



**T.C.**  
**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**DOKTORA TEZİ**



**ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNİN**  
**ÇEVRESİNDEKİ GEZEGENLER**

**Çağlayan NEHİR**

**Fizik Anabilim Dalı**

**ÇANAKKALE**

**T.C.**  
**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**DOKTORA TEZİ**

**ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNİN**  
**ÇEVRESİNDEKİ GEZEGENLER**

**Çağlayan NEHİR**

**Fizik Anabilim Dalı**

Tezin Sunulduğu Tarih: **28/01/2021**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. İbrahim BULUT**

**ÇANAKKALE**

Çağlayan NEHİR tarafından Prof. Dr. İbrahim BULUT yönetiminde hazırlanan ve 28/01/2021 tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “Çift Yıldız Sistemlerinin Çevresindeki Gezegenler” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

## JÜRİ

Prof. Dr. Selçuk BİLİR .....

**Başkan**

Prof. Dr. İbrahim BULUT .....

**Üye**

Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN .....

**Üye**

Prof. Dr. Volkan BAKIŞ .....

**Üye**

Doç. Dr. Derya SÜRGİT .....

**Üye**

Prof. Dr. Pelin KANTEN

Müdür V.

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Sıra No: .....

## 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.**

Çağlayan NEHİR

## TEŞEKKÜR

Hayatım boyunca desteğini esirgemeyen, minnettarlığımı anlatamayacağım değerli babam Aydoğın NEHİR'e, bilgisayar başında en daralmış anımda sohbetiyle bana destek olan sevgili kardeşim Aycan NEHİR'e, her zorlukta yanımda olan, tezle birlikte bana da sabırla katlanan can yoldaşım, hayat arkadaşım Gizem NEHİR'e, hayatımıza anlam kazandıran gözümüzün aydınlığı oğlum Muhammed Hamza NEHİR'e tüm kalbimle sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca uykusuz gecelerde dertleştiğim değerli arkadaşım Öğr. Okan BODUR'a, bana desteğini her konuda, her zaman hissettiren değerli arkadaşım Neslihan KÖRPE'ye, fikirlerimi anlatırken beni dinleyen Arş. Gör. Dr. Fahri ALİÇAVUŞ'a, her evrak işinde tartışmasız yardımcı olan ve sınırsız kahve imkanı sunan sevgili arkadaşım Erhan TİRYAKİ'ye, ayaküstü sohbetlerde bile çığır açıcı fikirler(!) bulduğumuz değerli arkadaşlarım Gani Çağlar ÇOBAN'a ve Abd-ur Raheem'e, her güçlükte terlikleriyle yardıma koşan sevgili arkadaşım Müh. Ersin YILMAZ'a ve kalpli kurabiyeleriyle gücümüze güç katan değerli eşi Didem YILMAZ'a teşekkür ederim.

Tez kapsamında geliştirilen kodlar yazılırken matematiksel ifadeleri tatil günlerinde bile e-postalarımı yanıtlayarak bana anlatmaya çalışan Prof. Dr. Tamás BORKOVITS'e, kod yazımında bana yol gösteren ve sayısız soruma sabırla cevap veren Dr. Kento MASUDA'ya, yoğun mesaj trafiğiyle kodları tartıştığım Dr. Tobias Cornelius HINSE'ye, tezini bana e-postayla anlatmak zorunda kalan Dr. Kyle CONROY'a, kendi işleri yetmezmiş gibi garip sorularımı sabırla yanıtlayan Prof. Dr. Andrej PRSA'ya, onca çalışmasının arasında zamanını ayırıp değerli fikirlerini paylaşan Dr. Tansu DAYLAN'a ve e-posta yoluyla rahatsız ettiğim, beni dinleyip yardımcı olan diğer araştırmacılara gönülden teşekkür ederim.

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca beni yönlendiren saygı değer danışman hocam Prof. Dr. İbrahim BULUT'a ve değerli jüri üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Çağlayan NEHİR  
Çanakkale, Ocak 2021

*Annemin anısına*



## SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	Astronomik birim
BJD	Güneş sistemi kütlesi merkezli Julyen tarihi
cgs	Birim sistemi (santimetre, gram, saniye)
cm	Santimetre
dk	Dakika
EA	Algol türü örten değişen çift sistem
EB	Beta Lyr türü örten değişen çift sistem
ELV	Elipsoidal değişen sistem
EW	W UMa türü örten değişen çift sistem
HJD	Güneş merkezli Julyen tarihi
JD	Julyen tarihi
K	Kelvin
km	Kilometre
$L_{\odot}$	Güneş ışınım gücü
$L_T$	Bileşenlerin toplam ışınım gücü
$M_{\odot}$	Güneş kütlesi
$M_J$	Jüpiter kütlesi
$M_{\oplus}$	Yer kütlesi
pc	Parsek
ppm	Milyon birim başına parçacık sayısı
$R_{\odot}$	Güneş yarıçapı
sn	Saniye
vd.	Ve diğerleri
yy	Yüzyıl
$\mu\text{m}$	Mikrometre
m	Kadir
°	Derece

## ÖZET

### ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNİN ÇEVRESİNDEKİ GEZEĞENLER

Çağlayan NEHİR

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim BULUT

28/01/2021, 185

Bu tez çalışmasında, çevresinde gezegen olarak tanımlanabilecek küçük cisimleri barındıran örten çift yıldız sistemleri incelenmiştir. Bunun için p-tipi yörüngede dolanan ve kütlesi 80  $M_j$ 'den küçük üçüncü cisme sahip olan örten çift yıldız sistemleri seçilmiştir. Seçilen sistemlerden HW Vir ve V1828 Aql'nın yeni fotometrik gözlemleri yapılmış ve ışık eğrileri elde edilmiştir.

Çalışmada öncelikle sistemlerin ışık eğrisi analizleri yapılarak barınak yıldızlarının yörünge ve mutlak parametrelerinin duyarlı bir şekilde elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu analizlerde yeni gözlemler ile Kepler uydusunun fotometrik gözlemleri kullanılmıştır. Daha sonra yeni hesaplanan ve literatürde elde edilmiş minimum zamanları kullanılarak sistemlerin ETV diyagramları oluşturulmuştur. Bu diyagramlardaki dönemli değişimlerin sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü cisimden kaynaklanan LITE etkisi olduğu kabul edilerek ETV analizleri yapılmıştır. Bu analizlerle çift sistemlerin üçüncü bileşenlerine ait kütle ve yörünge parametreleri hesaplanmıştır. ETV analizlerinde kullanılan minimum zamanlarının hesaplanması ve ETV analizleri için Python programlama dilinde iki kod yazılmıştır. ETV diyagramlarında dinamik etkinin belirgin olduğu KIC 7177553, KIC 7821010 ve KIC 8610483 sistemlerinin analizleri dinamik etki de göz önüne alınarak yapılmıştır.

Son olarak sistemlerle ilgili hesaplanan parametrelerle birlikte literatürden toplanan diğer bilgiler kullanılarak p-tipi yörüngede olası gezegene sahip çift yıldızlar kataloğu oluşturulmuştur. Katalogda 58 barınak sistemi ve bu sistemlerin sahip olduğu 66 olası gezegen yer almaktadır. Ayrıca katalogdaki parametreler kullanılarak çift yıldızların parametreleriyle olası gezegenlerin parametreleri arasındaki ilişkiler de irdelenmiştir.



**Anahtar sözcükler:** Örten Çift Yıldızlar, Ötegezegenler, Tutulma Zamanı Değişimi (ETV), Işık Eğrisi Analizi, ETV Analizi, Bayes Yöntemi



## ABSTRACT

### CIRCUMBINARY PLANETS OF BINARY STAR SYSTEMS

Çağlayan NEHİR

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Graduate Studies

Doctoral Dissertation in Physics Science

Advisor: Prof. Dr. İbrahim BULUT

28/01/2021, 185

In this thesis, the eclipsing binary star systems that have small bodies which can be defined as planets around them were investigated. For this, eclipsing binary star systems which has third bodies with masses less than  $80 M_J$  orbiting in p-type orbit have been chosen. New photometric observations of HW Vir and V1828 Aql from selected systems were made and light curves were obtained.

In the work, primarily it was aimed to obtain the orbital and absolute parameters of the host stars precisely by analysing light curve of the systems. In these analyses, new observations and photometric observations of the Kepler satellite were used. Then, ETV diagrams of the systems were created by using the minimum times that were newly calculated and obtained in the literature. ETV analyses were carried out by assuming that the periodic changes in these diagrams were the LTTE effect caused by the third object gravitationally bounded to the system. With these analyses, mass and orbit parameters of the third components of binary systems were calculated. Two codes were written in the Python programming language for ETV analyses and the calculation of the minimum times used in ETV analyses. The analyses of the KIC 7177553, KIC 7821010 and KIC 8610483 systems, where the dynamical effect is evident in the ETV diagrams, have been made by considering the dynamical effect.

Finally, a catalog of binary stars with possible planets in p-type orbit was created using other information gathered from the literature together with the calculated parameters of the systems. The catalog includes 58 host systems and 66 possible planets that these systems have. In addition, by using the parameters in the catalog, the relationships between the parameters of binary stars and the parameters of possible planets are also examined.

**Keywords:** Eclipsing Binary Systems, Exoplanets, Eclipse Timing Variation (ETV), Light Curve Analysis, ETV Analysis, Bayesian Method



## İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	vi
ÖZET .....	vii
ABSTRACT.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiv
TABLolar DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1. Örten Çift Yıldızlar .....	2
1.1.1. Roche Modeline Göre Sınıflandırma .....	3
1.1.2. Işık Eğrisine Göre Sınıflandırma .....	4
1.2. Örten Çift Yıldız Sistemlerinde Dönem Değişimi .....	5
1.2.1. ETV Yöntemi .....	5
1.2.2. Dönem Değişiminin Nedenleri .....	7
1.3. Ötegezegenler.....	12
1.3.1. Gezegenlerin Oluşumu.....	13
1.3.2. Ötegezegenlerin Keşfedilme Yöntemleri.....	20
1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı .....	25
BÖLÜM 2	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	27
2.1. P-tipi Yörüngeli (Circumbinary) Gezegenler.....	27
2.2. Barınak (Konak) Yıldızlar.....	28
2.3. Ötegezegen Türleri ve Sınıflandırma .....	28
2.4. Yaşanabilir Bölge.....	30
2.5. Yörünge Kararlılığı .....	31
2.6. Sistemlerin Önceki Çalışmaları.....	32
2.6.1. DP Leo .....	32
2.6.2. HW Vir.....	33
2.6.3. MXB 1658-298 .....	33
2.6.4. NN Ser.....	34
2.6.5. NY Vir.....	34
2.6.6. RR Cae .....	35
2.6.7. UZ For.....	35

2.6.8. V1828 Aql.....	35
2.6.9. KIC 3338660.....	36
2.6.10. KIC 3440230.....	37
2.6.11. KIC 4574310.....	37
2.6.12. KIC 5621294.....	37
2.6.13. KIC 7177553.....	38
2.6.14. KIC 7339345.....	38
2.6.15. KIC 7821010.....	38
2.6.16. KIC 8081389.....	39
2.6.17. KIC 8610483.....	39
2.6.18. KIC 9159301.....	39
2.6.19. KIC 9592145.....	40
2.6.20. KIC 10848807.....	40
2.6.21. KIC 10916675.....	40
<b>BÖLÜM 3</b>	
<b>MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>41</b>
3.1. Yer Tabanlı Gözlemler.....	41
3.2. Kepler Uzay Teleskobu Gözlemleri.....	43
3.3. Işık Eğrisi Analizi Yöntemi.....	45
3.4. ETV Analizi Yöntemi.....	47
3.4.1. Minimum Zamanı Belirleme Programı.....	54
3.4.2. Işık Eğrilerinde Yapılan Düzenlemeler.....	58
3.4.3. ETV Analizi Programı.....	62
3.5. Sistemlerin Temel Fiziksel Parametrelerinin Hesaplanması.....	65
<b>BÖLÜM 4</b>	
<b>ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>68</b>
4.1. Işık Eğrisi Analizleri.....	68
4.1.1. HW Vir'in Işık Eğrisi Analizi.....	69
4.1.2. V1828 Aql'nın Işık Eğrisi Analizi.....	71
4.1.3. KIC 3338660'ın Işık Eğrisi Analizi.....	74
4.1.4. KIC 3440230'un Işık Eğrisi Analizi.....	76
4.1.5. KIC 4574310'un Işık Eğrisi Analizi.....	79
4.1.6. KIC 5621294'ün Işık Eğrisi Analizi.....	81
4.1.7. KIC 7177553'ün Işık Eğrisi Analizi.....	83
4.1.8. KIC 7339345'in Işık Eğrisi Analizi.....	86
4.1.9. KIC 7821010'un Işık Eğrisi Analizi.....	88
4.1.10. KIC 8081389'un Işık Eğrisi Analizi.....	90

4.1.11. KIC 8610483'ün Işık Eğrisi Analizi .....	92
4.1.12. KIC 9159301'in Işık Eğrisi Analizi .....	95
4.1.13. KIC 9592145'in Işık Eğrisi Analizi .....	97
4.1.14. KIC 10848807'nin Işık Eğrisi Analizi .....	99
4.1.15. KIC 10916675'in Işık Eğrisi Analizi .....	101
4.2. Tutulma Zamanı Değişimi (ETV) Analizleri .....	103
4.2.1. DP Leo'nun ETV Analizi .....	107
4.2.2. HW Vir'in ETV Analizi.....	109
4.2.3. MXB 1658-258'in ETV Analizi .....	111
4.2.4. NN Ser'in ETV Analizi.....	113
4.2.5. NY Vir'in ETV Analizi.....	114
4.2.6. RR Cae'nin ETV Analizi .....	116
4.2.7. UZ For'un ETV Analizi .....	118
4.2.8. V1828 Aql'nın ETV Analizi.....	120
4.2.9. KIC 3338660'in ETV Analizi.....	122
4.2.10. KIC 3440230'un ETV Analizi .....	123
4.2.11. KIC 4574310'un ETV Analizi.....	125
4.2.12. KIC 5621294'ün ETV Analizi.....	127
4.2.13. KIC 7177553'ün ETV Analizi.....	129
4.2.14. KIC 7339345'in ETV Analizi.....	130
4.2.15. KIC 7821010'un ETV Analizi .....	132
4.2.16. KIC 8081389'un ETV Analizi .....	134
4.2.17. KIC 8610483'ün ETV Analizi .....	135
4.2.18. KIC 9159301'in ETV Analizi.....	137
4.2.19. KIC 9592145'in ETV Analizi.....	138
4.2.20. KIC 10848807'nin ETV Analizi.....	140
4.2.21. KIC 10916675'in ETV Analizi.....	141
4.3. Gezegenli Çift Yıldız Sistemlerinin Kataloğu .....	143
4.3.1. Katalogtan Elde Edilen İstatistiksel Sonuçlar .....	144
<b>BÖLÜM 5</b>	
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>151</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>155</b>
<b>EKLERİ .....</b>	<b>I</b>
Ek Tablo 1. Barınak yıldızların genel özellikleri .....	II
Ek Tablo 2. Barınak yıldızların yörünge ve temel parametreleri.....	IV
Ek Tablo 3. Olası gezegenlerin yörünge ve temel parametreleri .....	VI
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>VIII</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1. Roche modeline göre sınıflandırma örnekleri. Panellerde, ayırık tür (a), yarı-ayırık tür (b), degen tür (c) ve degen türlerin evrimleştiği aşırı degen durum (d) gösterilmiştir.....	3
Şekil 2. Algol, $\beta$ Lyr ve W UMa türü örten çift yıldız sistemlerinin ışık eğrisi örnekleri.....	4
Şekil 3. Sadece ışık elemanlarının etkisiyle ETV eğrisindeki doğrusal değişimler .....	7
Şekil 4. ETV eğrisinde, kütle aktarımının etkisiyle $Q$ katsayısının sıfırdan büyük ve küçük olma durumuna göre paraboldeki değişim.....	8
Şekil 5. AO Mon sisteminin ETV diyagramında eksen dönmesi. Yuvarlaklar birinci ve üçgenler ikinci minimum zamanlarını temsil etmektedir .....	10
Şekil 6. Çift sistemin çember yörüngedeki dolanımı (üst kısım) ve ETV eğrisi (alt kısım). $P$ , çiftin ortak kütle merkezi etrafındaki dönemini ve $K$ , ETV eğrisinin genliğini temsil etmektedir .....	11
Şekil 7. Tarihsel süreçte güneş sisteminin oluşum teorileri.....	14
Şekil 8. Çift yıldızlarda gezegenlerin temel yörünge tipleri. Büyük noktalar çift yıldız sistemin bileşenlerini, küçük noktalar gezegenleri temsil etmektedir .....	17
Şekil 9. S-tipi yörüngede diskin kesilmesi. Çift sistemin kütle oranı 0,3'tür. Sol tarafta dış merkezlik 0 iken yani çember yörüngede, sağ tarafta ise yörüngenin dış merkezliği 0,3 olduğunda diskin durumu gösterilmiştir (Artymowicz ve Lubow, 1994) .....	18
Şekil 10. P-tipi yörüngede diskin kesilmesi. Çiftin kütle oranı 0,3, yörüngesinin dış merkezliği 0,1'dir. Panellerin içindeki içi boş noktalar çift sistemi ve üzerlerindeki sayılar dönemlerini ifade etmektedir. $x$ ve $y$ eksenleri, yarı-büyük eksen uzunluğunun birimindedir (Artymowicz ve Lubow, 1994).....	20
Şekil 11. Geçiş geometrisi görseli ve HD 209458 (V376 Peg) sisteminin ışık eğrisi (Charbonneau ve diğerleri, 2000) .....	21
Şekil 12. Geçiş zamanı değişimi (TTV). Sol kısımda geçişin nasıl meydana geldiği ve sağ kısımda referans zamanına göre (dik kesikli çizgi) geçiş çukurunun değişimi gösterilmiştir .....	22
Şekil 13. Dikine hızın görsel anlatımı (üst kısım). Dikine hız grafiğinde zamanla değişim (alt kısım).....	23
Şekil 14. Mikromerceklenme etkisi ve parlaklık değişimleri (Sumi ve diğerleri, 2011).....	23
Şekil 15. 2M1207 sisteminin görüntüsü (Chauvin ve diğerleri, 2004).....	24
Şekil 16. Kepler-16 sisteminde HZ. Koyu yeşil alan hesaplanan, açık yeşil alan deneysel yaşanabilir bölgeyi ifade eder. Mavi çizgili yörünge gezegenin gerçek yörüngesini, kırmızı çizgili yörünge gezegenin kararlı olduğu yörüngeyi temsil etmektedir (Haghighipour ve Kaltenegger, 2013).....	31
Şekil 17. <i>Kepler</i> 'in ana görev ve <i>K2</i> görevinin parlaklığa karşı fotometrik duyarlılıkları (Howell ve diğerleri, 2014).....	44
Şekil 18. Üçlü bir sistemde bazı iç ve dış yörünge parametrelerin gösterimi .....	49
Şekil 19. Kwee – van Woerden yönteminde aynı minimum çukurunda gözardı edilen nokta nedeniyle minimum zamanında meydana gelen değişim. a kısmında hesaba katılmayan nokta içi boş yuvarlakla ve b kısmında hesaba katılması gösterilmiştir. Kalın düz çizgiler	

minimum çukurunun başlangıç ve bitiş sınırlarını, gri kesikli çizgi üst sınırını temsil etmektedir .....	55
Şekil 20. Gauss dağılım (normal dağılım) örneği.....	57
Şekil 21. Minimum çukuruna uygulanmış Gauss modeli. Kesikli çizgi iterasyonun başlangıç modelini, kırmızı çizgi iterasyonlar sonucu elde edilen modeli ve mavi noktalar gözlem noktalarını temsil eder .....	58
Şekil 22. Aşırı-değeri KIC 10848807 sisteminde birinci ve ikinci minimum noktalarının zıt fazlı olması durumu. a kısmında mavi noktalar birinci, kırmızı noktalar ikinci minimum; b kısmında gri yuvarlaklar birinci, gri üçgenler ikinci ve yeşik noktalar ortalama değerleri temsil etmektedir.....	60
Şekil 23. Işık eğrisindeki parlaklık değişimlerinin (tutulma harici) giderilmesi (açıklaması aşağıdadır).....	61
Şekil 24. KIC 9159301 (üst panel) ve KIC 4574310 (alt panel) sistemlerinde yöntem uygulanmadan (mavi noktalar) ve yöntem uygulandıktan sonra (kırmızı noktalar) ETV eğrilerindeki değişimler .....	62
Şekil 25. HW Vir sisteminin $B-V-R$ süzgeçlerindeki gözlenen ışık eğrileri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	70
Şekil 26. HW Vir sisteminin birinci bileşeninin dikine hız eğrisi ve elde edilen modeller. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-9,34 km/sn) .....	71
Şekil 27. V1828 Aql sisteminin $B-V-R-I$ süzgeçlerinde gözlenen ışık eğrileri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları .....	74
Şekil 28. V1828 Aql sisteminin birinci bileşeninin dikine hız eğrisi ve elde edilen modeller. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-12,24 km/sn) .....	74
Şekil 29. KIC 3338660 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	76
Şekil 30. KIC 3338660 sisteminin q taraması .....	76
Şekil 31. KIC 3440230 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	78
Şekil 32. KIC 3440230 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-1,72 km/sn) .....	78
Şekil 33. KIC 4574310 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	80
Şekil 34. KIC 4574310 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-48,92 km/sn) .....	81
Şekil 35. KIC 5621294 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	83
Şekil 36. KIC 5621294 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (21,78 km/sn) .....	83
Şekil 37. KIC 7177553 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	85
Şekil 38. KIC 7177553 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-14,84 km/sn) .....	85



Şekil 39. KIC 7339345 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	87
Şekil 40. KIC 7339345 sisteminin $i-q$ taraması ( $i=75^\circ$ ).....	87
Şekil 41. KIC 7821010 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	89
Şekil 42. KIC 7821010 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-17,24 km/sn) .....	90
Şekil 43. KIC 8081389 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	92
Şekil 44. KIC 8081389 sisteminin $q$ taraması .....	92
Şekil 45. KIC 8610483 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	94
Şekil 46. KIC 8610483 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-40,09 km/sn) .....	94
Şekil 47. KIC 9159301 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	96
Şekil 48. KIC 9159301 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (0,24 km/sn) .....	97
Şekil 49. KIC 9592145 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	99
Şekil 50. KIC 9592145 sisteminin $q$ taraması .....	99
Şekil 51. KIC 10848807 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	101
Şekil 52. KIC 10848807 sisteminin $i=75^\circ$ ve $i=80^\circ$ için $q$ taramaları .....	101
Şekil 53. KIC 10916675 sisteminin <i>Kepler</i> ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları.....	103
Şekil 54. KIC 10916675 sisteminin $q$ taraması ( $i=55^\circ$ ).....	103
Şekil 55. KIC 7177553, KIC 7821010 ve KIC 8610483 sistemlerinin eksen dönmesi görülen ETV diyagramları. Siyah yuvarlaklar birinci, gri kareler ikincinin minimum zamanlarını temsil eder. Daha iyi görünüm için alt kısımdaki grafiklerde sistemlerin ikinci minimum zamanlarından sırasıyla 4,36, 6,387 ve 10,315 gün çıkarılmıştır. ....	107
Şekil 56. DP Leo sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	108
Şekil 57. HW Vir sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir .....	110
Şekil 58. HW Vir sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	110
Şekil 59. MXB 1658-298 sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir .....	112

Şekil 60. MXB 1658-298 sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	112
Şekil 61. NN Ser sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	114
Şekil 62. NY Vir sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	116
Şekil 63. RR Cae sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir .....	117
Şekil 64. RR Cae sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	118
Şekil 65. UZ For sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir .....	119
Şekil 66. UZ For sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	120
Şekil 67. V1828 Aql sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	121
Şekil 68. KIC 3338660 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	123
Şekil 69. KIC 3440230 sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir .....	124
Şekil 70. KIC 3440230 sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	124
Şekil 71. KIC 4574310 sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	126
Şekil 72. KIC 4574310 sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	126
Şekil 73. KIC 5621294 sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir .....	128
Şekil 74. KIC 5621294 sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	128
Şekil 75. KIC 7177553 sisteminin doğrusal olarak düzeltilmiş ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	130

Şekil 76. KIC 7339345 sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir .....	131
Şekil 77. KIC 7339345 sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	132
Şekil 78. KIC 7821010 sisteminin doğrusal olarak düzeltilmiş ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	133
Şekil 79. KIC 8081389 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	135
Şekil 80. KIC 8610483 sisteminin doğrusal olarak düzeltilmiş ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	136
Şekil 81. KIC 9159301 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	138
Şekil 82. KIC 9592145 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	139
Şekil 83. KIC 10848807 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	141
Şekil 84. KIC 10916675 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir .....	142
Şekil 85. Ek Tablo 1 ve 2’de sunulan barınak yıldızların, bileşenlerin toplam kütlelerine (a), yörünge dış merkezliğine (b), yörünge dönemine (c) ve yörünge yarı-büyük eksen uzunluğuna (d) göre sayısal yayılımları.....	145
Şekil 86. Ek Tablo 3’te sunulan gezegenlerin, yörünge dönemine (a), yörünge yarı-büyük eksen uzunluğuna (b), yörünge dış merkezliğine (c), kütlelerine (d), barınak yıldızlarıyla kütle oranına (e) ve barınak yıldızın yörünge dönemi oranına (f) göre sayısal yayılımları .....	146
Şekil 87. Ek Tablo 3’te sunulan gezegenlerin bulunma yöntemlerine (a), kütlelerine (b), yörünge döneminin barınak yıldızların yörünge dönemine oranına (c) ve kütlelerinin barınak yıldızlarının toplam kütlelerine oranına (d) göre sayısal yayılımları .....	147
Şekil 88. Ek Tablo 3’te sunulan gezegenlerin, yörünge döneminin, bileşenlerin toplam kütlelerine (a), bileşenlerin toplam kütlelerinin gezegenin kütlelerine (b), barınak sistemin yörünge döneminin gezegenin kütlelerine (c) barınak sistemin yörünge döneminin gezegenin yörünge dönemine (d) göre dağılımları .....	148
Şekil 89. Gezegenlerin yarı-büyük eksen uzunluğuyla kritik yarı-büyük eksen uzunluğu ( $a_{crit}$ ) değerlerinin karşılaştırılması .....	149

## TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 1. Keşfedilme yöntemlerine göre ötegezegen sayıları.....	25
Tablo 2. Gezegenlerin kütlelerine göre sınıflandırılması .....	29
Tablo 3. HW Vir sisteminin süzgeçlere göre gözlem verileri .....	41
Tablo 4. HW Vir sisteminin bu çalışmada elde edilen yeni minimum zamanları .....	42
Tablo 5. V1828 Aql sisteminin süzgeçlere göre gözlem verileri .....	42
Tablo 6. V1828 Aql sisteminin bu çalışmada elde edilen yeni minimum zamanları .....	43
Tablo 7. Bu tez çalışmasında analizleri yapılan <i>Kepler</i> sistemlerinin gözlem verileri.....	45
Tablo 8. WD programında (2015v) kullanılan parametreler ve tanımları .....	46
Tablo 9. WD programında kullanılan modlar ve ışık eğrisi türleri .....	47
Tablo 10. LTTE ve dinamik etki denklemlerinde kullanılan parametreler ve anlamları ....	49
Tablo 11. ETV analizlerinde kullanılan parametrelerin başlangıç sınır değerleri.....	65
Tablo 12. Sistemlerin elde edilen temel fiziksel parametreleri ve tanımları .....	65
Tablo 13. HW Vir sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları.....	70
Tablo 14. HW Vir sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	71
Tablo 15. V1828 Aql sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları.....	72
Tablo 16. V1828 Aql sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	73
Tablo 17. KIC 3338660 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları .....	75
Tablo 18. KIC 3338660 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	75
Tablo 19. KIC 3440230 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları .....	77
Tablo 20. KIC 3440230 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	77
Tablo 21. KIC 4574310 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları.....	79
Tablo 22. KIC 4574310 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	80
Tablo 23. KIC 5621294 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları .....	81
Tablo 24. KIC 5621294 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	82
Tablo 25. KIC 7177553 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları .....	84
Tablo 26. KIC 7177553 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	84
Tablo 27. KIC 7339345 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları .....	86
Tablo 28. KIC 7339345 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	86
Tablo 29. KIC 7821010 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları .....	88
Tablo 30. KIC 7821010 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	89
Tablo 31. KIC 8081389 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları .....	90
Tablo 32. KIC 8081389 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	91
Tablo 33. KIC 8610483 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları .....	93
Tablo 34. KIC 8610483 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	93
Tablo 35. KIC 9159301 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları .....	95

Tablo 36. KIC 9159301 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	96
Tablo 37. KIC 9592145 sisteminin ışık eğrisi analizi sonuçları.....	97
Tablo 38. KIC 9592145 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	98
Tablo 39. KIC 10848807 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları.....	100
Tablo 40. KIC 10848807 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	100
Tablo 41. KIC 10916675 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları.....	102
Tablo 42. KIC 10916675 sisteminin temel fiziksel parametreleri.....	102
Tablo 43. ETV analizi yapılan sistemlerin bazı özellikleri .....	104
Tablo 44. ETV analizleri sonucunda hesaplanan ve elde edilen parametrelerin tanımları	105
Tablo 45. DP Leo sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	107
Tablo 46. HW Vir sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	109
Tablo 47. MXB 1658-298 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	111
Tablo 48. NN Ser sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	113
Tablo 49. NY Vir sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	115
Tablo 50. RR Cae sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler.....	117
Tablo 51. UZ For sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	119
Tablo 52. V1828 Aql sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	121
Tablo 53. KIC 3338660 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	122
Tablo 54. KIC 3440230 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	123
Tablo 55. KIC 4574310 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	125
Tablo 56. KIC 5621294 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	127
Tablo 57. KIC 7177553 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	129
Tablo 58. KIC 7339345 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	131
Tablo 59. KIC 7821010 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	133
Tablo 60. KIC 8081389 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	134
Tablo 61. KIC 8610483 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	136
Tablo 62. KIC 9159301 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	137
Tablo 63. KIC 9592145 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	139
Tablo 64. KIC 10848807 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	140
Tablo 65. KIC 10916675 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler .....	142
Tablo 66. Barınak yıldızların bazı genel özellikleri (Ek Tablo 1) tablosunda yer alan parametrelerin tanımları.....	143
Tablo 67. Barınak yıldızların temel fiziksel ve yörünge parametreleri (Ek Tablo 2) tablosunda yer alan parametrelerin tanımları.....	143
Tablo 68. Olası gezegenlerin temel fiziksel ve yörünge parametreleri (Ek Tablo 3) tablosunda yer alan parametrelerin tanımları.....	144

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Yer'den çok uzakta bulunan yıldızlar için tek bilgi kaynağımız merkezlerinde meydana gelen nükleer tepkimelerle üretilen ışıktır. Yıldızlardan Yer'e ulaşan ışığın gözlemlenmesinde evrenin büyüklüğü, yıldızların uzaklığı gibi bize zorluk çıkaracak durumlar var olsa da yıldızların sayıca fazlalığı ve çeşitliliği bu olumsuzluğu avantaja dönüştürmektedir. Bu çeşitliliğin astronomlar ve astrofizikçiler adına en yararlı örneği olarak değişen yıldızlar verilebilir. Değişen yıldız, görünür parlaklığı zamanla değişen yıldız olarak denmektedir. Yıldızın ışığında meydana gelen değişim, yıldızları tanımamız açısından iyi bir fırsattır.

Değişen yıldızların her bir sınıfı ve sınıfların tüm alt türleri yıldızların yapılarına ve evrimlerine ilişkin önemli bilgi kaynaklarıdır. Bu sınıflardan biri de karşılıklı çekim etkisiyle ortak kütle merkezi etrafındaki yörüngelerinde dolanan, gözlemcinin bakış doğrultusuna uygun olarak dönemli bir şekilde örtme ve örtülme olayı gösteren örten çift yıldızlardır. Görünür tüm yıldızların yaklaşık %46'sı birden fazla yıldızlı bileşen içermektedir (Tokovinin, 2014b). Dolayısıyla örten çift yıldızlar, tek yıldızlara oranla daha fazla bilgi edinmeleri açısından astrofizikçiler için oldukça önemlidir.

Gözlenebilir evrende yüz milyarlarca galaksi bulunmaktadır ve bizim de içinde bulunduğumuz galaksi gibi her bir galaksi yüz milyarlarca yıldız barındırmaktadır. Bu sınırsız yıldız okyanusuyla çevrelenmiş insanoğlu, kendi Güneş Sistemi'mizden başka gezegenli sistemlerin varlığı ve evrenin başka bir yerinde var olan yaşam olasılığı hakkında binlerce yıldır kafa yormaktadır. İlerleyen teknolojiyle birlikte gelişen yeni gözlem ekipmanları ve teknikleri sayesinde ancak günümüzde bu alana dair somut çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

1995 yılında Güneş Sistemi'miz dışında ve Güneş türü bir yıldızın etrafında dolanan bir gezegenin (51 Pegasi b) keşfiyle (Mayor ve Queloz, 1995) astronomi ve astrofizik çalışmalarında yeni bir çağ başlamıştır. Güneş Sistemi dışında bulunan gezegenlere "ötegezegen" (exoplanet ya da extrasolar planet), ötegezegene sahip olan yıldızda da "barınak yıldız" (host star) adı verilmiştir. Yıldızlar gibi kendi enerjileri üretip ışınım yapamayan gezegenlerin gözlenmeleri doğal olarak kolay değildir. Bu nedenle, modern teknolojiyle donatılmış Kepler (Batalha ve diğerleri, 2010; Borucki ve diğerleri, 2011), MOST (Walker ve diğerleri, 2003), CoRoT (Baglin, 2003), Pan-Starrs (Kaiser ve Team Pan-STARRS, 2002), Gaia (de Bruijne, 2012), TESS (Ricker ve diğerleri, 2015) ve LSST (Legacy Survey

of Space and Time [LSST]; Tyson, 2002), CHEOPS (Broeg ve diğeri, 2013; Fortier ve diğeri, 2014) gibi uzay ve yer tabanlı ileri düzey teleskoplar kullanılmaktadır. Gözlem tekniklerindeki büyük gelişmelerin yardımıyla 2020 yılı itibariyle keşfedilen ötegezegen sayısı 4000'i aşmıştır.

NASA tarafından gökadamızdaki yıldızların etrafında dolanan gezegenleri ışık ölçüm tekniğiyle araştırma amaçlı olarak tasarlanan Kepler uzay teleskobunun (kısaca *Kepler*) Kepler-16 örten çift yıldız sisteminde, sistemle birlikte ortak kütle merkezi etrafında dolanan bir gezegeni (Kepler-16 b) keşfetmesiyle (Doyle ve diğeri, 2011) çift yıldız çalışmaları yeni bir boyut kazanmıştır. Güneş Sistemi'mizden de alışkın olduğumuz tek yıldızın etrafında dolanan gezegenlerden farklı olarak çift yıldızın etrafında dolanan bir gezegenin varlığı, sistemlerin bilinen oluşum ve evrim teorilerinde yeni yaklaşımlar uygulanmasını zorunlu hale getirmiştir.

### **1.1. Örten Çift Yıldızlar**

Örten çift yıldızlar (Eclipsing Binary stars, EBs), ortak kütle merkezi etrafındaki yörüngelerinde dolanan iki yıldızın, gözlemciye göre birbirini önünden geçmesi sonucunda ışık eğrisinde (zamana veya evreye bağlı parlaklık grafiğinde) tutulmalar gösteren sistemlerdir. Tutulmalar nedeniyle sistemin parlaklığı dönemli olarak değişim gösterir. Genellikle sıcak olan bileşene birinci, baş veya ana bileşen, soğuk olan bileşene ise ikinci veya yoldaş bileşen denir. Büyük olan bileşenin yoldaşına göre daha sıcak olduğu varsayımıyla, soğuk olan bileşenin sıcak bileşenin önünden geçmesi örtme olarak tanımlanmıştır. Bu durumda sistemin toplam parlaklığı değişmekte ve değişim, ışık eğrisinde birinci minimum veya baş minimum adı verilen bir çukur olarak kendini göstermektedir. Tam tersi durumda ise yani sıcak bileşenin soğuk bileşenin önünden geçmesi örtülme olarak adlandırılır. Bu olay, ışık eğrisinde ikinci minimum veya yan minimum olarak ifade edilir.

Örten çift yıldız sistemleri yıldız astrofizikinde, yıldızların mutlak kütle, yarıçap, sıcaklık ve ısıtma değerlerinin hesaplanmasında temel yollardan birini sağlamaları açısından önemli bir rol üstlenirler. Ancak bu sistemlerin tümü gözlemcinin bakışı doğrultusunda tutulmalar gösterecek doğru düzlemde değildir ve bunun yanı sıra hepsi kolayca gözlemlenebilecek ve tespit edilecek kadar kısa dönemli değildir. Yine de mütevazı bir teleskopla yerden kolayca gözlemlenebilen ve nispeten kısa dönemli çok sayıda parlak örten çift yıldız sistemi vardır. Bu kolaylığı ve bilimsel faydaları nedeniyle örten çiftler tarihsel süreçte çok iyi çalışılmıştır. Ayrıca, çift sistemlerin yaklaşık %25'i (tüm sistemlerin %13'ü)

ikiden fazla bileşen içermektedir (Tokovinin, 2014b). Bununla birlikte Tokovinin kısa dönemli (dönemi 3 günden az) çift sistemlerin %60'ından fazlasının üçüncü bir bileşene sahip olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, bu tür sistemler çift yıldız sistemlerinin oluşum ve evrim teorilerinin sınanması açısından önemli bulunmaktadır.

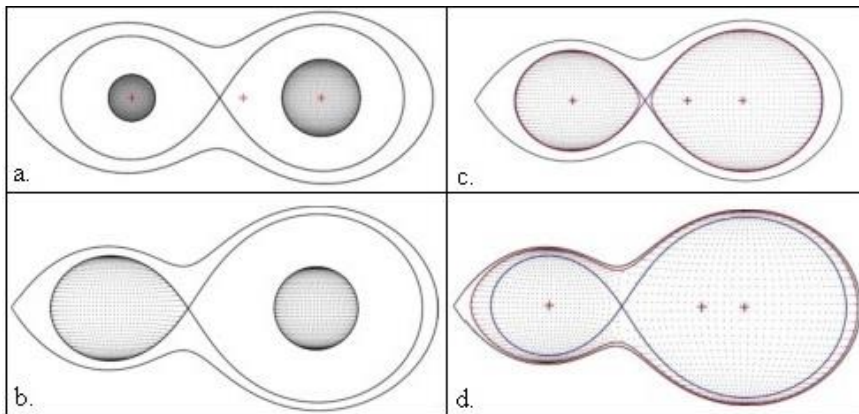
Çift yıldızlar gibi karmaşık ve gün geçtikçe var olan bilgilere bir yenisinin eklendiği, dahası yeni bilgilerin elde edildiği bir alanda sınıflandırma da konunun kendisi gibi biraz karmaşıktır. Örtün çift yıldızların sınıflandırılması temel olarak iki ölçütte yapılır.

- Roche modeline göre sınıflandırma
- Işık eğrisine göre sınıflandırma

### 1.1.1. Roche Modeline Göre Sınıflandırma

İsmi Fransız astronom ve matematikçi Édouard Roche'tan almıştır. Öncelikle yerin basıklığını ifade etmek için kullanılan model daha sonra çift yıldız sistemlerinin geometrisini anlayabilmek için uyarlanmıştır. Çembersel yörüngede ortak kütle merkezi etrafında dolanan iki kütleli oluşturduğu toplam çekim potansiyelini temel almaktadır. Bu modele göre üç tür sınıflama vardır.

- Ayrık çiftler: Hiçbir bileşen Roche şişimini doldurmamıştır. Dolayısıyla bileşenler arasında kütle aktarımı yoktur.
- Yarı-ayrık çiftler: Bileşenlerden yalnızca biri iç Roche şişimini doldurmuştur. Roche şişimini doldurmuş olan bileşen doldurmamış olana kütle aktarımı yapar.
- Değen çiftler: Bileşenlerin her ikisi de iç Roche şişimini doldurmuştur. Bileşenlerin her birinden akan maddeler zamanla bileşenlerin etrafını sarar. Bileşenler fiziksel olarak temas halindedir. Bileşenlerin etrafı akan maddeyle sarıldıkça sistem aşırı değen (over-contact) duruma evrimleşir.



