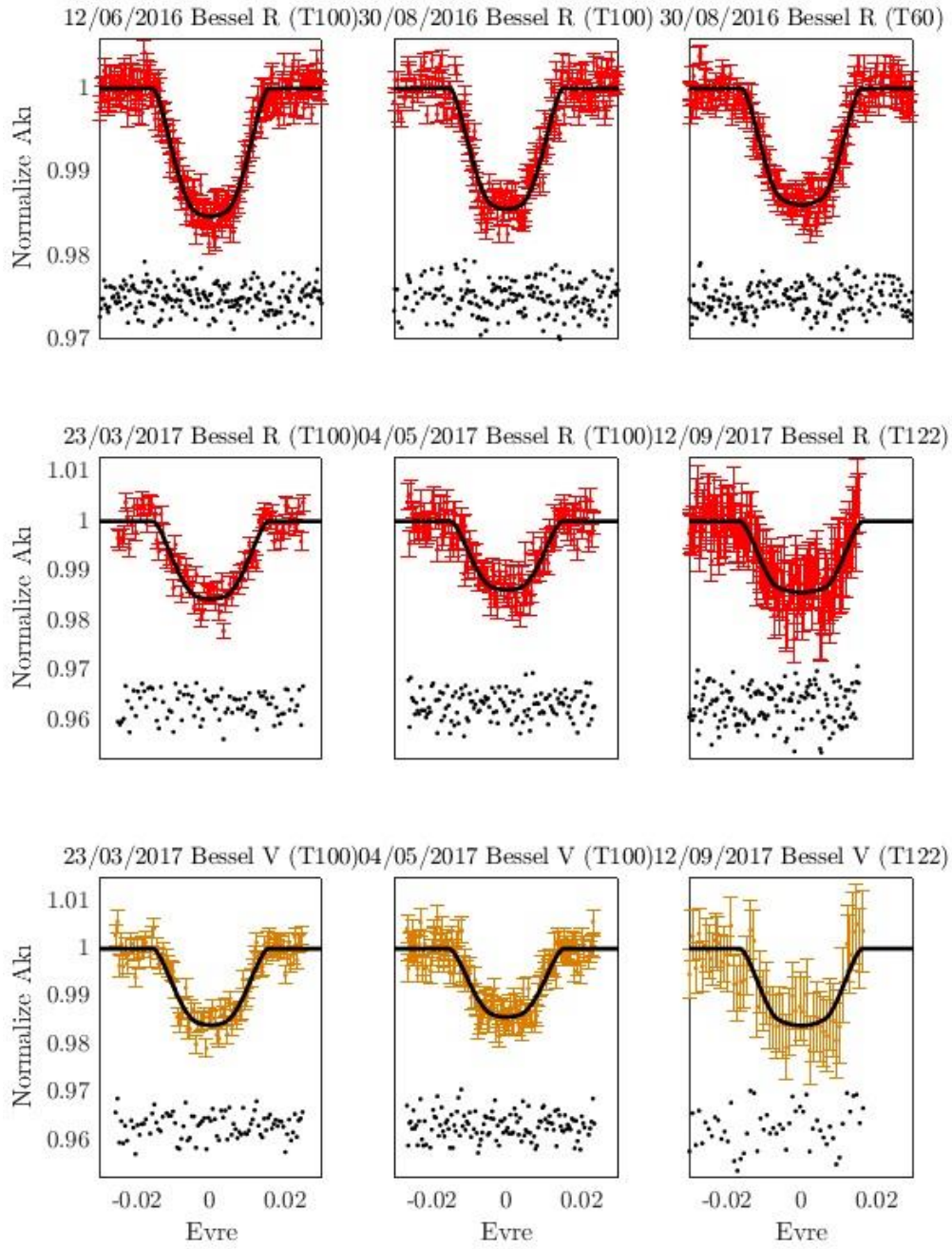
İkinci derece kenar kararına etkisi kabulü altında JKTEBOP çözümlerinden elde edilen teorik geçiş eğrileri ile gözlemsel geçiş eğrilerinin karşılaştırılması, CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenleri için, sırasıyla, Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te verilmiştir.



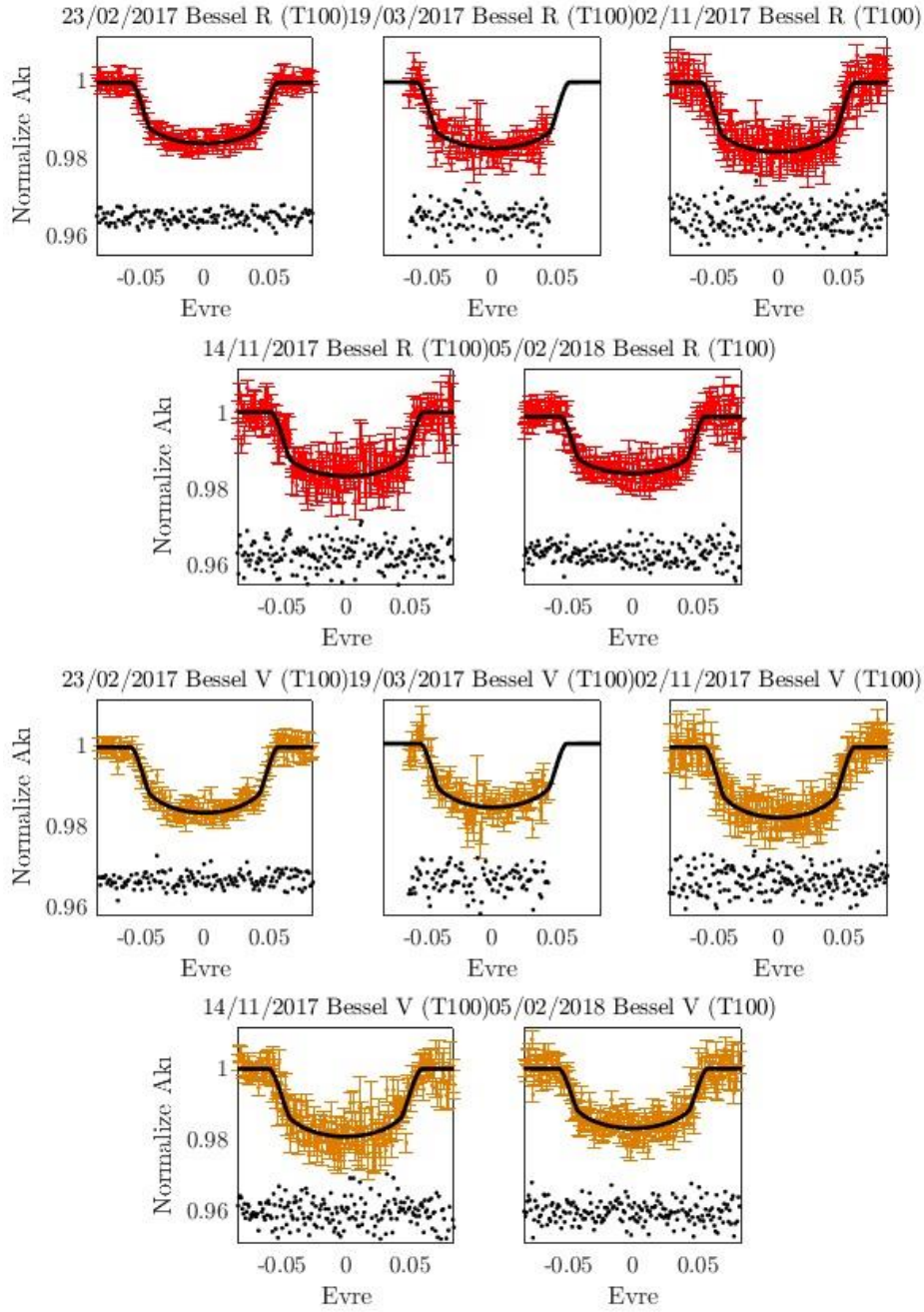
Şekil 6.1. CoRoT-2b gezegeninin gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Kırmızı ve sarı noktalar, sırasıyla, R ve V süzgeçlerinde gözlenen geçiş eğrilerini temsil etmektedir. Siyah düz çizgi ve siyah oktaer ise gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.



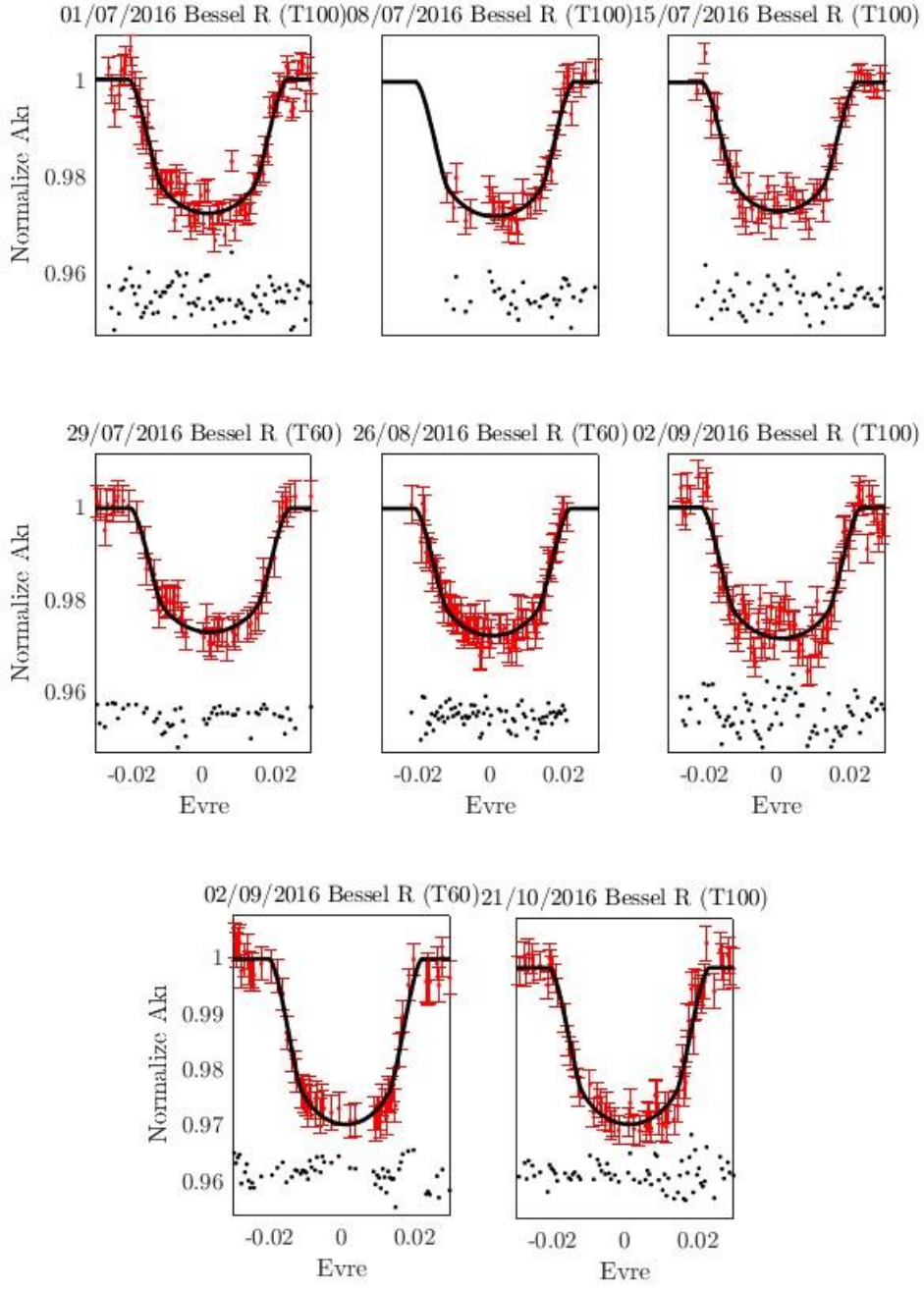
Şekil 6.2. HAT-P-12b gezegeninin gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Kırmızı ve sarı noktalar, sırasıyla, R ve V süzgeçlerinde gözlenen geçiş eğrilerini temsil etmektedir. Siyah düz çizgi ve siyah noktalar ise gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.



Şekil 6.3. TrES-2b gezegeninin gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararar varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Kırmızı ve sarı noktalar, sırasıyla, R ve V süzgeçlerinde gözlenen geçiş eğrilerini temsil etmektedir. Siyah düz çizgi ve siyah oktaerlar ise gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.



Şekil 6.4. WASP-12b gezegeninin gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Kırmızı ve sarı noktalar, sırasıyla, R ve V süzgeçlerinde gözlenen geçiş eğrilerini temsil etmektedir. Siyah düz çizgi ve siyah oktaerler ise gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.



Şekil 6.5. WASP-52b gezegeninin gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Kırmızı noktalar R süzgecinde gözlenen geçiş eğrilerini temsil etmektedir. Siyah düz çizgi ve siyah noktalar ise gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.

Çözümlerden elde edilen geçiş parametrelerinin önceki çalışmalarda elde edilen değerleri ile karşılaştırması, CoRoT-2b için Çizelge 6.6'da, HAT-P-12b için Çizelge 6.7'de, TrES-2b için Çizelge 6.8'de, WASP-12b için Çizelge 6.9'da ve WASP-52b için

Çizelge 6.10’da verilmiştir. Bu tablolardan görüldüğü üzere JKTEBOP çözümlerinden elde edilen geçiş parametreleri literatürde verilen değerler ile hata sınırları içerisinde uyumludur.

Çizelge 6.6. CoRoT-2b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür ile karşılaştırılması.

Filtre	k	r_s	$i(^{\circ})$	Referans/Model-yazılım
CoRoT	0.1667 ± 0.0006	0.1493 ± 0.0007	87.84 ± 0.10	^[1] / Giménez (2006) modeli
CoRoT	0.1658 ± 0.0004	---	88.34 ± 0.16	^[2] / EBOP
R	0.161 ± 0.004	0.149 ± 0.009	88.07 ± 1.02	^[3] / JKTEBOP
V	0.165 ± 0.007	0.148 ± 0.019	88.85 ± 1.32	^[3] / JKTEBOP

^[1] Alonso ve ark. (2008). Bu modelde Kopal (1977) denklemlerinin, yıldız ve gezegen birer küre olarak kabul edildiği çözümlerine dayanmaktadır ^[2]Bruno ve ark. (2016). Yıldız aktivitesinin ihmal edildiği çözüm sonuçları. ^[2]JKTEBOP kodu ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.1).

Çizelge 6.7. HAT-12b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür ile karşılaştırılması.

Filtre	k	r_s	$i(^{\circ})$	Referans/Model-yazılım
R	0.137 ± 0.002	0.085 ± 0.001	89.915 ± 0.098	^[1] /JKTEBOP
V	0.137 ± 0.004	0.085 ± 0.006	89.41 ± 1.24	^[2] /JKTEBOP
R	0.138 ± 0.002	0.086 ± 0.002	89.07 ± 0.66	^[2] /JKTEBOP
u, g, r, R _C , I _C , I _J	0.139 ± 0.001	0.084 ± 0.001	89.10 ± 0.24	^[3] /JKTEBOP
R	0.139 ± 0.006	0.088 ± 0.005	88.24 ± 0.60	^[4] /JKTEBOP
V	0.140 ± 0.007	0.088 ± 0.006	88.36 ± 0.51	^[4] /JKTEBOP

^[1]Lee ve ark. (2012) ^[2]Mallonn ve ark. (2015) ^[3]Mancini ve ark. (2018) ^[4]JKTEBOP kodu ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.2).

Çizelge 6.8. TrES-2b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür ile karşılaştırılması.

Filtre	k	r_s	$i(^{\circ})$	Referans/Model-yazılım
I, B, r, R	$0.1274^{+0.0016}_{-0.0011}$	$0.1268^{+0.0035}_{-0.0033}$	83.90 ± 0.22	^[1] /MA modeli
R	$0.1282^{+0.0043}_{-0.0037}$	$0.1282^{+0.0056}_{-0.0061}$	$83.73^{+0.43}_{-0.38}$	^[2] /JKTEBOP
V	$0.1241^{+0.0074}_{-0.0057}$	$0.1336^{+0.0035}_{-0.0056}$	$83.54^{+0.46}_{-0.31}$	^[3] /JKTEBOP
R	0.126 ± 0.003	0.128 ± 0.005	83.89 ± 0.29	^[4] /JKTEBOP
V	0.133 ± 0.009	0.127 ± 0.005	84.03 ± 0.34	^[4] /JKTEBOP

^[1]O'Donovan ve ark. (2006). MA modeli: Mandel ve Agol (2002) modeli (bkz. Bölüm 2) ^[2]Raetz ve ark. (2014). 9 Ağustos 2011 tarihli R süzgecinde ve 1.4 ppm duyarlılığında yapılan gözlemden elde edilen geçiş parametreleri (bkz. Raetz ve ark. (2014) çalışmasında yer alan Tablo 3). ^[3]Raetz ve ark. (2014). 15 Ağustos 2009 tarihli V süzgecinde ve 2.7 ppm duyarlılığında yapılan gözlemden elde edilen geçiş parametreleri (bkz. Raetz ve ark. (2014) çalışmasında yer alan Tablo 3). ^[4]JKTEBOP kodu ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.3).

Çizelge 6.9. WASP-12b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür ile karşılaştırılması.

Filtre	k	r_s	$i(^{\circ})$	Referans/Model-yazılım
V, i	0.1119 ± 0.0020	0.322 ± 0.009	86.2 ± 3.0	^[1] / MA modeli
R	$0.11952^{+0.00053}_{-0.00053}$	$0.3439^{+0.0045}_{-0.0041}$	$80.4^{+0.6}_{-0.6}$	^[2] /JKTEBOP
R	$0.1173^{+0.0005}_{-0.0005}$	$0.3297^{+0.0024}_{-0.0023}$	$82.96^{+0.50}_{-0.44}$	^[3] /TAP
r, CBB, V	$0.11785^{+0.00053}_{-0.00054}$	$0.3291^{+0.0037}_{-0.0036}$	$83.37^{+0.72}_{-0.64}$	^[4] /EXOFAST
R	0.119 ± 0.004	0.341 ± 0.018	81.92 ± 1.51	^[5] /JKTEBOP
V	0.116 ± 0.004	0.34 ± 0.027	83.21 ± 1.09	^[5] /JKTEBOP

^[1]Chan ve ark. (2011). MA modeli: Mandel ve Agol (2002) modeli (bkz. Bölüm 2) ^[2]Maciejewski ve ark. (2011). Lineer kenar kararına kabulü altında yapılan geçiş eğrisi fitinden elde edilen parametreler (bkz. Maciejewski ve ark. (2011) çalışmasında Tablo 2). ^[3]Maciejewski ve ark. (2011) ^[4]Collins ve ark. (2017) ^[5]JKTEBOP kodu ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.4).

Çizelge 6.10. WASP-52b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür ile karşılaştırılması.

Filtre	k	r_s	$i(^{\circ})$	Referans/Model-yazılım
R	0.1643 ± 0.0015	0.1379 ± 0.0007	85.40 ± 0.14	^[1] /JKTEBOP
R	0.159 ± 0.004	0.137 ± 0.005	85.24 ± 0.84	^[2] /JKTEBOP

^[1]Mancini ve ark. (2017). 24 Temmuz 2014 tarihinde R süzgecinde 0.51 ppm mertebesinde yapılan gezegen geçiş gözleminde elde edilen parametreler (bkz. Mancini ve ark (2017) çalışması Tablo 1 ve Tablo 2). ^[2]JKTEBOP kodu ile ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.5).

Şekil 6.1 ve Şekil 6.5'te, CoRoT-2b ve WASP-52b'nin gözlenen geçiş eğrilerinde bazı akı değişimleri görülmektedir. Bu akı değişimleri, önceki çalışmalarda, ana yıldız fotosferi üzerinde parlak/sıcak leke ve soğuk leke varsayımı altında modellenmiştir (bkz. CoRoT-2b, Bruno ve ark. 2016, WASP-52b, Kirk ve ark. 2016, Mancini ve ark. 2017). Şekil 6.1'den görüldüğü üzere, CoRoT-2b ötegezegeninin 6 Temmuz 2017 ve 3 Ekim 2017 tarihlerinde gözlenen geçiş eğrilerinde, gezegen geçişi esnasında gözlenen akıda belirgin bir değişim vardır. Ayrıca, Şekil 6.5'ten görüldüğü üzere, 2 Eylül 2016 tarihli WASP-52b gözleminde elde edilen geçiş eğrisinde de belirgin bir akı değişimi göze çarpmaktadır. Ancak ne yazık ki, gözlem duyarlılığının yeterince iyi olmaması ve sinyal/gürültü oranının görece düşük olması nedeniyle, gezegen geçişi esnasında beliren bu akı değişimleri leke modeli varsayımı altında modellenememiştir.

CoRoT-2, HAT-P-12, TrES-2, WASP-12 ve WASP-52 yıldız gezegen sistemlerinin gözlenen geçiş eğrileri çözümlerinden elde edilen fiziksel parametreleri Çizelge 6.11'de verilmiştir. Fiziksel parametreler hesaplanırken, ana yıldızların (M_s) ve gezegenlerin (M_p) kütleleri, ana yıldızların yarıçapları (R_s) literatürden alınmıştır (bkz. CoRoT-2 için Ek 14, HAT-P-12 için Ek 15, TrES-2 için Ek 16, WASP-12 için Ek 17, WASP-52 için Ek 18) ve gezegen geçiş eğrisi çözümlerinden elde edilen geçiş parametrelerinin ağırlıklı ortalama değerleri kullanılmıştır (bkz. CoRoT-2 için Çizelge 6.1, HAT-P-12 için Çizelge 6.2, TrES-2 için Çizelge 6.3, WASP-12 için Çizelge 6.4, WASP-52 için Çizelge 6.5).

Yer tabanlı takip gözlemleri yapılan bu beş tane ötegezegenin Safronov sayıları, Safronov (1972) tarafından aşağıdaki gibi verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Theta = \frac{1}{2} \left[\frac{V_{esc}}{V_{orb}} \right]^2 = \left(\frac{M_p}{M_s} \right) \left(\frac{R_p}{a} \right)^{-1} \quad (6.1)$$

(6.1) denkleminde yer alan V_{esc} ve V_{orb} terimleri, sırasıyla, ötegezegen yüzeyinden kurtulma hızını ve ötegezegenin yörünge hızını temsil etmektedir.

Çizelge 6.11. Yer tabanlı takip gözlemleri yapılan yıldız- gezegen sistemlerinin elde edilen fiziksel parametreleri.

Parametre	CoRoT-2b	HAT-P-12b	TrES-2b
P (gün)	1.7429975(2)	3.2130579(4)	2.47061437(9)
T_0 (BJD _{TDB} -2400000)	4237.53566(28)	4419.19629(28)	3957.63458(7)
R_p/R_s	0.161(4)	0.139(6)	0.126(3)
R_s/a	0.149(9)	0.088(5)	0.128(5)
R_p/a	0.024(2)	0.012(1)	0.016(1)
i (derece)	88.07(1.02)	88.24(60)	83.89(29)
R_p (R_J)	1.414(64)	0.949(61)	1.229(65)
ρ_p (cgs)	1.553(134)	0.328(45)	0.895(108)
$\log g_p$ (cgs)	3.616(189)	2.767(61)	3.315(170)
T_{eq} (K)	1535(21)	975(8)	1466(9)
θ	0.1357(5)	0.0225(15)	0.0707(2)
Parametre	WASP-12b	WASP-52b	
P (gün)	1.0914199(2)	1.7497828(6)	
T_0 (BJD _{TDB} -2400000)	4508.97824(27)	5793.68128(49)	
R_p/R_s	0.119(4)	0.159(4)	
R_s/a	0.341(18)	0.137(5)	
R_p/a	0.041(4)	0.022(1)	
i (derece)	81.92(1.51)	85.24(84)	
R_p (R_J)	1.819(142)	1.223(62)	
ρ_p (cgs)	0.311(51)	0.334(36)	
$\log g_p$ (cgs)	3.026(120)	2.885(61)	
T_{eq} (K)	2601(18)	1309(17)	
θ	0.0246(8)	0.0232(5)	

Ötegezegenlerin Safronov sayıları hesaplanırken, kesirsel gezegen yarıçapları (R_p/a) bu çalışmada elde edilen değerlerden (bkz. Çizelge 6.11), gezegen ve yıldız kütleleri ise

literatürden alınmıştır (bkz. CoRoT-2 için Ek 14, HAT-P-12 için Ek 15, TrES-2 için Ek 16, WASP-12 için Ek 17, WASP-52 için Ek 18).

Aynı zamanda, ele alınan beş ötegezegenin denge sıcaklıkları (T_{eq}), Hansen ve Barman (2007) tarafından aşağıdaki gibi verilen denklemden hesaplanmıştır.

$$T_{eq} = T_{etkin} \sqrt{\frac{r_s}{2}} \quad (6.2)$$

(6.2) denkleminde yer alan T_{etkin} ve r_s terimleri, sırasıyla, ana yıldızın etkin yüzey sıcaklığını ve kesirsel yarıçapını temsil etmektedir. Kesirsel yıldız yarıçapları bu çalışmada yapılan geçiş eğrisi modellerinden (bkz. Çizelge 6.11) ve ana yıldızların yüzey sıcaklıkları ise literatürden alınmıştır (bkz. CoRoT-2 için Ek 14, HAT-P-12 için Ek 15, TrES-2 için Ek 16, WASP-12 için Ek 17, WASP-52 için Ek 18). Her bir yıldız-gezegen sistemi için hesaplanan Safronov sayıları ve gezegen yüzey sıcaklıkları Çizelge 6.11’de verilmiştir.

Hansen ve Barman (2007), gezegen denge sıcaklıkları ve Safronov sayıları, sırasıyla, $1000K < T_{eq} < 2300K$ ve $0.03 < \Theta < 0.08$ arasında yer alan 18 tane ötegezegenin Safronov sayısı-gezegen denge sıcaklık diyagramına baktıklarında, gezegenlerin Safronov sayılarına göre iki gruba ayrılabilceğini önermişlerdir: Class I ($\Theta > 0.05$) ve Class II ($\Theta < 0.05$). Hansen ve Barman (2007) tarafından önerilen gezegen sınıflamasına göre, CoRoT-2b ($T_{eq} = 1535 \pm 21K$ ve $\Theta = 0.1357 \pm 0.0005$) ve TrES-2b ($T_{eq} = 1466 \pm 9K$ ve $\Theta = 0.0707 \pm 0.0002$) ötegezegenleri Class I sınıfı içerisine, HAT-P-12b ($T_{eq} = 975 \pm 8K$ ve $\Theta = 0.0225 \pm 0.0015$), WASP-12b ($T_{eq} = 2601 \pm 18K$ ve $\Theta = 0.0246 \pm 0.0008$) ve WASP-52b ($T_{eq} = 1309 \pm 17K$ ve $\Theta = 0.0232 \pm 0.0005$) ötegezegenleri ise Class II sınıfı içerisine girmektedir.

6.2. Kepler Gözlemleri Olan Ötegezegenlerin Geçiş Eğrisi Analizleri

Bölüm 6 da belirtildiği üzere, bu tez çalışmasını bir diğer amacı, gezegen geçiş eğrisi çözümlerinde kullanılan farklı modelleri birbirleri ile karşılaştırmaktır. Bu bölümde Kepler uydu teleskobu ile duyarlı ışıkölçüm gözlemleri yapılan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş eğrileri hem WinFitter hem de JKTEBOP yazılımları çözülmüş ve her iki yazılımdan elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Her bir yıldız-gezegen sisteminin Kepler uydu gözlem verileri, NASA NEA veri tabanından alınmıştır. Kepler-6 ve Kepler-8 kaynaklarının Kepler gözlemleri, hem kısa hem de uzun poz sürelerinde yapılmıştır (bkz. Kepler-6 için Ek 1, Kepler-8 için Ek 3). Kepler-40 kaynağı için ise sadece uzun poz süresinde gerçekleştirilmiştir (bkz. Ek 5). Kısa poz süresinde elde edilen geçiş eğrileri, uzun poz süresinde elde edilenlere göre daha sık gözlem verisi içermekte ve bu nedenle gezegenin yıldız önünden geçişi görece daha belirgin olarak görülmektedir. Bu nedenle, Kepler-6b ve Kepler-8b ötegezegenlerinin geçiş eğrisi analizlerini daha duyarlı olarak yapabilmek için kısa poz süresindeki gözlem verileri kullanılmıştır. Kepler-40b ötegezegeninin geçiş gözlemleri sadece uzun poz süresinde yapıldığından, bu ötegezegenin geçiş eğrisi analizinde ise uzun poz süreli Kepler gözlemleri kullanılmıştır. Geçiş eğrisi analizlerinde gözlemsel veri olarak, NEA veri tabanından alınan normalize edilmiş PDCSAP akı değerleri ve bu akıların gözlemlendiği BJD zamanları kullanılmıştır. BJD zamanları, Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenleri için sırasıyla Çizelge 5.8, Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da verilen güncel lineer ışık elemanları kullanılarak evrelendirilmiştir.

Ek 1, Ek 3 ve Ek 5'den görüldüğü üzere Kepler-6, Kepler-8 ve Kepler-40 kaynaklarının 2009-2013 yılları arasındaki Kepler gözlemleri boyunca alınan gözlem noktası sayısı oldukça çoktur. Buna karşın, WinFitter programı, maksimum 5000 gözlem noktası için geçiş eğrisi çözümü verebilmektedir (bkz. Budding ve ark. 2016, Rhodes ve Budding 2014). Aynı zamanda gözlem verilerinin çokluğu, sıradan bir PC ile JKTEBOP kodu ile çözüm yapmayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş eğrisi analizleri ile geçiş parametrelerini hassas bir şekilde elde edebilmek için aşağıdaki adımlar izlenerek gözlem verileri tekrar düzenlenmiştir.

- Gezegen geçişi süresince verilerin alınması: Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş eğrisi analizleri, sadece gezegen geçişinin gözlemlendiği evreler arasındaki gözlem noktaları ile gerçekleştirilmiştir. Gezegen geçişi dışındaki ışık eğrisi, bir sonraki bölümde anlatıldığı üzere, Mazeh ve Faigler (2010) tarafından önerilen Fourier yöntemiyle analiz edilmiştir.
- Gözlem verisi birleştirme-binning işlemi: Her bir Kepler çeyrek gözlem zamanı için ayrı ayrı olmak üzere, geçiş eğrisini oluşturan gözlem noktaları 0.001 evre aralıkları ile birleştirilmiş ve bu evre aralıklarındaki normalize akı değerlerinin ortalamaları alınarak geçiş eğrisini oluşturan nokta sayısı azaltılmıştır. Veri birleştirerek ortalama değer alma (İng. Binning) işlemi ile hem söz konusu Kepler zamanı süresince alınan gözlemlerin duyarlılığı artırılabilen hem de

programların daha rahat ve kısa sürede çözüme ulaşması sağlanabilmektedir (bkz. Esteves ve ark. 2013, Angerhausen ve ark 2015, Budding ve ark. 2016). Kepler uydu teleskobu ile yapılan gezegen geçiş gözlemlerinin duyarlılığı, $V = 12$ kadir parlaklığında bir yıldız önünden geçen ve geçiş süresi 6.5 saat olan bir ötegezegen için yaklaşık 20 ppm mertebesindedir (Borucki ve ark. 2009). Veri birleştirme işlemi ile bu duyarlılığı 0.000001 kadir ~ 1 ppm mertebesine kadar indirmek mümkündür (bkz. Esteves ve ark. 2013, Angerhausen ve ark. 2015, Budding ve ark. 2016). Bu nedenlerle, bu çalışmada, Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş gözlemleri boyunca alınan normalize akılar 0.001 evre aralıkları ile birleştirilerek ortalama değerleri alınmış ve bu verilerle geçiş eğrisi analizleri yapılmıştır.

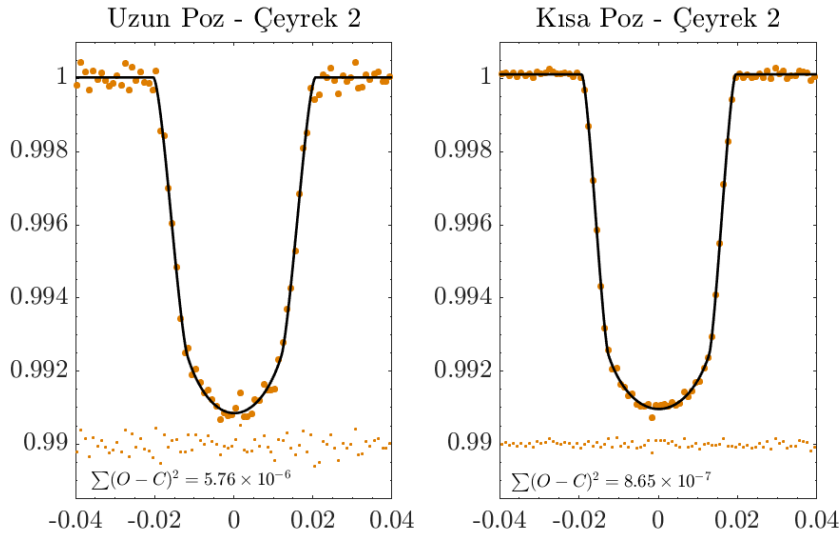
Bu çalışmada ele alınan Kepler ötegezegenlerinin her bir Kepler çeyrek zamanı boyunca gözlenen geçiş eğrilerinin, WinFitter ve JKTEBOP kodları ile yapılan çözümlerinde kullanılan fiziksel parametreler, Kepler-6, Kepler-8 ve Kepler-40 yıldız gezegen sistemleri için, sırasıyla, Ek 19, Ek 20 ve Ek 21’de referansları ile beraber verilmiştir. Tüm bu tablolardan görüldüğü üzere, tüm ötegezegenlerin geçiş eğrilerinin çözümlerinde, yörüngeleri dairesel olarak kabul edilmiştir ($e = 0$). Yıldız-gezegen sistemlerinin kütle oranları ($q = M_p/M_s$) ve ana yıldızların etkin sıcaklıkları (T_{etkin}) literatürden alınarak sabit tutulmuştur (bkz. Kepler-6b için Ek 19, Kepler-8b için Ek 20, Kepler-40b için Ek 21).

Kepler uydu teleskobu ile yapılan gezegen geçiş gözlemlerinin duyarlılığının ortalama olarak 20 ppm mertebesinde olması nedeniyle (Borucki ve ark. 2009), WinFitter ve JKTEBOP kodları ile yapılan geçiş eğrisi çözümlerinde yıldızların lineer (u) ve ikinci dereceden (a, b) kenar kararma katsayıları serbest parametre olarak alınmıştır. WinFitter ve JKTEBOP kodları ile yapılan geçiş eğrisi modellemesinde serbest bırakılan diğer parametreler aşağıda verilmiştir.

- WinFitter kodu için: Normalize akı değeri (U), yarıçaplar oranı ($k = R_p/R_s$), evre kayması ($\Delta\phi$), ana yıldızın kesirsel yarıçapı ($r_s = R_s/a$), yörünge eğimi (i).
- JKTEBOP kodu için: Normalize akı değeri (U), yarıçaplar oranı ($k = R_p/R_s$), evre kayması ($\Delta\phi$), yıldız gezegen sisteminin toplam kesirsel yarıçapı ($r_s + r_p = (R_s + R_p)/a$) ve yörünge eğimi (i).

Yukarıda, kısa poz süresinde elde edilen geçiş eğrilerinin uzun poz süresinde elde edilenlere göre daha sık gözlem verisi içerdiğinden gezegenin yıldız önünden geçişinin

kısa poz gözlemlerinde görece daha belirgin olarak görüldüğü ve bu nedenle Kepler-6b ve Kepler-8b ötegezegenlerinin geçiş eğrisi çözümlerinde kısa poz gözlemlerinin tercih edildiği belirtilmişti. Bu durumu daha belirgin olarak açıklayabilmek ve bir örnek olması açısından, Kepler-8b ötegezegeninin uzun poz ve kısa poz çeyrek 2 gözlemlerinden elde edilen geçiş eğrileri Şekil 6.6'da gösterilmiş ve geçiş eğrilerinin ikinci dereceden kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen parametreler Çizelge 6.12 de verilmiştir.



Şekil 6.6. Kepler-8b ötegezegeninin uzun poz (sol) ve kısa poz (sağ) çeyrek 2 süresinde gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Sarı noktalar, karşılık gelen Kepler çeyrek zamanı içerisinde gözlenen ve 0.001 evre aralıkları ile birleştirilen gözlemsel veriyi göstermektedir. Siyah düz çizgi ve diyagramların altında görülen sarı noktalar ise, sırasıyla, gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.

Çizelge 6.12. Kepler-8b ötegezegeninin uzun poz (sol) ve kısa poz (sağ) çeyrek 2 süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen geçiş parametreleri.

Poz	k	r_s	$i(^{\circ})$	a	b	$\Delta\phi$	$\frac{\Sigma(o-c)^2}{10^{-7}}$
Uzun	0.096(2)	0.148(9)	84.22(88)	0.34(9)	0.35(9)	-0.000091(8)	57.60
Kısa	0.0955(5)	0.146(3)	83.87(29)	0.31(5)	0.33(5)	-0.000082(4)	8.65

Şekil 6.6'dan görüldüğü üzere, uzun poz süresinde elde edilen geçiş eğrisi kısa poz süresinde elde edileninkinden daha fazla saçılma göstermektedir. Ayrıca, geçiş eğrisi çözümünden elde edilen gezegen geçiş parametrelerinin hataları ve teorik fitlerden elde edilen artıklar uzun poz süresi için daha büyük değerdedir (bkz. Çizelge 6.12). Bu nedenle Kepler-6b ve Kepler-8b ötegezegenlerinin geçiş eğrisi çözümlerinde kısa poz süresinde yapılan gözlemler kullanılmıştır.

Her bir ötegezegenin her bir Kepler çeyrek zamanı içerisinde gözlenen geçiş eğrileri, hem WinFitter hem de JKTEBOP kodları ile ayrı ayrı çözülmüştür. Her bir ötegezegenin geçiş eğrileri, JKTEBOP kodu ile hem lineer hem de ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında her bir Kepler çeyrek zamanı için ayrı ayrı çözülmüştür. WinFitter kodu ile yapılan çözümlerinden elde edilen geçiş parametreleri ile ortalamaları alınmış geçiş parametreleri Kepler-6b için Çizelge 6.13'de, Kepler-8b için Çizelge 6.14'da ve Kepler-40b için Çizelge 6.15'te verilmiştir.

Çizelge 6.13. Kepler-6b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararına kabulü altında WinFitter çözümleri.

Çeyrek	k	r_s	i	u	$\Delta\phi$
2	0.0944(2)	0.135(3)	88.02(41)	0.575(75)	0.000000(4)
3	0.0949(2)	0.138(3)	87.51(34)	0.573(73)	0.000000(4)
4	0.0941(2)	0.137(3)	87.68(36)	0.571(75)	0.000000(4)
5	0.0954(2)	0.142(3)	86.86(29)	0.591(80)	0.000000(4)
6	0.0947(1)	0.136(1)	87.76(14)	0.578(75)	0.000000(3)
9	0.0947(2)	0.138(3)	87.47(34)	0.573(75)	0.000000(4)
10	0.0952(1)	0.137(1)	87.51(13)	0.580(75)	0.000000(4)
12	0.0943(2)	0.138(3)	87.58(38)	0.588(77)	0.000000(4)
Ağırlıklı ortalama	0.0947(2)	0.138(3)	87.55(30)	0.579(75)	---

Çizelge 6.14. Kepler-8b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobı ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararına kabulü altında WinFitter çözümleri.

Çeyrek	k	r_s	i	u	$\Delta\phi$
2	0.0955(4)	0.147(3)	83.86(17)	0.498(72)	-0.000108(5)
3	0.0957(4)	0.147(3)	83.86(17)	0.491(69)	-0.000100(5)
4	0.0959(3)	0.147(2)	83.86(11)	0.503(65)	-0.000108(5)
5	0.0952(4)	0.145(3)	83.99(18)	0.487(92)	-0.000102(4)
6	0.0957(3)	0.148(3)	83.75(15)	0.468(98)	-0.000087(5)
7	0.0950(4)	0.143(3)	84.15(16)	0.489(98)	-0.000055(4)
9	0.0956(4)	0.146(3)	83.92(16)	0.492(69)	-0.000079(5)
10	0.0955(4)	0.146(3)	83.92(18)	0.520(52)	-0.000050(5)
11	0.0954(4)	0.146(3)	83.92(17)	0.500(75)	-0.000043(5)
12	0.0958(4)	0.148(3)	83.79(17)	0.516(61)	-0.000015(5)
13	0.0950(4)	0.143(3)	84.13(18)	0.515(65)	-0.000037(4)
Ağırlıklı ortalama	0.0955(4)	0.146(3)	83.91(16)	0.498(73)	---

Çizelge 6.15. Kepler-40b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobı ile uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararına kabulü altında WinFitter çözümleri.

Çeyrek	k	r_s	i	u	$\Delta\phi$
1	0.0556(12)	0.126(8)	88.54(80)	0.638(80)	0.00033(3)
2	0.0584(8)	0.133(6)	88.70(72)	0.485(70)	0.00036(1)
3	0.0566(8)	0.123(1)	88.70(22)	0.543(9)	0.00037(1)
4	0.0568(12)	0.123(1)	88.89(35)	0.624(43)	0.00041(1)
5	0.0575(8)	0.126(2)	89.28(53)	0.488(69)	0.00045(1)
6	0.0580(8)	0.134(6)	88.65(67)	0.586(42)	0.00035(1)
8	0.0568(8)	0.120(8)	89.22(25)	0.571(30)	0.00025(1)
9	0.0575(8)	0.130(3)	89.05(32)	0.518(35)	0.00036(1)
10	0.0576(8)	0.125(5)	89.54(25)	0.500(45)	0.00046(1)
12	0.0574(8)	0.130(1)	89.07(40)	0.551(20)	0.00032(1)
13	0.0565(8)	0.126(3)	89.38(21)	0.554(26)	0.00046(1)
14	0.0575(8)	0.124(8)	89.53(52)	0.523(25)	0.00043(1)
16	0.0571(8)	0.134(5)	88.74(66)	0.601(46)	0.00051(2)
17	0.0579(13)	0.145(9)	88.75(82)	0.482(86)	0.00036(1)
Ağırlıklı ortalama	0.0572(9)	0.129(5)	89.00(48)	0.547(45)	---

Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin, her bir Kepler çeyrek zamanı içerisinde gözlenen geçiş eğrilerinin, ana yıldızın kenar kararma etkisinin lineer olduğu varsayımı altında JKTEBOP çözümleri ve bu çözümlerin ortalama değerler ise, sırasıyla, Çizelge 6.16, Çizelge 6.17 ve Çizelge 6.18’de verilmiştir.

Çizelge 6.16. Kepler-6b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararma kabulü altında JKTEBOP çözümleri.

Çeyrek	k	r_s	i	u	$\Delta\phi$
2	0.0943(2)	0.135(4)	88.00(35)	0.570(72)	0.000000(5)
3	0.0950(2)	0.137(3)	87.52(35)	0.575(51)	0.000000(4)
4	0.0940(2)	0.137(4)	87.68(39)	0.577(80)	0.000000(4)
5	0.0950(3)	0.141(2)	86.82(34)	0.589(82)	0.000000(5)
6	0.0947(2)	0.137(2)	87.78(18)	0.581(84)	0.000000(4)
9	0.0947(3)	0.137(2)	87.49(36)	0.575(73)	0.000000(4)
10	0.0951(2)	0.138(2)	87.51(18)	0.585(77)	0.000000(5)
12	0.0944(3)	0.138(2)	87.58(25)	0.589(79)	0.000000(4)
Ağırlıklı ortalama	0.0947(2)	0.138(3)	87.55(30)	0.580(75)	---

Çizelge 6.17. Kepler-8b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararma kabulü altında JKTEBOP çözümleri.

Çeyrek	k	r_s	i	u	$\Delta\phi$
2	0.0955(4)	0.147(4)	83.87(22)	0.510(62)	-0.000099(4)
3	0.0957(3)	0.146(4)	83.87(25)	0.502(73)	-0.000102(5)
4	0.0959(3)	0.146(5)	83.86(21)	0.513(67)	-0.000105(6)
5	0.0952(4)	0.145(4)	83.98(19)	0.492(89)	-0.000100(5)
6	0.0957(3)	0.147(4)	83.75(20)	0.479(87)	-0.000092(5)
7	0.0951(4)	0.145(4)	84.13(18)	0.492(93)	-0.000072(3)
9	0.0956(3)	0.145(5)	83.91(19)	0.499(72)	-0.000081(6)
10	0.0955(5)	0.147(4)	83.91(25)	0.519(55)	-0.000044(7)
11	0.0954(3)	0.145(5)	83.93(20)	0.508(81)	-0.000048(5)
12	0.0958(4)	0.147(5)	83.80(20)	0.525(69)	-0.000022(6)
13	0.0951(5)	0.142(5)	84.13(19)	0.522(67)	-0.000043(5)
Ağırlıklı ortalama	0.0955(4)	0.146(4)	83.92(21)	0.506(74)	---

Çizelge 6.18. Kepler-40b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin lineer kenar kararına kabulü altında JKTEBOP çözümleri.

Çeyrek	k	r_s	i	u	$\Delta\phi$
1	0.0557(9)	0.127(9)	88.62(85)	0.611(71)	0.00030(4)
2	0.0582(11)	0.132(7)	88.68(87)	0.492(65)	0.00035(2)
3	0.0567(9)	0.124(1)	88.75(35)	0.531(11)	0.00030(1)
4	0.0569(10)	0.124(1)	88.78(41)	0.609(39)	0.00039(3)
5	0.0570(7)	0.127(3)	89.19(59)	0.495(65)	0.00041(2)
6	0.0582(9)	0.133(7)	89.22(55)	0.569(39)	0.00031(2)
8	0.0569(9)	0.121(9)	89.51(29)	0.558(37)	0.00027(2)
9	0.0577(9)	0.131(5)	89.11(29)	0.538(41)	0.00043(1)
10	0.0578(11)	0.127(7)	89.32(33)	0.505(39)	0.00043(3)
12	0.0571(7)	0.130(3)	89.01(43)	0.542(22)	0.00033(4)
13	0.0568(6)	0.127(4)	89.18(27)	0.551(29)	0.00042(1)
14	0.0570(9)	0.125(7)	89.21(55)	0.530(32)	0.00040(3)
16	0.0573(9)	0.133(8)	89.12(72)	0.589(51)	0.00053(2)
17	0.0578(15)	0.142(9)	88.81(89)	0.493(92)	0.00038(2)
Ağırlıklı ortalama	0.0572(9)	0.129(6)	89.04(53)	0.544(45)	---

Benzer şekilde, ana yıldızın kenar kararına etkisinin ikinci dereceden olduğu varsayımı altında JKTEBOP çözümleri ve bu çözümlerin ortalamaları değerleri Kepler-6b için Çizelge 6.19’te, Kepler-8b için Çizelge 6.20’de ve Kepler-40b için Çizelge 6.21’de verilmiştir.

Çizelge 6.19. Kepler-6b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararına kabulü altında JKTEBOP çözümleri.

Çeyrek	k	r_s	i	a	b	$\Delta\phi$
2	0.0942(3)	0.136(4)	87.87(43)	0.412(50)	0.255(33)	0.000000(4)
3	0.0949(3)	0.137(2)	87.62(46)	0.437(41)	0.268(41)	0.000000(6)
4	0.0941(2)	0.136(5)	87.60(42)	0.482(43)	0.240(30)	0.000000(3)
5	0.0946(2)	0.140(3)	86.91(41)	0.435(21)	0.251(35)	0.000000(4)
6	0.0946(2)	0.138(2)	87.79(21)	0.401(55)	0.248(42)	0.000000(4)
9	0.0945(3)	0.137(4)	87.51(46)	0.430(43)	0.250(37)	0.000000(4)
10	0.0952(3)	0.139(2)	87.52(22)	0.451(27)	0.237(39)	0.000000(6)
12	0.0947(3)	0.137(3)	87.59(29)	0.402(63)	0.222(36)	0.000000(5)
Ortalama	0.0946(3)	0.138(3)	87.55(36)	0.431(43)	0.246(37)	

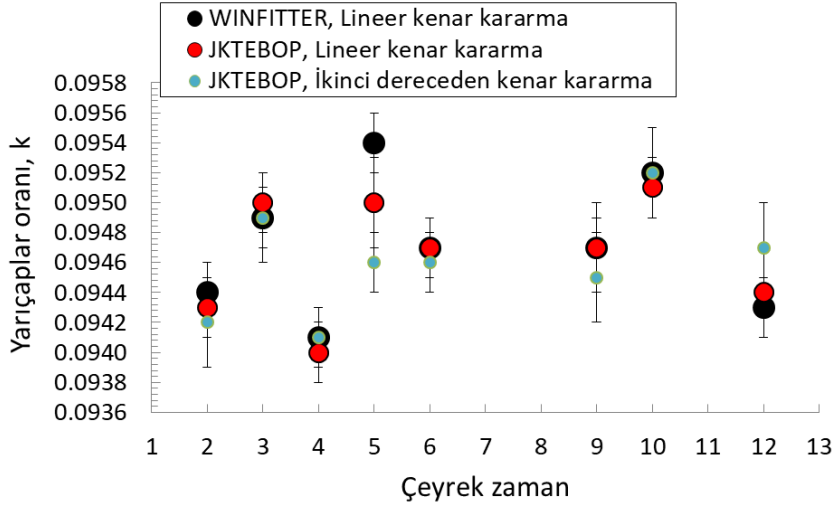
Çizelge 6.20. Kepler-8b ötegezegeninin Kepler uydu teleskobu ile kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararına kabulü altında JKTEBOP çözümleri.

Çeyrek	k	r_s	i	a	b	$\Delta\phi$
2	0.0955(5)	0.146(3)	83.87(29)	0.305(50)	0.332(52)	-0.000082(4)
3	0.0956(4)	0.146(5)	83.86(26)	0.321(42)	0.298(41)	-0.000095(3)
4	0.0959(3)	0.145(5)	83.88(36)	0.336(36)	0.305(55)	-0.000097(7)
5	0.0952(3)	0.146(4)	83.96(25)	0.312(32)	0.311(48)	-0.000111(5)
6	0.0958(3)	0.146(3)	83.76(15)	0.316(55)	0.320(42)	-0.000103(5)
7	0.0954(4)	0.146(6)	84.12(22)	0.326(41)	0.318(41)	-0.000087(3)
9	0.0956(4)	0.147(5)	83.93(20)	0.332(43)	0.315(49)	-0.000093(5)
10	0.0954(5)	0.146(4)	83.90(22)	0.331(47)	0.300(52)	-0.000052(6)
11	0.0955(4)	0.145(4)	83.92(15)	0.301(53)	0.299(50)	-0.000035(5)
12	0.0955(5)	0.146(6)	83.80(26)	0.311(44)	0.299(39)	-0.000033(5)
13	0.0953(5)	0.143(5)	84.11(12)	0.303(43)	0.305(42)	-0.000057(5)
Ortalama	0.0955(4)	0.146(5)	83.92(23)	0.318(44)	0.309(46)	

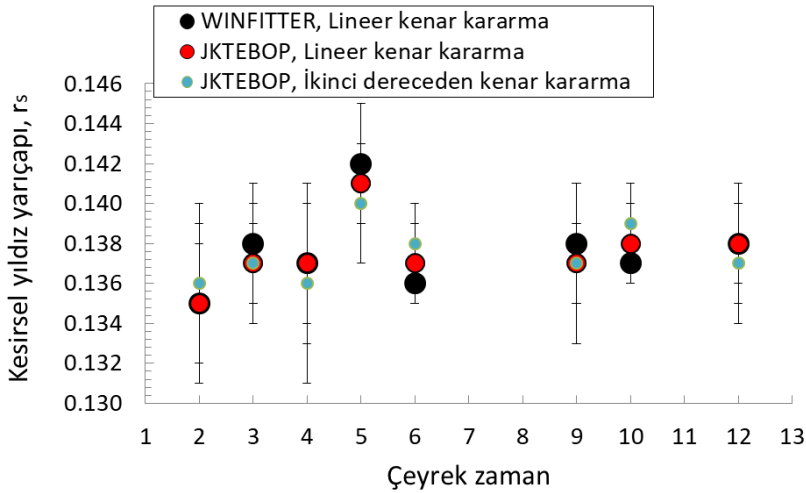
Çizelge 6.21. Kepler-40b ötegezegeninin Kepler teleskobu ile uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrilerinin ikinci derece kenar kararma kabulü altında JKTEBOP çözümleri.