Şekil 1. Roche modeline göre sınıflandırma örnekleri. Panellerde, ayrık tür (a), yarı-ayrık tür (b), değen tür (c) ve değen türlerin evrimleştiği aşırı değen durum (d) gösterilmiştir



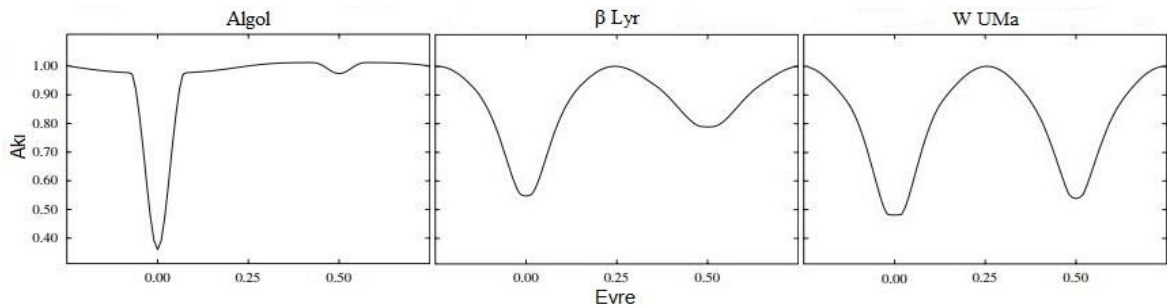
### 1.1.2. Işık Eğrisine Göre Sınıflandırma

Tutulmalarını gözlemlediğimiz örten çift yıldız sistemlerinin ışık eğrilerinde, bileşenlerinin birbirinden olan uzaklıkları karakteristik yapılar gösterir. Bu kendine özgü biçimi olan yapılara bakılarak ışık eğrisine göre üç farklı sınıflandırma yapılır. Şekil 2’de Algol,  $\beta$  Lyr ve W UMa türü sistemlerin ışık eğrisi örnekleri gösterilmiştir.

- Algol türü sistemler (EA): Işık eğrilerinde birinci (baş) minimumun başlangıç ve bitiş noktaları belirgin ve iki minimum arası parlaklıklar hemen hemen sabittir. İkinci (yan) minimum bazen çok sığ olduğundan fark edilemeyebilir. İlk örneği  $\beta$  Persei sistemidir ve “Algol” olarak bilinir. Tipik olarak sistemin dönemi ne kadar uzun olursa ışık eğrisindeki tutulma evresinin kesri de o kadar kısa olur.

- Beta Lyr türü sistemler (EB): Işık eğrilerinde minimumların başlangıç ve bitiş noktaları belirgin değildir. Minimumlar arasında, bileşenlerin farklı yüzey sıcaklıklarına sahip olmalarından dolayı değişimler vardır. Büyük çoğunluğunda ikinci minimum, birinci minimuma göre daha sığ olarak gözlenir. İlk örneği sınıfa ismini veren  $\beta$  Lyrae sistemidir. Dönemleri tipik olarak günlerle ölçülür, ancak bileşenlerin dev veya süperdev olması söz konusu olduğunda, süre çok daha uzun olabilir. Önemli olan, dönem uzunluğu veya sistemin ölçeği değil, yıldızların yörüngesinin boyutuna göre göreceli boyutudur. Işığın sürekli değişimi kısmen, klasik adıyla elipsoidal değişen olarak bilinen yıldızların dönerken değişen yönlerinden kaynaklanmaktadır.

- W UMa türü sistemler (EW): Işık eğrilerinden minimumların başlangıç ve bitiş noktaları tamamen belirsizdir. Birinci minimum ile ikinci minimum neredeyse eşit fakat nadiren tamamen özdeş görülür. Işık eğrilerinde sürekli bir parlaklık değişimi vardır. Dönemleri genel olarak bir günden kısadır. İlk örneği W Ursa Majoris sistemidir. Bu tür sistemlerin A ve W-tür olarak adlandırılan iki alt türü bulunmaktadır. A-türü sistemlerde büyük kütleli bileşen diğer bileşene göre daha büyük ve sıcaktır ancak W-türünde ise yine daha büyük fakat daha soğuktur. Ayrıca W UMa türü sistemler ışık eğrilerindeki maksimumlarında O’Connell etkisi denilen parlaklık farkı gösterebilirler.



Şekil 2. Algol,  $\beta$  Lyr ve W UMa türü örten çift yıldız sistemlerinin ışık eğrisi örnekleri

## 1.2. Örten Çift Yıldız Sistemlerinde Dönem Değişimi

Örten çift yıldız sistemlerinde yörünge dönemi, oldukça hassas bir şekilde belirlenebilen önemli bir parametredir. Bazı çift yıldızların dönemi, zamanla kendini tekrarlayan, döngüsel değişimler gösterebilir. Bileşenlerin dönme/dolanma hızlarındaki, kütle dağılımlarındaki vb. herhangi bir değişim sistemin dönemine yansır. Dolayısıyla dönemdeki değişimler sistemlerin bazı temel fiziksel özellikleriyle açıklanır.

Bir sistemin dönemi ışık eğrisi üzerindeki özdeş iki nokta arasında geçen süre hesaplanarak elde edilebilir. Işık eğrisinden dönemi belirlemek için eğrinin maksimum ve minimum olduğu noktalar kullanılır. Önemli olan aynı evreye denk gelecek özdeş noktaları belirlemektir. Bunun için büyük çoğunlukla daha keskin hatlara sahip olan ve karakteristik yapılarından dolayı ışık eğrisinde tutulmaları tanımlayan minimum noktaları tercih edilir. Böylece, dönemi belirlenen bir sistemin ışık eğrisinde minimum parlaklık gösterdiği belirlenmiş bir zamana, sistemin dönemi veya dönemleri eklenerek, sistemin ışık eğrisinde minimum parlaklık göstermesi beklenen diğer zamanlar hesaplanabilir. Ancak sistemin döneminde bir değişim varsa, hesaplanan minimum zamanı tam olarak olması gereken zamanda gerçekleşmez. Hesaplanan minimum zamanlarındaki bu değişimler, dönemdeki değişimin azalış ve artış durumuna bağlı olarak hesaplanan zamandan önce veya sonra gerçekleşecek şekilde kaymalar gösterir. Bu olgu ‘tutulma zamanındaki değişim’ (eclipse timing variation, ETV) olarak adlandırılır. Gözlenen (O, observed) ve hesaplanan (C, computed) minimum zamanları arasındaki fark, kısaca ‘O-C’ yöntemi (veya ETV yöntemi), örten çift yıldız sistemlerde dönem değişimine neden olan etkileri açıklamak için yaygın olarak kullanılır.

### 1.2.1. ETV Yöntemi

Sistemlerde görülen dönem değişimlerinin, zamana karşı sistemlerin tutulma zamanlarının değişimine yani ETV’ye bakılarak incelendiğini yukarıda belirttik. Literatürde O-C (Observed-Computed) değişimi şeklinde tanımlara da sıklıkla rastlamak mümkündür. O-C temelde, gözlenen bir değerden hesaplanan bir değer farkını ifade ettiği için dönem değişimi dışındaki alanlarda da kullanılabilir. Uzay teleskopları (özellikle *Kepler*) tarafından yapılan duyarlı gözlemler ve bunun sonucu olarak elde edilen duyarlı ışık eğrileri ve minimum zamanları sayesinde sistemlerdeki O-C değişimleri daha kapsamlı araştırılmaya başlanmıştır. Bu nedenle son yıllarda O-C değişimi yerine doğrudan ışık eğrisindeki tutulma zamanlarının gözlenen ve hesaplanan değerlerinin farkındaki değişimi ifade eden ‘ETV’ ifadesi kullanılmaktadır.

ETV yöntemi uygulanırken ışık eğrisindeki görülen tutulmaların zamanını ifade eden minimum zamanları kullanılır. Elde edilen O-C değerlerinin zamana veya çevrime (epoch,  $E$ ) karşı grafiği çizilip analiz edilerek dönem değişimine neden olan olası etkiler tanımlanabilmektedir.

ETV diyagramı çizilirken öncelikle ışık elemanları olarak adlandırılan bir referans zamanına (başlangıç zamanı,  $T_0$ ) ve sistemin dönemine ( $P$ ) ihtiyaç duyulur. Daha önce farklı yer ve zamanlarda yapılmış gözlemlerden elde edilen minimum zamanlarıyla, varsa yeni minimum zamanları birlikte işleme alınır. Zamanlarda kayma olup olmadığı, referans zamanı ölçü alınarak anlaşılır. Denklem 1.1'de minimum zamanının nasıl hesaplandığı gösterilmiştir.

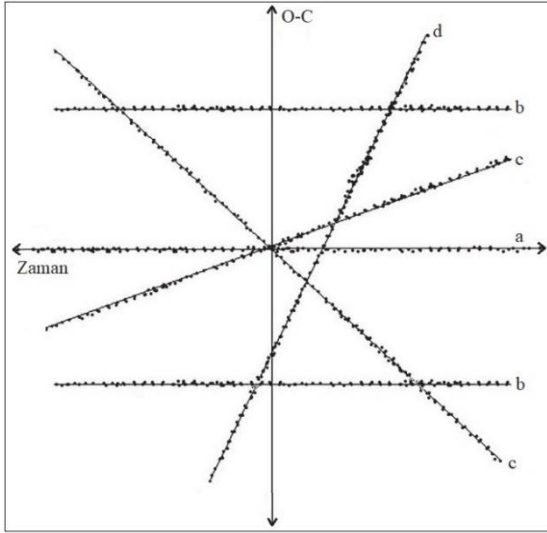
$$C = T_0 + EP \quad (1.1)$$

Burada  $C$ , hesaplanan minimum zamanını ve  $E$ , çevrim sayısını temsil etmektedir.  $E=1, 2, 3, \dots$  olacak şekilde tamsayı değerleri alır. Hesaplanan minimum zamanları, referans zamanına dönemin kat veya katları eklenerek, her bir gözlenen minimum zamanına hesaplanan bir tane minimum zamanı karşılık gelecek şekilde elde edilir. Referans zamanından sonra meydana gelen minimum zamanları için toplama işlemi yapılırken, önce meydana gelen minimum zamanları da çıkarma işlemiyle elde edilir. Eğer sistemin döneminde bir değişim yoksa gözlenen ve hesaplanan minimum zamanları farkı sıfır olacaktır. O-C farkı sıfır olmayan durumlar için dönem değişimi araştırılmalıdır.

O-C değerleri doğrudan dönemdeki değişimlerle ilişkili olduğundan en duyarlı ışık elemanlarının seçilmesi önemlidir. Işık elemanlarındaki hatalar, ETV eğrisinde doğrusal değişimler olarak kendini gösterir. Başka herhangi bir değişim olmadan sadece ışık elemanlarının ETV eğrisi üzerindeki etkilerine örnekler verelim. Şekil 3'te ETV eğrisinin sadece ışık elemanlarıyla doğrusal olarak nasıl değişim gösterdiği gösterilmiştir. Buna göre;

- a) ETV eğrisi zaman eksenini üzerindedir.  $T_0$  ve  $P$  doğrudur.
- b) ETV eğrisi zaman eksenine paralel bir şekilde yer değiştirmiştir. Bu durumda  $P$  doğrudur ancak  $T_0$  düzeltilmelidir. Eğri +y eksenini tarafındaysa  $T_0$  olması gereken gerçek değerinden küçük, -y eksenini tarafındaysa büyük alınmıştır.
- c) ETV eğrisi eğimli bir şekilde orijini kesmiştir. Pozitif eğimli kesimde  $P$  olması gerekenden kısa alınmıştır. Negatif eğim ile kestiğinde ise doğru olandan daha uzun bir  $P$  kullanılmıştır.

d) ETV eğrisi orijinden geçmeyecek şekilde eğimlidir. Bu durumda hem  $T_0$  hem de  $P$  hatalıdır. İkisinin de düzeltilmesi gerekir.



Şekil 3. Sadece ışık elemanlarının etkisiyle ETV eğrisindeki doğrusal değişimler

Şekil 3'te de görüldüğü gibi ışık elemanları ETV eğrisini doğrusal olarak etkilemektedir. 'a' durumu dışındaki durumlarda ışık elemanlarının en az bir tanesi hatalı kullanılmıştır. Bu hata veya hatalar düzeltildiği takdirde tüm O-C değerleri 'a' durumundaki gibi x ekseninde olacaktır.

### 1.2.2. Dönem Değişiminin Nedenleri

ETV eğrisinde ışık elemanlarındaki hatalar nedeniyle ortaya çıkan doğrusal değişimlerin hiçbiri gerçek bir dönem değişimini ifade etmez. Ancak bu etkiler giderildikten sonra ETV eğrisindeki değişimlere göre ETV'nin varlığı tartışılabilir. ETV, tutulmanın zamanını etkileyen zamana bağlı gerçek değişimler ve sonlu ışık hızının neden olduğu gerçek olmayan görünür değişimler olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Gerçek değişimlere kütle transferi, manyetik etkinlik ve çoklu sistemlerdeki dinamik etkiler, gerçek olmayan değişimlere ise eksen dönmesi ve çoklu sistemlerdeki ışık zaman gecikmesi (Light Travel Time Effect, LTTE veya LTE) en sık görülen örnekler olarak verilebilir.

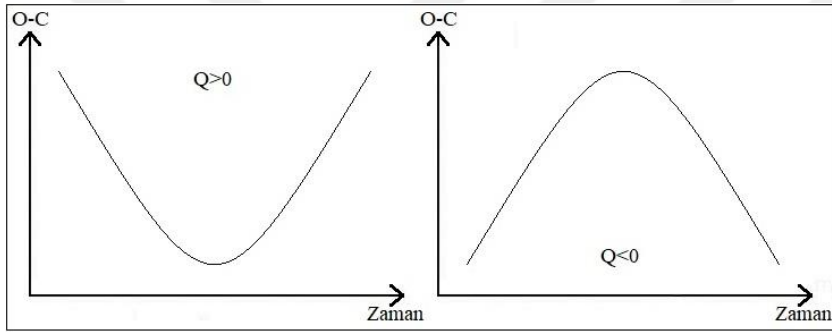
### Kütle Aktarımı

Bir bileşenin Roche şişimini doldurduğu bir yakın çift yıldız sisteminde bileşenler arasında kütle aktarımı meydana gelebilir. Bu da sistemin yörünge yarı-büyük eksen

uzunluğunda ve döneminde değişimlere neden olur ve ETV eğrisinde parabolik bir değişim oluşturur.

$$T = T_0 + EP + QE^2 \quad (1.2)$$

Denklem 1.2’de ışık elemanlarının yanına ‘ $Q$ ’ katsayılı terimin geldiği görülmektedir.  $Q$ , dönemin sürekli değişiminden türetilir. Kütle aktarımının yönü parabolün şeklini belirler. Kütle aktarımı büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru oluyorsa, dönem kısalmır ve  $Q$  negatif değerler alarak parabolün kolları aşağı yönelir. Eğer küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru kütle aktarımı varsa, dönem uzar ve  $Q$  pozitif değerler alarak parabolün kollarının yukarı yönlü olmasına neden olur. Kütle aktarımında parabolün aşağı ve yukarı olması durumu Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. ETV eğrisinde, kütle aktarımının etkisiyle  $Q$  katsayısının sıfırdan büyük ve küçük olma durumuna göre paraboldeki değişim

### Manyetik Etkinlik

Maceroni, Bianchini, Rodono, van’t Veer ve Vio (1990) geç tayf türünden yıldızlarda, manyetik etkinlik nedeniyle çevrimli değişimler meydana geldiğini göstermiştir. Applegate (1992) de çift sistemlerdeki bu çevrimli ve uzun dönemli yörünge dönemi değişimleriyle tanımlamıştır. Manyetik tork, aktivite döngüsü sırasında bir yıldızın dış katmanlarının bozulmasına neden olur ve bu da yıldızın basınlığında değişikliğe yol açarak dönme açısal momentumunda değişim meydana getirir. Dönme açısal momentumu, zamanla yörünge açısal momentumunu etkiler ve çiftin yörünge dönemi değişir. Bu durum ‘Applegate mekanizması’ olarak adlandırılır.

Çift sistemlerin yörüngeleri yıldızların şekillerine de bağlı olduğundan dönemindeki değişimler, aktivite döngüleriyle aynı zaman ölçeğinde gerçekleşecektir. Applegate (1992)’e göre ETV eğrisindeki genlik ( $A_{Applegate}$ ) ile yörünge dönem modülasyonu ( $P_{Applegate}$ ) arasındaki bağıntı şu şekildedir:

$$A_{Applegate} = \frac{\Delta P P_{Applegate}}{P} \frac{1}{2\pi} \quad (1.3)$$

$P_{Applegate}$ , aktivite çevrimine bağlıdır ve periyodik olmayabilir. Dolayısıyla ETV eğrisi düzensiz yapılar gösterebilmektedir. Applegate (1992), tutulma zamanını hesaplayan denklemi de şöyle açıklamıştır:

$$T = T_0 + EP + QE^2 + \frac{A_{Applegate}P}{2\pi v} \cos(PvE) \quad (1.4)$$

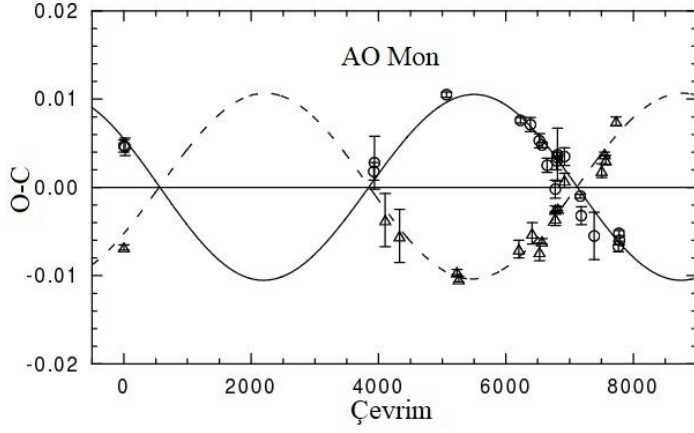
Burada,  $E$  çevrim sayısını göstermekte ve  $v=P_{Applegate}/2\pi$  biçiminde ifade edilmektedir.

### **Dinamik Etki**

Üçlü ve çoklu yıldız sistemlerdeki bileşenler ve sisteme çekimsel olarak bağlı cisimler yörüngelerinde dolanımları sırasında açılal momentum alışverişi yaparak birbirleriyle etkileşime girebilir. Yörüngelerinde meydana gelen bu düzensizlikler dönemlerini etkileyerek ETV'lere yol açar. Sistem, en dış yörünge itibariyle ne kadar küçük bir alana sahip ve ilave cisimler ne kadar büyük kütleliyse ETV de o denli büyük olur. Harrington (1968, 1969), Soderhjelm (1975, 1982), Mayer (1990), Borkovits ve diğerleri (2003, 2007, 2011, 2015, 2016), Rappaport ve diğerleri (2013), Hajdu ve diğerleri (2017) gibi birçok yayında dinamik etkiyi tanımlayan bağıntılar ve analitik ifadeler yer almaktadır. Bu konuyla ilgili matematiksel ifadeler Bölüm 3'te sunulmuştur.

### **Eksen Dönmesi**

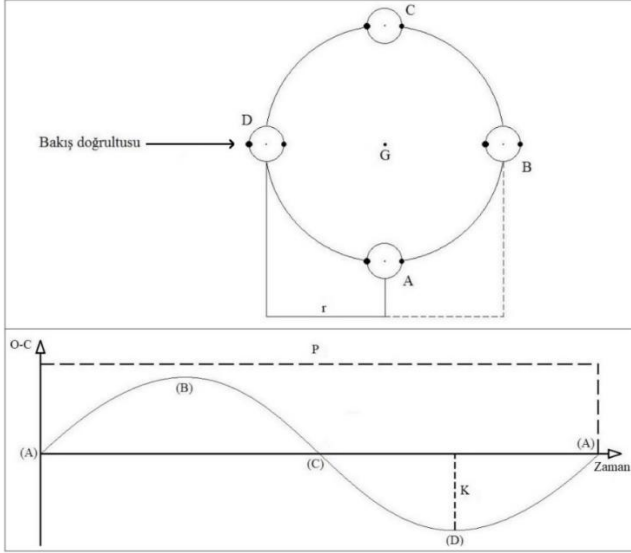
Elips yörüngeli yani dış merkezli sistemler, tutulma zamanlarının değişimine yol açan eksen dönmesi etkisine maruz kalabilirler. Eksen dönmesi gösteren çift sistemin ışık eğrisinde birinci ve ikinci minimum noktalarının arası eşit değildir. Sistemin eksen çizgisinin ve dolayısıyla enberi noktasının hareketi, birinci ve ikinci minimum zamanlarının ETV diyagramında eşit genliklerde ancak zıt fazlı sinüs benzeri eğriler meydana getirmesine neden olur. Çoğunlukla, dış merkezli yörüngeye sahip sistemlerin anakola ulaşmadan önce yörüngelerinin çemberleşmesi beklendiğinden, bu tür sistemlerin nispeten genç ve ayrık oldukları düşünülmektedir. Eksen dönmesiyle ilgili detaylı matematiksel ifadeler Gimenez ve Garcia-Pelayo (1983), Gimenez (1985) ve Claret ve Gimenez (1992) çalışmalarında verilmiştir. Şekil 5'te, AO Mon sisteminin ETV diyagramındaki eksen dönmesi gösterilmiştir (Wolf, Kucakova, Hynek ve Smelcer, 2010).



Şekil 5. AO Mon sisteminin ETV diyagramında eksen dönmesi. Yuvarlaklar birinci ve üçgenler ikinci minimum zamanlarını temsil etmektedir

### Üçüncü Cisim Etkisi

Çift sistemlere çekimsel olarak bağlı ilave cismin veya cisimlerin varlığında, çift sistem, sistemin diğer üyeleriyle birlikte ortak kütle merkezi etrafında dolanma hareketi yapar. Şekil 6'daki üst kısımda, çift sistemin ortak kütle merkezi ( $G$ ) etrafındaki çembersel yörünge hareketi gösterilmiştir. Buna göre sistem, gözlemciye  $r$  birim kadar yaklaşır ve uzaklaşır. Sistemin A noktasında elde edilmiş bir  $T_0$  değerini kullanarak, A'dan B'ye hareketi sırasında hesaplanan tutulma zamanları gecikmeye başlar ve B noktasında maksimum olur. Sistemin B'den C'ye doğru hareketinde ise tutulma zamanlarındaki gecikme giderek kaybolur ve C noktasında tutulma zamanı, olması gereken zamanda gözlenir. Benzer şekilde, sistemin C'den D'ye hareketi sırasında tutulma zamanları D noktasında maksimum düzeyde olacak şekilde hesaplanan zamandan daha erken gözlenir. Bunun nedeni sistemin gözlemciye göre toplamda  $2r$  kadar yer değiştirmesi ve dolayısıyla ışığın aldığı yolun değişmesidir. Şekil 6'daki alt kısımda, bahsedilen konumlarda elde edilen tutulma zamanlarının ETV eğrisi üzerindeki yerleri gösterilmiştir.



Şekil 6. Çift sistemin çember yörüngedeki dolanımı (üst kısım) ve ETV eğrisi (alt kısım).  $P$ , çiftin ortak kütle merkezi etrafındaki dönemi ve  $K$ , ETV eğrisinin genliğini temsil etmektedir

Sisteme ilave bir cisim nedeniyle çift yıldızın ışığının gözlemciye erken veya geç ulaşması durumu ‘ışık zaman etkisi’ (light travel time effect, LTTE) olarak adlandırılır. LTTE, birinci ve ikinci minimum zamanlarının ETV diyagramında aynı sinüs benzeri bir eğri üzerinde yer almalarına neden olur. Sinüs benzeri eğrinin dönemi, genliği ve şekli sırasıyla çift sistemin ortak kütle merkezi etrafındaki yörüngesinin dönemine, yarıbüyük eksen uzunluğuna ve şekline (dış merkezliğine) bağlıdır.

Önemli bir orandaki çift yıldız sistemlerinde, sisteme çekimsel olarak bağlı cisim veya cisimler olabileceği bilinmektedir (bkz. Bölüm 1.1). İlave bileşenler genellikle sönük olduklarından doğrudan gözlenmeleri oldukça zordur. Bu nedenle hâlâ tespit edilmemiş düşük kütleli ilave bileşene sahip birçok sistem olabilir. Ancak ETV yöntemi bileşenin görünürlüğüne bağlı olmadığından, görünmeyen düşük kütleli bileşenleri tespit etmek için etkili bir araçtır. Ayrıca unutulmamalıdır ki bu etkiler kendi başlarına görülebildiği gibi birlikte de görülebilirler. Örneğin parabolün üzerinde binmiş bir sinüs benzeri eğri veya eksen dönmesiyle birlikte üçüncü cisim etkisi ETV eğrisini birlikte etkileyebilir. Benzer şekilde üçüncü cisimden başka sisteme bağlı dördüncü ve daha fazla cismin olması durumunda ETV eğrisinde birbiri üzerine binmiş sinüs benzeri eğriler görülür. Bölüm 3’te, üçüncü cisim etkisi matematiksel ifadeleriyle birlikte daha detaylı anlatılmıştır.

Dönem değişimine neden olan diğer etkilere yıldızların paralaks ve öz hareket etkisi, Shklovskii etkisi, kütle merkezli ve enine hızlar örnek olarak verilebilir. Bu etkilerin ETV eğrilerinde görünürlüğü çok kısıtlıdır.



### 1.3. Ötegezegenler

Kendi yuvarlak mavi küremize benzeyen diğer dünyaların, özellikle de hayat dolu olanların varlığı, derin tarihsel ve kültürel kökleri olan ve uzun süredir devam eden bir merak konusudur. Zamanla edinilen bilgi birikimiyle gökbilimciler, gezegenli sistemlerin sanılandan daha çok sayıda olduğunun farkına varmış ve gezegenlerin belki de yıldız oluşumunun kaçınılmaz bir yan ürünü olabileceğinden şüphelenmişlerdir.

Bir gök cismini yıldız, gezegen, asteroid vb. şekilde adlandırabilmemiz için kendi türüne özgü belirli ölçütlere sahip olması gerekir. Uluslararası Astronomi Birliği (International Astronomy Union, IAU) 2006 yılında güneş sistemindeki gezegenler için yaptığı gezegen tanımı ölçütleri şunlardır:

- Buldukları sistemin yıldızı etrafında dönemli bir yörüngeye sahip olmalı,
- Yörüngelerini süpürmüş (temizlemiş) ve küresel yapıya sahip olmalı.

Önceleri kütle, gezegen tanımı için belirleyici ölçüt olmamasına karşın ötegezegenlerin keşfiyle zamanla sayılarının artması, kütleyi de tanımlayıcı bir ölçüt haline getirmiştir. Peki, bir gezegenin kütlesi en fazla ne kadar olabilir? Bu soruya yanıt ararken karşımıza iki farklı kütle sınırı değeri çıkar. Birincisi  $0,080 M_{\odot}$  ( $\sim 80 M_j$ ) değeridir. Bu ve üzeri kütleyle sahip cisimlere yıldız denir (Hayashi ve Nakano, 1963) ve merkezlerinde hidrojen atomunu ateşleyebilirler. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda bu sınır için farklı kütle değerleri (örneğin  $0,071 M_{\odot}$  değeri, Forbes ve Loeb, 2018) önerilse de günümüzde  $0,08 M_{\odot}$  değeri literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. İkinci sınır değerimiz ise  $0,013 M_{\odot}$  ( $\sim 13 M_j$ )'tir.  $13-80 M_j$  kütle aralığında bulunan cisimler kahverengi cüce olarak adlandırılmıştır. Yıldızaltı cisimler olarak da tanımlanan kahverengi cüceler merkezlerinde hidrojeni ateşleyemezler ancak onun yerine döteryumu ateşleyebilmek için yeterli kütleyle sahiptirler. Bu nedenle  $13 M_j$  merkezinde döteryum tepkimesi oluşturabilecek kütle alt sınırı (gezegen olabilme koşulu için üst sınır) olarak önerilmiştir. Dolayısıyla kahverengi cüceler yıldızlar için düşük kütle kısmını temsil ederken gezegenler için üst kütle sınırını tanımlar.  $\sim 13 M_j$  kütle alt sınırını önermiş çalışmalara Burrows ve diğerleri (1997) ( $13 M_j$ ), Chabrier ve diğerleri (2005) ( $12,5 M_j$ ) ve Saumon ve Marley (2008) ( $13,1 M_j - 12,4 M_j$ ) örnek olarak verilebilir. Uluslararası Astronomi Birliği de gezegen tanımını yaparken  $13 M_j$  değerini göz önünde bulundurmıştır.

Günümüzde sayılarının hızla artması ve çeşitliliği nedeniyle gezegenlerin nasıl oluştuğu ve evrimleştiğiyle ilgili çalışmalar da gelişmektedir. Döteryum tepkimelerinin başlaması için gerekli  $13 M_j$  alt sınırının belirlendiği çalışmalarda sisteme bağlı cismin oluşum senaryosu dikkate alınmamıştır. Son yıllarda yapılan bazı çalışmalarda gezegen

oluşum teorileri de dikkate alınarak farklı öneriler sunulmuştur. Bir cismin gezegen olabilmesi için kütlelerinin üst sınır değeri aralığı Udry ve diğerleri (2010) ve Sahlman ve diğerleri (2011) tarafından yapılan istatistiksel çalışmalarda sırasıyla 25–30  $M_j$  ve 25–45  $M_j$  olarak önerilmiştir. Bununla birlikte Hatzes ve Rauer (2015) kütle-yarıçap ve kütle-yoğunluk ilişkileriyle ilgili çalışmasında 60  $M_j$  üst sınırını ileri sürmüştür. Bir diğer çalışmada ise sisteme ilave cismin yine oluşum senaryosuna bağlı olarak (toz diskinde yığılma veya gaz bulutunda çökme) belirli şartlar altında gezegenlerin de döteryumu ateşleyebileceği ileri sürülmüştür (Bodenheimer, D'Angelo, Lissauer, Fortney ve Saumon, 2013).

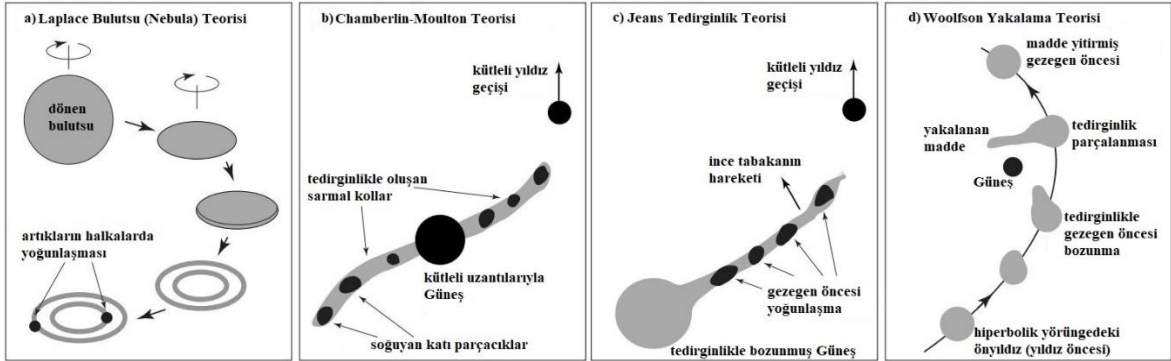
### **1.3.1. Gezegenlerin Oluşumu**

Güneş sisteminin başlangıç durumu, koşulları hâlâ büyük oranda bilinmemektedir. Ancak oluşumuyla ilgili bilimsel teoriler hakkında, ötegezegenler ve çevresindeki disklerin keşfinden ve hatta yıldız oluşumuyla öngezegen (gezegen öncesi, protoplanetary) disklerinin altında yatan mevcut teorilerin geliştirilmesinin öncesinden beri çalışmalar yapılmaktadır. Tarihsel süreçte gezegenlerin oluşumuyla ilgili farklı birçok model sunulmuştur.

### **Tarihsel Süreç**

Güneş sisteminin oluşumu hakkında üretilen farklı modellerin geçmişi 1734'te Emanuel Swedenborg'un, 1749'da Comte de Buffon'un ve 1755'te Immanuel Kant'ın çalışmalarına kadar uzanmaktadır. 1796'da Laplace gaz halindeki bulutların veya bulutsuların çekim etkisiyle yavaş yavaş dönerek çöktüğünü ve düzleştiğini ve sonunda yıldızların ve gezegenlerin oluştuğunu düşünmüştür. Chamberlin (1901) ve Moulton (1905) genç güneşin yakınından geçen büyük kütleli bir yıldızın ürettiği tedirginlik ile güneşte spiral kollar oluşturduğunu ve gezegenlerin bu kollardaki maddeyle meydana geldiğini önermiştir. Jeans (1917) çalışmasında büyük kütleli bir yıldızın geçişi sırasında spiral kolların yerine güneşten akan ince bir tabakanın olduğunu ve geçen yıldızın oluşturduğu tedirginlik nedeniyle gezegenlerin bu tabakanın içinde meydana gelen yoğunlaşmalarla üretildiğini söylemiştir. Woolfson (1964) tarafından yayınlanan teoride ise roller değişmiştir. Woolfson güneşin yakınından geçen hiperbolik yörüngeli bir önyıldızın olduğunu söylemiştir. Bu teoride gezegenlerin, güneşin yakınından geçen önyıldızda güneşin oluşturduğu tedirginlik nedeniyle güneş tarafından madde yakalanmasıyla meydana geldiği önerilmiştir. Şekil 7'de bu teorilerin betimlemeleri verilmiştir. Bunlara ek olarak, yıldız-güneş çarpışma teorisi (Jeffreys, 1929a, 1929b), Schmidt-Lyttleton bulut büyüme teorisi (Schmidt, 1945; Lyttleton,

1961), öngezegen türbülans-çarpışma süreci teorisi (McCrea, 1960, 1988), diğer Woolfson yakalama modelleri (Williams ve Woolfson, 1983; Dormand ve Woolfson, 1989; Woolfson, 2013, 2016) ve modern Laplace teoremi (Prentice, 1978a, 1978b) örnek verilebilir.



Şekil 7. Tarihsel süreçte güneş sisteminin oluşum teorileri

### Modern Görüş

Uzaydaki parçacıkların büyük çoğunluğu son derece küçüktür. Ancak bazı bölgelerde, bu parçacıkların yoğunluğu çevresine göre nispeten daha yüksektir. Bu bölgelere ‘moleküler bulutlar’ (moleküler bulutsular) denir. Moleküler bulutlardaki madde güçlü çekim etkisiyle birleşmeye başlar ve yoğunluk bir yıldız doğana kadar sürekli olarak artar.

Moleküler bulut çok büyük olmasına rağmen, sonuçta ortaya çıkan yıldızın boyutu çok küçüktür. Başlangıçta, dönme hızı çok küçüktür, ancak bulut yoğunlaştıkça dönme hızlanmaya başlar. Dönüş sırasında kolları gerilmiş bir patenci örneğindeki gibi kollar içeri çekilirse dönüş hızı artar. Moleküler bulut, her yönden kendi çekimi altında yoğunlaşır. Moleküler bulutun dönüş hızı arttıkça, merkezkaç kuvveti bulut üzerinde dikey dönüş eksenine dik olarak hareket eder ve dolayısıyla dönerken bir disk meydana getirir. Elde edilen formasyon ince disk şeklinde bir yapıdır. Bu, gezegen oluşumu için uygun ortam olan nispeten uzun ömürlü dairesel formasyona “öngezegen diski” (öngezegenimsi disk, gezegen öncesi disk, protoplanetary disk) denir. Gezegenler daha sonra öngezegen diski içinde doğarlar. Günümüzde gezegen oluşumunu açıklamak için iki model öne çıkmaktadır:

- Pıhtılaşma (merkezi yığılma) modeli,
- Çekimsel kararsızlık modeli.

### Pıhtılaşma (Merkezi Yığılma) Modeli

Pıhtılaşma modelinde, kayaç gezegenler ve dev gaz gezegenlerin çekirdeklerinin oluşumu sırasında katı maddenin toparlanması genellikle üç farklı aşamada gerçekleşir.

İlk aşamada öngezegen diskleri içinde soğumuş gazdan yoğunlaşan ağır elementlerin toz taneleri ve öngezegen bulutunda var olan madde çarpışarak yapışır. İşlem türbülans (çalkantı) ile hızlanır ve sonuçta santimetre ölçeğinde veya daha büyük ölçekli parçacıklar oluşur (Weidenschilling, 1977a; Armitage, 2010).

İkinci aşamada yoğunlaşma devam ederken metre ölçekli parçacıkların bir araya gelmesiyle günümüzde asteroidlere benzer büyük katı cisimler (planetesimals) oluşur. Ancak madde boyutundaki büyüme daha yıkıcı çarpışmaları neden olur ve bu da katı cisimlerin daha fazla büyümesini engelleyici bir etki meydana getirir (Weidenschilling, 1977a; Blum ve Wurm, 2008). Bu yıkıcılık nedeniyle parçacıkların çarpışarak buluttaki çalkantı içinde büyümesi sorunlu bir hale gelir ve bu durum, farklı büyüme senaryolarının göz önünde bulundurulmasını gerektirir. Küçük cisimlerin nerede ve nasıl bir araya geldiği, çalkantılı bir gaz diskiyle nasıl etkileşime girdiği ve çeşitli diğer koşulların altında yatan karmaşık fizik nedeniyle bu aşamanın ayrıntıları kısmen belirsizliğini korumaktadır. Buna ek olarak öngezegen diskinde gömülü metre ölçekli parçacıklar, etrafındaki gazla güçlü bir şekilde bağlanır ve tipik olarak  $10^3$  yıllık bir zaman diliminde merkezi yıldızla sürüklenir. Bu nedenle “metre engeli problemi” (meter-barrier problem) denilen, parçacıkları metre ölçeğinin ötesinde hızla büyütmek için bir mekanizma gerekliliği ortaya çıkar. Örneğin Boley, Moris ve Ford (2014) metre engeli problemi için, metre büyüklüğündeki cisimlerin yıldızla yaklaştıkça kısmen erimiş bir hale geleceklerinden, yapışkanlıklarını arttırarak daha fazla büyüme için olanak sağlayacakları fikrini ileri sürmüştür.

Çekim etkisinin baskın olduğu üçüncü “pıhtılaşma” aşaması kavramsal olarak daha açıktır. Katı cisimler fiziksel olarak çarpışmayla veya çekim etkisiyle yakalanarak bir araya gelmeye devam eder. Bu sürekli büyüme  $10^5$ – $10^6$  yıllık zaman ölçeğinde gezegen embriyosunu meydana getirir.

Özetle,

- Büyük bir gaz ve toz bulutunun çekimsel çöküşü bir önyıldızın ve etrafında dönen bir gaz ve toz diskinin oluşmasına yol açar. Bu diskte toz tanecikleri pıhtılaşarak küçük parçacıklar oluşturur.

- Bu parçacıkların birikmesi ve çarpışarak büyümesi daha büyük boyutlu katı cisimleri meydana getirir.

- Katı cisimler de büyüme devam ederek Ay, Mars boyutlarında gezegen embriyosu denilen öngezegen çekirdeklerini oluşturur.

- Son olarak embriyoların ve geri kalan katı cisimlerin kolektif büyümesi kayaç gezegenlerin oluşumuyla sonuçlanır. Embriyonun son kütesine ulaşır etrafındaki gazları

toplamaya devam ettiği oligarşik büyüme süreciyle de dev gaz gezegenler meydana gelir (Stökl, Dorfi, Johnstone ve Lammer, 2016).

### **Çekimsel Kararsızlık Modeli**

Çekimsel kararsızlık modelinde bulut soğudukça öngezen diskindeki toz parçacıkları orta düzleme yerleşerek çökmeye karşı eğilimli hale gelirler ve bu toz parçacıkları yığınlar haline geldikçe çekimsel kararsızlık meydana getirerek 100m ölçekli parçacıklar oluşturur (Goldreich ve Ward 1973). Bu süreç, çekimsel kararsızlık yoluyla her seferinde daha büyük katı cisimler oluşturacak şekilde tekrarlanır. Katı cisimlerin boyutları büyüdükçe daha fazla toz çarpışır ve büyüme hızlanarak artar. Bu hızlı büyüme süreci “kontROLSÜZ büyüme” (runaway growth) olarak adlandırılır. Büyüyen katı cisimler zamanla öngezeni oluşturur.