Çeyrek	k	r_s	i	a	b	$\Delta\phi$
1	0.0556(10)	0.127(8)	88.59(92)	0.271(39)	0.381(81)	0.00042(5)
2	0.0579(8)	0.131(5)	88.60(74)	0.285(22)	0.355(45)	0.00039(2)
3	0.0571(10)	0.126(1)	88.62(56)	0.259(57)	0.363(59)	0.00028(2)
4	0.0568(10)	0.125(2)	88.83(62)	0.300(31)	0.325(41)	0.00041(3)
5	0.0568(8)	0.128(3)	89.27(61)	0.277(69)	0.321(78)	0.00040(2)
6	0.0575(9)	0.134(7)	88.65(51)	0.269(38)	0.359(47)	0.00035(3)
8	0.0566(9)	0.123(10)	89.32(43)	0.271(41)	0.353(53)	0.00032(2)
9	0.0575(9)	0.133(5)	88.62(47)	0.289(77)	0.362(91)	0.00039(3)
10	0.0580(12)	0.128(7)	89.40(56)	0.273(26)	0.354(22)	0.00044(3)
12	0.0572(8)	0.130(3)	89.19(58)	0.267(81)	0.341(90)	0.00037(4)
13	0.0567(5)	0.128(5)	89.03(36)	0.258(83)	0.357(72)	0.00051(3)
14	0.0562(7)	0.126(7)	89.42(41)	0.257(71)	0.342(68)	0.00043(3)
16	0.0568(9)	0.135(8)	89.33(63)	0.291(24)	0.338(57)	0.00055(2)
17	0.0583(13)	0.139(10)	88.92(71)	0.282(53)	0.336(49)	0.00028(3)
Ortalama	0.0571(9)	0.130(6)	88.99(58)	0.275(51)	0.349(61)	

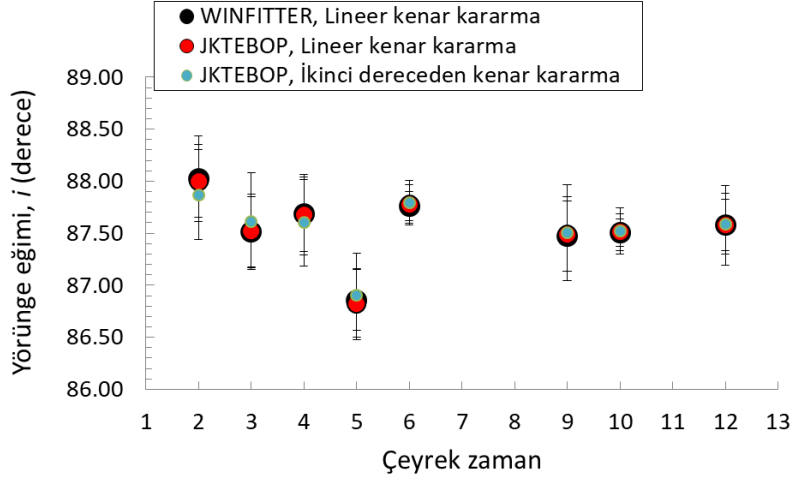
Kepler-6b ötegezegeni geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP çözümlerinden elde edilen yarıçapla oranını ($k = R_p/R_s$), kesirsel yıldız yarıçapı oranının ($r_s = R_s/a$), yörünge eğiminin (i), evre kaymasının ($\Delta\phi$), ana yıldızın lineer kenar kararma etkisi varsayımı altında lineer kenar kararma katsayısının (u) ve ana yıldızın ikinci dereceden kenar kararma etkisi varsayımı altında ikinci derece kararma katsayılarının (a, b) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi, sırasıyla, Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de verilmiştir.



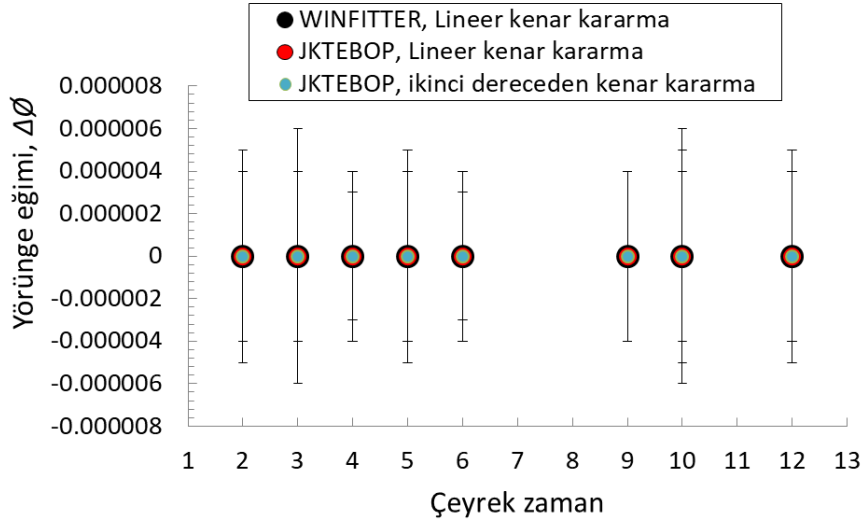
Şekil 6.7. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yarıçaplar oranının ($k = R_p/R_s$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar karar varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.



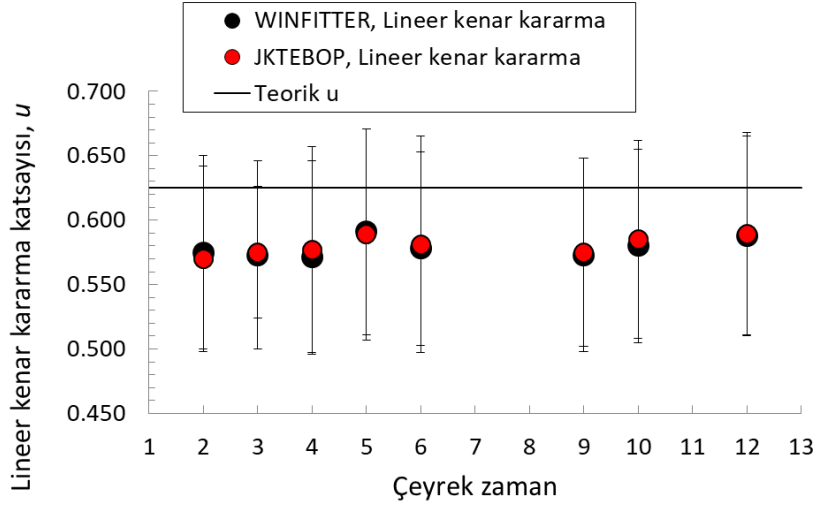
Şekil 6.8. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen kesirsel yıldız yarıçapı oranının ($r_s = R_s/a$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar karar varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.



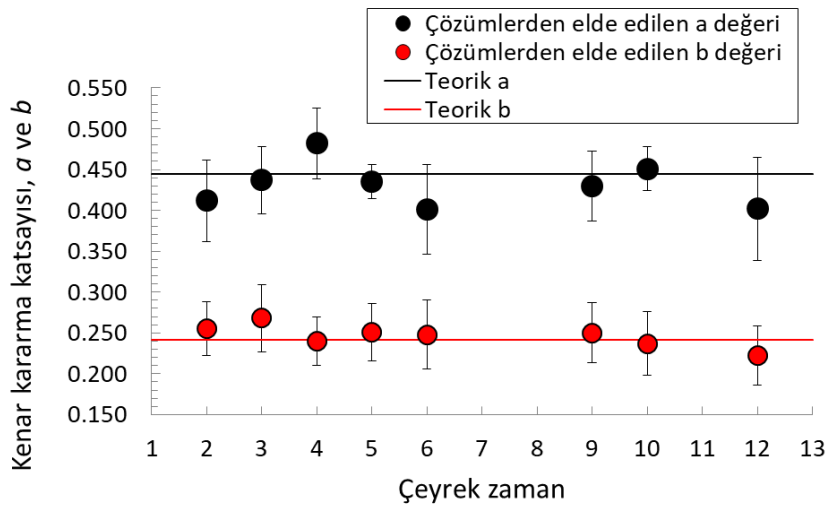
Şekil 6.9. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yörünge eğiminin (i) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararma varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.



Şekil 6.10. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen evre kaymasının ($\Delta\phi$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararma varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.



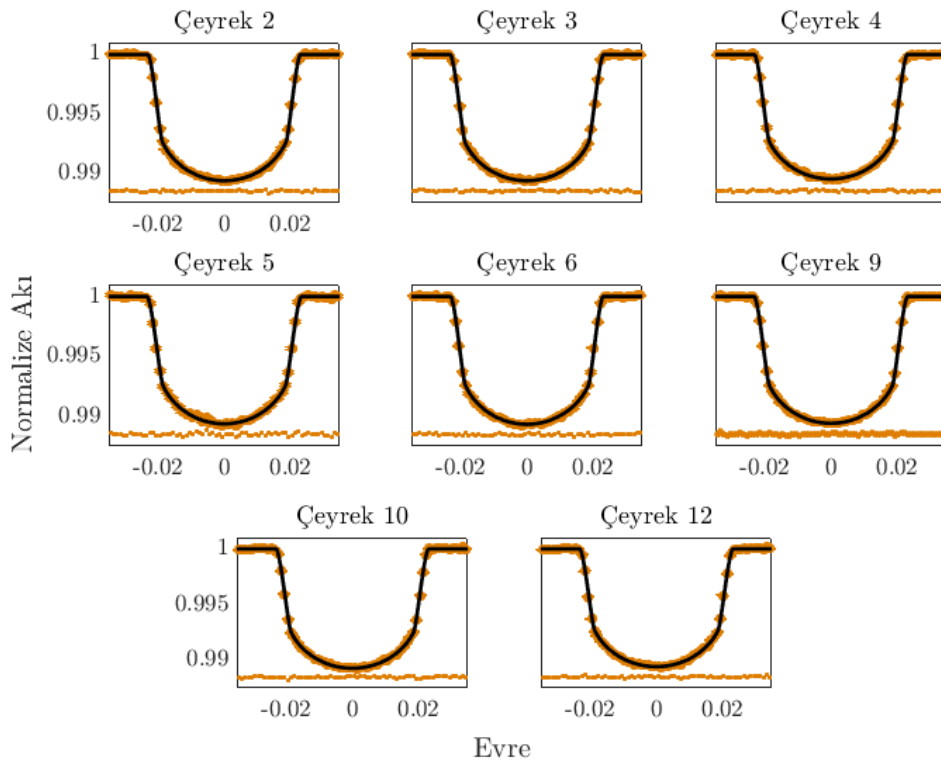
Şekil 6.11. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen lineer kenar kararma katsayısının (u) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, WinFitter ve lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. Siyah düz çizgi Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik u değerini temsil etmektedir.



Şekil 6.12. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için ikinci derece kenar kararma etkisi varsayımı altında JKTEBOP kodu çözümlerinden elde edilen ikinci derece kenar kararma sabitlerinin (a, b) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, çözümden elde edilen a ve b sabitlerini temsil etmektedir. Siyah ve kırmızı düz çizgiler sırasıyla Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik a ve b değerlerini temsil etmektedir.

Bu şekillerden görüldüğü üzere, Kepler-6b gezegen geçiş eğrilerinden elde edilen geçiş parametrelerinde, Kepler çeyrek zamanlarına göre bariz bir değişim görülmemekte hata sınırları içerisinde birbirleri ile uyumlu oldukları görülmektedir.

Winfitter çözümlerinden elde edilen teorik fitler ile birlikte JKTEBOP çözümlerinden elde edilen teorik fitler üst üste çizdirildiğinde birbirleri ile iç içe girdiği ve birbirlerinden ayırt edilemedikleri görülmüştür. Bu nedenle Kepler-6b ötegezegeninin her bir Kepler çeyrek zamanı içerisinde gözlenen geçiş eğrileri ile beraber sadece ikinci derece kenar kararma etkisi varsayımı altında JKTEBOP çözümlerinden elde edilen teorik fitler ve artıkları Şekil 6.13’de gösterilmiştir.

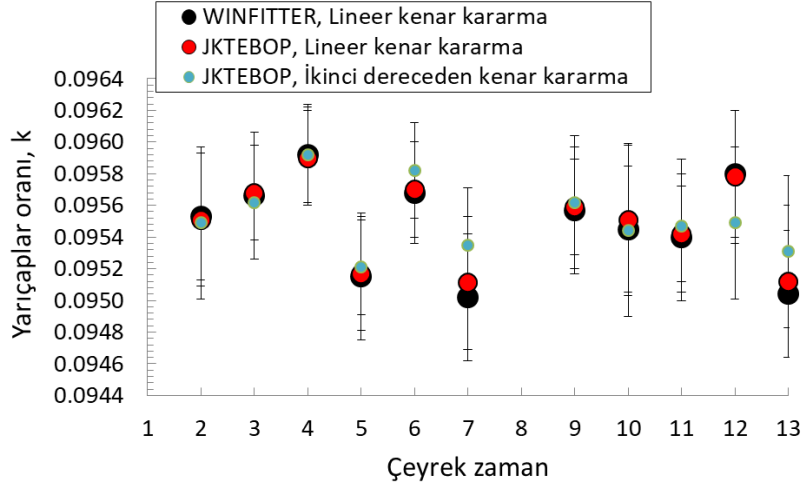


Şekil 6.13. Kepler-6b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Sarı noktalar, karşılık gelen Kepler çeyrek zamanı içerisinde gözlenen ve 0.001 evre aralıkları ile birleştirilen gözlemsel veriyi göstermektedir. Siyah düz çizgi ve diyagramların altında görülen sarı noktalar ise, sırasıyla, gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.

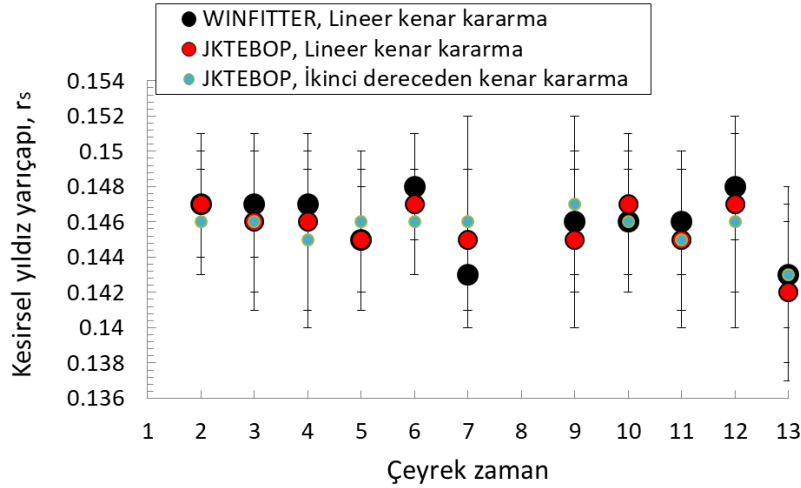
Kepler-6 ana yıldızının etkin sıcaklığı ve metal bolluğu literatürden alındığında (bkz. Ek 19), Kepler filtresi için lineer (u) ve ikinci dereceden (a, b) kenar kararma

katsayılarının teorik değerleri, Claret ve Bloemen (2011) tablolarında ara değer hesabı yapılarak $u = 0.625$, $a = 0.445$ ve $b = 0.241$ şeklinde elde edilmiştir. WinFitter ve JKTEBOP kodları ile yapılan geçiş eğrisi çözümlerinden lineer kenar kararma katsayısının ortalama değeri, sırasıyla, 0.579 ± 0.075 ve 0.580 ± 0.075 (bkz. Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.16) olarak bulunmuştur. Ayrıca, çözümlerden elde edilen u değerlerinin teorik değeri ile karşılaştırılması Şekil 6.11’de görsel olarak gösterilmiştir. Şekil 6.11’den görüldüğü üzere çözümlerden elde edilen u değeri, teorik u değeri ile hata mertebesinde uyumludur. Kepler-6b ötegezegeninin JKTEBOP kodu ile ikinci dereceden kenar kararma kabulü altında yapılan geçiş eğrisi fitlerinden ise ikinci derece kenar kararma katsayılarının ortalama değerleri $a = 0.431 \pm 0.043$ ve $b = 0.246 \pm 0.037$ şeklinde elde edilmiştir (bkz. Çizelge 6.19). Ayrıca, çözümlerden elde edilen a ve b değerlerinin teorik değerleri ile karşılaştırılması Şekil 6.12’de görsel olarak gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, Kepler-6b gezegeninin ikinci dereceden kenar kararma kabulü altında yapılan geçiş eğrisi analizlerinden elde edilen kenar kararma katsayıları, teorik olarak beklenen değerleri ile uyum içerisindedir.

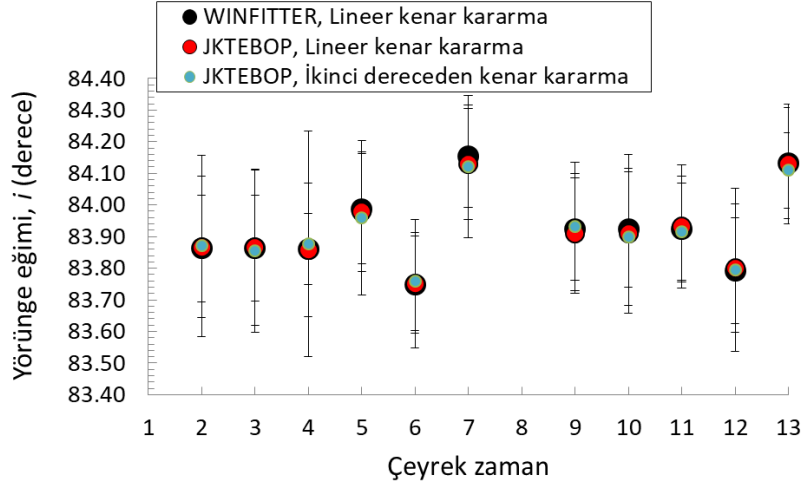
Kepler-8b ötegezegeni geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP çözümlerinden elde edilen yarıçapla oranının ($k = R_p/R_s$), kesirsel yıldız yarıçapı oranının ($r_s = R_s/a$), yörünge eğiminin (i), evre kaymasının ($\Delta\phi$), ana yıldızın lineer kenar kararma etkisi varsayımı altında lineer kenar kararma katsayısının (u) ve ana yıldızın ikinci dereceden kenar kararma etkisi varsayımı altında ikinci derece kararma katsayılarının (a, b) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi, sırasıyla, Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16, Şekil 6.17, Şekil 6.18 ve Şekil 6.19’da verilmiştir.



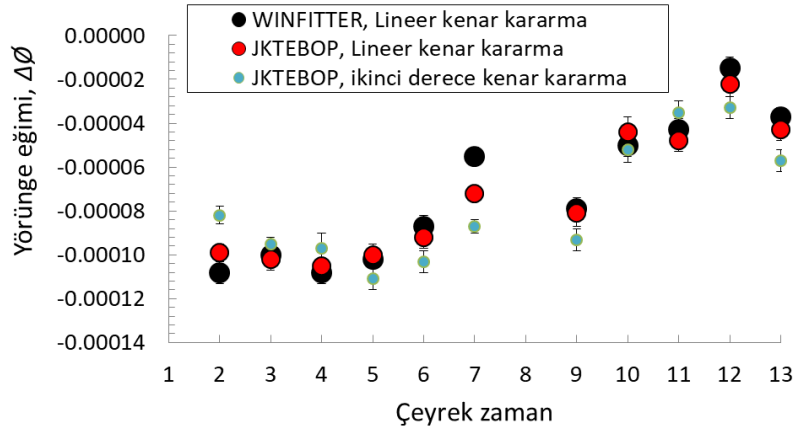
Şekil 6.14. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yarıçaplar oranının ($k = R_p/R_s$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar karar varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.



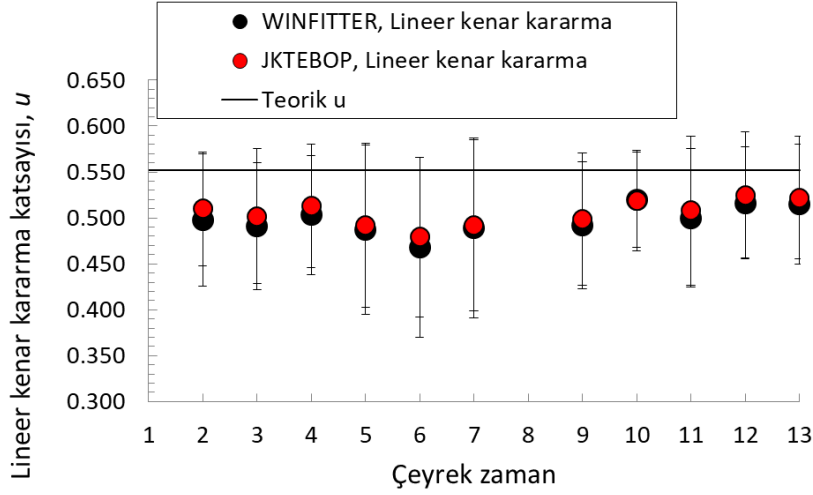
Şekil 6.15. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen kesirsel yıldız yarıçapı oranının ($r_s = R_s/a$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar karar varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.



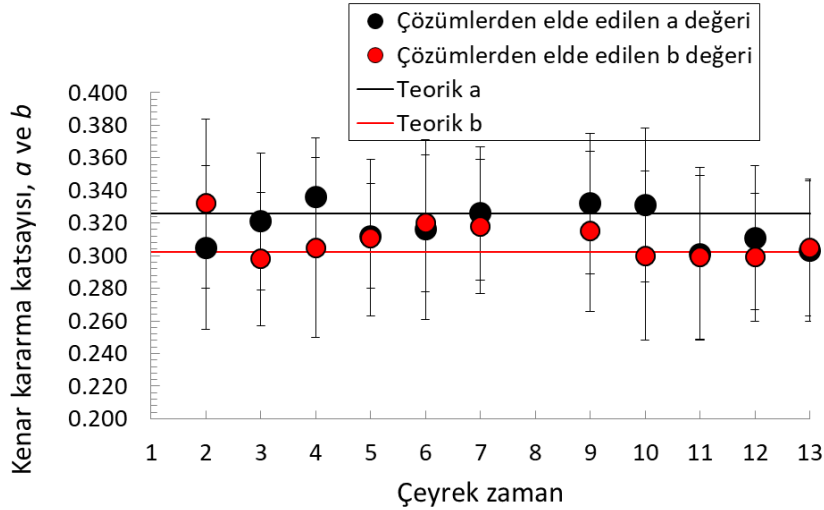
Şekil 6.16. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yörünge eğiminin (i) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararma varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.



Şekil 6.17. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen evre kaymasının ($\Delta\phi$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararma varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.

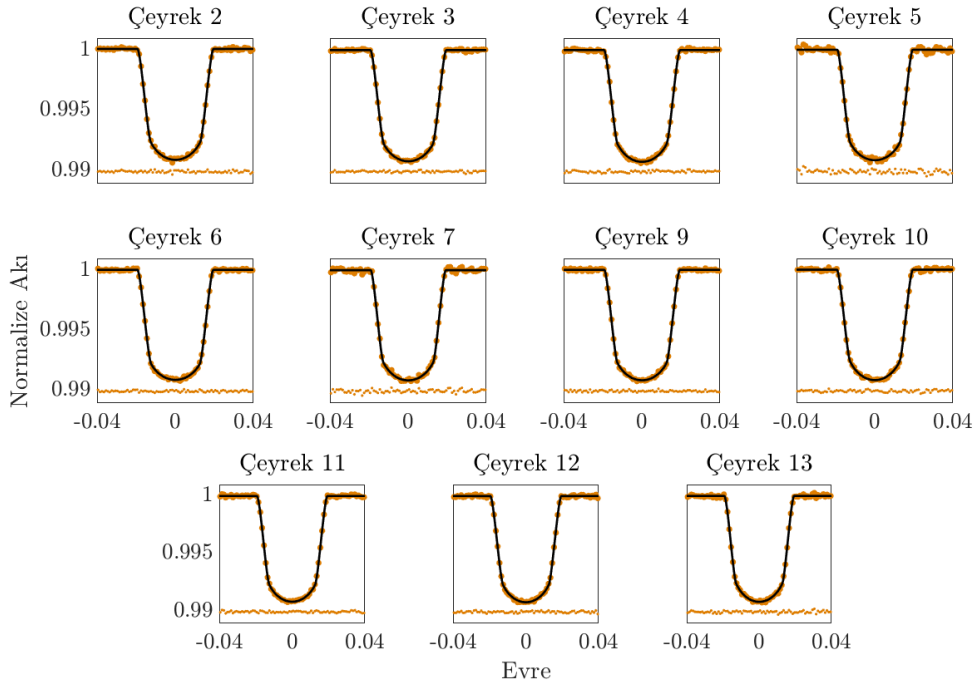


Şekil 6.18. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen lineer kenar kararma katsayısının (u) Kepler çeyrek zamanlara göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, WinFitter ve lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. Siyah düz çizgi Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik u değerini temsil etmektedir.



Şekil 6.19. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için ikinci derece kenar kararma etkisi varsayımı altında JKTEBOP kodu çözümlerinden elde edilen ikinci derece kenar kararma sabitlerinin (a, b) Kepler çeyrek zamanlara göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, çözümden elde edilen a ve b sabitlerini temsil etmektedir. Siyah ve kırmızı düz çizgiler sırasıyla Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik a ve b değerlerini temsil etmektedir.

Kepler-6b ötegezegenine benzer olarak, Winfitter çözümlerinden elde edilen teorik fitler ile birlikte JKTEBOP çözümlerinden elde edilen teorik fitler üst üste çizdirildiğinde birbirleri ile iç içe girdiği ve birbirlerinden ayırt edilemedikleri görülmüştür. Bu nedenle Kepler-8b ötegezegeninin her bir Kepler çeyrek zamanı içerisinde gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci derece kenar kararına etkisi varsayımı altında JKTEBOP çözümlerinden elde edilen teorik fitler ve artıkları Şekil 6.20’de gösterilmiştir.

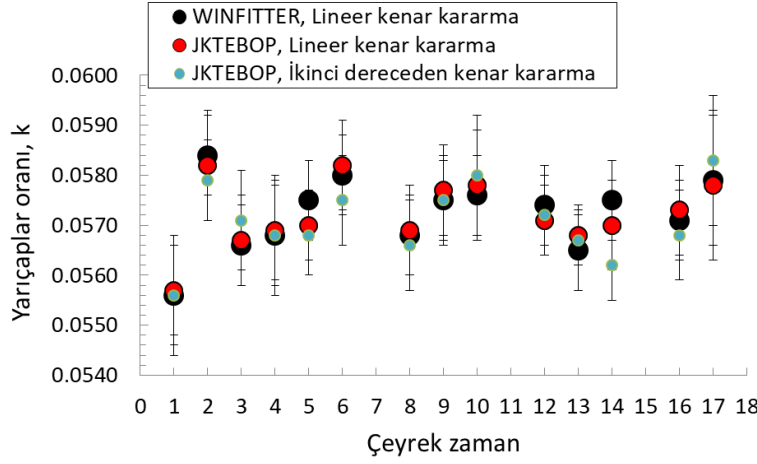


Şekil 6.20. Kepler-8b ötegezegeninin kısa poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Sarı noktalar, karşılık gelen Kepler çeyrek zamanı içerisinde gözlenen ve 0.001 evre aralıkları ile birleştirilen gözlemsel veriyi göstermektedir. Siyah düz çizgi ve diyagramların altında görülen sarı noktalar ise, sırasıyla, gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.

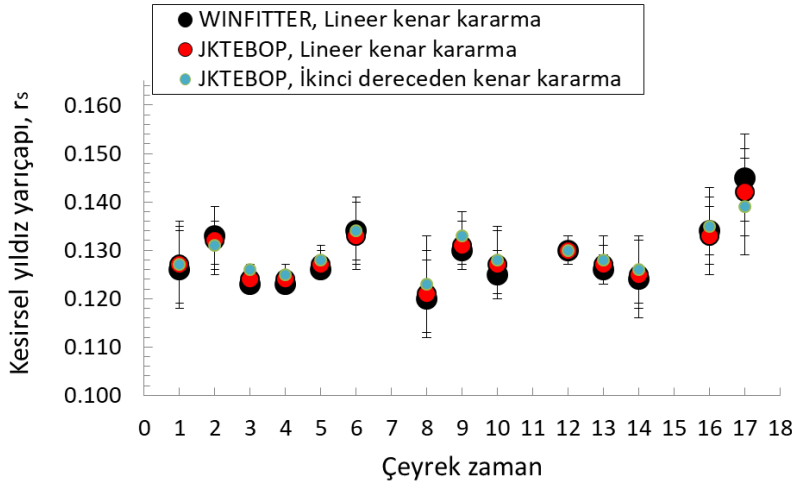
Kepler-8b gezegen geçiş eğrilerinden elde edilen geçiş parametrelerinin Kepler çeyrek zamanlarına göre bariz bir değişim göstermediği, hata sınırları içerisinde birbirleri ile uyumlu oldukları görülmektedir. Kepler-8 ana yıldızının etkin sıcaklığı ve metal bolluğu literatürden alındığında (bkz. Ek 20), Kepler filtresi için lineer (u) ve ikinci dereceden (a, b) kenar kararına katsayılarının teorik değerleri, Claret ve Bloemen (2011) tablolarında ara değer hesabı yapılarak $u = 0.552$, $a = 0.326$ ve $b = 0.302$ şeklinde elde

edilmiştir. WinFitter ve JKTEBOP kodları ile yapılan geçiş eğrisi çözümlerinden lineer kenar kararma katsayısının ortalama değeri, sırasıyla, 0.498 ± 0.073 ve 0.506 ± 0.074 (bkz. Çizelge 6.14 ve Çizelge 6.17) olarak bulunmuştur. Çözümlerden elde edilen u değerlerinin teorik değeri ile karşılaştırılması Şekil 6.18’de gösterilmiştir. Şekil 6.18’den görüldüğü üzere çözümlerden elde edilen u değeri, teorik u değeri ile hata mertebesinde uyumludur. JKTEBOP kodu ile ikinci dereceden kenar kararma kabulü altında yapılan geçiş eğrisi fitlerinden ise ikinci derece kenar kararma katsayılarının ortalama değerleri $a = 0.318 \pm 0.044$ ve $b = 0.309 \pm 0.046$ şeklinde elde edilmiştir (bkz. Çizelge 6.20). Çözümlerden elde edilen a ve b değerlerinin teorik değerleri ile karşılaştırılması Şekil 6.19’da görsel olarak gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, Kepler-8b gezegeninin geçiş eğrisi analizlerinden elde edilen kenar kararma katsayıları, teorik olarak beklenen değerleri ile uyum içerisindedir. Şekil 6.17’de Kepler-8b ötegezegeninin WinFitter ve JKTEBOP çözümlerinden elde edilen evre kayması ($\Delta\phi$) değerlerinin Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere, her iki yazılımdan elde edilen $\Delta\phi$ değerleri kendi aralarında uyumlu olmakla birlikte, Kepler çeyrek zamanlarının artan değerleri için 0.0001 mertebesinde bir artış eğiliminde görülmektedir. Bu artışın on binde bir mertebesi kadar küçük olması nedeniyle, Kepler çeyrek zamanlarına göre belirgin bir evre kaymasının görüldüğünden söz etmek mümkün değildir.

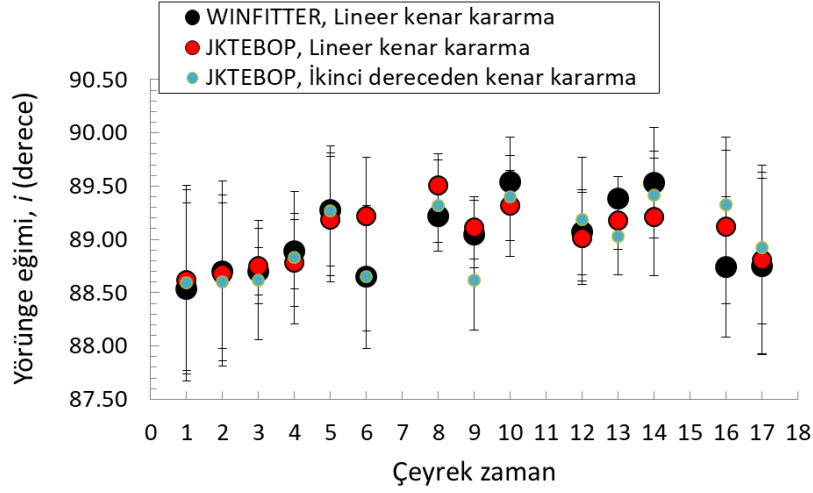
Son olarak, Kepler-40b ötegezegeni geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP çözümlerinden elde edilen yarıçapla oranının ($k = R_p/R_s$), kesirsel yıldız yarıçapı oranının ($r_s = R_s/a$), yörünge eğiminin (i), evre kaymasının ($\Delta\phi$), ana yıldızın lineer kenar kararma etkisi varsayımı altında lineer kenar kararma katsayısının (u) ve ana yıldızın ikinci dereceden kenar kararma etkisi varsayımı altında ikinci derece kararma katsayılarının (a, b) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi, sırasıyla, Şekil 6.21, Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24, Şekil 6.25 ve Şekil 6.26’de verilmiştir.



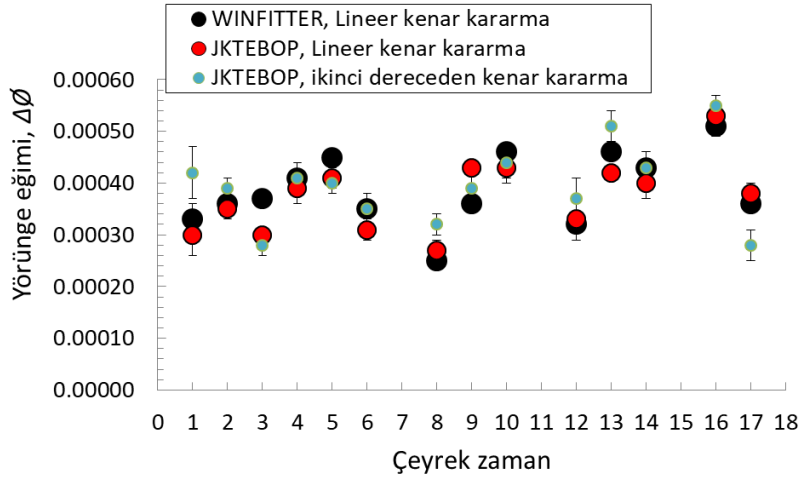
Şekil 6.21. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yarıçaplar oranının ($k = R_p/R_s$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararına varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.



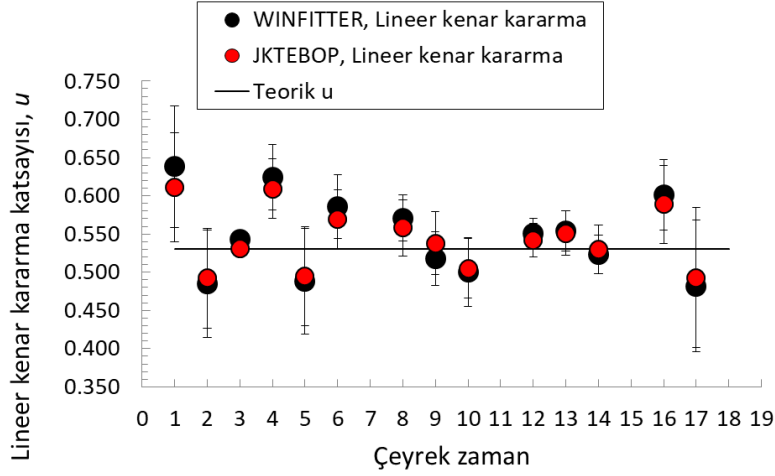
Şekil 6.22. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen kesirsel yıldız yarıçapı oranının ($r_s = R_s/a$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar kararına varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar kararına varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.



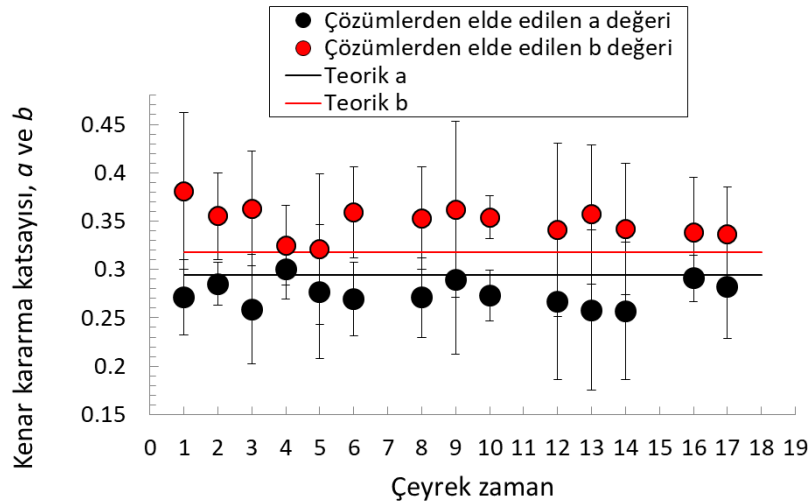
Şekil 6.23. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen yörünge eğiminin (i) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar karar varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.



Şekil 6.24. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen evre kaymasının ($\Delta\phi$) Kepler çeyrek zamanlarına göre değişimi. Siyah, kırmızı ve mavi noktalar, sırasıyla, lineer kenar karar varsayımı altında WinFitter çözümlerine, lineer kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine ve ikinci dereceden kenar karar varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir.



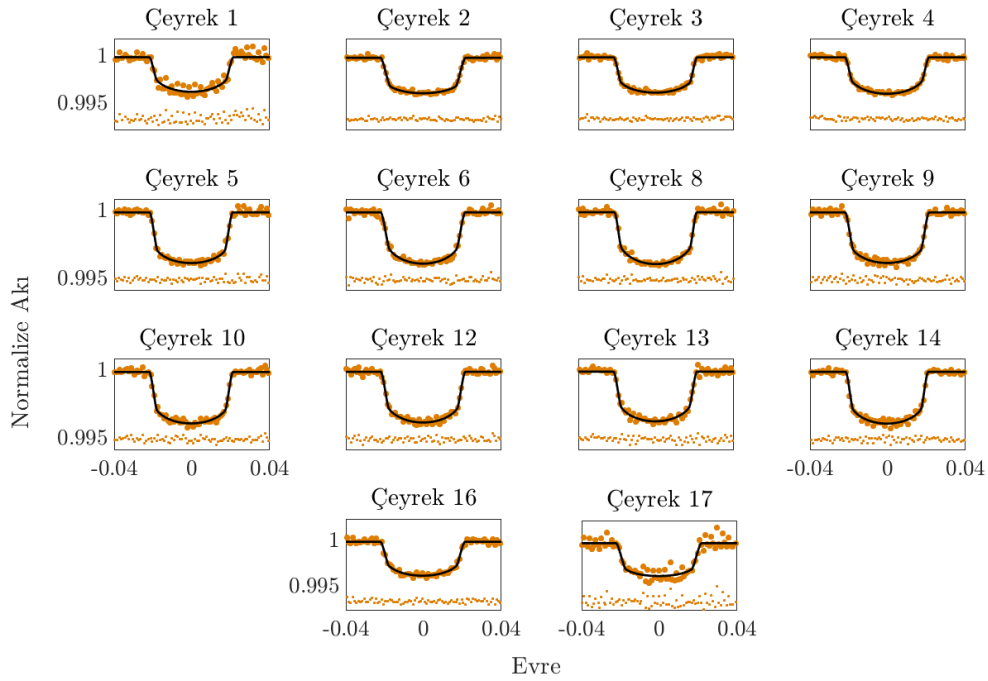
Şekil 6.25. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için WinFitter ve JKTEBOP kodları çözümlerinden elde edilen lineer kenar kararma katsayısının (u) Kepler çeyrek zamanlara göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, WinFitter ve lineer kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümlerine karşılık gelmektedir. Siyah düz çizgi Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik u değerini temsil etmektedir.



Şekil 6.26. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri için ikinci derece kenar kararma etkisi varsayımı altında JKTEBOP kodu çözümlerinden elde edilen ikinci derece kenar kararma sabitlerinin (a, b) Kepler çeyrek zamanlara göre değişimi. Siyah ve kırmızı noktalar, sırasıyla, çözümden elde edilen a ve b sabitlerini temsil etmektedir. Siyah ve kırmızı düz çizgiler sırasıyla Claret ve Bloemen (2011) tablolarından hesaplanan teorik a ve b değerlerini temsil etmektedir.

Kepler-40b gezegen geçiş eğrilerinden elde edilen geçiş parametrelerinin Kepler eyrek zamanlarına göre bariz bir değişim göstermediği, hata sınırları içerisinde birbirleri ile uyumlu oldukları görülmektedir.

Kepler-6b ve Kepler-8b tegezegenlerine benzer olarak, Winfitter çözümlerinden elde edilen teorik fitler ile birlikte JKTEBOP çözümlerinden elde edilen teorik fitler st üste çizdirildiğinde birbirleri ile i içe girdiği ve birbirlerinden ayırt edilemedikleri görülmüştür. Bu nedenle Kepler-40b ötegezegeninin sadece ikinci derece kenar kararma etkisi varsayımı altında JKTEBOP çözümlerinden elde edilen teorik fitler ve artıkları şekil 6.27’de gösterilmiştir.



şekil 6.27. Kepler-40b ötegezegeninin uzun poz süresinde gözlenen geçiş eğrileri ile beraber ikinci dereceden kenar kararma varsayımı altında JKTEBOP çözümünden elde edilen teorik fitleri ve artıkları. Sarı noktalar, karşılık gelen Kepler eyrek zamanı içerisinde gözlenen ve 0.001 evre aralıkları ile birleştirilen gözlemsel veriyi göstermektedir. Siyah düz çizgi ve diyagramların altında görülen sarı noktalar ise, sırasıyla, gözlemsel veriye yapılan teorik fitleri ve bu fitlerden elde edilen artıkları temsil etmektedir.

Kepler-40 ana yıldızının etkin sıcaklığı ve metal bolluğu literatürden alındığında (bkz. Ek 21), Kepler filtresi için lineer (u) ve ikinci dereceden (a, b) kenar kararma katsayılarının teorik değerleri, Claret ve Bloemen (2011) tablolarında ara değer hesabı yapılarak $u = 0.530$, $a = 0.294$ ve $b = 0.318$ şeklinde elde edilmiştir. WinFitter ve JKTEBOP kodları ile yapılan geçiş eğrisi çözümlerinden lineer kenar kararma katsayısının ortalama değeri, sırasıyla, 0.547 ± 0.045 ve 0.544 ± 0.045 (bkz. Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.18) olarak bulunmuştur. Çözümlerden elde edilen u değerlerinin teorik değeri ile karşılaştırılması Şekil 6.25'te gösterilmiştir. Şekil 6.25'ten görüldüğü üzere çözümlerden elde edilen u değeri, teorik u değeri ile hata mertebesinde uyumludur. JKTEBOP kodu ile ikinci dereceden kenar kararma kabulü altında yapılan geçiş eğrisi fitlerinden ise ikinci derece kenar kararma katsayılarının ortalama değerleri $a = 0.275 \pm 0.051$ ve $b = 0.349 \pm 0.061$ şeklinde elde edilmiştir (bkz. Çizelge 6.21). Çözümlerden elde edilen a ve b değerlerinin teorik değerleri ile karşılaştırılması Şekil 6.26'da görsel olarak gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, Kepler-40b gezegeninin geçiş eğrisi analizlerinden elde edilen kenar kararma katsayıları, teorik olarak beklenen değerleri ile uyum içerisindedir.

WinFitter ve JKTEBOP çözümlerinden elde edilen geçiş parametrelerinin, önceki çalışmalarda elde edilen değerleri ile karşılaştırması, Kepler-6b için Çizelge 6.22'de, Kepler-8b için Çizelge 6.23'de ve Kepler-40b için Çizelge 6.24'te verilmiştir. Bu tablolardan görüldüğü üzere, WinFitter ve JKTEBOP çözümlerinden elde edilen geçiş parametreleri, kendi aralarında ve literatürde verilen değerler ile hata sınırları içerisinde uyumludur.

Çizelge 6.22. Kepler-6b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması.

k	r_s	$i(^{\circ})$	u	a	b	Referans / Model-yazılım
$0.09829^{+0.00014}_{-0.00050}$	0.142(2)	86.8(3)	---	---	---	^[1] /MA modeli
$0.0955^{+0.0024}_{-0.0015}$	0.137(7)	$87.9^{+1.4}_{-1.7}$	---	$0.55^{+0.13}_{-0.11}$	$0.01^{+0.26}_{-0.27}$	^[2] /MA modeli
$0.092853^{+0.00003}_{-0.00004}$	0.1323(1)	$89.759^{+0.099}_{-0.082}$	---	$0.4691^{+0.003}_{-0.007}$	$0.1762^{+0.0176}_{-0.0059}$	^[3] /MA modeli
0.0947(2)	0.138(3)	87.55(30)	0.579(75)	---	---	^[4] /WinFitter
0.0947(2)	0.138(3)	87.55(30)	0.580(75)	---	---	^[5] /JKTEBOP
0.0946(3)	0.138(3)	87.55(36)	---	0.431(43)	0.246(37)	^[6] /JKTEBOP

^[1]Dunham ve ark. (2010). MA modeli: Mandel ve Agol (2002) modeli (bkz. Bölüm 2) ^[2]Kipping ve Bakos (2011) ^[3]Esteves ve ark. (2013) ^[4]WinFitter kodu ile yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.13). ^[5]JKTEBOP kodu lineer kenar kararma kabulü altında yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.16). ^[6]JKTEBOP kodu ikinci derece kenar kararma kabulü altında yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.19).

Çizelge 6.23. Kepler-8b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması.

k	r_s	$i(^{\circ})$	u	a	b	Referans/ Model-yazılım
$0.09809^{+0.00040}_{-0.00046}$	0.143(4)	84.07(33)	---	---	---	^[1] /MA modeli
$0.0942^{+0.0047}_{-0.0058}$	0.140(23)	$84.5^{+2.8}_{-1.6}$	---	$0.41^{+0.55}_{-0.25}$	$0.11^{+0.44}_{-0.83}$	^[2] /MA modeli
$0.094337^{+0.000099}_{-0.000085}$	0.1466(4)	$83.929^{+0.033}_{-0.034}$	---	$0.305^{+0.023}_{-0.014}$	$0.252^{+0.012}_{-0.032}$	^[3] /MA modeli
0.0955(4)	0.146(3)	83.91(16)	0.498(73)	---	---	^[4] /WinFitter
0.0955(4)	0.146(4)	83.92(21)	0.506(74)	---	---	^[5] /JKTEBOP
0.0955(4)	0.146(5)	83.92(23)	---	0.318(44)	0.309(46)	^[6] /JKTEBOP

^[1]Jenkins ve ark. (2010)MA modeli: Mandel ve Agol (2002) modeli (bkz. Bölüm 2). Jenkins ve ark. (2010), ikinci dereceden kenar kararına kabulü altında çözümlerini gerçekleştirmişlerdir. Kepler-8 ana yıldızının kenar kararına katsayı değerlerini, Rowe ve ark. (2010) çalışmasında verilen yöntemi izleyerek hesaplamışlardır ancak kenar kararına katsayılarının değerleri çalışmalarında verilmemiştir. ^[2]Kipping ve Bakos (2011) ^[3]Esteves ve ark. (2013) ^[4]WinFitter kodu ile yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.14). ^[5]JKTEBOP kodu lineer kenar kararına kabulü altında yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.17). ^[6]JKTEBOP kodu ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.20).

Çizelge 6.24. Kepler-40b ötegezegeninin elde edilen geçiş parametrelerinin literatür değerleri ile karşılaştırılması.

k	r_s	$i(^{\circ})$	u	a	b	Referans/ Model-yazılım
0.0565(4)	0.123(1)	$89.7^{+0.3}_{-0.1}$	$0.548^{+0.015}_{-0.010}$	---	---	^[1] /MA modeli
0.0572(9)	0.129(5)	89.00(48)	0.547(45)	---	---	^[2] /WinFitter
0.0572(9)	0.129(6)	89.04(53)	0.544(45)	---	---	^[3] /JKTEBOP
0.0571(9)	0.130(6)	88.99(58)	---	0.275(51)	0.349(61)	^[4] /JKTEBOP

^[1]Santerne ve ark. (2011). MA modeli: Mandel ve Agol (2002) modeli (bkz. Bölüm 2). ^[2]WinFitter kodu ile yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.15). ^[3]JKTEBOP kodu lineer kenar kararına kabulü altında yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.18). ^[4]JKTEBOP kodu ikinci derece kenar kararına kabulü altında yapılan çözüm sonuçlarının ağırlıklı ortalama değerleri (bkz. Çizelge 6.21).

Kepler-6, Kepler-8 ve Kepler-40 yıldız gezegen sistemlerinin gözlenen geçiş eğrileri çözümlerinden elde edilen fiziksel parametreleri Çizelge 6.25’da verilmiştir. Fiziksel parametreler hesaplanırken, ana yıldızların (M_s) ve gezegenlerin (M_p) kütleleri, ana yıldızların yarıçapları (R_s) literatürden alınmış (bkz. Kepler-6 için Ek 19, Kepler-8 için Ek 20, Kepler-40 için Ek 21) ve gezegen geçiş eğrisi çözümlerinden elde edilen geçiş parametrelerinin ortalama değerleri kullanılmıştır (bkz. Kepler-6 için Çizelge 6.19, Kepler-8 için Çizelge 6.20; Kepler-40 için Çizelge 6.21).

Bu çalışmada ele alınan Kepler ötegezegenlerinin Safronov sayıları ve yüzey denge sıcaklıkları (6.1) ve (6.2) denklemleri kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 6.25’te verilmiştir. Ötegezegenlerin Safronov sayıları ve yüzey denge sıcaklıkları hesaplanırken, kesirsel gezegen yarıçapları(R_p/a) ve kesirsel yıldız yarıçapları (R_s/a) bu çalışmada elde edilen değerlerden (bkz. Çizelge 6.24), ana yıldızların etkin sıcaklıkları (T_{etkin}) , gezegen (M_p) ve yıldız (M_s) kütleleri ise literatürden alınmıştır (bkz. Kepler-6 için Ek 19, Kepler-8 için Ek 20, Kepler-40 için Ek 21).

Çizelge 6.25. Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin bu çalışmada elde edilen fiziksel parametreleri.

Parametre	Kepler-6b	Kepler-8b	Kepler-40b
P (gün)	3.2346996(1)	3.5224990(3)	6.8731702(5)
T_0 (BJD _{TDB} -2400000)	54954.48619(4)	54954.11911(5)	55005.52106(6)
R_p/R_s	0.0945(3)	0.09552(7)	0.0571(9)
R_s/a	0.138(3)	0.146(5)	0.130(6)
R_p/a	0.013(1)	0.014(1)	0.007(1)
i ($^\circ$)	87.55(6)	83.92(3)	88.99(58)
R_p (R_J)	1.281(28)	1.382(59)	1.184(52)
ρ_p (cgs)	0.422(10)	0.303(41)	1.757(88)
$\log g_p$ (cgs)	3.007(82)	2.896(196)	3.592(410)
T_{eq} (K)	1483(55)	1679(62)	1660(53)
θ	0.0404(9)	0.0340(61)	0.1911(212)

BÖLÜM 7

KEPLER GÖZLEMLERİNİN GEZEĞEN GEÇİŞİ DIŞI IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ

Bu bölüm, Kepler uydu teleskobu gözlemleri yapılan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş-dışı ışık eğrilerinin çözümüne ayrılmıştır.

Yıldız-gezegen sistemlerinde, gezegenin yıldız önünden geçmesi kaynaklı yıldız akısında bir değişim görüldüğü gibi, gezegenin tüm yörünge hareketi boyunca da yıldızın gözlenen akısında birtakım küçük akı değişimleri görülebilmektedir. Bunun sebebi, yıldız gezegen sisteminin birbirlerine fiziksel olarak bağlı olması nedeniyle, gezegenin yörünge hareketi boyunca yıldızı tedirgin etmesinden ileri gelmektedir. Gezegen geçişi dışındaki bu akı değişimleri, yıldızın gezegene bakan bölgesinin gezegen çekimi kaynaklı şişimi dolayısı ile görülen elipsoidal etki, yıldızın yörünge hareketi boyunca ışığının periyodik olarak maviye (gözlemciye yaklaşırken) ve kırmızıya (gözlemciden uzaklaşırken) kayması dolayısıyla görülen Doppler vuru etkisi ve gezegenin yıldız arkasında olduğu ikinci tutulma evresinde gezegen atmosferinden yansıyan ışık kaynaklı yansıma etkisi kaynaklıdır (bkz. Mazeh ve Faigler 2010, Barclay ve ark. 2012, Esteves ve ark. 2013, Faigler ve Mazeh 2015).

Yukarıda bahsedilen üç etkiden kaynaklı akı değişim genliği ppm (milyonda bir) mertebesindedir. Bu nedenle, atmosfer etkileri nedeniyle yer tabanlı gözlemler aracılığıyla bu etkileri tespit edebilmek neredeyse imkânsızdır. Ancak Kepler (bkz. Borucki ve ark. 2010) ve CoRoT (bkz. Auvergne ve ark. 2009) gibi uydu gözlemlerinin duyarlılığı, gözlenen kaynak parlaklığına bağlı olarak, ppm (1 kadir $\sim 10^6$ ppm) mertebesine kadar inmekte ve bu etkilerin görülmesine olanak sağlamaktadır. Örneğin Kepler uydusu duyarlılığı, Kepler parlaklığı (K_p) 12 kadir olan bir kaynak için, gözlemin uzun veya kısa poz süresinde yapılmasına göre 80 – 450 ppm mertebesindedir (<https://keplergo.arc.nasa.gov/CalibrationSN.shtml>). Gözlem noktalarını birleştirme yöntemi (İng. Binning) ile bu duyarlılığı 1 ppm mertebesine kadar indirmek mümkündür (bkz. Esteves ve ark. 2013, Angerhausen ve ark. 2015, Budding ve ark. 2016).

Uydu gözlem verileriyle bile çok zor tespit edilebilen bu etkiler düşünüldüğünde, şüphesiz akla ilk gelen soru şudur: *Yakınlık etkilerinin astrofiziksel önemi nedir?* Astrofiziksel açıdan en önemli olarak, Doppler vuru etkisi genliği (A_{vuru}) ve elipsoidal değişim genliği (A_{elips}) doğrudan gezegen kütlesi (M_p) ile orantılı olduğundan, bu genliklerin hassas bir şekilde tespit edilmesi, gezegenin kütlesini fotometrik olarak tahmin etmeye olanak sağlamaktadır (bkz. Mazeh ve Faigler 2010, Faigler ve Mazeh 2011,

Esteves ve ark. 2013). Bu yöntemle, çok yüksek maliyetler gerektiren tayfsal gözlemlere gerek kalmadan, yıldızı tedirgin eden gezegen varlığı doğrulanabilmekte ve bundan da ötesi gezegen kütlesi hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir.

Yansıma etkisi kaynaklı akı değişimi ise gezegenin yıldız bakan yüzeyine gelen ışığın gezegen atmosferi tarafından soğurulması ve sonrasında termal olarak farklı dalga boylarında tekrar yayınlanması kaynaklı bir değişimdir (bkz. Reed ve ark. 2010, Barclay ve ark. 2012, Esteves ve ark. 2013, Fagiler ve Mazeh 2015). Bu nedenle, yansıma etkisi kaynaklı akı değişiminin tespit edilmesi, gezegenin atmosferik özelliklerinin (Bond albedo, geometrik albedo, gezegen denge sıcaklığı gibi) fotometrik olarak belirlenebilmesine olanak sağlamaktadır.

Elipsoidal etki, Doppler vuru etkisi ve yansıma etkisi aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

7.1. Elipsoidal Etki

Elipsoidal etki kaynaklı akı değişimi, yıldız akısında görülen periyodik bir değişimdir. Bu değişim, birbirlerine çekimsel olarak bağlı olan bir yıldız gezegen sisteminde, yıldızın gezegene bakan bölgesinin, gezegen tarafından uygulanan çekim kuvveti nedeniyle gezegene doğru bir şişme göstermesi kaynaklıdır. Bu nedenle, yıldızın şişme doğrultusunun gözlemcinin bakış doğrultusuna dik olduğu anda (0.25 ve 0.75 evrelerinde) gözlemci tarafından görülen yıldız yüzey alanı maksimum iken şişme doğrultusunun gözlemci bakış doğrultusuna paralel olduğu gezegen geçişi ve gezegenin yıldız arkasında olduğu anlarda (0.0 ve 0.5 evreleri) gözlemci tarafından görülen yıldız yüzey alanı minimum olmaktadır. Dolayısı ile elipsoidal etki kaynaklı akı değişimleri, 0.25 ve 0.75 evrelerinde maksimum iken 0.00 ve 0.50 evrelerinde minimum değerindedir. Bu durum, elipsoidal etki kaynaklı akı değişiminin döneminin, yıldız gezegen sisteminin yörünge döneminin yarısı kadar olması gerektiğini göstermektedir; $P_{elips} = P_{orb}/2$ (bkz. Mazeh ve Faigler 2010, Esteves ve ark. 2013, Faigler ve Mazeh 2015).

Periyodik bir akı değişimi olan elipsoidal etki kaynaklı akı değişimi, bu nedenle, Mazeh ve Faigler (2010) ve Faigler ve Mazeh (2015) tarafından önerildiği gibi, yaklaşık olarak sinüs / kosinüs fonksiyonu cinsinden aşağıdaki gibi modellenebilir.

$$F_{elips} = -A_{elips} \cos\left(\frac{2\pi}{P_{elips}}(t - T_c)\right) = -A_{elips} \cos(4\pi \times E) \quad (7.1)$$

(7.1) denkleminde A_{elips} , t , T_c ve E , sırasıyla, elipsoidal etki kaynaklı akı değişim genliğini, gözlem zamanını, geçiş ortası zamanı ve yörünge evresini ($E = \frac{t-T_c}{P_{orb}}$) temsil etmektedir.

Morris ve Naftilan (1993), Kopal (1959) tarafından periyodik akı değişimlerinin Fourier seri açılımı olarak gösterildiği serileri kullanılarak, A_{elips} genliğini aşağıdaki gibi elde etmiştir (ayrıca bkz. Mazeh ve Faigler 2010, Barclay ve ark. 2012, Esteves ve ark. 2013, Faigler ve Mazeh 2015).

$$A_{elips} = \alpha_{elips} \frac{M_p \sin i}{M_s} \left(\frac{R_s}{a} \right)^3 \sin i \quad (7.2)$$

$$A_{elips} = 128 \alpha_{elips} \sin i \left(\frac{R_s}{R_\odot} \right)^3 \left(\frac{M_s}{M_\odot} \right)^{-2} \left(\frac{P_{orb}}{\text{gün}} \right)^{-2} \left(\frac{M_p \sin i}{10 M_J} \right) \text{ppm} \quad (7.3)$$

Burada α_{elips} terimi ise sabit bir katsayıdır ve aşağıdaki gibi tanımlanır (bkz. Mazeh ve Faigler 2010, Barclay ve ark. 2012, Esteves ve ark. 2013, Faigler ve Mazeh 2015).

$$\alpha_{elips} = 0.15 \frac{(15+u)(1+g)}{3-u} \quad (7.4)$$

Burada u ve g , sırasıyla, lineer kenar kararma katsayısı ve çekim kararma katsayılarıdır. Faigler ve Mazeh (2015), α_{elips} katsayısının, F-G-K tayf türündeki yıldızlar için 1.0 ile 2.4 değerleri arasında bir değere sahip olması gerektiğini önermişlerdir.

Bölüm 6'da değinildiği üzere, Kepler-6 ana yıldızı için lineer kenar kararma katsayısı Claret ve Bloemen (2011) tablolarında ara değer hesabı yapılarak $u = 0.625$ değerinde hesaplanmıştır. Benzer şekilde Kepler-6 ana yıldızının etkin sıcaklığı ve metal bolluğu literatürden alındığında (bkz. Ek 19), Kepler filtresi çekim kararma katsayısı Claret ve Bloemen (2011) tablolarında ara değer hesabı yapılarak çekim kararma katsayısı $g = 0.397$ değerinde hesaplanmıştır. Kepler-6 ana yıldızının lineer kenar kararma ve çekim kararma katsayıları (7.4) denkleminde yerine yazıldığından α_{elips} terimi 1.379 değerinde hesaplanmıştır.

Kepler-8 ana yıldızı için lineer kenar kararma katsayısı Bölüm 6'da $u = 0.552$ olarak verilmiştir. Kepler-8 ana yıldızının etkin sıcaklığı ve metal bolluğu literatürden alındığında (bkz. Ek 20), Kepler filtresi için çekim kararma katsayısı Claret ve Bloemen

(2011) tablolarında ara değer hesabı yapılarak $g = 0.299$ değerinde hesaplanmıştır. Lineer kenar kararma ve çekim kararma katsayıları (7.4) denkleminde yerine yazıldığından, Kepler-8 ana yıldızı için α_{elips} terimi 1.238 değerinde elde edilir.

Lineer kenar kararma katsayısı Bölüm 6'da $u = 0.530$ olarak elde edilen Kepler-40 ana yıldızının çekim kararma katsayısı, ana yıldızın etkin sıcaklığı ve metal bolluğu literatürden alındığında (bkz. Ek 21) Kepler filtresi için $g = 0.276$ değerinde elde edilmiştir. Lineer kenar ve çekim kararma katsayılarının bu değerleri (7.4) denkleminde yerine yazıldığına α_{elips} terimi Kepler-40 yıldız-gezegen sistemi için 1.205 değerinde elde edilir.

7.2. Doppler Vuru Etkisi

Doppler vuru etkisi kaynaklı akı değişimi, yıldız parlaklığının, yıldızın yörünge hareketi boyunca gösterdiği periyodik değişimdir. Yıldız parlaklığındaki bu değişim, yıldızın dikine hızı ile doğru orantılıdır. Yıldızın dikine hızı, gezegen kütleline ve gezegenin yıldıza olan uzaklığına (veya yörünge dönemine) bağlı olduğundan, Doppler vuru etkisi de tamamen gezegen kütleline ve uzaklığına (dönemine) doğrudan bağlıdır. Bu nedenle, periyodik bir değişimi olan Doppler vuru etkisi kaynaklı akı değişimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir (bkz. Mazeh ve Faigler 2010, Barclay ve ark. 2012, Esteves ve ark. 2013).

$$F_{vuru} = A_{vuru} \sin\left(\frac{2\pi}{P_{vuru}}(t - T_c)\right) = A_{vuru} \sin(2\pi \times E) \quad (7.5)$$

Burada A_{vuru} , Doppler etkisi nedeniyle yıldız akısında görülen değişim genliğidir. Doppler vuru etkisi, yıldız dikine hızı ile orantılı olduğundan, vuru etkisi kaynaklı akı değişimi dönemi, gezegenin yörünge dönemine eşittir. $P_{vuru} = P_{orb}$. Dolayısı ile (7.5) denkleminde görülen $\frac{(t-T_c)}{P_{vuru}}$ terimi, $\frac{(t-T_c)}{P_{orb}} = E$ olarak (7.5) denklemdeki gibi yazılabilir.

A_{vuru} genliği, K_{RV} dikine hız yarı genliğine bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir (bkz. Mazeh ve Faigler 2010, Faigler ve Mazeh 2011, Barclay ve ark. 2012, Esteves ve ark. 2013).

$$A_{vuru} = \alpha_{vuru} \frac{4K_{RV}}{c} \quad (7.6)$$

$$A_{vuru} = 27\alpha_{vuru} \left(\frac{M_s}{M_\odot}\right)^{-2/3} \left(\frac{P_{orb}}{\text{gün}}\right)^{-1/3} \left(\frac{M_p \sin i}{10M_J}\right) \text{ppm} \quad (7.7)$$

(7.6) ve (7.7) denklemlerinde görülen c terimi ışık hızını, α_{vuru} terimi ise gözlemin yapıldığı dalga boyuna bağlı olarak değişen bir sabittir. Bolometrik (tüm dalga boyları aralığında) fotometrik gözlem yapıldığı durumda $\alpha_{vuru} = 1$ alınır. Ancak belirli bir dalga boyu aralığına sahip filtreler/süzgeçler ile yapılan gözlemlerde kullanılan filtrenin dalga boyu aralığına bağlı olarak sadece belirli dalga boylarındaki ışığı gözlenebildiğinden α_{vuru} terim farklı değerler alabilir. Örneğin Kepler uydu gözlemleri, 400–900 nm arasında geniş bir dalgaboyu aralığında yapılmıştır (bkz. Borucki vd. 2010). Bu dalgaboyu aralığında yapılan gözlemler için α_{vuru} teriminin alabileceği değer, Mazeh ve Faigler (2011) tarafından, 0.8 ile 1.2 arasında olması gerektiği tahmin edilmiştir.

7.3. Yansıma Etkisi

Yansıma etkisi kaynaklı akı değişimi, gezegenin yıldızın bakan yüzeyinden yansıyan ışıkla gezegen atmosferi tarafından soğurulan ve sonrasında termal olarak farklı dalga boylarında tekrar yayınlanan ışık kaynaklı bir değişimdir (bkz. Reed ve ark. 2010, Barclay ve ark. 2012, Esteves ve ark. 2013, Faigler ve Mazeh 2011, Faigler ve Mazeh 2015). Yansıma etkisi kaynaklı akı değişimi, gezegenin tam yıldız arkasında olduğu 0.5 evresinde maksimum değerde iken, 0.5 evresinden uzaklaştıkça azalma göstermektedir. Bu nedenle, evre kaymasının olmadığı durumda, bu akı değişimi basit bir yaklaşım olarak aşağıdaki gibi verilebilir (bkz. Mazeh ve Faigler 2010, Faigler ve Mazeh 2011, Faigler ve Mazeh 2015).

$$F_{yan} = -A_{yan} \cos\left(\frac{2\pi}{P_{orb}}(t - T_c)\right) = -A_{yan} \cos(2\pi \times E) \quad (7.8)$$

(7.8) denkleminde A_{yan} , yansıma etkisi kaynaklı akı değişim genliği olmakla birlikte, gezegenin geometrik albedosu (A_g) ve gezegen yüzey alanı (R_p^2) ile orantılı iken, gezegenin yıldızın olan uzaklığının karesi (a^2) ile ters orantılıdır (bkz. Mazeh ve Faigler 2010, Faigler ve Mazeh 2011, Barclay ve ark. 2012, Esteves ve ark. 2013).

$$A_{yan} = A_g \left(\frac{R_p}{a}\right)^2 \sin i \quad (7.9)$$

$$A_{yan} = 0.1\alpha_{yan} \left(\frac{R_p}{a}\right)^2 \sin i \quad (7.10)$$

Burada α_{yan} terimi sabit bir sayı olup, geometrik albedo değerine doğrudan bağlıdır. Gezegen denge sıcaklığı López-Morales ve Seager (2007) tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir (ayrıca bkz. Esteves ve ark. 2013).

$$T_{eq} = T_{etkin} \sqrt{\frac{R_s}{a}} [f(1 - A_B)]^{1/4} \quad (7.11)$$

(7.11) denkleminde A_B terimi gezegenin bond albedosunu temsil etmektedir ve geometrik Albedo ile arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir (bkz. Esteves ve ark. 2013).

$$A_B = \frac{3}{2} A_g \quad (7.12)$$

f terimi ise, gezegen atmosferi tarafından soğurulan ve sonrasında termal olarak farklı dalga boylarında tekrar yayınlanan ışığı hesaba katan tekrar ışıınım yayma faktörüdür. f , gezegenin atmosferik yapısına bağlı olarak farklı değerler alabilir. Örneğin, gezegen atmosferi boyunca homojen bir tekrar ışıınım varsa alacağı değer $f = 1/4$ iken, sadece yıldızı gören gezegen atmosfer bölgesi (gezegenin gün yüzü) tarafından tekrar ışıınım var ise bu değer $f = 2/3$ olmaktadır. Dolayısıyla f faktörünün gerçek değeri 1/4 ile 2/3 arasındadır (bkz. Esteves ve ark. 2013).

7.4. Gezegen Geçiş Dışı Işık Eğrisi Modeli

Kepler-6, Kepler-8 ve Kepler-40 yıldız gezegen sistemlerinin geçiş dışı fotometrik analizi, Mazeh ve Faigler (2010) tarafından önerilen model ile yapılmıştır (ayrıca bkz. Faigler ve Mazeh 2011). Bu modelde gezegen geçiş dışı akı değişimi (F_{out}), yukarıda anlatılan Doppler vuru, elipsoidal ve yansıma etkileri akı değişimlerinin toplamı olarak aşağıdaki gibi modellenir.

$$F_{out} = F_{vuru} + F_{yan} + F_{elips} \quad (7.13)$$

$$F_{out} = A_{vuru} \sin(2\pi \times E) - A_{yan} \cos(2\pi \times E) - A_{elisp} \cos(4\pi \times E) \quad (7.14)$$

Yukarıdaki ifade aslında bir Fourier seri açılımına benzemektedir. $f(x)$ gibi bir fonksiyonun Fourier seri açılımı aşağıdaki gibi verilir (bkz. Arfken 1985).

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(nx) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(nx) \quad (7.15)$$

Burada a_0 , a_n ve b_n birer sabittir ve Fourier katsayıları olarak adlandırılır. Geçiş dışı akı değişim fonksiyonu olan F_{out} Fourier seri açılımı cinsinden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$F_{out} = a_0 + \sum_{n=1}^2 a_n \cos(2n\pi E) + \sum_{n=1}^2 b_n \sin(2n\pi E) \quad (7.16)$$

$$F_{out} = a_0 + a_1 \cos(2\pi E) + a_2 \cos(4\pi E) + b_1 \sin(2\pi E) + b_2 \sin(4\pi E) \quad (7.17)$$

Geçiş dışı akı modeli Fourier serisinin ilk 5 katsayısı ile temsil edilebilir olduğu yukarıdaki denklem ile görülebilmektedir. Burada a_0 normalize yapılan akı için 1 değerinde, $a_1 = -A_{yan}$ yansıma etkisi genliğini, $a_2 = -A_{elips}$ elipsoidal etki genliğini, $b_1 = A_{vuru}$ Doppler vuru etkisi genliğini temsil etmektedir. b_2 katsayısını içeren herhangi bir fiziksel model bulunmadığından, bu model ile yapılan gezegen geçişi dışı akı değişimi analizlerinde b_1 teriminin sıfıra yakın olması beklenir (bkz. Mazeh ve Faigler 2010, Faigler ve Mazeh 2011, Faigler ve Mazeh 2015).

Kepler-6, Kepler-8 ve Kepler-40 yıldız gezegen sistemlerinde Doppler vuru, yansıma ve elipsoidal etkileri inceleyebilmek için, MATLAB programında Levenberg- Marquardt algoritmasını kullanan beş parametrelili bir Fourier fiti kodu yazılmıştır. Her bir sistemin gezegen geçişi dışı ışık eğrisinde kullanılan gözlemsel veri hakkında bilgi aşağıda verilmiştir.

Kepler-6 ve Kepler-8 sistemlerinin gezegen geçişi dışındaki ışık eğrisi analizlerinde gözlemsel veri olarak, Bölüm 6'da belirtildiği üzere, tüm Kepler çeyrek zamanları boyunca kısa poz süresinde elde edilen gözlem verileri kullanılmıştır. Kepler gözlemleri sadece uzun poz süresinde yapılan Kepler-40 sistemi için ise tüm Kepler çeyrek zamanları süresince alınan uzun poz süreli Kepler gözlemleri kullanılmıştır. Analizde kullanılan gezegen geçişi dışında alınan yıldız akıları ve bu akıların gözlemlendiği zamanlar, NEA veri tabanından alınan normalize edilmiş PDCSAP akı değerleri ve bu akıların gözlemlendiği BJD zamanlarıdır. BJD zamanları, Bölüm 5'de elde edilen güncel lineer ışık elemanları kullanılarak evrelendirilmiştir (bkz. Kepler-6b için Çizelge 5.8, Kepler-8b için Çizelge 5.9,

Kepler-40b için Çizelge 5.10). Daha hassas bir gezegen geçişi dışı yıldız akı değişimi analizi için, Kepler-6, Kepler-8 ve Kepler-40 sistemlerinin gözlem verilerinde aşağıdaki düzenlemeler yapılmıştır.

Evre kayması ve normalize akı düzeltme işlemi: Bölüm 6’da, her bir yıldız gezegen sisteminin her bir Kepler çeyrek zamanı için normalize akı (U) değerleri ile birlikte evre kayması değerleri ($\Delta\phi$) verilmiştir (bkz. Kepler-6b için Çizelge 6.19, Kepler-8b için Çizelge 6.20, Kepler-40b için Çizelge 6.21). Her bir Kepler çeyrek zamanı için ayrı ayrı olmak üzere, tüm sistemlerin gezegen geçiş dışı ışık eğrilerini 1’e normalize etmek için, gözlenen akı değerlerine $|1 - U|$ değeri kadar ekleme/çıkarma işlemi yapılarak normalize akı düzeltmesi yapılmıştır. Benzer şekilde, her bir Kepler çeyrek zamanı gözlemi için ayrı ayrı olmak üzere, gözlem noktası evresinden, karşılık gelen Kepler çeyrek zamanı için elde edilen $\Delta\phi$ evre kayması değerleri çıkartılarak evre kayması düzeltmesi yapılmıştır.

Tüm Kepler çeyrek gözlemlerinin birleştirilmesi: Her bir Kepler çeyrek gözlemi için evre ve akı düzeltmesi yapıldıktan sonra, tüm Kepler çeyrek gözlem verileri her bir yıldız gezegen sistemi için ayrı ayrı birleştirilmiştir.

Tekrar gözlem verisi birleştirme işlemi: MATLAB kodunun normal bir PC ile çözüme ulaşabilmesi için, her bir yıldız gezegen sistemi için ayrı ayrı olmak üzere, bir önceki adımda elde edilen tüm Kepler çeyrek zamanı gözlemleri 0.01 evre aralıkları ile birleştirilmiş ve bu evre aralıklarındaki normalize akı değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Bu sayede gözlem noktası sayısı azaltılmıştır.

Her bir sistemin gezegen geçişi dışı ışık eğrisine yapılan beş parametrelili Fourier fiti sonucu elde edilen Fourier katsayıları (elipsoidal, yansıma ve Doppler vuru etkisi genlikleri) Çizelge 7.1’de verilmiştir. Gezegen geçişi dışı fitinden elde edilen teorik fitler ile birlikte gözlem noktaları, Kepler-6 sistemi için Şekil 7.1’de, Kepler-8 sistemi için Şekil 7.2’de ve Kepler-40 sistemi için Şekil 7.3’te verilmiştir. Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş dışı ışık eğrisi analizleri sonucu hesaplanan fiziksel parametreleri Çizelge 7.2 de verilmiştir. Çizelge 7.2’de verilen fiziksel parametrelerin hesaplamalarında izlenen yol aşağıda açıklanmıştır.

Geometrik Albedo hesabı, A_g : (7.9) denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu denklemdeki R_p/a teriminin değeri geçiş eğrisi analizinden elde edilen değerdir (bkz. Çizelge 6.25).

Bond Albedo hesabı, A_B : (7.11) denkleminde hesaplanmıştır.

$\alpha_{vuru} = 0.8$ kabulü altında gezegen kütlesi hesabı, $M_p (\alpha_{vuru} = 0.8)$: (7.7) denkleminde $\alpha_{vuru} = 0.8$ ve bu çalışmada elde edilen A_{vuru} genliği (bkz. Çizelge 7.1) için hesaplanmıştır. (7.7) denklemdeki M_s değeri literatürden (bkz. Kepler-6 için Ek 19, Kepler-8 için Ek 20, Kepler-40 için Ek 21), P_{orb} değeri bu çalışmada yapılan TTV analizinden (bkz. Kepler-6b için Çizelge 5.8, Kepler-8b için Çizelge 5.9, Kepler-40b için Çizelge 5.10) ve i değeri bu çalışmada yapılan geçiş eğrisi analizlerinden (bkz. Çizelge 6.25) alınmıştır.

Çizelge 7.1. Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş dışı ışık eğrileri fitleri sonucu elde edilen parametreler.

Fourier kat.	Tanım	Fit çözümü			Çözüm aralığı (ppm)
		Kepler-6	Kepler-8	Kepler-40	
a_0	Normalize akı	1	1	1	[1]*
a_1	$-A_{yan}$ (ppm)	-11.0	-11.9	-4.9	[-100, 0]
b_1	A_{vuru} (ppm)	1.0	0.9	2.7	[0, 100]
a_2	$-A_{elips}$ (ppm)	-1.6	-3.6	-2.3	[-100, 0]
b_2	---	0	0	0	[0] *

*Çözümde sabit alınan parametre

Çizelge 7.2. Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş dışı ışık eğrileri fitleri sonucu hesaplanan fiziksel parametreler.

Parametre	Kepler-6b	Kepler-8b	Kepler-40b
A_g	0.065 ± 0.038	0.061 ± 0.035	0.084 ± 0.061
A_B	0.097 ± 0.057	0.092 ± 0.053	0.126 ± 0.092
$M_p(\alpha_{vuru} = 0.8) (M_J)$	0.778 ± 0.150	0.725 ± 0.152	3.087 ± 1.220
$M_p(\alpha_{vuru} = 1.2) (M_J)$	0.518 ± 0.090	0.483 ± 0.095	2.058 ± 1.130
$M_{p,elips}(M_J)$	0.516 ± 0.215	1.279 ± 0.740	1.598 ± 1.050
$T_{eq}(f = 1/4) (K)$	1446 ± 69	1638 ± 111	1601 ± 109
$T_{eq}(f = 2/3) (K)$	1848 ± 74	2094 ± 124	2046 ± 122

$\alpha_{vuru} = 1.2$ kabulü altında gezegen kütlesi hesabı, $M_p (\alpha_{vuru} = 1.2)$: (7.7) denkleminde $\alpha_{vuru} = 1.2$ ve bu çalışmada elde edilen A_{vuru} genliği (bkz. Çizelge 7.1)

için hesaplanmıştır. (7.7) denklemdeki M_s değeri literatürden (bkz. Kepler-6 için Ek 19, Kepler-8 için Ek 20, Kepler-40 için Ek 21), P_{orb} değeri bu çalışmada yapılan TTV analizinden (bkz. Kepler-6b için Çizelge 5.8, Kepler-8b için Çizelge 5.9, Kepler-40b için Çizelge 5.10) ve i değeri bu çalışmada yapılan geçiş eğrisi analizlerinden (bkz. Çizelge 6.25) alınmıştır.

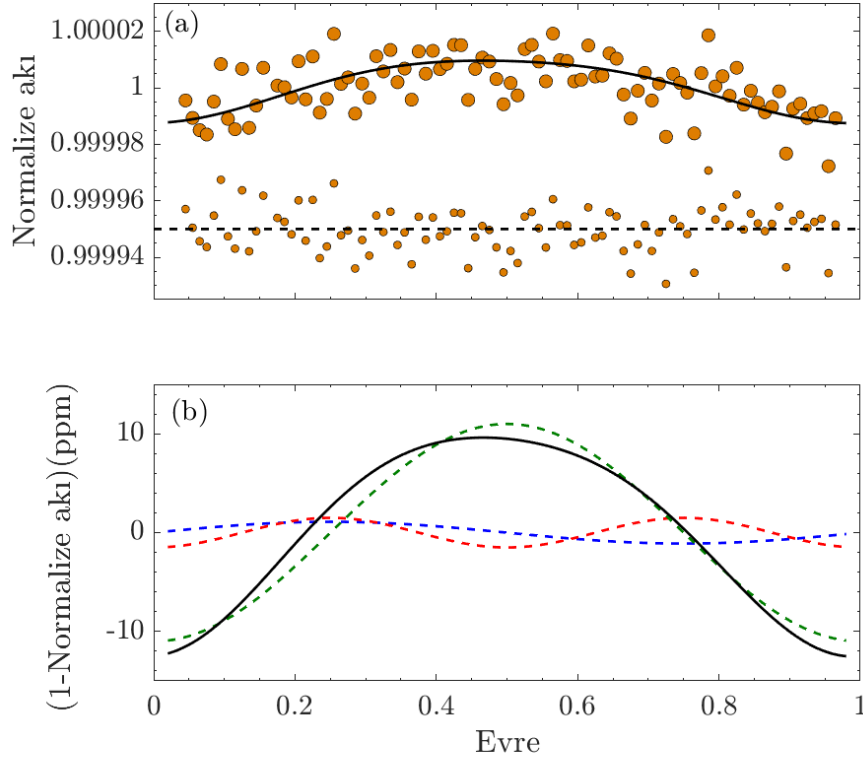
Elipsoidal değişim genliğinden gezegen kütlesi hesabı, $M_{p,elips}$: (7.3) denklemi kullanılarak bu çalışmada elde edilen A_{elips} genliği (bkz. Çizelge 7.1) için hesaplanmıştır. M_s ve R_s değerleri literatürden (bkz. Kepler-6 için Ek 19, Kepler-8 için Ek 20, Kepler-40 için Ek 21), P_{orb} değeri bu çalışmada yapılan TTV analizinden (bkz. bkz. Kepler-6b için Çizelge 5.8, Kepler-8b için Çizelge 5.9, Kepler-40b için Çizelge 5.10) ve i değeri bu çalışmada yapılan geçiş eğrisi analizlerinden (bkz. Çizelge 6.25) alınmıştır. Ayrıca her bir yıldız gezegen sistemi için α_{elips} sabitlerinin değerleri Kepler-6, Kepler-8 ve Kepler-40 sistemleri için sırasıyla, 1.379, 1.238 ve 1.205 olarak alınmıştır (bkz. Bölüm 7.1).

Gezegen atmosferi boyunca homojen tekrar ısıtım olduğu kabulü altında gezegen denge sıcaklığı hesabı, T_{eq} ($f = 1/4$): (7.11) denklemi kullanılarak $f = 1/4$ için hesaplanmıştır. Bu denklemde yer alan R_s/a parametresi geçiş eğrisi analizlerinden elde edilen değerdir (bkz. Çizelge 6.25).

Gezegenin sadece yıldızı gören atmosfer bölgesi (gezegenin gün yüzü) tarafından tekrar ısıtım olduğu kabulü altında gezegen denge sıcaklığı hesabı, T_{eq} ($f = 2/3$): (7.11) denklemi kullanılarak $f = 2/3$ için hesaplanmıştır. Bu denklemde yer alan R_s/a parametresi geçiş eğrisi analizlerinden elde edilen değerdir (bkz. Çizelge 6.25).

Kepler-6b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi analizinden elde edilen fiziksel parametrelerin literatür değerleri ile karşılaştırılması Çizelge 7.3 de verilmiştir. Çizelge 7.3 de verilen referanslardan Kipping ve Bakos (2011), Désert ve ark. (2011) ve Demory ve Seager (2011) çalışmalarında sadece gezegenin yıldız arakasında olduğu ikinci tutulma evresi modellenmiştir. İkinci tutulma evresi kenar kararma etkisinin olmadığı kabulü altında Mandel ve Agol (2002) tarafından verilen model ile modellenmiştir (bkz. Bölüm 2). Diğer iki çalışma olan Esteves ve ark. (2013) ve Angerhausen ve ark. (2015) çalışmalarında gezegen geçiş dışı ışık eğrisi, ikinci tutulma evresinde görülen ışık akısı düşüşü, gezegenin yörünge hareketi boyunca yansıma etkisi kaynaklı ışık değişimi, Doppler vuru etkisi ve elipsoidal etki olmak üzere 4 tane etkinin birleşimi olarak modellenmiştir. İkinci tutulma evresi, kenar kararma etkisinin olmadığı kabulü altında Mandel ve Agol (2002) tarafından verilen model ile modellenmiştir (bkz. Bölüm 2).

Gezegenin yörünge hareketi boyunca yansıma etkisi kaynaklı ışık değişimini Russel (2016) tarafından verilen Lambert modeli ile modellemiştir. Elipsoidal etki Morris (1985) tarafından verilen yöntemle ve Doppler vuru etkisi Bölüm 7.2’de anlatılan model ile modellenmiştir.

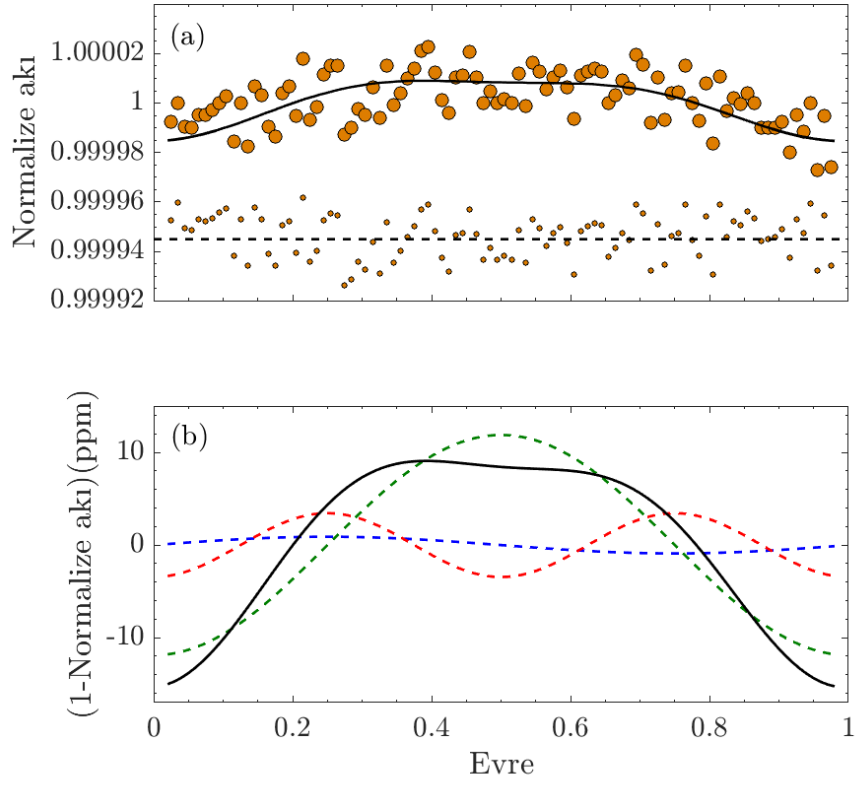


Şekil 7.1. (a) Kepler-6b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi. Büyük ve küçük sarı noktalar, sırasıyla, gözlem noktalarını ve geçiş dışı ışık eğrisi fitinden (siyah çizgi) elde edilen artıkları göstermektedir. (b) Kesikli mavi çizgi, kesikli kırmızı çizgi ve kesikli yeşil çizgi, sırasıyla, geçiş dışı fitinden elde edilen Doppler vuru etkisi, elipsoidal etki ve yansıma etkisi kaynaklı akı değişimlerini temsil etmektedir. Bu üç yakınlık etkisinin toplamı siyah düz çizgi ile gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. Kepler-6b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi çözümünden elde edilen fiziksel parametrelerin literatür değerleri ile karşılaştırılması (* α_{vuru} teriminin 0.8 ve 1.2 değerleri için hesaplanan gezegen kütle değerleri, bkz. Çizelge 7.2).

Parametre	Ref. 1 ^[1]	Ref. 2 ^[2]	Ref. 3 ^[3]
A_{yan} (ppm)	---	---	---
A_{vuru} (ppm)	---	---	---
A_{elips} (ppm)	---	---	---
A_g	≤ 0.32	0.110 ± 0.040	0.18 ± 0.09
$M_{p,vuru}$ (M_J)	---	---	---
$M_{p,elips}$ (M_J)	---	---	---
$T_{eq,f=1/4}$	---	---	---
$T_{eq,f=2/3}$	---	---	---
Parametre	Ref. 4 ^[4]	Ref. 5 ^[5]	Bu çalışma ^[6]
A_{yan} (ppm)	8.9 ± 3.8	11.3 ± 4.2	11.0
A_{vuru} (ppm)	---	1.0 ± 0.9	1.0
A_{elips} (ppm)	2.7 ± 1.0	<1	1.6
A_g	0.059 ± 0.025	0.07 ± 0.03	0.065 ± 0.038
$M_{p,vuru}$ (M_J)	---	---	0.518-0.778*
$M_{p,elips}$ (M_J)	1.02 ± 0.40	---	0.516 ± 0.215
$T_{eq,f=1/4}$	1450	1413	1446 ± 69
$T_{eq,f=2/3}$	1860	1632	1848 ± 74

^[1]Kipping ve Bakos (2011) çalışması. Bu çalışmada uzun poz 0 ve 1 çeyrek gözlemleri kullanılmıştır. ^[2]Désert ve ark. (2011) çalışması. Bu çalışmada uzun poz 0 ve 1 çeyrek gözlemleri ile birlikte kısa poz 2, 3 ve 4 çeyrek gözlemleri kullanılmıştır. ^[3]Demory ve Seager (2011) çalışması. Bu çalışmada uzun poz 1 çeyrek gözlemleri kullanılmıştır. ^[4]Esteves ve ark. (2013) çalışması. Bu çalışmada kısa poz 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 12 ve uzun poz 0, 1, 8, 14 çeyrek gözlemleri kullanılmıştır. ^[5]Angerhausen ve ark. (2015) çalışması. Bu çalışmada kısa poz 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 12 ve uzun poz 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14 çeyrek gözlemleri kullanılmıştır. ^[6]Kısa poz 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 çeyrek gözlemleri kullanılmıştır.



Şekil 7.2. (a) Kepler-8b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi. Büyük ve küçük sarı noktalar, sırasıyla, gözlem noktalarını ve geçiş dışı ışık eğrisi fitinden (siyah çizgi) elde edilen artıkları göstermektedir. (b) Kesikli mavi çizgi, kesikli kırmızı çizgi ve kesikli yeşil çizgi, sırasıyla, geçiş dışı fitinden elde edilen Doppler vuru etkisi, elipsoidal etki ve yansıma etkisi kaynaklı akı değişimlerini temsil etmektedir. Bu üç yakınlık etkisinin toplamı siyah düz çizgi ile gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Kepler-8b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi çözümünden elde edilen fiziksel parametrelerin literatür değerleri ile karşılaştırılması (* α_{vuru} teriminin 0.8 ve 1.2 değerleri için hesaplanan gezegen kütle değerleri, bkz. Çizelge 7.2).

Parametre	Ref. 1 ^[1]	Ref. 2 ^[2]	Ref. 3 ^[3]
A_{yan} (ppm)	---	---	26.2 ± 5.6
A_{vuru} (ppm)	---	---	2.5 ± 1.2
A_{elips} (ppm)	---	---	4.0 ± 1.4
A_g	< 0.630	0.210 ± 0.100	0.137 ± 0.029
$M_{p,vuru}$ (M_J)	---	---	$1.85^{+0.90}_{-0.88}$
$M_{p,elips}$ (M_J)	---	---	1.23 ± 0.43
$T_{eq,f=1/4}$	---	---	1680
$T_{eq,f=2/3}$	---	---	2150
Parametre	Ref. 4 ^[4]	Bu çalışma ^[5]	
A_{yan} (ppm)	16.50 ± 4.45	11.9	
A_{vuru} (ppm)	< 1.0	0.9	
A_{elips} (ppm)	3.7 ± 2.0	3.6	
A_g	0.11 ± 0.03	0.061 ± 0.035	
$M_{p,vuru}$ (M_J)	---	$0.483-0.725^*$	
$M_{p,elips}$ (M_J)	---	1.279 ± 0.740	
$T_{eq,f=1/4}$	1536	1638 ± 111	
$T_{eq,f=2/3}$	1774	2094 ± 124	

^[1]Kipping ve Bakos (2011) çalışması. Bu çalışmada uzun poz 0 ve 1 çeyrek gözlemleri kullanılmıştır. ^[2]Demory ve Seager (2011) çalışması. Bu çalışmada uzun poz 1 çeyrek gözlemleri kullanılmıştır. ^[3]Esteves ve ark. (2013) çalışması. Bu çalışmada kısa poz 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 ve uzun poz 0, 1, 8, 14 çeyrek gözlemleri kullanılmıştır. ^[4]Angerhausen ve ark. (2015) çalışması. Bu çalışmada kısa poz 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 ve uzun poz 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 çeyrek gözlemleri kullanılmıştır. ^[5]Kısa poz 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 çeyrek gözlemleri kullanılmıştır.

Kepler-8b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi analizinden elde edilen fiziksel parametrelerin literatür değerleri ile karşılaştırılması Çizelge 7.4'te verilmiştir. Çizelge 7.4 de verilen referanslardan Kipping ve Bakos (2011) ve Demory ve Seager (2011) çalışmalarında sadece gezegenin yıldız arakasında olduğu ikinci tutulma evresi modellenmiştir. İkinci tutulma evresi kenar kararına etkisinin olmadığı kabulü altında Mandel ve Agol (2002) tarafından verilen model ile modellenmiştir (bkz. Bölüm 2). Diğer iki çalışma olan Esteves ve ark. (2013) ve Angerhausen ve ark. (2015) çalışmalarında gezegen geçiş dışı ışık eğrisi, bir önceki paragrafta da belirtildiği üzere, ikinci tutulma evresinde görülen ışık akısı düşüşü, gezegenin yörünge hareketi boyunca yansıma etkisi kaynaklı ışık değişimi, Doppler vuru etkisi ve elipsoidal etki olmak üzere 4 tane etkinin birleşimi olarak modellenmiştir.

Çizelge 7.5. Kepler-40b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi çözümünden elde edilen fiziksel parametrelerin literatür değerleri ile karşılaştırılması (* α_{vuru} teriminin 0.8 ve 1.2 değerleri için hesaplanan gezegen kütle değerleri, bkz. Çizelge 7.2).

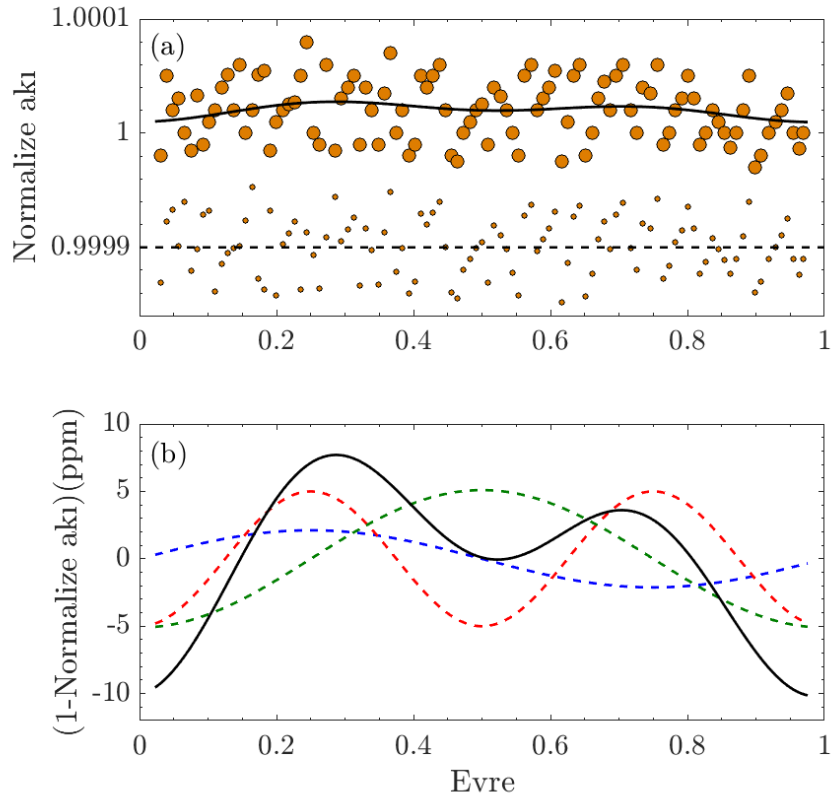
Parametre	Ref. 1 ^[1]	Bu çalışma ^[2]
A_{yan} (ppm)	7.91 ± 7.55	4.9
A_{vuru} (ppm)	5.6 ± 2.1	2.7
A_{elips} (ppm)	8.5 ± 2.9	2.3
A_g	0.09 ± 0.08	0.084 ± 0.061
$M_{p,vuru}(M_J)$	---	2.058-3.087*
$M_{p,elips}(M_J)$	---	1.598 ± 1.050
$T_{eq,f=1/4}$	1774	1601 ± 109
$T_{eq,f=2/3}$	2048	2046 ± 122

^[1]Angerhausen ve ark. (2015) çalışması. Bu çalışmada uzun poz 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14. ^[2]Uzun poz 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17çeyrek gözlemleri kullanılmıştır.

Kepler-40b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi analizinden elde edilen fiziksel parametrelerin literatür değerleri ile karşılaştırılması Çizelge 7.5'te verilmiştir. Çizelge 7.5 de verilen referanslardan Angerhausen ve ark. (2015) çalışmasında gezegen geçiş dışı ışık eğrisi, yukarıda da belirtildiği üzere, ikinci tutulma evresinde görülen ışık akısı düşüşü,

gezegenin yörünge hareketi boyunca yansıma etkisi kaynaklı ışık değişimi, Doppler vuru etkisi ve elipsoidal etki olmak üzere 4 tane etkinin birleşimi olarak modellenmiştir.

Çizelge 7.3, Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5 görüldüğü üzere, bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde elde edilen sonuçlar ile hata mertebesinde uyumlu görülmektedir.



Şekil 7.3. (a) Kepler-40b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi. Büyük ve küçük sarı noktalar, sırasıyla, gözlem noktalarını ve geçiş dışı ışık eğrisi fitinden (siyah çizgi) elde edilen artıkları göstermektedir. (b) Kesikli mavi çizgi, kesikli kırmızı çizgi ve kesikli yeşil çizgi, sırasıyla, geçiş dışı fitinden elde edilen Doppler vuru etkisi, elipsoidal etki ve yansıma etkisi kaynaklı akı değişimlerini temsil etmektedir. Bu üç yakınlık etkisinin toplamı siyah düz çizgi ile gösterilmiştir.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada ilk olarak ışıkölçüm takip gözlemleri yapılan CoRoT-2b, HAT-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenlerinin TTV analizleri (bkz. Bölüm 5) ve gezegen geçiş eğrileri analizleri (bkz. Bölüm 6) sunulmuştur.

HAT-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenlerinin $O - C$ artıklarından elde edilen LS diyagramları, FAP seviyeleri üzerinde baskın bir sinyal vermediklerinden, bu ötegezegenlerin TTV değişimlerinde çevrimsel bir değişim tespit edilememiştir (bkz. Bölüm 5). Öte yandan, CoRoT-2b ötegezegeninin $O - C$ artıklarından elde edilen LS periodogramında birden fazla baskın sinyal tespit edilmiştir (bkz. Şekil 5.4). Bu sinyallerin muhtemel sebebi olarak ana yıldızın güçlü manyetik aktivitesi ve/veya sisteme bağlı birden çok cismin varlığı verilebilir. Bu nedenle, baskın sinyallerin asıl sebebini belirleyebilmek için, CoRoT-2b ötegezegeninin uzun dönemli takip gözlemlerine ihtiyaç vardır.

WASP-12b ötegezegeninin $O - C$ diyagramında aşağı yönlü bir parabolik değişim tespit edilmiş ve bu değişimden dolayı WASP-12b gezegeninin yörünge döneminin sürekli olarak azaldığı sonucuna ulaşılmıştır (bkz. Şekil 5.9). Yörünge dönemindeki bu azalış Maciejewski ve ark. (2016, 2018) ve Patra ve ark. (2017) çalışmalarında da bahsedildiği üzere, WASP- 12b gezegeninin yörünge bozulması kaynaklı olabilir.

Birbirlerine fiziksel olarak bağlı bir yıldız – gezegen sisteminde gezegenin sabit bir yörüngede yörünge hareketini sürdürebilmesi ve dengede kalabilmesi için, sistemin toplam açısal momentumunun (L_{tot}), kritik açısal momentumu (L_{cri}) olarak adlandırılan açısal momentumdan büyük olması gerekmektedir (bkz. Hut 1980, Levrard ve ark. 2009, Damiani ve Lanza. 2015). Aksi durumda, gezegen, yörünge hareketi kaynaklı açısal momentumunu yıldıza aktaracak ve en sonunda yıldızın içine düşecektir (bkz. Damiani ve Lanza 2015, Essick ve Weinberg 2016). Bir yıldız gezegen çift sisteminde L_{tot} ve L_{cri} açısal momentumları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (bkz. Hut 1980, Levrard ve ark. 2009).

$$L_{tot} = C_s \omega_s + \frac{M_p M_s}{\sqrt{M_p + M_s}} \sqrt{Ga(1 - e^2)} \quad (8.1)$$

$$L_{cri} = 4 \left[\frac{G^2 M_p^3 M_s^3}{27 M_p + M_s} (C_p + C_s) \right]^{1/4} \quad (8.2)$$

Yukarıdaki denklemlerde M_p ve M_s , gezegen ve yıldız kütlelerini, C_s ve C_p yıldız ve gezegenin dönme eksenleri etraflarındaki eylemsizlik momentleri, $\omega_s = V \sin i / R_s$ ana yıldızın dönme açısal hızı, a yörünge yarı büyük eksen uzunluğu, G gravitasyonel çekim sabitini ve e yörünge eksantritesini temsil etmektedir. Yıldız dönme eksenleri etraflarındaki eylemsizlik momenti aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$C_s = k M_s R_s^2 \quad (8.3)$$

Burada R_s ve k , sırasıyla, yıldız yarıçapı ve sabit bir sayıdır. Güneş benzeri yıldızlar için k sabiti 0.06 değerinde alınabilir (Claret ve Gimenez, 1989). Gezegenin eylemsizlik momenti ise yaklaşık olarak, bir kürenin eylemsizlik momentini veren $C_s = 0.4 M_p R_p^2$ denklemi ile hesaplanabilir.

WASP-12 yıldız-gezegen sistemi için L_{tot}/L_{cri} oranı, (8.1) ve (8.2) denklemleri kullanılarak yaklaşık olarak 0.5 mertebesinde hesaplanmıştır. Bu hesaplamada M_p , M_s ve R_s parametreleri Chan ve ark. (2011) çalışmasından alınmış iken R_p ve a değerleri geçiş eğrisi analizinden elde edilen değerlerdir (bkz. Çizelge 6.11). WASP-12 sistemi için $L_{tot}/L_{cri} \sim 0.5$ elde edilmesi, yörünge bozulması senaryosuna göre, gezegenin yıldız içine doğru sürüklendiğini göstermektedir.

Ötegezegenlerin gözlenen yörünge dönem azalma hızları, yıldız gelgit kalite parametresi (İng. Stellar tidal quality parameter) olarak adlandırılan Q'_s parametresini tahmin etmede kullanılabilir (bkz. Levrard ve ark. 2009, Essick ve Weinberg 2016). Bu parametre, yıldız içerisindeki gelgit enerji dağılımını karakterize etmektedir (bkz. Pätzold ve ark. 2004). Q'_s parametresinin değeri, teorik çalışmalarda, gelgit enerji dağılım süreci için yapılan kabule bağlı olarak 10^5 ile 10^{10} gibi büyük bir aralık içerisinde (bkz. Pätzold ve ark. 2004, Penev ve ark. 2012). WASP-12 ana yıldızının Q'_s parametresini hesaplayabilmek için, Patra ve ark. (2014) tarafından verilen aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$Q'_s = -\frac{27\pi}{2} \left(\frac{dP}{dt} \right)^{-1} \left(\frac{M_p}{M_s} \right) \left(\frac{R_s}{a} \right)^5 \quad (8.4)$$

Chan ve ark. (2011) çalışmasından alınan $M_p/M_s = (9.93 \pm 0.33) \times 10^{-4}$ ve $r_s = R_s/a = 0.323 \pm 0.003$ değerleri ile birlikte, bu çalışmada hesaplanan $dP/dt = (8.62 \pm 0.79) \times 10^{-10}$ değeri kullanılarak, WASP-12 yıldızı için Q'_s parametresi $(1.75 \pm 0.16) \times 10^5$ olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere, WASP-12 ana yıldızı için hesaplanan Q'_s parametre değeri, teorik çalışmalarda verilen değer aralığının en düşük bölgesinde yer almaktadır.

Önceki çalışmalar, küçük kütleli ana kol yıldızlarından oluşan çift yıldız sistemlerin, bulundukları kümelerdeki sürüklenmelerini açıklayabilmek için, Q'_s parametresinin 10^5 ile 10^7 arasında bir değerde olması gerektiğini öne sürmektedir (bkz. Zahn 1989, Meibom ve Mathieu 2005). Benzer sonuçlar gezegen geçişi gösteren yıldız-gezegen sistemleri için de elde edilmiştir. Örneğin Bonomo ve ark. (2017), 231 tane yıldız- gezegen sisteminin en güncel yörünge parametrelerini kullanarak, sıcak Jüpiter benzeri gezegen bileşeni olan yıldızlar için Q'_s parametresinin, 10^5 değerinden büyük olması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Penev ve ark. (2018) ise, 188 tane sıcak Jüpiter benzeri bileşenlere sahip yıldız-gezegen sistemlerinin güncel yörünge parametrelerini kullanarak, Q'_s parametresinin 10^4 mertebesinde daha küçük olmayacağını öne sürmüşlerdir. Aynı zamanda, Blečić ve ark. (2014), $O - C$ yöntemini kullanarak, WASP-43 yıldızının Q'_s parametresi için $Q'_s > 12000$ değerinde bir üst sınır önermişlerdir. Adams ve ark. (2010) çalışmasında ise OGLE-TR-113 ana yıldızının Q'_s parametresi 16000 değerinde hesaplanmıştır.

Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin TTV analizleri Bölüm 5'de verilmiştir. Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin TTV analizlerinden, gezegenlerin yörünge dönemlerinde bariz bir değişim görülmemiştir (bkz. Bölüm 5). Bu nedenle her bir gezegenin, $O - C$ diyagramı lineer model ile temsil edilebilir. Kepler-6b ve Kepler-8b ötegezegenlerinin TTV analizleri, Kepler uzun poz 0 ve 1 çeyrek gözlemlerini kullanan Kipping ve Bakos (2011) ve ilk 12 Kepler çeyrek gözlemlerini kullanan Mazeh ve ark. (2013) tarafından da yapılmıştır. Kipping ve Bakos (2011) ve Mazeh ve ark. (2013), her iki ötegezegen için de bariz bir yörünge dönemi değişimi tespit etmemiştir. Bu iki ötegezegen için burada elde ettiğimiz sonuç, her iki çalışmayı da destekler niteliktedir. Kepler-40b ötegezegeninin TTV analizi ise, Kepler gözlemlerinin ilk 12 çeyreğini kullanan Mazeh ve ark. (2013) tarafından yapılmıştır. Mazeh ve ark. (2013), burada elde ettiğimiz sonuçlar ile uyumlu olarak, Kepler-40b ötegezegeninin yörünge döneminde bariz bir değişim tespit etmemiştir.

Bu çalışmada Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin TTV analizlerinde kullanılan gözlem verileri aşağıda verilmiştir.

- Kepler-6b:

ETD veri tabanından: tekrar hesapladığımız 9 tane geçiş ortası zamanı.

Kepler kısa poz gözlemleri: 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 12 çeyrek gözlemlerinden hesapladığımız geçiş ortası zamanları.

Uzun poz poz gözlemleri: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17 çeyrek gözlemlerinden hesapladığımız geçiş ortası zamanları.

- Kepler-8b:

ETD veri tabanından: tekrar hesapladığımız 1 tane geçiş ortası zamanı.

Kepler kısa poz gözlemleri 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 çeyrek gözlemlerinden hesapladığımız geçiş ortası zamanları.

Uzun poz poz gözlemleri: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 çeyrek gözlemlerinden hesapladığımız geçiş ortası zamanları.

- Kepler-40b:

Uzun poz poz gözlemleri: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17 çeyrek gözlemlerinden hesapladığımız geçiş ortası zamanları.

Görüldüğü üzere, bu çalışmada kullanılan gözlem verisi literatürde kullanılanlara göre en güncel verileri içermektedir.

TTV analizlerinde MLM kullanılmıştır. Çizelge 8.1'de bu yöntemin diğer yöntemlere göre avantajını göstermek için WASP-12b ötegezegeninin MLM yöntemi ile elde edilen TTV analizi sonuçlarının, diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması verilmiştir.

Ağırlıksız TTV analizinde, gözlenen geçiş ortası zamanları (O) hesaplanan geçiş ortası zamanlardan (C) çıkartılmış ve gözlemsel hata değerlerine (σ_i) göre ağırlıklandırılmayarak $O - C$ yöntemi uygulanmıştır. Ağırlıklı TTV analizinde ise $O-C$ değerleri, sadece σ_i hatalarına göre ağırlıklandırılmış ve sonrasında $O-C$ yöntemi uygulanmıştır. Bölüm 5'de ayrıntılı olarak verildiği üzere MLM yöntemi ile yapılan TTV analizinde ise $O-C$ değerleri, ilave s_i hatalarını da içeren yeni hatalara ($\sqrt{\sigma_i^2 + s_i^2}$) göre ağırlıklandırıldıktan sonra $O - C$ yöntemi uygulanmıştır.