Bu model yıkıcı çarpışmaların, metre engeli probleminin üstesinden gelmesi ve  $10^3$  yıllık bir ölçekte dev gezegenlerin oluşmasını mümkün kılması açısından caziptir (Goldreich ve Ward, 1973; Armitage, 2007). Ancak pratikte çekimsel kararsızlık için toz parçacıklarının yüksek yoğunluklarda ve özellikle de çalkantılı disklerde toplanması çok zordur (Armitage, 2007).

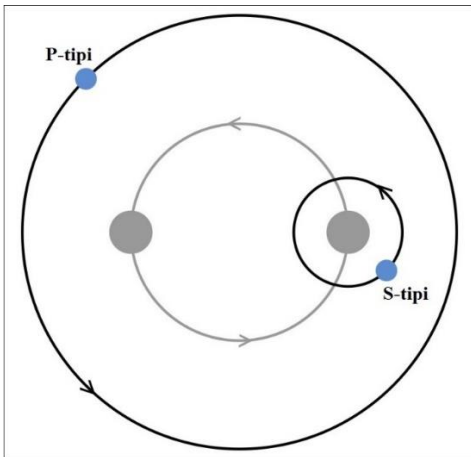
Bunlara ek olarak gezegen oluşumuna etki eden bir diğer faktör de kar ya da başka bir deyişle buz çizgisidir. Buz çizgisi, su, metan, karbondioksit gibi moleküllerin katı halde bulunabileceği sınır uzaklığını tanımlar. Katı kütle yoğunluğu, buz çizgisinin ötesinde çok daha fazladır. Örneğin Mars ve Jüpiter arasında yer alan asteroid kuşaağı gözlemleri, güneş sistemimiz için buz çizgisinin bu bölgede yer aldığını önermektedir. Asteroid kuşaağındaki diş astereoidler daha buzul iken iç kısımdakiler sudan yoksundur (Abe, Ohtani, Okuchi, Righter ve Drake, 2000; Morbidelli ve diğerleri, 2000). Bu çizginin ötesinde yer alan katı cisimler büyürken, katı haldeki ağır metalleri de yakalayıarak büyük kütleli bir gezegen çekirdeği oluşturabilir. Kütle büyüdükçe buluttaki gazları daha fazla tutmaya başlayarak dev gaz gezegenleri meydana getirir. Dolayısıyla buz çizgisi sınırı gezegenlerin yapısı için önemli bir rol oynar. Ayrıca Kepler uzay teleskobu tarafından keşfedilen bazı dev gezegenlerin, sistemlerinin buz çizgisinin iç kısmında yer aldığını belirlenmiştir. Bu durum için diskte oluşumları devam eden farklı öngezenler arasında devasa etkileşimlerin olabileceği, diş kısımdaki maddenin içeri sürüklenebileceği veya gezegenlerin göç etmesi gerektiği şeklinde açıklamalar yapılmıştır (Schlichting, 2014).

Bu senaryolar temelde güneş sisteminin oluşumunu açıklamak için önerilmiştir. Fakat fiziğin temel yasaları söz konusu olduğundan, makul olarak ötegezegenlerin oluşumunun da benzer olması beklenmektedir.

### Çift Yıldızların Etrafında Gezegen Oluşumu

Ötegezegenler, tek yıldızlı sistemlerde olduğu gibi çift yıldızlı sistemlerde de gözlenmiştir. Çift yıldızların kendisinde olduğu gibi sahip oldukları gezegenlerin de yörüngeleri, oluşumları vb. çeşitlilik gösterir. Çift yıldız sistemindeki bir gezegenin en yaygın şekilde temel olarak iki tip yörünge yapısı vardır. Gezegen, eğer sistemdeki yıldızlar yeterince ayrık ise birinin etrafında (S-tipi) veya birbirine yakın ise her iki bileşenin etrafında (P-tipi) dolanma hareketi yapar. Yörünge tipleri Şekil 8’de gösterilmiştir. S-tipi yörüngeli gezegenler circumstellar, circumprimary (birinci bileşenin etrafında) veya circumsecondary (ikinci bileşenin etrafında) gezegenler, p-tipi yörüngeli gezegenler circumbinary gezegenler (CBp, circumbinary planets) olarak adlandırılmıştır ve bu isimler literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tek bir yıldız etrafında dairesel yörüngelerde maddelerin birbiriyle etkileşime girerek istikrarlı bir madde birikme ortamı oluşurken, farklı dinamiğe sahip yakın çift yıldızların etrafında bu süreç biraz daha karmaşıktır. Dolayısıyla s-tipi ve p-tipi yörüngeli gezegenlerin oluşumu kısmi farklılıklar göstermektedir.

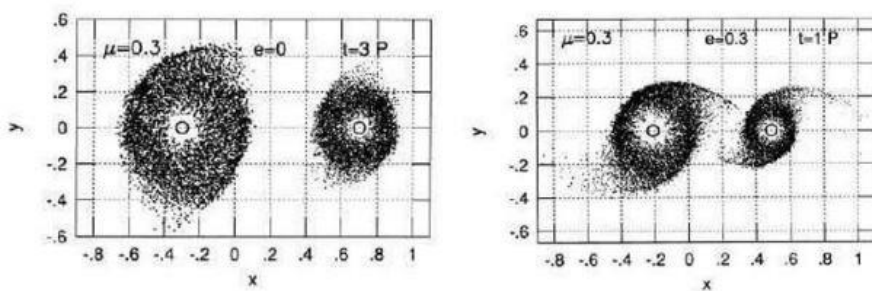


Şekil 8. Çift yıldızlarda gezegenlerin temel yörünge tipleri. Büyük noktalar çift yıldız sistemin bileşenlerini, küçük noktalar gezegenleri temsil etmektedir

S-tipi yörüngelerde yoldaş bileşen gezegen oluşumu sürecinde önemli bir etkiye sahiptir. Quintana, Adams, Lissauer ve Chambers (2007) tarafından yapılan çalışmada, yeterince ayrık çift sistemlerin gezegen oluşumunu büyük ölçüde etkilemediğini söylemiştir.

Bununla birlikte enberi uzaklığı 10 AB'den büyük çiftler, birinci bileşenin yaklaşık 2 AB kadar uzaklığında minimum etkiye sahipken, enberi noktası  $\leq 5$  AB olan çift sistemlerin birinci bileşen etrafında kayaç gezegen oluşumunu yaklaşık 1 AB ile sınırladığını belirtmiştir. Ayrıca bu çalışmada yapılan modellemelerle güneş tipi birinci bileşenler için yörünge dağılımları göz önüne alındığında %40 – %50 oranında çift sistemlerin, kayaç gezegen oluşumunun gerçekleşmesine izin vereceği tahmin edilmiştir.

Dış merkezli yörüngeye sahip yoldaş bileşenin diski keserek ve muhtemelen deforme ederek oluşum sürecinin çeşitli aşamalarında gezegen oluşumunu ve evrimini etkiler. Diskin kesilmesi, yoldaş bileşenin çekim etkisiyle esas olarak diskin dış kısmında etkilidir (Kley ve Nelson, 2010; Müller ve Kley, 2012). Circumbinary disk olması durumunda ise yoldaş bileşen diskin iç kenarı etkiler (Rafikov, 2013a). Bu kesme işlemi diskin ömrünü kısaltır ve sonuç olarak gaz halindeki gezegenlerin oluşma süresini sınırlar. Toz parçacıkların kilometre ölçekli katı cisimlere dönüşmesi sırasında yoldaş bileşen, katı cisimlerin yörüngelerinin şeklini ve yönünü değiştirebilir ve bu da gezegen oluşumunu durdurabilir (Thebault, 2011). S-tipi yörüngede diskin kesilmesi Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. S-tipi yörüngede diskin kesilmesi. Çift sistemin kütle oranı 0,3'tür. Sol tarafta dış merkezlik 0 iken yani çember yörüngede, sağ tarafta ise yörüngenin dış merkezliği 0,3 olduğunda diskin durumu gösterilmiştir (Artymowicz ve Lubow, 1994)

Bu konu hakkında kayda değer ilerlemelere rağmen, özellikle gezegen embriyolarını oluşturması beklenen kilometre boyutlu nesnelere büyüme aşamalarıyla ilgili birçok açık uçlu soru bulunmaktadır. Katı cisimlerin birbiriyle çarpışmalarının ürünleri olan yapılar, çarpışma hızlarına karşı oldukça duyarlıdır (Benz ve Asphaug, 1999). Çift yıldızlarda yüksek hızlı karşılıklı çarpışmalar, katı cisimlerin başarılı bir şekilde büyümesi yerine yüksek oranda bir bozulma olasılığına yol açar (Heppenheimer, 1978).

Gyergyovits, Eggl, Pilat-Lohinger ve Theis (2014) tarafından yapılan çalışmada, yoldaş bileşen tarafından uyarılan gaz diskinde, sıklıkla meydana gelen spiral yoğunluk dalgalarıyla öngezegenler arasındaki etkileşimin büyük ölçekli momentum ve enerji

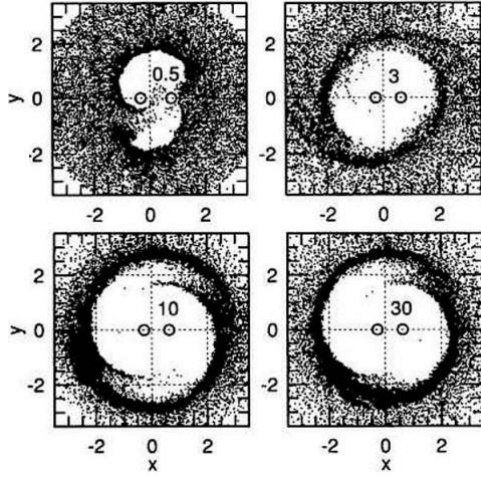
değişimine yol açtığı belirtilmiştir. Bu etkileşimler, öngezenlerin yarı-büyük eksen ve dış merkezlik değerlerini yükseltebilir ve böylece katı cisimlerin ve öngezenlerin toplanmasını ve birleşmesini engelleyebilir. Diskin kütle yoğunluğunun dış merkezliği ve enberi noktasının boylamı, diskin dinamik evriminde değişikliklere neden olur ve öngezenlerin hareketini etkileyebilir (Müller ve Kley, 2012). Bu durum, gezegen oluşumunu imkânsız kılabilir ya da gezegen oluşumunun diskten güçlü bir şekilde etkilenmediği uygun bir ortam sağlayabilir.

P-tipi yörüngeli gezegenin oluşumu da s-tipinde olduğu gibi teori geliştirmede benzersiz zorluklar sunmaktadır. Çift yıldız, yörünge dinamiklerini değiştirme, yoğunlaşma bölgelerini kısıtlama gibi çeşitli sorunlar ortaya çıkarabilir. Çiftin yörünge hareketi diskteki bozulmaları uyarır. Bu bozulmalar yörüngesel dış merkezliklerini ve dolayısıyla kısmen etki hızlarını arttırarak yıkıcı çarpışmalarla katı cisimlerin büyümesini engelleyebilir (Marzari, Thebault ve Scholl, 2009; Paardekooper, Leinhardt, Thebault ve Baruteau, 2012).

Moriwaki ve Nakagawa (2004) gazsız disklerde belirli koşullarda katı cisimlerin büyüebileceğini söylemiştir. Bununla birlikte, Quintana ve Lissauer (2006) tarafından yapılan çalışmada yine belirli koşullar altında çift sistemlerdeki gezegen oluşumunun tek yıldızlı sistemlerdekine benzer olabileceği belirtilmiştir. Circumbinary öngezen diskleri belirli bir ölçüğe sahiptir ve dolayısıyla artan bir yoğunlaşmanın olduğu daha kesin tanımlanan bir bölgeye sahip olacaktır (Artymowicz ve Lubow, 1994, 1996). Diskin iç sınırının kesin yeri kısmen çiftin yarı-büyük eksen uzunluğuna, dış merkezliğine ve kütle oranına bağlıdır. Şekil 10'da p-tipi yörüngede farklı dönemleri olan dört disk örneği gösterilmiştir.

Genel olarak çiftlerin etrafında gözlenen gezegenlerin o andaki yörüngelerine sonradan göç ettikleri düşünülmektedir. Buna göre gezegen, çift yıldızın etkisinin zayıf olduğu uzak mesafelerde oluşabilir. Diskten, gözlenen yerlerine göç etmeleri veya komşu gaz devleriyle saçılmaları gerekir (Pierens ve Nelson, 2008a). Yer kütleli cisimlerin disk torkları nedeniyle, disk yapısının gezegenin göç etmesinden etkilenmediği tip-1 göçlerine maruz kaldığı ve diskin iç kenarına yakın bir yerde durabileceği açıklanmıştır (Masset, D'Angelo ve Kley, 2006). Benzer şekilde Jüpiter kütleli (Jovian) gezegenlerin, disk yapısının gezegenin göç etmesinden etkilenerek gezegen etrafında bir boşluk oluşmasına neden olan tip-2 göçleriyle hareket ettiği belirtilmiştir (Nelson, 2003).





Şekil 10. P-tipi yörüngede diskin kesilmesi. Çiftin kütle oranı 0,3, yörüngesinin dış merkezliği 0,1'dir. Panellerin içindeki içi boş noktalar çift sistemi ve üzerlerindeki sayılar dönemlerini ifade etmektedir. x ve y eksenleri, yarı-büyük eksen uzunluğunun birimindedir (Artymowicz ve Lubow, 1994)

Oluşum mekanizmasına göçün dâhil edilmesiyle çift sistemlerde, gezegenlerin güçlü bir şekilde oluşabileceği ve hayatta kalabileceği bir ortam sağlandığı, yapılan simülasyonlarda ve çalışmalarda belirtilmiştir (Quintana ve Lissauer, 2006; Martin, Armitage ve Alexander, 2013; Pelupessy ve Portegies Zwart, 2013; Rafikov, 2013a, 2013b; Bromley ve Kenyon, 2015; Kostov ve diğerleri, 2016b).

Özetle, tek veya çift sistemlerde olsun gezegenlerin oluşum mekanizması/mekanizmaları hâlâ birçok bakımdan belirsizdir ancak gezegenlerin varlıklarının bu kadar çok ve çeşitli olabilmesi için bazı mekanizmaların mevcut olması gerekliliği bir gerçektir.

### 1.3.2. Ötegezegenlerin Keşfedilme Yöntemleri

Barınak yıldızlarından aldıkları ışığı yansıtan gezegenler yıldızlara oranla çok daha sönüktürler dolayısıyla gözlenmeleri ve keşfedilmeleri kolay değildir. İlk keşiften bu yana aradan geçen yaklaşık 25 yıl içinde ötegezegenlerin keşifleri için farklı teknikler geliştirilmiştir. Temel olarak kullanılan yöntemler şunlardır:

- Geçiş ışık değişimi
- Geçiş zamanı değişimi
- Dikine hız değişimi
- Mikromerceklenme
- Doğrudan görüntüleme
- Tutulma zamanı değişimi

## Geçiş Işık Değişimi

Geçiş, gözlemciye göre bir gezegenin, yıldızının önünden geçmesini ifade etmektedir. Gezegen barınak yıldızının önünden geçerken yıldızın yaydığı akının bir kısmını engeller. Çift yıldızlardaki örtme olayına benzer şekilde ışık eğrisinde çukurlar meydana getirir. Akıdaki değişim yıldızın ve gezegenin yarıçapıyla ilişkilidir (Denklem 1.5).

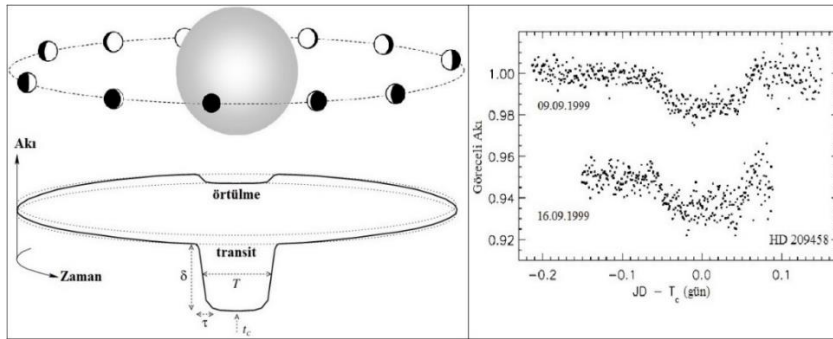
$$\frac{\Delta F}{F} \propto \left(\frac{r_p}{r_*}\right)^2 \quad (1.5)$$

Burada,  $F$  akıyı,  $r_p$  ve  $r_*$  sırasıyla gezegenin ve yıldızın yarıçaplarını temsil etmektedir. Buna ek olarak gezegenin geçiş olasılığı ( $P_t$ ) yarı-büyük eksenine ( $a$ ) ters orantılıdır:

$$P_t = \frac{r_*}{a} \quad (1.6)$$

Bu denklemlerden büyük ve kısa dönemli gezegenlerin daha fazla geçiş yapma olasılığı olduğunu görebiliriz. Geçiş yöntemiyle gezegenin yarıçapı ve dönemi belirlenebilir. Ayrıca gezegenin atmosferik özellikleri hakkında da bilgi edinmek mümkündür (Stevenson ve diğerleri, 2016).

Henry, Marcy, Butler ve Vogt (2000) ve Charbonneau, Brown, Latham ve Mayor (2000) yaptıkları bağımsız çalışmalarda ilk kez geçiş ışık değişimi yöntemini kullanarak bir gezegen keşfetmişlerdir (HD 209458). Şekil 11’de ilk keşfin ve geçişin meydana getirdiği ışık eğrisi görseli verilmiştir.



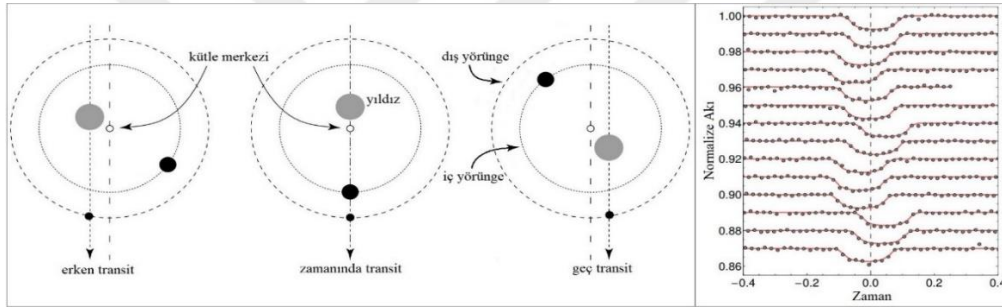
Şekil 11. Geçiş geometrisi görseli ve HD 209458 (V376 Peg) sisteminin ışık eğrisi (Charbonneau ve diğerleri, 2000)

Sol taraftaki sentetik ışık eğrisinde geçişin,  $\delta$  derinliğini,  $T$  süresini,  $\tau$  başlangıcını (ingress, benzer şekilde bitişini de egress olarak adlandırılır) ve  $t_c$  merkezini temsil etmektedir. Cisimlerin geometrisinden dolayı geçiş ışık eğrisinin şeklinin eşkenar yamuk olması

beklenir. Bu şekli etkileyen temel iki parametre gezegenin yörüngesinin eğimi ve barınak yıldızın kenar kararmasıdır.

### Geçiş Zamanı Değişimi

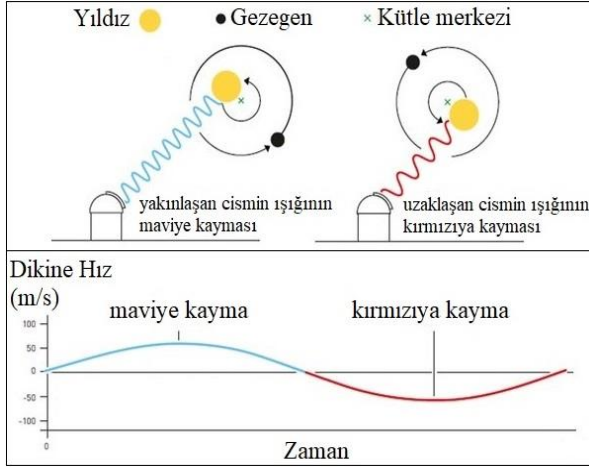
Geçiş zamanı değişimleri (TTVs) Kepler yörüngesinde dolanan bir gezegenin gerçekleşen ve gerçekleşmesi beklenen geçiş zamanlarındaki sapmaları tanımlar. Bir gezegenin geçişi, yörünge dönemiyle düzenli olarak meydana gelir. Sistemde, yoldaş yıldız, başka bir gezegen veya eşlik eden bir uydu gibi başka bir cisim daha varsa gezegen, Kepler yörüngesinde kalamaz ve geçişler düzensizleşir. Şekil 12’de geçişin nasıl meydana geldiğinin şematik anlatımı (sol kısım, Agol, Steffen, Sari ve Clarkson, 2005) ve TTV nedeniyle KOI-872 sisteminin ışık eğrisindeki değişim (sağ kısım, Nesvorny ve diğerleri, 2012) gösterilmiştir.



Şekil 12. Geçiş zamanı değişimi (TTV). Sol kısımda geçişin nasıl meydana geldiği ve sağ kısımda referans zamanına göre (dik kesikli çizgi) geçiş çukurunun değişimi gösterilmiştir

### Dikine Hız Değişimi

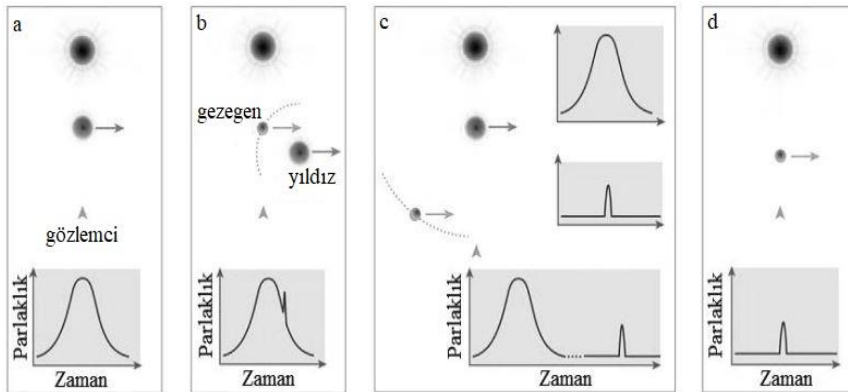
Etrafında gezegen barındıran bir yıldız, gezegen ile ortak kütle merkezi etrafındaki dolanımı sırasında yalpalama hareketi yapar. Gözlemcinin konumuna bağlı olarak yalpalamanın neden olduğu yıldızın ileri geri hareketi, yıldızın tayfında Doppler kaymalarına neden olur. Eğer yıldız gözlemciye doğru yaklaşıyorsa tayf çizgileri maviye doğru, gözlemciden uzaklaşıyorsa kırmızıya doğru kayar. Çift yıldızlardan farklı olarak gezegenin neden olduğu tayf çizgilerindeki kaymalar çok küçük şekilde kendini gösterir. Buna rağmen, günümüzde yapılan duyarlı gözlemlerle m/s mertebesinde değişimler gözlenebilmektedir. Şekil 13’te dikine hızın nasıl oluştuğu ve zamana karşı nasıl değiştiği gösterilmiştir.



Şekil 13. Dikine hızın görsel anlatımı (üst kısım). Dikine hız grafiğinde zamanla değişim (alt kısım)

### Mikromerçkleme

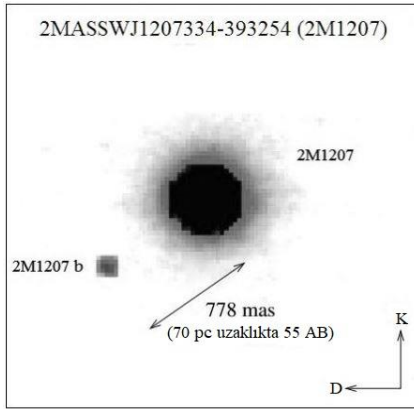
Genel görelilikte maddenin varlığı (enerji yoğunluğu) uzay-zamanı bozar ve sonuç olarak elektromanyetik radyasyonun hareketini etkiler. Gözlemciye göre belirli koşullar altında, arka plandaki uzak bir cisimden (kaynak) gelen ışınlar ön plandaki cismin (lens veya mercek) çekim etkisiyle bükülür. Mercek, kaynağın ışığını bükerek kaynağın bir veya birden fazla görüntüsü oluşturacak şekilde odaklar. Dolayısıyla kaynağın parlaklığını artmış gibi gösterir. Mercek bir gezegene sahip ise kaynağın parlaklığında merceğin kendi etkisine ek olarak gezegenin de etkisi ani bir artış olarak görülür. Şekil 14'te, a kısmında mercek yıldızın kaynağın ışığını odaklayarak daha parlak hale getirdiği, b kısmında mercek olarak bir yıldız ve gezegenin olduğunu ve gezegenin neden olduğu merceklemeye etkisinin kendini ani bir parlaklık artışı olarak gösterdiği, c kısmında barınak yıldızına uzaklığı nedeniyle gezegenin neden olduğu ani parlaklık artışının barınak yıldızından farklı bir konumda olduğu ve d kısmında sadece gezegenin neden olduğu merceklemeye etkisini görülmektedir.



Şekil 14. Mikromerçkleme etkisi ve parlaklık değişimleri (Sumi ve diğerleri, 2011)

## Doğrudan Görüntüleme

Astronomi’de görüntüleme genellikle ışığın noktasal kaynak olarak belirlenmesi olarak ifade edilir. Ötegezegen araştırmalarında doğrudan görüntüleme de prensip olarak, gezegenin ya barınak yıldızdan aldığı ışığı yansıtmasıyla ya da kendi termal emisyonundan ışık yaymasıyla doğrudan gözlenmesidir. Bu teknikte gözlenen yıldız maskelenelerek etrafındaki gezegenin belirgin hale gelmesi sağlanır. Şekil 15’te doğrudan görüntülenen ilk ötegezegen olan 2M1207 b’nin (Chauvin ve diğeri, 2004) görüntüsü verilmiştir.



Şekil 15. 2M1207 sisteminin görüntüsü (Chauvin ve diğeri, 2004)

## Tutulma Zamanı Değişimi

Çift sistemlerin tutulma zamanlarındaki değişimleri araştırarak gezegen kütleli bir cismin varlığını bulmayı hedefler (bkz. Bölüm 1.2.1). Çift sisteme çekimsel olarak bağı üçüncü bir cismin varlığında çift, ortak kütle merkezi etrafında dolanırken çiftin tutulma zamanları periyodik olarak değişim gösterir. Burada önemli olan bu değişime neden olan üçüncü cismin gezegen kütleli olmasıdır. Sisteme bağı birden fazla cismin olması durumu da aynı şekilde araştırılabilir. Bu yöntemdeki en kısıtlayıcı etken, gezegen kütleli cisimlerin ETV eğrisine saniyeler mertebesinde etki etmesi ve yüksek duyarlılıkla yapılan gözlemler gerektirmesidir. Tutulma zamanı değişimiyle ilgili detaylı matematiksel ifadeler Bölüm 3’te değinilecektir.

Yukarıda anlatılan ötegezegen keşfedilme yöntemlerinin dışında astrometri, atarca zamanı değişimi, pulsar zamanı değişimi, yörüngesel parlaklık modülasyonu ve disk kinematiği yöntemi de bulunmaktadır. Tablo 1’de keşfedilme yöntemlerine göre ötegezegenlerin sayısı verilmiştir. Kataloglarda, gezegen olabilme ölçütleri için farklı kaynaklar temel alınabildiğinden keşfedilen ötegezegen sayıları kataloglara göre farklılıklar gösterebilir.

Tablo 1  
Keşfedilme yöntemlerine göre ötegezegen sayıları

Keşfedilme Yöntemi	Ötegezegen Sayısı
Astrometri	1
Doğrudan görüntüleme	51
Dikine hız	826
Geçiş ışık değişimi	3294
Geçiş zamanı değişimi	21
Tutulma zamanı değişimi	16
Mikromerçekleme	106
Atarca zamanı değişimi	7
Zonklama zamanı değişimi	2
Yörüngesel parlaklık modülasyonu	6
Disk kinematikleri	1
Toplam	4331

Not. Kaynak: [https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/counts\\_detail.html](https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/counts_detail.html) (erişim Ocak, 2021)

#### 1.4. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının temel amacı özetle, tutulma zamanı değişimi gösteren çift yıldız sistemlerinde bulunan CBp'lerin yörünge ve fiziksel parametrelerini en duyarlı biçimde hesaplamaktır. Gezegenlerle yapılan çalışmalarda duyarlılık oldukça önemlidir. Çift sistemlerin tutulma zamanlarında gezegenlerin neden olduğu saniye ölçeğindeki değişimleri fark edebilmek için duyarlı bir şekilde yapılan gözlemlere, hesaplamalara ve analizlere ihtiyaç vardır. Bu nedenle çalışmadaki tüm adımlarda duyarlılığa önemli ölçüde dikkat edilmiştir.

Tez çalışmasında, örten çift yıldız sistemleri etrafında p-tipi yörüngede dolanan 80 Mj kütlelerinin altında bir bileşene sahip olan ve ETV diyagramlarında üçüncü cisim etkisi gösteren sistemler incelenmiştir. HW Vir (ÇOMÜG) ve V1828 Aql (TUG, ÇOMÜG) gözlemleri yapılmış ve ışık eğrileri elde edilmiştir. Bunlara ek olarak analizlerde *Kepler* tarafından elde edilen ışık eğrileri kullanılmıştır. *Kepler*'in atmosfer etkilerine maruz kalmadan yaptığı gözlemlerden sistemlerin tutulma zamanlarının duyarlı hesaplanması oldukça önemlidir. Bunun için Python programlama dilinde sistemlerin tutulma zamanlarını hesaplayan bir kod yazılmıştır. Benzer şekilde ışık eğrilerinde, tutulma zamanlarını etkileyen belirgin yansıma, zonklama, leke vb. etkilerin giderilmesi de önemlidir. Bu etkiler ışık eğrilerinden Python dilinde yazılmış bir algoritma yardımıyla giderilmiştir. ETV diyagramlarında dinamik etkinin belirgin olduğu KIC 7177553, KIC 7821010 ve KIC 8610483 sistemlerinin analizleri yapılmıştır. Dönem analizinde dinamik etkiyi hesaba katan yayınlanmış bir kod bulunmaması nedeniyle ön planda Python ve arka planda C

programlama dillerini kullanan kapsamlı yeni bir ETV analizi kodu yazılmıştır. Bu kod, dinamik etkiyi de hesaplayabilen ülkemizde yazılan ilk ve tek programdır.

Analizler, literatürdeki en güncel verilerin yardımıyla yapılmıştır. Böylece çift yıldızların etrafında yörünge hareketi yapan gezegen veya gezegen adayı cisimlerin kütle ve yörünge parametreleri ETV yöntemi kullanılarak en duyarlı şekilde hesaplanmıştır. Ayrıca barınak yıldızlarıyla ilgili parametrelerde ışık eğrisi analizleriyle elde edilmiştir. Sistemlerle ilgili hesaplanan parametrelerle birlikte literatürden toplanan diğer bilgiler toplanarak bir katalog oluşturulmuştur. Elde edilen parametreler kullanılarak CBp'lerin anlaşılması ve varsa genel çıkarımların elde edilmesi amaçlanmıştır.



## BÖLÜM 2

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

#### 2.1. P-tipi Yörüngeli (Circumbinary) Gezegenler

Ötegezegenlerin, tek bir yıldızın etrafındaki dolanabildiği gibi bir çift sistemin etrafında da dolanabildiğini (p-tipi yörünge) ve bu tür gezegenlerin circumbinary gezegenler (CBp) olarak adlandırıldığını önceki bölümde belirtmiştik. Thorsett, Arzoumanian ve Taylor (1993) bir pulsar ve beyaz cüce bileşenden oluşan PSR B1620-26 sistemi etrafında gezegen olabileceğini söyleyerek ilk CBp çalışmasını yapmışlardır. Teknolojik gelişmelerle ancak 2003 yılında Sigurdsson, Richer, Hansen, Stairs ve Thorsett tarafından bu sisteme çekimsel olarak bağlı kütleli gezegen olduğunun kanıtları sunulmuştur. Bunlara ek olarak Correia ve diğerleri (2005) tarafından yapılan çalışmada ilk kez güneş türü bir anakol yıldızı ve kahverengi cüce bileşenden oluşan HD 202206 sistemi etrafında bir CBp keşfedilmiştir. Doyle ve diğerleri (2011) tarafından, *Kepler* verileri kullanılarak yapılan çalışmada, ayrık bir sistem olan Kepler-16'nın yörüngesinde geçiş yapan yer benzeri bir gezegen bulunmuştur. Yüksek duyarlılığa sahip uzay teleskoplarının kullanılmasıyla CBp'lerin sayısı hızla artmaktadır.

CBp'ler yörüngesinde oldukları sistemin adının yanına 'b' harfinden başlayacak şekilde küçük harf eklenerek adlandırılırlar. Örneğin Kepler-16 sisteminin gezegeni Kepler-16 b olarak isimlendirilmektedir. Eğer daha sonra sistemde başka gezegen veya gezegenlerin keşfedilmesi durumunda, adlandırma c, d vb. şeklinde devam eder. Bir sistemde aynı anda birden fazla gezegen keşfi yapılması durumunda ise sisteme yakın olan gezegene alfabede önce gelen harfin adı verilerek sistemdeki tüm gezegenler adlandırılır. Örneğin Orosz ve diğerleri (2012a) tarafından Kepler-47 sisteminde keşfedilen ilk gezegenler, sisteme olan uzaklıklarına göre Kepler-47 b ve Kepler-47 c olarak adlandırılmıştır. Daha sonra Orosz ve diğerleri (2019) yaptıkları yeni bir çalışmada bu sisteme ait başka bir gezegen daha olduğunu söylemişlerdir. Yeni bulunan gezegenin yörüngesi, diğer iki gezegenin yörüngelerinin arasında yer alıyor olsa da sonradan keşfedildiği için Kepler-47 d olarak adlandırılmıştır.

Ötegezegen keşifleri çoğunlukla dikine hız ve geçiş ışık değişimi yöntemleriyle yapılmaktadır. Üçlü (veya çoklu) sistemin ortak kütle merkezi etrafında dolanan gezegen çift sistemin tutulma zamanlarının dönemli değişimine neden olduğundan, CBp keşiflerinde dikine hız ve geçiş ışık değişimi yöntemine ek olarak tutulma zamanı değişimleri yöntemi de sıklıkla kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak doğrudan görüntüleme, mikromerceklemeye ve atarca zamanlaması yöntemleriyle de CBp keşifleri yapılmıştır.



## 2.2. Barınak (Konak) Yıldızlar

Ötegezegenlerin etrafında dolandıkları barınak (konak, host) yıldız veya yıldızların özellikleri yıldız evrim modelleri bağlamında yorumlanan ışıkölçümsel (fotometrik), tayfsal (spektroskopik) ve astrometrik gözlemlerin kombinasyonlarıyla türetilir. Gezegenlerin, Güneş gibi anakol türünden yıldızların yanı sıra artık dev yıldızlar, düşük kütleli M tayf türü cüceler, sıcak altcüceler de dâhil zonklayan yıldızlar,  $\delta$  Scu türü değişenler, atarcılar ve beyaz cüceler gibi çok çeşitli yıldız türlerinin etrafında bulunduğu bilinmektedir. Bunlara ek olarak çift yıldızların etrafında, p-tipi ve s-tipi yörüngelerde dolandığı görülmektedir.

Yıldızlar hakkında bildiklerimizin çoğu örten çift yıldız sistemlerinin gözlemlerinden ve modellemelerinden gelir. Gezegenli çift yıldız sistemlerinde de durum benzerdir. Çift sistemin gözlemlerinin yorumlarıyla barınak yıldızların temel parametreleri elde edilebilir. Ayrıca gezegen oluşumuyla ilgili koşulların ve bağımlılıkların daha iyi anlaşılması sağlar ve farklı senaryolar üretilmesine yardımcı olur.

Sistemlerin adlandırılması gezegenlerle benzer şekilde yapılmaktadır. Sistemdeki bileşenler, alfabedeki harf sırası gözetilerek büyük harfle olacak şekilde bileşenin parlaklığına göre 'A' harfinden başlayarak isimlendirilir. Böylece sadece isme bakarak araştırılan sistemin türü hakkında bilgi edinilebilir. Örneğin, Kepler-10 c isminden bu sistemin tek yıldız ve en az iki gezegene sahip olduğu anlaşılabilir. Kepler-296 A b isimli bir gezegenin ise en az iki bileşenli bir sistemde yer aldığı ve parlak olan bileşen etrafında yani s-tipi yörüngede dolandığı söylenebilir. Kepler-16 AB b isimlendirmesiyle de gezegenin çift sistemin etrafında p-tipi yörüngede dolandığı belirtilmiştir. İsimlendirme bazı durumlarda daha karmaşık bir hal alabilir. Örneğin iki çift yıldız sistemine sahip olan PH-1 (Kepler-64) dördü bir sistemdir (Schwamb ve diğerleri, 2013). Sistemlerin bileşenleri, A, B, C ve D olarak adlandırılabilirdiği gibi çift sistemleri büyük harfle ve bileşenlerini küçük harfle adlandırılacak şekilde harfler birleşik yazılarak da belirtilebilir. Örneğin PH-1 Aa, PH-1 Ab ve PH-1 Ba, PH-1 Bb gibi. Bu isimlendirme şekilleri circumbinary sistemler için kataloglarda sıklıkla kullanılsa da literatürde Kepler-16 b, PH-1 b vb. olarak geçtiği ve sistemin özelliğinin ayrıca belirtildiği durumlara rastlanabilir.

## 2.3. Ötegezegen Türleri ve Sınıflandırma

İçinde yer aldığımız Güneş Sistemi'nde bulunan 8+1 (Pluto) gezegeni temelde kayaç ve gaz olarak iki gruba ayırsak da aslında birbirinden çok farklı yapılarda ve özelliklerde olduğu bilinmektedir. Bu iki ana grup, 4000'i geçen sayısı ile ötegezegenlerin türlerini belirtmek için de kullanılmakta ancak gezegenin özelliğinin tam olarak anlaşılması için

yeterli olmamaktadır. Gezegenlerin sınıflandırılması genel olarak kütlelerine, yörüngelerine ve fiziksel ve kimyasal kompozisyonlarına göre 3 ana başlıkta yapılır. Bunlara kısaca değinelim.

Gezegenlerin kütlelerine göre sınıflandırılmasında kütle aralıkları kaynaklara göre farklılık gösterse de bu sınıflandırma literatürde sıklıkla kullanılır. Kayaç gezegenlerin yaşanabilir bölgede yaşam oluşabilmesi için uygun atmosfere sahip olabileceği düşünülmektedir. Tablo 2’de gezegenlerin kütlelerine göre sınıflandırılmasıyla ilgili temel özellikler verilmiştir.

Yörüngeye göre sınıflandırmada adından da anlaşılacağı üzere gezegenin yörüngesi baz alınır. Birkaç örnek vermek gerekirse; bu tezin de konusu olan çift sistemlerin çevresinde dolanan gezegenler için “CBp”, Jüpiter kütleli ve barınak yıldızına olan yakınlığından dolayı yüksek yüzey sıcaklığına sahip gezegenler için “sıcak Jüpiter”, yıldızlararası ortamda barınak yıldızına sahip olmadan doğrudan galaksinin kütle merkezi etrafında dolanan gezegenler için “rogue gezegen” vb. tanımlamaları yapılır.

Kompozisyonlarına göre sınıflandırmada ise gözlemsel ve teorik çalışmaların yardımıyla gezegenler karbon, helyum, demir, çekirdeksiz, çöl, buz, okyanus vb. gezegen şeklinde, fiziksel ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılır.

Gezegenleri sınıflandırmadan özetle anlaşılması gereken gezegenin özelliğidir. Doğal olarak bir gezegen, birden fazla özelliği bir arada gösterebilir. Bu durumlarda, yapılan çalışmada gezegenin hangi özelliği vurgulanmak isteniyorsa o özelliğe yönelik tür ismi kullanılmaktadır.