Çizelge 8.1'de, farklı yöntemler ile elde edilen lineer ve kuadratik fitlerin karşılaştırılmasını vermek için, fitlerden elde edilen $\sum_{i=1}^N (O - C)_i^2$, χ^2 , χ^2_{red} değerleri verilmiştir. $\sum_{i=1}^N (O - C)_i^2$ teriminde görülen $(O - C)_i$ terimi, i . gözlem

noktasındaki teorik fitten elde edilen artığı, N terimi ise gözlem noktası sayısını temsil etmektedir. Ağırlıklı TTV analiz sonucu elde edilen ki-kare (χ^2) $\sum_{i=1}^N \frac{(O-C)_i^2}{\sigma_i^2}$ şeklinde tanımlanmaktadır. MLM ile yapılan TTV analizinde ise $\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(O-C)_i^2}{\sigma_i^2 + s_i^2}$ şeklinde tanımlanmaktadır. χ_{red}^2 terimi indirgenmiş ki-kare değeridir ve $\chi_{red}^2 = \frac{\chi^2}{N-1}$ olarak tanımlanır.

Çizelge 8.1. WASP-12b ötegezegeninin MLM ile elde edilen TTV analizi sonuçlarının, gözlenen geçiş ortası zamanlarının hatalarına göre ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış O-C analizleri sonuçları ile karşılaştırılması

Yöntem	Model	$T_0(\text{BJD}_{\text{TDB}} - 2400000)$	P (gün)	c (gün)
Ağırlıksız ^[1]	Lin.	56305.45551(6)	1.09141985(6)	-
	Kuad.	56305.45588(7)	1.09142010(7)	$-4.89(65) \times 10^{-10}$
Ağırlıklı ^[2]	Lin.	56305.455603(4)	1.091420008(4)	-
	Kuad.	56305.455622(5)	1.091420021(4)	$-2.53(41) \times 10^{-11}$
MLM ^[3]	Lin.	56305.45559(3)	1.09141992 (4)	-
	Kuad.	56305.45576(5)	1.09142005(4)	$-4.70(43) \times 10^{-10}$
Yöntem	Model	$\sum_{i=1}^N (O - C)_i^2$	χ^2	χ_{red}^2
Ağırlıksız ^[1]	Lin.	0.000218	-	-
	Kuad.	0.000192	-	-
Ağırlıklı ^[2]	Lin.	0.000215	769.856	2.972
	Kuad.	0.000213	766.600	2.960
MLM ^[3]	Lin.	0.000209	691.440	2.670
	Kuad.	0.000171	515.448	1.990

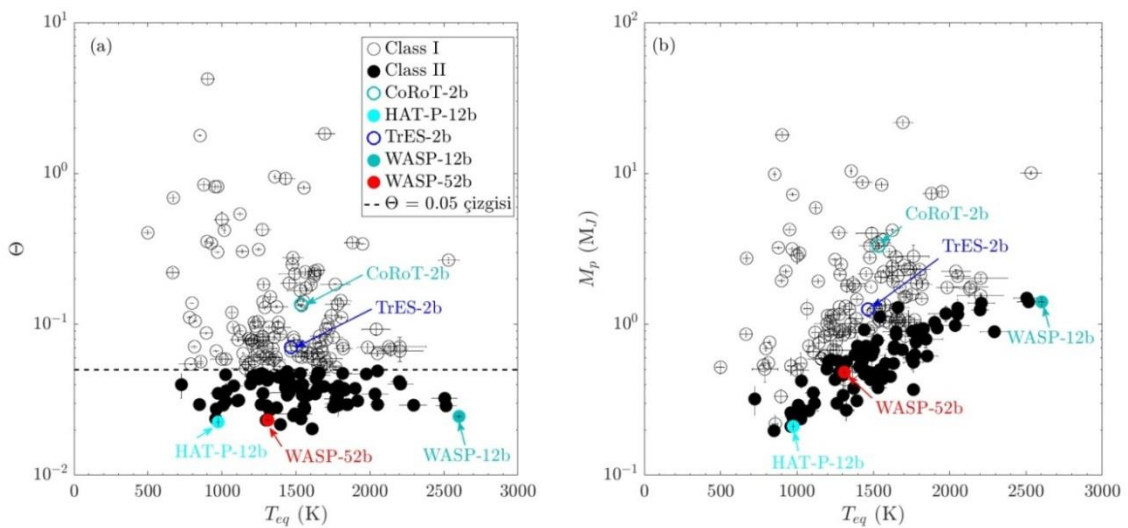
^[1]Gözlemsel hatalara göre ağırlıklandırılmamış $O - C$ yöntemi ^[2]Gözlemsel hatalara göre ağırlıklandırılmış $O - C$ yöntemi ^[3]MLM ile elde edilen, gözlemsel hatalara eklenmiş ilave hataları da içeren yeni hatalara göre ağırlıklandırılmış $O - C$ yöntemi (bkz. Bölüm 5).

Çizelge 8.1'den görüldüğü üzere, en küçük $\sum_{i=1}^N (O - C)_i^2$ değeri, MLM ile yapılan O-C analizi sonucu elde edilmiştir. Aynı zamanda (5.7) denkleminde verilen ve ikinci derece terimin katsayısını temsil eden c terimi, ağırlıksız ve ağırlıklı O-C yöntemi sonucu sırasıyla $\sim 8\sigma$ ve $\sim 6\sigma$ duyarlılığında elde edilmiş iken MLM ile yapılan analiz sonucunda

$\sim 11\sigma$ duyarlılık mertebesinde elde edilmiştir. Tüm bu bulgular MLM ile yapılan O-C analizinin diğer yöntemlere göre daha kullanışlı olduğunu göstermektedir.

Takip gözlemleri yapılan CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenlerinin geçiş eğrisi analizleri Bölüm 6.1’de verilmiştir. Bölüm 6.1’de belirtildiği üzere Hansen ve Barman (2007) tarafından önerilen gezegen sınıflamasına göre, CoRoT-2b ($T_{eq} = 1535 \pm 21K$ ve $\Theta = 0.1357 \pm 0.0005$) ve TrES-2b ($T_{eq} = 1466 \pm 9K$ ve $\Theta = 0.0707 \pm 0.0002$) ötegezegenleri Class I sınıfı içerisine, HAT-P-12b ($T_{eq} = 975 \pm 8K$ ve $\Theta = 0.0225 \pm 0.0015$), WASP-12b ($T_{eq} = 2601 \pm 18K$ ve $\Theta = 0.0246 \pm 0.0008$) ve WASP-52b ($T_{eq} = 1309 \pm 17K$ ve $\Theta = 0.0232 \pm 0.0005$) ötegezegenleri ise Class II sınıfı içerisine girmektedir.

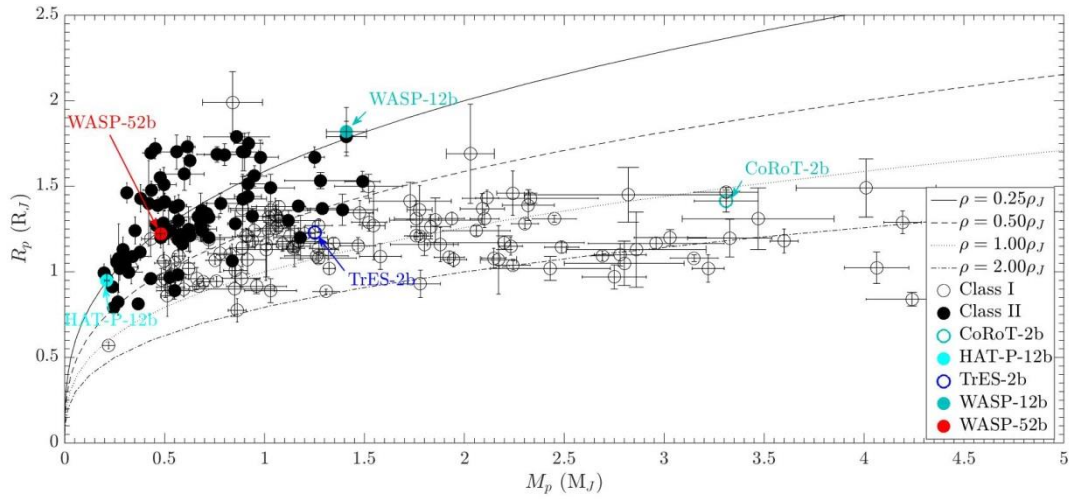
Class I ve Class II sınıfı ötegezegenler arası ayrımı hassas bir şekilde inceleyebilmek için, Exoplanet Data Explorer (EDE) veri tabanında (Han ve ark. 2014) verilen duyarlı ışıkölçüm ve tayfsal gözlemler sonucu fiziksel parametreleri elde edilen 211 tane yıldız-gezegen sistemi için bu sınıflama burada tekrar ele alınmıştır. EDE veri tabanında şu ana kadar 3000 den fazla ötegezegenin fiziksel parametreleri verilmiş olmasına rağmen, gezegen sınıflamasını tekrar ve hassas bir şekilde inceleyebilmek için, burada fiziksel parametreleri en az 4σ duyarlılığında belirlenen 211 tane yıldız gezegen sistemi seçilmiştir. Seçilen 211 tane ötegezegen ile beraber burada ele alınan ve fiziksel parametreleri Çizelge 6.11’de verilen beş ötegezegen için Safronov sayısı- gezegen denge sıcaklığı diyagramı Şekil 8.1’de verilmiştir.



Şekil 8.1. Fiziksel parametreleri duyarlı olarak elde edilmiş 211 tane ötegezegen ve bu çalışmada ele alınan 5 ötegezegen için (a) Safronov sayısı –gezegen denge sıcaklığı ve (b) gezegen kütlesi – gezegen denge sıcaklığı diyagramları.

Şekil 8.1'den görüldüğü üzere, ele alınan 216 ötegezegen için oluşturulan Safronov sayısı- gezegen denge sıcaklığı diyagramında Class I ve Class II sınıfı ötegezegenler, $\theta = 0.05$ çizgisi üzerinde iç içe girmekte ve ayırt edilemez durumdadır.

216 ötegezegen için oluşturulan kütle yarıçap diyagramı Şekil 8.2'de verilmiştir. Hansen ve Barman (2007) tarafından önerilen gezegen sınıflamasının belirsizliğine karşın, Şekil 8.2'den görüldüğü üzere, Class I sınıfı ötegezegenlerin Class II sınıfı ötegezegenlere göre genellikle daha büyük kütleli ve yoğunluklu oldukları söylenebilir. CoRoT-2b ötegezegeninin bu diyagramdaki konumuna bakıldığında, Jüpiter ile neredeyse aynı yoğunlukta fakat Jüpiter'in üç katından fazla bir kütleyle sahip olduğu görülmektedir. Öte yandan, TrES-2b ve WASP-12b ötegezegenleri, Jüpiter kütesine yakın kütlelere sahip olmalarına karşın Jüpiter'den daha küçük yoğunluklara sahiptir. Küçük kütleli HAT-P-12b ve WASP-52b gezegenleri ise $0.25 \rho_J$ çizgisi üzerinde yer almaktadırlar.



Şekil 8.2. Fiziksel parametreleri duyarlı olarak elde edilmiş 211 ötegezegen ile bu çalışmada ele alınan beş ötegezegen için oluşturulan kütle-yarıçap diyagramı. Diyagram üzerindeki düz, kesikli, noktali ve kesikli-noktali çizgiler, sırasıyla, $\rho = 0.25, 0.5, 1.0$ ve $2.0 \rho_J$ yoğunluk çizgilerini temsil etmektedir.

Kepler uydu teleskobu gözlemleri olan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş eğrilerinin WinFitter ve JKTEBOP kodları ile yapılan analizleri Bölüm 6.2'de verilmiş. Her iki yazılımdan elde edilen geçiş parametrelerinin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin, ele alınan 216 ötegezegen ile birlikte, Safronov sayısı- gezegen denge sıcaklığı ve gezegen kütesi- gezegen denge

sıcaklığı diyagramlarındaki konumları Şekil 8.3'te verilmiştir. Safronov sayılarına ve yüzey denge sıcaklık değerlerine bakıldığında, Hansen ve Barman (2007) tarafından önerilen gezegen sınıflamasına göre, Kepler-40b ($T_{eq} = 1660 \pm 53$ K ve $\Theta = 0.1911 \pm 0.0212$) Class I sınıfı içerisine, Kepler-6b ($T_{eq} = 1483 \pm 55$ K ve $\Theta = 0.0404 \pm 0.0009$) ve Kepler-8b ($T_{eq} = 1679 \pm 62$ K ve $\Theta = 0.0340 \pm 0.0061$) ötegezegenleri ise Class II sınıfı içerisine girmektedir.

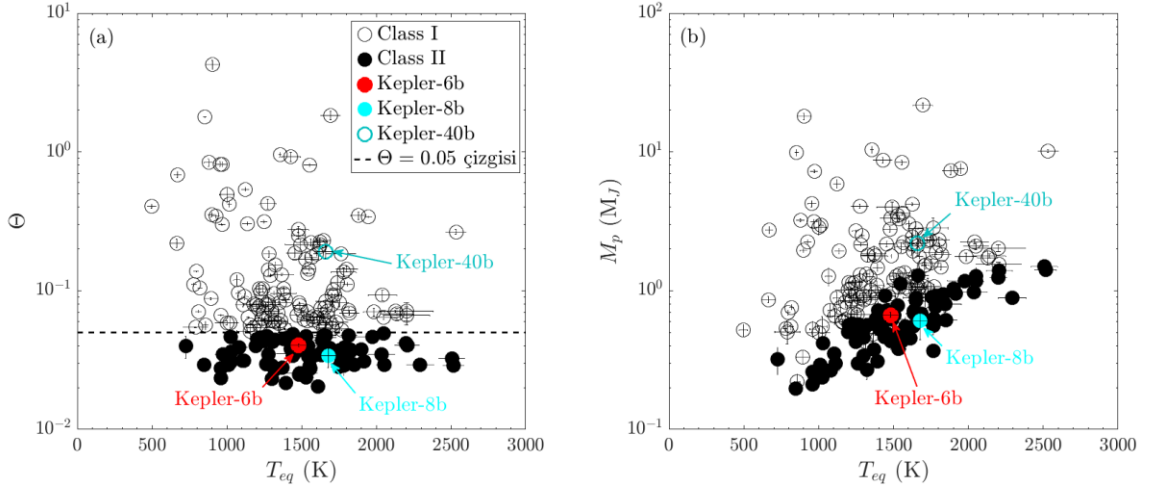
Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin geçiş dışı ışık eğrileri analizleri Bölüm 7'de verilmiştir. Kepler-6b ötegezegeninin, 2009-2013 yılları arasında tüm kısa poz Kepler gözlemleri kullanılarak yapılan geçiş dışı ışık eğrisi analizinden, gezegenin geometrik ve bond albedo değerleri sırasıyla, 0.065 ± 0.038 ve 0.097 ± 0.057 olarak elde edilmiştir (bkz. Çizelge 7.2). Ayrıca Doppler vuru katsayısının (α_{vuru}), alabileceği 0.8 ile 1.2 değerleri için gezegen kütlesi 0.518-0.778 M_J aralığında hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). Elipsoidal etki kaynaklı akı değişimi genliği kullanılarak Kepler-6b ötegezegeninin kütlesi 0.516 ± 0.215 M_J değerinde hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). Ana yıldızın dikine hız gözlemlerinden elde edilen gezegen kütlesi değeri Dunham ve ark. (2010) tarafından $0.669^{+0.025}_{-0.030}$ M_J olarak verilmiştir. Görüldüğü üzere, tayfsal gözlemler ile hesaplanan Kepler-6b ötegezegeninin kütlesi, ışıkölçüm olarak hesaplanan gezegen kütle değerleri ile uyumlu görülmektedir. Kepler-6b ötegezegeni atmosferinin homojen bir tekrar ışıınım ($f = 1/4$) yaptığı kabul edilirse, ötegezegenin denge sıcaklığı $T_{eq,f=1/4} = 1446 \pm 69$ K değerinde hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). Öte yandan, Kepler-6b ötegezegeninin sadece gün yüzü tarafından tekrar ışıınım yapılıyorsa ($f = 2/3$), ötegezegenin denge sıcaklığı $T_{eq,f=2/3} = 1848 \pm 74$ K değerinde hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). Öte yandan, Bölüm 6'da Kepler-6b ötegezegeni atmosferinin ışıınım mekanizmasına bakılmaksızın denge sıcaklığı 1483 ± 55 K değerinde hesaplanmıştı (bkz. Çizelge 6.25). Dolayısı ile Kepler-6b ötegezegeninin denge sıcaklığı, ötegezegenin atmosferik yapısına bağlı olarak 1446 – 1848 K arasında olmalıdır.

Kepler-8b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi analizinden, gezegenin geometrik ve bond albedo değerleri sırasıyla, 0.061 ± 0.035 ve 0.092 ± 0.053 olarak hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). Doppler vuru katsayısının (α_{vuru}) alabileceği 0.8 ile 1.2 değerleri için gezegen kütlesi 0.483-0.725 M_J aralığında hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). Elipsoidal etki kaynaklı akı değişimi genliği kullanılarak Kepler-8b ötegezegeninin kütlesi 1.279 ± 0.740 M_J değerinde hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). Jenkins ve ark. (2010), ana yıldızın dikine hız gözlem verilerini kullanarak Kepler-8b ötegezegeninin kütlesini

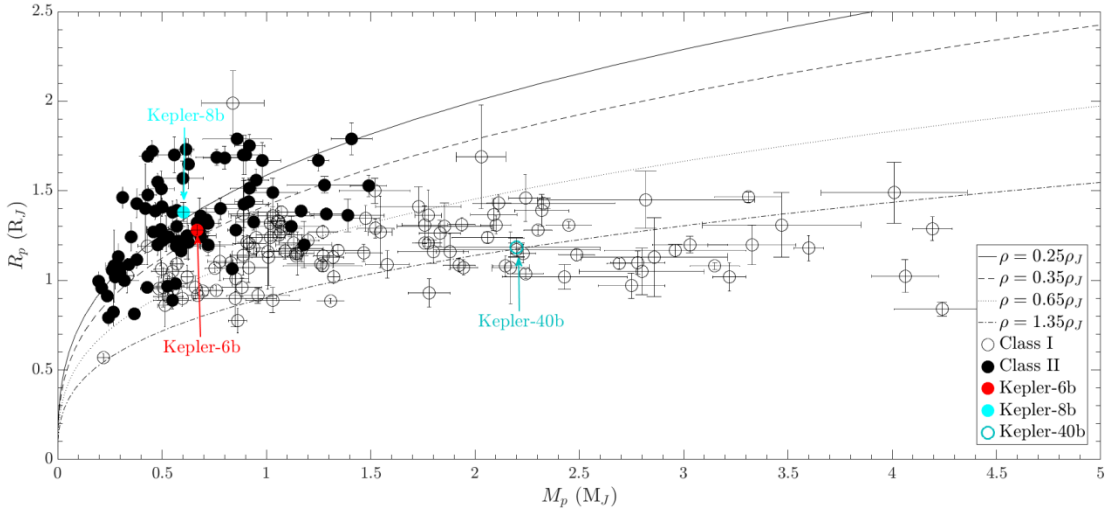
$0.603^{+0.13}_{-0.19}$ M_J olarak hesaplamışlardır. Işıkolçüm olarak hesaplanan gezegen kütlesi, tayfsal olarak belirlenen gezegen kütlesi değerini ile hata mertebesinde uyumlu görülmektedir. Kepler-8b ötegezegeni atmosferinin homojen ve sadece gün yüzü tarafından tekrar ışıınım yapması kabulleri altında, ötegezegenin denge sıcaklığı $T_{eq,f=1/4} = 1638 \pm 111$ K ve $T_{eq,f=2/3} = 2094 \pm 124$ K olarak hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). Öte yandan, Kepler-8b ötegezegeninin ışıınım mekanizmasına bakılmaksızın denge sıcaklığı, Bölüm 6'da $T_{eq} = 1679 \pm 62$ K olarak hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 6.25). Sonuç olarak Kepler-8b ötegezegeninin denge sıcaklığı, ötegezegenin atmosferik yapısına bağlı olarak 1638 – 2094 K arasında olmalıdır.

Kepler-40b ötegezegeninin geçiş dışı ışık eğrisi analizi sonucu gezegenin geometrik ve bond albedo değerleri sırasıyla, 0.084 ± 0.061 ve 0.126 ± 0.092 olarak hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). α_{vuru} sabitinin olası değerleri için Kepler-40b ötegezegeninin kütlesi 2.058-3.087 M_J aralığında hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). Ayrıca elipsoidal etki kaynaklı akı değişimi genliği kullanılarak Kepler-40b ötegezegeninin kütlesi 1.598 ± 1.050 M_J değerinde hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). Santerne ve ark. (2011) ana yıldızın dikine hız gözlemlerini yaparak, Kepler-40b ötegezegeninin kütlesini 2.2 ± 0.4 M_J olarak belirlemişlerdir. Dolayısıyla, ışıkölçüm ile bulunan gezegen kütle değeri hata değerleri içerisinde dikine hız gözlemlerinden elde edilen kütle değeri ile uyumludur. Kepler-40b ötegezegeni atmosferinin yapısına bağlı olarak ötegezegenin denge sıcaklığı $T_{eq,f=1/4} = 1601 \pm 109$ K ve $T_{eq,f=2/3} = 2046 \pm 122$ K olarak hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 7.2). Kepler-40b ötegezegeninin ışıınım mekanizmasına bakılmaksızın denge sıcaklığı ise $T_{eq} = 1660 \pm 53$ K hesaplanmıştır (bkz. Çizelge 6.25). Bu nedenle Kepler-40b ötegezegeninin denge sıcaklığı atmosferik yapısına bağlı olarak 1601 – 2046 K arasında bir değerde olmalıdır.

216 ötegezegen ve burada ele alınan Kepler ötegezegenleri için hazırlanan ve gezegen yoğunluk çizgilerini de içeren kütle yarıçap diyagramı Şekil 8.4'te verilmiştir. Bu çalışmada, Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin yoğunlukları $\rho_{(Kepler-6b)} = 0.423 \pm 0.009$ g/cm³ ($\sim 0.32 \rho_J$), $\rho_{(Kepler-8b)} = 0.303 \pm 0.045$ g/cm³ ($\sim 0.23 \rho_J$) ve $\rho_{(Kepler-40b)} = 1.757 \pm 0.088$ g/cm³ ($\sim 1.33 \rho_J$) olarak hesaplanmıştır. Kütle yarıçap diyagramına bakıldığında, bu çalışmadan elde edilen gezegen yoğunluk değerleri ile uyumlu olarak, Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenlerinin, sırasıyla, 0.35, 0.25 ve 1.35 ρ_J yoğunluk çizgilerine yakın konumlandığı görülmektedir.



Şekil 8.3. Fiziksel parametreleri duyarlı olarak elde edilmiş 211 tane ötegezegen ile birlikte Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenleri için (a) Safronov sayısı –gezegen denge sıcaklığı ve (b) gezegen kütlesi – gezegen denge sıcaklığı diyagramları.



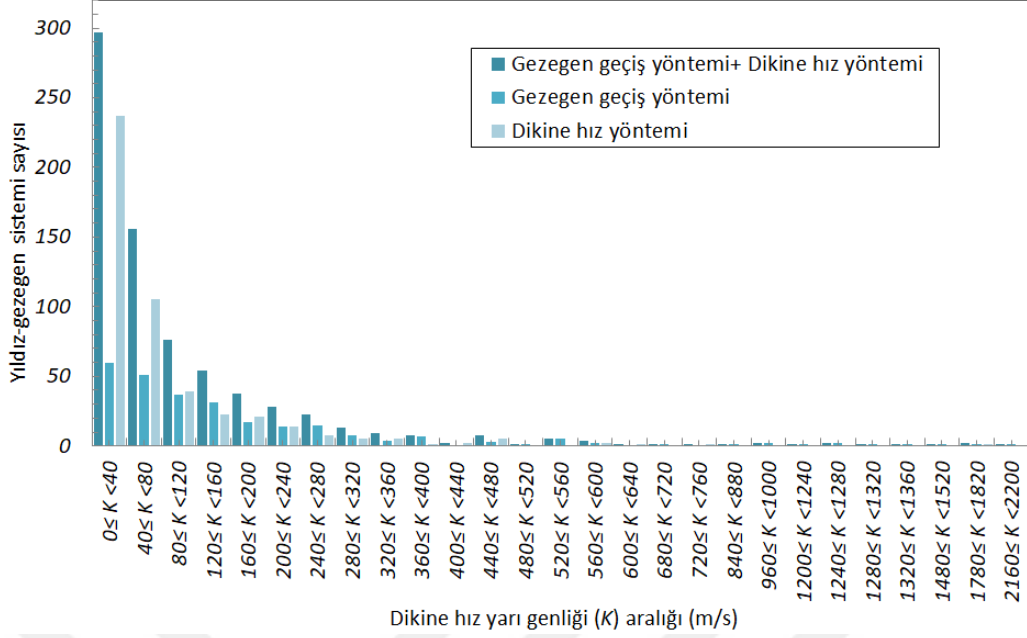
Şekil 8.4. Fiziksel parametreleri duyarlı olarak elde edilmiş 211 ötegezegen ile bu çalışmada ele alınan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ötegezegenleri için oluşturulan kütle-yarıçap diyagramı. Diyagram üzerindeki düz, kesikli, noktali ve kesikli-noktali çizgiler, sırasıyla, $\rho = 0.25, 0.35, 0.65$ ve $1.35 \rho_J$ yoğunluk çizgilerini temsil etmektedir.

Bu bölümde aynı zamanda EDE veri tabanından (Han ve ark. 2014) seçilen, fiziksel parametreleri en az 2σ duyarlılığında belirlenen 737 tane yıldız-gezegen sistemi kullanılarak, ana yıldızın dikine hız yarı genliğini etkileyen yörünge parametrelerinin istatistiksel dağılımı incelenmiştir.

Ötegezegenin kütlesi, ana yıldızın dikine hız gözlemleri ile beraber gezegenin ışıkkölçüm geçiş gözlemleri kullanılarak duyarlı bir şekilde belirlenebilmektedir. Bir yıldız-gezegen sistemindeki ana yıldızın dikine hız yarı genliği (K), ötegezegenin yörünge dönemine (P), ötegezegenin minimum kütlesine ($M_p \sin i$), ana yıldız kütlesine (M_s) ve yörünge eksantritesine (e) bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile temsil edilmektedir (bkz. Gaudi ve Winn 2005, Seager 2010).

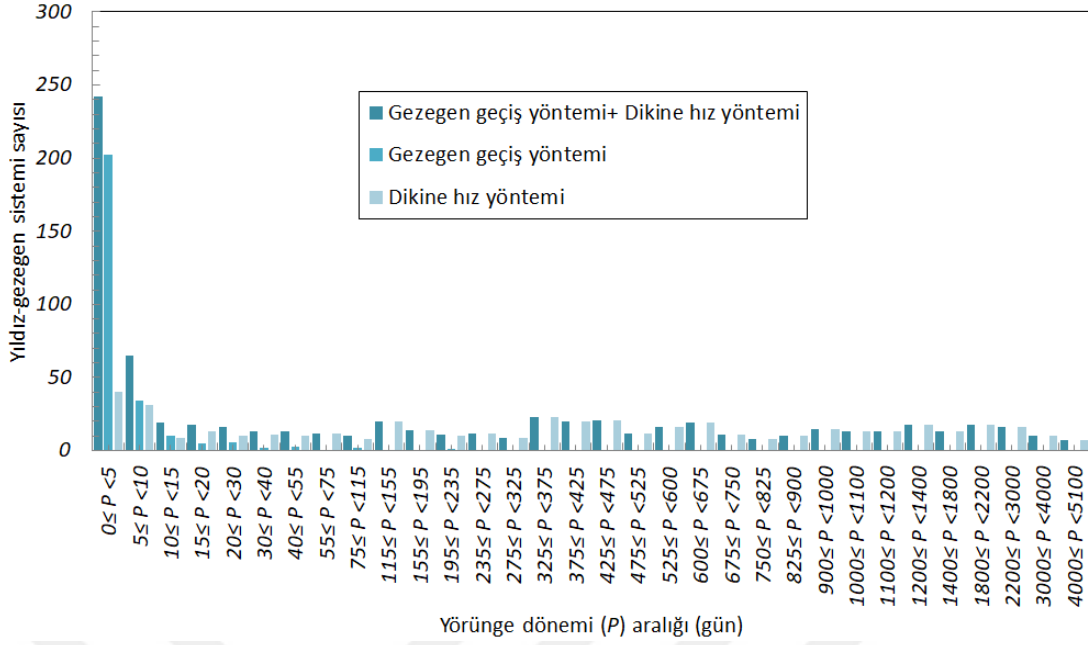
$$K = 203.255 \left(\frac{\text{gün}}{P} \right)^{1/3} \left(\frac{M_p \sin i}{M_J} \right) \left(\frac{M_\odot}{M_s} \right)^{2/3} \frac{1}{\sqrt{1-e^2}} \text{ (m/s)} \quad (8.5)$$

Şekil 8.5'te, ele alınan 737 yıldız-gezegen sistemi için ana yıldızın dikine hız yarı genlik değerlerine göre sayısal dağılımı verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, dikine hız yarı genliğinin artan değerleri için yıldız-gezegen sistemleri sayıca azalmaktadır. (8.5) denkleminde görüldüğü üzere, ana yıldızın dikine hız yarı genliği gezegen kütlesi ile doğru orantılıdır. Yıldız-gezegen sistemlerinde gezegenin kütlesi ne kadar büyük ise, ana yıldızın yörünge hareketini o kadar tedirgin eder ve bununla ilişkili olarak gözlenen dikine hız yarı genliği de o kadar büyük olur. Ancak yıldız-gezegen sistemlerinde, gezegenin kütlesi ana yıldız kütlesine göre çok küçük olduğundan ($M_s \gg M_p$), yıldız-gezegen sistemlerinin çoğu küçük dikine hız yarı genlik bölgesinde kümelenmektedir (bkz. Şekil 8.5). Ele alınan 737 ötegezegenin 91.2 % kadar bölümü, $0 < K < 280$ m/s dikine hız yarı genlik aralığında bulunmaktadır.



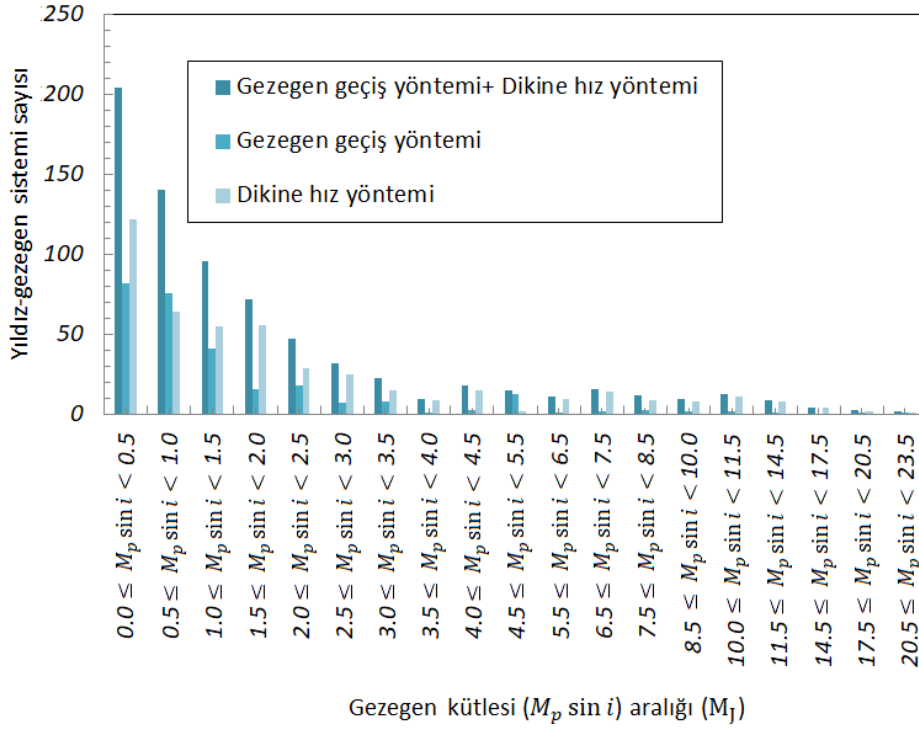
Şekil 8.5. Ana yıldızın dikine hız yarı genlik değerlerine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı.

Ötegezegenlerin yörünge dönemlerine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı Şekil 8.6’da verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, yörünge döneminin artan değerleri ile yıldız-gezegen sistemlerinin sayısı azalmaktadır. Ötegezegenlerin tespit edilebilirliği, ötegezegenin yörünge dönemine göre $P^{-5/3}$ ile orantılıdır (bkz. Gaudi ve Winn 2005, Seager 2010). Tespit edilebilirliğin yörünge dönemi ile ilişkisi, başlıca iki ilişki göz önüne alınarak tahmin edilmektedir. Bunlardan birincisi gezegen geçişi süresince sabit poz süresinde alınan gözlem noktası sayısının (N_t) gezegenin yörünge dönemi (P) ile olan ilişkisidir. Gezegen geçiş süresince alınan gözlem noktası sayısı ile yörünge dönemi arasında $N_t \propto P^{-1}$ şeklinde bir ilişki vardır (bkz. Seager 2010). İkinci ilişki ise gözlemsel sinyal/gürültü (S/N) oranının yarıçaplar oranı ($k = R_p / R_s$) ile olan ilişkisidir. Bu ilişki şu şekilde verilmektedir: $(S/N) \approx \sqrt{N_t} k^2 \sigma^{-1}$ (bkz. Seager 2010). Burada görülen σ terimi, gözlemin duyarlılığını temsil etmektedir. Bir yıldız gezegen sistemindeki ötegezegeninin tespit edilebilirliğinin $P^{-5/3}$ ile orantılı olması, ışıkölçüm gezegen geçiş gözlemleri ve dikine hız gözlemleri ile keşfedilen yıldız-gezegen sistemi sayısının yörünge dönemi ile azalması gerektiğini öngörmektedir. Bu sonuç ile uyumlu olarak, Şekil 8.6’den görüldüğü üzere, artan yörünge dönemi değerleri için hem ışıkölçüm gezegen geçiş gözlemleri ile hem de dikine hız gözlemleri ile keşfedilen yıldız-gezegen sistemlerinin sayısının genel olarak azaldığı görülmektedir.



Şekil 8.6. Ötegezegenlerin yörünge dönemlerine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı.

Şekil 8.7’de gezegen kütlelerinin minimum değerlerine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı verilmiştir. Bir gezegenin gezegen olma kriterini sağlayabilmesi için genellikle $\sim 13 M_J$ kadar bir kütleden küçük bir kütleyle sahip olması gerekmektedir. $\sim 13 M_J$ kütle değerinden büyük kütleli cisimler genel olarak çekirdeklerinde döteryum yanması meydana getirebilecek bir kütleyle sahiptirler ve bu nedenle gezegen sınıfına giremezler (bkz. Boss ve ark. 2012, Desidera ve ark. 2012). Öte yandan metalce zengin ve büyük kütleli gezegen oluşum diski içerisinde çok daha büyük kütleli gezegenlere rastlamak mümkündür (bkz. Mordasini ve ark. 2009, Desidera ve ark. 2012). Şekil 8.7’den görüldüğü üzere, ele alınan 737 ötegezegenin kütle aralığı $0 < M_p \sin i < 23.5 M_J$ olarak geniş bir aralıkta görülmektedir. Kütle aralığı çok geniş bir bölgeyi kapsamalarına karşın, ele alınan ötegezegenlerin 59.7 %’u kadarının kütlesi $0 < M_p \sin i < 1.5 M_J$ aralığında yer almaktadır.

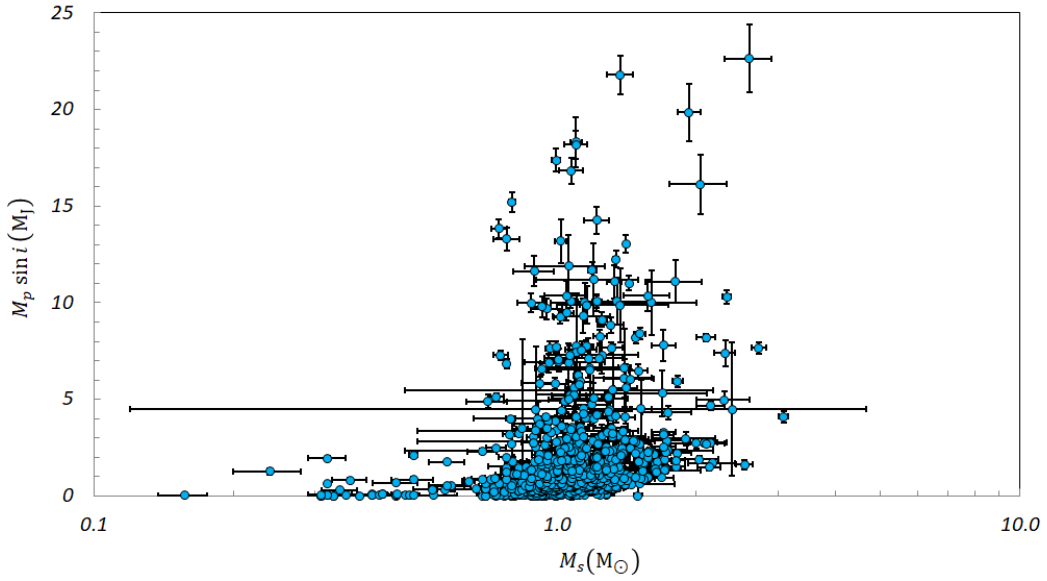


Şekil 8.7. Ötegezegen kütlelerine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı.

Ötegezegen kütlelerinin ana yıldız kütlelerine göre değişimi Şekil 8.8’de verilmiştir. Şekil 8.8’den görüldüğü üzere, ötegezegenlerin büyük bir çoğunluğu, kütlesi güneş kütlelerine yakın olan küçük kütleli ana yıldızlar etrafında dolanmaktadır. Bu küçük kütleli yıldızlar etrafında gezegenlerin olduğu gaz ve toz diski muhtemelen metalce zayıf, genç ve düşük kütleli bir disklerdir (bkz. Seager 2010, Mordasini ve ark. 2009, Desidera ve ark. 2012). Bu çalışmada ele alınan ana yıldızlarının çoğunun küçük kütlelere sahip olması ve muhtemelen etraflarında metalce zayıf, genç ve düşük kütleli bir gezegen oluşum diski olması, bu disk içerisinde oluşan gezegen kütlelerinin $0 < M_p \sin i < 1.5 M_J$ aralığında yer almasının bir sebebi olabilir.

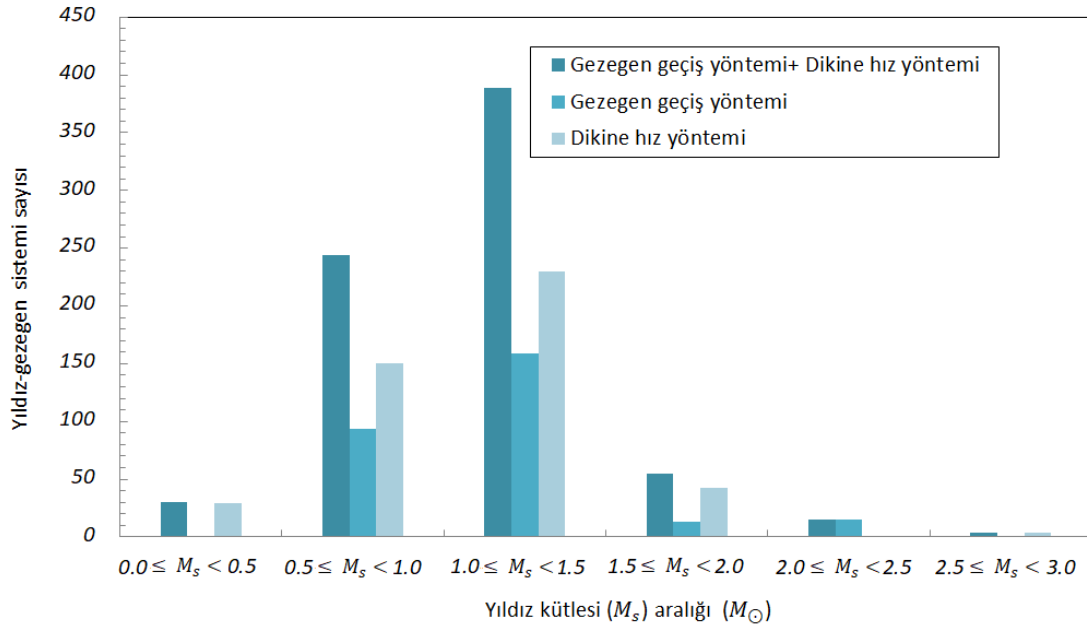
Ana yıldız kütlelerine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı Şekil 8.9’da verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere ele alınan 737 sistem için ana yıldız kütle aralığı $\sim 0.2 M_\odot$ ile $\sim 3 M_\odot$ arasında geniş bir bölgeyi kapsamaktadır. Her ne kadar ana yıldız kütle aralığı geniş bir bölgeyi kapsasa da, burada ele alınan 737 ana yıldızın 93 %’ünün kütlesi $0.5 \leq M_s \leq 1.5 M_\odot$ aralığında yer almaktadır. Ana yıldızların çoğunun kütlelerinin bu dar aralıkta yer alması aslında bir tesadüf değil, seçim etkisi sonucudur. Yer ve uydu tabanlı teleskoplarla yapılan gezegen geçiş gözlem projeleri ile beraber dikine hız gözlem projeleri, kütlesi güneş kütlelerine yakın değerlerde olan ana yıldız etraflarında dolanan ötegezegen araştırmalarını kapsamaktadır (bkz. Alonso ve ark. 2004, Bakos ve ark. 2004,

Auvergne ve ark. 2009, Borucki ve ark. 2010). Bunun başlıca sebebi, bu projeler kapsamında bizim güneşimiz gibi bir yıldız etrafında yaşanılabilir bölge içerisinde dolanan dünya benzeri gezegenlerin araştırılmasının amaçlanmış olmasıdır. Bir diğer sebep olarak, sıcak atmosferli, büyük kütleli ve kendi eksenleri etrafında hızlı dönen yıldızların tayfsal gözlemlerinden az sayıda ve geniş tayf çizgilerinin elde edilmesi verilebilir. Bu tür yıldızların gözlenen az sayıdaki geniş tayf çizgilerinden okunan dikine hız değerleri büyük hata değerleri içerdiğinden, tayfsal gözlem projeleri kapsamında yıldız gezegen sistemlerinin incelenmesi için çoğunlukla güneş benzeri ana yıldızlar seçilmiştir (bkz. Seager 2010). Aynı zamanda, küçük kütleli ana yıldızlar görece daha sönük olduklarından, bu tür ana yıldızların gözlemlerinin yapılması, gözlemsel duyarlılık açısından yıldız-gezegen sistemlerinin incelenmesi için elverişli değildir.

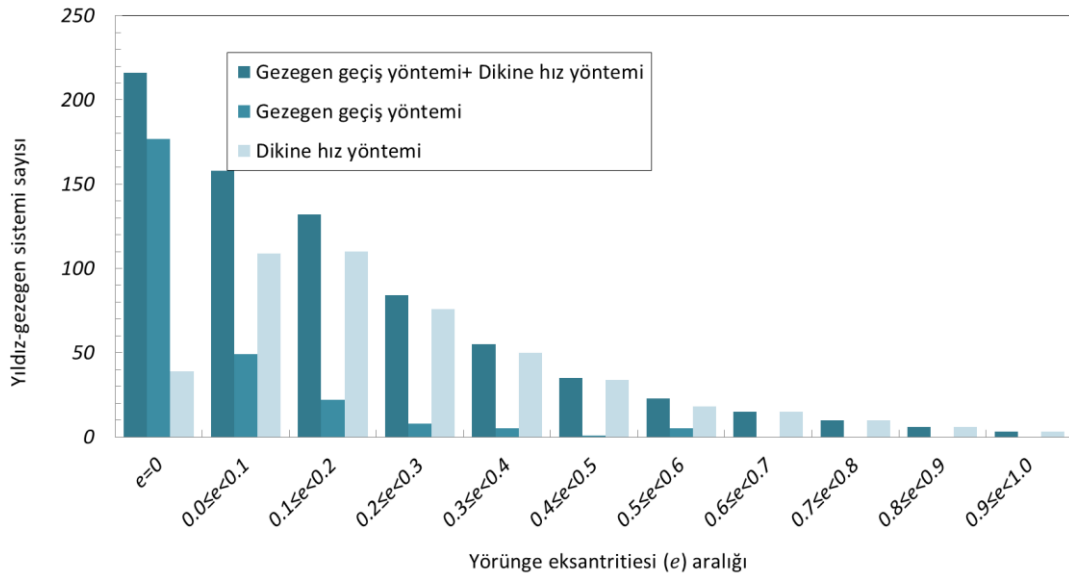


Şekil 8.8. Seçilen yıldız-gezegen sistemlerinde gezegen kütlesi - ana yıldız kütlesi dağılımı.

Yörünge eksantritesine göre yıldız gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı Şekil 8.10'da verilmiştir.



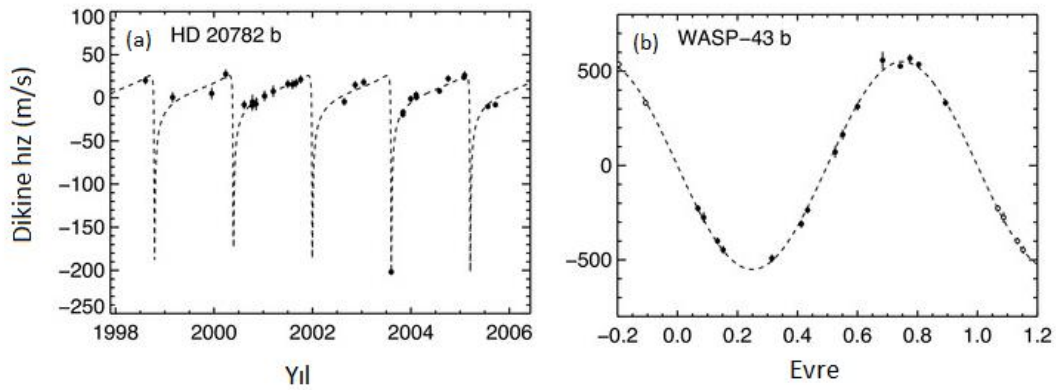
Şekil 8.9. Ana yıldız kütlesine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı.



Şekil 8.10. Yörünge ekasnrtritesine göre yıldız-gezegen sistemlerinin sayısal dağılımı.

Bir yıldız-gezegen sistemindeki gezegenin eksantrik bir yörüngede dolanması durumunda ana yıldıza en yakın olduğu enberi noktasında, yıldız ile gezegen arasındaki çekimsel etkileşme, gezegen yörüngesi üzerindeki diğer konumlarına göre en büyüktür. Bu nedenle, gezegen enberi noktasında iken ana yıldızın gözlenen dikine hızı en büyük değeri alır (bkz. O'Toole ve ark. 2009). Eğer gezegen dairesel yörüngede hareket ediyor ise, ana

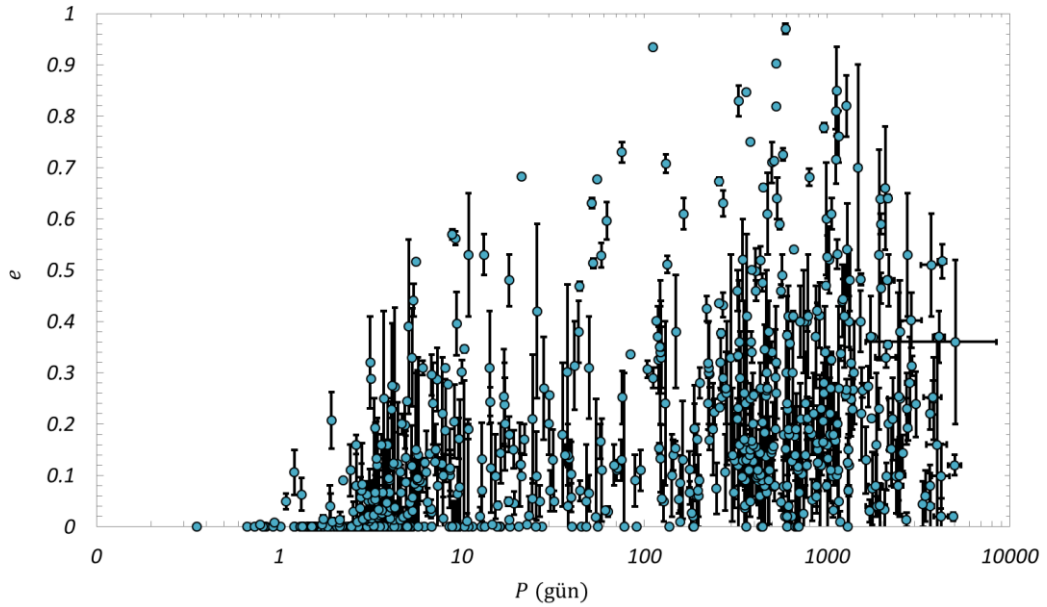
yıldızla olan uzaklığı değişmeyeceğinden, yıldız ile gezegen arasındaki çekimsel etkileşme, gezegenin yörünge hareketi boyunca hep aynı kalır (bkz. Hellier ve ark. 2011). Tüm bu nedenlerden dolayı gezegenin sahip olduğu yörünge eksantritesi, ana yıldızın gözlenen dikine hız eğrisinin biçimini belirlemektedir (bkz. Cumming 2004). Örnek olması açısından, eksantrik yörüngede hareket eden HD 20782b ötegezegeninin ana yıldızının ve dairesel yörüngede hareket eden WASP-43b ötegezegeninin ana yıldızının gözlenen dikine hız diyagramı referansları ile birlikte Şekil 8.11’de verilmiştir. Şekil 8.11’den görüldüğü üzere, HD 20782 ana yıldızının dikine hız eğrisi bozuk bir sinüzoidal biçimde iken, WASP-43 ana yıldızının gözlenen dikine hız eğrisi sinüzoidal bir biçimdedir. Yörünge eksantritesi parametresi, yıldız gezegen sistemlerinin tespit edilebilirliğini oldukça etkilemektedir. Eksantrik bir yörüngede hareket bir gezegen içeren yıldızın dikine hız eğrisi ancak gezenin enberi noktasında olduğu anda ana yıldızın dikine hız gözleminin yapılması sonucu tamamlanabilir. Şekil 8.11’den görüldüğü üzere, HD20782 ana yıldızının dikine hız eğrisi, 2003-2004 yılları arasında, gezegenin enberi noktasında iken alınan bir tane dikine hız ölçümü sayesinde tamamlanabilmiştir. Tüm bu nedenlerden dolayı, Şekil 8.10’den da görüldüğü üzere, eksantrik yörüngede hareket eden ötegezegenlerin tespiti, yörünge eksantritelerinin artan değerleri ile azalmaktadır.



Şekil 8.11. (a) Eksantrik bir yörüngede hareket eden bir ötegezegene sahip HD 20782 ana yıldızının dikine hız diyagramı (O'Toole ve ark. 2009). (b) Dairesel bir yörüngede hareket eden bir ötegezegene sahip WASP-43 ana yıldızının dikine hız diyagramı (Hellier ve ark. 2011).

Seçilen yıldız-gezegen sistemleri için yörünge eksantritesi parametresi $0 \leq e < 1$ gibi geniş bir aralığı kapsamaktadır (bkz. Şekil 8.10). Öte yandan, gezegen kütlelerine göre yörünge eksantritesi ve yörünge döneminin değiştiği görülmüştür. Bu çalışmada seçilen

737 tane yıldız-gezegen sistemi için, gezegen kütlesi $0 < M_p < 5 M_J$ aralığında olan ötegezegenlerin ortalama yörünge eksantriteleri ve yörünge dönemleri sırasıyla $e_{ortalama} = 0.11 \pm 0.05$ ve $P_{ortalama} = 92.42 \pm 2.02$ gün olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde gezegen kütlesi $5 \leq M_p < 23.5 M_J$ aralığında olan ötegezegenlerin ortalama yörünge eksantriteleri ve yörünge dönemleri sırasıyla $e_{ortalama} = 0.18 \pm 0.04$ ve $P_{ortalama} = 574.86 \pm 23.44$ gün olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, küçük gezegen kütlesine sahip ötegezegenlerin ortalama yörünge eksantriteleri ve yörünge dönemleri, büyük kütleli gezegenlerinkinden daha küçüktür. Gezegen kütlesine göre yörünge eksantritesi ve yörünge döneminin değişmesi tam olarak günümüzde anlaşılamasa da, bu durumun, büyük kütleli gezegenler ile küçük kütleli gezegenlerin birbirlerinden farklı oluşum mekanizmalarının olduğunun ve yaşamları boyunca birbirlerinden farklı bir evrim süreci geçirdiklerinin bir belirtisi olduğuna inanılmaktadır (bkz. Ford ve Rasio 2008, Seager 2010).

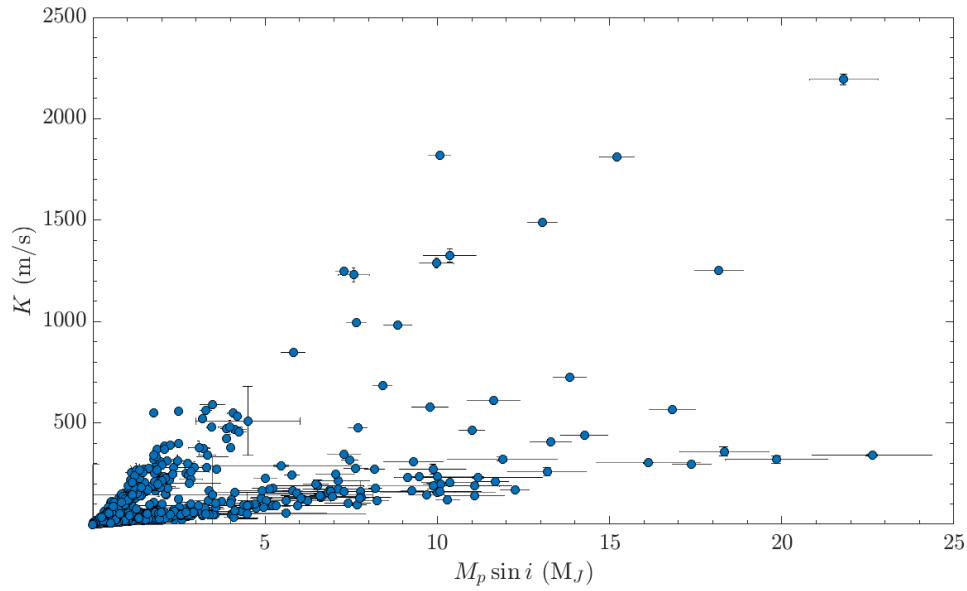


Şekil 8.12. Seçilen yıldız-gezegen sistemlerinde, ötegezegenlerin yörünge eksantritelerinin yörünge dönemlerine göre değişimi.