Tablo 2  
Gezegenlerin kütlelerine göre sınıflandırılması

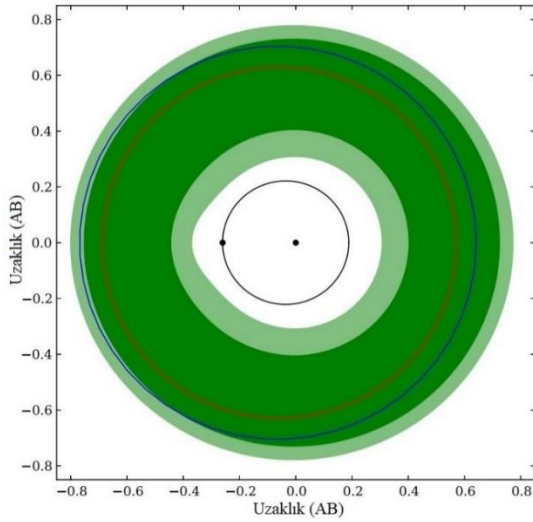
Tür	Kütle aralığı ( $M_{\oplus}$ )	Atmosfer <sup>a</sup>
Asteroid benzeri (Asteroidian)	0 – 0,00001	Yok
Merkür benzeri (Mercurian)	0,00001 – 0,1	Soğuk bölgede uygun
Altkayaç (Subterran)	0,1 – 0,5	HZ’nin dış sınırında uygun
Kayaç (Terran)	0,5 – 2,0	HZ’de uygun
Süperkayaç (Superterran)	2 – 10	HZ’de yoğun
Neptün benzeri (Neptunian)	10 – 50	Sıcak bölgede yoğun
Jüpiter benzeri (Jovian)	50 – 5000	Sıcak bölgede çok yoğun

*a.* Gezegenlerin bulunduğu bölgeye göre sahip olabileceği atmosfer yoğunluğu belirtilmiştir. Sıcak ve soğuk bölgeler yıldızın göre sırasıyla buz çizgisini de içine alan yaşanabilir bölgeden (habitable zone, HZ) yakın ve uzak bölgelerdir (Stern ve Levison, 2002)

## 2.4. Yaşanabilir Bölge

Şimdiye kadar ötegezegen keşifleriyle gezegenler, yıldızlar ve yıldız sistemleri hakkında ufuk açıcı, yeni birçok gelişme ortaya çıkmıştır. Keşiflerin asıl amaçlarından biri de canlılığın var olabileceği gezegenlerin bulunmasıdır. Canlılığın var olabilmesi için kayda değer miktarda suyun sıvı halde gezegenin yüzeyinde bulunması çok önemlidir. Bunun için de gezegenin yörünge parametrelerinin, yüzey sıcaklığının ve ikliminin, barınak yıldızın/yıldızların sıcaklığının vb. tam olarak uygun şartlarda olması gerekir. Barınak yıldızın veya yıldızların etrafında dolanan bir gezegenin, yaşam olasılığı için uygun şartlar oluşabilecek yörünge alanına yaşanabilir bölge (habitable zone, HZ) denir. Yer benzeri gezegenleri tespit etmek için gereken çaba ve gözlemsel kaynaklar dikkate alındığında, teoride bile olsa öncelikle yaşanabilir bölgede gezegene sahip olan veya olabilecek sistemlerin araştırılması arzulanır.

Kasting, Whitmire ve Reynolds (1993) tarafından önerildiği gibi HZ kavramı, yaşam barındırabilecek sistemlerin tespiti için güçlü bir araçtır. Yer benzeri bir gezegen olan Kepler-16 b'nin keşfiyle, çift sistemlerdeki HZ sınırlarının nasıl hesaplanacağı ve tek yıldızların etrafındaki HZ ile ne kadar benzer oldukları araştırılmaya başlanmıştır. Kopparapu ve diğerleri (2013) ve Kopparapu (2013) detaylı bir şekilde Güneş'in HZ modelini geliştirerek yıldızların belirli sıcaklık aralığında HZ modellerini hesaplamıştır. Haghhighipour ve Kaltenegger (2013), temel aldığı Kopparapu'nun modelini, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub> atmosfer varsayımıyla yer benzeri gezegenler için p-tipi yörüngeli sistemlere uygulamıştır. Şekil 16'da birinci bileşen kütle merkezine yerleştirilmiş ve ikinci bileşen onun etrafında dolanacak şekilde Kepler-16 sisteminde HZ gösterilmiştir (Haghhighipour ve Kaltenegger, 2013). Açık yeşil renkle gösterilen deneysel HZ, Mars ve Venüs için HZ hesaplamasında kullanılan parametreler ile hesaplanmıştır.



Şekil 16. Kepler-16 sisteminde HZ. Koyu yeşil alan hesaplanan, açık yeşil alan deneysel yaşanabilir bölgeyi ifade eder. Mavi çizgili yörünge gezegenin gerçek yörüngesini, kırmızı çizgili yörünge gezegenin kararlı olduğu yörüngeyi temsil etmektedir (Haghighipour ve Kaltenegger, 2013)

## 2.5. Yörünge Kararlılığı

Barınak yıldızlarının etrafında dolanan gezegenlerin yörüngelerinde uzun zaman aralığında kararlı olması beklenir. Ancak tek yıldızın etrafında en az iki gezegenin ve özellikle çift sistemlerde p-tipi veya s-tipi yörüngeli en az bir gezegenin bulunduğu durumlarda sistemi oluşturan cisimler birbirleriyle etkileşime girerek yörüngelerini etkileyebilir. Bu etkileşimler nedeniyle gezegenin yörüngesinde kararsızlık oluşur.

Bu başlık altında, tezin de konusu olan p-tipi yörüngelerin kararlılığı anlatılmaktadır. Gezegen, çift sistemin dinamiğinden etkilenmemesi için çift sistemden güvenli uzaklıkta olması gerekir. Bileşenlerin birbirine olan uzaklığına görece gezegenin daha uzakta olması, yörüngesinin kararlı olması için iyi bir fırsattır. Ancak bu uzaklık, galaktik karışıklık, sisteme yakın başka bir yıldızın geçişi vb. diğer astronomik etkilerden etkilenecek kadar da fazla olmamalıdır. Yörünge kararlılığı matematiksel ifadelerle ilk kez Huang (1960) ele alınmıştır. Daha sonra çift sistemlerde yörünge kararlılığı konusunda Dvorak (1984, 1986), Rabl ve Dvorak (1988), Whitmire, Matese, Criswell ve Mikkola (1998), Holman ve Wiegert (1999), Mardling ve Aarseth (2001), Pilat-Lohinger, Funk ve Dvorak (2003), Musielak, Cuntz, Marshall ve Stuit (2005) nümerik modelleme çalışmaları yapmıştır.

Holman ve Wiegert (1999) çalışmasında p-tipi yörüngede dolanan bir gezegenin yörünge kararlılığını matematiksel olarak ifade etmiştir. Bu çalışmaya göre, gezegenin barınak yıldızlarına olan kararlı yörünge uzaklığının ifadesi Denklem 2.1’de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
a_c = a_{bin}[(1.60 \pm 0.04) + (5.10 \pm 0.05)e_{bin} + \\
(-2.22 \pm 0.11)e_{bin}^2 + (4.12 \pm 0.09)\mu + \\
(-4.27 \pm 0.17)e_{bin}\mu + (-5.09 \pm 0.11)\mu^2 + \\
(4.61 \pm 0.36)e_{bin}^2\mu^2]
\end{aligned} \tag{2.1}$$

Burada,  $a_c$  kritik yarıbüyük eksen uzunluğu olup AB biriminde yörünge kararlılığı için barınak yıldızlara olan kritik uzaklığı,  $e_{bin}$  çift sistemin dış merkezliğini,  $a_{bin}$  çift sistemin AB biriminde yarıbüyük eksen uzunluğunu ve  $\mu$ ,  $M_2 / (M_1 + M_2)$  oranını temsil etmektedir. Bu ifadeye göre, eğer gezegenin yarıbüyük eksen uzunluğu bu değerin altında ise yörüngenin kararlı olmadığı söylenebilir. ‘ $\pm$ ’ işareti kritik yarıbüyük eksen uzunluğunun üst ve alt sınır değerlerini hesaplamak için kullanılır. Çift sistemin kütle oranı ve özellikle dış merkezliği yörünge kararlılığı için önemli rol oynamaktadır.

## 2.6. Sistemlerin Önceki Çalışmaları

Bu tez çalışması kapsamında çift veya çoklu yıldız sistemi olup, ETV grafiklerinde sisteme çekimsel olarak bağlı p-tipi yörüngede 80  $M_j$  kütesinin altında ilave cisim etkisi gösteren 21 örten çift yıldız sisteminin dönem analizi yapılmıştır. Aşağıda detaylı olarak anlatılan bu sistemlerden HW Vir’in Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi’nde (ÇOMÜG), V1828 Aql’nın TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi’nde (TUG) ışık eğrisi gözlemleri gözlemleri yapılmıştır.

### 2.6.1. DP Leo

DP Leo küçük bir grup olan ortak zarf sonrası çift sistemlerin (post-common envelope binaries, PCEB) üyesi, değişen bir çift yıldız sistemidir. Katakлизмik değişen olan DP Leo sisteminin dönemi  $\sim 0,06$  (89,9 dk) gündür (Schwope, Hambaryan, Schwarz, Kanbach ve Gansicke, 2002; Pandel ve diğerleri, 2002). Schwope ve diğerleri (2002) beyaz cüce bileşenin sıcaklığını 13500 K ve sistemin birinci ve ikinci bileşenin kütlelerini sırasıyla 0,60  $M_\odot$  ve 0,09  $M_\odot$  olarak elde etmiştir. Yine bu çalışma ve Pandel ve diğerleri (2002) tarafından çiftin döneminde parabolik olarak bir değişimin olduğu söylenmiştir. Qian, Liao, Zhu ve Dai (2010) uzun dönemli sinüs benzeri bir değişimden bahsetmiş ve sisteme ait 23,8 yıl dönemli ve çember yörüngeli dev bir gezegenin varlığını tespit etmiştir. Beuermann, Dreizler, Hessman ve Schwope (2010) çalışmasında elde ettikleri yeni minimum zamanlarını kullanarak cismin döneminin 28 yıl ve kütesinin 6  $M_j$  olduğunu hesaplamıştır.

### 2.6.2. HW Vir

PCEB türü (sdB+dM) türü örten çift yıldız sistemlerinin ilk örneği olan HW Vir, Menzies ve Marang (1986) tarafından keşfedilmiştir. Sistem belirgin tutulma çukurları ve maksimumlarında görülen yansıma etkisi nedeniyle birçok gözlemin ve araştırmanın konusu olmuştur. Wood ve Saffer (1999) yaptıkları tayf çalışmasında birinci bileşenin dikine hız verilerini elde edip birinci ve ikinci bileşenin kütlelerini sırasıyla  $0,48 M_{\odot}$  ve  $0,14 M_{\odot}$  olarak belirlemiştir. Ayrıca birinci bileşenin sıcaklığının  $28488 \text{ K}$  olduğunu belirtmiştir. Sistemin Lee ve diğerleri (2009) tarafından yapılan dönem değişimi analizi çalışmasında dönemleri yaklaşık 9 ve 16 yıl olan kütleleri sırasıyla yaklaşık 8 ve  $18 M_{\text{J}}$  olan iki gezegen varlığından bahsedilmiştir. Beuermann, Dreizler, Hessman ve Deller (2012a) çalışmasında Lee ve diğerleri (2009) tarafından yapılan çalışmanın dinamik olarak kararlı olmadığını açıklayarak ilave bileşenlerin dönemlerini yaklaşık 13 ve 55 yıl, kütlelerini ise sırasıyla yaklaşık 14 ve  $65 M_{\text{J}}$  olarak elde etmiştir. Ayrıca sistemin ancak 10 milyon yıldan daha uzun bir süre sonra kararlı olabileceğini önermişlerdir. Beuermann ve diğerleri (2012) gibi Horner, Hinse, Wittenmyer, Marshall ve Tinney (2012) çalışmalarında sistemin kararlı olmadığını söylemiş fakat bununla birlikte Beuermann ve diğerleri (2012) tarafından önerilen çözümün de uygulanabilirliğine itiraz etmiştir. Sistemle ilgili en güncel çalışmalardan biri olan Baran ve diğerleri (2018), çalışmalarında tayf-sıcaklık (KIEL) diyagramı kullanarak birinci bileşenin kütlelerinin yaklaşık  $0,26 M_{\odot}$  olması gerektiğini önermiştir.

### 2.6.3. MXB 1658-298

Tutulma gösteren küçük kütleli X ışın çifti MXB 1658-298 (MXB 1659-298, V2134 Oph) Lewin ve diğerleri (1976) tarafından keşfedilmiştir. Işık eğrisi tip-1 X ışın patlamaları gösterir. Tutulmalar ilk kez Cominsky ve Wood (1984) tarafından görülmüştür. Bu çalışmada sistemin dönemini yaklaşık 0,30 gün (7,1 saat) olarak belirlenmiştir. Ponti, Bianchi, Munoz-Darias ve Nandra (2018) tarafından yapılan tayf çalışmasında nötron yıldızı olan birinci ve yoldaşı olan ikinci bileşenin kütlelerinin sırasıyla  $1,2 \leq M_{\text{NS}} \leq 3,0 M_{\odot}$  ve  $0,3 \leq M_2 \leq 0,8 M_{\odot}$  aralığında olduğunu belirtmiştir. Sistemin Jain, Paul, Sharma, Jaleel ve Dutta (2017) ve Iaria ve diğerleri (2018) tarafından dönem analizi yapılmıştır. Iaria ve diğerleri (2018) sistemin ETV diyagramında görülen sinüs benzeri değişimin manyetik aktiviteyle veya üçüncü cisim etkisiyle açıklanabileceğini önermiştir. Üçüncü cismin dönemini ve kütlelerini sırasıyla yaklaşık olarak 2,3 yıl ve  $21 M_{\text{J}}$  elde etmiştir.

#### 2.6.4. NN Ser

Bir beyaz cüce ve M-türü cüce bir yıldızdan oluşan PCEB türü NN Ser örten çift sisteminin dönemi Haefner (1989) tarafından yaklaşık 0,13 gün (3,1 saat) olarak hesaplanmıştır. Wood ve Marsch (1991), sistemin beyaz cüce bileşeninin sıcaklığını 57000 K olarak belirlemiştir. Parsons ve diğerleri (2010a) tarafından birinci ve ikinci bileşenin kütleleri sırasıyla 0,535  $M_{\odot}$  ve 0,111  $M_{\odot}$  olarak hesaplanmıştır.

Beuermann, Dreizler ve Hessman (2013) çalışmasında sisteme çekimsel olarak bağlı iki cismin varlığından bahsetmiştir. Cisimlerin dönemleri ve kütleleri sırasıyla 7,7 yıl, 2,2  $M_j$  ve 15,5 yıl ve 6,9  $M_j$  olarak hesaplamıştır. Beuermann ve diğerleri (2013) ve Marsh ve diğerleri (2013) yaptıkları dinamik çalışmalarda üçüncü cismin yörüngesinin, beyaz cüce bileşenin soğuma evresinden daha uzun bir zamanda kararlı olabileceğini söylemişlerdir. Marsh ve diğerleri NN Ser'in, zaman ölçümlerinde gezegen modelleme tahminleri tutarlı olan tek PCEB türü sistem olduğunu belirtmiştir.

#### 2.6.5. NY Vir

Sıcak altcüce B ve M5 türü cüce bileşenleri olan PCEB tür örten çift yıldız sistemi NY Vir'in dönemi yaklaşık 2,42 saattir (Vuckovic ve diğerleri, 2007). Sistem gösterdiği değişimler nedeniyle oldukça yaygın çalışılmıştır (Kilkenny, O'Donoghue, Koen, Lynas-Gray ve van Wyk, 1998; Zola, 2000; Heber, 2009; Kilkenny, 2011; Qian ve diğerleri, 2012a; Çamurdan, Zengin Çamurdan ve İbanoğlu, 2012). Vuckovic ve diğerleri çalışmalarında sistemin birinci ve ikinci bileşenlerinin kütlelerini sırasıyla 0,466  $M_{\odot}$  ve 0,122  $M_{\odot}$  olarak elde etmiştir. Çamurdan ve diğerleri yaptıkları dönem analizi çalışmasında ETV diyagramında çift sistemin döneminin azaldığını belirtmiş ve bunu açısal momentum kaybıyla açıklamışlardır. Lee, Hinse, Youn ve Han (2014) bileşenlerin neredeyse küresel yapıda ve ayırık sistem olması nedeniyle, açısal momentum kaybının soğuk ikinci bileşendeki manyetik frenlemeyle olabileceğini önermiştir. Völschow, Schleicher, Perdelwitz ve Banerjee (2016) NY Vir'in de aralarında olduğu 16 yakın çift yıldızın manyetik etkinliğini incelemiş ve manyetik etkinliğin kayda değer olmasına rağmen bu denli bir dönem değişimini açıklamak için yeterli olmadığını belirtmiştir. Son olarak Song ve diğerleri (2019) dönem analizi çalışmasında sisteme ait 3. ve 4. cismin kütle ve dönemini sırasıyla 8,64 yıl, 2,66  $M_j$  ve 24,09 yıl, 5,54  $M_j$  olarak hesaplamıştır.

### 2.6.6. RR Cae

Bir diğer PCEB tür sistem olan RR Cae'nin, Krzeminski (1984) tarafından yaklaşık 7,3 saat dönemli, beyaz cüce ve M-türü cüce bileşenlerden oluşan örten çift yıldız sistemi olduğu keşfedilmiştir. RR Cae tayfında çift çizgi görülen, beyaz cüce bileşene sahip birkaç örten çift yıldızdan biridir. Sistemin birinci ve ikinci bileşeninin kütleleri sırasıyla 0,440  $M_{\odot}$  ve 0,182  $M_{\odot}$  olarak hesaplanmıştır (Maxted, O'Donoghue, Morales-Rueda, Napiwotzki ve Smalley, 2007). Parsons ve diğerleri (2010b) çalışmasında PCEB türü sistemlerin ışık eğrisi ve dönem değişimlerini araştırmıştır. Qian ve diğerleri (2012b) ise RR Cae sistemindeki dönem değişiminin nedenini sisteme bağlı üçüncü bir cismin varlığıyla açıklamıştır. Bu çalışmada üçüncü cismin dönemi ve kütlesi sırasıyla 11,9 yıl ve 4,2  $M_j$  olarak hesaplanmıştır.

### 2.6.7. UZ For

UZ For, PCEB türü örten manyetik kataklismik değişen, beyaz ve kırmızı cüce bileşenlerden oluşan yaklaşık 2,1 saat dönemli bir çift yıldız sistemidir (Potter ve diğerleri, 2011). EXO 033319-2554.2 adıyla EXOSAT tarafından X-ışın kaynağı olarak keşfedilmiştir (Giommi ve diğerleri, 1987). Gösterdiği manyetik etkinlik nedeniyle sıklıkla çalışılmış olan UZ For sisteminin son yıllarda Dai, Qian, Fernandez Lajus ve Baume (2010) ve Potter ve diğerleri tarafından yapılan çalışmalarda yeni minimum zamanları elde edilmiş ve dönem değişimi tartışılmıştır. Daha sonra Khangale, Potter, Kotze, Woudt ve Breytehnbach (2019), sistemin birinci ve ikinci bileşenlerinin kütlelerini sırasıyla 0,70  $M_{\odot}$  ve 0,14  $M_{\odot}$  olarak elde etmiş ve yaptıkları ETV analizi çalışmasında sisteme ait iki ilave cisimden bahsederek dönemlerini ve kütlelerini sırasıyla yaklaşık 14,7 yıl, 3  $M_j$  ve 5,8 yıl, 10  $M_j$  olarak hesaplamıştır.

### 2.6.8. V1828 Aql

V1828 Aql (NSVS 14256825), Northern Sky Variability (NSVS) (Wozniak ve diğerleri, 2004) tarafından değişen olduğu keşfedilen PCEB tür bir çift yıldız sistemidir. Sistemin örten tür olduğu Wils, Di Scala ve Otero (2007) tarafından belirlenmiş ve dönemi 2,6496 saat olarak hesaplanmıştır. Erken tayf türü bir altcüce ve geri tayf türü cüce bileşenden oluşan (sdOB+dM) HW Vir türü (Almeida, Jablonski, Tello ve Rodrigues, 2012) bir sistem olan V1828 Aql'nın ışık eğrisinde derin minimum çukurları ve çukurların dışındaki kısımlarda sıcak bileşenin, soğuk bileşenin atmosferini ısıtmasıyla meydana gelen yansıma etkisinin neden olduğu değişim oldukça belirgindir.



Sistemin, Almedia ve diğerleri (2012) tarafından yapılan fotometrik ve tayfsal çalışmasında, sıcak bileşenin kütlesi  $0,419 M_{\odot}$  ve soğuk bileşenin kütlesi  $0,109 M_{\odot}$  olarak elde edilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada sıcak bileşenin sıcaklığı  $42000K$ , soğuk bileşenin sıcaklığı  $2550K$  ve bileşenler arası uzaklık  $0,80 R_{\odot}$  olarak hesaplanmıştır.

V1828 Aql sistemi, ETV çevriminde yaklaşık 19 yıllık zaman aralığına yayılan dönemsel değişim nedeniyle oldukça ilgi çekmektedir. Sistemin ETV analizi Wils ve diğerleri (2007), Kilkenny ve Koen (2012), Beuermann ve diğerleri (2012b), Almeida, Jablonski ve Rodrigues (2013), Lohr ve diğerleri (2014) ve Nasiroglu ve diğerleri (2017) tarafından incelenmiştir. Almeida ve diğerleri yaptıkları ETV analizi çalışmasında sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü ve dördüncü cismin varlığını öngörmüştür. Ayrıca üçüncü cismin kütlesini ve dönemini sırasıyla  $2,9 M_j$ ,  $3,49$  yıl ve dördüncü cismin kütlesini ve dönemini sırasıyla  $8 M_j$ ,  $6,86$  yıl olarak hesaplamıştır. Sistemin, Wittenmyer, Horner ve Marshall (2013) tarafından yapılan dinamik analiz çalışmasında bu çözümün oldukça kararsız olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Hinse, Lee, Gozdziewski, Horner ve Wittenmyer (2014) ETV çevriminin yayıldığı zaman aralığının sisteme ait ilave cismin tespit edilebilmesi için yeterince uzun olmadığını ifade etmiştir. Nasiroglu ve diğerleri (2017) çalışmasında yeni minimum zamanları elde ederek yaptıkları dönem analiziyle sisteme ait üçüncü bir cismin varlığını önererek dönemini  $9,95$  yıl ve kütlesini  $14,75 M_j$  olarak hesaplamıştır. Son olarak, sistemin Zhu, Qian, Fernandez Lajus, Wang ve Li (2019) tarafından on yıllık zaman dilimini kapsayan yeni minimum zamanları yayınlanmış ve yine aynı çalışmada üçüncü cismin kütlesi ve dönemi sırasıyla  $14,15 M_j$ ,  $8,83$  yıl olarak hesaplamışlardır.

### **2.6.9. KIC 3338660**

Ayrık tür örten çift yıldız sistemi olan KIC 3338660'ın dönemi yaklaşık  $1,87$  gündür (Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Conroy ve diğerleri (2014) sistemin çekimsel olarak sahip olduğu üçüncü bir cismin olabileceğini açıklamıştır. Armstrong, Gomez Maqueo Chew, Faedi ve Pollacco (2014) tarafından birinci ve ikinci bileşenin sıcaklıkları sırasıyla  $6100 K$  ve  $4167 K$  olarak elde edilmiştir. Borkovits ve diğerleri (2016) tarafından yapılan ETV analizi çalışmasında üçüncü cismin dönemi ve kütlesi sırasıyla  $752$  gün ve  $40 M_j$  olarak hesaplanmıştır.

### **2.6.10. KIC 3440230**

KIC 3440230, yaklaşık 2,88 gün dönemli ayırık tür örten çift yıldız sistemidir (Prša ve diğerleri, 2011; Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Sistemin birinci ve ikinci bileşenin sıcaklıkları sırasıyla 10298 K ve 3554 K olarak hesaplanmıştır (Armstrong ve diğerleri, 2014). Sistemin birinci ve ikinci bileşenin kütleleri sırasıyla  $1,6 M_{\odot}$  ve  $0,4 M_{\odot}$  olarak elde edilmiştir (Matson, Gies, Guo ve Williams, 2017). Gies ve diğerleri (2012) çalışmasında sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü bir bileşenin varlığından ve sistemdeki akı değişimiyle birlikte olası zonklamalardan bahsetmişlerdir. Zasche ve diğerleri (2015), dış merkezli yörüngeye sahip örten çift sistemlerle ilgili çalışmasında, kütle oranını ( $q$ ) 1 kabul ederek sistemin ışık eğrisini ve ETV analizini sunmuştur. Borkovits ve diğerleri (2016) tarafından yapılan ETV analizi çalışmasında üçüncü cismin dönemi ve kütlesi sırasıyla 1082 gün ve  $60 M_J$  olarak belirlenmiştir.

### **2.6.11. KIC 4574310**

Yaklaşık 1,31 gün döneme sahip KIC 4574310, yarı-ayırık tür örten bir çift yıldız sistemidir (Prša ve diğerleri, 2011; Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Armstrong ve diğerleri (2014), birinci ve ikinci bileşenin sıcaklıklarını sırasıyla 7153 K ve 4077 K olarak hesaplamıştır. Gies ve diğerleri (2012) ve Conroy ve diğerleri (2014) çalışmalarında sistemin üçlü sistem olabileceğini açıklamışlardır. Borkovits ve diğerleri (2016) sistemin dönem değişimi gösterdiğini belirtmiş ve yaptıkları ETV analiziyle üçüncü cismin dönemini ve kütlesini sırasıyla 1347 gün ve  $50 M_J$  olarak hesaplamıştır. Matson ve diğerleri (2017) tarafından yapılan tayf çalışmasında birinci ve ikinci bileşenin kütleleri sırasıyla  $1,38 M_{\odot}$  ve  $0,31 M_{\odot}$  olarak belirlenmiştir.

### **2.6.12. KIC 5621294**

KIC 5621294, yaklaşık 0,94 gün dönemli yarı-ayırık tür bir örten çift yıldız sistemidir (Prša ve diğerleri, 2011; Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Armstrong ve diğerleri (2014) tarafından birinci ve ikinci bileşenin sıcaklıkları sırasıyla 10828 K ve 7420 K olarak hesaplanmıştır. Lee, Hong ve Hinse (2015) çalışmasında kütle taramasıyla sistemin 0,22 kütle oranına sahip olduğunu söyleyerek ışık eğrisi ve ETV analizini yapmıştır. Lee ve diğerleri dönem analizi sonucunda üçüncü cismin kütlesini  $44 M_J$  olarak hesaplamıştır. Zasche ve diğerleri (2015) yaptıkları ETV analizinde bileşenlerin toplam kütlesini  $2 M_{\odot}$  kabul ederek üçüncü cismin kütlesini  $39 M_J$  olarak hesaplamıştır. Borkovits ve diğerleri (2016) tarafından yapılan ETV analizi çalışmasında üçüncü cismin dönemi ve kütlesi

sırasıyla 1083 gün ve 20 M<sub>J</sub> olarak hesaplanmıştır. Matson ve diğerleri (2017) tarafından yapılan tayf çalışmasında birinci ve ikinci bileşenin kütleleri sırasıyla 2,2 M<sub>☉</sub> ve 0,54 M<sub>☉</sub> olarak belirlenmiştir.

### **2.6.13. KIC 7177553**

Ayrık tür örten bir çift yıldız sistemi olan KIC 7177553'ün dönemi yaklaşık 18 gündür (Prša ve diğerleri, 2011; Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Sistemin birinci ve ikinci bileşenin sıcaklıkları sırasıyla 5911 K ve 5714 K olarak hesaplanmıştır (Armstrong ve diğerleri, 2014). Lehmann ve diğerleri (2016) tarafından yapılan tayf çalışmasında sistemin aslında, dört yıldızın barındığı (iki çift sistem) dış merkezli bir sistem olduğu ve gezegenin, A ve B bileşenlerinin etrafında dolandığı açıklanmış ve sistemin birinci ve ikinci bileşenin kütleleri sırasıyla 1,043 M<sub>☉</sub> ve 0,986 M<sub>☉</sub> olarak belirlenmiştir. Borkovits ve diğerleri (2016) tarafından yapılan ETV analizi çalışmasında üçüncü cismin dönemi ve kütlesi sırasıyla 529 gün ve 5 M<sub>J</sub> olarak elde edilmiştir.

### **2.6.14. KIC 7339345**

Yaklaşık 0,26 gün dönemli, değen tür örten bir çift yıldız sistemidir (Prša ve diğerleri, 2011; Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Armstrong ve diğerleri (2014), birinci ve ikinci bileşenin sıcaklıklarını sırasıyla 5236 K ve 3572 K olarak hesaplamıştır. Borkovits ve diğerleri (2016) tarafından yapılan ETV analizi çalışmasında üçüncü cismin dönemi ve kütlesi sırasıyla 862 gün ve 60 M<sub>J</sub> olarak hesaplanmıştır. Kouzuma (2018) tarafından yapılan *Kepler* kataloğundaki değen sistemlerin kütle transferi çalışmasında, Harmanec (1988) tarafından önerilen kütle-sıcaklık ilişkisi temel alınarak birinci bileşenin kütlesi ve sistemin kütle oranı sırasıyla 0,93 M<sub>☉</sub> ve 1,162 olarak hesaplanmıştır.

### **2.6.15. KIC 7821010**

Ayrık tür örten çift yıldız sistemi olan KIC 7821010 yaklaşık 24,24 günlük bir döneme sahiptir (Prša ve diğerleri, 2011; Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Armstrong ve diğerleri (2014) tarafından sistemin birinci ve ikinci bileşenin sıcaklıkları sırasıyla 6538 K ve 6279 K olarak hesaplanmıştır. Borkovits ve diğerleri (2016) tarafından yapılan ETV analizi çalışmasında sistemin sahip olduğu gezegenin dönemini 991 gün ve kütlesini 2,5 M<sub>J</sub> olarak hesaplanmıştır. Hełminiak ve diğerleri (2019), JKTEBOP (Southworth, 2013) programıyla sistemin fotometrik analizini ve HIDES tayfını elde ederek

tayf analizini yapmış ve birinci ve ikinci bileşenin kütlelerini sırasıyla  $1,277 M_{\odot}$  ve  $1,221 M_{\odot}$  olarak elde etmiştir.

#### **2.6.16. KIC 8081389**

KIC 8081389, yaklaşık 1,49 gün dönemli yarı-ayrık tür örten çift yıldız sistemidir (Prša ve diğerleri, 2011; Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Sistemin birinci ve ikinci bileşenin sıcaklıkları sırasıyla 7447 K ve 4372 K olarak hesaplanmıştır (Armstrong ve diğerleri, 2014). Conroy ve diğerleri (2014) çalışmasında sistemin olası bir üçüncü bileşene sahip olduğunu açıklamıştır. Borkovits ve diğerleri (2016) tarafından yapılan ETV analizi çalışmasında üçüncü cismin dönemi ve kütlesi sırasıyla 1383 gün ve  $40 M_j$  olarak belirlenmiştir.

#### **2.6.17. KIC 8610483**

Ayrık tür ve yaklaşık 48,8 gün dönemli bir örten çift yıldız sistemidir (Prša ve diğerleri, 2011; Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Sistemin birinci ve ikinci bileşenin sıcaklıkları sırasıyla 6345 K ve 5442 K olarak elde edilmiştir (Armstrong ve diğerleri, 2014). Sistem ilk kez Welsh (2014, Eylül) tarafından bir konferansta duyurulmuştur. Bu sunumda analiz sonuçları dikine hız grafikleriyle birlikte sunulmuştur. Buna göre sistemin bileşenlerinin kütleleri sırasıyla  $0,961 M_{\odot}$  ve  $0,974 M_{\odot}$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca aynı çalışmada sisteme çekimsel olarak bağlı, yaklaşık 397 gün dönemli ve  $45 M_{\oplus}$  kütleli bir cismin varlığı açıklanmıştır. Kjurkchieva, Vasileva ve Dimitrov (2016) tarafından yapılan ışık eğrisi çalışmasında sistemin kütle oranı 0,468 olarak tahmin edilmiştir.

#### **2.6.18. KIC 9159301**

Yaklaşık 3 gün dönemli yarı-ayrık tür bir örten çift yıldız sistemidir (Prša ve diğerleri, 2011; Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Armstrong ve diğerleri (2014) tarafından birinci ve ikinci bileşenin sıcaklıkları sırasıyla 7258 K ve 3540 K olarak elde edilmiştir. Conroy ve diğerleri (2014) ve Gies ve diğerleri (2015) sistemin üçlü bir sistem olabileceğinden bahsetmiştir. Borkovits ve diğerleri (2016) tarafından yapılan ETV analizi çalışmasında üçüncü cismin dönemi ve kütlesi sırasıyla 1072 gün ve  $50 M_j$  olarak hesaplanmıştır. Sistemin bileşenlerinin kütleleri Matson ve diğerleri (2017) tarafından yapılan tayf çalışmasında sırasıyla  $1,61 M_{\odot}$  ve  $0,40 M_{\odot}$  olarak elde edilmiştir.

### **2.6.19. KIC 9592145**

Yaklaşık 0,49 gün dönemli, yarı-ayrık tür örten bir çift yıldız sistemidir (Prša ve diğerleri, 2011; Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Armstrong ve diğerleri (2014), birinci ve ikinci bileşenin sıcaklıklarını sırasıyla 7508 K ve 5666 K olarak elde etmiştir. Borkovits ve diğerleri (2016) tarafından yapılan ETV analizi çalışmasında üçüncü cismin dönemi ve kütlesi sırasıyla 730 gün ve 30  $M_j$  olarak hesaplanmıştır.

### **2.6.20. KIC 10848807**

W UMa türü örten çift yıldız sistemi olan KIC 10848807'nin dönemi yaklaşık 0,35 gündür (Kirk ve diğerleri, 2016). Armstrong ve diğerleri (2014) tarafından sistemin birinci ve ikinci bileşeninin sıcaklıkları sırasıyla 5681 K ve 5141 K olarak hesaplanmıştır. Conroy ve diğerleri (2014) sistemin olası bir üçlü sistem adayı olduğunu belirtmiştir. Borkovits ve diğerleri (2016) tarafından yapılan ETV analizi çalışmasında üçüncü cismin dönemi ve kütlesi sırasıyla 785 gün ve 50  $M_j$  olarak elde edilmiştir.

### **2.6.21. KIC 10916675**

W UMa türü ve yaklaşık 0,42 gün dönemli bir örten çift yıldız sistemidir (Prša ve diğerleri, 2011; Slawson ve diğerleri, 2011; Kirk ve diğerleri, 2016). Sistemin birinci ve ikinci bileşeninin sıcaklıkları sırasıyla 6874 K ve 6795 K olarak elde edilmiştir (Armstrong ve diğerleri, 2014). Borkovits ve diğerleri (2016) tarafından yapılan ETV analizi çalışmasında üçüncü cismin dönemi ve kütlesi sırasıyla 1626 gün ve 60  $M_j$  olarak hesaplanmıştır.

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Yer Tabanlı Gözlemler

Uzay teleskopları gözlemlere aralıksız devam ederken, onların bakış doğrultusunda olmayan HW Vir ve V1828 Aql sistemlerinin yer tabanlı fotometrik gözlemleri yapılmıştır. Bu sayede sistemlerin güncel ışık eğrileri ve yeni minimum zamanları elde edilerek analizlerde kullanılmıştır. Gözlemlerin analizler için hazırlanmasında standart indirgeme işlemi olan CCD verilerinden “bias” ve kara akım çıkarılması ve düz alan düzeltmesi yöntemi uygulanmıştır. İndirgeme işlemi için MaximDL programı kullanılmıştır.

HW Vir (BD-07 3477, 10<sup>m</sup>,58) sistemi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi’nde (ÇOMÜG) gözlenmiştir. Gözlemlerde 30,5cm ayna çaplı T30 teleskobu ve bu teleskoba bağlı Apogee Alta U47 CCD kamera (E2V CCD47-10, Peltier soğutma, 13 µm piksel boyutu, 1024×1024 piksel) ekipmanı kullanılmıştır. Gözlemler, 2015-2018 yılları arasında 6 gece, geniş bant *B-V-R* süzgeçleri kullanılarak yapılmıştır. Süzgeçlere göre gözlemlerde elde edilen poz sayıları ve gözlem duyarlılıkları Tablo 3’te verilmiştir. Mukayese ve denet yıldızları olarak sırasıyla GSC 5528-1273 ve GSC 5528-591 kullanılmıştır.

Tablo 3  
HW Vir sisteminin süzgeçlere göre gözlem verileri

Tarih	B		V		R	
	Poz Say.	Duyarlılık (m)	Poz Say.	Duyarlılık (m)	Poz Say.	Duyarlılık (m)
17.05.2015	58	0,0119	57	0,0091	56	0,0108
10.05.2017	56	0,0228	56	0,0104	54	0,0081
14.05.2017	36	0,0102	35	0,0078	34	0,0088
15.05.2017	62	0,0328	62	0,0292	60	0,0285
30.03.2018	73	0,0360	71	0,0184	71	0,0142
03.04.2018	109	0,0139	106	0,0100	104	0,0079

*Not.* Poz say.: Gözlem süresince belirtilen süzgece göre alınan görüntü sayısı

HW Vir sisteminin gözlemlerinden elde edilen yeni minimum zamanları, HJD (Heliocentric Julian Date) biriminde minimum türüne göre Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4

HW Vir sisteminin bu çalışmada elde edilen yeni minimum zamanları

Tarih	Minimum Zamanı (HJD)	Hata (HJD)	Süzgeç	Tür
17.05.2015	2457160,31534	0,00088	BVR	I
	2457160,37401	0,00060	BVR	II
	2457160,43214	0,00027	BVR	I
10.05.2017	2457884,32640	0,00010	BVR	I
	2457884,38482	0,00018	BVR	II
14.05.2017	2457888,35337	0,00034	BVR	II
15.05.2017	2457889,34512	0,00065	BVR	I
30.03.2018	2458208,45670	0,00073	BVR	I
	2458208,51464	0,00028	BVR	II
03.04.2018	2458212,36655	0,00051	BVR	II
	2458212,42491	0,00017	BVR	I
	2458212,48320	0,00012	BVR	II

V1828 Aql (NSVS 14256825, 13<sup>m</sup>.33) sisteminin fotometrik gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) ve ÇOMÜĞ'de yapılmıştır. TUG'daki gözlemlerde 100cm çaplı T100 teleskobu ve SI 1100 serisi CCD kamera (Fairchild 486 BI, Cryo-tiger soğutma, 15 µm piksel size, 4096x4037 piksel) ekipmanı kullanılmıştır. Bu teleskopta, geniş bant *B-V-R-I* süzgeçleri kullanılarak, 2018 Temmuz'da bir gece ve Ağustos'ta iki gece olmak üzere toplam 3 gece gözlem yapılmıştır. Buna ek olarak sistem ÇOMÜĞ'de, T30 teleskobu ve yukarıda detaylı anlatılan ekipmanlarıyla geniş bant R süzgeci kullanılarak 2019 Ağustos'ta iki gece gözlenmiştir. Mukayese ve denet yıldızları olarak sırasıyla GSC 504-1033 ve GSC 504-915 seçilmiştir.

Tablo 5

V1828 Aql sisteminin süzgeçlere göre gözlem verileri

Tarih	B		V		R		I	
	P. S.	Duy. (m)	P. S.	Duy. (m)	P. S.	Duy. (m)	P. S.	Duy. (m)
08.07.2018	124	0,0101	124	0,0083	118	0,0170	91	0,0103
06.08.2018	58	0,0089	64	0,0073	63	0,0047	64	0,0047
07.08.2018	86	0,0127	89	0,0103	95	0,0072	94	0,0070
06.08.2019	–	–	–	–	212	0,0117	–	–
09.08.2019	–	–	–	–	212	0,0106	–	–

Not. P.S.: Gözlem süresince belirtilen süzgece göre alınan görüntü sayısı, Duy.:Duyarlılık.