Yörünge eksantritesi ile yörünge döneminin değişimi diyagramı Şekil 8.12’de verilmiştir. Şekil 8.12’den görüldüğü üzere, küçük yörünge dönemlerine sahip ötegezegenler büyük yörünge dönemine sahip ötegezegenlere göre daha dairesel bir yörüngede hareket etmektedirler. Bu durum, küçük yörünge dönemine sahip ötegezegenlerin, büyük yörünge dönemlerine sahip ötegezegenlere göre ana yıldızlarına

daha yakın olduklarından, gravitasyonel çekim etkisi sonucu dairesel bir yörüngede hareket etmeye zorlandıklarının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (bkz. Cumming 2004).

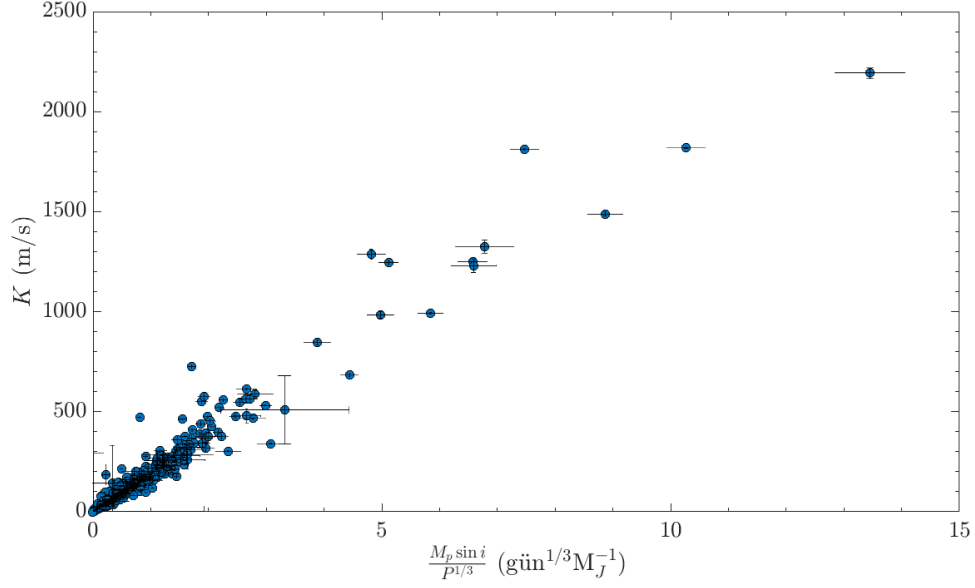
Seçilen 737 ötegezegen için ötegezegen kütlelerinin ana yıldız dikine hız yarı genliği üzerine etkisi de incelenebilir. Bunun için öncelikle ele alınan 737 sistem için dikine hız yarı genliğinin gezen kütlelerine göre değişimi grafiği elde edilmiş ve Şekil 8.13'te sunulmuştur.



Şekil 8.13. Seçilen 737 yıldız-gezegen sistemi için elde edilen ana yıldızın dikine hız yarı genliğinin gezegen kütlelerine göre değişimi.

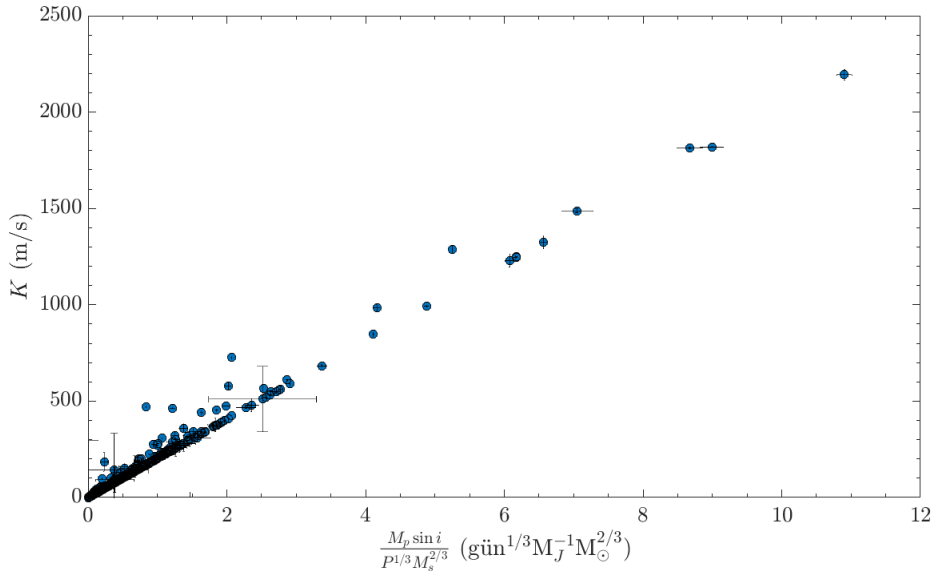
Şekil 8.13'ten görüldüğü üzere, dikine hız yarı genliği-gezegen kütlesi diyagramında belirli bir düzen görülmemektedir.

Ötegezegen kütlesi ile beraber yörünge döneminin ana yıldız dikine hız yarı genliği üzerine etkisini inceleyebilmek için, ele alınan 737 sistem için K dikine hız yarı genliklerinin (8.5) denkleminde yer alan $\frac{M_p \sin i}{p^{1/3}}$ terimine göre değişimini veren grafik elde edilmiştir. $K - \frac{M_p \sin i}{p^{1/3}}$ diyagramı Şekil 8.14'te verilmiştir. Şekil 8.14'ten görüldüğü üzere, (8.5) denklemi ile uyumlu olarak K ile $\frac{M_p \sin i}{p^{1/3}}$ arasında bir lineer ilişki göze çarpmaktadır.

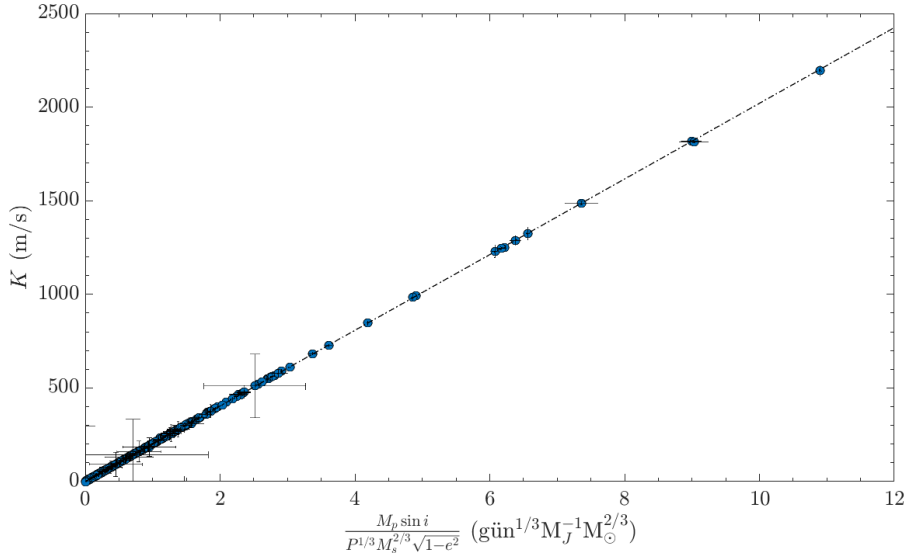


Şekil 8.14. Seçilen 737 yıldız-gezegen sistemi için ana yıldızın dikine hız yarı genliklerinin $\frac{M_p \sin i}{P^{1/3}}$ terimine göre değişimi.

Ele alınan 737 sistem için dikine hız yarı genliğinin (8.5) denkleminde yer alan $\frac{M_p \sin i}{P^{1/3} M_s^{2/3}}$ ve $\frac{M_p \sin i}{P^{1/3} M_s^{2/3} \sqrt{1-e^2}}$ terimleri ile değişimi sırasıyla Şekil 8.15 ve Şekil 8.16'da verilmiştir.



Şekil 8.15. Seçilen 737 yıldız-gezegen sistemi için ana yıldızın dikine hız yarı genliklerinin $\frac{M_p \sin i}{P^{1/3} M_s^{2/3}}$ terimine göre değişimi.

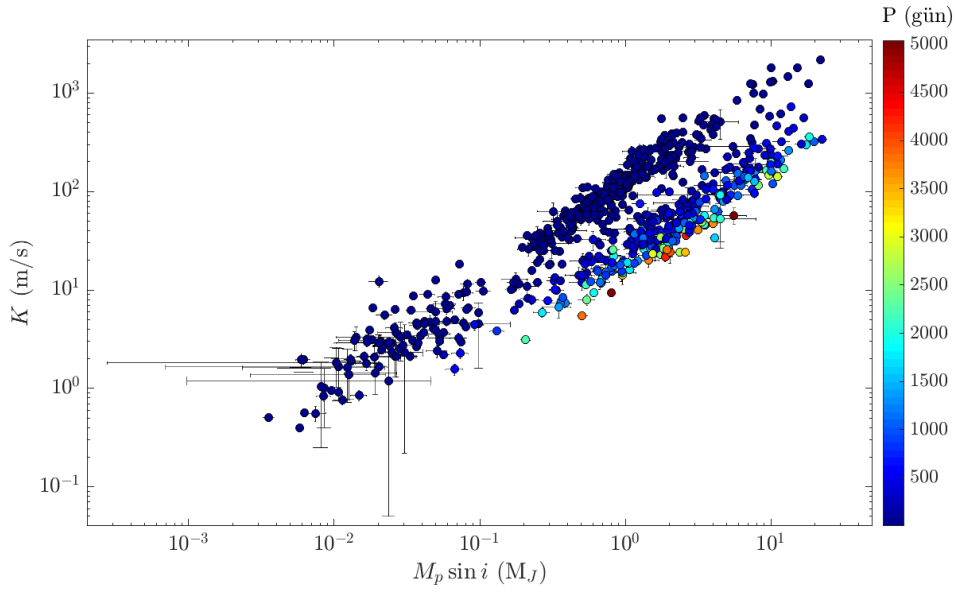


Şekil 8.16. Seçilen 737 yıldız-gezegen sistemi için ana yıldızın dikine hız yarı genliklerinin $\frac{M_p \sin i}{P^{1/3} M_s^{2/3} \sqrt{1-e^2}}$ terimine göre değişimi. Noktalı kesikli çizgi en küçük kareler yöntemi ile elde edilen lineer fiti temsil etmektedir.

Şekil 8.16'da verilen $K - \frac{M_p \sin i}{P^{1/3} M_s^{2/3} \sqrt{1-e^2}}$ diyagramına en küçük kareler yöntemi ile lineer fit yapıldığında, ele alınan 737 sistemi için K ile $\frac{M_p \sin i}{P^{1/3} M_s^{2/3} \sqrt{1-e^2}}$ terimleri arasında (8.6) denklemi ile verilen deneysel bağıntı elde edilmiştir.

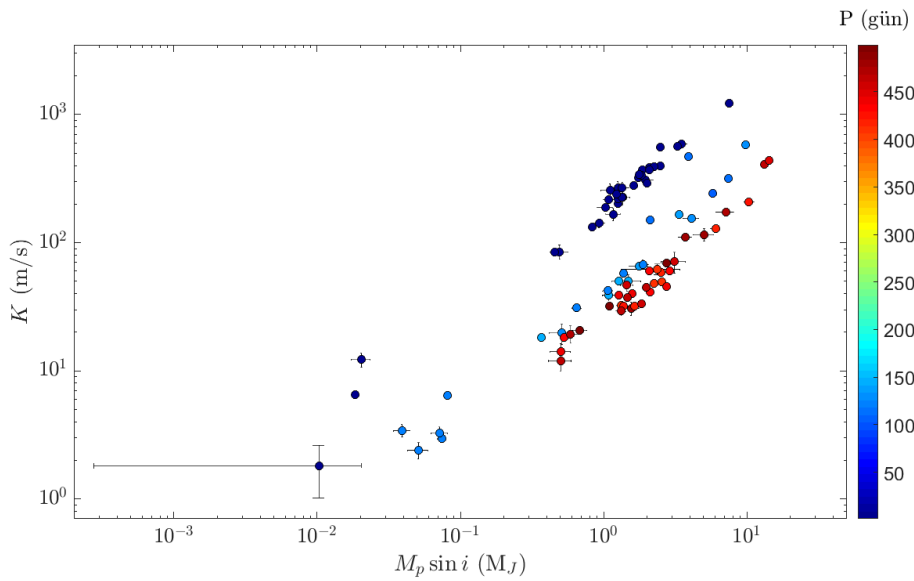
$$K = (202.1 \pm 2.4) \left(\frac{\text{gün}}{P} \right)^{1/3} \left(\frac{M_p \sin i}{M_J} \right) \left(\frac{M_\odot}{M_s} \right)^{2/3} \frac{1}{\sqrt{1-e^2}} \text{ (m/s)} \quad (8.6)$$

Şekil 8.13'ten, Şekil 8.14'den, Şekil 8.15'ten ve Şekil 8.16'dan, ana yıldızın dikine hızını etkileyen en baskın parametrelerin ötegezegenlerin kütleleri ve yörünge dönemleri olduğu görülmektedir. Ana yıldız dikine hız yarı genliği üzerine gezegen kütlesi ile beraber yörünge dönemi etkisini inceleyebilmek için ele alınan 737 sistem için dikine hız yarı genliğinin hem gezegen kütlesine hem de yörünge dönemine göre değişimi Şekil 8.17'de verilmiştir. Seçilen yıldız-gezegen sistemlerinin Şekil 8.17'deki konumlarına bakıldığında, yıldız-gezegen sistemlerinin yörünge dönemlerine göre belirli bölgelerde kümелendikleri görülmektedir.



Şekil 8.17. Seçilen 737 yıldız-gezegen sistemi için elde edilen ana yıldızın dikine hız yarı genliğinin gezegen kütlesine ve yörünge dönemine göre değişimi.

Seçilen yıldız gezegen sistemlerinin yörünge dönem aralığı $0 < P < 5000$ gün gibi geniş bir aralığı kapsadığından, bu kümelenmeyi daha belirgin olarak görebilmek için yörünge dönemi $1 \leq P < 2$ gün, $100 \leq P < 150$ gün ve $400 \leq P < 500$ gün arasında olan sistemler seçilerek dikine hız yarı genliğinin hem gezegen kütlesine hem de yörünge dönemine göre değişimi grafiği elde edilmiştir (bkz. Şekil 8.18).



Şekil 8.18. Yörünge dönemi $1 \leq P < 2$ gün, $100 \leq P < 150$ gün, $400 \leq P < 500$ gün olan ötegezegenleri içeren yıldız gezegen sistemleri için ana yıldızın dikine hız yarı genliğinin gezegen kütlesine ve yörünge dönemine göre değişimi.

Bu kümelenme Şekil 8.18’de daha belirgin olarak görülebilir. Şekil 8.18’den görüldüğü üzere, yörünge dönemi belirli bir aralıkta yer alan ötegezegen içeren yıldız gezegen sistemlerinde K ile $M_p \sin i$ terimleri arasında lineer bir ilişki vardır. Bu nedenle yörünge dönemi belirli bir aralık içerisinde olan ötegezegenleri içeren yıldız gezegen sistemleri için K ile $M_p \sin i$ arasında deneysel olarak aşağıdaki biçimde lineer bir bağıntı elde edilebilir.

$$K = A \times M_p \sin i \quad (8.7)$$

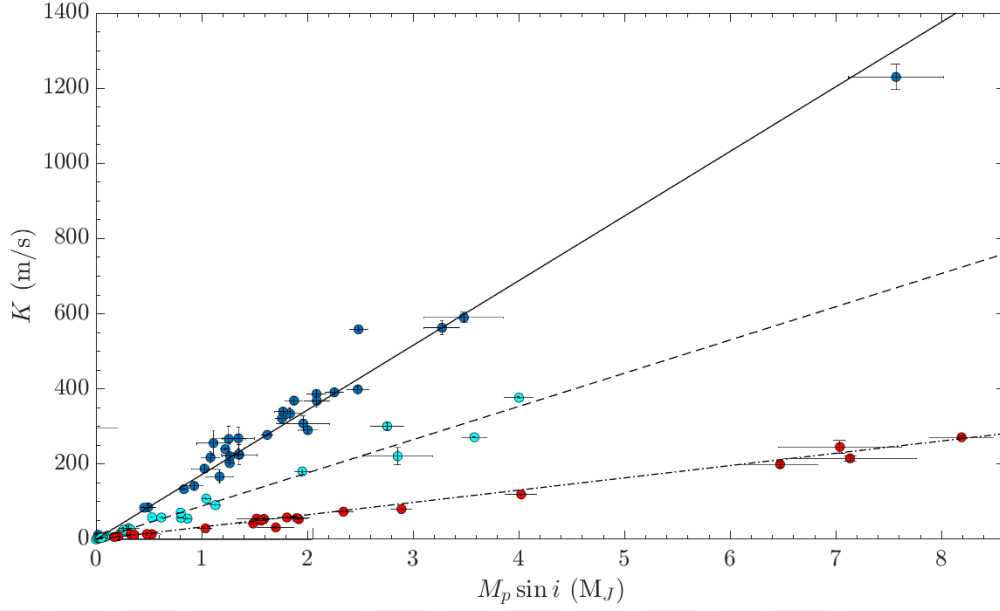
Buradaki A katsayısı, yörünge dönemi belirli bir aralık içerisinde olan ötegezegenler için elde edilen $K - M_p \sin i$ diyagramının eğimidir. Bu sayede, eğer bir ötegezegenin yörünge dönemi ve ana yıldızının dikine hız yarı genliği biliniyorsa, (8.5) denkleminde görülen ana yıldız kütlesi ve yörünge eksantritesi değerlerine ihtiyaç duyulmaksızın, bu ötegezegenin kütlesi tahmin edilebilir.

Bu amaçla seçilen 737 yıldız-gezegen sistemi, sahip oldukları ötegezegenlerin yörünge dönemlerine göre 31 gruba ayrılmıştır (bkz. Çizelge 8.2). Sonrasında, her bir grup için ayrı ayrı $K - M_p \sin i$ diyagramı elde edilmiştir. Her bir grup için ayrı ayrı olmak üzere $K - M_p \sin i$ diyagramlarına en küçük kareler yöntemi ile lineer fit yapılarak K ile $M_p \sin i$ terimleri arasındaki lineer ilişki elde edilmiştir. Bir örnek olması açısından, grup 2 ($1 \leq P < 2$), grup 11 ($10 \leq P < 20$) ve grup 18 ($200 \leq P < 300$) içerisine giren yıldız gezegen sistemlerinin $K - M_p \sin i$ diyagramı üzerindeki konumları ve yapılan lineer lineer fitler Şekil 8.19’da gösterilmiştir. 31 grup için yapılan lineer fitler sonucu elde edilen A genlikleri Çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.2’den görüldüğü üzere kısa yörünge dönemine sahip ötegezegenleri içeren yıldızların dikine hız yarı genliği genel olarak daha büyüktür. Bunun sebebi, Kepler’in üçüncü kanunu gereği yörünge dönemi daha küçük olan ötegezegenlerin ana yıldızlarına daha yakın olması sonucu yıldız ile gezegen arasındaki çekimsel etkileşmenin daha büyük olmasındandır. Bir başka deyişle, ana yıldızına yakın olan ötegezegenler, uzak olanlara göre ana yıldızlarını daha çok tedirgin ederler.

Çizelge 8.2. 737 yıldız gezegen sisteminden oluşturulan grupların yörünge dönem aralıkları, içerdikleri yıldız-gezegen sistemi sayıları ve lineer fitlerden elde edilen A eğimi değerleri.

Grup	P (gün)	Yıldız-gezegen sistemi sayısı	$A \left(\frac{\text{m}}{\text{M}_{\text{JS}}} \right)$
1	$0 < P < 1$	9	185.09 ± 7.09
2	$1 \leq P < 2$	35	172.04 ± 6.13
3	$2 \leq P < 3$	56	139.04 ± 3.82
4	$3 \leq P < 4$	85	123.32 ± 3.43
5	$4 \leq P < 5$	57	102.27 ± 2.73
6	$5 \leq P < 6$	23	107.24 ± 2.80
7	$6 \leq P < 7$	12	88.07 ± 2.28
8	$7 \leq P < 8$	8	103.35 ± 3.59
9	$8 \leq P < 9$	10	121.09 ± 3.67
10	$9 \leq P < 10$	12	104.17 ± 3.10
11	$10 \leq P < 20$	37	88.41 ± 2.44
12	$20 \leq P < 30$	16	69.33 ± 2.92
13	$30 \leq P < 40$	13	57.07 ± 1.56
14	$40 \leq P < 50$	10	69.25 ± 1.54
15	$50 \leq P < 100$	22	54.62 ± 6.34
16	$100 \leq P < 150$	22	53.80 ± 2.01
17	$150 \leq P < 200$	18	29.30 ± 1.58
18	$200 \leq P < 300$	24	32.72 ± 0.94
19	$300 \leq P < 400$	41	22.04 ± 1.09
20	$400 \leq P < 500$	34	26.83 ± 1.10
21	$500 \leq P < 600$	22	31.21 ± 1.34
22	$600 \leq P < 700$	24	21.48 ± 1.26
23	$700 \leq P < 800$	14	17.74 ± 0.82
24	$800 \leq P < 900$	10	16.45 ± 1.20
25	$900 \leq P < 1000$	15	15.88 ± 0.35
26	$1000 \leq P < 1200$	26	18.54 ± 0.31
27	$1200 \leq P < 1400$	18	19.58 ± 0.11
28	$1400 \leq P < 2000$	22	18.20 ± 0.46
29	$2000 \leq P < 3000$	25	15.11 ± 0.82
30	$3000 \leq P < 4000$	10	12.34 ± 0.22
31	$4000 \leq P < 5000$	7	11.87 ± 0.34



Şekil 8.19. Grup 2 (koyu mavi noktalar), grup 11 (açık mavi noktalar) ve grup 18 (kırmızı noktalar) yıldız-gezegen sistemleri için elde edilen ana yıldızın dikine hız yarı genliklerinin gezegen kütlelerine göre değişimi. Düz çizgi, kesikli çizgi ve kesikli noktalı çizgi sırasıyla grup 1, grup 11 ve grup 18 yıldız gezegen sistemlerinin dikine hız yarı genliklerinin gezegen kütlelerine göre değişimlerine en küçük kareler yöntemi kullanılarak yapılan lineer fitleri temsil etmektedir.

Çizelge 8.3’de, yörünge dönemi ve ana yıldızlarının dikine hız yarı genlikleri literatürden alınan 13 tane yıldız-gezegen sisteminin, Çizelge 8.3’de, elde edilen A genlikleri kullanılarak hesaplanan gezegen kütleleri verilmiştir. Deneysel olarak elde edilen A genlikleri kullanılarak kütleleri hesaplanan gezegenlerden CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b ve WASP-52b ötegezegenleri aynı zamanda ışıkölçüm takip gözlemleri yapılan ötegezegenlerdir (bkz. Bölüm 4, Bölüm 5, Bölüm 6). Çizelge 8.3’de yer alan Kepler-6b, Kepler-8b ve Kepler-40b ise Kepler gözlemleri yapılan bu çalışmada incelenen ötegezegenlerdir (bkz. Bölüm 4, Bölüm 5, Bölüm 6). Diğer ötegezegenler ise yörünge dönemleri 28.5 gün ile 4218 gün arasında değişen ötegezegenlerdir.

Çizelge 8.3’den görüldüğü üzere, deneysel olarak elde edilen ve Çizelge 8.2’de verilen A genlikleri kullanılarak hesaplanan gezegen kütlesi değerleri, literatürde verilen değerleri ile hata mertebesinde uyumlu görülmektedir. Bu uygulama sonucunda görüldüğü üzere, (8.5) denklemindeki ana yıldız kütesinden ve yörünge eksantritesinden bağımsız olarak, sadece ötegezegenlerin sahip oldukları yörünge dönem aralığına göre değişen A

genliklerinden ve ana yıldızın dikine hız yarı genliğinden gezegenlerin kütleleri tahmin edilebilir.

Çizelge 8.3. Yıldız-gezegen sistemi gruplarının dikine hız yarı genliği-gezegen kütlesi diyagramlarından elde edilen eğimler (bkz. Çizelge 8.2) kullanılarak hesaplanan bazı gezegenlerin kütleleri ve literatür değerleri ile karşılaştırılması.

Ötegezegen	P (gün)	K (m/s)	Hesaplanan $M_p \sin i$ (M_J)	Literatür $M_p \sin i$ (M_J)
CoRoT-2b	$1.7429975 \pm 0.0000002^{[1]}$	$603 \pm 18^{[2]}$	3.50 ± 0.12	$3.47 \pm 0.22^{[2]}$
HAT-P-12b	$3.2130579 \pm 0.0000004^{[1]}$	$35.8 \pm 1.9^{[3]}$	0.29 ± 0.08	$0.21 \pm 0.01^{[3]}$
HD 13931b	$4218 \pm 388^{[4]}$	$23.3 \pm 1.4^{[4]}$	1.96 ± 0.16	$1.88 \pm 0.15^{[4]}$
HD 114613b	$3827 \pm 105^{[5]}$	$5.52 \pm 0.40^{[5]}$	0.45 ± 0.02	$0.48 \pm 0.04^{[5]}$
HD 117618b	$28.5 \pm 0.5^{[6]}$	$12 \pm 2^{[6]}$	0.17 ± 0.06	$0.16 \pm 0.03^{[6]}$
HD 171028b	$550 \pm 3^{[7]}$	$60.6 \pm 1.0^{[7]}$	1.94 ± 0.09	$1.98^{[7]}$
HD 290327b	$2443^{+205}_{-117}^{[8]}$	$41.3 \pm 2.9^{[8]}$	2.73 ± 0.19	$2.54^{+0.17}_{-0.14}^{[8]}$
Kepler-6b	$3.2346996 \pm 0.0000001^{[9]}$	$80.9 \pm 2.6^{[10]}$	0.66 ± 0.08	$0.668^{+0.025}_{-0.030}^{[10]}$
Kepler-8b	$3.5224990 \pm 0.0000003^{[9]}$	$68.4 \pm 12.0^{[11]}$	0.55 ± 0.12	$0.600^{+0.13}_{-0.19}^{[11]}$
Kepler-40b	$6.8731702 \pm 0.0000005^{[9]}$	$179 \pm 27^{[12]}$	2.03 ± 0.55	$2.2 \pm 0.4^{[12]}$
TrES-2b	$2.47061437 \pm 0.00000009^{[1]}$	$181.3 \pm 2.6^{[13]}$	1.30 ± 0.09	$1.25 \pm 0.04^{[13]}$
WASP-12b	$1.0914199 \pm 0.0000002^{[1]}$	$226 \pm 4^{[14]}$	1.31 ± 0.14	$1.40 \pm 0.10^{[14]}$
WASP-52b	$1.7497828 \pm 0.0000006^{[1]}$	$84.3 \pm 3.0^{[15]}$	0.49 ± 0.08	$0.46 \pm 0.02^{[15]}$

^[1]Öztürk ve Erdem (2019) ^[2]Gillon ve ark. (2010) ^[3]Hartman ve ark. (2009)
^[4]Howard ve ark. (2010) ^[5]Wittenmyer ve ark. (2014) ^[6]Tinney ve ark. (2005) ^[7]Santos ve ark. (2011) ^[8]Naef ve ark. (2010) ^[9]Bu çalışma (bkz. bkz. Kepler-6b için Çizelge 5.8, Kepler-8b için Çizelge 5.9, Kepler-40b için Çizelge 5.10) ^[10]Dunham ve ark. (2010)
^[11]Jenkins ve ark. (2010) ^[12]Santerne ve ark. (2011) ^[13]O'Donovan ve ark. (2006) ^[14]Hebb ve ark. (2009) ^[15]Hebrard ve ark. (2013).

KAYNAKLAR

- Adams E. R., Lopez-Morales M., Elliot J. L., Seager S., Osip D. J., 2010. Six High-Precision Transits of OGLE-TR-113b. *The Astrophysical Journal*, 721 (2): 1829-1834.
- Agol E., Deck K., 2015. Delivering on the Promise of Transit Timing Variations. *American Astronomical Society Meeting Abstracts*, 225 (id. 105.07).
- Agol E., Steffen J., Sari R., Clarkson W., 2005. On Detecting Terrestrial Planets with Timing of Giant Planet Transits. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 359 (2): 567-579.
- Akaike H., 1973, Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. 2nd International Symposium on Information Theory, Tsahkadsor, Armenia, USSR, September 2-8, 1971, Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Alexoudi X., Mallonn M., von Essen C., Turner J. D., Keles E., Southworth J., Mancini L., Ciceri S., Granzer T., Denker C., Dineva E., Strassmeier K. G., 2018. Deciphering the Atmosphere of HAT-P-12b: Solving Discrepant Results. *Astronomy and Astrophysics*, 620 (id. 142): 1-20.
- Alonso R., Aigrain S., Pont F., Mazeh T., CoRoT Exoplanet Science Team, 2009. Searching for the Secondary Eclipse of CoRoT-Exo-2b and its Transit Timing Variations. *Transiting Planets, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 253: 91-96.
- Alonso R., Auvergne M., Baglin A., Ollivier M., Moutou C., Rouan D., Deeg H. J., Aigrain S., Almenara J. M., Barbieri M., Barge P., Benz W., Bordé P., Bouchy F., de La Reza R., Deleuil M., Dvorak R., Erikson A., Fridlund M., Gillon M., Gondoin P., Guillot T., Hatzes A., Hébrard G., Kabath P., Jorda L., Lammer H., Léger A., Llebaria A., Loeillet B., Magain P., Mayor M., Mazeh T., Pätzold M., Pepe F., Pont F., Queloz D., Rauer H., Shporer A., Schneider J., Stecklum B., Udry S., Wuchterl G., 2008. Transiting exoplanets from the CoRoT space mission. II. CoRoT-Exo-2b: a Transiting Planet Around an Active G Star. *Astronomy and Astrophysics*, 482 (3): 21-24.
- Alonso R., Brown T. M., Torres G., Latham D. W., Sozzetti A., Mandushev G., Belmonte

- J. A., Charbonneau D., Deeg H. J., Dunham E. W., O'Donovan F. T., Stefanik R. P., 2004. TrES-1: The Transiting Planet of a Bright K0 V Star . The Astrophysical Journal, 613 (2): 153-156.
- Alonso R., Deeg H. J., Kabath P., Rabus M., 2010. Ground-Based Near-Infrared Observations of the Secondary Eclipse of CoRoT-2b. The Astronomical Journal, 139 (4): 1481-1485.
- Alonso R., Guillot T., Mazeh T., Aigrain S., Alapini A., Barge P., Hatzes A., Pont F., 2009. The Secondary Eclipse of the Transiting Exoplanet CoRoT-2b. Astronomy and Astrophysics, 501 (3): 23-26.
- Ammler-von Eiff M., Santos N. C., Sousa S. G., Fernandes J., Guillot T., Israelian G., Mayor M., Melo C., 2009. A Homogeneous Spectroscopic Analysis of Host Stars of Transiting Planets. Astronomy and Astrophysics, 507 (1): 523-530.
- Angerhausen D., DeLarme E., Morse J. A., 2015. A Comprehensive Study of Kepler Phase Curves and Secondary Eclipses: Temperatures and Albedos of Confirmed Kepler Giant Planets. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 127 (957): 1113-1130.
- Arfken G., 1985. Fourier Series. Ch. 14 in Mathematical Methods for Physicists, 3rd ed. Orlando, FL: Academic Press, 760-793,.
- Auvergne M., Bodin P., Boissard L., Buey J.-T., Chaintreuil S., Epstein G., Joutet M., Lam-Trong T., Levacher P., Magnan A., Perez R., Plasson P., Plessier J., Peter G., Steller M., Tiphène D., Baglin A., Agogué P., Appourchaux T., Barbet D., Beaufort T., Bellenger R., Berlin R., Bernardi P., Blouin D., Boumier P., Bonneau F., Briet R., Butler B., Cautain R., Chiavassa F., Costes V., Cuvillo J., Cunha-Parro V., de Oliveira Fialho F., Decaudin M., Defise J.-M., Djalal S., Docclo A., Drummond R., Dupuis O., Exil G., Fauré C., Gaboriaud A., Gamet P., Gavalda P., Grolleau E., Gueguen L., Guivarc'h V., Guterman P., Hasiba J., Huntzinger G., Hustaix H., Imbert C., Jeanville G., Johlander B., Jorda L., Journoud P., Karioty F., Kerjean L., Lafond L., Lapeyrere V., Landiech P., Larqué T., Laudet P., Le Merrer J., Leporati L., Leruyet B., Levieuge B., Llebaria A., Martin L., Mazy E., Mesnager J.-M., Michel J.-P., Moalic J.-P., Monjoin W., Naudet D., Neukirchner S., Nguyen-Kim K., Ollivier M., Orcesi J.-L., Ottacher H., Oulali A., Parisot J., Perruchot S., Piacentino

- A., Pinheiro da Silva L., Platzner J., Pontet B., Pradines A., Quentin C., Rohbeck U., Rolland G., Rollenhagen F., Romagnan R., Russ N., Samadi R., Schmidt R., Schwartz N., Sebbag I., Smit H., Sunter W., Tello M., Toulouse P., Ulmer B., Vandermarcq O., Vergnault E., Wallner R., Waultier G., Zanatta P., 2009. The CoRoT Satellite in Flight: Description and Performance. *Astronomy and Astrophysics*, 506 (1): 411-424.
- Bailey A., Goodman J., 2019. Understanding WASP-12b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 482 (2): 1872-1882.
- Bakos G. Á., Lázár J., Papp I., Sári P., Green E. M., 2002. System Description and First Light Curves of the Hungarian Automated Telescope, an Autonomous Observatory for Variability Search. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 114 (799): 974-987.
- Bakos G., Noyes R. W., Kovács G., Stanek K. Z., Sasselov D. D., Domsa I., 2004. Wide-Field Millimagnitude Photometry with the HAT: A Tool for Extrasolar Planet Detection. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 116 (817): 266-277.
- Ballard S., Fabrycky D., Fressin F., Charbonneau D., Desert J.-M., Torres G., Marcy G., Burke C. J., Isaacson H., Henze C., Steffen J. H., Ciardi D. R., Howell S. B., Cochran W. D., Endl M., Bryson S. T., Rowe J. F., Holman M. J., Lissauer J. J., Jenkins J. M., Still M., Ford E. B., Christiansen J. L., Middour C. K., Haas M. R., Li J., Hall J. R., McCauliff S., Batalha N. M., Koch D. G., Borucki W. J., 2011. The Kepler-19 System: A Transiting 2.2 $R_{\oplus}$ Planet and a Second Planet Detected via Transit Timing Variations. *The Astrophysical Journal*, 743 (2) article id. 200: 1-20.
- Baluev R. V., Sokov E. N., Shaidulin V. Sh., Sokova I. A., Jones H. R. A., Tuomi M., Anglada-Escudé G., Benni P., Colazo C. A., Schneiter M. E., D'Angelo C. S., Burdanov A. Y., Fernández-Lajús E., Baştürk Ö., Hentunen V.-P., Shadick S., 2015. Benchmarking the Power of Amateur Observatories for TTV Exoplanets Detection. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 450 (3): 3101-3113.
- 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.,

- Thompson S. E., 2012. Photometrically Derived Masses and Radii of the Planet and Star in the TrES-2 System. *The Astrophysical Journal*, 761 (1) article id. 53: 1-10.
- Bechter E. B., Crepp J. R., Ngo H., Knutson H. A., Batygin K., Hinkley S., Muirhead P. S., Johnson J. A., Howard A. W., Montet B. T., Matthews C. T., Morton T. D., 2014. WASP-12b and HAT-P-8b are Members of Triple Star Systems. *The Astrophysical Journal*, 788 (1) article id. 2: 1-6.
- Bergfors C., Brandner W., Daemgen S., Biller B., Hippler S., Janson M., Kudryavtseva N., Geißler K., Henning T., Köhler R., 2013. Stellar Companions to Exoplanet Host Stars: Lucky Imaging of Transiting Planet Hosts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 428 (1): 182-189.
- Blecic J., Harrington J., Madhusudhan N., Stevenson K. B., Hardy R. A., Cubillos P. E., Hardin M., Bowman O., Nymeyer S., Anderson D. R., Hellier C., Smith A. M. S., Collier Cameron A., 2014. Spitzer Observations of the Thermal Emission from WASP-43b. *The Astrophysical Journal*, 781 (2) article id. 116: 1-11.
- Bonomo A. S., Desidera S., Benatti S., Borsa F., Crespi S., Damasso M., Lanza A. F., Sozzetti A., Lodato G., Marzari F., Boccato C., Claudi R. U., Cosentino R., Covino E., Gratton R., Maggio A., Micela G., Molinari E., Pagano I., Piotto G., Poretti E., Smareglia R., Affer L., Biazzo K., Bignamini A., Esposito M., Giacobbe P., Hébrard G., Malavolta L., Maldonado J., Mancini L., Martinez Fiorenzano A., Masiero S., Nascimbeni V., Pedani M., Rainer M., Scandariato G., 2017. The GAPS Programme with HARPS-N at TNG . XIV. Investigating Giant Planet Migration History via Improved Eccentricity and Mass Determination for 231 Transiting Planets. *Astronomy & Astrophysics*, 602 (id.A107): 1-16.
- Borsa F., Poretti E., 2013. An Analysis of CoRoT Multicolour Photometry of Exoplanets. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 428 (1): 891-896.
- Borucki W. J., Koch D. G., Basri G., Batalha N., Brown T. M., Bryson S. T., Caldwell D., Christensen-Dalsgaard J., Cochran W. D., DeVore E., Dunham E. W., Gautier T. N., Geary J. C., Gilliland R., Gould A., Howell S. B., Jenkins J. M., Latham D. W., Lissauer J. J., Marcy G. W., Rowe J., Sasselov D., Boss A., Charbonneau D., Ciardi D., Doyle L., Dupree A. K., Ford E. B., Fortney J., Holman M. J., Seager S., Steffen J. H., Tarter J., Welsh W. F., Allen C., Buchhave L. A., Christiansen J. L., Clarke B.

- D., Das S., Désert J.-M., Endl M., Fabrycky D., Fressin F., Haas M., Horch E., Howard A., Isaacson H., Kjeldsen H., Kolodziejczak J., Kulesa C., Li J., Lucas P. W., Machalek P., McCarthy D., MacQueen P., Meibom S., Miquel T., Prsa A., Quinn S. N., Quintana E. V., Ragozzine D., Sherry W., Shporer A., Tenenbaum P., Torres G., Twicken J. D., Van Cleve J., Walkowicz L., Witteborn F. C., Still M., 2011. Characteristics of Planetary Candidates Observed by Kepler. II. Analysis of the First Four Months of Data . *The Astrophysical Journal*, 736 (1) article id. 19: 1-22.
- Borucki W., Koch D., Batalha N., Caldwell D., Christensen-Dalsgaard J., Cochran W. D., Dunham E., Gautier T. N., Geary J., Gilliland R., Jenkins J., Kjeldsen H., Lissauer J. J., Rowe J., 2009. KEPLER: Search for Earth-Size Planets in the Habitable Zone. *Transiting Planets, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 253: 289-299.
- Boss A., Lecavelier des Etangs A., Mayor M., Bodenheimer P., Collier-Cameron A., Kokubo E., Mardling R., Minniti D., Queloz D., 2012. Commission 53: Extrasolar Planets. *Transactions IAU*, 7 (T28A): 138-140.
- Bouchy F., Hébrard G., Udry S., Delfosse X., Boisse I., Desort M., Bonfils X., Eggenberger A., Ehrenreich D., Forveille T., Lagrange A. M., Le Coroller H., Lovis C., Moutou C., Pepe F., Perrier C., Pont F., Queloz D., Santos N. C., Ségransan D., Vidal-Madjar A., 2009. The SOPHIE Search for Northern Extrasolar planets . I. A Companion Around HD 16760 with Mass Close to the Planet/Brown-dwarf Transition. *Astronomy and Astrophysics*, 505 (2): 853-858.
- Bouchy F., Queloz D., Deleuil M., Loeillet B., Hatzes A. P., Aigrain S., Alonso R., Auvergne M., Baglin A., Barge P., Benz W., Bordé P., Deeg H. J., de La Reza R., Dvorak R., Erikson A., Fridlund M., Gondoin P., Guillot T., Hébrard G., Jorda L., Lammer H., Léger A., Llebaria A., Magain P., Mayor M., Moutou C., Ollivier M., Pätzold M., Pepe F., Pont F., Rauer H., Rouan D., Schneider J., Triaud A. H. M. J., Udry S., Wuchterl G., 2008. Transiting Exoplanets from the CoRoT Space Mission. III. The Spectroscopic Transit of CoRoT-Exo-2b with SOPHIE and HARPS. *Astronomy and Astrophysics*, 482 (3): 25-28.
- Bruno G., Deleuil M., Almenara J.-M., Barros S. C. C., Lanza A. F., Montalto M., Boisse

- I., Santerne A., Lagrange A.-M., Meunier N., 2016. Disentangling Planetary and Stellar Activity Features in the CoRoT-2 Light Curve. *Astronomy & Astrophysics*, 595 (id.A89): 1-14.
- Bruno G., Lewis N. K., Stevenson K. B., Filippazzo J., Hill M., Fraine J. D., Wakeford H. R., Deming D., López-Morales M., Alam M. K., 2018. Starspot Occultations in Infrared Transit Spectroscopy: The Case of WASP-52b. *The Astronomical Journal*, 156 (3) article id. 124: 1-14.
- Budding E., Rhodes M. D., Püsküllü Ç., Ji Y., Erdem A., Banks T., 2016. Photometric Analysis of the System Kepler-1. *Astrophysics and Space Science*, 361 (10) article id.346: 1-14.
- Budding E., Püsküllü Ç., Rhodes M. D., 2018, Analysis of the Exoplanet Containing System Kepler-13. *Astrophysics and Space Science*, 363 (3) article id. 60: 1-19.
- Campo C. J., Harrington J., Hardy R. A., Stevenson K. B., Nymeyer S., Ragozzine D., Lust N. B., Anderson D. R., Collier-Cameron A., Blečić J., Britt C. B. T., Bowman W. C., Wheatley P. J., Loredó T. J., Deming D., Hebb L., Hellier C., Maxted P. F. L., Pollaco D., West R. G., 2011. On the Orbit of Exoplanet WASP-12b. *The Astrophysical Journal*, 727 (2) article id. 125: 1-12.
- Chan T., Ingemyr M., Winn J. N., Holman M. J., Sanchis-Ojeda R., Esquerdo G., Everett M., 2011. The Transit Light-curve Project. XIV. Confirmation of Anomalous Radii for the Exoplanets TrES-4b, HAT-P-3b, and WASP-12b. *The Astronomical Journal*, 141 (6) article id. 179: 1-8.
- Christiansen J. L., Ballard S., Charbonneau D., Deming D., Holman M. J., Madhusudhan Nikku, Seager S., Wellnitz D. D., Barry R. K., Livengood T. A., Hewagama T., Hampton D. L., Lisse C. M., 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 (2) article id. 94: 1-15.
- Claret A., Bloemen S., 2011. Gravity and Limb-Darkening Coefficients for the Kepler, CoRoT, Spitzer, uvby, UBVRIJHK, and Sloan Photometric Systems. *Astronomy & Astrophysics*, 529 (id.A75): 1- 5.

- Claret A., Hauschildt P. H., Witte S., 2013. New Limb-Darkening Coefficients for Phoenix/1d Model Atmospheres. II. Calculations for $5000 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 10\,000 \text{ K}$ Kepler, CoRoT, Spitzer, uvby, UBVRIJHK, Sloan, and 2MASS Photometric Systems. *Astronomy & Astrophysics*, 552 (id.A16): 1-3.
- Collier Cameron A., Pollacco D., Street R. A., Lister T. A., West R. G., Wilson D. M., Pont F., Christian D. J., Clarkson W. I., Enoch B., Evans A., Fitzsimmons A., Haswell C. A., Hellier C., Hodgkin S. T., Horne K., Irwin J., Kane S. R., Keenan F. P., Norton A. J., Parley N. R., Osborne J., Ryans R., Skillen I., Wheatley P. J., 2006. A Fast Hybrid Algorithm for Exoplanetary Transit Searches. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 373 (2): 799-810.
- Collins K. A., Kielkopf J. F., Stassun K. G., 2017. Transit Timing Variation Measurements of WASP-12b and Qatar-1b: No Evidence of Additional Planets. *The Astronomical Journal*, 153 (2) article id. 78: 1-14.
- Colón K. D., Ford E. B., Lee B., Mahadevan S., Blake C. H., 2010. Characterizing Transiting Extrasolar Planets with Narrow-Band Photometry and GTC/OSIRIS. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 408 (3): 1494-1501.
- Copperwheat C. M., Wheatley P. J., Southworth J., Bento J., Marsh T. R., Dhillon V. S., Fortney J. J., Littlefair S. P., Hickman R., 2013. Transmission Photometry of WASP-12b: Simultaneous Measurement of the Planetary Radius in Three Bands. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 434 (1): 661-670.
- Coughlin J. L., López-Morales M., 2012. A Uniform Search for Secondary Eclipses of Hot Jupiters in Kepler Q2 Light Curves. *The Astronomical Journal*, 143 (2) article id. 39: 1-22.
- Cowan N. B., Machalek P., Croll B., Shekhtman L. M., Burrows A., Deming D., Greene T., Hora J. L., 2012. Thermal Phase Variations of WASP-12b: Defying Predictions. *The Astrophysical Journal*, 747 (1), article id. 82: 1-17.
- Croll B., Albert L., Jayawardhana R., Cushing M., Moutou C., Lafreniere D., Johnson J. A., Bonomo A. S., Deleuil M., Fortney J., 2015. Near-infrared Thermal Emission Detections of a Number of Hot Jupiters and the Systematics of Ground-based Near-infrared Photometry. *The Astrophysical Journal*, 802 (1) article id. 28: 1-25.

- Croll B., Albert L., Lafreniere D., Jayawardhana R., Fortney J. J., 2010. Near-Infrared Thermal Emission from the Hot Jupiter TrES-2b: Ground-Based Detection of the Secondary Eclipse. *The Astrophysical Journal*, 717 (2): 1084-1091.
- Croll B., Lafreniere D., Albert L., Jayawardhana R., Fortney J. J., Murray N., 2011. Near-Infrared Thermal Emission from WASP-12b: Detections of the Secondary Eclipse in K_s, H, and J. *The Astronomical Journal*, 141 (2) article id. 30: 1-12.
- Crossfield I. J. M., Barman T., Hansen B. M. S., Tanaka I., Kodama T., 2012. Re-evaluating WASP-12b: Strong Emission at 2.315 μ m, Deeper Occultations, and an Isothermal Atmosphere. *The Astrophysical Journal*, 760 (2) article id. 140: 1-16.
- Cumming A., 2004. Detectability of Extrasolar Planets in Radial Velocity Surveys. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 354 (4): 1165-1176.
- Daemgen S., Hormuth F., Brandner W., Bergfors C., Janson M., Hippler S., Henning T., 2009. Binarity of Transit Host Stars. Implications for Planetary Parameters. *Astronomy and Astrophysics*, 498 (2): 567-574.
- Damiani C., Lanza A.F., 2015. Evolution of Angular-Momentum-Losing Exoplanetary Systems. Revisiting Darwin Stability. *Astronomy & Astrophysics*, 574 (id.A39): 1-20.
- Deibert E. K., de Mooij E. J. W., Jayawardhana R., Fortney J. J., Brogi M., Rustamkulov Z., Tamura M., 2019. High-Resolution Transit Spectroscopy of Warm Saturns. *The Astronomical Journal*. 157 (2) article id. 58: 1-12.
- Deming D., Knutson H., Agol E., Desert J.-M., Burrows A., Fortney J. J., Charbonneau D., Cowan N. B., Laughlin G., Langton J., Showman A. P., Lewis N. K., 2011. Warm Spitzer Photometry of the Transiting Exoplanets CoRoT-1 and CoRoT-2 at Secondary Eclipse. *The Astrophysical Journal*, 726 (2) article id. 95: 1-10.
- Demory B.-O., Seager S. 2011. Hot Jupiter Secondary Eclipses Measured by Kepler. *The Astrophysics of Planetary Systems: Formation, Structure, and Dynamical Evolution, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, eds. A. Sozzetti, M. G. Lattanzi and A. P. Boss, 276: 475-476 (Cambridge: Cambridge Univ. Press).
- Désert J.-M., Charbonneau D., Fortney J. J., Madhusudhan N., Knutson H. A., Fressin F.,

- Deming D., Borucki W. J., Brown T. M., Caldwell D., Ford E. B., Gilliland R. L., Latham D. W., Marcy G. W., Seager S., 2011. The Atmospheres of the Hot-Jupiters Kepler-5b and Kepler-6b Observed during Occultations with Warm-Spitzer and Kepler. *The Astrophysical Journal Supplement*, 197 (1) article id. 11: 1-11.
- Desidera S., Gratton R., Carolo E., Martinez Fiorenzano A. F., Endl M., Mesa D., Cecconi M., Claudi R., Cosentino R., Scuderi S., Sozzetti A., Zurlo A., 2012. A Long-Period Massive Planet around HD 106515A. *Astronomy & Astrophysics*, 546 (id.A108): 1-8.
- 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 T. N. III, 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., Sasselov D. D., 2010. Kepler-6b: A Transiting Hot Jupiter Orbiting a Metal-rich Star. *The Astrophysical Journal Letters*, 713 (2): 136-139.
- Eastman J., Gaudi B. S., Agol E., 2013. EXOFAST: A Fast Exoplanetary Fitting Suite in IDL. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 125 (923): 83-112.
- Eastman J., Siverd R., 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 (894): 935-946.
- Essick R., Weinberg N. N., 2016. Orbital Decay of Hot Jupiters Due to Nonlinear Tidal Dissipation within Solar-type Hosts. *The Astrophysical Journal*, 816 (1) article id. 18: 1-21.
- Esteves L. J., De Mooij E. J. W., Jayawardhana R. 2013. Optical Phase Curves of Kepler Exoplanets. *The Astrophysical Journal*, 772 (1) article id. 51: 1-14.
- Faigler S., Mazeh T., 2011. Photometric Detection of Non-transiting Short-period Low-mass Companions through the Beaming, Ellipsoidal and Reflection Effects in Kepler and CoRoT Light Curves. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 415 (4): 3921-3928.
- Faigler S., Mazeh T., 2015. BEER Analysis of Kepler and CoRoT Light Curves. II. Evidence for Superrotation in the Phase Curves of Three Kepler Hot Jupiters. *The*

- Astrophysical Journal, 800 (1) article id. 73: 1-10.
- Ford E. B., Rasio F. A., 2008. Origins of Eccentric Extrasolar Planets: Testing the Planet-Planet Scattering Model. *The Astrophysical Journal*, 686 (1): 621-636.
- Föhring D., Dhillon V. S., Madhusudhan N., Marsh T. R., Copperwheat C. M., Littlefair S. P., Wilson R. W., 2013. ULTRACAM z'-band Detection of the Secondary Eclipse of WASP-12b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 435 (3): 2268-2273.
- Gaudi B. S., 2005. On the Size Distribution of Close-in Extrasolar Giant Planets. *The Astrophysical Journal*, 628 (1): 73-76.
- Gaudi B.S., Winn J.N., 2007. Prospects for the Characterization and Confirmation of Transiting Exoplanets via the Rossiter-McLaughlin Effect. *The Astrophysical Journal*, 655 (1): 550-563.
- Gazak J. Z., Johnson J. A., Tonry J., Dragomir D., Eastman J., Mann A. W., Agol E., 2012. Transit Analysis Package: An IDL Graphical User Interface for Exoplanet Transit Photometry. *Advances in Astronomy*, 2012 (id. 697967): 1-9.
- Gillon M., Lanotte A. A., Barman T., Miller N., Demory B.-O., Deleuil M., Montalbán J., Bouchy F., Collier Cameron A., Deeg H. J., Fortney J. J., Fridlund M., Harrington J., Magain P., Moutou C., Queloz D., Rauer H., Rouan D., Schneider J., 2010. The Thermal Emission of the Young and Massive Planet CoRoT-2b at 4.5 and 8 μ m. *Astronomy and Astrophysics*, 511 (id.A3): 1-11.
- Guillot T., Havel M., 2011. An Analysis of the CoRoT-2 System: a Young Spotted Star and its Inflated Giant Planet. *Astronomy and Astrophysics*, 527 (id.A20): 1-15.
- Han E., Wang S. X., Wright J. T., Feng Y. K., Zhao M., Fakhouri O., Brown J. I., Hancock C., 2014. Exoplanet Orbit Database. II. Updates to Exoplanets.org. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 126 (943): 827-837.
- Hansen B.M.S., Barman T., 2007. Two Classes of Hot Jupiters. *The Astrophysical Journal*, 671 (1): 861-871.
- Hartman J. D., Bakos G. Á., Torres G., Kovács G., Noyes R. W., Pál A., Latham D. W., Sipőcz B., Fischer D. A., Johnson J. A., Marcy G. W., Butler R. P., Howard A. W.,

- Esquerdo G. A., Sasselov D. D., Kovács G., Stefanik R. P., Fernandez J. M., Lázár J., Papp I., Sári P., 2009. HAT-P-12b: A Low-Density Sub-Saturn Mass Planet Transiting a Metal-Poor K Dwarf. *The Astrophysical Journal*, 706 (1): 785-796.
- Hartman J. D., Bayliss D., Brahm R., Bakos G. Á., Mancini L., Jordán A., Penev K., Rabus M., Zhou G., Butler R. P., Espinoza N., de Val-Borro M., Bhatti W., Csubry Z., Ciceri S., Henning T., Schmidt B., Arriagada P., Shectman S., Crane J., Thompson I., Suc V., Csák B., Tan T. G., Noyes R. W., Lázár J., Papp I., Sári P., 2015. HATS-6b: A Warm Saturn Transiting an Early M Dwarf Star, and a Set of Empirical Relations for Characterizing K and M Dwarf Planet Hosts. *The Astronomical Journal*, 149 (5) article id. 166: 1-20.
- Haywood R. D., Collier Cameron A., Unruh Y. C., Lovis C., Lanza A. F., Llama J., Deleuil M., Fares R., Gillon M., Moutou C., Pepe F., Pollacco D., Queloz D., Ségransan D., 2016. The Sun as a Planet-host Star: Proxies from SDO Images for HARPS Radial-velocity Variations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 457 (4): 3637-3651.
- Hebb L., Collier-Cameron A., Loeillet B., Pollacco D., Hébrard G., Street R. A., Bouchy F., Stempels H. C., Moutou C., Simpson E., Udry S., Joshi Y. C., West R. G., Skillen I., Wilson D. M., McDonald I., Gibson N. P., Aigrain S., Anderson D. R., Benn C. R., Christian D. J., Enoch B., Haswell C. A., Hellier C., Horne K., Irwin J., Lister T. A., Maxted P., Mayor M., Norton A. J., Parley N., Pont F., Queloz D., Smalley B., Wheatley P. J., 2009. WASP-12b: The Hottest Transiting Extrasolar Planet Yet Discovered. *The Astrophysical Journal*, 693 (2): 1920-1928.
- Hébrard G., Collier Cameron A., Brown D. J. A., Díaz R. F., Faedi F., Smalley B., Anderson D. R., Armstrong D., Barros S. C. C., Bento J., Bouchy F., Doyle A. P., Enoch B., Gómez Maqueo Chew Y., Hébrard É. M., Hellier C., Lendl M., Lister T. A., Maxted P. F. L., McCormac J., Moutou C., Pollacco D., Queloz D., Santerne A., Skillen I., Southworth J., Tregloan-Reed J., Triaud A. H. M. J., Udry S., Vanhuyse M., Watson C. A., West R. G., Wheatley P. J., 2013. WASP-52b, WASP-58b, WASP-59b, and WASP-60b: Four New Transiting Close-in Giant Planets. *Astronomy & Astrophysics*, 549 (id.A134): 1-11.
- Hellier C., Anderson D. R., Collier Cameron A., Gillon M., Jehin E., Lendl M., Maxted P.

- F. L., Pepe F., Pollacco D., Queloz D., Ségransan D., Smalley B., Smith, A. M. S., Southworth J., Triaud A. H. M. J., Udry S., West R. G., 2011. WASP-43b: the Closest-Orbiting Hot Jupiter. *Astronomy Astrophysics*, 535 (id.L7): 1-5.
- Holman M. J., Winn J. N., Latham D. W., O'Donovan F. T., Charbonneau D., Torres G., Sozzetti A., Fernandez J., Everett M. E., 2007. The Transit Light Curve (TLC) Project. VI. Three Transits of the Exoplanet TrES-2. *The Astrophysical Journal*, 664 (2): 1185-1189.
- Horne J. H., Baliunas S. L., 1986. A Prescription for Period Analysis of Unevenly Sampled Time Series . *Astrophysical Journal*, 302 (1): 757-763.
- Howard A. W., Johnson J. A., Marcy G. W., Fischer D. A., Wright J. T., Bernat D., Henry G. W., Peek K. M. G., Isaacson H., Apps K., Endl M., Cochran W. D., Valenti J. A., Anderson J., Piskunov N. E., 2010. The California Planet Survey. I. Four New Giant Exoplanets. *The Astrophysical Journal*, 721 (2): 1467-1481.
- 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., Fortney J. J., 2014. The K2 Mission: Characterization and Early Results. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 126 (938): 398-408.
- Huang Q. Y., Banks T., Budding E., Puskullu C., Rhodes M. D., 2019. Transit Modelling of Selected Kepler Systems. *Astrophysics and Space Science*, 364 (2) article id. 33: 1-11.
- Huber K. F., Czesla S., Wolter U., Schmitt J. H. M. M., 2009. A Planetary Eclipse Map of CoRoT-2a. Comprehensive Lightcurve Modeling Combining Rotational-Modulation and Transits. *Astronomy and Astrophysics*, 508 (2): 901-907.
- Husnoo N., Pont F., Hébrard G., Simpson E., Mazeh T., Bouchy F., Moutou C., Arnold L., Boisse I., Díaz R. F., Eggenberger A., Shporer A., 2011. Orbital Eccentricity of WASP-12 and WASP-14 from New Radial Velocity Monitoring with SOPHIE. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 413 (4): 2500-2508.
- Hut P., 1981. Tidal Evolution in Close Binary Systems. *Astronomy & Astrophysics*, 99 (1): 126-140.

- 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 T. N. III, 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 AKM, Wu M. S., Bhavsar P. A., Van Cleve J., Pletcher D. L., Dotson J. L., Haas M. R., 2010. Discovery and Rossiter-McLaughlin Effect of Exoplanet Kepler-8b. *The Astrophysical Journal*, 724 (2): 1108-1119.
- Johnson J. A., Payne M., Howard A. W., Clubb K. I., Ford E. B., Bowler B. P., Henry G. W., Fischer D. A., Marcy G. W., Brewer J. M., Schwab C., Reffert S., Lowe T. B., 2011. Retired A Stars and Their Companions. VI. A Pair of Interacting Exoplanet Pairs Around the Subgiants 24 Sextans and HD 200964. *The Astronomical Journal*, 141 (1) article id. 16: 1-10.
- Jordán A., Bakos G. Á., 2008. Observability of the General Relativistic Precession of Periastra in Exoplanets. *The Astrophysical Journal*, 685 (1): 543-552.
- Kipping D. M., Spiegel D. S., 2011. Detection of Visible Light from the Darkest World. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 417 (1): 88-92.
- Kipping D., Bakos G., 2011. An Independent Analysis of Kepler-4b Through Kepler-8b. *The Astrophysical Journal*, 730 (1) article id. 50: 1-32.
- Kirk J., Wheatley P. J., Loudon T., Littlefair S. P., Copperwheat C. M., Armstrong D. J., Marsh T. R., Dhillon V. S., 2016. Transmission Spectroscopy of the Inflated Exoplanet WASP-52b, and Evidence for a Bright Region on the Stellar Surface. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 463 (3): 2922-2931.
- Knutson H. A., Howard A. W., Isaacson H., 2010. A Correlation Between Stellar Activity and Hot Jupiter Emission Spectra. *The Astrophysical Journal*, 720 (2): 1569-1576.
- Koch D. G., Borucki W. J., Basri G., Batalha N. M., Brown T. M., Caldwell D., Christensen-Dalsgaard J., Cochran W. D., DeVore E., Dunham E. W., Gautier T. N. III, Geary J. C., Gilliland R. L., Gould A., Jenkins J., Kondo Y., Latham D. W.,

- Lissauer J. J., Marcy G., Monet D., Sasselov D., Boss A., Brownlee D., Caldwell J., Dupree A. K., Howell S. B., Kjeldsen H., Meibom S., Morrison D., Owen T., Reitsema H., Tarter J., Bryson S. T., Dotson J. L., Gazis P., Haas M. R., Kolodziejczak J., Rowe J. F., Van Cleve J. E., Allen C., Chandrasekaran H., Clarke B. D., Li J., Quintana E. V., Tenenbaum P., Twicken J. D., Wu H., 2010. Kepler Mission Design, Realized Photometric Performance, and Early Science. *The Astrophysical Journal Letters*, 713 (2): 79-86.
- Kopal Z. 1959, *Close Binary Systems*, The International Astrophysics Series (London: Chapman & Hall).
- Kreidberg L., Line M. R., Bean J. L., Stevenson K. B., Désert J.-M., Madhusudhan N., Fortney J. J., Barstow J. K., Henry G. W., Williamson M. H., Showman A. P., 2015. A Detection of Water in the Transmission Spectrum of the Hot Jupiter WASP-12b and Implications for Its Atmospheric Composition. *The Astrophysical Journal*, 814 (1) article id. 66: 1-15.
- Kwee K. K., van Woerden H., 1956. A Method for Computing Accurately the Epoch of Minimum of an Eclipsing Variable. *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 12 (464): 327-330.
- Lanza A. F., Pagano I., Leto G., Messina S., Aigrain S., Alonso R., Auvergne M., Baglin A., Barge P., Bonomo A. S., Boumier P., Collier Cameron A., Comparato M., Cutispoto G., de Medeiros J. R., Foing B., Kaiser A., Moutou C., Parihar P. S., Silva-Valio A., Weiss W. W., 2009. Magnetic Activity in the Photosphere of CoRoT-Exo-2a. Active Longitudes and Short-term Spot Cycle in a Young Sun-like Star. *Astronomy and Astrophysics*, 493 (1): 193-200.
- Lee J. W., Youn J.-H., Kim S.-L., Lee C.-U., Hinse T. C., 2012. The Sub-Saturn Mass Transiting Planet HAT-P-12b. *The Astronomical Journal*, 143 (4) article id. 95: 1-5.
- Levrard B., Winisdoerffer C., Chabrier G., 2009. Falling Transiting Extrasolar Giant Planets. *The Astrophysical Journal Letters*, 692 (1): 9-13.
- Line M. R., Knutson H., Deming D., Wilkins A., Desert J.-M., 2013. A Near-infrared Transmission Spectrum for the Warm Saturn HAT-P-12b. *The Astrophysical Journal*, 778 (2) article id. 183: 1-5.

- Lomb N. R., 1976. Least-squares Frequency Analysis of Unequally Spaced data. *Astrophysics and Space Science*, 39: 447-462.
- López-Morales M., Seager S., 2007. Thermal Emission from Transiting Very Hot Jupiters: Prospects for Ground-based Detection at Optical Wavelengths. *The Astrophysical Journal*, 667 (2): 191-194.
- Louden T., Wheatley P. J., Irwin P. G. J., Kirk J., Skillen I., 2017. A Precise Optical Transmission Spectrum of the Inflated Exoplanet WASP-52b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 470 (1): 742-754.
- Maciejewski G., Dimitrov D., Fernández M., Sota A., Nowak G., Ohlert J., Nikolov G., Bukowiecki Ł., Hinse T. C., Pallé E., Tingley B., Kjurkchieva D., Lee J. W., Lee C.-U., 2016. Departure from the Constant-period Ephemeris for the Transiting Exoplanet WASP-12. *Astronomy & Astrophysics*, 588 (id.L6): 1-6.
- Maciejewski G., Dimitrov D., Seeliger M., Raetz St., Bukowiecki Ł., Kitze M., Errmann R., Nowak G., Niedzielski A., Popov V., Marka C., Goździewski K., Neuhauser R., Ohlert J., Hinse T. C., Lee J. W., Lee C.-U., Yoon J.-N., Berndt A., Gilbert H., Ginski Ch., Hohle M. M., Mugrauer M., Röhl T., Schmidt T. O. B., Tetzlaff N., Mancini L., Southworth J., Dall'Ora M., Ciceri S., Zambelli R., Corfini G., Takahashi H., Tachihara K., Benkő J. M., Sárneczky K., Szabo Gy. M., Varga T. N., Vaňko M., Joshi Y. C., Chen W. P., 2013. Multi-site Campaign for Transit Timing Variations of WASP-12 b: Possible Detection of a Long-period Signal of Planetary Origin. *Astronomy & Astrophysics*, 551 (id.A108): 1-16.
- Maciejewski G., Errmann R., Raetz S., Seeliger M., Spaleniak I., Neuhauser R., 2011. High-precision Photometry of WASP-12b Transits. *Astronomy & Astrophysics*, 528 (id.A65): 1-5.
- Maciejewski G., Fernández M., Aceituno F., Martín-Ruiz S., Ohlert J., Dimitrov D., Szyszka K., von Essen C., Mugrauer M., Bischoff R., Michel K.-U., Mallonn M., Stangret M., Moździerski D., 2018. Planet-Star Interactions with Precise Transit Timing. I. The Refined Orbital Decay Rate for WASP-12 b and Initial Constraints for HAT-P-23 b, KELT-1 b, KELT-16 b, WASP-33 b and WASP-103 b. *Acta Astronomica*, 68 (4): 371-401.
- Madhusudhan N., 2012. C/O Ratio as a Dimension for Characterizing Exoplanetary

- Atmospheres. *The Astrophysical Journal*, 758 (1) article id. 36: 1-21.
- Mallonn M., Nascimbeni V., Weingrill J., von Essen C., Strassmeier K. G., Piotto G., Pagano I., Scandariato G., Csizmadia Sz., Herrero E., Sada P. V., Dhillon V. S., Marsh T. R., Künstler A., Bernt I., Granzer T., 2015. Broad-band Spectrophotometry of the Hot Jupiter HAT-P-12b from the Near-UV to the Near-IR. *Astronomy & Astrophysics*, 583 (id.A138): 1-13.
- Mancini L., Esposito M., Covino E., Southworth J., Biazzo K., Bruni I., Ciceri S., Evans D., Lanza A. F., Poretti E., Sarkis P., Smith A. M. S., Brogi M., Affer L., Benatti S., Bignamini A., Boccato C., Bonomo A. S., Borsa F., Carleo I., Claudi R., Cosentino R., Damasso M., Desidera S., Giacobbe P., González-Álvarez E., Gratton R., Harutyunyan A., Leto G., Maggio A., Malavolta L., Maldonado J., Martinez-Fiorenzano A., Masiero S., Micela G., Molinari E., Nascimbeni V., Pagano I., Pedani M., Piotto G., Rainer M., Scandariato G., Smareglia R., Sozzetti A., Andreuzzi G., Henning Th., 2018. The GAPS Programme with HARPS-N at TNG. XVI. Measurement of the Rossiter-McLaughlin Effect of Transiting Planetary Systems HAT-P-3, HAT-P-12, HAT-P-22, WASP-39, and WASP-60. *Astronomy & Astrophysics*, Volume 613 (id.A41): 1-20.
- Mancini L., Southworth J., Raia G., Tregloan-Reed J., Mollière P., Bozza V., Bretton M., Bruni I., Ciceri S., D'Ago G., Dominik M., Hinse T. C., Hundertmark M., Jørgensen U. G., Korhonen H., Rabus M., Rahvar S., Starkey D., Calchi Novati S., Figuera Jaimes R., Henning Th., Juncher D., Haugbølle T., Kains N., Popovas A., Schmidt R. W., Skottfelt J., Snodgrass C., Surdej J., Wertz O., 2017. Orbital Alignment and Starspot Properties in the WASP-52 Planetary System. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 465 (1): 843-857.
- Mandel K., Agol E. 2002. Analytic Light Curves for Planetary Transit Searches. *The Astrophysical Journal*, 580 (2): 171-175.
- Mazeh T. and Faigler S., 2010. Detection of the Ellipsoidal and the Relativistic Beaming Effects in the CoRoT-3 Lightcurve. *Astronomy and Astrophysics*, 521(id.L59):1-4.
- 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., Welsh W., 2013. Transit Timing Observations from

- Kepler. VIII. Catalog of Transit Timing Measurements of the First Twelve Quarters. *The Astrophysical Journal Supplement*, 208 (2) article id. 16: 1-21.
- McCullough P. R., Stys J. E., Valenti J. A., Fleming S. W., Janes K. A., Heasley J. N., 2005. The XO Project: Searching for Transiting Extrasolar Planet Candidates. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 117 (834): 783-795.
- Meibom S., Mathieu R. D., 2005. A Robust Measure of Tidal Circularization in Coeval Binary Populations: the Solar-Type Spectroscopic Binary Population in the Open Cluster M35. *Tidal Evolution and Oscillations in Binary Stars: Third Granada Workshop on Stellar Structure, ASP Conference Series*, 333: 95-107.
- Miralda-Escudé J., 2002. Orbital Perturbations of Transiting Planets: A Possible Method to Measure Stellar Quadrupoles and to Detect Earth-Mass Planets. *The Astrophysical Journal*, 564 (2): 1019-1023.
- Mislis D., Schmitt J. H. M. M., 2009. Detection of Orbital Parameter Changes in the TrES-2 Exoplanet?. *Astronomy and Astrophysics*, 500 (3): 45-49.
- Mislis D., Schröter S., Schmitt J. H. M. M., Cordes O., Reif K., 2010. Multi-band Transit Observations of the TrES-2b Exoplanet. *Astronomy and Astrophysics*, 510 (id.A107): 1-9.
- Mordasini C., Alibert Y., Benz W., 2009. Extrasolar Planet Population Synthesis. I. Method, Formation Tracks, and Mass-Distance Distribution. *Astronomy and Astrophysics*, 501 (3): 1139-1160.
- Morris S. L., 1985. The Ellipsoidal Variable Stars. *Astrophysical Journal*, 295: 143-152.
- Morris S. L., Naftilan S. A., 1993. The Equations of Ellipsoidal Star Variability Applied to HR 8427. *The Astrophysical Journal*, 419: 344-348.
- Morton T. D., Bryson S. T., Coughlin J. L., Rowe J. F., Ravichandran G., Petigura E. A., Haas M. R., 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 (2) article id. 86: 1-15.
- Moses J. I., Madhusudhan N., Visscher C., Freedman R. S., 2013. Chemical Consequences of the C/O Ratio on Hot Jupiters: Examples from WASP-12b, CoRoT-2b, XO-1b,

- and HD 189733b. *The Astrophysical Journal*, 763 (1) article id. 25: 1-26.
- Naef D., Mayor M., Lo Curto G., Bouchy F., Lovis C., Moutou C., Benz W., Pepe F., Queloz D., Santos N. C., Ségransan D., Udry S., Bonfils X., Delfosse X., Forveille T., Hébrard G., Mordasini C., Perrier C., Boisse I., Sosnowska D., 2010. The HARPS Search for Southern Extrasolar Planets. XXIII. 8 Planetary Companions to Low-activity Solar-type Stars. *Astronomy and Astrophysics*, 523 (id.A15): 1-8 pp.
- Nesvorný D., Kipping D. M., Buchhave L. A., Bakos G. Á., Hartman J., Schmitt A. R., 2012. The Detection and Characterization of a Nontransiting Planet by Transit Timing Variations. *Science*, 336 (6085): 1133-1136.
- Nesvorný D., Kipping D., Terrell D., Hartman J., Bakos G. Á., Buchhave L. A., 2013. KOI-142, The King of Transit Variations, is a Pair of Planets near the 2:1 Resonance. *The Astrophysical Journal*, 777 (1) article id. 3: 1-9.
- O'Donovan F. T., Charbonneau D., Harrington J., Madhusudhan N., Seager S., Deming D., Knutson H. A., 2010. Detection of Planetary Emission from the Exoplanet TrES-2 Using Spitzer/IRAC. *The Astrophysical Journal*, 710 (2): 1551-1556.
- O'Donovan F. T., Charbonneau D., Mandushev G., Dunham E. W., Latham D. W., Torres G., Sozzetti A., Brown T. M., Trauger J. T., Belmonte J. A., Rabus M., Almenara J. M., Alonso R., Deeg H. J., Esquerdo G. A., Falco E. E., Hillenbrand L. A., Roussanova A., Stefanik R. P., Winn J. N., 2006. TrES-2: The First Transiting Planet in the Kepler Field. *The Astrophysical Journal*, 651 (1): 61-64.
- Ohta Y., Taruya A., Suto Y., 2005. The Rossiter-McLaughlin Effect and Analytic Radial Velocity Curves for Transiting Extrasolar Planetary Systems *The Astrophysical Journal*, 622 (2): 1118-1135.
- O'Toole S. J., Tinney C. G., Jones H. R. A., Butler R. P., Marcy G. W., Carter B., Bailey J., 2009. Selection Functions in Doppler Planet Searches. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 392 (2): 641-654.
- Öztürk O., Erdem A., 2019. New Photometric Analysis of Five Exoplanets: CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b, and WASP-52b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 486 (2): 2290-2307.
- Pál A., Kocsis B., 2008. Periastron Precession Measurements in Transiting Extrasolar

- Planetary Systems at the Level of General Relativity. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 389 (1): 191-198.
- Patra K. C., Winn J. N., Holman M. J., Yu L., Deming D., Dai F., 2017. The Apparently Decaying Orbit of WASP-12b. *The Astronomical Journal*, 154 (1) article id. 4: 1-10.
- Pätzold M., Carone L., Rauer H., 2004. Tidal Interactions of Close-in Extrasolar Planets: The OGLE Cases. *Astronomy and Astrophysics*, 427: 1075-1080.
- Penev K., Bouma L. G., Winn J. N., Hartman J. D., 2018. Empirical Tidal Dissipation in Exoplanet Hosts From Tidal Spin-up. *The Astronomical Journal*, 155 (4) article id. 165: 1-9.
- Penev K., Jackson B., Spada F., Thom N., 2012. Constraining Tidal Dissipation in Stars from the Destruction Rates of Exoplanets. *The Astrophysical Journal*, 751 (2) article id. 96: 1-9.
- Pepper J., Pogge R. W., DePoy D. L., Marshall J. L., Stanek K. Z., Stutz A. M., Poindexter S., Siverd R., O'Brien T. P., Trueblood M., Trueblood P., 2007. The Kilodegree Extremely Little Telescope (KELT): A Small Robotic Telescope for Large-Area Synoptic Surveys. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 119 (858): 923-935.
- Petrucci R., Jofré E., Melita M., Gómez M., Mauas P., 2015. Transit Timing Variation Analysis in Southern Stars: the Case of WASP-28. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 446 (2): 1389–1398.
- Poddaný S., Brát L., Pejcha O., 2010. Exoplanet Transit Database. Reduction and processing of the photometric data of exoplanet transits. *New Astronomy*, 15 (3): 297-301.
- Pollacco D. L., Skillen I., Collier Cameron A., Christian D. J., Hellier C., Irwin J., Lister T. A., Street R. A., West R. G., Anderson D. R., Clarkson W. I., Deeg H., Enoch B., Evans A., Fitzsimmons A., Haswell C. A., Hodgkin S., Horne K., Kane S. R., Keenan F. P., Maxted P. F. L., Norton A. J., Osborne J., Parley N. R., Ryans R. S. I., Smalley B., Wheatley P. J., Wilson D. M., 2006. The WASP Project and the SuperWASP Cameras. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 118 (848): 1407-1418.

- Pont F., Zucker S., Queloz D., 2006. The Effect of Red Noise on Planetary Transit Detection. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 373 (1): 231-242.
- Popper D. M., Etzel P. B., 1981. Photometric Orbits of Seven Detached Eclipsing Binaries. *Astronomical Journal*, 86: 102-120.
- Queloz D., Mayor M., Weber L., Blécha A., Burnet M., Confino B., Naef D., Pepe F., Santos N., Udry S., 2000. The CORALIE Survey for Southern Extra-solar Planets. I. A Planet Orbiting the Star Gliese 86. *Astronomy and Astrophysics*, 354: 99-102.
- Quinn S. N., Bakos G. Á., Hartman J., Torres G., Kovács G., Latham D. W., Noyes R. W., Fischer D. A., Johnson J. A., Marcy G. W., Howard A. W., Szentgyorgyi A., Fűrész G., Buchhave L. A., Béky B., Sasselov D. D., Stefanik R. P., Perumpilly G., Everett M., Lázár J., Papp I., Sári P., 2012. HAT-P-25b: A Hot-Jupiter Transiting a Moderately Faint G Star. *The Astrophysical Journal*, 745 (1) article id. 80: 1-9.
- Rabus M., Deeg H. J., Alonso R., Belmonte J. A., Almenara J. M., 2009. Transit Timing Analysis of the Exoplanets TrES-1 and TrES-2. *Astronomy and Astrophysics*, 508 (2): 1011-1020.
- Raetz St., Maciejewski G., Ginski Ch., Mugrauer M., Berndt A., Eisenbeiss T., Adam Ch., Raetz M., Roell T., Seeliger M., Marka C., Vaňko M., Bukowiecki Ł., Errmann R., Kitze M., Ohlert J., Pribulla T., Schmidt J. G., Sebastian D., Puchalski D., Tetzlaff N., Hohle M. M., Schmidt T. O. B., Neuhäuser R., 2014. Transit Timing of TrES-2: a Combined Analysis of Ground and Space-based Photometry. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444 (2): 1351-1368.
- Rauer H., Erikson A., Kabath P., Hedelt P., Boer M., Carone L., Csizmadia Sz., Eigmüller P., Paris P. v., Renner S., Tournois G., Titz R., Voss H., 2010. Pre-Discovery Observations of CoRoT-1b and CoRoT-2b with the BEST Survey. *The Astronomical Journal*, 139 (1): 53-58.
- Reed M. D., Terndrup D. M., Østensen R., Geier S., Gilker J., Beck P. G., Degroote P., Vanautgaerden J., Waelkens C., 2010. An EC 14026 Pulsator in a Reflection Binary. *Astrophysics and Space Science*, 329(1-2): 83-86.
- Rhodes M.D., Budding E., 2014. Analysis of Selected Kepler Mission Planetary Light Curves. *Astrophysics and Space Science*, 351 (2): 451-471.

- Russell H. N., 1916. On the Albedo of the Planets and Their Satellites. *Astrophysical Journal*, 43: 173-196.
- Saad-Olivera X., Costa de Souza A., Roig F., Nesvorný D., 2019. Masses of the Kepler-419 Planets from Transit Timing Variations Analysis. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 482 (4): 4965-4971.
- Sada P. V., Deming D., Jennings D. E., Jackson B. k., Hamilton C. M., Fraine J., Peterson S. W., Haase F., Bays K., Lunsford A., O'Gorman E., 2012. Extrasolar Planet Transits Observed at Kitt Peak National Observatory. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 124 (913): 212-229.
- Sada P. V., Ramón-Fox F. G., 2016. Exoplanet Transits Registered at the Universidad de Monterrey Observatory. I. HAT-P-12b, HAT-P-13b, HAT-P-16b, HAT-P-23b, and WASP-10b. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 128 (960:024402): 1-13.
- Safronov V.S., 1972, *Evolution of the Protoplanetary Cloud and Formation of the Earth and Planets*, Keter Publishing House, Jerusalem, Israel.
- Santerne A., Díaz R. F., Bouchy F., Deleuil M., Moutou C., Hébrard G., Eggenberger A., Ehrenreich D., Gry C., Udry S., 2011. SOPHIE Velocimetry of Kepler Transit Candidates. II. KOI-428b: A Hot Jupiter Transiting a Subgiant F-Star. *Astronomy & Astrophysics*, 528 (id.A63): 1-5.
- Santos N. C., Mayor M., Bonfils X., Dumusque X., Bouchy F., Figueira P., Lovis C., Melo C., Pepe F., Queloz D., Ségransan D., Sousa S. G., Udry S., 2011. The HARPS Search for Southern Extrasolar Planets. XXV. Results from the Metal-poor Sample. *Astronomy and Astrophysics*, 526 (id.A112): 1-17.
- Scargle J. D., 1982. Studies in Astronomical Time Series Analysis. II - Statistical Aspects of Spectral Analysis of Unevenly Spaced Data. *Astrophysical Journal*, 263(1): 835-853.
- Schröter S., Czesla S., Wolter U., Müller H. M., Huber K. F., Schmitt J. H. M. M., 2011. The Corona and Companion of CoRoT-2a. Insights from X-rays and Optical Spectroscopy. *Astronomy and Astrophysics*, 532 (id.A3): 1-12.
- Schröter S., Schmitt J. H. M. M., Müller H. M., 2012. A Consistent Analysis of Three

- Years of Ground and Space-based Photometry of TrES-2. *Astronomy & Astrophysics*, 539 (id.A97): 1-10.
- Schwarz G., 1978. Estimating the Dimension of a Model. *Annals of Statistics*, 6 (2): 461-464.
- Scuderi L. J., Dittmann J. A., Males J. R., Green E. M., Close L. M., 2010. On the Apparent Orbital Inclination Change of the Extrasolar Transiting Planet TrES-2b. *The Astrophysical Journal*, 714 (1): 462-468.
- Seager S., 2010. *Exoplanets*, University of Arizona Press, Tucson, USA, 27-54.
- Seager S., Mallén-Ornelas G., 2003. A Unique Solution of Planet and Star Parameters from an Extrasolar Planet Transit Light Curve. *The Astrophysical Journal*, 585 (2): 1038-1055.
- Sing D. K., Lecavelier des Etangs A., Fortney J. J., Burrows A. S., Pont F., Wakeford H. R., Ballester G. E., Nikolov N., Henry G. W., Aigrain S., Deming D., Evans T. M., Gibson N. P., Huitson C. M., Knutson H., Showman A. P., Vidal-Madjar A., Wilson P. A., Williamson M. H., Zahnle K., 2013. HST Hot-Jupiter Transmission Spectral Survey: Evidence for Aerosols and Lack of TiO in the Atmosphere of WASP-12b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 436 (4): 2956-2973.
- Snellen I. A. G., de Mooij E. J. W., Burrows A., 2010. Bright Optical Day-side Emission from Extrasolar Planet CoRoT-2b. *Astronomy and Astrophysics*, 513 (id.A76): 1-9.
- Southworth J., 2008. Homogeneous Studies of Transiting Extrasolar Planets - I. Light-Curve Analyses. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 386 (3): 1644-1666.
- 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 (3): 2166-2196.
- 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., Zub M., 2009. High-precision Photometry by Telescope Defocusing - I. The Transiting Planetary System WASP-5. *Monthly*

- Notices of the Royal Astronomical Society, 396 (2): 1023-1031.
- Southworth J., Zucker S., Maxted P. F. L., Smalley B., 2004. Eclipsing Binaries in open Clusters - III. V621 Per in χ Persei. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 355 (3): 986-994.
- Sozzetti A., Torres G., Charbonneau D., Latham D. W., Holman M. J., Winn J. N., Laird J. B., O'Donovan F. T., 2007. Improving Stellar and Planetary Parameters of Transiting Planet Systems: The Case of TrES-2. The Astrophysical Journal, 664 (2): 1190-1198.
- Stevenson K. B., Bean J. L., Madhusudhan N., Harrington J., 2014. Deciphering the Atmospheric Composition of WASP-12b: A Comprehensive Analysis of its Dayside Emission. The Astrophysical Journal, 791 (1) article id. 36: 1-8.
- Swain M., Deroo P., Tinetti G., Hollis M., Tessenyi M., Line M., Kawahara H., Fujii Y., Showman A. P., Yurchenko S. N., 2013. Probing the Extreme Planetary Atmosphere of WASP-12b. Icarus, 225 (1): 432-445.
- Swift J. J., Bottom M., Johnson J. A., Wright J. T., McCrady N., Wittenmyer R. A., Plavchan P., Riddle R., Muirhead P. S., Herzig E., Myles J., Blake C. H., Eastman J., Beatty T. G., Barnes S. I., Gibson S. R., Lin B., Zhao M., Gardner P., Falco E., Criswell S., Nava C., Robinson C., Sliski D. H., Hedrick R., Ivarsen K., Hjelstrom A., de Vera J., Szentgyorgyi A., 2015. Miniature Exoplanet Radial Velocity Array (MINERVA) I. Design, Commissioning, and First Science Results. Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, 1 (2) id. 027002: 1-19.
- Thomas N., Ge J., Grieves N., Li R., Sithajan S., 2016. MARVELS 1D Pipeline Development, Optimization, and Performance. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 128:045003 (962): 1-17.
- Tinney C. G., Butler R. P., Marcy G. W., Jones H. R. A., Penny A. J., McCarthy C., Carter B. D., Fischer D. A., 2005. Three Low-Mass Planets from the Anglo-Australian Planet Search. The Astrophysical Journal, 623 (2): 1171-1179.
- Wilkins A. N., Deming D., Madhusudhan N., Burrows A., Knutson H., McCullough P., Ranjan S., 2014. The Emergent 1.1-1.7 μm Spectrum of the Exoplanet CoRoT-2b as Measured Using the Hubble Space Telescope. The Astrophysical Journal, 783 (2) article id. 113: 1-15.

- Winn J. N., Johnson J. A., Narita N., Suto Y., Turner E. L., Fischer D. A., Butler R. P., Vogt S. S., O'Donovan F. T., Gaudi B. S., 2008. The Prograde Orbit of Exoplanet TrES-2b. *The Astrophysical Journal*, 682 (2): 1283-1288.
- 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., Everett M., 2008. The transit light curve project. IX. Evidence for a Smaller Radius of the Exoplanet XO-3b. *The Astrophysical Journal*, 683 (2): 1076–1084.
- Wittenmyer R. A., Horner J., Tinney C. G., Butler R. P., Jones H. R. A., Tuomi M., Salter G. S., Carter B. D., Koch F. E., O'Toole S. J., Bailey J., Wright D., 2014. *The Astrophysical Journal*, 783 (2) article id. 103: 1-9.
- Wöllert M., Brandner W., Bergfors C., Henning T., 2015. A Lucky Imaging Search for Stellar Companions to Transiting Planet Host Stars. *Astronomy & Astrophysics*, 575 (id.A23): 1-5.
- Zahn J.-P., 1989. Tidal Evolution of Close Binary Stars. I - Revisiting the Theory of the Equilibrium Tide. *Astronomy and Astrophysics*, 220 (1-2): 112-116.



EKLERİ

EK 1. Kepler-6 Kaynağının Kepler Gözlemleri Bilgileri.

Poz süresi	Çeyrek	Gözlem başlangıcı (gün.ay.yıl)	Gözlem bitişi (gün.ay.yıl)	Veri sayısı	Geçiş eğrisi sayısı
Uzun	0	2.05.2009	11.05.2009	476	3
Uzun	1	13.05.2009	15.06.2009	1639	10
Uzun	2	20.06.2009	16.09.2009	4354	27
Uzun	3	18.09.2009	17.12.2009	4370	27
Uzun	4	19.12.2009	19.03.2010	4397	26
Uzun	5	20.03.2010	23.06.2010	4634	27
Uzun	6	24.06.2010	22.09.2010	4398	27
Uzun	8	6.01.2011	14.03.2011	3279	20
Uzun	9	21.03.2011	26.06.2011	4768	30
Uzun	10	27.06.2011	28.09.2011	4573	29
Uzun	12	5.01.2012	28.03.2012	4044	23
Uzun	13	29.03.2012	27.06.2012	4421	27
Uzun	14	28.06.2012	3.10.2012	4757	27
Uzun	16	12.01.2013	8.04.2013	4203	22
Uzun	17	9.04.2013	11.05.2013	1556	9
Kısa	2	20.06.2009	16.09.2009	129030	27
Kısa	3	18.09.2009	17.12.2009	126810	27
Kısa	4	19.12.2009	19.03.2010	130530	26
Kısa	5	21.05.2010	23.06.2010	49290	10
Kısa	6	24.06.2010	22.09.2010	129390	27
Kısa	9	21.03.2011	26.06.2011	141090	30
Kısa	10	27.06.2011	28.09.2011	134730	29
Kısa	12	5.01.2012	28.03.2012	118950	23

EK 2. Kepler-6b Ötegezegeninin Kepler Gözlemlerinden Hesaplanan Geçiş Ortası Zamanları.

No	Poz süresi	Çeyrek	Geçiş ortası zaman (BJD)	Geçiş ortası zamanı hatası (BJD)
1	Uzun	0	2454954.48630	0.00121
2	Uzun	0	2454957.72057	0.00188
3	Uzun	0	2454960.95637	0.00079
4	Uzun	1	2454967.42553	0.00062
5	Uzun	1	2454970.66119	0.00187
6	Uzun	1	2454973.89452	0.00131
7	Uzun	1	2454977.12894	0.00179
8	Uzun	1	2454980.36469	0.00157
9	Uzun	1	2454983.59872	0.00051
10	Uzun	1	2454986.83395	0.00160
11	Uzun	1	2454990.06816	0.00105
12	Uzun	1	2454993.30372	0.00080
13	Uzun	1	2454996.53772	0.00085
14	Uzun	5	2455277.95563	0.00173
15	Uzun	5	2455281.19156	0.00039
16	Uzun	5	2455284.42564	0.00076
17	Uzun	5	2455287.66155	0.00177
18	Uzun	5	2455290.89455	0.00188
19	Uzun	5	2455294.13054	0.00149
20	Uzun	5	2455297.36430	0.00128
21	Uzun	5	2455300.59942	0.00191
22	Uzun	5	2455303.83329	0.00085
23	Uzun	5	2455307.06839	0.00096
24	Uzun	5	2455310.30349	0.00102
25	Uzun	5	2455313.53805	0.00119
26	Uzun	5	2455316.77227	0.00105
27	Uzun	5	2455320.00524	0.00221
28	Uzun	5	2455323.24228	0.00042
29	Uzun	5	2455326.47720	0.00163

30	Uzun	5	2455329.71122	0.00080
31	Uzun	5	2455332.94688	0.00101
32	Uzun	5	2455336.18165	0.00102
33	Uzun	8	2455569.07876	0.00184
34	Uzun	8	2455572.31382	0.00102
35	Uzun	8	2455575.54856	0.00126
36	Uzun	8	2455578.78428	0.00115
37	Uzun	8	2455582.01823	0.00133
38	Uzun	8	2455585.25256	0.00236
39	Uzun	8	2455588.48695	0.00116
40	Uzun	8	2455591.72231	0.00176
41	Uzun	8	2455598.19170	0.00132
42	Uzun	8	2455601.42637	0.00117
43	Uzun	8	2455604.66103	0.00056
44	Uzun	8	2455607.89529	0.00139
45	Uzun	8	2455611.13092	0.00081
46	Uzun	8	2455614.36596	0.00110
47	Uzun	8	2455617.59999	0.00090
48	Uzun	8	2455620.83501	0.00171
49	Uzun	8	2455624.07010	0.00188
50	Uzun	8	2455627.30368	0.00090
51	Uzun	8	2455630.53884	0.00129
52	Uzun	8	2455633.77358	0.00121
53	Uzun	13	2456018.70351	0.00095
54	Uzun	13	2456021.93752	0.00038
55	Uzun	13	2456025.17157	0.00193
56	Uzun	13	2456028.40638	0.00063
57	Uzun	13	2456031.64153	0.00079
58	Uzun	13	2456034.87546	0.00143
59	Uzun	13	2456038.11035	0.00046
60	Uzun	13	2456041.34594	0.00167
61	Uzun	13	2456044.58008	0.00097
62	Uzun	13	2456047.81340	0.00164

63	Uzun	13	2456051.05158	0.00043
64	Uzun	13	2456054.28494	0.00089
65	Uzun	13	2456057.51898	0.00126
66	Uzun	13	2456060.75308	0.00084
67	Uzun	13	2456063.98855	0.00100
68	Uzun	13	2456067.22257	0.00125
69	Uzun	13	2456070.45852	0.00133
70	Uzun	13	2456073.69139	0.00143
71	Uzun	13	2456076.92657	0.00053
72	Uzun	13	2456080.16337	0.00133
73	Uzun	13	2456083.39624	0.00158
74	Uzun	13	2456086.63289	0.00122
75	Uzun	13	2456089.86642	0.00159
76	Uzun	13	2456093.10046	0.00054
77	Uzun	13	2456096.33594	0.00112
78	Uzun	13	2456099.56976	0.00080
79	Uzun	13	2456102.80426	0.00083
80	Uzun	14	2456109.27427	0.00049
81	Uzun	14	2456112.50861	0.00125
82	Uzun	14	2456115.74303	0.00091
83	Uzun	14	2456118.97838	0.00100
84	Uzun	14	2456122.21293	0.00160
85	Uzun	14	2456131.91670	0.00087
86	Uzun	14	2456135.15156	0.00086
87	Uzun	14	2456141.62068	0.00048
88	Uzun	14	2456144.85631	0.00148
89	Uzun	14	2456148.09034	0.00101
90	Uzun	14	2456151.32584	0.00091
91	Uzun	14	2456154.56061	0.00158
92	Uzun	14	2456157.79483	0.00043
93	Uzun	14	2456161.02951	0.00147
94	Uzun	14	2456164.26364	0.00102
95	Uzun	14	2456167.49880	0.00085

96	Uzun	14	2456170.73292	0.00183
97	Uzun	14	2456173.96781	0.00039
98	Uzun	14	2456177.20280	0.00160
99	Uzun	14	2456180.43684	0.00108
100	Uzun	14	2456183.67251	0.00068
101	Uzun	14	2456186.90704	0.00172
102	Uzun	14	2456190.14195	0.00190
103	Uzun	14	2456193.37680	0.00109
104	Uzun	14	2456196.61050	0.00106
105	Uzun	14	2456199.84615	0.00073
106	Uzun	14	2456203.08064	0.00189
107	Uzun	16	2456306.58987	0.00157
108	Uzun	16	2456309.82574	0.00114
109	Uzun	16	2456322.76403	0.00151
110	Uzun	16	2456325.99881	0.00056
111	Uzun	16	2456329.23425	0.00156
112	Uzun	16	2456332.46874	0.00077
113	Uzun	16	2456335.70328	0.00095
114	Uzun	16	2456338.93665	0.00157
115	Uzun	16	2456342.17412	0.00135
116	Uzun	16	2456345.40811	0.00154
117	Uzun	16	2456348.64139	0.00084
118	Uzun	16	2456351.87655	0.00100
119	Uzun	16	2456355.11043	0.00157
120	Uzun	16	2456361.58131	0.00132
121	Uzun	16	2456364.81519	0.00085
122	Uzun	16	2456368.05018	0.00091
123	Uzun	16	2456371.28433	0.00113
124	Uzun	16	2456374.51914	0.00037
125	Uzun	16	2456377.75517	0.00130
126	Uzun	16	2456380.98799	0.00108
127	Uzun	16	2456384.22443	0.00054
128	Uzun	16	2456387.45761	0.00166

129	Uzun	16	2456390.69321	0.00108
130	Uzun	17	2456397.16209	0.00095
131	Uzun	17	2456400.39731	0.00073
132	Uzun	17	2456403.63245	0.00178
133	Uzun	17	2456406.86645	0.00037
134	Uzun	17	2456410.10201	0.00136
135	Uzun	17	2456413.33498	0.00078
136	Kısa	2	2455003.00700	0.00017
137	Kısa	2	2455006.24160	0.00015
138	Kısa	2	2455009.47644	0.00016
139	Kısa	2	2455012.71100	0.00012
140	Kısa	2	2455019.18045	0.00012
141	Kısa	2	2455022.41549	0.00011
142	Kısa	2	2455025.64987	0.00016
143	Kısa	2	2455028.88421	0.00013
144	Kısa	2	2455032.11995	0.00013
145	Kısa	2	2455035.35357	0.00012
146	Kısa	2	2455038.58916	0.00012
147	Kısa	2	2455041.82337	0.00016
148	Kısa	2	2455045.05833	0.00015
149	Kısa	2	2455048.29266	0.00012
150	Kısa	2	2455051.52765	0.00012
151	Kısa	2	2455054.76195	0.00016
152	Kısa	2	2455057.99705	0.00015
153	Kısa	2	2455061.23153	0.00011
154	Kısa	2	2455064.46693	0.00013
155	Kısa	2	2455067.70124	0.00016
156	Kısa	2	2455070.93544	0.00015
157	Kısa	2	2455074.17058	0.00018
158	Kısa	2	2455077.40513	0.00018
159	Kısa	2	2455080.63927	0.00014
160	Kısa	2	2455083.87396	0.00015
161	Kısa	2	2455087.10945	0.00016

162	K1sa	2	2455090.34413	0.00015
163	K1sa	3	2455093.57866	0.00016
164	K1sa	3	2455096.81287	0.00013
165	K1sa	3	2455100.04791	0.00014
166	K1sa	3	2455103.28307	0.00013
167	K1sa	3	2455106.51689	0.00018
168	K1sa	3	2455109.75238	0.00016
169	K1sa	3	2455112.98688	0.00015
170	K1sa	3	2455116.22200	0.00013
171	K1sa	3	2455119.45630	0.00013
172	K1sa	3	2455122.69094	0.00014
173	K1sa	3	2455125.92493	0.00016
174	K1sa	3	2455129.16051	0.00014
175	K1sa	3	2455132.39479	0.00015
176	K1sa	3	2455135.62938	0.00015
177	K1sa	3	2455138.86456	0.00015
178	K1sa	3	2455142.09903	0.00016
179	K1sa	3	2455145.33421	0.00013
180	K1sa	3	2455148.56849	0.00016
181	K1sa	3	2455151.80312	0.00012
182	K1sa	3	2455158.27206	0.00013
183	K1sa	3	2455161.50712	0.00018
184	K1sa	3	2455164.74163	0.00017
185	K1sa	3	2455167.97732	0.00018
186	K1sa	3	2455171.21157	0.00014
187	K1sa	3	2455174.44606	0.00017
188	K1sa	3	2455177.68082	0.00016
189	K1sa	3	2455180.91575	0.00016
190	K1sa	4	2455187.38461	0.00014
191	K1sa	4	2455190.61955	0.00014
192	K1sa	4	2455193.85464	0.00015
193	K1sa	4	2455197.08854	0.00018
194	K1sa	4	2455200.32377	0.00017

195	K1sa	4	2455203.55859	0.00017
196	K1sa	4	2455206.79302	0.00017
197	K1sa	4	2455210.02806	0.00016
198	K1sa	4	2455213.26255	0.00016
199	K1sa	4	2455219.73181	0.00016
200	K1sa	4	2455222.96644	0.00014
201	K1sa	4	2455226.20156	0.00012
202	K1sa	4	2455229.43607	0.00015
203	K1sa	4	2455235.90542	0.00015
204	K1sa	4	2455239.14021	0.00018
205	K1sa	4	2455242.37446	0.00017
206	K1sa	4	2455245.60938	0.00018
207	K1sa	4	2455248.84397	0.00015
208	K1sa	4	2455252.07911	0.00020
209	K1sa	4	2455255.31380	0.00017
210	K1sa	4	2455258.54878	0.00014
211	K1sa	4	2455261.78168	0.00014
212	K1sa	4	2455265.01789	0.00014
213	K1sa	4	2455268.25277	0.00016
214	K1sa	4	2455271.48710	0.00018
215	K1sa	4	2455274.72154	0.00016
216	K1sa	5	2455339.41569	0.00014
217	K1sa	5	2455342.64977	0.00015
218	K1sa	5	2455345.88540	0.00022
219	K1sa	5	2455349.11970	0.00015
220	K1sa	5	2455352.35430	0.00019
221	K1sa	5	2455355.58826	0.00014
222	K1sa	5	2455358.82432	0.00014
223	K1sa	5	2455362.05838	0.00018
224	K1sa	5	2455365.29357	0.00014
225	K1sa	5	2455368.52827	0.00010
226	K1sa	6	2455374.99741	0.00016
227	K1sa	6	2455378.23234	0.00014

228	K1sa	6	2455381.46675	0.00016
229	K1sa	6	2455384.70158	0.00016
230	K1sa	6	2455387.93614	0.00013
231	K1sa	6	2455391.17122	0.00016
232	K1sa	6	2455394.40613	0.00015
233	K1sa	6	2455397.64038	0.00014
234	K1sa	6	2455400.87544	0.00013
235	K1sa	6	2455404.10991	0.00024
236	K1sa	6	2455407.34448	0.00016
237	K1sa	6	2455410.57968	0.00014
238	K1sa	6	2455413.81395	0.00018
239	K1sa	6	2455417.04851	0.00014
240	K1sa	6	2455420.28358	0.00019
241	K1sa	6	2455423.51793	0.00018
242	K1sa	6	2455426.75252	0.00020
243	K1sa	6	2455429.98751	0.00011
244	K1sa	6	2455433.22204	0.00015
245	K1sa	6	2455436.45699	0.00012
246	K1sa	6	2455439.69176	0.00012
247	K1sa	6	2455442.92617	0.00014
248	K1sa	6	2455446.16027	0.00013
249	K1sa	6	2455449.39549	0.00018
250	K1sa	6	2455452.63036	0.00016
251	K1sa	6	2455455.86533	0.00014
252	K1sa	6	2455459.09950	0.00013
253	K1sa	9	2455643.47784	0.00015
254	K1sa	9	2455646.71213	0.00013
255	K1sa	9	2455649.94608	0.00012
256	K1sa	9	2455653.18145	0.00014
257	K1sa	9	2455656.41664	0.00020
258	K1sa	9	2455659.65113	0.00015
259	K1sa	9	2455662.88586	0.00012
260	K1sa	9	2455666.12016	0.00015

261	K1sa	9	2455669.35516	0.00015
262	K1sa	9	2455672.58962	0.00015
263	K1sa	9	2455675.82450	0.00014
264	K1sa	9	2455679.05896	0.00012
265	K1sa	9	2455682.29367	0.00013
266	K1sa	9	2455685.52885	0.00015
267	K1sa	9	2455688.76325	0.00018
268	K1sa	9	2455691.99812	0.00011
269	K1sa	9	2455695.23285	0.00018
270	K1sa	9	2455698.46745	0.00016
271	K1sa	9	2455701.70209	0.00016
272	K1sa	9	2455704.93672	0.00014
273	K1sa	9	2455708.17080	0.00012
274	K1sa	9	2455711.40628	0.00015
275	K1sa	9	2455714.64115	0.00013
276	K1sa	9	2455717.87577	0.00012
277	K1sa	9	2455721.10953	0.00011
278	K1sa	9	2455724.34467	0.00012
279	K1sa	9	2455727.57950	0.00011
280	K1sa	9	2455730.81376	0.00016
281	K1sa	9	2455734.04897	0.00016
282	K1sa	9	2455737.28383	0.00016
283	K1sa	10	2455740.51822	0.00016
284	K1sa	10	2455743.75330	0.00014
285	K1sa	10	2455746.98785	0.00014
286	K1sa	10	2455750.22276	0.00014
287	K1sa	10	2455753.45763	0.00017
288	K1sa	10	2455756.69231	0.00016
289	K1sa	10	2455759.92650	0.00016
290	K1sa	10	2455763.16118	0.00014
291	K1sa	10	2455766.39546	0.00014
292	K1sa	10	2455769.63052	0.00011
293	K1sa	10	2455772.86569	0.00015

294	K1sa	10	2455776.10007	0.00016
295	K1sa	10	2455779.33507	0.00012
296	K1sa	10	2455782.56958	0.00019
297	K1sa	10	2455785.80441	0.00016
298	K1sa	10	2455789.03914	0.00014
299	K1sa	10	2455792.27303	0.00014
300	K1sa	10	2455795.50837	0.00017
301	K1sa	10	2455798.74307	0.00014
302	K1sa	10	2455801.97781	0.00016
303	K1sa	10	2455805.21151	0.00012
304	K1sa	10	2455808.44740	0.00018
305	K1sa	10	2455811.68162	0.00017
306	K1sa	10	2455814.91699	0.00015
307	K1sa	10	2455818.15154	0.00015
308	K1sa	10	2455821.38596	0.00016
309	K1sa	10	2455824.62044	0.00018
310	K1sa	10	2455827.85510	0.00012
311	K1sa	10	2455831.08980	0.00013
312	K1sa	12	2455934.60026	0.00017
313	K1sa	12	2455937.83511	0.00015
314	K1sa	12	2455941.06954	0.00015
315	K1sa	12	2455944.30434	0.00011
316	K1sa	12	2455947.53896	0.00014
317	K1sa	12	2455954.00913	0.00017
318	K1sa	12	2455957.24321	0.00013
319	K1sa	12	2455960.47819	0.00015
320	K1sa	12	2455963.71328	0.00015
321	K1sa	12	2455966.94690	0.00016
322	K1sa	12	2455970.18234	0.00016
323	K1sa	12	2455973.41662	0.00015
324	K1sa	12	2455976.65127	0.00015
325	K1sa	12	2455979.88389	0.00022
326	K1sa	12	2455983.12083	0.00013

327	K _{1sa}	12	2455986.35489	0.00014
328	K _{1sa}	12	2455989.58988	0.00015
329	K _{1sa}	12	2455992.82524	0.00019
330	K _{1sa}	12	2455999.29402	0.00013
331	K _{1sa}	12	2456002.52982	0.00015
332	K _{1sa}	12	2456005.76354	0.00017
333	K _{1sa}	12	2456008.99874	0.00012
334	K _{1sa}	12	2456012.23307	0.00015



EK 3. Kepler-8 Kaynağının Kepler Gözlemleri Bilgileri.

Poz süresi	Çeyrek	Gözlem başlangıcı (gün.ay.yıl)	Gözlem bitişi (gün.ay.yıl)	Veri sayısı	Geçiş eğrisi sayısı
Uzun	0	2.05.2009	11.05.2009	476	3
Uzun	1	13.05.2009	15.06.2009	1639	10
Uzun	2	20.06.2009	16.09.2009	4354	26
Uzun	3	18.09.2009	17.12.2009	4370	24
Uzun	4	19.12.2009	19.03.2010	4397	25
Uzun	5	20.03.2010	23.06.2010	4634	27
Uzun	6	24.06.2010	22.09.2010	4398	26
Uzun	7	23.09.2010	22.12.2010	4375	25
Uzun	8	6.01.2011	14.03.2011	3279	18
Uzun	9	21.03.2011	26.06.2011	4768	27
Uzun	10	27.06.2011	28.09.2011	4573	26
Uzun	11	29.09.2011	4.01.2012	4754	27
Uzun	12	5.01.2012	28.03.2012	4044	21
Uzun	13	29.03.2012	27.06.2012	4421	26
Uzun	14	28.06.2012	3.10.2012	4757	24
Uzun	15	5.10.2012	11.01.2013	4780	26
Uzun	16	12.01.2013	8.04.2013	4203	21
Uzun	17	9.04.2013	11.05.2013	1556	7
Kısa	2	20.06.2009	16.09.2009	129030	26
Kısa	3	18.09.2009	17.12.2009	126810	24
Kısa	4	19.12.2009	19.03.2010	130530	25
Kısa	5	21.05.2010	23.06.2010	49290	10
Kısa	6	24.06.2010	22.09.2010	129390	25
Kısa	7	23.09.2010	23.10.2010	44220	9
Kısa	9	21.03.2011	26.06.2011	141090	27
Kısa	10	27.06.2011	28.09.2011	134730	25
Kısa	11	29.09.2011	4.01.2012	140220	25
Kısa	12	5.01.2012	28.03.2012	118950	21
Kısa	13	29.03.2012	27.06.2012	130290	25

EK 4. Kepler-8b Ötegezegeninin Kepler Gözlemlerinden Hesaplanan Geçiş Ortası Zamanları.