Süzgeçlere göre gözlemlerde elde edilen poz sayıları ve gözlem duyarlılıkları Tablo 5'te verilmiştir. V1828 Aql sisteminin bu tez çalışması kapsamında yapılan gözlemlerinden elde edilen yeni minimum zamanları BJD (Barycentric Julian Date) biriminde Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6

V1828 Aql sisteminin bu çalışmada elde edilen yeni minimum zamanları

Tarih	Minimum Zamanı (BJD)	Hata (BJD)	Süzgeç	Tür	Gözlemevi
08.07.2018	2458308,32711	0,00030	BVRI	II	TUG
	2458308,38229	0,00009	BVRI	I	TUG
	2458308,43751	0,00023	BVRI	II	TUG
	2458308,49276	0,00008	BVRI	I	TUG
06.08.2018	2458337,41069	0,00006	BVRI	I	TUG
	2458337,46583	0,00026	BVRI	II	TUG
07.08.2018	2458338,45929	0,00022	BVRI	II	TUG
	2458338,51444	0,00008	BVRI	I	TUG
	2458338,56967	0,00024	BVRI	II	TUG
06.08.2019	2458702,41808	0,00004	R	I	ÇOMÜG
	2458702,47330	0,00011	R	II	ÇOMÜG
	2458702,52845	0,00005	R	I	ÇOMÜG
09.08.2019	2458705,34294	0,00013	R	II	ÇOMÜG
	2458705,39813	0,00005	R	I	ÇOMÜG
	2458705,45329	0,00013	R	II	ÇOMÜG
	2458705,50847	0,00003	R	I	ÇOMÜG

### 3.2. Kepler Uzay Teleskobu Gözlemleri

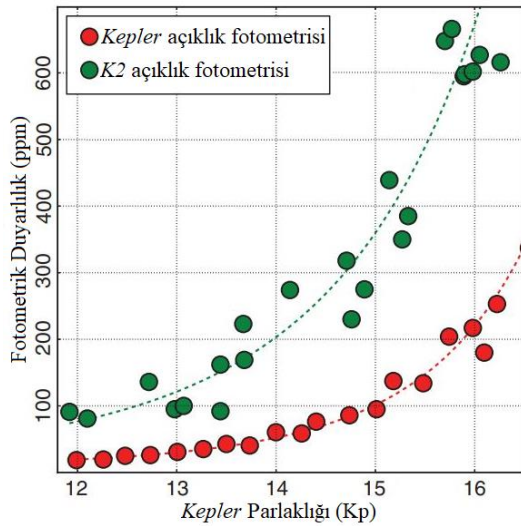
NASA'nın Kepler uydusu (*Kepler*), ötegezegen keşifleri için Samanyolu gökadasının bir bölümünü incelemek üzere tasarlanmış güneş merkezli yörüngeli bir uzay teleskobudur. 2009 Mart ayında göreve başlayan *Kepler* yaklaşık dört yıl boyunca, Kuğu (Cygnus) ve Çalgı (Lyra) takımyıldızları doğrultusundaki  $105^\circ \times 105^\circ$  alanda yaklaşık 200.000 nesneyi kesintisiz ve ultra yüksek duyarlılıkla fotometrik olarak gözlemiştir. *Kepler*'in sahip olduğu teknik özelliklerinin ve gözlem programının detayları için Batalha ve diğerleri (2010), Borucki ve diğerleri (2011), Caldwell ve diğerleri (2010a) ve Koch ve diğerleri (2010) çalışmalarına bakılabilir.

2013 yılında *Kepler*'i sabit bakış doğrultusunda tutan tekerleklerden ikisinin arızalanmasıyla bakış yönünü koruma yeteneğini kaybetmiştir. Bu nedenle tutulum düzlemindeki 10 alanın her birinde 80 günlük kesintisiz ve yüksek duyarlılıklı fotometrik gözlem amacıyla 'K2' olarak adlandırılan yeni programına başlamıştır. Ana *Kepler* programına oranla daha büyük bir gökyüzü taraması yapmasına rağmen duyarlılığı biraz daha düşüktür. K2, yine de yer tabanlı gözlemlerle mümkün olandan çok daha iyi bir boyutta veri elde etmektedir. Howell ve diğerleri (2014) tarafından, *Kepler*'in ana ve K2 programlarının fotometrik duyarlılıkları 6 saatlik gözlemlerle araştırılmıştır. Howell ve diğerlerinin çalışmasında, boyutsuz olan ppm (part per million) biriminde  $12^m$  parlaklığında bir yıldız için ana görevin 18 ppm ve K2 görevinin 82 ppm duyarlılığı olduğunu



hesaplamıştır. Şekil 17’de Howell ve diğerlerinin çalışmasında yer alan *Kepler* parlaklığına karşılık duyarlılık grafiği verilmiştir. Grafiğe bakıldığında parlaklık değeri arttıkça ppm değerinin de arttığı görülmektedir. Ancak  $0^m,01$ ’in yaklaşık 104 ppm değerine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla ppm değerindeki artış duyarlılığın azaldığını göstermektedir.

Yakıtı biterek uzay boşluğunda sürüklenmeye başlayan *Kepler*’in 2018 yılında görev süresi tamamen sona ermiştir. Birincil görevi ötegezegenlerin keşfi olan *Kepler* görev süresi boyunca 4000’den fazla ötegezegenin tespit edilmesini sağlamıştır. Ayrıca örten çift yıldız sistemleri başta olmak üzere güneş sistemimizdeki nesnelere incelenmesi, patlayan yıldızlar, gökada merkezindeki süper kütleli kara delikler gibi birçok astronomi alanı için oldukça faydalı olmuştur.



Şekil 17. *Kepler*’in ana görev ve *K2* görevinin parlaklığa karşı fotometrik duyarlılıkları (Howell ve diğerleri, 2014)

*Kepler*’in elde ettiği verilere (ana program ve *K2* programı dâhil) ‘Kepler Eclipsing Binary Catalog’ adıyla çevrimiçi katalog halinde ‘<http://keplerEBs.villanova.edu>’ internet erişim adresinden, doğrudan zaman serileri olarak ulaşmak mümkündür. *Kepler*’in yaklaşık 4 yıl süren ana programının verisi, yılın çeyreğini ifade eden çeyreklikler (3 aylık zaman, quarter) olarak 17 parça olarak sunulmuştur. Her bir çeyreklik arasında parlaklık farkı görüldüğünden bu çalışmada parlaklık farkları giderilmiş yani “detrend” yapılmış veri kullanılmıştır. Bu veriler poz sürelerine göre kısa ve uzun zaman aralıklı olmak üzere iki türde bulunmaktadır. Kısa aralıklı veride (Short Cadence – SC) her 1dk’da bir görüntü alınırken, uzun aralıklı veride (Long Cadence – LC) her 30dk’da bir görüntü alınmaktadır. Bu tez çalışmasında analizleri yapılan *Kepler* sistemlerinin kullanılan gözlem verilerinin çeyreklik aralıkları Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7

Bu tez çalışmasında analizleri yapılan *Kepler* sistemlerinin gözlem verileri

Sistem	LC (çeyreklik)	SC (çeyreklik)
KIC 3338660	8–17	–
KIC 3440230	1–11, 14–17	–
KIC 4574310	1–5, 7–9, 11, 15–17	–
KIC 5621294	1–11, 14–17	–
KIC 7177553	1–17	3
KIC 7339345	1–17	–
KIC 7821010	1–17	2, 8–17
KIC 8081389	1–17	7–10
KIC 8610483	1–17	–
KIC 9159301	1–3, 5–11, 14–17	–
KIC 9592145	1–3, 5–17	–
KIC 10848807	2, 5–7, 9–11, 13–15, 17	–
KIC 10916675	1–17	–

Bu tez çalışmasında *Kepler* ile gözlenmiş sistemlerin ışık eğrisi ve tutulma zamanı değişimi analizleri için gerekli veriler varsa SC verisi öncelikli kullanılacak şekilde elde edilmiştir. Ayrıca SC ve LC verilerinden, analizlerde kullanılmak üzere sistemlerin ışık eğrileri belirlenirken sistemin gösterdiği etkilerin (O’Connell, zonklama vb.) ve olabilecek aletsel düzeyde hataların en az seviyede olduğu çevrimler olmasına özen gösterilmiştir. Buna ek olarak kısa dönemli sistemlerin SC verisi olmayan sistemlerin kullanılan LC verilerinde bir çevrimlik veriler, sistemin ışık eğrisi karakteristiğini tam olarak yansıtamayacak kadar az sayıda noktaya sahip olabilmektedir. Bu durumda yine en az düzeyde etkinlik gösteren çevrimlere dikkat edilerek bu çevrimlerin, ışık eğrisinin karakteristiğini yansıtacak şekilde öncesindeki ve sonrasındaki sıralı çevrimler de analizlerde kullanılmıştır.

### 3.3. Işık Eğrisi Analizi Yöntemi

Gözlemlerden elde edilen ve *Kepler*’in çevrimiçi kataloğundan alınan ışık eğrileri, bu alanda literatürde yaygın olarak kullanılan FORTRAN dilinde yazılmış Wilson-Devinney (WD) programıyla analiz edilmiştir. WD programının ilk çalışması, Wilson ve Deninney (1971) tarafından yapılmıştır. Sonrasında ise; Wilson (1979), Wilson (1990), Van Hamme ve Wilson (2007), Wilson (2008), Wilson, Van Hamme ve Terrell (2010), Wilson (2012) ve Wilson ve Van Hamme (2014) tarafından kod geliştirilmiştir. Bu tez çalışmasında ‘LCDC’ olarak adlandırılan ve WD programının yayınlanmış son güncellenmesi olan 2015 versiyonu (2015v) (<http://faculty.fiu.edu/~vanhamme/lcdc/>) kullanılmıştır.

Tablo 8

WD programında (2015v) kullanılan parametreler ve tanımları

Parametre	Tanım
$T_0$	Başlangıç zamanı (JD, HJD veya BJD)
$P_0$	Sistemin dönemi (gün)
$P_{kayması} (\Delta\Phi)$	Evre kayması (gün)
$e$	Çift sistemin yörüngesinin dış merkezliği
$\omega_0$	Enberi doğrultusunun boylamı (radyan)
$a$	Yarı-büyük eksen uzunluğu ( $R_\odot$ )
$q$	Bileşenlerin kütle oranı ( $M_2/M_1$ )
$i$	Yörünge eğikliği ( $^\circ$ )
$V_\gamma$	Kütle merkezinin hızı (km/sn)
$x_1, x_2$	Bileşenlerin lineer kenar kararım katsayıları
$y_1, y_2$	Bileşenlerin lineer olmayan kenar kararım katsayıları
$T_1, T_2$	Bileşenlerin yüzey sıcaklıkları (K)
$\Omega_1, \Omega_2$	Bileşenlerin yüzey potansiyelleri
$A_1, A_2$	Bileşenlerin bolometrik yansıma katsayıları (albedoları)
$g_1, g_2$	Bileşenlerin bolometrik çekim kararım katsayıları
$L_1, L_2$	Bileşenlerin kesirsel ışınım güçleri
$\ell_3$	Üçüncü ışık katkısı
$\phi_1, \phi_2$	Bileşenlerdeki leke boylamı (radyan)
$\theta_1, \theta_2$	Bileşenlerdeki leke enlemi (radyan)
$\rho_1, \rho_2$	Bileşenlerdeki leke açısal yarıçapı (radyan)
$\tau_1, \tau_2$	Bileşenlerdeki leke sıcaklık faktörü

Not. "1" altındisi birinci, "2" altındisi ikinci bileşeni ifade etmektedir.

WD programı temel olarak, zamana veya evreye karşılık değişen ve mukayese yıldızlarının parlaklık veya akı farkıyla çizilen gözlemsel ışık eğrilerini kullanmaktadır. Aynı zamanda, farklı süzgeçlerdeki gözlemsel ışık eğrileriyle birlikte dikine hız eğrilerini eşzamanlı modelleyebilmektedir. Ayrıca bileşenlerin yüzeyinde sıcak veya soğuk leke olması durumunu da göz önünde bulundurarak kuramsal leke modelleri oluşturabilir. Böylece sistemin hem geometrik hem de fiziksel parametrelerini kuramsal model eğriler oluşturarak en küçük kareler yöntemiyle hesaplamaktadır. Araştırılan sistemin farklı türden gözlemlerinin elde edilmesi, çözüm parametrelerinin doğru bir biçimde hesaplanması için önemlidir. Program, kullanıcı tarafından seçilmiş parametreler üzerinde düzeltmeler yaparak iterasyonlarla çözüme ulaşmayı hedefler. Kullanıcı tarafından belirlenen girdi parametrelerini bir iterasyonla düzelttikten sonra düzeltilmiş parametreleri bir sonraki iterasyonda girdi parametreleri olarak kullanır ve işleme bu şekilde devam eder. Dolayısıyla doğru çözüme ulaşmak için başlangıç parametrelerinin sistemin yapısına uygun olarak belirlenmesine ve gerçek parametrelerine yakın değerler olmasına dikkat edilmelidir. Tablo 8'de WD programının 2015v'da kullanılan parametreler ve tanımları gösterilmiştir.

Tablo 9  
WD programında kullanılan modlar ve ışık eğrisi türleri

	Işık eğrisi türü	Sabit parametre
MOD -1	X-ışın	$\Omega_2$
MOD 0	Sınırlama yok	-
MOD 1	Aşırı değen (W UMA)	$\Omega_2, g_2, T_2, A_2, L_2, x_2, y_2$
MOD 2	Ayrık	$L_2$
MOD 3	Aşırı değen (W UMA - ısısal ilişkili değil) <sup>a</sup>	$\Omega_2, g_2, A_2, L_2, x_2, y_2$
MOD 4	Yarı-ayrık	$\Omega_1, L_2$
MOD 5	Yarı-ayrık (Algol) <sup>b</sup>	$\Omega_2, L_2$
MOD 6	Değen çift (Double contact)	$\Omega_1, \Omega_2, L_2$

*Not.* “1” altındisi birinci, “2” altındisi ikinci bileşeni ifade etmektedir. *a.* Bileşenler farklı yüzey sıcaklıklarına sahip. Yıldız yapısı terminolojisine göre tarif edilirse; sistemin bileşenleri arasında ısısal ilişki olmadan geometrik olarak değen olabileceği söylenmektedir. *b.* MOD 4’te birinci bileşenin, MOD 5’te ise ikinci bileşenin Roche şişimini doldurduğu kabul edilir.

WD programının 2015v’da kullanılan ve gelecek yeni sürümlerde kullanılması planlanan 60 parametre vardır. Değiştirilebilir parametre sayısının fazlalığı çözümlerin yavaş ve hatalı olmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, çözüme ulaşmak için bazı sınırlamalar uygular. Bu sınırlamalarla doğru çözümler için aranan parametre sayısı azaltılarak, sonuçların daha hızlı ve güvenilir elde edilmesi sağlanır. WD, sistemlerin bileşenlerinin yüzeylerini eş potansiyel yüzeyler olarak tanımlar ve araştırması yapılan sistemin özelliğine göre farklı parametre setleri kullanılır. Çözüme ulaşmak için sistemlerin türlerine göre sabit alınması gereken ve serbest bırakılabilecek parametre setlerini ‘MOD’ kavramıyla uygulamaktadır. Her mod, incelenen ışık eğrisinin türüne göre birbiriyle ilişki olup sabit alınabilecek veya serbest bırakılabilecek farklı parametreleri tanımlar. Modlar, özellikleri ve sabit alınması gereken parametreler Tablo 9’da verilmiştir.

WD programı kullanırken çalışılan ışık eğrisinin türüne göre Tablo 9’da gösterilmiş modların yardımıyla parametreler sınırlandırılır. Ayrıca bileşenlerin yüzey sıcaklıkları 7200 K’nin altında ise; bileşenler konvektif atmosfere sahip olacağından çekim kararmaları  $g_1=g_2=0,32$  (Lucy, 1967) ve bolometrik yansıma katsayıları (bolometrik albedolar)  $A_1=A_2=0,5$  (Rucinski, 1969), 7200 K’nin üzerindeki sıcaklıklarda ise ışımsal atmosfere sahip olacağından  $g_1=g_2=A_1=A_2=1,0$  (Lucy, 1967; Rucinski, 1969) alınmıştır.

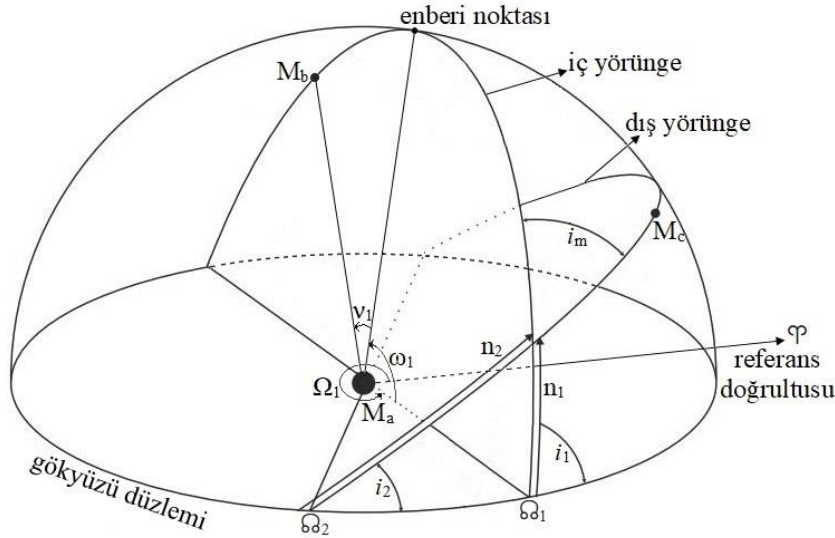
### 3.4. ETV Analizi Yöntemi

Çift yıldızlarda ETV ve ETV’nin nedenlerini genel ifadelerle Bölüm 1.2’de anlatmıştık. Bu tez çalışmasında p-tipi yörüngede dolanan gezegen kütleli üçüncü cisimler araştırıldığı için bu bölümde, sistemlere çekimsel olarak bağlı üçüncü cisim nedeniyle meydana gelen ışık zaman etkisi (LTE veya LTTE) ve dinamik etkiyi matematiksel

ifadeleriyle anlatacağız. ETV ve buna bağı yapılan ETV analizi herhangi bir sistemde dönem değişimi olup olmadığının araştırılması için kullanılan en önemli yöntemdir. Dolayısıyla analizlerde kullanmak ve en doğru sonuçları elde etmek için iyi belirlenmiş tutulma zamanlarına, yaygın adıyla minimum zamanlarına ihtiyaç vardır. Minimum zamanlarının belirlenmesi için bkz. Bölüm 3.4.1.

Örten çift yıldız sistemiyle birlikte sisteme dâhil üçüncü bir cismin varlığında ETV eğrileri sinüs benzeri düzenli değişimler gösterir. ETV eğrisinde, ışık elemanlarının (başlangıç zamanı –  $T_0$  ve dönem –  $P$ ) doğru belirlenememesi nedeniyle meydana gelen dönem değişimiyle ilişkili olmayan değişimler, bileşenler arası kütle aktarımı veya kaybı, manyetik etkinlik ve eksen dönmesi etkisi, üçüncü cisim etkisiyle birlikte görülebilir. Bu nedenle analizlerde öncelikle en doğru, güvenilir ışık elemanlarının kullanılmasına ve varsa diğer etkilerin çıkarılmasına dikkat edilmelidir. Bunlara ek olarak sistemlerde cisimlerin yörüngelerinde birbirleriyle etkileşimleri nedeniyle dinamik tedirginlikler meydana gelebilir. Dinamik etki olarak adlandırılan bu etki, üçüncü cisim etkisiyle birlikte dikkate alınır. Böylece LTTE ve dinamik etkiyle üçüncü cismin yörünge parametrelerine ve kütesine en doğru şekilde ulaşılabilir.

LTTE ve dinamik etkiyi tanımlayan matematiksel ifadelere geçmeden önce çift sistemin ve üçüncü cismin yörüngelerinin gökyüzü düzlemiyle birlikte gösterimi sistemin hareketinin ve yörünge parametrelerinin anlaşılması açısından yararlı olacaktır (Şekil 18). Üçlü sistemlerde, bileşenler arasında karşılıklı olarak oluşabilecek üç mesafeden birinin, diğer ikisinden tüm yaşamı boyunca önemli ölçüde küçük kaldığı sistemlere ‘hiyerarşik’ sistemler denir (Borkovits, Rappaport, Hajdu ve Sztakovics, 2015). Temelde bileşenlerin kütleleri bakımından büyüklük sıralaması olarak da düşünülebilir. Bu tür sistemlerde üç cismin hareketi, 2-cisim hareketi (Keplerian) şeklinde tartışılabilir. İki yörünge için yörünge parametresi setleri tanımlanır ve bu parametrelerin zamana bağlı değişimleri yörüngelerin davranışını belirler. Birinci bileşen ( $M_a$ ) üçlü sistemin kütle merkezinde olacak şekilde bileşenlerin yörüngeleri ve bazı yörünge parametreleri Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Üçlü bir sistemde bazı iç ve dış yörünge parametrelerin gösterimi

Şekil 18’de “1” ve “2” alt indisleri sırasıyla iç ve dış yörüngeyi belirtmektedir.  $\delta_1$  ve  $\delta_2$ , cisimlerin yörüngeleri üzerindeki hareketleri sırasında gökyüzü (veya referans) düzlemini yukarı yönlü kestiği noktayı ifade eder ve çıkış düğüm noktası olarak adlandırılır. Yörünge üzerinde çıkış düğüm noktalarının  $180^\circ$  karşılığında iniş düğüm noktaları ( $\mathcal{E}_1$ ,  $\mathcal{E}_2$ ) yer alır. İç yörüngede cismin,  $\omega_1$  enberi noktasının argümanını,  $v_1$  gerçek anomalisini ve  $\Omega_1$  referans doğrultusuna ( $\mathcal{P}$ , ilkbahar noktası doğrultusu) göre çıkış düğüm noktasının açısını tanımlar. Benzer şekilde dış yörünge için de  $\omega_2$ ,  $v_2$  ve  $\Omega_2$  parametreleri bulunmaktadır ancak şekil üzerinde karışıklığa neden olacağından burada gösterilmemiştir. Tablo 10’da LTTE ve dinamik etkinin belirlenmesi için kullanılan denklemlerde yer alan parametreler ve anlamları verilmiştir.

Tablo 10

LTTE ve dinamik etki denklemlerinde kullanılan parametreler ve anlamları

Parametre	Tanım
$a_2$	Yarı-büyük eksen uzunluğu
$i_1, i_2$	Yörünge eğikliği
$a_{12} \sin i_2$	Çift sistemin yörüngesinin izdüşüm yarı-büyük eksen uzunluğu
$e_1, e_2$	Dış merkezlik
$v_1, v_2$	Gerçek anomali
$\omega_1, \omega_2$	Enberi noktasının argümanı
$P_1, P_2$	Yörünge dönemi
$\ell_1, \ell_2$	Ortalama anomali
$\Omega_1, \Omega_2$	Gözlemsel çıkış düğüm açıları
$\Delta\Omega$	Gözlemsel çıkış düğüm açıları farkı ( $\Omega_2 - \Omega_1$ )
$u_2$	Gözlemsel gerçek boylam ( $v_2 + \omega_2$ )
$M_c$	Üçüncü cismin kütlesi

Tablo 10'un devamı

Parametre	Tanım
$M_{abc}$	Sistemin toplam kütlesi (bileşenler + üçüncü cisim)
$n_1, n_2$	Çıkış düğüm noktasının yörünge kesişim noktasına olan açısal uzaklığı
$i_m$	Sistemin ve üçüncü cismin yörünge düzlemleri arasındaki eğim farkı ( $i_2 - i_1$ )
$f(m_3)$	Üçüncü cismin kütle fonksiyonu
$G$	Evensel çekim sabiti
$c$	Işık hızı

Not. "1" alt indisi iç yörüngeyi (çift sistemin yörüngesini), "2" alt indisi dış yörüngeyi (üçüncü cismin yörüngesini), temsil etmektedir.  $i_m$  terimi kısaca ortak yörünge eğikliği (mutual inclination) anlamındadır. Çift sistemin yörüngesi ifadesi, çift sistemin üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafındaki yörüngesini belirtir.

Olası bir üçüncü cisim nedeniyle görülen LTTE ve bunun sonucunda ETV eğrisi üzerinde meydana gelen sinüs benzeri değişimi modellemek için en temel ifade Irwin (1952, 1959) tarafından açıklanmıştır. Borkovits ve diğerleri (2015) çalışmasında Irwin'in modelini geliştirmiş ve ETV'lerin dinamik etkiyle birlikte hesaplanmasını mümkün kılmıştır (Denklem 3.1).

$$ETV = \sum_{n=0}^2 c_n E^n + [\Delta_{LTTE} + \Delta_{dyn}]_0^E \quad (3.1)$$

Burada  $E$  çevrim sayısını,  $c_0$  ve  $c_1$  katsayıları sırasıyla  $T_0$  ve  $P$ 'deki düzeltmeyi,  $c_2$  katsayısı çevrimdeki dönem değişiminin yarısı anlamındaki quadratik terimi ve son olarak  $\Delta_{LTTE}$  ve  $\Delta_{dyn}$  sırasıyla her çevrim için LTTE ve dinamik etkinin neden olduğu değişimleri ifade etmektedir. Denklem 3.1'de parantez içindeki terimleri sırasıyla açık bir şekilde yazalım.  $\Delta_{LTTE}$ ,

$$\Delta_{LTTE} = -\frac{a_{12} \sin i_2 (1 - e_2^2) \sin(\nu_2 + \omega_2)}{c (1 + e_2 \cos \nu_2)} \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir (Denklem 3.2). Denklem - (negatif) işaretiyle başlamasının nedeni çift sistemin hareketinin yansıtılmasından kaynaklanır. Kepler'in üçüncü yasası kullanılarak üçüncü cismin kütle fonksiyonu ( $f(m_3)$ ) ise şu şekilde tanımlanmıştır:

$$f(m_3) = \frac{M_c^2 \sin^3 i_2}{M_{abc}^2} = \frac{4\pi^2 a_{12}^3 \sin^3 i_2}{GP_2^2} \quad (3.3)$$

Böylece  $\Delta_{LTTE}$ 'nin genliğini ( $\mathcal{A}$ ) de yazabiliriz:

$$\begin{aligned}\mathcal{A}_{LTTE} &= \frac{a_{12} \sin i_2}{c} \sqrt{1 - e_2^2 \cos^2 \omega_2} \\ &= \frac{G^{1/3}}{c} \left( \frac{P_2}{2\pi} \right)^{2/3} f(m_3)^{1/3} \sqrt{1 - e_2^2 \cos^2 \omega_2} \\ &\approx 1.13 \times 10^{-4} \left( \frac{P_2}{M_{abc}} \right)^{2/3} M_c \sin i_2 \sqrt{1 - e_2^2 \cos^2 \omega_2}\end{aligned}\quad (3.4)$$

$M_c$  ve  $M_{abc}$  sırasıyla  $M_\odot$  biriminde üçüncü cisim ve sistemin toplam kütesini (bileşenler ve üçüncü cisim) ifade eder.  $P$  gün biriminde dönemdir. Böylece bu denklemler kullanılarak LTTE değişimi, üçüncü cismin kütle fonksiyonu ve LTTE değişiminin genliği hesaplanabilir.

$\Delta_{dyn}$ ,  $\Delta_{LTTE}$ 'ye göre daha biraz daha karmaşık ve uzundur. Borkovits ve diğerleri (2015, Denklem 3.5) dört terimli (quadrupole order) dış merkezli iç yörüngeler için de uygun olan  $\Delta_{dyn}$  ifadesini, Masuda (2017) tarafından modellenmiş şekliyle yazarsak;

$$\Delta_{dyn} = \frac{P_1}{2\pi} A_{L1} (1 - e_1^2)^{1/2} [\delta_{tidal} + \delta_{ecc1} + \delta_{ecc2} + \delta_{noncopl}] \quad (3.5)$$

Denklem 3.5'te  $\Delta_{dyn}$ 'nin genel ifadesi gösterilmiştir.  $\delta_{tidal}$ ,  $\delta_{ecc1} + \delta_{ecc2}$  ve  $\delta_{noncopl}$  terimleri sırasıyla tedirginlik, dış merkezlik ve yörüngelerin farklı düzlemlerde olması nedeniyle ortaya çıkan etkileri temsil etmektedir. Genel ifadede geçen terimlerin açıklarsak; boyutsuz dinamik etkinin üçüncü cismin dönemi ölçeğinde genliği  $A_{L1}$ ,

$$A_{L1} = \frac{15}{8} \frac{M_c}{M_{abc}} \frac{P_1}{P_2} (1 - e_2^2)^{-3/2} \quad (3.6)$$

tedirginlik etkisi  $\delta_{tidal}$ ,

$$\delta_{tidal} = \mathcal{M} \left[ \frac{8}{15} f_1 + \frac{4}{5} K_1 \right] \quad (3.7)$$

dış merkezlik etkileri  $\delta_{ecc1}$  ve  $\delta_{ecc2}$ ,

$$\delta_{ecc1} = (1 + \cos i_m) \{ K_{11} \mathcal{S}[2u_2 - 2(n_2 - n_1)] - K_{12} \mathcal{C}[2u_2 - 2(n_2 - n_1)] \} \quad (3.8)$$

$$\delta_{ecc2} = (1 - \cos i_m) \{ K_{11} \mathcal{S}[2u_2 - 2(n_2 + n_1)] + K_{12} \mathcal{C}[2u_2 - 2(n_2 + n_1)] \} \quad (3.9)$$



ve çift sistem ile üçüncü cismin farklı yörünge düzleminde olması nedeniyle oluşan etki  $\delta_{noncopl}$ ,

$$\delta_{noncopl} = \sin^2 i_m \left( K_{11} \cos 2n_1 + K_{12} \sin 2n_1 - \frac{2}{5} f_1 - \frac{3}{5} K_1 \right) [2\mathcal{M} - \mathcal{S}(2u_2 - 2n_2)] \quad (3.10)$$

olarak yazılır. Ayrıca yukarıdaki denklemlerde sembolik ifadeleri geçen terimler şu şekildedir:

$$\mathcal{M} = v_2 - \ell_2 + e_2 \sin v_2 \quad (3.11)$$

$$\mathcal{S}(2u_2) = \sin 2u_2 + e_2 \left[ \sin(u_2 + \omega_2) + \frac{1}{3} \sin(3u_2 - \omega_2) \right] \quad (3.12)$$

$$\mathcal{C}(2u_2) = \cos 2u_2 + e_2 \left[ \cos(u_2 + \omega_2) + \frac{1}{3} \cos(3u_2 - \omega_2) \right] \quad (3.13)$$

$$f_1 = 1 + \frac{25}{8} e_1^2 + \frac{15}{8} e_1^4 + \frac{95}{64} e_1^6 + \mathcal{O}(e_1^8) \quad (3.14)$$

$$K_1(e_1, \omega_1) = \mp e_1 \sin \omega_1 + \left( \frac{3}{4} e_1^2 + \frac{1}{8} e_1^4 + \frac{3}{64} e_1^6 \right) \cos 2\omega_1 \quad (3.15)$$

$$\pm \left( \frac{1}{2} e_1^3 + \frac{3}{16} e_1^5 \right) \sin 3\omega_1 - \left( \frac{5}{16} e_1^4 + \frac{3}{16} e_1^6 \right) \cos 4\omega_1$$

$$\mp \frac{3}{16} e_1^5 \sin 5\omega_1 + \frac{7}{64} e_1^6 \cos 6\omega_1 + \mathcal{O}(e_1^7)$$

$$K_{11}(e_1, \omega_1) = \frac{3}{4} e_1^2 + \frac{3}{16} e_1^4 + \frac{3}{32} e_1^6 \pm \left( e_1 + \frac{1}{2} e_1^3 + \frac{1}{4} e_1^5 \right) \sin \omega_1 \quad (3.16)$$

$$+ \left( \frac{51}{40} e_1^2 + \frac{37}{80} e_1^4 + \frac{241}{640} e_1^6 \right) \cos 2\omega_1$$

$$\mp \frac{3}{16} e_1^3 \sin 3\omega_1 - \left( \frac{1}{16} e_1^4 - \frac{1}{16} e_1^6 \right) \cos 4\omega_1$$

$$\mp \frac{1}{16} e_1^5 \sin 5\omega_1 + \frac{3}{64} e_1^6 \cos 6\omega_1 + \mathcal{O}(e_1^7)$$

$$\begin{aligned}
K_{12}(e_1, \omega_1) = & \mp \left( e_1 - \frac{1}{2} e_1^3 - \frac{1}{4} e_1^5 \right) \cos \omega_1 \\
& + \left( \frac{51}{40} e_1^2 + \frac{37}{80} e_1^4 + \frac{241}{640} e_1^6 \right) \sin 2\omega_1 \\
& \mp \frac{3}{16} e_1^3 \cos 3\omega_1 - \left( \frac{1}{16} e_1^4 - \frac{5}{32} e_1^6 \right) \sin 4\omega_1 \\
& \pm \frac{1}{16} e_1^5 \cos 5\omega_1 + \frac{3}{64} e_1^6 \sin 6\omega_1 + \mathcal{O}(e_1^7)
\end{aligned} \tag{3.17}$$

Denklem 3.15, 3.16 ve 3.17’de görülen  $\mp$  ve  $\pm$  işaretlerinde minimum zamanlarının türüne bağlı olarak + veya – işaretinin kullanılması gerektiğini gösterir. Yukarıya yazılan işaret birinci, alt kısma yazılan ise ikinci minimum için kullanılmalıdır. Bunlara ek olarak çift sistemin ve üçüncü cismin yörünge düzlemleri arasındaki eğiklik olan  $i_m$  şu şekilde hesaplanır:

$$\cos i_m = \cos i_1 \cos i_2 + \sin i_1 \sin i_2 \cos \Delta\Omega \tag{3.18}$$

İki yörünge düzleminin kendi arasında ve teorik gök küresi üzerinde gökyüzü düzlemiyle kesişimleri sonucunda oluşan küresel üçgen, üçlü sistemin hem gözlemciye hem de sabit düzleme (sabit düzlem (Laplace düzlemi) için bkz. Borkovits ve diğerleri, 2011, 2015) göre üç boyutlu konumlarının ve yörünge dinamiklerinin tanımlanmasında olağanüstü önem taşır. Şekil 18’de de görüldüğü üzere  $n_1, n_2, i_1, i_2, i_m$  ve bunlara ek olarak  $\Delta\Omega$  yörünge parametreleri bu küresel üçgeni tanımlamak için kullanılabilir. Küresel harmonikler teorisinden bilindiği gibi altı parametreden üçünün herhangi bir kombinasyonu, küresel üçgeni tanımlamak için yeterli olsa da çoğu durumda çözümlerde belirsizlik oluşturur. Borkovits ve diğerleri (2011, 2015) bu durumun çözümler için katı kısıtlamalara neden olduğunu ve  $\Delta\Omega$  hariç diğer beş parametreden üçünün serbest ayarlanabileceğini ancak diğer ikisi ve  $\Delta\Omega$ , küresel üçgen teoremi kullanılarak  $\sin\Delta\Omega < 0$  ve  $\sin\Delta\Omega > 0$  durumlarına göre belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Borkovits ve diğerleri (2015) çalışmasında bu kısıtlamalarla, küresel üçgeni tanımlayan serbest parametre seçimi için iki kombinasyon örneği ( $i_2, i_m, n_2$  ve  $i_1, i_m, n_2$ ) vermiştir. Ayrıca  $\Delta\Omega = 0^\circ$  olması çift sistemin ve üçüncü cismin yörüngelerinin aynı düzlemde olduğunu ifade eder. Bu durumda  $i_1 = i_2, n_1 = n_2 = 0^\circ$  ve  $i_m = 0^\circ$  olacağından çözümler daha kolay bir şekilde elde edilir.

Masuda (2017) çalışmasında model açıları ( $i_1, i_2, \Delta\Omega$ ) ve fiziksel açıları ( $n_1, n_2, i_m$ ) tanımlamalarıyla aralarındaki ilişkileri açıklamış ve çalışmasındaki sistemin çözümünü,

Borkovits ve diğeri (2015) tarafından verilen iki kombinasyon örneğinden başka bir kombinasyonla elde etmiştir.  $n_1, n_2, i_1, i_2, i_m$  ve  $\Delta\Omega$  açıları aralarındaki ilişkiler hakkında daha fazla bilgi için Borkovits ve diğeri (2015, Ek D) ve Masuda (2017, Ek A.2) çalışmalarına bakılabilir.

ETV eğrisinde dinamik etkiyle çözüme ulaşmak için dinamik etkinin genliğini boyutsuz olarak Denklem 3.6'da hesaplamıştık. Ancak üçüncü cismin yörüngesine bağlı olarak ETV eğrisinde görülen dinamik etki ve LTTE oranını hesaplamak için şu ifade kullanılmaktadır:

$$\mathcal{A}_{dyn} = \hbar \frac{1}{\pi} \frac{M_c}{M_{abc}} \frac{P_1^2}{P_2} (1 - e_2^2)^{-3/2} \quad (3.19)$$

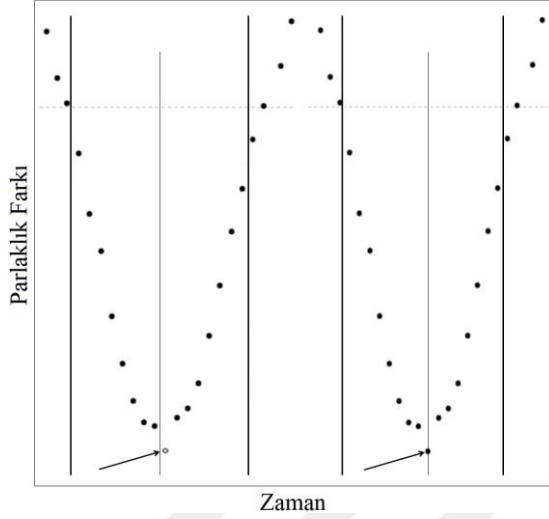
Buradaki  $\hbar$  parametresi, çember veya çembere yakın iç yörüngeler için 1/2, dış merkezli iç yörüngeler için 15/16 olarak alınır. Böylece  $\mathcal{A}_{dyn}/\mathcal{A}_{LTTE}$  oranı hesaplanarak ETV eğrisinde hangi etkinin daha baskın olduğu belirlenebilir.

### 3.4.1. Minimum Zamanı Belirleme Programı

Döneminde değişim olduğu düşünülen bir sistemin ETV analizi yapabilmek için elimizde olması gereken en temel veri minimum (tutulma) zamanlarıdır. Dolayısıyla doğru sonuca ulaşmanın ilk adımı da verinin elde edilmesi aşamasında atılır. Bu nedenle verilerin mümkün olduğunca duyarlı bir şekilde elde edilmesi dönem değişime ilişkin parametrelerin güvenilir bir biçimde elde edilmesi bakımından oldukça önemlidir. Unutulmamalıdır ki gezegen boyutundaki küçük kütleli cisimler, çift sistemin döneminde küçük değişimlere neden olurlar. Verilerin duyarlı elde edilmesi bu tür küçük kütleli cisimlerin varlığının ortaya çıkarılması bakımından ayrıca önemlidir.

Minimum zamanlarının hesaplanmasında Kwee – van Woerden (Kwee ve van Woerden, 1956) yöntemi (KWM), kiriş yöntemi, polinom fiti, Fourier fiti, kübik spline, Gauss modeli ve son yıllarda kullanılmaya başlanan ışık eğrisinin model şablonu gibi farklı yöntemler kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında ayık bir sistemin ışık eğrisindeki aynı minimum çukuru için bu yöntemlerle hesaplanan minimum zamanları arasında yaklaşık 23sn fark olduğu görülmüştür. Yöntemlerin iyi sonuç fakat kötü hata değerlerinin olması, eğriyi ve saçılmayı (gürültüyü) birbirinden ayırmakta zorlanması gibi dezavantajları vardır. Örneğin KWM, bu alandaki en temel çalışma olması ve minimum zamanlarını küçük hata değerleriyle belirleyebilmesi nedeniyle literatürde sıklıkla kullanıldığı görülebilir. Ancak bu yöntemin minimum çukurunu oluşturan noktaların minimum zamanına göre simetrik ve tek

sayıda olması ihtiyacı çoğu zaman gerçekleşmemektedir. İnterpolasyon yapılarak minimum çukuru KWM'ne uygun biçime dönüştürülse de gözlem noktalarındaki saçılmalar sonucu oldukça etkilemektedir. Şekil 19'da yaklaşık 70sn aralıklarla elde edilen gözlem noktalarından oluşan bir minimum çukurunda, saçılmalı bir noktanın minimum zamanı belirleme işlemine alınmadığı (solda) ve alındığı (sağda) durum gösterilmiştir. Hesaplanan iki zaman arasında yaklaşık 147sn fark ortaya çıkmıştır.