No	Poz süresi	Çeyrek	Geçiş ortası zaman (BJD)	Geçiş ortası zamanı hatası (BJD)
1	Uzun	0	2454954.11920	0.00370
2	Uzun	0	2454957.64127	0.00492
3	Uzun	0	2454961.16285	0.00345
4	Uzun	1	2454964.68675	0.00088
5	Uzun	1	2454968.20944	0.00434
6	Uzun	1	2454971.73396	0.00071
7	Uzun	1	2454975.25300	0.00326
8	Uzun	1	2454978.77643	0.00250
9	Uzun	1	2454982.29996	0.00060
10	Uzun	1	2454985.82181	0.00667
11	Uzun	1	2454989.34386	0.00190
12	Uzun	1	2454992.86667	0.00280
13	Uzun	1	2454996.38960	0.00388
14	Uzun	2	2455003.43249	0.00385
15	Uzun	2	2455006.95633	0.00288
16	Uzun	2	2455010.47653	0.00343
17	Uzun	2	2455014.00128	0.00655
18	Uzun	2	2455017.52422	0.00157
19	Uzun	2	2455021.04709	0.00198
20	Uzun	2	2455024.56876	0.00277
21	Uzun	2	2455028.09178	0.00352
22	Uzun	2	2455031.61270	0.00352
23	Uzun	2	2455059.79106	0.00319
24	Uzun	5	2455278.18824	0.00061
25	Uzun	5	2455281.71075	0.00051
26	Uzun	5	2455285.23407	0.00097
27	Uzun	5	2455288.75743	0.00129
28	Uzun	5	2455292.27967	0.00106

29	Uzun	5	2455295.79959	0.00298
30	Uzun	5	2455299.32395	0.00107
31	Uzun	5	2455302.84392	0.00344
32	Uzun	5	2455306.36890	0.00264
33	Uzun	5	2455309.89060	0.00112
34	Uzun	5	2455313.41393	0.00103
35	Uzun	5	2455316.93730	0.00119
36	Uzun	5	2455320.45904	0.00087
37	Uzun	5	2455323.98158	0.00238
38	Uzun	5	2455327.49983	0.00184
39	Uzun	5	2455331.02612	0.00114
40	Uzun	5	2455334.54827	0.00104
41	Uzun	6	2455461.35940	0.00106
42	Uzun	7	2455496.58455	0.00244
43	Uzun	7	2455500.10767	0.00103
44	Uzun	7	2455503.62883	0.00079
45	Uzun	7	2455507.15331	0.00175
46	Uzun	7	2455510.67378	0.00064
47	Uzun	7	2455514.19582	0.00173
48	Uzun	7	2455517.71920	0.00047
49	Uzun	7	2455521.24181	0.00077
50	Uzun	7	2455524.76527	0.00179
51	Uzun	7	2455528.28614	0.00126
52	Uzun	7	2455531.80930	0.00160
53	Uzun	7	2455535.33058	0.00033
54	Uzun	7	2455538.85484	0.00089
55	Uzun	7	2455542.37760	0.00177
56	Uzun	7	2455545.90006	0.00163
57	Uzun	7	2455549.42130	0.00113
58	Uzun	8	2455570.55628	0.00055
59	Uzun	8	2455574.07949	0.00183
60	Uzun	8	2455577.60134	0.00255
61	Uzun	8	2455581.12403	0.00103

62	Uzun	8	2455584.64587	0.00078
63	Uzun	8	2455588.16850	0.00235
64	Uzun	8	2455591.69193	0.00121
65	Uzun	8	2455598.73663	0.00022
66	Uzun	8	2455602.25936	0.00107
67	Uzun	8	2455605.78375	0.00204
68	Uzun	8	2455609.30368	0.00120
69	Uzun	8	2455612.82649	0.00070
70	Uzun	8	2455616.34973	0.00110
71	Uzun	8	2455619.86855	0.00275
72	Uzun	8	2455623.39898	0.00146
73	Uzun	8	2455626.91658	0.00085
74	Uzun	8	2455630.43867	0.00064
75	Uzun	8	2455633.96262	0.00240
76	Uzun	11	2455891.10348	0.00103
77	Uzun	11	2455894.62539	0.00076
78	Uzun	13	2456039.04892	0.00271
79	Uzun	14	2456109.49947	0.00077
80	Uzun	14	2456113.02145	0.00127
81	Uzun	14	2456116.54346	0.00117
82	Uzun	14	2456120.06613	0.00094
83	Uzun	14	2456130.63297	0.00177
84	Uzun	14	2456134.15585	0.00163
85	Uzun	14	2456137.67827	0.00066
86	Uzun	14	2456141.20149	0.00117
87	Uzun	14	2456144.72482	0.00168
88	Uzun	14	2456148.24616	0.00133
89	Uzun	14	2456151.76891	0.00069
90	Uzun	14	2456155.29155	0.00051
91	Uzun	14	2456158.81404	0.00177
92	Uzun	14	2456162.33619	0.00167
93	Uzun	14	2456165.85850	0.00156
94	Uzun	14	2456172.90398	0.00063

95	Uzun	14	2456176.42609	0.00157
96	Uzun	14	2456179.94806	0.00081
97	Uzun	14	2456183.47045	0.00100
98	Uzun	14	2456186.99463	0.00125
99	Uzun	14	2456190.51658	0.00117
100	Uzun	14	2456194.04022	0.00150
101	Uzun	14	2456197.56085	0.00086
102	Uzun	14	2456201.08329	0.00098
103	Uzun	15	2456208.12910	0.00137
104	Uzun	15	2456211.65180	0.00183
105	Uzun	15	2456215.17339	0.00071
106	Uzun	15	2456218.69593	0.00142
107	Uzun	15	2456222.21500	0.00186
108	Uzun	15	2456225.74202	0.00151
109	Uzun	15	2456229.26322	0.00145
110	Uzun	15	2456232.78561	0.00034
111	Uzun	15	2456236.30862	0.00054
112	Uzun	15	2456239.83175	0.00187
113	Uzun	15	2456243.35474	0.00174
114	Uzun	15	2456253.92123	0.00057
115	Uzun	15	2456257.44394	0.00093
116	Uzun	15	2456260.96746	0.00188
117	Uzun	15	2456264.48833	0.00109
118	Uzun	15	2456268.01200	0.00076
119	Uzun	15	2456271.53397	0.00046
120	Uzun	15	2456275.05703	0.00168
121	Uzun	15	2456278.57838	0.00131
122	Uzun	15	2456282.10059	0.00047
123	Uzun	15	2456285.62347	0.00088
124	Uzun	15	2456289.14699	0.00079
125	Uzun	15	2456292.66787	0.00171
126	Uzun	15	2456296.19082	0.00115
127	Uzun	15	2456299.71416	0.00136

128	Uzun	15	2456303.23594	0.00125
129	Uzun	16	2456306.75933	0.00087
130	Uzun	16	2456324.37024	0.00179
131	Uzun	16	2456327.89279	0.00151
132	Uzun	16	2456331.41463	0.00149
133	Uzun	16	2456334.93841	0.00043
134	Uzun	16	2456338.46236	0.00170
135	Uzun	16	2456341.98276	0.00126
136	Uzun	16	2456345.50552	0.00127
137	Uzun	16	2456349.02836	0.00046
138	Uzun	16	2456352.55209	0.00070
139	Uzun	16	2456356.07418	0.00143
140	Uzun	16	2456359.59610	0.00200
141	Uzun	16	2456363.11937	0.00111
142	Uzun	17	2456366.64030	0.00132
143	Uzun	17	2456370.16535	0.00122
144	Uzun	17	2456373.68744	0.00179
145	Uzun	17	2456377.20928	0.00077
146	Uzun	17	2456380.73101	0.00057
147	Uzun	17	2456384.25407	0.00109
148	Uzun	17	2456387.77685	0.00181
149	Uzun	17	2456394.82202	0.00081
150	Uzun	17	2456398.34342	0.00135
151	Uzun	17	2456401.86799	0.00177
152	Uzun	17	2456405.38879	0.00082
153	Uzun	17	2456408.91126	0.00068
154	Uzun	17	2456412.43440	0.00187
155	Uzun	17	2456423.00197	0.00075
156	Kısa	2	2455035.13667	0.00017
157	Kısa	2	2455038.65884	0.00021
158	Kısa	2	2455042.18150	0.00025
159	Kısa	2	2455045.70435	0.00020
160	Kısa	2	2455049.22692	0.00029

161	K1sa	2	2455052.74985	0.00038
162	K1sa	2	2455056.27253	0.00020
163	K1sa	2	2455066.83870	0.00029
164	K1sa	2	2455070.36073	0.00017
165	K1sa	2	2455073.88334	0.00027
166	K1sa	2	2455077.40696	0.00029
167	K1sa	2	2455080.92956	0.00021
168	K1sa	2	2455084.45177	0.00022
169	K1sa	2	2455087.97432	0.00015
170	K1sa	3	2455095.01956	0.00023
171	K1sa	3	2455098.54174	0.00021
172	K1sa	3	2455102.06330	0.00018
173	K1sa	3	2455105.58705	0.00033
174	K1sa	3	2455109.10948	0.00040
175	K1sa	3	2455112.63195	0.00014
176	K1sa	3	2455116.15424	0.00024
177	K1sa	3	2455119.67721	0.00015
178	K1sa	3	2455123.19986	0.00022
179	K1sa	3	2455126.72220	0.00027
180	K1sa	3	2455130.24455	0.00028
181	K1sa	3	2455133.76577	0.00026
182	K1sa	3	2455137.28886	0.00059
183	K1sa	3	2455140.81158	0.00030
184	K1sa	3	2455144.33500	0.00023
185	K1sa	3	2455147.85593	0.00031
186	K1sa	3	2455151.37971	0.00022
187	K1sa	3	2455158.42468	0.00030
188	K1sa	3	2455161.94662	0.00023
189	K1sa	3	2455165.46877	0.00036
190	K1sa	3	2455168.99034	0.00028
191	K1sa	3	2455172.51486	0.00016
192	K1sa	3	2455176.03650	0.00033
193	K1sa	3	2455179.55881	0.00015

194	K _{1sa}	4	2455186.60454	0.00016
195	K _{1sa}	4	2455190.12631	0.00017
196	K _{1sa}	4	2455193.64971	0.00029
197	K _{1sa}	4	2455197.17123	0.00022
198	K _{1sa}	4	2455200.69818	0.00124
199	K _{1sa}	4	2455204.21659	0.00027
200	K _{1sa}	4	2455207.73965	0.00026
201	K _{1sa}	4	2455211.26157	0.00016
202	K _{1sa}	4	2455214.78300	0.00018
203	K _{1sa}	4	2455218.30715	0.00029
204	K _{1sa}	4	2455221.82921	0.00026
205	K _{1sa}	4	2455225.35201	0.00029
206	K _{1sa}	4	2455228.87463	0.00019
207	K _{1sa}	4	2455235.91949	0.00019
208	K _{1sa}	4	2455239.44151	0.00018
209	K _{1sa}	4	2455242.96480	0.00019
210	K _{1sa}	4	2455246.48636	0.00021
211	K _{1sa}	4	2455250.00913	0.00018
212	K _{1sa}	4	2455253.53137	0.00021
213	K _{1sa}	4	2455257.05494	0.00024
214	K _{1sa}	4	2455260.57591	0.00016
215	K _{1sa}	4	2455264.09940	0.00018
216	K _{1sa}	4	2455267.62117	0.00016
217	K _{1sa}	4	2455271.14399	0.00016
218	K _{1sa}	4	2455274.66621	0.00017
219	K _{1sa}	5	2455338.07083	0.00016
220	K _{1sa}	5	2455341.59237	0.00023
221	K _{1sa}	5	2455345.11673	0.00025
222	K _{1sa}	5	2455348.63839	0.00036
223	K _{1sa}	5	2455352.16066	0.00032
224	K _{1sa}	5	2455355.68386	0.00022
225	K _{1sa}	5	2455359.20717	0.00018
226	K _{1sa}	5	2455362.72861	0.00017

227	K1sa	5	2455366.25100	0.00020
228	K1sa	5	2455369.77405	0.00019
229	K1sa	6	2455373.29692	0.00044
230	K1sa	6	2455376.81914	0.00015
231	K1sa	6	2455380.34219	0.00020
232	K1sa	6	2455383.86431	0.00032
233	K1sa	6	2455387.38653	0.00022
234	K1sa	6	2455390.91011	0.00020
235	K1sa	6	2455394.43166	0.00025
236	K1sa	6	2455397.95455	0.00026
237	K1sa	6	2455401.47578	0.00017
238	K1sa	6	2455404.99891	0.00022
239	K1sa	6	2455408.52111	0.00025
240	K1sa	6	2455412.04415	0.00018
241	K1sa	6	2455415.56657	0.00020
242	K1sa	6	2455419.08888	0.00035
243	K1sa	6	2455422.60849	0.00018
244	K1sa	6	2455426.13475	0.00018
245	K1sa	6	2455429.65629	0.00040
246	K1sa	6	2455433.18014	0.00019
247	K1sa	6	2455436.70104	0.00020
248	K1sa	6	2455440.22456	0.00019
249	K1sa	6	2455443.74726	0.00021
250	K1sa	6	2455447.26854	0.00021
251	K1sa	6	2455450.79194	0.00021
252	K1sa	6	2455454.31400	0.00034
253	K1sa	6	2455457.83598	0.00016
254	K1sa	7	2455464.88082	0.00016
255	K1sa	7	2455468.40368	0.00024
256	K1sa	7	2455471.92470	0.00017
257	K1sa	7	2455475.44878	0.00025
258	K1sa	7	2455478.97047	0.00021
259	K1sa	7	2455482.49329	0.00016

260	K1sa	7	2455486.01726	0.00020
261	K1sa	7	2455489.53961	0.00026
262	K1sa	7	2455493.06055	0.00048
263	K1sa	9	2455644.52863	0.00019
264	K1sa	9	2455648.05246	0.00016
265	K1sa	9	2455651.57350	0.00027
266	K1sa	9	2455655.09725	0.00020
267	K1sa	9	2455658.61864	0.00018
268	K1sa	9	2455662.14157	0.00027
269	K1sa	9	2455665.66355	0.00019
270	K1sa	9	2455669.18695	0.00019
271	K1sa	9	2455672.70830	0.00015
272	K1sa	9	2455676.23146	0.00021
273	K1sa	9	2455679.75521	0.00022
274	K1sa	9	2455683.27579	0.00016
275	K1sa	9	2455686.79940	0.00027
276	K1sa	9	2455690.32079	0.00018
277	K1sa	9	2455693.84363	0.00020
278	K1sa	9	2455697.36551	0.00020
279	K1sa	9	2455700.88931	0.00020
280	K1sa	9	2455704.41090	0.00019
281	K1sa	9	2455707.93509	0.00023
282	K1sa	9	2455711.45574	0.00023
283	K1sa	9	2455714.97887	0.00017
284	K1sa	9	2455718.50024	0.00015
285	K1sa	9	2455722.02386	0.00019
286	K1sa	9	2455725.54614	0.00019
287	K1sa	9	2455729.06928	0.00016
288	K1sa	9	2455732.59105	0.00014
289	K1sa	9	2455736.11282	0.00024
290	K1sa	10	2455743.15861	0.00022
291	K1sa	10	2455746.68171	0.00025
292	K1sa	10	2455750.20343	0.00016

293	K _{1sa}	10	2455753.72707	0.00021
294	K _{1sa}	10	2455757.24858	0.00024
295	K _{1sa}	10	2455760.77096	0.00022
296	K _{1sa}	10	2455764.29406	0.00023
297	K _{1sa}	10	2455767.81696	0.00020
298	K _{1sa}	10	2455771.33839	0.00020
299	K _{1sa}	10	2455774.86123	0.00020
300	K _{1sa}	10	2455778.38404	0.00013
301	K _{1sa}	10	2455781.90648	0.00027
302	K _{1sa}	10	2455785.42822	0.00018
303	K _{1sa}	10	2455788.95119	0.00021
304	K _{1sa}	10	2455792.47355	0.00019
305	K _{1sa}	10	2455795.99711	0.00021
306	K _{1sa}	10	2455799.51863	0.00019
307	K _{1sa}	10	2455806.56450	0.00021
308	K _{1sa}	10	2455810.08632	0.00021
309	K _{1sa}	10	2455813.60858	0.00018
310	K _{1sa}	10	2455817.13108	0.00016
311	K _{1sa}	10	2455820.65492	0.00020
312	K _{1sa}	10	2455824.17662	0.00024
313	K _{1sa}	10	2455827.69824	0.00028
314	K _{1sa}	10	2455831.22160	0.00026
315	K _{1sa}	11	2455834.74391	0.00022
316	K _{1sa}	11	2455838.26680	0.00020
317	K _{1sa}	11	2455841.78703	0.00026
318	K _{1sa}	11	2455845.31030	0.00021
319	K _{1sa}	11	2455848.83381	0.00020
320	K _{1sa}	11	2455852.35650	0.00017
321	K _{1sa}	11	2455855.87877	0.00016
322	K _{1sa}	11	2455859.40152	0.00020
323	K _{1sa}	11	2455862.92329	0.00018
324	K _{1sa}	11	2455866.44673	0.00021
325	K _{1sa}	11	2455869.96882	0.00016

326	K1sa	11	2455873.49161	0.00019
327	K1sa	11	2455877.01470	0.00019
328	K1sa	11	2455880.53664	0.00020
329	K1sa	11	2455884.05923	0.00024
330	K1sa	11	2455887.58122	0.00020
331	K1sa	11	2455898.14935	0.00026
332	K1sa	11	2455901.67161	0.00021
333	K1sa	11	2455908.71613	0.00022
334	K1sa	11	2455912.23897	0.00028
335	K1sa	11	2455915.76029	0.00020
336	K1sa	11	2455919.28242	0.00016
337	K1sa	11	2455922.80648	0.00019
338	K1sa	11	2455926.32828	0.00019
339	K1sa	11	2455929.85195	0.00021
340	K1sa	12	2455933.37365	0.00016
341	K1sa	12	2455936.89630	0.00023
342	K1sa	12	2455940.41942	0.00017
343	K1sa	12	2455943.94156	0.00014
344	K1sa	12	2455947.46406	0.00023
345	K1sa	12	2455958.03108	0.00019
346	K1sa	12	2455961.55396	0.00019
347	K1sa	12	2455965.07651	0.00024
348	K1sa	12	2455968.59925	0.00021
349	K1sa	12	2455972.12059	0.00023
350	K1sa	12	2455975.64345	0.00016
351	K1sa	12	2455979.16665	0.00021
352	K1sa	12	2455982.68920	0.00015
353	K1sa	12	2455986.21061	0.00016
354	K1sa	12	2455989.73344	0.00021
355	K1sa	12	2455993.25593	0.00015
356	K1sa	12	2456000.30187	0.00020
357	K1sa	12	2456003.82332	0.00029
358	K1sa	12	2456007.34644	0.00020

359	K ₁ sa	12	2456010.86801	0.00030
360	K ₁ sa	12	2456014.39124	0.00022
361	K ₁ sa	13	2456017.91431	0.00016
362	K ₁ sa	13	2456021.43602	0.00028
363	K ₁ sa	13	2456024.95791	0.00021
364	K ₁ sa	13	2456028.48159	0.00020
365	K ₁ sa	13	2456032.00494	0.00023
366	K ₁ sa	13	2456035.52634	0.00020
367	K ₁ sa	13	2456042.57083	0.00025
368	K ₁ sa	13	2456046.09376	0.00023
369	K ₁ sa	13	2456049.61581	0.00016
370	K ₁ sa	13	2456053.13881	0.00027
371	K ₁ sa	13	2456056.66264	0.00017
372	K ₁ sa	13	2456060.18200	0.00019
373	K ₁ sa	13	2456063.70745	0.00020
374	K ₁ sa	13	2456067.22936	0.00024
375	K ₁ sa	13	2456070.75064	0.00023
376	K ₁ sa	13	2456074.27349	0.00022
377	K ₁ sa	13	2456077.79630	0.00021
378	K ₁ sa	13	2456081.31845	0.00019
379	K ₁ sa	13	2456084.84007	0.00022
380	K ₁ sa	13	2456088.36346	0.00028
381	K ₁ sa	13	2456091.88571	0.00016
382	K ₁ sa	13	2456095.40949	0.00018
383	K ₁ sa	13	2456098.92901	0.00025
384	K ₁ sa	13	2456102.45398	0.00015
385	K ₁ sa	13	2456105.97647	0.00020

EK 5. Kepler-40 Kaynağının Kepler Gözlemleri Bilgileri.

Poz süresi	Çeyrek	Gözlem başlangıcı (gün.ay.yıl)	Gözlem bitişi (gün.ay.yıl)	Veri sayısı	Geçiş eğrisi sayısı
Uzun	1	13.05.2009	15.06.2009	1639	4
Uzun	2	20.06.2009	16.09.2009	4354	12
Uzun	3	18.09.2009	17.12.2009	4370	13
Uzun	4	19.12.2009	19.03.2010	4397	12
Uzun	5	20.03.2010	23.06.2010	4634	13
Uzun	6	24.06.2010	22.09.2010	4398	12
Uzun	8	6.01.2011	14.03.2011	3279	9
Uzun	9	21.03.2011	26.06.2011	4768	13
Uzun	10	27.06.2011	28.09.2011	4573	13
Uzun	12	5.01.2012	28.03.2012	4044	11
Uzun	13	29.03.2012	27.06.2012	4421	12
Uzun	14	28.06.2012	3.10.2012	4757	13
Uzun	16	12.01.2013	8.04.2013	4203	10
Uzun	17	9.04.2013	11.05.2013	1556	3

EK 6. Kepler-40b Ötegezegeninin Kepler Gözlemlerinden Hesaplanan Geçiş Ortası Zamanları.

No	Poz Süresi	Çeyrek	Geçiş ortası zaman (BJD)	Geçiş ortası zaman hatası (BJD)
1	Uzun	1	2454971.14609	0.00257
2	Uzun	1	2454978.03021	0.00599
3	Uzun	1	2454984.89196	0.00719
4	Uzun	1	2454991.76990	0.00253
5	Uzun	2	2455005.51611	0.00501
6	Uzun	2	2455012.39623	0.00714
7	Uzun	2	2455019.26585	0.00094
8	Uzun	2	2455026.14209	0.00433
9	Uzun	2	2455033.03060	0.01152
10	Uzun	2	2455039.88736	0.00277
11	Uzun	2	2455046.76127	0.00958
12	Uzun	2	2455053.63325	0.00846
13	Uzun	2	2455060.50443	0.00839
14	Uzun	2	2455067.40337	0.00174
15	Uzun	2	2455074.26110	0.01127
16	Uzun	2	2455081.11814	0.00309
17	Uzun	3	2455087.99043	0.01694
18	Uzun	3	2455101.75236	0.00496
19	Uzun	3	2455108.61206	0.00415
20	Uzun	3	2455115.49198	0.01086
21	Uzun	3	2455122.36159	0.00154
22	Uzun	3	2455129.23732	0.00879
23	Uzun	3	2455136.14701	0.00360
24	Uzun	3	2455142.97930	0.00884
25	Uzun	3	2455149.85127	0.00492
26	Uzun	3	2455156.74752	0.00805
27	Uzun	3	2455163.59360	0.00201
28	Uzun	3	2455170.47410	0.00365

29	Uzun	3	2455177.34616	0.00560
30	Uzun	4	2455191.10986	0.00646
31	Uzun	4	2455197.96940	0.00786
32	Uzun	4	2455204.84780	0.00473
33	Uzun	4	2455211.71228	0.00380
34	Uzun	4	2455218.59089	0.00747
35	Uzun	4	2455225.45679	0.00297
36	Uzun	4	2455239.21224	0.00318
37	Uzun	4	2455246.08920	0.00898
38	Uzun	4	2455252.96465	0.00359
39	Uzun	4	2455259.82888	0.00415
40	Uzun	4	2455266.69679	0.00606
41	Uzun	4	2455273.57296	0.00228
42	Uzun	5	2455280.44635	0.00106
43	Uzun	5	2455287.31875	0.00432
44	Uzun	5	2455294.18430	0.00838
45	Uzun	5	2455301.06077	0.00993
46	Uzun	5	2455314.81952	0.01652
47	Uzun	5	2455321.68641	0.00297
48	Uzun	5	2455328.55973	0.00061
49	Uzun	5	2455335.43092	0.00280
50	Uzun	5	2455342.30654	0.00496
51	Uzun	5	2455349.17236	0.00335
52	Uzun	5	2455356.04837	0.00203
53	Uzun	5	2455362.92151	0.00488
54	Uzun	5	2455369.80393	0.02046
55	Uzun	6	2455376.67309	0.00169
56	Uzun	6	2455383.54451	0.00213
57	Uzun	6	2455390.42212	0.00498
58	Uzun	6	2455397.29147	0.00255
59	Uzun	6	2455404.15984	0.00350
60	Uzun	6	2455411.03635	0.00393

61	Uzun	6	2455417.91214	0.00300
62	Uzun	6	2455424.78458	0.00184
63	Uzun	6	2455438.52975	0.00774
64	Uzun	6	2455445.40111	0.00189
65	Uzun	6	2455452.27078	0.00591
66	Uzun	6	2455459.14922	0.00438
67	Uzun	8	2455569.12314	0.00528
68	Uzun	8	2455575.99670	0.00328
69	Uzun	8	2455582.86388	0.00498
70	Uzun	8	2455589.73858	0.00226
71	Uzun	8	2455603.48600	0.00344
72	Uzun	8	2455610.37151	0.00595
73	Uzun	8	2455617.22910	0.00229
74	Uzun	8	2455624.10349	0.00749
75	Uzun	8	2455630.97063	0.00395
76	Uzun	9	2455644.72242	0.00167
77	Uzun	9	2455651.60200	0.00846
78	Uzun	9	2455658.46427	0.01125
79	Uzun	9	2455665.35225	0.00893
80	Uzun	9	2455672.21671	0.02643
81	Uzun	9	2455679.09079	0.00198
82	Uzun	9	2455685.96755	0.00745
83	Uzun	9	2455692.83558	0.01127
84	Uzun	9	2455699.72538	0.01150
85	Uzun	9	2455706.58102	0.00392
86	Uzun	9	2455713.46286	0.00769
87	Uzun	9	2455727.20463	0.00838
88	Uzun	9	2455734.07161	0.00966
89	Uzun	10	2455740.94727	0.00694
90	Uzun	10	2455747.82776	0.00912
91	Uzun	10	2455754.69746	0.01113
92	Uzun	10	2455761.56116	0.00782

93	Uzun	10	2455768.43915	0.00800
94	Uzun	10	2455775.31350	0.00837
95	Uzun	10	2455782.18262	0.00434
96	Uzun	10	2455789.06814	0.01083
97	Uzun	10	2455795.93750	0.00729
98	Uzun	10	2455809.67979	0.00646
99	Uzun	10	2455816.55517	0.01382
100	Uzun	10	2455823.41783	0.00543
101	Uzun	10	2455830.30580	0.00250
102	Uzun	12	2455933.39014	0.00334
103	Uzun	12	2455940.28083	0.00871
104	Uzun	12	2455947.14331	0.00727
105	Uzun	12	2455954.00970	0.01256
106	Uzun	12	2455960.88838	0.00565
107	Uzun	12	2455967.75687	0.01203
108	Uzun	12	2455974.64324	0.00758
109	Uzun	12	2455981.52599	0.00468
110	Uzun	12	2455988.38140	0.00142
111	Uzun	12	2456002.11298	0.01359
112	Uzun	12	2456009.00111	0.00255
113	Uzun	13	2456022.74609	0.01046
114	Uzun	13	2456029.63286	0.00798
115	Uzun	13	2456036.50888	0.00602
116	Uzun	13	2456043.35850	0.00640
117	Uzun	13	2456050.24456	0.00442
118	Uzun	13	2456057.13244	0.00201
119	Uzun	13	2456063.99499	0.02500
120	Uzun	13	2456070.86158	0.00342
121	Uzun	13	2456077.73145	0.00963
122	Uzun	13	2456091.48269	0.00912
123	Uzun	13	2456098.34551	0.02574
124	Uzun	13	2456105.22381	0.00527

125	Uzun	14	2456112.11400	0.00565
126	Uzun	14	2456118.95721	0.00015
127	Uzun	14	2456132.70484	0.01023
128	Uzun	14	2456139.59158	0.02573
129	Uzun	14	2456146.47319	0.00920
130	Uzun	14	2456153.34118	0.00419
131	Uzun	14	2456160.22364	0.01070
132	Uzun	14	2456167.09190	0.01569
133	Uzun	14	2456173.96086	0.01489
134	Uzun	14	2456180.85260	0.00879
135	Uzun	14	2456187.70312	0.00908
136	Uzun	14	2456194.56703	0.00820
137	Uzun	14	2456201.47089	0.00630
138	Uzun	16	2456325.16611	0.00264
139	Uzun	16	2456332.05210	0.00227
140	Uzun	16	2456338.90772	0.00727
141	Uzun	16	2456345.78614	0.00195
142	Uzun	16	2456352.65515	0.00140
143	Uzun	16	2456359.53108	0.00432
144	Uzun	16	2456366.40408	0.00408
145	Uzun	16	2456373.27778	0.00362
146	Uzun	16	2456380.17141	0.00756
147	Uzun	16	2456387.04020	0.00729
148	Uzun	17	2456400.77441	0.00348
149	Uzun	17	2456407.65795	0.01177
150	Uzun	17	2456421.38390	0.01418

EK 7. CoRoT-2b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları.

Geçiş ortası zamanı (BJD)	Hata	Referans	Not
2454242.76078	0.00011	CoRoT	(a)
2454244.50340	0.00012	CoRoT	(a)
2454246.24570	0.00017	CoRoT	(a)
2454247.99219	0.00014	CoRoT	(a)
2454249.73254	0.00014	CoRoT	(a)
2454251.47335	0.00021	CoRoT	(a)
2454253.21837	0.00023	CoRoT	(a)
2454254.96042	0.00012	CoRoT	(a)
2454256.70519	0.00026	CoRoT	(a)
2454258.44858	0.00011	CoRoT	(a)
2454260.18952	0.00027	CoRoT	(a)
2454261.93337	0.00026	CoRoT	(a)
2454263.67646	0.00017	CoRoT	(a)
2454265.41984	0.00014	CoRoT	(a)
2454267.16253	0.00009	CoRoT	(a)
2454268.90709	0.00013	CoRoT	(a)
2454270.64850	0.00011	CoRoT	(a)
2454272.39294	0.00026	CoRoT	(a)
2454274.13477	0.00024	CoRoT	(a)
2454275.87680	0.00013	CoRoT	(a)
2454277.62026	0.00013	CoRoT	(a)
2454279.36433	0.00014	CoRoT	(a)
2454281.10724	0.00011	CoRoT	(a)
2454282.84761	0.00029	CoRoT	(a)
2454284.59202	0.00009	CoRoT	(a)
2454286.33735	0.00013	CoRoT	(a)
2454288.07885	0.00014	CoRoT	(a)
2454289.82068	0.00011	CoRoT	(a)
2454291.56352	0.00013	CoRoT	(a)
2454293.30815	0.00015	CoRoT	(a)

2454295.05028	0.00018	CoRoT	(a)
2454296.79301	0.00011	CoRoT	(a)
2454298.53576	0.00022	CoRoT	(a)
2454300.27971	0.00012	CoRoT	(a)
2454302.02457	0.00018	CoRoT	(a)
2454303.76449	0.00013	CoRoT	(a)
2454305.50828	0.00012	CoRoT	(a)
2454307.25132	0.00015	CoRoT	(a)
2454308.99347	0.00018	CoRoT	(a)
2454310.73782	0.00009	CoRoT	(a)
2454312.48144	0.00022	CoRoT	(a)
2454314.22164	0.00017	CoRoT	(a)
2454315.96863	0.00016	CoRoT	(a)
2454317.71169	0.00046	CoRoT	(a)
2454319.45281	0.00012	CoRoT	(a)
2454321.19710	0.00011	CoRoT	(a)
2454322.93831	0.00016	CoRoT	(a)
2454324.68345	0.00009	CoRoT	(a)
2454326.42365	0.00009	CoRoT	(a)
2454328.16625	0.00017	CoRoT	(a)
2454329.91234	0.00013	CoRoT	(a)
2454331.65520	0.00015	CoRoT	(a)
2454333.39919	0.00011	CoRoT	(a)
2454335.14262	0.00015	CoRoT	(a)
2454336.88366	0.00022	CoRoT	(a)
2454338.62821	0.00018	CoRoT	(a)
2454340.36909	0.00015	CoRoT	(a)
2454342.11329	0.00015	CoRoT	(a)
2454343.85699	0.00014	CoRoT	(a)
2454345.59885	0.00019	CoRoT	(a)
2454347.34280	0.00014	CoRoT	(a)
2454349.08411	0.00010	CoRoT	(a)
2454350.82856	0.00046	CoRoT	(a)

2454352.57275	0.00012	CoRoT	(a)
2454354.31539	0.00017	CoRoT	(a)
2454356.05584	0.00013	CoRoT	(a)
2454357.80031	0.00012	CoRoT	(a)
2454359.54126	0.00014	CoRoT	(a)
2454361.28642	0.00026	CoRoT	(a)
2454363.02918	0.00009	CoRoT	(a)
2454364.77426	0.00019	CoRoT	(a)
2454366.51494	0.00016	CoRoT	(a)
2454368.25733	0.00016	CoRoT	(a)
2454370.00118	0.00022	CoRoT	(a)
2454371.74464	0.00028	CoRoT	(a)
2454373.48461	0.00014	CoRoT	(a)
2454375.23085	0.00020	CoRoT	(a)
2454376.97468	0.00013	CoRoT	(a)
2454378.71430	0.00009	CoRoT	(a)
2454624.48206	0.00124	Baluev ve ark. (2015)	
2454671.54162	0.00036	ETD	(b)
2454685.48601	0.00060	Baluev ve ark. (2015)	
2454692.45823	0.00125	ETD	(b)
2454706.40467	0.00198	ETD	(b)
2454718.60372	0.00065	Baluev ve ark. (2015)	
2454976.56710	0.00030	Baluev ve ark. (2015)	
2454981.79645	0.00097	Baluev ve ark. (2015)	
2455009.68324	0.00087	ETD	(b)
2455014.91275	0.00083	ETD	(b)
2455028.85553	0.00121	ETD	(b)
2455035.82884	0.00081	ETD	(b)
2455044.54120	0.00230	ETD	(b)
2455056.74269	0.00096	ETD	(b)
2455058.48706	0.00060	Baluev ve ark. (2015)	
2455065.45806	0.00104	Baluev ve ark. (2015)	
2455077.65951	0.00081	Baluev ve ark. (2015)	

2455091.60101	0.00091	ETD	(b)
2455391.40004	0.00108	ETD	(b)
2455401.85703	0.00050	Baluev ve ark. (2015)	
2455408.82952	0.00087	ETD	(b)
2455436.71755	0.00075	ETD	(b)
2455438.45926	0.00042	ETD	(b)
2455743.48511	0.00061	ETD	(b)
2455802.74570	0.00046	ETD	(b)
2456114.74415	0.00046	Baluev ve ark. (2015)	
2456130.43099	0.00038	Baluev ve ark. (2015)	
2456137.40384	0.00060	Baluev ve ark. (2015)	
2456212.35259	0.00154	Baluev ve ark. (2015)	
2456480.77115	0.00057	ETD	(b)
2456482.51705	0.00162	ETD	(b)
2456489.48701	0.00086	Baluev ve ark. (2015)	
2456515.63267	0.00072	Baluev ve ark. (2015)	
2456517.37690	0.00074	ETD	(b)
2456555.72097	0.00066	Baluev ve ark. (2015)	
2456839.82929	0.00085	Baluev ve ark. (2015)	
2456846.80238	0.00045	Baluev ve ark. (2015)	
2456862.48700	0.00082	ETD	(b)
2456869.46242	0.00079	ETD	(b)
2456874.69212	0.00045	ETD	(b)
2457214.56975	0.00038	ETD	(b)
2457263.37715	0.00031	ETD	(b)
2457540.51321	0.00067	ETD	(b)
2457547.48414	0.00053	ETD	(b)
2457554.45901	0.00048	ETD	(b)
2457568.39970	0.00081	ETD	(b)
2457608.49301	0.00048	ETD	(b)
2457615.46362	0.00025	ETD	(b)
2457622.43674	0.00043	ETD	(b)
2457629.40736	0.00027	ETD	(b)

2457643.35280	0.00030	Bu çalışma	
2457911.77380	0.00050	ETD	(b)
2457920.48871	0.00036	ETD	(b)
2457927.45960	0.00040	Bu çalışma	
2457941.40510	0.00080	Bu çalışma	
2457955.34770	0.00040	Bu çalışma	
2457965.80815	0.00047	ETD	(b)
2457988.46503	0.00035	ETD	(b)
2457995.43715	0.00043	ETD	(b)
2458009.37920	0.00050	Bu çalışma	
2458030.30080	0.00070	Bu çalışma	
2458300.46111	0.00089	ETD	(b)
2458307.43347	0.00065	ETD	(b)
2458389.35659	0.00095	ETD	(b)
2458396.32650	0.00059	ETD	(b)

(a) CoRoT gözlemlerinden hesaplanmıştır. (b) ETD de verilen gözlemlerden hesaplanmıştır.

EK 8. HAT-P-12b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları.

Geçiş ortası zamanı (BJD)	Hata	Referans	Not
2454216.77265	0.00014	Lee ve ark. (2012)	(a)
2454419.19556	0.00020	Hartman ve ark. (2009)	
2454869.02397	0.00017	Lee ve ark. (2012)	(a)
2454897.94225	0.00024	Lee ve ark. (2012)	(a)
2454952.56352	0.00085	ETD	(b)
2454965.41552	0.00053	ETD	(b)
2454984.69428	0.00072	ETD	(b)
2455026.46438	0.00154	ETD	(b)
2455241.73895	0.00097	ETD	(b)
2455273.86977	0.00096	ETD	(b)
2455296.36095	0.00098	ETD	(b)
2455312.42589	0.00038	ETD	(b)
2455328.49039	0.00028	Mancini ve ark. (2018)	(c), (d)
2455347.76929	0.00021	Sada ve ark. (2012)	
2455392.75242	0.00151	ETD	(b)
2455601.59990	0.00082	ETD	(b)
2455630.51929	0.00011	Mallon ve ark. (2015)	
2455643.37301	0.00107	ETD	(b)
2455646.58421	0.00062	ETD	(b)
2455649.79769	0.00020	Lee ve ark. (2012)	
2455659.43649	0.00044	Mallon ve ark. (2015)	
2455665.86234	0.00031	Lee ve ark. (2012)	
2455675.50436	0.00047	Mallon ve ark. (2015)	
2455678.71462	0.00047	Sada ve ark. (2016)	
2455691.56661	0.00022	Mallon ve ark. (2015)	
2455694.78089	0.00024	Lee ve ark. (2012)	
2455704.42059	0.00042	ETD	(b)
2455707.63244	0.00027	Mallon ve ark. (2015)	
2455720.48443	0.00015	Mallon ve ark. (2015)	
2455736.54999	0.00030	Mallon ve ark. (2015)	

2455961.46362	0.00112	ETD	(b)
2455964.67787	0.00059	Mallon ve ark. (2015)	
2455967.88982	0.00075	ETD	(b)
2456006.44779	0.00012	Mallon ve ark. (2015)	
2456025.72418	0.00062	ETD	(b)
2456041.79018	0.00037	Sada ve ark. (2016)	
2456051.42937	0.00048	Mallon ve ark. (2015)	
2456054.64202	0.00060	Mallon ve ark. (2015)	
2456067.49471	0.00091	ETD	(b)
2456070.70792	0.00035	Sada ve ark. (2016)	
2456083.55936	0.00065	Mallon ve ark. (2015)	
2456086.77329	0.00051	Sada ve ark. (2016)	
2456388.80083	0.00062	Mallon ve ark. (2015)	(e)
2456417.71826	0.00055	ETD	(b)
2456459.48798	0.00032	Mancini ve ark. (2018)	(c)
2456462.70081	0.00050	Sada ve ark. (2016)	
2456661.91029	0.00052	ETD	(b)
2456700.46751	0.00085	ETD	(b)
2456716.53165	0.00033	Mallon ve ark. (2015)	
2456729.38523	0.00058	ETD	(b)
2456732.59766	0.00015	Mancini ve ark. (2018) & Mallon ve ark. (2015)	(f)
2456745.45092	0.00058	ETD	(b)
2456761.51602	0.00018	Mancini ve ark. (2018)	(c)
2456793.64833	0.00092	Mallon ve ark. (2015)	
2456806.49729	0.00034	Mallon ve ark. (2015)	(g)
2456809.71238	0.00045	Sada ve ark. (2016)	
2456835.41752	0.00105	ETD	(b)
2456851.48323	0.00131	ETD	(b)
2457063.54395	0.00057	ETD	(b)
2457124.59162	0.00052	ETD	(b)
2457198.49088	0.00033	Mancini ve ark. (2018)	(c)
2457227.41051	0.00078	ETD	(b)
2457484.45412	0.00072	ETD	(b)

2457513.37092	0.00055	ETD	(b)
2457516.58394	0.00031	Alexoudi ve ark. (2018)	
2457529.43688	0.00026	ETD	(b)
2457574.41894	0.00021	Mancini ve ark. (2018)	(c)
2457786.48161	0.00022	Bu çalışma	
2457802.54513	0.00046	Bu çalışma	
2457831.46346	0.00035	Bu çalışma & Alexoudi ve ark. (2018)	(h)
2457834.67573	0.00042	Alexoudi ve ark. (2018)	
2457847.52940	0.00027	Bu çalışma & ETD	(i)
2457850.74355	0.00172	ETD	(b)
2457860.38101	0.00039	Bu çalışma & ETD	(i)
2457876.44606	0.00032	Bu çalışma & Alexoudi ve ark. (2018)	(h)
2457879.66160	0.00036	Alexoudi ve ark. (2018)	
2457892.51191	0.00016	Alexoudi ve ark. (2018)	
2457908.57706	0.00040	Alexoudi ve ark. (2018)	
2457940.70759	0.00036	Alexoudi ve ark. (2018)	
2458165.62216	0.00056	ETD	(b)
2458204.17800	0.00035	ETD	(b)
2458223.45826	0.00043	ETD	(b)

(a) Lee ve ark. (2012)'nın, Hartman ve ark. (2009) gözlem verilerini kullanarak hesapladıkları geçiş ortası zamanı. (b) Bu çalışmada, ETD gözlem verilerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları. (c) Mancini ve ark. (2018) tarafından hesaplanan geçiş ortası zamanları. (d) Mancini ve ark. (2018) tarafından gözlenen 4 tane geçiş ortası zamanın ağırlıklı ortalaması. (e) Mallonn ve ark. (2015) tarafından gözlenen iki geçiş ortası zamanının ağırlıklı ortalaması. (f) Birinin Mancini ve ark. (2018) tarafından verildiği diğer beşinin Mallonn ve ark. (2015) tarafından verildiği 6 tane geçiş ortası zamanın ağırlıklı ortalaması (g) Mallonn ve ark. (2015) tarafından gözlenen 2 geçiş ortası zamanının ağırlıklı ortalaması. (h) Birinin bu çalışmada verildiği diğerinin Alexoudi ve ark. (2018) tarafından verildiği 2 geçiş ortası zamanının ağırlıklı ortalaması. (i) Birinin bu çalışmada verildiği diğerinin ETD tarafından verildiği 2 geçiş ortası zamanının ağırlıklı ortalaması.

EK 9. TrES-2b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları.

Geçiş ortası zamanı	Hata	Referans	Not
(BJD)			
2453967.51875	0.00043	Rabus ve ark. (2009)	
2453989.75359	0.00023	Holman ve ark. (2007)	
2453994.69473	0.00028	Holman ve ark. (2007)	
2454041.63675	0.00018	Holman ve ark. (2007)	
2454070.04880	0.00086	O'Donovan ve ark. (2010)	
2454172.57798	0.00359	Raetz ve ark. (2014)	
2454271.40160	0.00201	ETD	(a)
2454298.57707	0.00306	Raetz ve ark. (2014)	
2454303.52165	0.00030	Rabus ve ark. (2009)	
2454308.46205	0.00045	Rabus ve ark. (2009)	
2454313.40170	0.00152	ETD	(a)
2454324.52275	0.00260	O'Donovan ve ark. (2010)	
2454330.70170	0.00100	ETD	(a)
2454340.58420	0.00100	ETD	(a)
2454345.52055	0.00178	ETD	(a)
2454355.40335	0.00103	ETD	(a)
2454360.34464	0.00476	Raetz ve ark. (2014)	(b)
2454365.28565	0.00384	Raetz ve ark. (2014)	
2454377.63885	0.00070	ETD	(a)
2454387.52250	0.00233	Raetz ve ark. (2014)	
2454523.40850	0.00175	ETD	(a)
2454555.52451	0.00092	ETD	(a)
2454597.52325	0.00100	ETD	(a)
2454619.76052	0.00097	ETD	(a)
2454634.58355	0.00030	Rabus ve ark. (2009)	
2454639.52395	0.00031	Rabus ve ark. (2009)	
2454644.46639	0.00251	Raetz ve ark. (2014)	
2454646.93735	0.00032	Christiansen ve ark. (2011)	
2454651.87699	0.00084	ETD	(a)
2454656.81879	0.00034	Christiansen ve ark. (2011)	
2454659.28871	0.00042	Christiansen ve ark. (2011)	

2454661.76005	0.00044	Christiansen ve ark. (2011)	
2454664.23072	0.00050	Christiansen ve ark. (2011)	
2454669.17156	0.00028	Christiansen ve ark. (2011)	
2454671.64117	0.00028	Christiansen ve ark. (2011)	
2454674.11318	0.00033	Christiansen ve ark. (2011)	
2454676.58257	0.00051	Christiansen ve ark. (2011)	
2454681.52390	0.00126	ETD	(a)
2454696.34874	0.00198	ETD	(a)
2454708.70094	0.00214	ETD	(a)
2454728.46631	0.00074	Mislis & Schmitt (2009)	
2454738.34965	0.00090	ETD	(a)
2454750.70180	0.00114	ETD	(a)
2454780.34880	0.00096	ETD	(a)
2454923.64468	0.00072	ETD	(a)
2454928.58750	0.00094	ETD	(a)
2454933.52740	0.00076	Mislis ve ark. (2010)	
2454943.41077	0.00278	Raetz ve ark. (2014)	
2454955.76327	0.00006	Kepler	(c)
2454958.23396	0.00006	Kepler	(c)
2454960.70452	0.00007	Kepler	(c)
2454963.17515	0.00006	Kepler	(c)
2454965.64571	0.00006	Kepler	(c)
2454968.11638	0.00006	Kepler	(c)
2454970.58697	0.00006	Kepler	(c)
2454973.05760	0.00008	Kepler	(c)
2454975.52824	0.00007	Kepler	(c)
2454977.99882	0.00006	Kepler	(c)
2454980.46723	0.00077	Mislis ve ark. (2010) & Kepler	(d) , (c)
2454982.93998	0.00006	Kepler	(c)
2454985.41067	0.00006	Kepler	(c)
2454987.88126	0.00006	Kepler	(c)
2454990.35188	0.00007	Kepler	(c)

2454992.82256	0.00006	Kepler	(c)
2454995.29310	0.00008	Kepler	(c)
2454997.76350	0.00052	Scuderi ve ark. (2010) & Kepler	(e) , (c)
2455002.70320	0.00109	ETD	(a)
2455005.17543	0.00006	Kepler	(c)
2455007.64607	0.00012	Colón ve ark. (2010) & Kepler	(f) , (c)
2455010.11688	0.00007	Kepler	(c)
2455012.58728	0.00006	Kepler	(c)
2455017.52859	0.00007	Kepler	(c)
2455019.99929	0.00007	Kepler	(c)
2455022.46998	0.00006	Kepler	(c)
2455024.94053	0.00006	Kepler	(c)
2455027.41113	0.00006	Kepler	(c)
2455029.88178	0.00006	Kepler	(c)
2455032.35224	0.00006	Kepler	(c)
2455034.82283	0.00006	Kepler	(c)
2455037.29355	0.00006	Kepler	(c)
2455039.76417	0.00006	Kepler	(c)
2455042.23478	0.00007	Kepler	(c)
2455044.70550	0.00006	Kepler	(c)
2455047.17599	0.00007	Kepler	(c)
2455049.64658	0.00007	Kepler	(c)
2455052.11723	0.00006	Kepler	(c)
2455054.58779	0.00006	Kepler	(c)
2455057.05842	0.00008	Kepler	(c)
2455059.52921	0.00006	Kepler	(c)
2455061.99972	0.00006	Kepler	(c)
2455064.47031	0.00006	Kepler	(c)
2455066.94093	0.00006	Kepler	(c)
2455069.41149	0.00006	Kepler	(c)
2455071.88213	0.00006	Kepler	(c)

2455074.35279	0.00006	Kepler	(c)
2455076.82337	0.00006	Kepler	(c)
2455079.29400	0.00006	Kepler	(c)
2455081.76453	0.00006	Kepler	(c)
2455084.23525	0.00006	Kepler	(c)
2455086.70580	0.00006	Kepler	(c)
2455094.11758	0.00006	Kepler	(c)
2455096.58831	0.00006	Kepler	(c)
2455099.05879	0.00006	Kepler	(c)
2455101.52943	0.00006	Kepler	(c)
2455104.00003	0.00007	Kepler	(c)
2455106.47073	0.00006	Kepler	(c)
2455108.94133	0.00006	Kepler	(c)
2455111.41192	0.00007	Kepler	(c)
2455116.35311	0.00006	Kepler	(c)
2455118.82388	0.00006	Kepler	(c)
2455121.29437	0.00007	Kepler	(c)
2455126.23559	0.00007	Kepler	(c)
2455128.70624	0.00006	Kepler	(c)
2455131.17691	0.00006	Kepler	(c)
2455133.64745	0.00006	Kepler	(c)
2455136.11813	0.00007	Kepler	(c)
2455138.58870	0.00006	Kepler	(c)
2455141.05930	0.00006	Kepler	(c)
2455143.52993	0.00007	Kepler	(c)
2455146.00069	0.00007	Kepler	(c)
2455148.47116	0.00006	Kepler	(c)
2455150.94173	0.00006	Kepler	(c)
2455153.41234	0.00006	Kepler	(c)
2455158.35366	0.00006	Kepler	(c)
2455160.82414	0.00006	Kepler	(c)
2455163.29473	0.00009	Kepler	(c)
2455165.76549	0.00006	Kepler	(c)

2455168.23603	0.00006	Kepler	(c)
2455170.70666	0.00006	Kepler	(c)
2455173.17723	0.00006	Kepler	(c)
2455175.64787	0.00009	Kepler	(c)
2455178.11850	0.00006	Kepler	(c)
2455180.58925	0.00005	Kepler	(c)
2455185.53037	0.00006	Kepler	(c)
2455188.00101	0.00006	Kepler	(c)
2455190.47158	0.00007	Kepler	(c)
2455192.94225	0.00006	Kepler	(c)
2455195.41279	0.00005	Kepler	(c)
2455197.88349	0.00006	Kepler	(c)
2455200.35400	0.00007	Kepler	(c)
2455202.82464	0.00006	Kepler	(c)
2455205.29531	0.00007	Kepler	(c)
2455276.94306	0.00006	Kepler	(c)
2455279.41366	0.00006	Kepler	(c)
2455281.88427	0.00006	Kepler	(c)
2455284.35488	0.00008	Kepler	(c)
2455286.82548	0.00009	Kepler	(c)
2455289.29614	0.00006	Kepler	(c)
2455291.76673	0.00006	Kepler	(c)
2455294.23732	0.00007	Kepler	(c)
2455296.70804	0.00006	Kepler	(c)
2455299.17855	0.00007	Kepler	(c)
2455301.64912	0.00005	Kepler	(c)
2455304.11976	0.00006	Kepler	(c)
2455306.59041	0.00006	Kepler	(c)
2455311.53163	0.00007	Kepler	(c)
2455314.00223	0.00006	Kepler	(c)
2455316.47294	0.00007	Kepler	(c)
2455318.94339	0.00006	Kepler	(c)
2455321.41411	0.00006	Kepler	(c)

2455323.88471	0.00007	Kepler	(c)
2455326.35548	0.00010	Kepler	(c)
2455328.82587	0.00007	Kepler	(c)
2455331.29650	0.00006	Kepler	(c)
2455333.76719	0.00007	Kepler	(c)
2455336.23769	0.00006	Kepler	(c)
2455338.70848	0.00006	Kepler	(c)
2455341.17900	0.00007	Kepler	(c)
2455343.64963	0.00006	Kepler	(c)
2455346.12004	0.00006	Kepler	(c)
2455348.59079	0.00007	Kepler	(c)
2455351.06142	0.00006	Kepler	(c)
2455353.53206	0.00006	Kepler	(c)
2455356.00257	0.00007	Kepler	(c)
2455358.47324	0.00007	Kepler	(c)
2455360.94385	0.00006	Kepler	(c)
2455363.41453	0.00006	Kepler	(c)
2455365.88512	0.00006	Kepler	(c)
2455368.35565	0.00007	Kepler	(c)
2455370.82645	0.00019	Kepler	(c)
2455373.29703	0.00006	Kepler	(c)
2455375.76765	0.00006	Kepler	(c)
2455378.23809	0.00007	Kepler	(c)
2455380.70880	0.00007	Kepler	(c)
2455383.17940	0.00006	Kepler	(c)
2455385.65002	0.00007	Kepler	(c)
2455388.12064	0.00006	Kepler	(c)
2455390.59117	0.00006	Kepler	(c)
2455393.06180	0.00006	Kepler	(c)
2455395.53251	0.00006	Kepler	(c)
2455398.00287	0.00013	Kepler	(c)
2455400.47366	0.00007	Kepler	(c)
2455402.94431	0.00006	Kepler	(c)

2455405.41489	0.00006	Kepler	(c)
2455407.88560	0.00006	Kepler	(c)
2455410.35625	0.00006	Kepler	(c)
2455412.82669	0.00005	Kepler	(c)
2455415.29733	0.00006	Kepler	(c)
2455417.76795	0.00006	Kepler	(c)
2455420.23862	0.00006	Kepler	(c)
2455422.70926	0.00006	Kepler	(c)
2455425.17986	0.00006	Kepler	(c)
2455427.65033	0.00006	Kepler	(c)
2455430.12099	0.00005	Kepler	(c)
2455432.59169	0.00006	Kepler	(c)
2455435.06222	0.00007	Kepler	(c)
2455437.53278	0.00007	Kepler	(c)
2455440.00348	0.00006	Kepler	(c)
2455442.47411	0.00006	Kepler	(c)
2455444.94473	0.00006	Kepler	(c)
2455447.41537	0.00007	Kepler	(c)
2455449.88596	0.00006	Kepler	(c)
2455452.35662	0.00006	Kepler	(c)
2455454.82711	0.00006	Kepler	(c)
2455457.29782	0.00006	Kepler	(c)
2455459.76839	0.00006	Kepler	(c)
2455462.23908	0.00007	Kepler	(c)
2455464.70959	0.00007	Kepler	(c)
2455467.18034	0.00006	Kepler	(c)
2455469.65089	0.00006	Kepler	(c)
2455472.12150	0.00006	Kepler	(c)
2455474.59210	0.00008	Kepler	(c)
2455477.06273	0.00006	Kepler	(c)
2455479.53333	0.00006	Kepler	(c)
2455482.00393	0.00007	Kepler	(c)
2455484.47453	0.00007	Kepler	(c)

2455486.94515	0.00006	Kepler	(c)
2455489.41589	0.00007	Kepler	(c)
2455491.88639	0.00007	Kepler	(c)
2455494.35700	0.00006	Kepler	(c)
2455496.82765	0.00006	Kepler	(c)
2455499.29826	0.00007	Kepler	(c)
2455501.76887	0.00006	Kepler	(c)
2455504.23948	0.00007	Kepler	(c)
2455506.71010	0.00007	Kepler	(c)
2455509.18069	0.00006	Kepler	(c)
2455511.65129	0.00007	Kepler	(c)
2455514.12184	0.00007	Kepler	(c)
2455516.59252	0.00007	Kepler	(c)
2455519.06319	0.00006	Kepler	(c)
2455521.53383	0.00006	Kepler	(c)
2455526.47488	0.00008	Kepler	(c)
2455528.94568	0.00006	Kepler	(c)
2455531.41622	0.00006	Kepler	(c)
2455533.88687	0.00006	Kepler	(c)
2455536.35751	0.00006	Kepler	(c)
2455538.82814	0.00006	Kepler	(c)
2455541.29876	0.00006	Kepler	(c)
2455543.76927	0.00006	Kepler	(c)
2455546.23987	0.00006	Kepler	(c)
2455548.71054	0.00006	Kepler	(c)
2455551.18114	0.00007	Kepler	(c)
2455642.59374	0.00006	Kepler	(c)
2455645.06429	0.00006	Kepler	(c)
2455647.53510	0.00007	Kepler	(c)
2455650.00567	0.00006	Kepler	(c)
2455652.47636	0.00007	Kepler	(c)
2455654.94684	0.00006	Kepler	(c)
2455657.41765	0.00007	Kepler	(c)

2455659.88815	0.00006	Kepler	(c)
2455662.35871	0.00006	Kepler	(c)
2455664.82934	0.00006	Kepler	(c)
2455667.30001	0.00006	Kepler	(c)
2455669.77061	0.00006	Kepler	(c)
2455672.24121	0.00006	Kepler	(c)
2455674.71176	0.00006	Kepler	(c)
2455677.18238	0.00006	Kepler	(c)
2455679.65305	0.00007	Kepler	(c)
2455682.12369	0.00006	Kepler	(c)
2455684.59423	0.00007	Kepler	(c)
2455687.06487	0.00006	Kepler	(c)
2455689.53554	0.00006	Kepler	(c)
2455692.00611	0.00006	Kepler	(c)
2455694.47668	0.00007	Kepler	(c)
2455696.94734	0.00007	Kepler	(c)
2455699.41792	0.00006	Kepler	(c)
2455701.88845	0.00006	Kepler	(c)
2455704.35917	0.00006	Kepler	(c)
2455706.82977	0.00006	Kepler	(c)
2455709.30046	0.00009	Kepler	(c)
2455711.77099	0.00006	Kepler	(c)
2455714.24167	0.00006	Kepler	(c)
2455716.71225	0.00006	Kepler	(c)
2455719.18287	0.00008	Kepler	(c)
2455721.65348	0.00006	Kepler	(c)
2455724.12417	0.00006	Kepler	(c)
2455726.59473	0.00007	Kepler	(c)
2455729.06522	0.00007	Kepler	(c)
2455731.53597	0.00006	Kepler	(c)
2455734.00652	0.00007	Kepler	(c)
2455736.47716	0.00007	Kepler	(c)
2455741.41842	0.00011	Kepler	(c)

2455743.88899	0.00007	Kepler	(c)
2455746.35960	0.00006	Kepler	(c)
2455748.83003	0.00006	Kepler	(c)
2455751.30085	0.00006	Kepler	(c)
2455753.77141	0.00006	Kepler	(c)
2455756.24204	0.00006	Kepler	(c)
2455758.71266	0.00006	Kepler	(c)
2455761.18334	0.00006	Kepler	(c)
2455763.65402	0.00006	Kepler	(c)
2455766.12459	0.00006	Kepler	(c)
2455768.59506	0.00006	Kepler	(c)
2455771.06573	0.00006	Kepler	(c)
2455773.53633	0.00007	Kepler	(c)
2455776.00694	0.00006	Kepler	(c)
2455778.47754	0.00007	Kepler	(c)
2455780.94821	0.00007	Kepler	(c)
2455783.41889	0.00007	Kepler	(c)
2455785.88940	0.00006	Kepler	(c)
2455788.36002	0.00007	Kepler	(c)
2455790.83072	0.00008	Kepler	(c)
2455793.30124	0.00006	Kepler	(c)
2455795.77186	0.00006	Kepler	(c)
2455798.24244	0.00006	Kepler	(c)
2455800.71306	0.00006	Kepler	(c)
2455803.18368	0.00008	Kepler	(c)
2455805.65433	0.00006	Kepler	(c)
2455808.12491	0.00006	Kepler	(c)
2455810.59554	0.00006	Kepler	(c)
2455813.06612	0.00006	Kepler	(c)
2455815.53685	0.00006	Kepler	(c)
2455818.00733	0.00006	Kepler	(c)
2455820.47798	0.00006	Kepler	(c)
2455822.94858	0.00006	Kepler	(c)

2455825.41915	0.00006	Kepler	(c)
2455827.88975	0.00006	Kepler	(c)
2455830.36037	0.00006	Kepler	(c)
2455832.83111	0.00007	Kepler	(c)
2455835.30163	0.00006	Kepler	(c)
2455837.77231	0.00007	Kepler	(c)
2455840.24280	0.00006	Kepler	(c)
2455842.71361	0.00007	Kepler	(c)
2455845.18412	0.00007	Kepler	(c)
2455847.65475	0.00006	Kepler	(c)
2455850.12534	0.00007	Kepler	(c)
2455852.59600	0.00006	Kepler	(c)
2455855.06651	0.00007	Kepler	(c)
2455857.53723	0.00006	Kepler	(c)
2455860.00777	0.00006	Kepler	(c)
2455862.47847	0.00006	Kepler	(c)
2455864.94895	0.00006	Kepler	(c)
2455867.41964	0.00007	Kepler	(c)
2455869.89017	0.00007	Kepler	(c)
2455872.36089	0.00007	Kepler	(c)
2455874.83147	0.00006	Kepler	(c)
2455877.30205	0.00006	Kepler	(c)
2455879.77271	0.00006	Kepler	(c)
2455882.24335	0.00006	Kepler	(c)
2455884.71395	0.00006	Kepler	(c)
2455887.18458	0.00007	Kepler	(c)
2455889.65516	0.00007	Kepler	(c)
2455892.12573	0.00008	Kepler	(c)
2455894.59653	0.00016	Kepler	(c)
2455899.53756	0.00006	Kepler	(c)
2455902.00821	0.00007	Kepler	(c)
2455906.94944	0.00006	Kepler	(c)
2455909.42003	0.00006	Kepler	(c)

2455911.89071	0.00007	Kepler	(c)
2455914.36127	0.00006	Kepler	(c)
2455916.83187	0.00006	Kepler	(c)
2455919.30250	0.00006	Kepler	(c)
2455921.77303	0.00007	Kepler	(c)
2455924.24370	0.00006	Kepler	(c)
2455926.71435	0.00008	Kepler	(c)
2455929.18500	0.00006	Kepler	(c)
2456000.83221	0.00096	ETD	(a)
2456015.65698	0.00095	ETD	(a)
2456018.12719	0.00010	Kepler	(c)
2456020.59769	0.00006	Kepler	(c)
2456023.06825	0.00007	Kepler	(c)
2456025.53905	0.00020	Kepler	(c)
2456028.00947	0.00009	Kepler	(c)
2456030.48008	0.00007	Kepler	(c)
2456032.95075	0.00020	Kepler	(c)
2456035.42134	0.00007	Kepler	(c)
2456037.89203	0.00008	Kepler	(c)
2456040.36264	0.00006	Kepler	(c)
2456042.83318	0.00006	Kepler	(c)
2456045.30384	0.00010	Kepler	(c)
2456047.77438	0.00006	Kepler	(c)
2456050.24509	0.00009	Kepler	(c)
2456052.71563	0.00006	Kepler	(c)
2456055.18633	0.00007	Kepler	(c)
2456057.65693	0.00006	Kepler	(c)
2456060.12754	0.00018	Kepler	(c)
2456062.59797	0.00028	Kepler	(c)
2456065.06882	0.00008	Kepler	(c)
2456067.53935	0.00009	Kepler	(c)
2456070.00985	0.00006	Kepler	(c)
2456072.48053	0.00006	Kepler	(c)

2456074.95110	0.00015	Kepler	(c)
2456077.42188	0.00006	Kepler	(c)
2456079.89232	0.00006	Kepler	(c)
2456082.36306	0.00020	Kepler	(c)
2456084.83360	0.00006	Kepler	(c)
2456087.30427	0.00006	Kepler	(c)
2456089.77476	0.00006	Kepler	(c)
2456092.24548	0.00007	Kepler	(c)
2456094.71598	0.00006	Kepler	(c)
2456097.18667	0.00006	Kepler	(c)
2456099.65726	0.00032	Kepler	(c)
2456104.59854	0.00007	Kepler	(c)
2456109.53968	0.00015	Kepler	(c)
2456112.01035	0.00010	Kepler	(c)
2456114.48100	0.00007	Kepler	(c)
2456116.95157	0.00012	Kepler	(c)
2456119.42232	0.00011	Kepler	(c)
2456121.89282	0.00007	Kepler	(c)
2456131.77523	0.00006	Kepler	(c)
2456134.24600	0.00007	Kepler	(c)
2456136.71648	0.00007	Kepler	(c)
2456139.18709	0.00009	Kepler	(c)
2456141.65784	0.00006	Kepler	(c)
2456144.12837	0.00007	Kepler	(c)
2456146.59892	0.00007	Kepler	(c)
2456149.06960	0.00006	Kepler	(c)
2456151.54011	0.00006	Kepler	(c)
2456154.01073	0.00006	Kepler	(c)
2456156.48148	0.00006	Kepler	(c)
2456158.95187	0.00008	Kepler	(c)
2456161.42261	0.00007	Kepler	(c)
2456163.89321	0.00006	Kepler	(c)
2456166.36379	0.00006	Kepler	(c)

2456168.83451	0.00006	Kepler	(c)
2456171.30511	0.00006	Kepler	(c)
2456173.77563	0.00006	Kepler	(c)
2456176.24633	0.00006	Kepler	(c)
2456178.71693	0.00006	Kepler	(c)
2456181.18757	0.00007	Kepler	(c)
2456183.65811	0.00011	Kepler	(c)
2456186.12875	0.00007	Kepler	(c)
2456188.59950	0.00006	Kepler	(c)
2456191.07001	0.00007	Kepler	(c)
2456193.54058	0.00006	Kepler	(c)
2456196.01119	0.00007	Kepler	(c)
2456198.48173	0.00006	Kepler	(c)
2456200.95237	0.00006	Kepler	(c)
2456203.42301	0.00006	Kepler	(c)
2456208.36426	0.00006	Kepler	(c)
2456210.83494	0.00008	Kepler	(c)
2456213.30540	0.00015	Kepler	(c)
2456215.77601	0.00007	Kepler	(c)
2456218.24681	0.00006	Kepler	(c)
2456220.71731	0.00006	Kepler	(c)
2456223.18801	0.00006	Kepler	(c)
2456225.65876	0.00009	Kepler	(c)
2456228.12916	0.00019	Kepler	(c)
2456230.59977	0.00013	Kepler	(c)
2456233.07041	0.00007	Kepler	(c)
2456235.54103	0.00006	Kepler	(c)
2456240.48225	0.00006	Kepler	(c)
2456242.95288	0.00012	Kepler	(c)
2456245.42348	0.00009	Kepler	(c)
2456252.83530	0.00007	Kepler	(c)
2456255.30607	0.00007	Kepler	(c)
2456257.77653	0.00007	Kepler	(c)

2456260.24714	0.00007	Kepler	(c)
2456262.71773	0.00007	Kepler	(c)
2456265.18844	0.00007	Kepler	(c)
2456267.65894	0.00006	Kepler	(c)
2456270.12957	0.00008	Kepler	(c)
2456272.60003	0.00006	Kepler	(c)
2456275.07087	0.00007	Kepler	(c)
2456277.54154	0.00006	Kepler	(c)
2456280.01202	0.00007	Kepler	(c)
2456282.48276	0.00008	Kepler	(c)
2456284.95331	0.00007	Kepler	(c)
2456287.42392	0.00007	Kepler	(c)
2456289.89452	0.00006	Kepler	(c)
2456292.36512	0.00006	Kepler	(c)
2456294.83572	0.00007	Kepler	(c)
2456297.30644	0.00007	Kepler	(c)
2456299.77696	0.00006	Kepler	(c)
2456302.24760	0.00006	Kepler	(c)
2456356.59994	0.00070	Raetz ve ark. (2014)	
2456393.66022	0.00007	Kepler	(c)
2456396.13085	0.00007	Kepler	(c)
2456398.60154	0.00007	Kepler	(c)
2456401.07211	0.00007	Kepler	(c)
2456403.54274	0.00007	Kepler	(c)
2456406.01339	0.00006	Kepler	(c)
2456408.48404	0.00007	Kepler	(c)
2456410.95454	0.00006	Kepler	(c)
2456413.42524	0.00006	Kepler	(c)
2456420.83707	0.00014	Kepler	(c)
2456423.30759	0.00007	Kepler	(c)
2456450.48429	0.00073	ETD	(a)
2456487.54355	0.00071	ETD	(a)
2456492.48692	0.00104	ETD	(a)

2456497.42712	0.00092	ETD	(a)
2456502.36788	0.00184	ETD	(a)
2456509.78001	0.00075	ETD	(a)
2456519.66120	0.00075	ETD	(a)
2456539.42592	0.00078	ETD	(a)
2456544.36780	0.00098	ETD	(a)
2456551.77897	0.00075	ETD	(a)
2456556.72195	0.00087	ETD	(a)
2456566.60400	0.00099	ETD	(a)
2456581.42740	0.00091	ETD	(a)
2456591.30976	0.00107	ETD	(a)
2456598.72102	0.00095	ETD	(a)
2456608.60410	0.00100	ETD	(a)
2456613.54467	0.00087	ETD	(a)
2456734.60442	0.00098	ETD	(a)
2456781.54652	0.00050	ETD	(a)
2456786.48831	0.00092	ETD	(a)
2456833.42908	0.00070	ETD	(a)
2456840.84061	0.00076	ETD	(a)
2456850.72500	0.00072	ETD	(a)
2456865.54680	0.00131	ETD	(a)
2456870.48852	0.00071	ETD	(a)
2456875.42981	0.00096	ETD	(a)
2456922.37225	0.00055	ETD	(a)
2456932.25391	0.00087	ETD	(a)
2456939.66602	0.00098	ETD	(a)
2456959.43080	0.00085	ETD	(a)
2456969.30940	0.00092	ETD	(a)
2456986.60652	0.00241	ETD	(a)
2457011.31199	0.00101	ETD	(a)
2457016.25726	0.00078	ETD	(a)
2457070.60856	0.00061	ETD	(a)
2457129.90358	0.00075	ETD	(a)

2457159.55300	0.00091	ETD	(a)
2457174.37419	0.00065	ETD	(a)
2457179.31528	0.00136	ETD	(a)
2457201.55201	0.00085	ETD	(a)
2457211.43386	0.00098	ETD	(a)
2457216.37461	0.00112	ETD	(a)
2457228.72759	0.00087	ETD	(a)
2457248.49411	0.00109	ETD	(a)
2457253.43320	0.00082	ETD	(a)
2457258.37580	0.00060	ETD	(a)
2457263.31631	0.00072	ETD	(a)
2457295.43452	0.00105	ETD	(a)
2457463.43625	0.00103	ETD	(a)
2457547.43700	0.00129	ETD	(a)
2457552.37900	0.00020	Bu çalışma	
2457579.55535	0.00085	ETD	(a)
2457584.49613	0.00087	ETD	(a)
2457589.43814	0.00069	ETD	(a)
2457626.49655	0.00061	ETD	(a)
2457631.43750	0.00030	Bu çalışma	
2457683.32105	0.00041	ETD	(a)
2457700.61516	0.00085	ETD	(a)
2457836.49960	0.00040	Bu çalışma	
2457873.55842	0.00061	ETD	(a)
2457878.49800	0.00040	Bu çalışma	
2457927.91220	0.00095	ETD	(a)
2457962.50039	0.00031	ETD	(a)
2458009.43910	0.00070	Bu çalışma	
2458214.50372	0.00115	ETD	(a)
2458236.73895	0.00099	ETD	(a)
2458256.50194	0.00045	ETD	(a)
2458286.14910	0.00100	ETD	(a)
2458293.56005	0.00096	ETD	(a)

2458298.50452	0.00082	ETD	(a)
2458318.26669	0.00047	ETD	(a)
2458345.44510	0.00082	ETD	(a)
2458382.50450	0.00091	ETD	(a)
2458387.44566	0.00043	ETD	(a)
2458392.38701	0.00075	ETD	(a)
2458407.21086	0.00098	ETD	(a)
2458409.68092	0.00092	ETD	(a)

(a) Bu çalışmada, ETD gözlem verilerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları. (b) Raetz ve ark. (2014) tarafından gözlenen 3 geçiş ortası zamanının ağırlıklı ortalaması. (c) Raetz ve ark. (2014) tarafından, Kepler gözlemlerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları. (d) Dördünün Mislis ve ark. (2010)'nın birinin Kepler gözlemleri tarafından gözlemlendiği 5 geçiş ortası zamanının ağırlıklı ortalaması. (e) Birinin Scuderi ve ark. (2010) diğerinin Kepler gözlemleri tarafından gözlemlendiği 2 geçiş ortası zamanının ağırlıklı ortalaması. (f) Birinin Colón ve ark. (2010) diğerinin Kepler gözlemleri tarafından gözlemlendiği 2 geçiş ortası zamanının ağırlıklı ortalaması.

EK 10. WASP-12b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları.

Geçiş ortası zamanı (BJD)	Hata	Referans	Not
2454508.97610	0.00100	Hebb ve ark. (2009)	
2454515.52496	0.00043	Hebb ve ark. (2009)	
2454769.28131	0.00080	Campo ve ark. (2011)	
2454773.64751	0.00060	Campo ve ark. (2011)	
2454836.40340	0.00028	Copperwheat ve ark. (2013)	
2454837.49611	0.00097	ETD	(a)
2454840.76860	0.00047	Chan ve ark. (2011)	
2454848.41071	0.00172	ETD	(a)
2454860.41738	0.00101	ETD	(a)
2454908.43803	0.00102	ETD	(a)
2454931.35824	0.00092	ETD	(a)
2455136.54461	0.00085	ETD	(a)
2455140.90982	0.00042	Collins ve ark. (2017)	
2455147.45861	0.00042	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455148.55140	0.00100	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455151.82299	0.00151	ETD	(a)
2455158.37340	0.00125	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455159.46377	0.00092	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455160.55549	0.00069	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455163.83061	0.00032	Collins ve ark. (2017)	
2455164.92321	0.00121	ETD	(a)
2455172.56182	0.00044	Chan ve ark. (2011)	
2455192.20540	0.00050	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455194.93381	0.00100	Croll ve ark. (2015)	
2455197.66421	0.00197	ETD	(a)
2455198.75661	0.00097	ETD	(a)
2455202.57566	0.00220	Föhring ve ark. (2013)	
2455209.66895	0.00046	Collins ve ark. (2017)	
2455210.76151	0.00041	Collins ve ark. (2017)	
2455215.12869	0.00081	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455219.49123	0.00115	ETD	(a)

2455230.40673	0.00011	Maciejewski ve ark. (2011)	
2455238.04586	0.00064	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455246.77691	0.00202	ETD	(a)
2455254.41887	0.00014	Maciejewski ve ark. (2011)	
2455257.69225	0.00152	ETD	(a)
2455265.33130	0.00155	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455486.89181	0.00187	ETD	(a)
2455494.53040	0.00055	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455498.89590	0.00079	Sada ve ark. (2012)	
2455506.53418	0.00087	ETD	(a)
2455509.80971	0.00037	Collins ve ark. (2017)	
2455510.90218	0.00031	Collins ve ark. (2017)	
2455517.99455	0.00118	Deming ve ark. (2015)	
2455518.54070	0.00040	Cowan ve ark. (2012)	
2455519.63211	0.00074	ETD	(a)
2455530.54705	0.00074	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455532.73004	0.00052	ETD	(a)
2455541.46112	0.00042	ETD	(a)
2455542.55250	0.00032	Cowan ve ark. (2012) & Maciejewski ve ark. (2013)	(b)
2455555.64972	0.00101	ETD	(a)
2455565.47180	0.00110	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455566.56333	0.00021	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455575.29703	0.00079	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455576.93141	0.00090	Croll ve ark. (2015)	
2455577.47710	0.00046	ETD	(a)
2455578.56837	0.00075	ETD	(a)
2455587.84671	0.00170	Croll ve ark. (2015)	
2455589.48296	0.00093	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455590.57597	0.00096	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455593.85085	0.00052	ETD	(a)
2455598.21556	0.00036	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455599.30498	0.00110	ETD	(a)
2455600.39764	0.00068	Maciejewski ve ark. (2013)	

2455601.48995	0.00068	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455603.67261	0.00029	Collins ve ark. (2017)	
2455611.31352	0.00125	ETD	(a)
2455612.40420	0.00165	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455623.31822	0.00072	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455624.41024	0.00105	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455647.32895	0.00153	ETD	(a)
2455842.69382	0.00111	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455857.97398	0.00082	ETD	(a)
2455863.42925	0.00192	ETD	(a)
2455867.79791	0.00081	ETD	(a)
2455873.25398	0.00097	ETD	(a)
2455876.52839	0.00029	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455877.61889	0.00087	ETD	(a)
2455887.44201	0.00058	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455888.53349	0.00048	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455889.62530	0.00090	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455890.71638	0.00023	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455899.44859	0.00057	ETD	(a)
2455900.53989	0.00047	ETD	(a)
2455901.63002	0.00081	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455903.81357	0.00032	Collins ve ark. (2017)	
2455904.90530	0.00100	ETD	(a)
2455905.99552	0.00126	ETD	(a)
2455909.27221	0.00142	ETD	(a)
2455910.90841	0.00130	Crossfield ve ark. (2012)	
2455912.54468	0.00061	ETD	(a)
2455913.63652	0.00082	ETD	(a)
2455914.72679	0.00061	ETD	(a)
2455920.18500	0.00046	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455922.36820	0.00113	ETD	(a)
2455923.45846	0.00100	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455926.73339	0.00091	Maciejewski ve ark. (2013)	

2455928.91401	0.00084	ETD	(a)
2455936.55710	0.00078	ETD	(a)
2455937.64557	0.00098	ETD	(a)
2455938.73892	0.00077	ETD	(a)
2455939.82860	0.00185	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455945.28657	0.00079	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455946.37854	0.00034	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455947.46973	0.00022	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455948.56075	0.00028	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455949.65158	0.00064	ETD	(a)
2455950.74260	0.00072	ETD	(a)
2455951.83534	0.00011	Stevenson ve ark. (2014)	
2455952.92720	0.00010	Stevenson ve ark. (2014)	
2455957.29440	0.00052	ETD	(a)
2455959.47548	0.00018	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455960.56687	0.00037	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455961.65901	0.00096	ETD	(a)
2455962.75010	0.00112	ETD	(a)
2455969.29681	0.00058	ETD	(a)
2455970.38980	0.00029	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455971.48128	0.00029	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455981.30398	0.00094	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455982.39522	0.00047	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455983.48682	0.00029	Maciejewski ve ark. (2013)	
2455984.57797	0.00032	Collins ve ark. (2017)	
2455985.66975	0.00042	Collins ve ark. (2017)	
2455993.30998	0.00065	ETD	(a)
2455994.39940	0.00059	ETD	(a)
2455996.58378	0.00037	Collins ve ark. (2017)	
2456003.13089	0.00042	ETD	(a)
2456005.31541	0.00038	Maciejewski ve ark. (2013)	
2456006.40642	0.00040	Maciejewski ve ark. (2013)	
2456222.50941	0.00089	ETD	(a)

2456245.42729	0.00033	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456246.51753	0.00064	ETD	(a)
2456249.79404	0.00039	Collins ve ark. (2017)	
2456271.62336	0.00057	ETD	(a)
2456273.80514	0.00030	Collins ve ark. (2017)	
2456282.53584	0.00030	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456284.71857	0.00030	Collins ve ark. (2017)	
2456296.72503	0.00057	ETD	(a)
2456297.81605	0.00030	Collins ve ark. (2017)	
2456302.18179	0.00046	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456304.36550	0.00052	ETD	(a)
2456305.45536	0.00025	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456319.64424	0.00038	Collins ve ark. (2017)	
2456328.37556	0.00026	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456329.46733	0.00029	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456364.39301	0.00102	ETD	(a)
2456584.86085	0.00053	ETD	(a)
2456595.77390	0.00087	ETD	(a)
2456596.86652	0.00062	ETD	(a)
2456604.50489	0.00021	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456605.59624	0.00030	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456606.68760	0.00034	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456607.77938	0.00071	Collins ve ark. (2017)	
2456608.87005	0.00060	ETD	(a)
2456616.51151	0.00081	ETD	(a)
2456626.33392	0.00060	ETD	(a)
2456628.51722	0.00072	ETD	(a)
2456629.60726	0.00019	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456630.69917	0.00043	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456638.88530	0.00110	Patra ve ark. (2017)	
2456639.43290	0.00072	ETD	(a)
2456640.52292	0.00100	ETD	(a)
2456641.61102	0.00110	ETD	(a)

2456642.15848	0.00141	Patra ve ark. (2017)	
2456654.71047	0.00034	Collins ve ark. (2017)	
2456659.07598	0.00034	Kreidberg ve ark. (2015)	
2456662.35014	0.00019	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456663.44136	0.00019	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456664.53256	0.00032	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456674.35560	0.00028	Kreidberg ve ark. (2015)	
2456677.63039	0.00032	Collins ve ark. (2017)	
2456688.54384	0.00041	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456694.00161	0.00029	Kreidberg ve ark. (2015)	
2456703.82417	0.00029	Kreidberg ve ark. (2015)	
2456711.46415	0.00026	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456719.10428	0.00034	Kreidberg ve ark. (2015)	
2456721.28692	0.00034	Kreidberg ve ark. (2015)	
2456722.37807	0.00047	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456734.38350	0.00085	ETD	(a)
2456950.48559	0.00064	ETD	(a)
2456960.30742	0.00059	ETD	(a)
2456963.58271	0.00058	ETD	(a)
2456986.50195	0.00043	Maciejewski ve ark. (2016)	
2456998.50832	0.00115	ETD	(a)
2457010.51298	0.00039	Maciejewski ve ark. (2016)	
2457012.69617	0.00049	Collins ve ark. (2017)	
2457033.43345	0.00047	ETD	(a)
2457045.43831	0.00048	Maciejewski ve ark. (2016)	
2457046.53019	0.00048	Maciejewski ve ark. (2016)	
2457059.62713	0.00035	Collins ve ark. (2017)	
2457060.71839	0.00036	Collins ve ark. (2017)	
2457067.26715	0.00023	Maciejewski ve ark. (2016)	
2457068.35834	0.00021	Maciejewski ve ark. (2016)	
2457069.44905	0.00053	ETD	(a)
2457092.36878	0.00056	ETD	(a)
2457103.28423	0.00031	Maciejewski ve ark. (2016)	

2457344.48698	0.00061	ETD	(a)
2457345.57867	0.00041	Maciejewski ve ark. (2016)	
2457356.49381	0.00070	ETD	(a)
2457357.58542	0.00052	ETD	(a)
2457368.49952	0.00051	ETD	(a)
2457369.58991	0.00039	ETD	(a)
2457379.41431	0.00073	ETD	(a)
2457390.32708	0.00034	Maciejewski ve ark. (2016)	
2457391.41818	0.00033	Maciejewski ve ark. (2016)	
2457426.34324	0.00054	Maciejewski ve ark. (2016)	
2457427.43496	0.00023	Maciejewski ve ark. (2016)	
2457451.44623	0.00025	Maciejewski ve ark. (2018) & ETD	(c)
2457474.36491	0.00047	ETD	(a)
2457486.37152	0.00120	ETD	(a)
2457668.63828	0.00081	ETD	(a)
2457671.91324	0.00035	Patra ve ark. (2017)	
2457691.55888	0.00025	Maciejewski ve ark. (2018)	
2457703.56388	0.00033	Maciejewski ve ark. (2018)	
2457706.83791	0.00037	Patra ve ark. (2017)	
2457726.48403	0.00034	Maciejewski ve ark. (2018) & ETD	(c)
2457727.57547	0.00023	Maciejewski ve ark. (2018)	
2457749.40475	0.00088	ETD	(a)
2457750.49532	0.00057	ETD	(a)
2457751.58705	0.00060	ETD	(a)
2457757.04409	0.00035	ETD	(a)
2457758.13579	0.00060	ETD	(a)
2457760.31809	0.00071	ETD	(a)
2457761.40900	0.00071	ETD	(a)
2457765.77515	0.00028	Patra ve ark. (2017)	
2457766.86633	0.00039	Patra ve ark. (2017)	
2457770.14049	0.00043	ETD	(a)
2457772.32425	0.00028	Maciejewski ve ark. (2018) & ETD	(c)
2457773.41516	0.00026	Maciejewski ve ark. (2018) & ETD	(c)

2457774.50659	0.00061	ETD	(a)
2457776.68869	0.00029	Patra ve ark. (2017)	
2457786.51210	0.00026	Maciejewski ve ark. (2018)	
2457788.69464	0.00048	Patra ve ark. (2017)	
2457800.69978	0.00032	Patra ve ark. (2017)	
2457808.34020	0.00040	Bu çalışma	
2457809.43187	0.00021	Maciejewski ve ark. (2018) & ETD	(c)
2457810.52327	0.00020	Maciejewski ve ark. (2018)	
2457832.35090	0.00059	Bu çalışma & ETD	
2458026.62368	0.00054	Maciejewski ve ark. (2018)	
2458050.63519	0.00023	Maciejewski ve ark. (2018)	
2458060.45870	0.00030	Bu çalışma	
2458072.46200	0.00030	Bu çalışma	
2458073.55509	0.00022	Maciejewski ve ark. (2018)	
2458074.64651	0.00034	Maciejewski ve ark. (2018)	
2458076.82959	0.00128	ETD	(a)
2458087.74482	0.00052	ETD	(a)
2458096.47439	0.00055	ETD	(a)
2458109.57180	0.00098	ETD	(a)
2458131.40073	0.00075	ETD	(a)
2458132.49121	0.00030	Maciejewski ve ark. (2018)	
2458155.41121	0.00036	Bu çalışma & Maciejewski ve ark. (2018)	(d)
2458156.50267	0.00031	Maciejewski ve ark. (2018)	
2458166.32575	0.00032	Maciejewski ve ark. (2018)	
2458167.41701	0.00112	ETD	(a)
2458178.33100	0.00044	Maciejewski ve ark. (2018) & ETD	(c)
2458214.34735	0.00129	ETD	(a)
2458455.55047	0.00065	ETD	(a)
2458467.55890	0.00072	ETD	(a)
2458478.47272	0.00082	ETD	(a)
2458479.56238	0.00077	ETD	(a)

(a) Bu çalışmada, ETD gözlem verilerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları. (b) Birinin Cowan ve ark. (2012) değerinin Maciejewski ve ark. (2013) tarafından verildiği 2

geçiş ortası zamanın ağırlıklı ortalaması. (c) Birinin Maciejewski ve ark. (2018) tarafından diğerinin ETD gözlemlerinden elde edildiği 2 geçiş ortası zamanının ağırlıklı ortalaması. (d) Birinin bu çalışma kapsamında gözlemlendiği diğerinin ise Maciejewski ve ark. (2018) tarafından verildiği 2 geçiş ortası zamanının ağırlıklı ortalaması.



EK 11. WASP-52b ötegezegeninin TTV analizinde kullanılan geçiş ortası zamanları.

Geçiş ortası zamanı (BJD)	Hata	Referans	Not
2455776.18395	0.00015	Mancini ve ark. (2017)	
2455793.68218	0.00100	Hebrard ve ark. (2013)	
2455828.67680	0.00015	Mancini ve ark. (2017)	(a)
2456271.37330	0.00059	Baluev ve ark. (2015)	
2456479.59513	0.00016	Mancini ve ark. (2017)	
2456491.84324	0.00026	Baluev ve ark. (2015)	
2456514.59289	0.00052	ETD	(b)
2456537.33892	0.00150	ETD	(b)
2456540.83858	0.00061	ETD	(b)
2456542.58806	0.00093	ETD	(b)
2456549.58805	0.00020	Mancini ve ark. (2017)	
2456558.33667	0.00082	Baluev ve ark. (2015)	
2456570.58541	0.00061	Baluev ve ark. (2015)	
2456572.33491	0.00059	ETD	(b)
2456586.33292	0.00014	Baluev ve ark. (2015) & Mancini ve ark. (2017)	(c)
2456591.58041	0.00078	Baluev ve ark. (2015)	
2456593.33254	0.00058	Baluev ve ark. (2015)	
2456600.33126	0.00050	Baluev ve ark. (2015)	
2456605.58032	0.00061	Baluev ve ark. (2015)	
2456607.32989	0.00053	ETD	(b)
2456614.32812	0.00090	Baluev ve ark. (2015)	
2456635.32571	0.00063	Baluev ve ark. (2015)	
2456843.54962	0.00072	Baluev ve ark. (2015)	
2456850.55025	0.00093	ETD	(b)
2456862.79771	0.00006	Mancini ve ark. (2017)	
2456864.54783	0.00065	ETD	(b)
2456869.79769	0.00047	Baluev ve ark. (2015)	
2456876.79604	0.00012	Baluev ve ark. (2015) & Mancini ve ark. (2017)	(c)
2456883.79552	0.00075	ETD	(b)
2456890.79393	0.00018	Mancini ve ark. (2017)	
2456904.79386	0.00093	Baluev ve ark. (2015)	

2456906.54237	0.00008	Mancini ve ark. (2017)	
2456918.78962	0.00039	Swift ve ark. (2015)	
2456920.54019	0.00049	Baluev ve ark. (2015)	
2456927.54125	0.00091	ETD	(b)
2456950.28653	0.00052	ETD	(b)
2456957.28676	0.00040	Baluev ve ark. (2015)	
2456983.53349	0.00105	Baluev ve ark. (2015)	
2457013.27923	0.00032	ETD	(b)
2457027.27773	0.00042	ETD	(b)
2457221.50355	0.00045	ETD	(b)
2457242.50093	0.00031	ETD	(b)
2457291.49351	0.00047	ETD	(b)
2457296.74395	0.00060	ETD	(b)
2457298.49340	0.00063	ETD	(b)
2457326.49009	0.00103	ETD	(b)
2457333.48879	0.00092	ETD	(b)
2457335.23952	0.00062	ETD	(b)
2457347.48735	0.00073	ETD	(b)
2457571.45990	0.00060	Bu çalışma	
2457578.45890	0.00030	Bu çalışma	
2457585.45890	0.00040	Bu çalışma	
2457599.45690	0.00060	Bu çalışma	
2457606.45529	0.00053	ETD	(b)
2457613.45361	0.00043	ETD	(b)
2457627.45580	0.00180	Bu çalışma	
2457629.20145	0.00200	Bruno ve ark. (2018)	
2457632.70196	0.00025	ETD	(b)
2457634.45197	0.00033	Bu çalışma & ETD	(b) , (d)
2457641.45102	0.00082	ETD	(b)
2457655.451	0.00083	ETD	(b)
2457662.45	0.00087	ETD	(b)
2457667.698	0.00043	ETD	(b)
2457669.449	0.00153	ETD	(b)

2457676.447	0.00076	ETD	(b)
2457683.445	0.00040	Bu çalışma	
2457723.69	0.00062	ETD	(b)
2457970.41	0.00157	ETD	(b)
2457984.408	0.00172	ETD	(b)
2457998.406	0.00041	ETD	(b)
2458012.403	0.00110	ETD	(b)
2458031.652	0.00043	ETD	(b)
2458045.65	0.00032	ETD	(b)
2458054.399	0.00035	ETD	(b)
2458080.645	0.00047	ETD	(b)
2458096.394	0.00100	ETD	(b)
2458325.615	0.00047	ETD	(b)
2458346.612	0.00041	ETD	(b)
2458348.361	0.00123	ETD	(b)
2458353.612	0.00033	ETD	(b)
2458369.359	0.00045	ETD	(b)
2458383.36	0.00105	ETD	(b)
2458388.607	0.00071	ETD	(b)
2458390.357	0.00053	ETD	(b)
2458404.356	0.00117	ETD	(b)
2458411.354	0.00030	ETD	(b)
2458425.353	0.00048	ETD	(b)
2458451.599	0.00081	ETD	(b)

(a) Mancini ve ark. (2017)'nin, Hébrard ve ark. (2013) gözlem verilerini kullanılarak hesapladıkları geçiş ortası zamanı. (b) Bu çalışmada, ETD gözlem verilerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları. (c) Birinin Baluev ve ark. (2015) tarafından diğerinin Mancini ve ark. (2017) tarafından verildiği 2 geçiş ortası zamanın ağırlıklı ortalaması. (d) Birinin bu çalışmada elde edildiği, diğerinin ETD gözlemlerinden hesaplandığı 2 geçiş ortası zamanının ağırlıklı ortalaması.

EK 12. Kepler-6b ötegezegeninin, ETD veri tabanı gözlem verilerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları.

Geçiş ortası zamanı	Hata	Referans	Not
(BJD)			
2456552.44024	0.00241	ETD	(a)
2456568.60186	0.00220	ETD	(a)
2456801.49561	0.00392	ETD	(a)
2456856.48640	0.00274	ETD	(a)
2456924.42073	0.00208	ETD	(a)
2457160.55160	0.00220	ETD	(a)
2457173.49024	0.00816	ETD	(a)
2457364.31548	0.00318	ETD	(a)
2457917.46715	0.00109	ETD	(a)

(a) Bu çalışmada, ETD gözlem verilerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları.

EK 13. Kepler-8b ötegezegeninin, ETD veri tabanı gözlem verilerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları.

Geçiş ortası zamanı	Hata	Referans	Not
(BJD)			
2455803.04870	0.00720	ETD	(a)

(a) Bu çalışmada, ETD gözlem verilerinden hesaplanan geçiş ortası zamanları.

EK 14. CoRoT-2b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellenmesinde kullanılan fiziksel parametreler.

Parametre	Değer	Ref
M_s ($M_\odot$)	0.97 ± 0.06	Alonso ve ark. (2008)
R_s ($R_\odot$)	0.902 ± 0.018	Alonso ve ark. (2008)
$\log g_s$ (cgs)	4.3 ± 0.2	Bouchy ve ark. (2008)
T_{etkin} (K)	5625 ± 120	Bouchy ve ark. (2008)
$[Fe/H]$	0.0 ± 0.1	Bouchy ve ark. (2008)
e	0	Alonso ve ark. (2008)
M_p (M_J)	3.31 ± 0.16	Alonso ve ark. (2008)
u_R	0.590	Claret ve Bloemen (2011)*
u_V	0.670	Claret ve Bloemen (2011)*
a_R	0.392	Claret ve Bloemen (2011)*
a_V	0.491	Claret ve Bloemen (2011)*
b_R	0.266	Claret ve Bloemen (2011)*
b_V	0.240	Claret ve Bloemen (2011)*

*Lineer (u) ve quadratik (a, b) kenar kararım katsayıları Claret ve Bloemen (2011) tablolarından aradeğer hesabı ile elde edilmiştir.

EK 15. HAT-P-12b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellenmesinde kullanılan fiziksel parametreler.

Parametre	Değer	Ref
M_s ($M_\odot$)	0.733 ± 0.018	Hartman ve ark. (2009)
R_s ($R_\odot$)	$0.701^{+0.017}_{-0.012}$	Hartman ve ark. (2009)
$\log g_s$ (cgs)	4.61 ± 0.01	Hartman ve ark. (2009)
T_{etkin} (K)	4650 ± 60	Hartman ve ark. (2009)
$[Fe/H]$	0.29 ± 0.05	Hartman ve ark. (2009)
e	0	Hartman ve ark. (2009)
M_p (M_J)	0.211 ± 0.012	Hartman ve ark. (2009)
u_R	0.694	Claret ve Bloemen (2011)*
u_V	0.780	Claret ve Bloemen (2011)*
a_R	0.596	Claret ve Bloemen (2011)*
a_V	0.747	Claret ve Bloemen (2011)*
b_R	0.132	Claret ve Bloemen (2011)*
b_V	0.044	Claret ve Bloemen (2011)*

*Lineer (u) ve quadratik (a, b) kenar kararma katsayıları Claret ve Bloemen (2011) tablolarından aradeğer hesabı ile elde edilmiştir.

EK 16. TrES-2b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellenmesinde kullanılan fiziksel parametreler.

	Değer	Ref
M_s ($M_\odot$)	$1.049 \pm 0.054 \pm 0.030$	Southworth (2010)
R_s ($R_\odot$)	$1.002 \pm 0.029 \pm 0.010$	Southworth (2010)
$\log g_s$ (cgs)	$4.457 \pm 0.027 \pm 0.004$	Southworth (2010)
T_{etkin} (K)	5795 ± 73	Ammler-von Eiff ve ark. (2009)
$[Fe/H]$	0.06 ± 0.08	Ammler-von Eiff ve ark. (2009)
e	0	O'Donovan ve ark. (2006)
M_p (M_J)	$1.253 \pm 0.047 \pm 0.024$	Southworth (2010)
u_R	0.573	Claret ve Bloemen (2011)*
u_V	0.651	Claret ve Bloemen (2011)*
a_R	0.363	Claret ve Bloemen (2011)*
a_V	0.737	Claret ve Bloemen (2011)*
b_R	0.282	Claret ve Bloemen (2011)*
b_V	0.107	Claret ve Bloemen (2011)*

*Lineer (u) ve kuadratik (a, b) kenar karama katsayıları Claret ve Bloemen (2011) tablolarından aradeğer hesabı ile elde edilmiştir.

EK 17. WASP-12b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellenmesinde kullanılan fiziksel parametreler.

Parametre	Değer	Ref
M_s ($M_\odot$)	$1.35^{+0.14}_{-0.14}$	Hebb ve ark. (2009)
R_s ($R_\odot$)	$1.57^{+0.07}_{-0.07}$	Hebb ve ark. (2009)
$\log g_s$ (cgs)	$4.17^{+0.03}_{-0.03}$	Hebb ve ark. (2009)
T_{etkin} (K)	6300^{+200}_{-100}	Hebb ve ark. (2009)
$[Fe/H]$	$0.30^{+0.05}_{-0.15}$	Hebb ve ark. (2009)
e	0	Croll ve ark. (2011)
M_p (M_J)	$1.41^{+0.10}_{-0.10}$	Hebb ve ark. (2009)
u_R	0.524	Claret ve Bloemen (2011)*
u_V	0.600	Claret ve Bloemen (2011)*
a_R	0.286	Claret ve Bloemen (2011)*
a_V	0.602	Claret ve Bloemen (2011)*
b_R	0.318	Claret ve Bloemen (2011)*
b_V	0.211	Claret ve Bloemen (2011)*

*Lineer (u) ve kuadratik (a, b) kenar kararırma katsayıları Claret ve Bloemen (2011) tablolarından aradeğer hesabı ile elde edilmiştir.

EK 18. WASP-52b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellenmesinde kullanılan fiziksel parametreler.

Parametre	Değer	Ref
M_s ($M_\odot$)	0.870 ± 0.030	Hébrard ve ark. (2013)
R_s ($R_\odot$)	0.79 ± 0.02	Hébrard ve ark. (2013)
$\log g_s$ (cgs)	4.5 ± 0.1	Hébrard ve ark. (2013)
T_{etkin} (K)	5000 ± 100	Hébrard ve ark. (2013)
$[Fe/H]$	0.03 ± 0.12	Hébrard ve ark. (2013)
e	0	Hébrard ve ark. (2013)
M_p (M_J)	0.460 ± 0.020	Hébrard ve ark. (2013)
u_R	0.660	Claret ve Bloemen (2011)*
u_V	---	---
a_R	0.526	Claret ve Bloemen (2011)*
a_V	---	---
b_R	0.181	Claret ve Bloemen (2011)*
b_V	---	---

*Lineer (u) ve quadratik (a, b) kenar kararım katsayıları Claret ve Bloemen (2011) tablolarından aradeğer hesabı ile elde edilmiştir.

EK 19. Kepler-6b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellemesinde kullanılan fiziksel parametreler.

	Değer	Ref
M_s ($M_\odot$)	$1.209^{+0.044}_{-0.038}$	Dunham ve ark. (2010)
R_s ($R_\odot$)	$1.391^{+0.017}_{-0.034}$	Dunham ve ark. (2010)
$\log g_s$ (cgs)	4.236 ± 0.011	Dunham ve ark. (2010)
T_{etkin} (K)	5647 ± 44	Dunham ve ark. (2010)
$[Fe/H]$	$+0.34 \pm 0.04$	Dunham ve ark. (2010)
e	0	Dunham ve ark. (2010)
M_p (M_J)	$0.669^{+0.025}_{-0.030}$	Dunham ve ark. (2010)

EK 20. Kepler-8b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellemesinde kullanılan fiziksel parametreler.

	Değer	Ref
M_s ($M_\odot$)	$1.213^{+0.067}_{-0.063}$	Jenkins ve ark. (2010)
R_s ($R_\odot$)	$1.486^{+0.053}_{-0.062}$	Jenkins ve ark. (2010)
$\log g_s$ (cgs)	4.174 ± 0.026	Jenkins ve ark. (2010)
T_{etkin} (K)	6213 ± 150	Jenkins ve ark. (2010)
$[Fe/H]$	-0.055 ± 0.03	Jenkins ve ark. (2010)
e	0	Jenkins ve ark. (2010)
M_p (M_J)	$0.603^{+0.13}_{-0.19}$	Jenkins ve ark. (2010)

EK 21. Kepler-40b ötegezegeninin geçiş eğrisi modellemesinde kullanılan fiziksel parametreler.

	Değer	Ref
M_s ($M_\odot$)	1.48 ± 0.06	Santerne ve ark. (2011)
R_s ($R_\odot$)	2.13 ± 0.06	Santerne ve ark. (2011)
$\log g_s$ (cgs)	3.94 ± 0.32	Santerne ve ark. (2011)
T_{etkin} (K)	6510 ± 100	Santerne ve ark. (2011)
$[Fe/H]$	$0.10^{+0.15}_{-0.10}$	Santerne ve ark. (2011)
e	0	Santerne ve ark. (2011)
M_p (M_J)	2.2 ± 0.4	Santerne ve ark. (2011)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Oğuz ÖZTÜRK

Doğum Yeri : Tavşanlı

Doğum Tarihi : 05/07/1986

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar -SCI -Diğer

Öztürk O., Erdem A., 2019. New photometric analysis of five exoplanets: CoRoT-2b, HAT-P-12b, TrES-2b, WASP-12b, and WASP-52b. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 486 (2): 2290-2307.

Erdem A., **Öztürk O.**, 2016. Photometric study of two β Lyr-type binaries: DD Aqr and RR Lep. New Astronomy, 48: 33-41.

Öztürk O., Soyduğan F., Çiçek C., 2014. SX Aurigae: A close binary at the early stage of contact phase. New Astronomy, 30: 100-104.

Erdem A., **Öztürk O.**, 2014. Non-conservative mass transfers in Algols. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 441 (2): 1166-1176.

Öztürk O., Soyduğan F., Çiçek C., Tüysüz M., 2013. Orbital Period Changes of Some Algol Type Eclipsing Binaries. Balkan Physics Letters, 21: 177-184.

b) Bildiriler -Uluslararası –Ulusal

Öztürk O., Erdem A., 2018. Re-examining the light curves of Kepler-6b, Kepler-8b and Kepler-40b. AIP Conference Proceedings, 2042 (1): id.020014.

- Erdem A., **Öztürk O.**, 2018. New photometric observations of HAT-P-25b and WASP-11b/HAT-P-10b. AIP Conference Proceedings, 2042 (1): id.020013.
- Apak B., Erdem A., **Öztürk O.**, Gözütok M. İ., Sürgit D., 2018. Orbital periods of two algol-type binaries: AV Cep and GI Cep. AIP Conference Proceedings, 2042 (1): id.020010.
- Öztürk O.**, Erdem A., 2018. Statistical examination of orbital elements affecting radial velocity semi-amplitude of host star in star-planet systems. AIP Conference Proceedings, 1935 (1): id.030003.
- Öztürk O.**, Erdem A., 2018. On the classification of exoplanets according to Safronov number. AIP Conference Proceedings, 1935 (1): id.030002.
- Öztürk O.**, Erdem A., 2017. Effect of planetary mass on the orbit of star-planet systems. AIP Conference Proceedings, 1815 (1): id.080018.
- Özer S., Sürgit D., Erdem A., **Öztürk O.**, 2017. First photometric study of two southern eclipsing binaries IS Tel and DW Aps. AIP Conference Proceedings, 1815 (1): id.080016.
- Aktoka Ü., Erdem A., **Öztürk O.**, Sürgit D., 2017. Photometric study of two neglected beta Lyr-type binaries: V342 Her & V387 Her. AIP Conference Proceedings, 1815 (1): id.080002.
- Öztürk, O.**, Soyduğan, F., Çiçek, C., Tüysüz, M., 2012, “Bazı Algol Türü Örtlen Çift Sistemlerin Yörünge Dönem Değişimi”, Türk Fizik Derneği 29. Uluslararası Fizik Kongresi Özet Kitabı, s. 344.
- Öztürk, O.**, Erdem, A., Çiçek, C., 27 Ağustos – 1 Eylül 2012,. RX Cas ve SX Cas Örtlen Çift Yıldızlarında Kütle Aktarımı ve Kütle Kaybı Üzerine Bir Çalışma. 18. Ulusal Astronomi Kongresi (Poster Bildiri) (İnönü Üniversitesi, Malatya).
- Hız M. M., **Öztürk O.**, Aki C., 27-28 Eylül 2012. Gerçek Zamanlı Ağır Metal Dekontaminasyonu, II. Ulusal Nanoteknoloji Kongresi, Bildiri Kitabı: 25-27 (Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul).

Öztürk O., Hız M. M., Aki C., 27-28 Eylül 2012. DNA'nın Elektrik İletkenlik Özelliğinin Manyetik Alan Kuvveti ile Değiştirilmesi. II. Ulusal Nanoteknoloji Kongresi, Bildiri Kitabı: 21-24 (Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul).

Ölmez R., Kuş E., **Öztürk O.**, 27-28 Şubat 2014. Nano Kaplamalı Yüzeyler ve Uzun Menzilli Silah Modeli. III. Ulusal Nanoteknoloji Kongresi, Bildiri Kitabı: 19 (Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul).

c) Katıldığı Projeler

Destekleyen Kurum / Proje No: ÇOMÜ BAP Bağımsız Araştırma Projesi / 2639.

Proje Başlığı: Seçilmiş Ötegezegenlerin Işıkölçümü

Proje Başlangıç-Bitiş: 22.06.2018-devam ediyor

Proje Yöneticisi: Prof. Dr. Ahmet ERDEM

Araştırmacılar: Oğuz ÖZTÜRK

d) Ulusal Başarılar

Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Birinciliği, 3.62/4.00, 2010.

II. Ulusal Nanoteknoloji Kongresi Nanokon'12- Poster Bildiri Birinciliği , 2012.

III. Ulusal Nanoteknoloji Kongresi Nanokon'14- Poster Bildiri Üçüncülüğü, 2014.

e) Kazanılan Burslar

Erasmus Programı (Lisans) 1 Yıl Yurt Dışı Eğitim Bursu, Lund University, Department of Physics, 2009 – 2010, İsveç.

TÜBİTAK-BİDEB 2228B Doktora Bursu, 2013 - 2017.

Erasmus Programı (Doktora) 6 Ay Yurt Dışı Eğitim Bursu, Lund University, Department of Astronomy and Theoretical Physics, 2014 – 2015 Güz Dönemi, İsveç.

Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı Bursu, 2011- 2020.

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fizik Bölümü Araştırma Görevliliği (ÖYP – Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı – dahilinde), 2011-halen.

İLETİŞİM

E-posta Adresi : oguzozturk@comu.edu.tr

Web : <https://sites.google.com/a/comu.edu.tr/oguz-ozturk/home>

Telefon :

İş: +90 286 218 00 18 / 1942

Cep: +90 507 565 20 00