Şekil 19. Kwee – van Woerden yönteminde aynı minimum çukurunda gözardı edilen nokta nedeniyle minimum zamanında meydana gelen değişim. a kısmında hesaba katılmayan nokta içi boş yuvarlakla ve b kısmında hesaba katılması gösterilmiştir. Kalın düz çizgiler minimum çukurunun başlangıç ve bitiş sınırlarını, gri kesikli çizgi üst sınırını temsil etmektedir

Bu tez çalışması kapsamında gözlemlerin mümkün olduğunca duyarlı yapılması ve *Kepler*'in benzersiz duyarlılıktaki gözlemler yapması ışık eğrilerinde minimum düzeyde saçılmaya neden olmaktadır. Yine de, uzay teleskoplarıyla yapılan gözlemlerde küçük saçılmalar az da olsa karşımıza çıkabilmektedir. Bunun üstesinden gelmek ve KWM kullanılırken olası minimum zamanı hesaplama hatalarından kaçınmak adına, çalışılan tüm sistemlerin tüm minimum çukurlarının (*Kepler*'in yaklaşık 4 yıllık kesintisiz gözlemlerinde) teker teker kontrol edilmesi ve olası saçılmaya neden olabilecek nispeten bozuk biçimli minimum çukurlarının ihmal edilmesi en uygun seçenektir. Minimum çukurlarının kontrol edilme işleminin yazılımla otomatik bir şekilde yapılması durumunda dahi ihmal edilmesi gereken çukurlar nedeniyle elde edilecek minimum zamanlarından sayısından ödün vermek gerekecektir. Bu nedenle, bu çalışmadaki minimum zamanları belirlenirken, minimum çukurunda saçılmış birkaç noktadan mümkün olduğunca az etkilenen, eğriyi ve gürültüyü

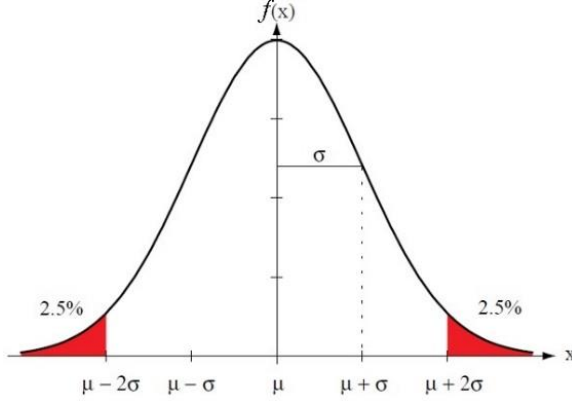
daha iyi ayırt edebilen ve gerçekçi düzeyde hata değerleriyle minimum zamanını belirleyebilen Gauss modeli yöntemi kullanılmıştır.

Gauss modelinin (normal dağılım, Gauss dağılımı) birçok alanda pratik uygulaması vardır. LMFIT (Newville, Stenzitzki, Allen ve Ingarciola, 2014) buna örnek verilebilir. LMFIT, doğrusal olmayan eğrilerin en küçük kareler yöntemiyle pratik bir şekilde modellenebilmesi için Python programlama dilinde hazırlanmış bir paket programdır. Dolayısıyla LMFIT'in sağladığı uygulama kolaylığı da göz önüne alınarak bu çalışma kapsamında minimum zamanları belirlenirken Python programlama dilinde literatürde olmayan yeni bir program (kod) yazılmıştır. Programa LMFIT paketi eklenerek, özellikle *Kepler*'in sürekli ışık eğrilerinden (yaklaşık 65000 satır) minimum zamanlarının otomatik bir şekilde hesaplanması sağlanmış ve hesaplama yöntemi olarak Gauss modeli temel alınmıştır. Bilindiği üzere Gauss dağılımı çana benzediği için çan eğrisi olarak da adlandırılır ve bir tepe noktası etrafında normal dağılımı ifade eder. Ancak ışık eğrilerinde minimumlar çukur biçimde görülmektedir. Bu nedenle minimum çukurlarına Gauss modeli uygulanırken akı farkları basit bir matematiksel ifadeyle (-1 ile çarparak) çan eğrisi biçimine dönüştürülmüştür. Bu işlem yapıldığında gözlem noktalarının zamanlarında bir değişim olmamaktadır.

Denklem 3.20'de Gauss normal dağılım fonksiyonu verilmiştir. Yarı yükseklik genişliği (Full width at half maximum, FWHM)  $2\sigma(2\ln 2)^{1/2}$  ile hesaplanır ki bu da yaklaşık  $2.3548\sigma$ 'dır.

$$f(x; A, \mu, \sigma) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]} \quad (3.20)$$

$f(x)$  fonksiyonunda  $A$  genliği,  $\mu$  ortalama değeri ve  $\sigma$  standart sapmayı temsil etmektedir. Dolayısıyla dağılımın  $\mu$  merkezini, varyans ( $\sigma^2$ ) ise yayılımını ifade eder. Dağılımın merkezi tepe noktası olacağından kullandığımız veri için minimum zamanı anlamına gelir. Şekil 20'de normal dağılım örneği verilmiştir. Eğrinin altına kalan alan dağılımı göstermektedir. Dağılımın büyük çoğunluğunun (%95) tepe noktası etrafında ( $\pm 2\sigma$ ) toplandığına dikkat edilmelidir.



Şekil 20. Gauss dağılım (normal dağılım) örneği

Program aynı zamanda kullanıcının isteğine göre Gauss modeliyle benzer ancak görece biraz daha duyarlı sonuçlar veren Lorentz ve Voigt modelleriyle de hesaplama yapabilmektedir. Denklem 3.21’de Lorentz modeli (Cauchy-Lorentz dağılımı) verilmiştir. FWHM değeri  $2\sigma$ ’dır.

$$f(x; A, \mu, \sigma) = \frac{A}{\pi} \left( \frac{\sigma}{(x - \mu)^2 + \sigma^2} \right) \quad (3.21)$$

Voigt modeli, temelde Gauss ve Lorentz modellerinin birlikte kullanılmasıyla türetilen bir modeldir. Tayf ölçümde tayf profillerini belirlemek için yaygın bir biçimde kullanılır. Denklem 3.22, 3.23 ve 3.24’te sırasıyla Voigt modelinin genel ifadesi ve modelde yer alan terimlerin açılımları verilmiştir.  $\gamma$  terimi, yarı maksimumda yarı genişliği (half width at half maximum, HWHM) temsil etmektedir. FWHM değeri,  $\gamma = \sigma$  durumunda yaklaşık  $3.6013\sigma$ ’dır.

$$f(x; A, \mu, \sigma, \gamma) = \frac{A \operatorname{Re}[w(z)]}{\sigma \sqrt{2\pi}} \quad (3.22)$$

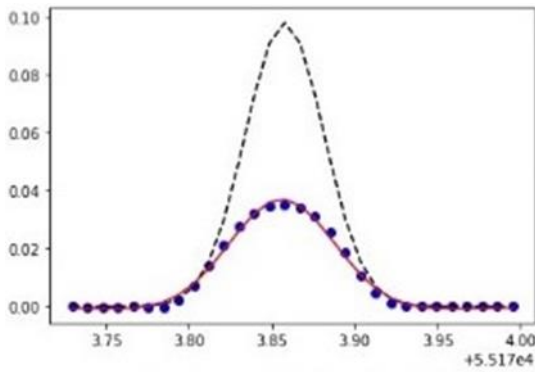
$$z = \frac{x - \mu + i\gamma}{\sigma \sqrt{2}} \quad (3.23)$$

$$w(z) = e^{-z^2} \operatorname{erfc}(-iz) \quad (3.24)$$

Burada  $\operatorname{erfc}()$  Faddeeva fonksiyonu olarak bilinen karmaşık tamamlayıcı hata fonksiyonudur (ayrıca bkz. Gauss hata fonksiyonu).  $i$  karmaşık sayının hayali kısmını temsil etmektedir.

Program minimum zamanlarını hesaplarırken, sistemin  $T_0$ ,  $P$ , minimum çukurunun başlangıç ve bitiş sınır değerlerine ve ışık eğrisi verisine ihtiyaç duyar. *Kepler* verilerindeki (LC veya SC) kesintisiz ışık eğrilerini çevrim sayılarına göre gruplandırarak tüm veriyi

otomatik bir şekilde sırayla işleme alır. Kullanılan verideki her bir minimum çukuru için Levenberg-Marquardt algoritmasıyla (LM) iterasyonlar yapılarak model eğriler oluşturulur. LMFIT paketi, modeldeki değişkenlere ( $A$ ,  $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $\gamma$ ) iterasyon başlangıcı için gerekli olan başlangıç değerlerini atayabildiği gibi bunu kullanıcının da yapmasına izin verir. Böylece başlangıç değerleriyle elde edilen model minimum çukuruna iterasyonlarla fit edilir. Sönümlü en küçük kareler (DLS) yöntemi olarak da bilinen LM ile iterasyonlar sonucunda elde edilen, eğri ve model arasındaki farkların karesinin toplamının en küçük olduğu değere sahip model çözüm olarak kabul edilir. Bu değerdeki tepe noktası minimum zamanını verir (Şekil 21). Bu şekilde kullanılan verideki tüm minimum zamanları hesaplanır.



Şekil 21. Minimum çukuruna uygulanmış Gauss modeli. Kesikli çizgi iterasyonun başlangıç modelini, kırmızı çizgi iterasyonlar sonucu elde edilen modeli ve mavi noktalar gözlem noktalarını temsil eder

Bu tez çalışmasında araştırılan sistemlerin *Kepler* verileri kullanılarak elde edilen minimum zamanları Gauss ve Voigt modeli yöntemiyle hesaplanmıştır. Voigt modeli, Gauss modeline göre daha duyarlı sonuç vermektedir. Ancak bunun yanında daha fazla değişken parametreye sahip olduğundan hesaplanma süresi de daha fazladır. Bu nedenle dinamik etki gösteren ve diğer sistemlere oranla daha az minimum zamanına sahip sistemler (KIC 7177553, KIC 7821010 ve KIC 8610483) için Voigt modeli diğer sistemler için Gauss modeli kullanılmıştır. Elde edilen tüm minimum zamanlarının sayısı 30000'in üzerindedir.

### 3.4.2. Işık Eğrilerinde Yapılan Düzenlemeler

Minimum zamanlarının duyarlı bir şekilde belirlenmesi dönem analizi için çok önemlidir. Minimum zamanları, ışık eğrisinde görülen tutulma çukurlarından belirlendiği için ışık eğrilerinde tutulma çukurlarını etkileyen leke, zonklama, yansıma vb. parlaklık değişimleri minimum zamanlarının belirlenmesini doğrudan etkilemektedir. Işık eğrisinin doğal karakteristiğinin dışında bir değişime neden olan bu etkiler, minimum çukurlarını da

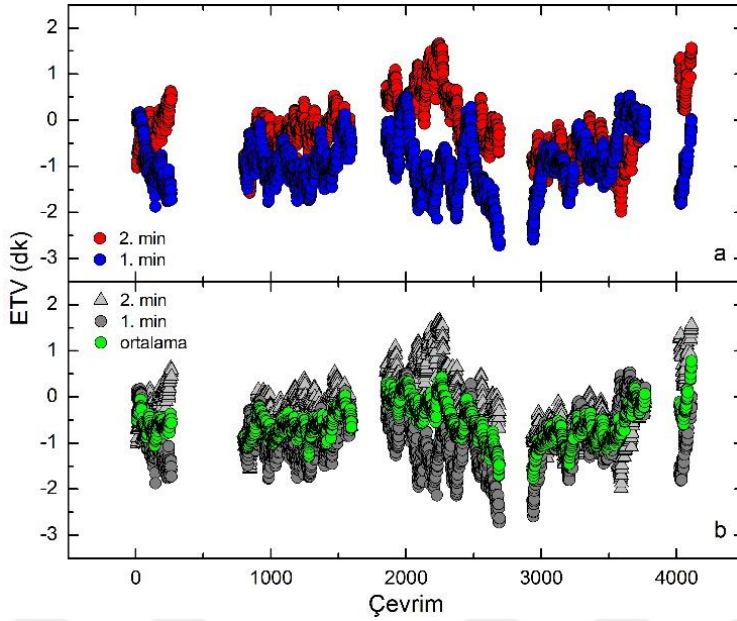
etkilediği oranda sistemin gerçek minimum zamanının belirlenmesini zorlaştırır. Dolayısıyla bu etkilerin ışık eğrilerinden mümkün olduğunca temizlenmesi, gerçek minimum zamanı değerlerinin hesaplanması için önemlidir.

### **Değen ve Aşırı-Değen Sistemlerdeki Düzenleme**

Değen ve aşırı-değen sistemler birbirleri etrafında çember yörüngede dolanırlar. Dolayısıyla sisteme bağlı ilave cisim olması durumunda ETV eğrilerinde eksen dönmesi etkisi göstermeleri beklenmez. Ancak bazı değen tür sistemlerin ETV eğrilerinde birinci ve ikinci minimum zamanlarının zıt fazlı olduğu, eksen dönmesine benzer bir değişim görülmektedir. Tran ve diğerleri (2013) ve sonrasında Balaji, Croll, Levine ve Rappaport (2015) aşırı-değen sistemlerde görülen bu durumun bileşenler üzerindeki leke veya lekelerden kaynaklandığını söylemişlerdir.

Borkovits ve diğerleri (2015), ETV eğrisinde görülen bu etkiyi gidermek için birinci ve ikinci minimum zamanlarının ortalamasını almıştır. Bunun için kübik spline yöntemiyle birinci minimum zamanlarını interpolate ederek ikinci minimum zamanlarına uygun noktalar oluşturmuştur ve ortalama işlemi çevrim sırasına göre bu yeni oluşturulan ve diğer minimum zamanlarıyla birlikte yapılmıştır. Bu çalışmada yeni nokta oluşturmadan çevrim sırasına göre sıralı olacak bir biçimde birinci ve ikinci minimum noktalarının ortalaması alınmıştır. Daha sonra bu ortalamala değerlerden sistemin döneminin çeyreği çıkarılarak ortalaması alınan tüm minimum zamanlarının  $T_0$ 'a göre birinci minimum biçiminde görülmesi sağlanmıştır. Bu işlem yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri de birinci ve ikinci minimumların zıt fakat karşılaştırılabilir düzeyde (benzer genlikte) olmasıdır. Bu şekilde değen ve aşırı-değen sistemlerin ETV eğrilerinde görülen birinci ve ikinci minimum zamanlarının zıt fazlı olması durumu büyük oranda giderilmiştir. Şekil 22'de aşırı-değen KIC 10848807 sistemin ETV eğrisinde a panelinde birinci ve ikinci minimumlar, b panelinde ise minimumlarla birlikte ortalaması alınmış değerler gösterilmiştir. Leke etkisinin mümkün mertebe giderildiği ve ortalama değerlerin ETV eğrisinin karakteristiğini daha net temsil ettiği görülebilir.



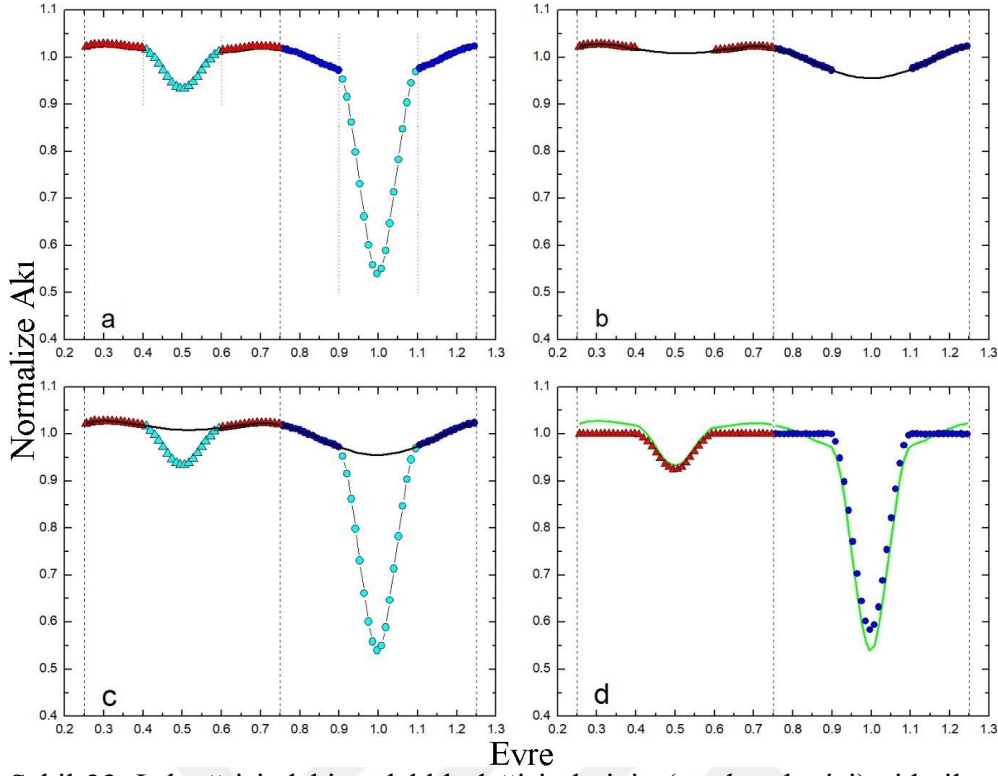


Şekil 22. Aşırı-değen KIC 10848807 sisteminde birinci ve ikinci minimum noktalarının zıt fazlı olması durumu. a kısmında mavi noktalar birinci, kırmızı noktalar ikinci minimum; b kısmında gri yuvarlaklar birinci, gri üçgenler ikinci ve yeşik noktalar ortalama değerleri temsil etmektedir

Bu çalışmadaki KIC 7339345, KIC 10848807 ve KIC 10916675 sistemlerinin minimum zamanlarının ortalaması alınarak ETV analizleri yapılmıştır. Buna ek olarak, sistemlerin kısa dönemli olması nedeniyle bu dört sistemin yaklaşık olarak her birinin en az 5000 ve en fazla 10000 olacak şekilde toplamda 25000'nin üzerinde minimum zamanı belirlenmiştir. Ancak Bölüm 3.4.3'te anlatılacak olan ETV analiz kodunun bu kadar yoğun bir veriyi analiz etmesi mümkün değildir. Dolayısıyla işlemlerin daha hızlı yapılabilmesi için bu sistemlerin hesaplanan minimum zamanları ETV analizlerinde kullanılırken, ETV eğrilerinin karakteristiğini bozmadan mümkün olduğunca azaltılmıştır.

### Yarı-ayrık Sistemlerde Düzenleme

Değen ve aşırı-değen sistemlerde minimum zamanlarının duyarlı belirlenmesinde minimum zamanlarının ortalamasının alınması yöntemi oldukça işlevsel olsa da yarı-ayrık sistemler için bu yöntem geçerli değildir. Borkovits ve diğerleri (2015), yarı-ayrık sistemlerde parlaklık değişimine neden olan etki veya etkileri ışık eğrisinden polinom yöntemiyle çıkarmıştır.



Şekil 23. Işık eğrisindeki parlaklık değişimlerinin (tutulma harici) giderilmesi (açıklaması aşağıdadır)

Şekil 23'te, turkuaz üçgen ikinci minimum noktalarını, turkuaz yuvarlak ve çizgi birinci minimum noktalarını, kırmızı üçgen ikinci minimum dışı noktaları, mavi yuvarlak birinci minimum dışı noktaları, siyah düz çizgiler minimum dışı noktalara yapılmış polinom fitlerini, yeşil düz çizgi ise ilk ışık eğrisinin görünümünü ve dikine kesik çizgiler ışık eğrisi üzerinde belirlenen sınırları temsil etmektedir. Yöntemin tüm ışık eğrisine kolayca ve hatasız bir biçimde uygulanması için Python programlama dilinde bir kod yazılmıştır. Kod, sistemin tüm *Kepler* verisini kullanarak bir çevrimlik ışık eğrilerini 0,25–1,25 evre aralığında gruplayarak Şekil 23'te gösterilen işlem adımlarını sırayla uygular.

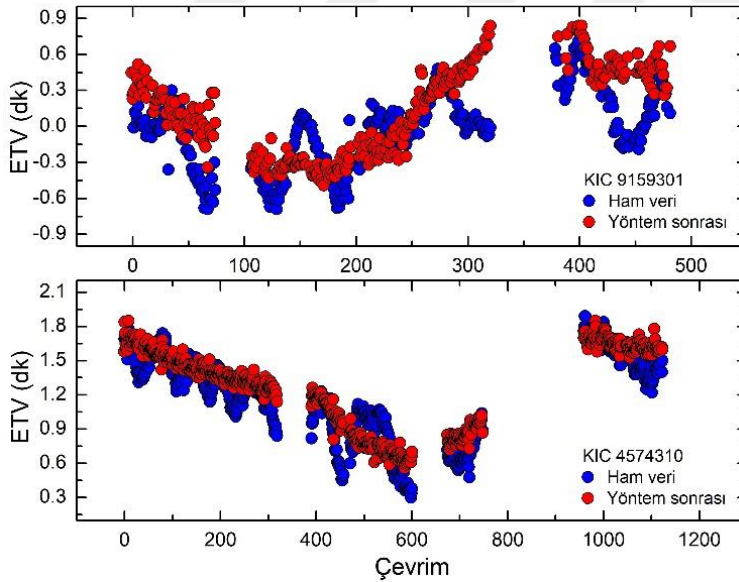
a. Öncelikle 0,25–1,25 evre aralığında gruplanan ışık eğrisi 0,75 evreden kesilerek birinci ve ikinci minimumların ayrı olarak yer aldığı iki parçaya bölünür. Buna ek olarak yapılan işlemde minimum çukurlarının doğrudan etkilenmemesi için minimum çukurları ışık eğrisinden istenilen oranda çıkarılır. Burada ikinci minimum çukuru için 0,4–0,6 ve birinci minimum çukuru için 0,9–1,1 evre aralığı seçilmiştir.

b. Minimum çukurları ışık eğrisinden çıkarıldıktan sonra ikinci ve birinci minimum dışı noktalardan ayrı ayrı 2 polinom fiti geçirilir.

c. Çıkarılan minimum çukurları ışık eğrisine tekrar eklenir ve geçirilen polinom fitleri, ikinci minimum kısmından (0,25–0,75) ve birinci minimum kısmından (0,75–1,25) çıkarılır.

d. Minimum zamanları ışık eğrisinin yeni biçimi kullanılarak hesaplanır. Burada, minimumlar dışında kalan kısımların parlaklık farklarının giderildiğini ve minimum çukurlarının biçim olarak değil ancak seviye olarak değiştiğini görebiliriz. Işık eğrisinden polinom fiti çıkarıldığında doğal olarak 0'a normalize olur. Görselliğe uygun olması için elde edilen değerlere 1 eklenerek 1'e normalize edilmiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri minimum dışı noktalardan geçirilen polinomların dereceleridir. Bilindiği gibi polinomun derecesi ışık eğrisinin karakteristiğini ve parlaklık farkına neden olan diğer etkileri ayrıştıracağından, ne ışık eğrisinin karakteristiğini bozacak kadar yüksek ne de istenmeyen parlaklık değişimlerini modelleyemeyecek kadar düşük dereceden polinomlar kullanılmalıdır. Bu çalışmada 4. dereceden modellerin iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Şekil 24'te KIC 9159301 ve KIC 4574310 sistemlerinin ışık eğrilerinden tutulma harici parlaklık farklarının giderilmesiyle ETV eğrilerindeki değişimler gösterilmiştir. Bu çalışmada KIC 3338660, KIC 3440230, KIC 4574310, KIC 5621294, KIC 8081389 ve KIC 9159301 sistemlerinin ışık eğrileri bu yöntemle düzenlenerek minimum zamanları elde edilmiştir.



Şekil 24. KIC 9159301 (üst panel) ve KIC 4574310 (alt panel) sistemlerinde yöntem uygulanmadan (mavi noktalar) ve yöntem uygulandıktan sonra (kırmızı noktalar) ETV eğrilerindeki değişimler

### 3.4.3. ETV Analizi Programı

Örten çift yıldız sistemlerinde dönem değişimini analiz edebilen Python, MATLAB, IDL vb. yazılım dillerinde yazılmış çeşitli programlar bulunmaktadır. Programlar örten çift yıldızların minimum zamanlarını kullanarak, sistemlerde görülen üçüncü ve dördüncü cisim

etkisi, kütle aktarımı, eksen dönmesi gibi etkileri araştırmakta ve yörünge parametrelerini belirlemektedir. Ancak yayınlanmış hiçbir programda dinamik etkinin araştırılması yapılmamaktadır. Bu tez çalışmasında yer alan KIC 7177553, KIC 7821010 ve KIC 8610483 sistemlerinde dinamik etki baskın bir biçimde görülmektedir. Dolayısıyla bu sistemlerin ETV analizleri için üçüncü cisim etkisiyle birlikte dinamik etkinin de hesaba katılması gerektiğinden, Borkovits ve diğeri (2015) tarafından elde edilen LTTE ve dinamik etki bağıntılarını (bkz. Bölüm 3.4) kullanarak bu etkileri hesaplayabilen yeni bir kod (program) üretilmiştir. Program temel olarak Python programlama dilinde yazılmıştır. Ancak Bölüm 3.4'ün başında anlattığımız LTTE ve dinamik etki bağıntıları C programlama dilinde yazılarak Python ile yazılmış temel koda modül olarak eklenmiştir. Böylece analizlerin daha hızlı yapılması sağlanmıştır.

Program ETV analizlerini yaparken Skilling (2004, 2006) tarafından geliştirilen Nested Sampling algoritmasını (iç içe örnekleme algoritması, NSA) kullanır. NSA, Bayes teoremini temel alan Bayezyan hesaplama yaklaşımıyla sonsal dağılımlardan (posterior distribution) örneklemler üreterek çözüm modelleri oluşturur ve bu modelleri karşılaştırarak araştırılan parametrelerin değerlerini elde eder. Denklem 3.25 ve 3.26'da Bayes teoremi ifade olarak ve matematiksel gösterimiyle verilmiştir. Sonsal olasılık yoğunluk fonksiyonunu (posterior probability density function, posterior PDF) diğeri adıyla sonsal dağılımını tanımlar.

$$\text{Sonsal Dağılım} = \frac{\text{Olabilirlik Fonksiyonu} \times \text{Önsel Dağılım}}{\text{Kant}} \quad (3.25)$$

$$p(\theta|D, M) = \frac{p(D|\theta, M)p(\theta|M)}{p(d|M)} \quad (3.26)$$

Bu denklem genel olarak, gözlemsel veriler ( $D$ ) için belirlenmiş bir modelde ( $M$ ) kullanılan parametrelerin ( $\theta$ ) PDF'sini tahmin eder. Diğeri bir deyişle sonsal dağılım, önceden tahmin edilen parametrelerin ( $\theta$ ) önsel dağılımlarının (önsel olasılık dağılımı, prior probability density function, prior PDF) gerçekleşme durumunun (olabilirlik fonksiyonu, likelihood function), modelin veriye uygunluğunu tanımlayan kanıta (evidence, marginal likelihood) oranıdır.  $O$  model fiti,  $C$  veri,  $\sigma_i$  hata,  $\sigma_j$  jitter (verideki tanımlanamayan gürültü) ve  $N$  veri sayısı olmak üzere olabilirlik fonksiyonunun logaritmik bağıntısı ise şu şekildedir:

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{2} \left[ \sum_{i,j}^N \frac{(O - C)^2}{(\sigma_i^2 + \sigma_j^2)} + \sum_{i,j}^N \log(\sigma_i^2 + \sigma_j^2) \right] \quad (3.27)$$

Normalizasyon faktörü olan kanıt ( $Z$ ) ise;

$$Z = \int p(D|\theta, M)p(\theta|M)d\theta \quad (3.28)$$

Böylece belirlenmesi istenilen her bir parametrenin önsel dağılımları oluşturularak, parametrelerin en iyi modeli veren sonsal dağılımları elde edilir. Bayezyan yaklaşım hakkında daha detaylı bilgi için Speagle (2020) çalışması incelenebilir.

NSA'nın uygulanması için literatürde çeşitli programlama dillerinde yazılmış sayısız kod ve paket program bulunmaktadır. Bu çalışmada, astronomik verinin Bayezyan analiz yöntemi için çoklu mod tanımlaması yapabilen 'MultiNest' (Feroz ve Hobson, 2008; Feroz, Hobson ve Bridges, 2009) ve onun Python tabanlı versiyonu olan 'PyMultiNest' (Buchner ve diğerleri, 2014) paket programı kullanılmıştır. Bu paket programlar yardımıyla analizi yapılan sistemin parametrelerinin, başlangıçta kullanıcı tarafından girilen önsel dağılımları kullanılarak iterasyonlar yapılmıştır. Her bir iterasyon sonucunda yeni önsel dağılımlar oluşturularak olabilirlik fonksiyonunun maksimum düzeyde tanımladığı model parametrelerinin sonsal dağılımı elde edilmiştir. Sistemlerin analizlerinde araştırılan parametreler için kullanılan başlangıç önsel dağılımlarının sınır değerleri Tablo 11'de verilmiştir.

Bu çalışmadaki tüm ETV analizlerinde başlangıç sınırları için bu değerler kullanılmıştır. Ancak dinamik etki analizi yapılmayan sistemler için  $\cos i_2 = \Delta\Omega = 0$  alınmıştır. Sadece dinamik etki görülen sistemlerde  $\Delta\Omega$  araştırılmıştır. Tablo 11'de  $\Delta\Omega$   $-180^\circ$ – $180^\circ$  aralığında araştırıldığı söylenmiştir. Ancak Bölüm 3.4'te de anlatıldığı gibi doğrudan bu aralık yerine,  $\sin\Delta\Omega < 0$  ve  $\sin\Delta\Omega > 0$  durumuna göre iki ayrı analiz yapılmıştır. İki analizden en iyi kanıt değerini veren analiz çözüm olarak kabul edilmiştir. Matematiksel ifadelerden de beklendiği üzere bu iki analizin kanıt değerleri çok yaklaşık elde edilmektedir. Dolayısıyla çözümler birebir değil fakat hemen hemen aynı olmaktadır. Temel fark ise  $\Delta\Omega$ 'nın işaretindeki değişimdir. Ayrıca sistemlerin ışık eğrisi analizlerinden belirlenmiş parametreleri ( $e_1$ ,  $\omega_1$ ,  $i_1$  ve  $M_{12}$ ) varsa bu parametreler sabit alınmıştır. Bölüm 4'te sistemlerin analizleri anlatılırken bu tablodan farklı olarak sisteme özel girilen değerler belirtilecektir.

Tablo 11

ETV analizlerinde kullanılan parametrelerin başlangıç sınır değerleri

Parametre	Başlangıç Sınırları
Referans zamanı: $T_0$ (BJD)	-0,01 – 0,01 <sup>a</sup>
Çift sistemin yörünge dönemi: $P_1$ (gün)	-0,01 – 0,01 <sup>a</sup>
Quadratic terim: $Q$ (gün)	-0,0001 – 0,0001
Çift sistemin dış merkezliği: $e_1$	0,00 – 0,95
Çift sistemin enberi noktasının argümanı: $\omega_1$ (°)	-180 – 180
Çift sistemin yörünge eğikliği: $i_1$ (°)	-180 – 180
Çift sistemin toplam kütlesi: $M_{12}$ ( $M_\odot$ )	0,1 – 4,0
Enberi noktasından geçiş zamanı: $T_s$ (BJD)	– <sup>b</sup>
Üçüncü cismin yörüngesinin dönemi: $P_2$ (gün)	– <sup>c</sup>
Üçüncü cismin yörüngesinin dış merkezliği: $e_2$	0,00 – 0,95
Üçüncü cismin enberi noktasının argümanı: $\omega_2$ (°)	-180 – 180
Üçüncü cismin yörünge eğikliği: $i_2$ (°)	-180 – 180
Üçüncü cismin kütlesi: $M_3$ ( $M_\odot$ )	0,0001 – 0,1
İç ve dış yörüngelerin çıkış düğümleri noktalarının farkı: $\Delta\Omega$ (°)	-180 – 180

*a.* ETV eğrisinde kullanılan ışık elemanlarının 0,01 eksiği ve fazlası, *b.*  $T_s$ , analizde kullanılan tüm minimum zamanlarını kapsayan bir aralık, *c.*  $P_2$  ise ETV eğrisinden kestirim yoluyla tahmini bir değer olarak girilir.

### 3.5. Sistemlerin Temel Fiziksel Parametrelerinin Hesaplanması

Bu çalışma kapsamında ışık eğrisi analizi yapılan sistemlerin analiz sonucu elden edilen parametre değerleri kullanılarak Tablo 12’de verilen temel fiziksel parametreleri hesaplanmıştır.

Tablo 12

Sistemlerin elde edilen temel fiziksel parametreleri ve tanımları

Parametre	Tanım
$M_1$ ( $M_\odot$ )	Birinci bileşenin kütlesi
$M_2$ ( $M_\odot$ )	İkinci bileşenin kütlesi
$R_1$ ( $R_\odot$ )	Birinci bileşenin yarıçapı
$R_2$ ( $R_\odot$ )	İkinci bileşenin yarıçapı
$a$ ( $R_\odot$ )	Çift sistemin yörüngesinin yarı büyük eksen uzunluğu
$\log g_1$ (cgs)	Birinci bileşenin yüzey çekim ivmesinin logaritması
$\log g_2$ (cgs)	İkinci bileşenin yüzey çekim ivmesinin logaritması
$M_{bol,1}$ ( $^m$ )	Birinci bileşenin bolometrik parlaklığı
$M_{bol,2}$ ( $^m$ )	İkinci bileşenin bolometrik parlaklığı
$L_1$ ( $L_\odot$ )	Birinci bileşenin ışıyım gücü
$L_2$ ( $L_\odot$ )	İkinci bileşenin ışıyım gücü
$V$ ( $^m$ )	Sistemin $V$ süzgecindeki parlaklığı
$E(B-V)$ ( $^m$ )	Renk artığı
$d$ (pc)	Sistemin hesaplanan uzaklığı
$d_{GAIA}$ (pc)	Sistemin GAIA uzaklığı

Sistemlerin temel fiziksel parametreleri hesaplanırken ışık eğrisi dikine hız verisiyle eş zamanlı analizi yapılmış sistemlerin  $M_1$  ve  $M_2$  parametreleri doğrudan Kepler denklemleri yardımıyla elde edilmiştir. Dikine hız verisi olmayan sistemlerde  $M_1$  parametresi, Eker ve diğerleri (2018) tarafından yapılmış anakol yıldızları için kütle-ışınım ilişkisi çalışmasından yararlanılarak, bileşenlerin sıcaklıklarına göre tahmin edilmiştir. Bolometrik düzeltme katsayıları (BC) yine benzer şekilde Eker ve diğerleri'nin çalışmasından alınmıştır. Buna göre, ışık eğrisi analizi yapılırken dikine hız verisi kullanılmışsa elde edilen  $a$  değeriyle bileşenlerin toplam kütlesi ( $M_{12}$ ),

$$M_{12} = \frac{a^3 4\pi}{p^2 G} \quad (3.29)$$

ve bileşenlerin kütle oranı ( $q$ ) kullanılarak bileşenlerin kütleleri,

$$M_1 = \frac{M_{12}}{(1 + q)} \quad (3.30)$$

$$M_2 = M_{12} - M_1 \quad (3.31)$$

denklemleriyle elde edilir. Eğer ışık eğrisi analizinde dikine hız verisi kullanılmamışsa, tahmin edilen  $M_1$  değeri ve  $q$  ile yukarıdaki işlemler ters yönde yapılarak  $a$  elde edilir. Bileşenlerin, yarıçapları  $R_{1,2}$ ,

$$R_{1,2} = a^3 \sqrt{r_{1,2(pole)} + r_{1,2(side)} + r_{1,2(back)}} \quad (3.32)$$

ışınım güçleri  $L_{1,2}$ ,

$$L_{1,2} = 4\pi R_{1,2}^2 \sigma T_{eff}^4 \quad (3.33)$$

yüzey çekim ivmelerinin logaritması  $\log g_{1,2}$ ,

$$\log g_{1,2} = \log M_{1,2} - 2\log R_{1,2} + 4,437 \quad (3.34)$$

bolometrik parlaklıkları  $M_{bol,1,2}$ ,

$$M_{bol,1,2} = M_{bol\odot} - 2,5\log \left[ \frac{L_{1,2}}{L_{\odot}} \right] \quad (3.35)$$

görsel bölgede mutlak parlaklıkları  $M_{V1,2}$ ,

$$M_{V1,2} = M_{bol1,2} - BC_{V1,2} \quad (3.36)$$

görsel bölgede yıldızlararası kızarma  $A_V$ ,

$$A_V = 3,086E(B - V) \quad (3.37)$$

sistemin uzaklığı  $d$ ,

$$d = 10^{0,2(V - M_V + 5 - A_V)} \quad (3.38)$$

ve *GAIA* tarafından elde edilen paralaks açısı kullanılarak hesaplanan uzaklık  $d_{Gaia}$ ,

$$d_{Gaia} = \frac{1}{\text{paralaks}} \quad (3.39)$$

denklemleriyle hesaplanmıştır.



## BÖLÜM 4

### ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

#### 4.1. Işık Eğrisi Analizleri

Ötegezegenlerin yörünge parametrelerini duyarlı bir şekilde belirlemek ve katalog hazırlamak için örten çift sistemlerin yörünge ve temel parametrelerinin de duyarlı belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle sistemlerin mümkün olan en güncel verileri kullanılarak yeni ışık eğrisi analizleriyle sistemlerin fotometrik ve temel fiziksel parametreleri elde edilmiş, literatürde çalışması olan sistemlerin değerleri güncellenmiştir. Bu tez çalışmasında 15 örten çift yıldız sisteminin ışık eğrisi analizi WD (2015v) programıyla yapılmıştır. HW Vir ve V1828 Aql sistemleri bu çalışma kapsamında TUG ve ÇOMÜĞ'de gözlenmiştir. Bu iki sistem için elde edilen ışık eğrileri dışında analizi yapılan diğer sistemlerin ışık eğrisi verileri *Kepler*'in veri tabanından alınmıştır. Sistemlerin *Kepler* ışık eğrilerinde SC verisine öncelik verilmiş, SC verisi yoksa LC verisi kullanılmış ve varsa dikine hız verileri ışık eğrisi verileriyle eş zamanlı analiz edilmiştir. Dikine hız verisi olmayan sistemlerin kütle oranları, analizlerde başlangıç parametresi olarak kullanılmak üzere  $q$ -taramasıyla tahmin edilmiştir. Tüm sistemlerin  $q$  parametreleri analizlerde serbest parametre olarak kullanılmıştır. Üçüncü ışık, analizlerin başlangıcında serbest bırakılarak araştırılmış ancak üçüncü ışık katkısı olmaması durumunda 0 sabit değeri kullanılarak analize devam edilmiştir. Ayırık tür sistemler için MOD2, yarı-ayırık tür sistemler için MOD5 ve degen sistemler için MOD3 kullanılmıştır. Modların özellikleri ve sabit alınması gereken sistem parametreleri için Tablo 9'a bakınız. Bunlara ek olarak sistemlerin ışık eğrisi analizlerinde kullanılan bolometrik yansıma katsayı ve çekim kararması değerleri sırasıyla Rucinski (1969) ve Lucy (1967) çalışmalarından alınmıştır.

Işık eğrisi analizlerinden elde edilen parametreler kullanılarak sistemlerin temel fiziksel parametreleri ve uzaklıkları elde edilmiştir. Literatürde dikine hız verisi olmayan sistemlerin temel fiziksel parametreleri elde edilirken Eker ve diğerleri (2018) tarafından yapılmış anakol yıldızları için kütle-ışınım ilişkisi çalışmasından yararlanılmıştır. Sistemlerin paralaks açıları, Gaia uzay teleskobunun (Gaia Collaboration, 2016) eDR3 (Gaia Collaboration, 2020b) çalışmasından alınmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre uzaklıkları hesaplamak için gerekli olan sistemlerin parlaklık ( $V$  süzgeci veya *Kepler* parlaklığı) Henden, Levine, Terrell ve Welch (2015) tarafından yayınlanmış APASS (AAVSO Photometric All-Sky Survey), Kepler Mission Team (2009) tarafından yayınlanmış KIC (Kepler Input Catalog) ve Stassun ve diğerleri (2019) tarafından

yayınlanmış olan TIC-8 (TESS Input Catalog-v8) kataloglarından alınmıştır. Sistemlerin renk artığı ( $E(B-V)$ ) değerleriyle KIC ve TIC-8 kataloglarından elde edilmiştir.

Sistemlerin yapılan analizler sonucu elde edilen parametreleri kullanılarak kuramsal ışık eğrisi modelleri oluşturulmuştur. Sistemlerin gözlemsel eğrileri ve varsa dikine hız eğrilerinin hesaplanan modellerle uyumu şekillerde gösterilmiştir. Şekillerde görülen noktalar gözlemsel veriyi, sürekli çizgiler ise yapılan analiz sonucu elde edilen kuramsal modeli temsil etmektedir.

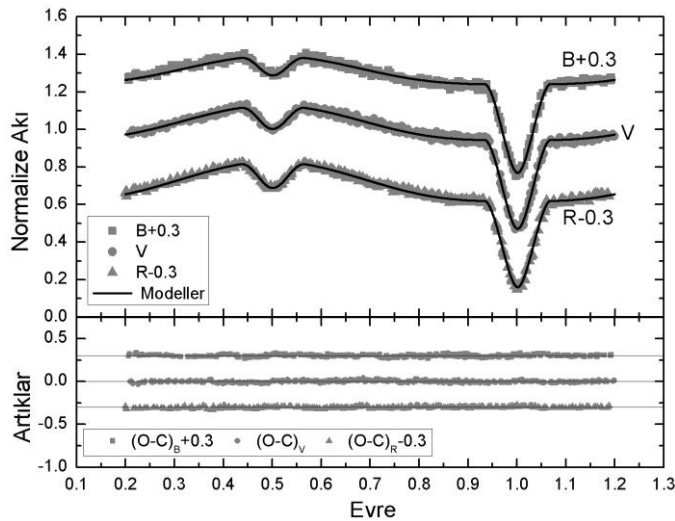
#### 4.1.1. HW Vir'in Işık Eğrisi Analizi

HW Vir'in (sdB+dM) 2015-2018 yılları arasındaki süreçte ÇOMÜG'de geniş bant  $B-V-R$  süzgeçleri kullanılarak 6 gece gözlemi yapılmıştır. Sistemin yapılan gözlemlerinden 12 yeni minimum zamanı elde edilmiştir. Gözlem verileri ve minimum zamanları için Tablo 3 ve Tablo 4 incelenebilir.

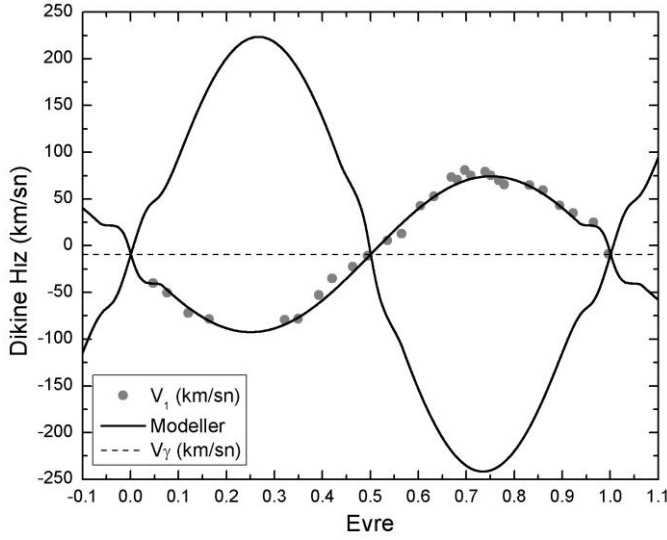
Gözlemlerden geniş bant  $B-V-R$  süzgeçleriyle elde edilen 3 ışık eğrisiyle birlikte sistemin Wood ve Saffer (1999) tarafından yapılan tayf çalışmasında elde edilmiş birinci bileşenin dikine hız verileri eş zamanlı analiz edilmiştir. Yine Wood ve Saffer tarafından birinci bileşenin sıcaklığı ( $T_1$ ) 28488 K, birinci ve ikinci bileşenin kütleleri sırasıyla  $M_1=0,48 M_\odot$  ve  $M_2=0,14 M_\odot$  olarak belirlenmiştir. Analizlerde başlangıç parametrelerinden  $T_1=28488$  K sabit olarak kullanılmış ve kütle oranı  $q=M_2/M_1=0,29$  değeri kullanılarak serbest bırakılmıştır. Sistemin ışık eğrilerinin maksimum noktalarında görülen değişim yansıma etkisinden kaynaklanmaktadır. Sıcak ön tayf türü ve soğuk geri tayf türü bileşenlerden oluşan PCEB türü sistemlerin tipik özelliği olan bu etki, soğuk olan ikinci bileşenin, oldukça sıcak olan birinci bileşene bakan yüzeyinin ısınmasından kaynaklanır. Soğuk olan bileşenin ısınan yüzeyiyle geri kalan yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı arttıkça yansıma etkisi belirginleşir. Yansıma etkisi nedeniyle ısınan ikinci bileşenin ışınımsal dış katmana sahip olduğu kabulü altında bileşenlerin bolometrik yansıma katsayıları  $A_1=A_2=1,0$  olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte birinci ve ikinci bileşenlerin çekim kararmaları sırasıyla  $g_1=1,0$  ve  $g_2=0,32$  olarak alınmıştır. Yansıma katsayıları ve çekim kararma değerleri analizlerde sabit olarak kullanılmıştır. Işık eğrisi analizinden elde edilen sonuçlarıyla literatürde yer alan sonuçlarla karşılaştırmalı olarak Tablo 13'te verilmiştir. Sistemin hesaplanan temel fiziksel parametreleri ve literatür kıyaslaması Tablo 14'te sunulmuştur. Şekil 25'te gözlemsel ışık eğrileri ve analizler sonucu elde edilen modeller ve Şekil 26'da dikine hız eğrisi ve modellemesi verilmiştir. İkinci bileşenin dikine hız verisi olmadığı için modellemesi birinci bileşenin modellemesi baz alınarak yapılmıştır.

Tablo 13  
HW Vir sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Lee vd. (2009)	Bu çalışma
$T_0$ (HJD)	–	2458212,424808
$P$ (gün)	–	0,11671953
$a$ ( $R_\odot$ )	0,8594 (89)	0,812 (4)
$P_{kayma}$	–	0,0007 (1)
$V\gamma$ (km/sn)	-5,80 (64)	-9,34 (28)
$i$ ( $^\circ$ )	80,98 (10)	80,48 (7)
$T_1$ (K)	28488	28488
$T_2$ (K)	3084 (272)	3231 (250)
$\Omega_1$	5,020 (35)	4,916 (22)
$\Omega_2$	2,806 (21)	2,861 (17)
$q$	0,2931 (43)	0,313 (4)
$A_1 - A_2$	1,0 - 0,90 (60)	1,00 - 1,00
$g_1 - g_2$	1,0 - 0,32	1,00 - 0,32
$L_1/(L_T)_B$	–	0,999 (12)
$L_1/(L_T)_V$	0,9997 (8)	0,999 (12)
$L_1/(L_T)_R$	–	0,999 (12)
$L_2/(L_T)_B$	–	0,001
$L_2/(L_T)_V$	0,0003 (2)	0,001
$L_2/(L_T)_R$	–	0,001
$\ell_3$	–	–
$r_1$ (pole)	0,2113 (16)	0,2171 (10)
$r_1$ (point)	0,2137 (17)	0,2199 (11)
$r_1$ (side)	0,2126 (16)	0,2186 (11)
$r_1$ (back)	0,2134 (16)	0,2195 (11)
$r_1$ (ort.)	0,2124	0,2188
$r_2$ (pole)	0,1991 (34)	0,2064 (28)
$r_2$ (point)	0,2130 (46)	0,2239 (41)
$r_2$ (side)	0,2014 (36)	0,2104 (30)
$r_2$ (back)	0,2096 (43)	0,2198 (36)
$r_2$ (ort.)	0,2036	0,2150



Şekil 25. HW Vir sisteminin  $B-V-R$  süzgeçlerindeki gözlenen ışık eğrileri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 26. HW Vir sisteminin birinci bileşeninin dikine hız eğrisi ve elde edilen modeller. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-9,34 km/sn)

Tablo 14

HW Vir sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Lee vd. (2009)	Bu çalışma
$M_1 (M_{\odot})$	0,485 (13)	0,401 (6)
$M_2 (M_{\odot})$	0,142 (4)	0,127 (2)
$R_1 (R_{\odot})$	0,183 (26)	0,178 (1)
$R_2 (R_{\odot})$	0,175 (26)	0,175 (2)
$a (R_{\odot})$	0,8594 (89)	0,812 (4)
$T_1 (K)$	28488	28488
$T_2 (K)$	3084 (272)	3235 (250)
$\log g_1 (cgs)$	5,60 (12)	5,54 (1)
$\log g_2 (cgs)$	5,10 (13)	5,06 (1)
$M_{bol,1} (m)$	1,46 (24)	1,57 (3)
$M_{bol,2} (m)$	11,20 (46)	11,06 (34)
$L_1 (L_{\odot})$	19,7 (5,6)	18,69 (56)
$L_2 (L_{\odot})$	0,003 (1)	0,003 (1)
$V (m)$	–	10,50 <sup>a</sup>
$E(B-V) (m)$	–	0,0251 <sup>a</sup>
$d (pc)$	181 (20)	173 (3)
$d_{Gaia} (pc)$	–	173 (2)

a. TIC-8

#### 4.1.2. V1828 Aql'nın Işık Eğrisi Analizi

V1828 Aql (sdB+dM) bu çalışmada gözlemi yapılan bir diğer örten çift yıldız sistemidir. PCEB türü ayrık sistem, bu tez çalışması kapsamında 2018 yaz sezonunda TUG'da geniş bant  $B-V-R-I$  süzgeçleriyle 3 gece ve 2019 yaz sezonunda ÇOMÜG'de geniş bant  $B-V-R$  süzgeçleriyle 2 gece gözlenmiştir. Yapılan gözlemlerden sistemin 16 yeni

minimum zamanı hesaplanmıştır. Gözlemlerin detayları ve minimum zamanları için Tablo 5'e ve Tablo 6'ya bakınız.

Sistemin ışık eğrisi analizinde ÇOMÜĞ'e göre gözlem kalitesinin yüksek olması nedeniyle sadece TUG'da elde edilen geniş bant  $B-V-R-I$  süzgeçlerindeki ışık eğrileri kullanılmıştır. Buna ek olarak sistemin Almeida ve diğerleri (2012) çalışmasında elde edilmiş olan birinci bileşenin dikine hız verileri alınarak bu tez çalışması kapsamında 4 süzgeçte elde edilen ışık eğrileriyle eş zamanlı analiz edilmiştir. Almeida ve diğerleri çalışmasında belirlenen birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=42000$  K sabit ve kütle oranı  $q=0,26$  serbest parametreler olarak kullanılmıştır. Çok sıcak ve soğuk yıldızların oluşturduğu PCEB türü sistemlerin tipik özelliği olarak HW Vir sisteminde detaylı bahsettiğimiz yansıma etkisi, bu sistemde de oldukça belirgindir. Bu nedenle benzer şekilde bileşenlerin bolometrik yansıma katsayıları  $A_1=A_2=1,0$  ve birinci ve ikinci bileşenin çekim kararmaları sırasıyla  $g_1=1,0$  ve  $g_2=0,32$  olarak belirlenmiş ve analizlerde sabit alınmıştır. Işık eğrisi analizinin sonuçları ve elde edilen temel fiziksel parametre değerleri Almeida ve diğerleri tarafından elde edilen değerlerle kıyaslanması sırasıyla Tablo 15 ve Tablo 16'da sunulmuştur. Şekil 27'de gözlemlerden elde edilen ışık eğrileri ve analizler sonucu hesaplanan modellerin uyumu ve Şekil 28'de dikine hız eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model uyumu gösterilmiştir. Sistemin ikinci bileşenin dikine hız verisi olmadığı için modellemesi birinci bileşenin modeline göre hesaplanmıştır.

Tablo 15  
V1828 Aql sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Almeida vd. (2012)		Bu çalışma
	Model 1	Model 2	
$T_0$ (HJD)	–	–	2458308,38238 (2)
$P$ (gün)	–	–	0,11037422 (10)
$a$ ( $R_\odot$ )	0,74 (4)	0,80 (4)	0,739 (28)
$V\gamma$ (km/sn)	–	–	-12,24 (69)
$i$ ( $^\circ$ )	82,5 (4)	82,5 (3)	82,18 (14)
$T_1$ (K)	42 300 (400)	42 000 (500)	42000
$T_2$ (K)	2400 (600)	2550 (550)	3077 (250)
$\Omega_1$	4,58 (13)	4,55 (11)	4,496 (23)
$\Omega_2$	2,80 (15)	2,69 (12)	2,823 (56)
$q$	0,28 (1)	0,26 (1)	0,2703 (115)
$A_1 - A_2$	1,00 – 1,50 (11)	1,00 – 1,20 (12) <sup>a</sup>	1,00 – 1,00
$g_1 - g_2$	1,0 – 0,3	1,0 – 0,3	1,00 – 0,32
$L_1/(L_T)_B$	–	–	0,999 (1)
$L_1/(L_T)_V$	–	–	0,999 (1)
$L_1/(L_T)_R$	–	–	0,999 (1)
$L_1/(L_T)_I$	–	–	0,998 (2)

Tablo 15'in devamı

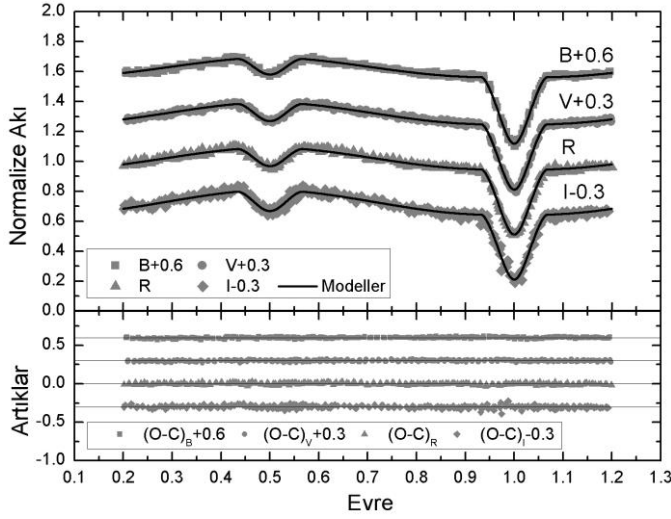
Parametre	Almeida vd. (2012)		Bu çalışma
	Model 1	Model 2	
$L_2/(L_T)_B$	–	–	0,001
$L_2/(L_T)_V$	–	–	0,001
$L_2/(L_T)_R$	–	–	0,001
$L_2/(L_T)_I$	–	–	0,002
$\ell_3$	–	–	–
$r_1$ (pole)	0,231 (6)	0,233 (5)	0,2362 (11)
$r_1$ (point)	0,235 (7)	0,236 (6)	0,2399 (11)
$r_1$ (side)	0,233 (6)	0,235 (5)	0,2383 (11)
$r_1$ (back)	0,234 (7)	0,236 (6)	0,2393 (11)
$r_1$ (ort.)	–	–	0,2384
$r_2$ (pole)	0,180 (16)	0,194 (14)	0,1834 (120)
$r_2$ (point)	0,191 (19)	0,210 (19)	0,1950 (160)
$r_2$ (side)	0,182 (16)	0,198 (16)	0,1861 (127)
$r_2$ (back)	0,189 (19)	0,207 (18)	0,1927 (149)
$r_2$ (ort.)	–	–	0,1892

a. Almeida ve diğerleri (2012) Model 2 çözümlerinde ikinci bileşen için yansıma katsayılarını serbest bırakmıştır. 7 süzgeç için yaptıkları analizlerden Tablo 15'te sadece  $V$  süzgecinin yansıma katsayısı sonuçları yazılmıştır

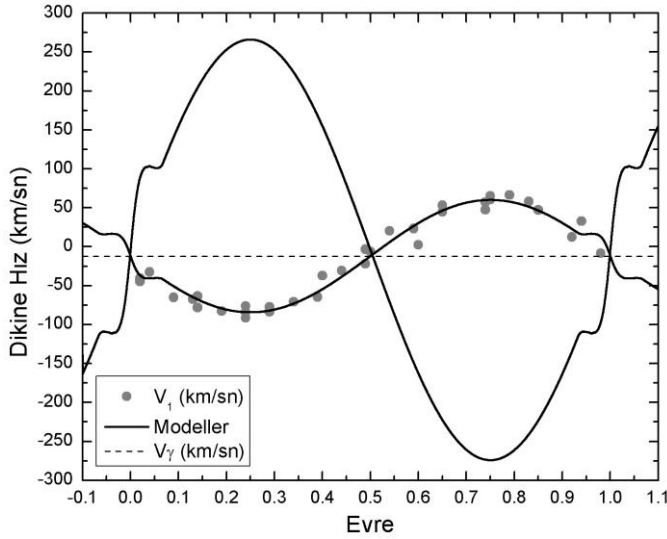
Tablo 16  
V1828 Aql sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Almeida vd. (2012)		Bu çalışma
	Model 1	Model 2	
$M_1$ ( $M_\odot$ )	0,346 (79)	0,419 (70)	0,351 (40)
$M_2$ ( $M_\odot$ )	0,097 (28)	0,109 (23)	0,095 (11)
$R_1$ ( $R_\odot$ )	0,173 (10)	0,188 (10)	0,176 (7)
$R_2$ ( $R_\odot$ )	0,137 (8)	0,162 (8)	0,140 (7)
$a$ ( $R_\odot$ )	0,74 (4)	0,80 (4)	0,740 (28)
$T_1$ (K)	42300 (500)	42000 (400)	42000
$T_2$ (K)	2400 (500)	2550 (500)	3077 (250)
$\log g_1$ (cgs)	5,50 (14)	5,51 (11)	5,49 (2)
$\log g_2$ (cgs)	5,15 (16)	5,05 (13)	5,12 (4)
$M_{bol,1}$ ( $^m$ )	–	–	-0,09 (8)
$M_{bol,2}$ ( $^m$ )	–	–	11,76 (37)
$L_1$ ( $L_\odot$ )	–	–	86,91 (6,76)
$L_2$ ( $L_\odot$ )	–	–	0,002 (1)
$V$ ( $^m$ )	–	–	13,296 <sup>a</sup>
$E(B-V)$ ( $^m$ )	–	–	0,0823 <sup>a</sup>
$d$ (pc)	–	–	730 (97)
$d_{Gaia}$ (pc)	–	–	753 (20)

a. TIC-8



Şekil 27. V1828 Aql sisteminin  $B-V-R-I$  süzgeçlerinde gözlenen ışık eğrileri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 28. V1828 Aql sisteminin birinci bileşenin dikine hız eğrisi ve elde edilen modeller. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-12,24 km/sn)

#### 4.1.3. KIC 3338660'ın Işık Eğrisi Analizi

Günümüzde sistemin yayınlanmış herhangi bir ışık eğrisi analizi çalışması bulunmamaktadır. Analizler sırasında Armstrong ve diğerleri (2014) tarafından elde edilen birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=6100$  K sabit parametre olarak alınmıştır. Sistemin yayınlanmış bir dikine hız çalışması olmadığı için analizlerde başlangıç parametresi olarak kullanılmak üzere  $q$  taraması yapılmıştır. Tarama sonucunda elde edilen modellerde en küçük  $\Sigma(O-C)^2$  değerine sahip kütle oranı  $q=0,74$  serbest başlangıç parametresi olarak kullanılmıştır. Işık ve analizlerden elde edilen model eğrileri arasında 0,4 evre civarında uyumsuzluk görülmüştür. Bu uyumsuzluğu gidermek için soğuk bileşene sıcak leke modeli uygulanmıştır. Işık eğrisi analizinin sonuçları ve elde edilen temel fiziksel parametreler Tablo 17 ve Tablo 18'de

verilmiştir. Şekil 29’da ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 30’da sistemin yapılan  $q$  taraması gösterilmiştir.

Tablo 17  
KIC 3338660 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2455978,29397 (193)
$P$ (gün)	1,8733767 (114)
$i$ (°)	72,96 (2)
$T_1$ (K)	6100
$T_2$ (K)	3921 (250)
$\Omega_1$	4,379 (3)
$\Omega_2$	3,331 (2)
$q$	0,732 (1)
$A_1 - A_2$	0,50 - 0,50
$g_1 - g_2$	0,32 - 0,32
$L_1/(L_T)_R$	0,882 (1)
$L_2/(L_T)_R$	0,118
$\ell_3$	–
$r_1$ (pole)	0,2723 (2)
$r_1$ (point)	0,2864 (3)
$r_1$ (side)	0,2772 (2)
$r_1$ (back)	0,2831 (3)
$r_1$ (ort.)	0,2797
$r_2$ (pole)	0,3257 (4)
$r_2$ (point)	0,4212 (27)
$r_2$ (side)	0,3403 (6)
$r_2$ (back)	0,3697 (8)
$r_2$ (ort.)	0,3625
<b>Leke Parametreleri</b>	<b>Soğuk bileşen</b>
$\varphi_2$ (°)	82 (6)
$\theta_2$ (°)	198 (1)
$\rho_2$ (°)	17 (2)
$\tau_2$ ( $T_{leke}/T_{yüzey}$ )	1,060 (17)

Tablo 18  
KIC 3338660 sisteminin temel fiziksel parametreleri

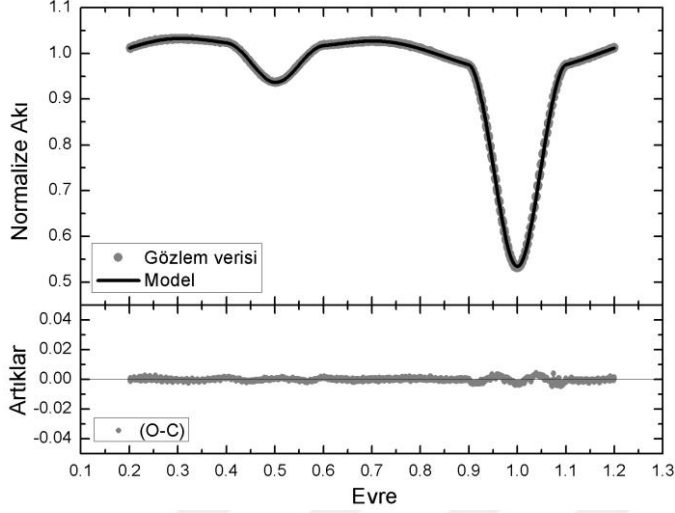
Parametre	Bu çalışma
$M_1$ ( $M_\odot$ )	1,197 (97)
$M_2$ ( $M_\odot$ )	0,876 (71)
$R_1$ ( $R_\odot$ )	2,280 (62)
$R_2$ ( $R_\odot$ )	2,955 (80)
$a$ ( $R_\odot$ )	8,153 (220)
$T_1$ (K)	6100
$T_2$ (K)	3921 (250)
$\log g_1$ (cgs)	3,80 (1)
$\log g_2$ (cgs)	3,44 (1)
$M_{bol,1}$ ( $m$ )	2,73 (20)
$M_{bol,2}$ ( $m$ )	4,08 (28)



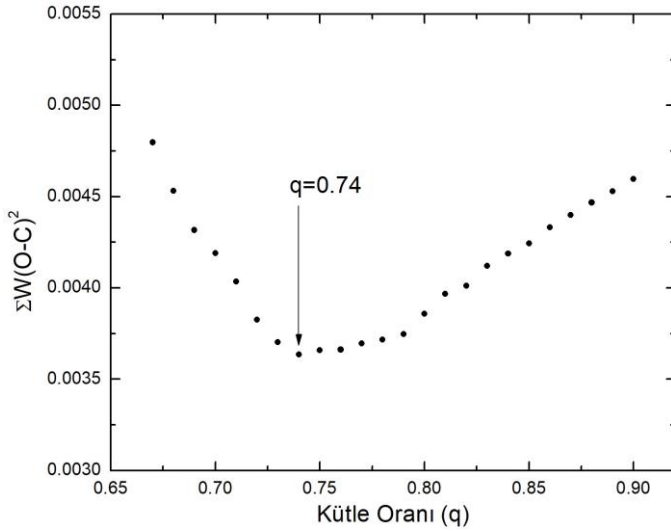
Tablo 18'in devamı

Parametre	Bu çalışma
$L_1 (L_{\odot})$	6,47 (1,20)
$L_2 (L_{\odot})$	1,85 (47)
$V (m)$	14,848 <sup>a</sup>
$E(B-V) (m)$	0,1116 <sup>a</sup>
$d (pc)$	2530 (311)
$d_{Gaia} (pc)$	3954 (348)

a. TIC-8



Şekil 29. KIC 3338660 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 30. KIC 3338660 sisteminin q taraması

#### 4.1.4. KIC 3440230'un Işık Eğrisi Analizi

Analizlerde, Armstrong ve diğerleri (2014) tarafından elde edilen birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=10298$  K sabit parametre olarak alınmıştır. Sistemin dikine hız verileri Matson ve diğerleri (2017) tarafından yapılan tayf çalışmasından alınmış ve analizlerde eş zamanlı

kullanılmıştır. Bu çalışmada kütle oranı  $q=0,25$  olarak elde edilmiş ve analizlerde başlangıç parametresi olarak alınarak serbest bırakılmıştır. Yapılan analizlerde üçüncü ışık katkısına rastlanılmamıştır. Işık eğrisi analizinin sonuçları literatür sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak Tablo 19’da ve elde edilen temel fiziksel parametreler Tablo 20’de verilmiştir. Şekil 31’de ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 32’de sistemin dikine hız eğrisi ve elde edilen modellerin uyumu gösterilmiştir.

Tablo 19  
KIC 3440230 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Zasche vd. (2015)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454967,23710 (46)
$P$ (gün)	–	2,8811603 (91)
$a$ ( $R_\odot$ )	–	10,896 (58)
$V\gamma$ (km/sn)	–	-1,72 (4)
$i$ ( $^\circ$ )	81,63 (82)	80,74 (11)
$T_1$ (K)	–	10298
$T_2$ (K)	–	5240 (250)
$T_2/T_1$	0,6082 (85)	–
$\Omega_1$	6,278 (692)	5,89 (8)
$\Omega_2$	5,114 (192)	2,32
$q$	–	0,237 (4)
$A_1 - A_2$	–	1,00 – 0,50
$g_1 - g_2$	–	1,00 – 0,32
$L_1/L_T$	0,8702 (83)	0,852 (75)
$L_2/L_T$	0,1298 (47)	0,148
$\ell_3$	–	–
$r_1$ (pole)	–	0,1766 (26)
$r_1$ (point)	–	0,1776 (27)
$r_1$ (side)	–	0,1772 (27)
$r_1$ (back)	–	0,1775 (27)
$r_1$ (ort.)	–	0,1772
$r_2$ (pole)	–	0,2443 (11)
$r_2$ (point)	–	0,3567 (57)
$r_2$ (side)	–	0,2542 (11)
$r_2$ (back)	–	0,2867 (11)
$r_2$ (ort.)	–	0,2823

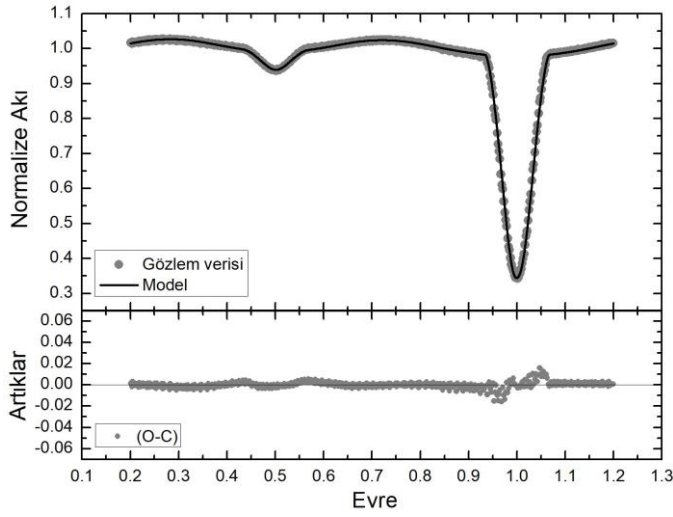
Tablo 20  
KIC 3440230 sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Bu çalışma
$M_1$ ( $M_\odot$ )	1,692 (28)
$M_2$ ( $M_\odot$ )	0,400 (8)
$R_1$ ( $R_\odot$ )	1,931 (18)
$R_2$ ( $R_\odot$ )	3,076 (21)
$a$ ( $R_\odot$ )	10,896 (58)
$T_1$ (K)	10298

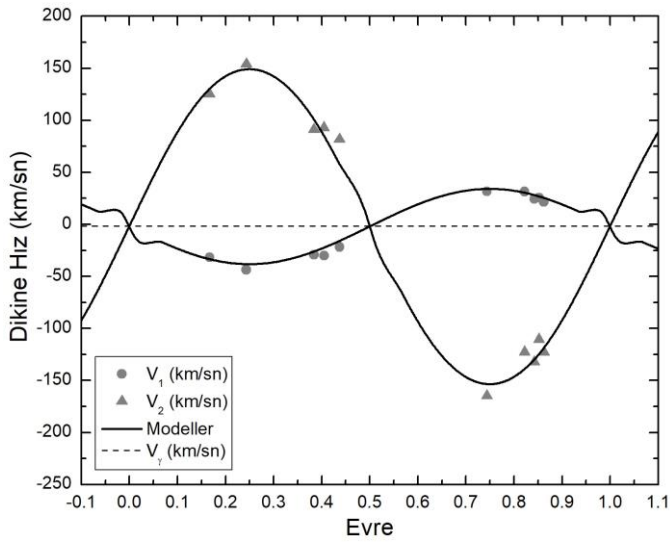
Tablo 20'nin devamı

Parametre	Bu çalışma
$T_2$ (K)	5240 (250)
$\log g_1$ (cgs)	4,09 (1)
$\log g_2$ (cgs)	3,06 (1)
$M_{bol,1}$ ( $M_{\odot}$ )	0,81 (9)
$M_{bol,2}$ ( $M_{\odot}$ )	2,74 (21)
$L_1$ ( $L_{\odot}$ )	37,67 (3,01)
$L_2$ ( $L_{\odot}$ )	6,41 (1,23)
$V$ ( $m$ )	13,363 <sup>a</sup>
$E(B-V)$ ( $m$ )	0,239 <sup>a</sup>
$d$ (pc)	2436 (94)
$d_{Gaia}$ (pc)	2406 (64)

a. KIC



Şekil 31. KIC 3440230 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 32. KIC 3440230 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-1,72 km/sn)

#### 4.1.5. KIC 4574310'un Işık Eğrisi Analizi

Analizlerde, birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=7153$  K (Armstrong ve diğerleri, 2014) başlangıç parametresi olarak sabit kullanılmıştır. Eş zamanlı çözümler için dikine hız verilerinin alındığı Matson ve diğerleri (2017) çalışmasında elde edilen kütle oranı  $q=0,227$  başlangıç parametresi olarak alınmış ve analizler sırasında serbest bırakılmıştır. Üçüncü ışık katkısı analizlerin başlangıcında araştırılmış fakat herhangi bir katı görülemediği için 0 olarak sabit alınmıştır. Işık eğrisi analizinin sonuçları Tablo 21'de ve elde edilen temel fiziksel parametreler Tablo 22'de verilmiştir. Şekil 33'te ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 34'te sistemin dikine hız eğrisi ve elde edilen modellerin uyumu gösterilmiştir.

Tablo 21  
KIC 4574310 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

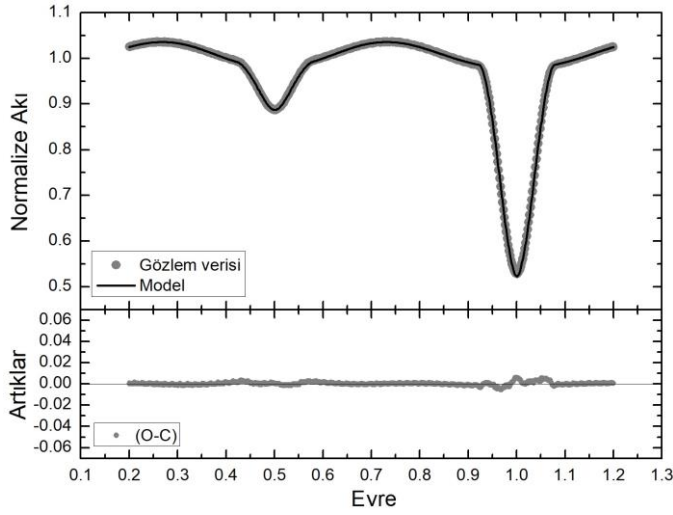
Parametre	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2454954,6616 (41)
$P$ (gün)	1,3062201 (1)
$a$ ( $R_\odot$ )	6,098 (14)
$V\gamma$ (km/sn)	-48,92 (26)
$i$ ( $^\circ$ )	79,65 (5)
$T_1$ (K)	7153
$T_2$ (K)	4820 (250)
$\Omega_1$	4,416 (33)
$\Omega_2$	2,279
$q$	0,219 (2)
$A_1 - A_2$	0,50 - 0,50
$g_1 - g_2$	0,32 - 0,32
$L_1/L_T$	0,799 (45)
$L_2/L_T$	0,201
$\ell_3$	-
$r_1$ (pole)	0,2379 (19)
$r_1$ (point)	0,2413 (20)
$r_1$ (side)	0,2399 (19)
$r_1$ (back)	0,2409 (20)
$r_1$ (ort.)	0,2400
$r_2$ (pole)	0,2390 (5)
$r_2$ (point)	0,3496 (29)
$r_2$ (side)	0,2486 (6)
$r_2$ (back)	0,2811 (6)
$r_2$ (ort.)	0,2764

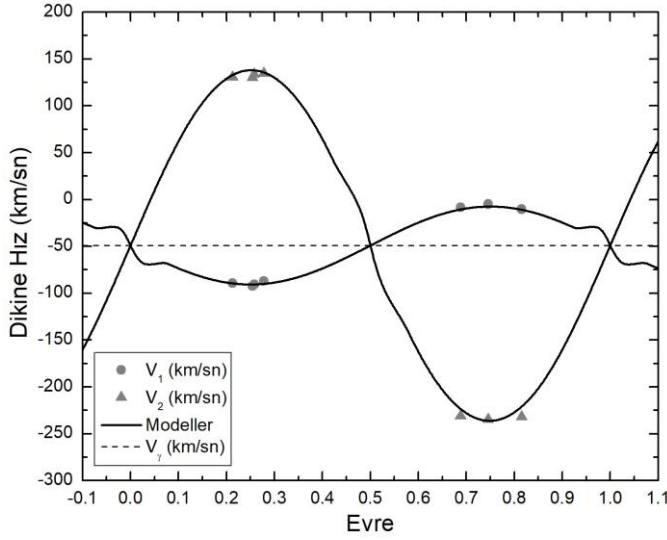
Tablo 22

KIC 4574310 sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Bu çalışma
$M_1 (M_{\odot})$	1,464 (10)
$M_2 (M_{\odot})$	0,320 (3)
$R_1 (R_{\odot})$	1,463 (7)
$R_2 (R_{\odot})$	1,686 (5)
$a (R_{\odot})$	6,098 (14)
$T_1 (K)$	7153
$T_2 (K)$	4820 (250)
$\log g_1 (cgs)$	4,273 (4)
$\log g_2 (cgs)$	3,490 (4)
$M_{bol,1} ({}^m)$	3,00 (12)
$M_{bol,2} ({}^m)$	4,40 (23)
$L_1 (L_{\odot})$	5,04 (57)
$L_2 (L_{\odot})$	1,38 (29)
$V ({}^m)$	13,242 <sup>a</sup>
$E(B-V) ({}^m)$	0,139 <sup>a</sup>
$d (pc)$	1040 (71)
$d_{Gaia} (pc)$	1029 (12)

a. KIC

Şekil 33. KIC 4574310 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 34. KIC 4574310 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-48,92 km/sn)

#### 4.1.6. KIC 5621294'ün Işık Eğrisi Analizi

Analizlerde, KIC kataloğunda yer alan birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=8425$  K başlangıç parametresi olarak kullanılmış ve sabit tutulmuştur. Sistemin Matson ve diğerleri (2017) tarafından elde edilen dikine hız verileri analizlerde eş zamanlı olarak kullanılmış ve bu çalışmada elde edilen kütle oranı  $q=0,24$  değeri başlangıç parametresi olarak alınmış ve serbest bırakılmıştır. Analizlerin başlangıcında üçüncü ışık katkısı serbest bırakılmış ancak katkı elde edilemediğinden sonrasında 0 olarak sabit tutulmuştur. Birinci bileşenin yüksek sıcaklığı nedeniyle (8425 K) ışımışal atmosfere sahip olacağı kabulüyle bolometrik yansıma katsayı ve çekim kararması  $A_1=g_1=1,0$  olarak sabit alınmıştır. Analizlerde soğuk bileşene soğuk leke modellenmesi yapılmıştır. Yapılan ışık eğrisi analizinin sonuçları, literatür sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak Tablo 23'te, elde edilen temel fiziksel parametreler Tablo 24'te verilmiştir. Şekil 35'te ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 36'da sistemin dikine hız eğrisi ve elde edilen modellerin uyumu gösterilmiştir.

Tablo 23  
KIC 5621294 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Lee vd. (2014)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2455672,77655 (5)	2454954,51324 (3)
$P$ (gün)	0,93890525 (2)	0,938895 (2)
$a$ ( $R_\odot$ )	–	6,029 (62)
$V_\gamma$ (km/sn)	–	21,78 (2,68)
$i$ ( $^\circ$ )	76,733 (6)	75,668 (43)
$T_1$ (K)	8425	8425
$T_2$ (K)	4186 (6)	4191 (250)

Tablo 23'ün devamı

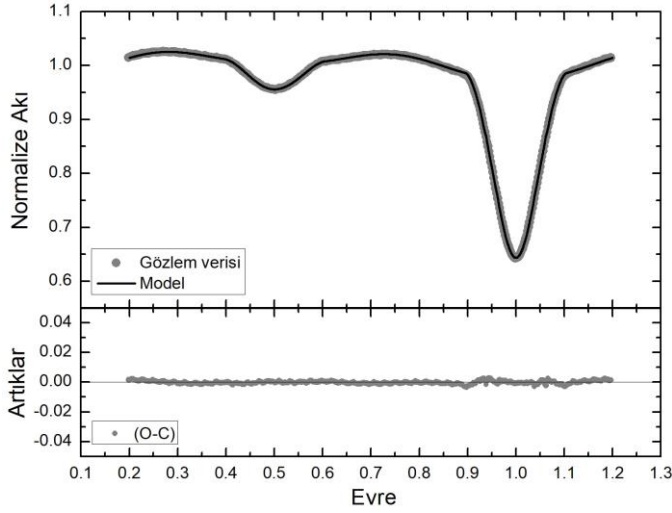
Parametre	Lee vd. (2014)	Bu çalışma
$\Omega_1$	2,9851 (8)	3,094 (5)
$\Omega_2$	2,2953	2,362
$q$	0,2256 (1)	0,254 (1)
$A_1 - A_2$	1,00 - 0,50	1,00 - 0,50
$g_1 - g_2$	1,00 - 0,32	1,00 - 0,32
$L_1/L_T$	0,9703 (2)	0,966 (1)
$L_2/L_T$	0,0297	0,034
$\ell_3$	-	-
$r_1$ (pole)	0,3606 (1)	0,3504 (5)
$r_1$ (point)	0,3822 (1)	0,3706 (6)
$r_1$ (side)	0,3719 (1)	0,3606 (5)
$r_1$ (back)	0,3775 (1)	0,3662 (5)
$r_1$ (ort.)	0,3702	0,3618
$r_2$ (pole)	0,2411 (1)	0,2494 (4)
$r_2$ (point)	0,3524 (1)	0,3635 (20)
$r_2$ (side)	0,2508 (1)	0,2595 (4)
$r_2$ (back)	0,2833 (1)	0,2921 (4)
$r_2$ (ort.)	0,2592	0,2879
Leke Parametreleri	Soğuk bileşen	Soğuk bileşen
$\varphi_2$ (°)	75 (2)	77 (2)
$\theta_2$ (°)	288 (1)	341 (5)
$\rho_2$ (°)	27 (2)	23 (1)
$\tau_2$ ( $T_{\text{leke}}/T_{\text{yüzey}}$ )	0,90 (2)	0,923 (3)

Tablo 24

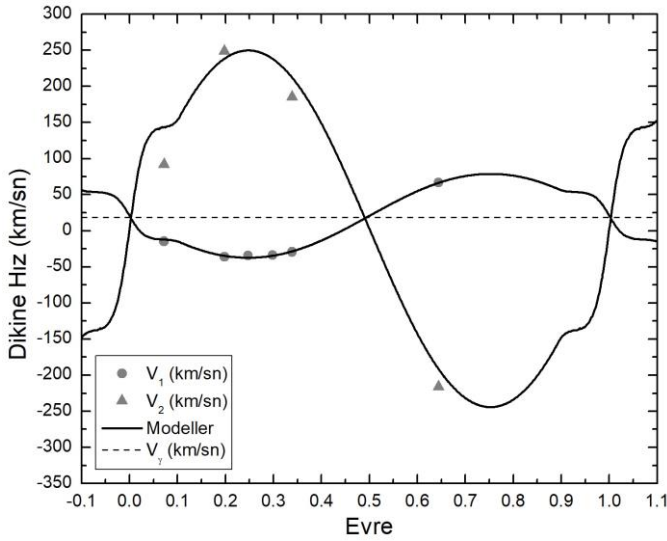
KIC 5621294 sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Lee vd. (2014)	Bu çalışma
$M_1$ ( $M_{\odot}$ )	1,95	2,660 (84)
$M_2$ ( $M_{\odot}$ )	0,44	0,676 (22)
$R_1$ ( $R_{\odot}$ )	2,00	2,181 (22)
$R_2$ ( $R_{\odot}$ )	1,40	1,736 (18)
$a$ ( $R_{\odot}$ )	-	6,029 (62)
$T_1$ (K)	8425	8425
$T_2$ (K)	4186	4191 (250)
$\log g_1$ (cgs)	4,13	4,19 (5)
$\log g_2$ (cgs)	3,79	3,79 (5)
$M_{bol,1}$ ( $m$ )	1,59	1,42 (11)
$M_{bol,2}$ ( $m$ )	5,41	4,95 (26)
$L_1$ ( $L_{\odot}$ )	18,0	21,54 (2,09)
$L_2$ ( $L_{\odot}$ )	0,54	0,83 (20)
$V$ ( $m$ )	-	13,825 <sup>a</sup>
$E(B-V)$ ( $m$ )	-	0,228 <sup>b</sup>
$d$ (pc)	-	2216 (227)
$d_{Gaia}$ (pc)	-	2207 (53)

a. TIC-8, b. KIC



Şekil 35. KIC 5621294 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 36. KIC 5621294 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (21,78 km/sn)

#### 4.1.7. KIC 7177553'ün Işık Eğrisi Analizi

KIC 7177553 sistemi, dörtlü bir sistemin A ve B bileşenleridir. Dış merkezli bir yörüngeye sahip uzun dönemli (yaklaşık 18 gün) sistemin ışık eğrisinde, bileşenlerinin küçük kesirsel yarıçapları nedeniyle ışık eğrisinde tutulma çukurlarının dardır. Sistemin ışık eğrisi analizi yapılırken *Kepler*'in SC verisi minimum çukurları maksimumlara oranla daha yoğun olacak şekilde seyreltilerek kullanılmıştır. Lehmann ve diğerleri (2016) çalışmasında yer alan dikine hız verileri eş zamanlı olarak analize dâhil edilmiştir. Aynı zamanda analizlerde, yine bu çalışmada elde edilen birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=5800$  K sabit parametre olarak alınmış ve kütle oranı  $q=0,9457$  başlangıç değeri olarak girilmiş ve serbest bırakılmıştır. Analizlerde üçüncü ışık katkısı da araştırılmış ve  $\ell_3=0,505$  değeri elde



edilmiştir. Bileşenler büyük ölçüde küresel olduklarından eşit ışınım yayılımı olacağı varsayımıyla  $L_3=6,35$  olarak hesaplanmıştır. Işık eğrisi analizinin sonuçları ve elde edilen temel fiziksel parametreler Tablo 25'te ve Tablo 26'da literatürde yer alan sonuçlarla kıyaslanarak verilmiştir. Şekil 37'de ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 38'de sistemin dikine hız eğrileri ve elde edilen modellerin uyumu gösterilmiştir.

Tablo 25

KIC 7177553 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Lehmann vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2455690,213 (12)	2454954,545842
$P$ (gün)	17,996467 (17)	17,9964667
$a$ ( $R_\odot$ )	36,75 (15)	36,27 (45)
$e$	0,3915 (10)	0,3925 (1)
$\omega$ ( $^\circ$ )	3,298 (61)	5,51 (2)
$P_{kayma}$	–	0,11790 (1)
$V\gamma$ (km/sn)	–	-14,84 (44)
$i$ ( $^\circ$ )	87,679 (55)	87,855 (2)
$T_1$ (K)	5800 (130)	5800
$T_2$ (K)	5740 (140)	5803 (250)
$\Omega_1$	–	40,11 (2)
$\Omega_2$	–	43,06 (2)
$q$	0,9457 (71)	0,9676 (8)
$A_1 - A_2$	0,50 – 0,50	0,50 – 0,50
$g_1 - g_2$	0,32 – 0,32	0,32 – 0,32
$L_1/(L_T)$	–	0,273 (7)
$L_2/(L_T)$	–	0,222
$\ell_3$	0,453 (43)	0,505 (1)
$r_1$ (pole)	–	0,025960 (11)
$r_1$ (point)	–	0,025964 (11)
$r_1$ (side)	–	0,025961 (11)
$r_1$ (back)	–	0,025964 (11)
$r_1$ (ort.)	0,02556 (10)	0,025962
$r_2$ (pole)	–	0,023374 (10)
$r_2$ (point)	–	0,023377 (10)
$r_2$ (side)	–	0,023375 (10)
$r_2$ (back)	–	0,023377 (10)
$r_2$ (ort.)	0,02561 (10)	0,023376

Tablo 26

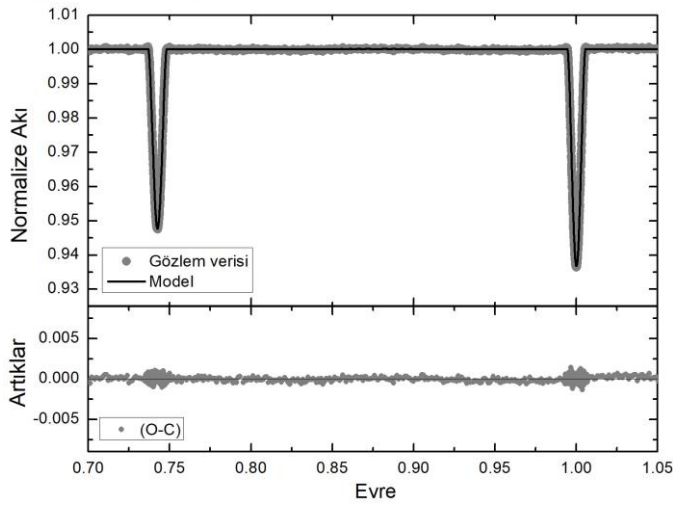
KIC 7177553 sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Lehmann vd. (2016)	Bu çalışma
$M_1$ ( $M_\odot$ )	1,043 (14)	1,005 (37)
$M_2$ ( $M_\odot$ )	0,986 (15)	0,972 (36)
$R_1$ ( $R_\odot$ )	0,940 (5)	0,942 (12)
$R_2$ ( $R_\odot$ )	0,941 (5)	0,848 (11)
$a$ ( $R_\odot$ )	36,75 (15)	36,27 (45)

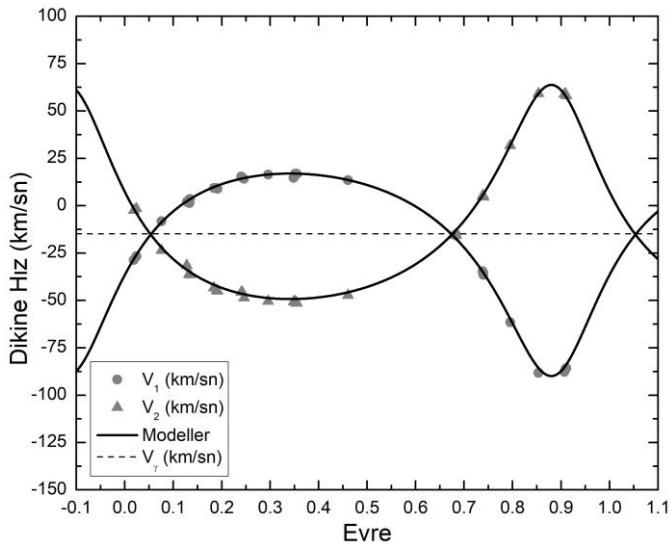
Tablo 26'nın devamı

Parametre	Lehmann vd. (2016)	Bu çalışma
$T_1$ (K)	5800 (130)	5800
$T_2$ (K)	5740 (140)	5803 (250)
$\log g_1$ (cgs)	4,517 (8)	4,49 (1)
$\log g_2$ (cgs)	4,491 (8)	4,57 (1)
$M_{bol,1}$ ( $M_{\odot}$ )	4,82 (1)	4,87 (15)
$M_{bol,2}$ ( $M_{\odot}$ )	–	5,09 (19)
$L_1$ ( $L_{\odot}$ )	0,88 (8)	0,90 (13)
$L_2$ ( $L_{\odot}$ )	0,85 (8)	0,73 (13)
$V$ ( $m$ )	11,629 (20)	11,638 <sup>a</sup>
$E(B-V)$ ( $m$ )	–	0,0866 <sup>b</sup>
$d$ (pc)	406 (10)	261 (15)
$d_{Gaia}$ (pc)	–	313 (38)

a. KIC, b. GALEX (Bianchi ve diğeri, 2017)



Şekil 37. KIC 7177553 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 38. KIC 7177553 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-14,84 km/sn)

#### 4.1.8. KIC 7339345'in Işık Eğrisi Analizi

Analizlerde, Armstrong ve diğerleri (2014) tarafından elde edilen birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=5236$  K sabit başlangıç parametresi olarak kullanılmıştır. Sistemin başlangıç parametresi olarak serbest kullanılmak üzere yapılan yörünge eğikliği – kütle oranı ( $i-q$ ) taramalarında ışık eğrisi ve model farkında en küçük  $\Sigma(O-C)^2$  değeri,  $i=75^\circ$  ve  $q=0,45$  değerlerinde hesaplanmıştır. Tablo 27 ve Tablo 28'de ışık eğrisi analizinin sonuçları ve elde edilen temel fiziksel parametreler sunulmuştur. Şekil 39'da ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 40'ta sistemin  $i=75^\circ$  için yapılan  $i-q$  taraması gösterilmiştir.

Tablo 27  
KIC 7339345 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2454964,777196
$P$ (gün)	0,2596643
$P_{kayma}$	-0,0014 (1)
$i$ ( $^\circ$ )	74,575 (78)
$T_1$ (K)	5236
$T_2$ (K)	5248 (250)
$\Omega_1$	2,755 (5)
$\Omega_2$	2,755
$q$	0,458 (2)
$A_1 - A_2$	0,50 – 0,50
$g_1 - g_2$	0,32 – 0,32
$L_1/L_T$	0,667 (89)
$L_2/L_T$	0,333
$\ell_3$	–
$r_1$ (pole)	0,4285 (6)
$r_1$ (side)	0,4575 (7)
$r_1$ (back)	0,4878 (8)
$r_1$ (ort.)	0,4573
$r_2$ (pole)	0,3005 (18)
$r_2$ (side)	0,3145 (22)
$r_2$ (back)	0,3523 (39)
$r_2$ (ort.)	0,3513

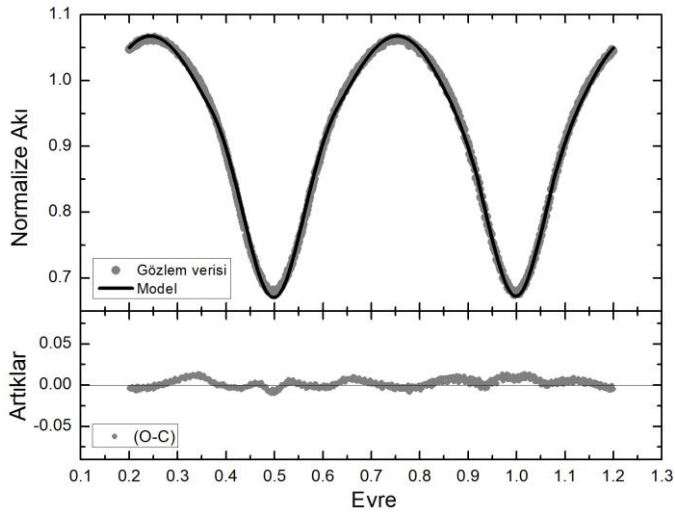
Tablo 28  
KIC 7339345 sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Bu çalışma
$M_1$ ( $M_\odot$ )	0,919 (43)
$M_2$ ( $M_\odot$ )	0,421 (20)
$R_1$ ( $R_\odot$ )	0,864 (13)
$R_2$ ( $R_\odot$ )	0,663 (11)
$a$ ( $R_\odot$ )	1,888 (29)

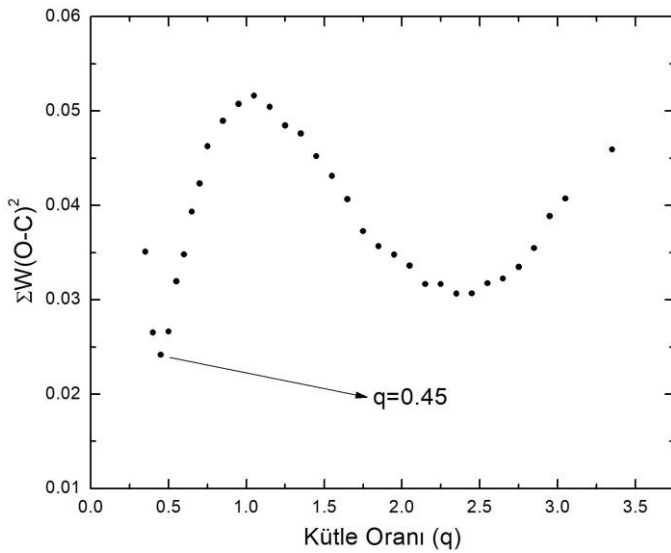
Tablo 28'in devamı

Parametre	Bu çalışma
$T_1$ (K)	5236
$T_2$ (K)	5248 (250)
$\log g_1$ (cgs)	4,53 (1)
$\log g_2$ (cgs)	4,42 (1)
$M_{bol,1}$ ( $M_{\odot}$ )	5,50 (20)
$M_{bol,2}$ ( $M_{\odot}$ )	6,06 (21)
$L_1$ ( $L_{\odot}$ )	0,50 (9)
$L_2$ ( $L_{\odot}$ )	0,30 (6)
$V$ ( $m$ )	15,674 <sup>a</sup>
$E(B-V)$ ( $m$ )	0,101 <sup>b</sup>
$d$ (pc)	1090 (216)
$d_{Gaia}$ (pc)	950 (43)

a. TIC-8, b. KIC



Şekil 39. KIC 7339345 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 40. KIC 7339345 sisteminin  $i$ - $q$  taraması ( $i=75^\circ$ )

#### 4.1.9. KIC 7821010'un Işık Eğrisi Analizi

KIC 7821010 dış merkezli bir yörüngeye sahiptir. Uzun dönemli (yaklaşık 24,2 gün) sistemin ışık eğrisi analizi için *Kepler*'in SC verisi kullanılmıştır. KIC 7177553'te olduğu gibi ışık eğrisi verisi analiz için minimum çukurları daha sık poz noktalarıyla temsil edilecek şekilde seyreltilerek hazırlanmıştır. Sistemin Helminiak ve diğerleri (2019) tarafından yapılan çalışmasında ışık eğrisi ve tayf analizi yapılmıştır. Analizlerde başlangıç parametreleri olarak Helminiak ve diğerleri'nin çalışmasında elde edilen birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=6720$  K sabit alınmış ve sistemin kütle oranı  $q=0,956$  serbest bırakılmıştır. Yapılan analizlerde üçüncü ışık katkısına rastlanılmamıştır. Işık eğrisi analizinin sonuçları ve elde edilen temel fiziksel parametreler Tablo 29 ve Tablo 30'da literatürle kıyaslanarak verilmiştir. Şekil 41'de ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 42'de sistemin dikine hız eğrisi ve elde edilen modellerin uyumu gösterilmiştir.

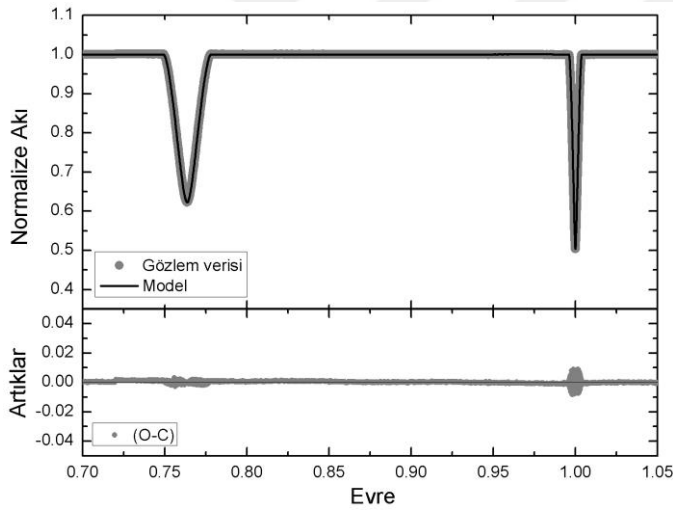
Tablo 29  
KIC 7821010 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Helminiak vd. (2019)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2454953,899973 (53)	2454969,615845
$P$ (gün)	24,238235 (4)	24,2382426
$a$ ( $R_\odot$ )	47,83 (20)	47,986 (784)
$e$	0,6796 (16)	0,6702 (1)
$\omega$ ( $^\circ$ )	59,47 (22)	59,182 (2)
$P_{kayma}$	–	0,074 (8)
$V\gamma$ (km/sn)	-17,15 (46)	-17,24 (71)
$i$ ( $^\circ$ )	89,58 (2)	89,56 (1)
$T_1$ (K)	6720 (160)	6720
$T_2$ (K)	6570 (190)	6593 (250)
$\Omega_1$	–	40,621 (9)
$\Omega_2$	–	38,832 (10)
$q$	0,956 (7)	0,9163 (4)
$A_1 - A_2$	–	0,50 – 0,50
$g_1 - g_2$	–	0,32 – 0,32
$L_1/L_T$	–	0,53 (8)
$L_2/L_T$	–	0,47
$\ell_3$	–	–
$r_1$ (pole)	–	0,026467 (6)
$r_1$ (point)	–	0,026489 (6)
$r_1$ (side)	–	0,026468 (6)
$r_1$ (back)	–	0,026487 (6)
$r_1$ (ort.)	0,02669 (20)	0,026478
$r_2$ (pole)	–	0,025672 (8)
$r_2$ (point)	–	0,025695 (8)
$r_2$ (side)	–	0,025672 (8)
$r_2$ (back)	–	0,025693 (8)
$r_2$ (ort.)	0,02530 (27)	0,025683

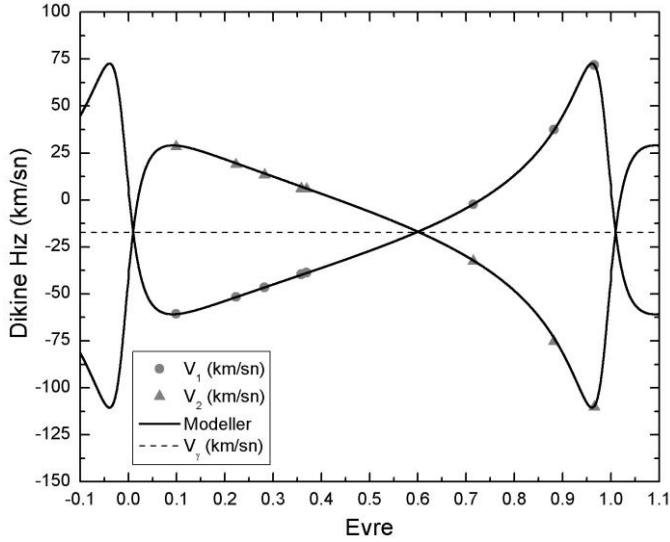
Tablo 30  
KIC 7821010 sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Helminiak vd. (2019)	Bu çalışma
$M_1 (M_{\odot})$	1,277 (17)	1,321 (65)
$M_2 (M_{\odot})$	1,221 (16)	1,204 (59)
$R_1 (R_{\odot})$	1,276 (11)	1,271 (21)
$R_2 (R_{\odot})$	1,210 (14)	1,232 (20)
$a (R_{\odot})$	47,83 (20)	47,99 (78)
$T_1 (K)$	6720 (160)	6720
$T_2 (K)$	6570 (190)	6593 (250)
$\log g_1 (cgs)$	4,332 (7)	4,351 (7)
$\log g_2 (cgs)$	4,359 (9)	4,337 (7)
$M_{bol,1} (M)$	–	3,58 (13)
$M_{bol,2} (M)$	–	3,72 (17)
$L_1 (L_{\odot})$	2,95 (28)	2,96 (37)
$L_2 (L_{\odot})$	2,45 (35)	2,58 (40)
$V (m)$	–	10,816 <sup>a</sup>
$E(B-V) (m)$	–	0,0323 <sup>b</sup>
$d (pc)$	342 (13)	367 (19)
$d_{Gaia} (pc)$	–	357 (2)

a. KIC, b. TIC–8



Şekil 41. KIC 7821010 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 42. KIC 7821010 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-17,24 km/sn)

#### 4.1.10. KIC 8081389'un Işık Eğrisi Analizi

KIC 8081389'un yayınlanmış herhangi bir ışık eğrisi analizi ve tayf çalışması bulunmamaktadır. Sistemin ışık eğrisi analizi için *Kepler*'in SC verisi minimum çukurları yoğun noktalarla temsil edilecek şekilde seyreltilerek kullanılmıştır. KIC kataloğunda yayınlanan birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=6639$  K başlangıç parametresi olarak sabit alınmıştır. Yapılan kütle oranı taramasında en küçük  $\Sigma(O-C)^2$  değeri elde edilen kütle oranı  $q=0,13$  değeri serbest parametre olarak bırakılmıştır. Analizlerde üçüncü ışık katkısına rastlanılmadığından sabit olarak 0 alınmıştır. Işık eğrisi analizinin sonuçları ve elde edilen temel fiziksel parametreler Tablo 31 ve Tablo 32'de verilmiştir. Şekil 43'te ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 44'te yapılan  $q$  taraması gösterilmiştir.

Tablo 31  
KIC 8081389 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2454965,004201
$P$ (gün)	1,4894405
$P_{kayma}$	0,00059 (2)
$i$ (°)	79,73 (2)
$T_1$ (K)	6639
$T_2$ (K)	4611 (250)
$\Omega_1$	4,184 (5)
$\Omega_2$	2,060
$q$	0,134 (1)
$A_1 - A_2$	0,50 - 0,50
$g_1 - g_2$	0,32 - 0,32
$L_1/L_T$	0,872 (1)

Tablo 31'in devamı

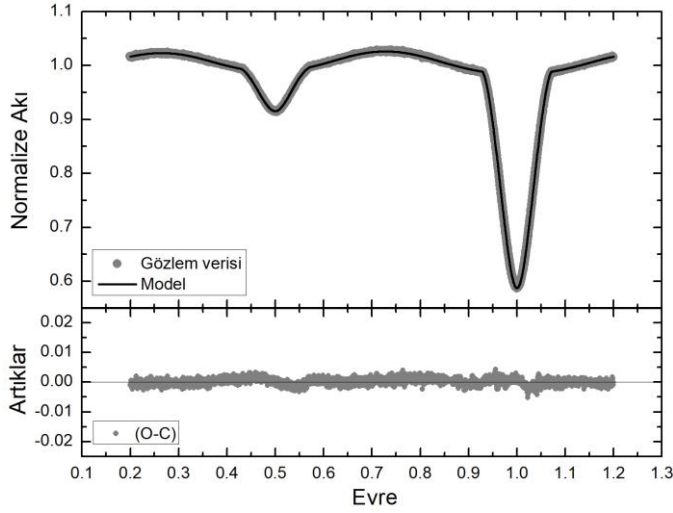
Parametre	Bu çalışma
$L_2/L_T$	0,128
$\ell_3$	–
$r_1$ (pole)	0,2467 (3)
$r_1$ (point)	0,2498 (3)
$r_1$ (side)	0,2489 (3)
$r_1$ (back)	0,2495 (3)
$r_1$ (ort.)	0,2487
$r_2$ (pole)	0,2074 (2)
$r_2$ (point)	0,3067 (16)
$r_2$ (side)	0,2156 (2)
$r_2$ (back)	0,2472 (2)
$r_2$ (ort.)	0,2413

Tablo 32  
KIC 8081389 sisteminin temel fiziksel parametreleri

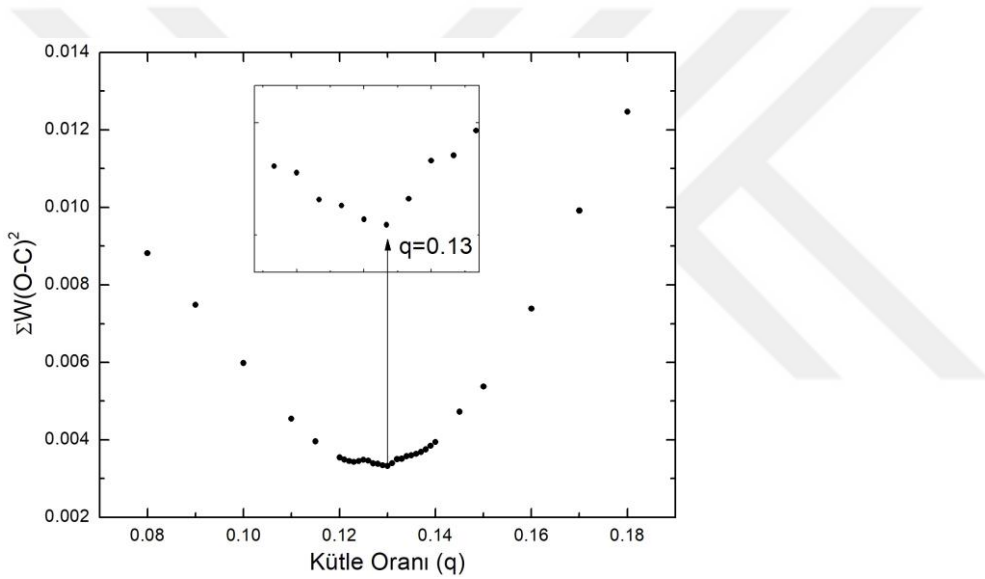
Parametre	Bu çalışma
$M_1$ ( $M_\odot$ )	1,499 (54)
$M_2$ ( $M_\odot$ )	0,201 (7)
$R_1$ ( $R_\odot$ )	1,629 (20)
$R_2$ ( $R_\odot$ )	1,580 (19)
$a$ ( $R_\odot$ )	6,548 (79)
$T_1$ (K)	6639
$T_2$ (K)	4611 (250)
$\log g_1$ (cgs)	4,19 (1)
$\log g_2$ (cgs)	3,34 (1)
$M_{bol,1}$ ( $^m$ )	3,09 (16)
$M_{bol,2}$ ( $^m$ )	4,74 (24)
$L_1$ ( $L_\odot$ )	4,63 (67)
$L_2$ ( $L_\odot$ )	1,01 (22)
$V$ ( $^m$ )	13,99 <sup>a</sup>
$E(B-V)$ ( $^m$ )	0,141 <sup>a</sup>
$d$ (pc)	1367 (119)
$d_{Gaia}$ (pc)	950 (161)

a. KIC





Şekil 43. KIC 8081389 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 44. KIC 8081389 sisteminin  $q$  taraması

#### 4.1.11. KIC 8610483'ün Işık Eğrisi Analizi

Oldukça uzun (yaklaşık 48,8 gün) bir döneme sahip olan sistemin ışık eğrisinde, bileşenlerin kesirsel yarıçaplarının küçük olması nedeniyle (KIC 7177553 ve KIC 7821010 sistemlerinde olduğu gibi) minimum çukurları dar bir evre aralığında gözlenmektedir. Bu nedenle ışık eğrisi verisi, minimum çukurları maksimumlara oranla daha yoğun noktalardan oluşacak şekilde hazırlanmıştır. Sistemin hakemli yayında yer almış herhangi bir tayf çalışması bulunmamaktadır. Ancak Welsh (2014) tarafından uluslararası bir kongrede bileşenlerin dikine hız verileri sunulmuştur ve sistemin ışık eğrisi, bu veriler ile eş zamanlı analiz edilmiştir. Bu sunumda yer alan bileşenlerin kütle değerleriyle hesaplanmış kütle oranı  $q=1,014$  başlangıç parametresi olarak kullanılmış ve serbest bırakılmıştır. Analizler yapılırken, Armstrong ve diğerleri (2014) tarafından elde edilen birinci bileşenin sıcaklığı

$T_1=6345$  K sabit parametre olarak alınmıştır. Yapılan analizlerde üçüncü ışık katkısına rastlanılmamıştır. Işık eğrisi analizinin sonuçları ve elde edilen temel fiziksel parametreler Tablo 33 ve Tablo 34’te literatür sonuçlarıyla birlikte verilmiştir. Şekil 45’te ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 46’da sistemin dikine hız eğrisi ve elde edilen modellerin uyumu gösterilmiştir.

Tablo 33  
KIC 8610483 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Kjurkchieva vd. (2017)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454993,195479
$P$ (gün)	48,7993681	48,7993681
$a$ ( $R_\odot$ )	–	70,056 (1,207)
$e$	0,3936 (1)	0,4944 (1)
$\omega$ ( $^\circ$ )	32,9 (4)	50,75 (1)
$P_{kayma}$	–	0,07524 (1)
$V\gamma$ (km/sn)	–	-40,09 (38)
$i$ ( $^\circ$ )	88,81 (4)	88,858 (4)
$T_1$ (K)	6158 (14)	6345
$T_2$ (K)	5653 (3)	6323 (250)
$\Omega_1$	–	58,644 (15)
$\Omega_2$	–	47,648 (31)
$q$	–	1,0175 (8)
$A_1 - A_2$	–	0,50 – 0,50
$g_1 - g_2$	–	0,32 – 0,32
$L_1/L_T$	–	0,3885 (3)
$L_2/L_T$	–	0,6115
$\ell_3$	–	–
$r_1$ (pole)	–	0,017658 (4)
$r_1$ (point)	–	0,017659 (4)
$r_1$ (side)	–	0,017658 (4)
$r_1$ (back)	–	0,017659 (4)
$r_1$ (ort.)	0,0174 (1)	0,017659
$r_2$ (pole)	–	0,022274 (16)
$r_2$ (point)	–	0,022278 (16)
$r_2$ (side)	–	0,022275 (16)
$r_2$ (back)	–	0,022277 (16)
$r_2$ (ort.)	0,0205 (5)	0,022276

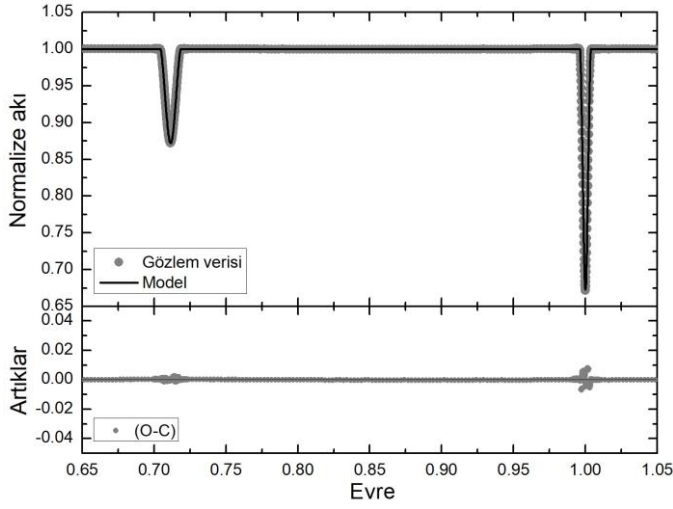
Tablo 34  
KIC 8610483 sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Welsh (2014)	Bu çalışma
$M_1$ ( $M_\odot$ )	0,961 (20)	0,961 (50)
$M_2$ ( $M_\odot$ )	0,974 (15)	0,977 (50)
$R_1$ ( $R_\odot$ )	1,450 (23)	1,237 (21)
$R_2$ ( $R_\odot$ )	1,371 (16)	1,561 (27)
$a$ ( $R_\odot$ )	70,039 (581)	70,056 (1,207)

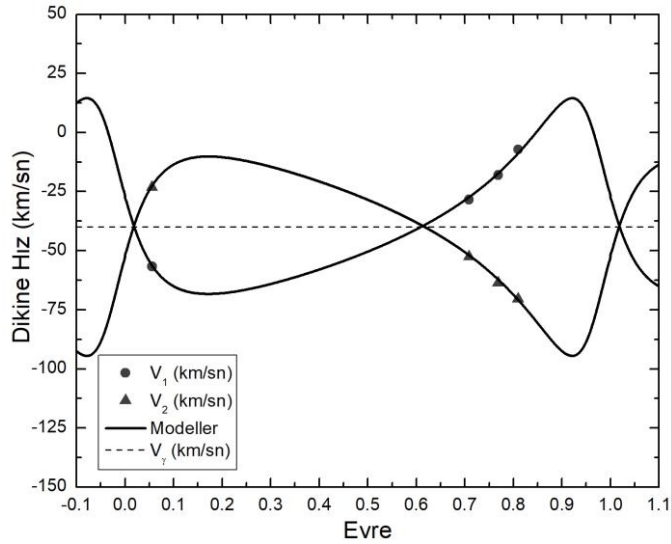
Tablo 34'ün devamı

Parametre	Welsh (2014)	Bu çalışma
$T_1$ (K)	–	6345
$T_2$ (K)	–	6323 (250)
$\log g_1$ (cgs)	4,097 (13)	4,24 (1)
$\log g_2$ (cgs)	4,152 (13)	4,04 (1)
$M_{bol,1}$ ( $M_{\odot}$ )	–	3,88 (14)
$M_{bol,2}$ ( $M_{\odot}$ )	–	3,39 (18)
$L_1$ ( $L_{\odot}$ )	–	2,23 (29)
$L_2$ ( $L_{\odot}$ )	–	3,50 (57)
$V$ ( $M_{\odot}$ )	–	15,050 <sup>a</sup>
$E(B-V)$ ( $M_{\odot}$ )	–	0,0537 <sup>b</sup>
$d$ (pc)	–	2523 (165)
$d_{Gaia}$ (pc)	–	2559 (124)

a. KIC, b. TIC-8



Şekil 45. KIC 8610483 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 46. KIC 8610483 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (-40,09 km/sn)

#### 4.1.12. KIC 9159301'in Işık Eğrisi Analizi

Sistemin ışık eğrisi ve Matson ve diğerleri (2017) tarafından elde edilen dikine hız verileri eş zamanlı analiz edilmiştir. Yine bu çalışmada yer alan sistemin kütle oranı  $q=0,25$  başlangıç parametresi olarak serbest bırakılmıştır. KIC kataloğunda yer alan birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=7959$  K sabit parametre olarak kullanılmıştır. Analizlerde üçüncü ışık katkısına rastlanılmamış ve bu nedenle 0 sabit değeri kullanılmıştır. Işık eğrisi analizinin sonuçları ve elde edilen temel fiziksel parametreler Tablo 35'te ve Tablo 36'da verilmiştir. Şekil 47'de ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 48'de sistemin dikine hız eğrisi ve elde edilen modellerin uyumu gösterilmiştir.

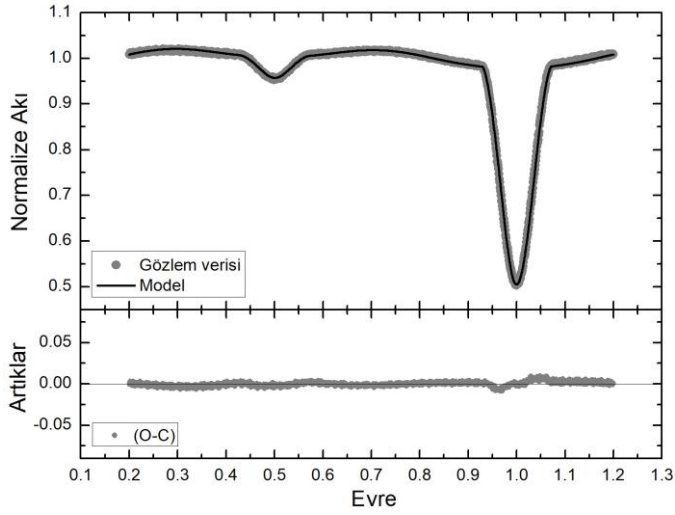
Tablo 35  
KIC 9159301 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2454956,302809
$P$ (gün)	3,0447704
$P_{kayma}$	-0,00010 (9)
$a$ ( $R_\odot$ )	11,419 (129)
$V_\gamma$ (km/sn)	0,24 (77)
$i$ ( $^\circ$ )	77,673 (66)
$T_1$ (K)	7959
$T_2$ (K)	4362 (250)
$\Omega_1$	5,058 (30)
$\Omega_2$	2,365
$q$	0,255 (3)
$A_1 - A_2$	1,00 - 0,50
$g_1 - g_2$	1,00 - 0,32
$L_1/L_T$	0,902 (3)
$L_2/L_T$	0,098
$\ell_3$	-
$r_1$ (pole)	0,2080 (12)
$r_1$ (point)	0,2100 (13)
$r_1$ (side)	0,2092 (12)
$r_1$ (back)	0,2098 (13)
$r_1$ (ort.)	0,2093
$r_2$ (pole)	0,2496 (9)
$r_2$ (point)	0,3638 (44)
$r_2$ (side)	0,2598 (9)
$r_2$ (back)	0,2924 (9)
$r_2$ (ort.)	0,2882

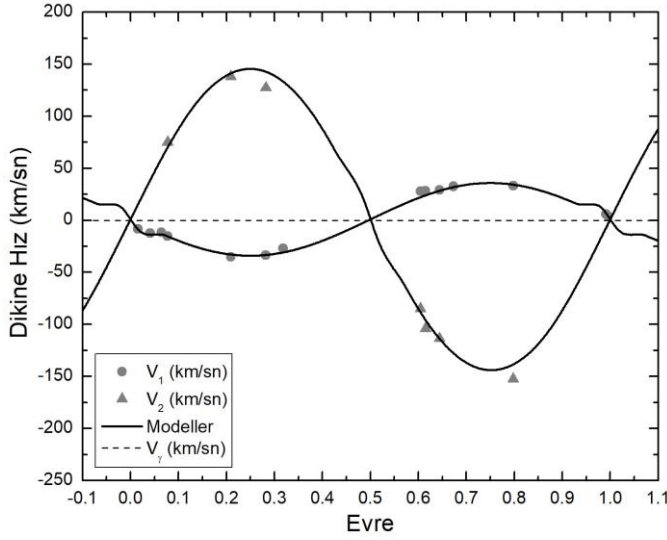
Tablo 36  
KIC 9159301 sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Bu çalışma
$M_1 (M_{\odot})$	1,718 (58)
$M_2 (M_{\odot})$	0,438 (15)
$R_1 (R_{\odot})$	2,390 (28)
$R_2 (R_{\odot})$	3,291 (39)
$a (R_{\odot})$	11,419 (13)
$T_1 (K)$	7959
$T_2 (K)$	4362 (250)
$\log g_1$ (cgs)	3,92 (1)
$\log g_2$ (cgs)	3,05 (1)
$M_{bol,1} ({}^m)$	1,47 (11)
$M_{bol,2} ({}^m)$	3,39 (25)
$L_1 (L_{\odot})$	20,58 (2,12)
$L_2 (L_{\odot})$	3,52 (81)
$V ({}^m)$	12,146 <sup>a</sup>
$E(B-V) ({}^m)$	0,0758 <sup>b</sup>
$d$ (pc)	1333 (67)
$d_{Gaia}$ (pc)	1582 (28)

a. KIC, b. TIC-8



Şekil 47. KIC 9159301 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 48. KIC 9159301 sisteminin dikine hız eğrileri ve analiz sonucu elde edilen modellerin uyumu. Kesikli çizgi sistemin kütle merkezinin hızını temsil eder (0,24 km/sn)

#### 4.1.13. KIC 9592145'in Işık Eğrisi Analizi

KIC 9592145'in yayınlanmış ışık eğrisi analizi ve tayf çalışması bulunmamaktadır. Analizlerde birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=6658$  K (KIC) sabit parametre olarak kullanılmıştır. Başlangıç parametresi olarak girilmek üzere sistemin  $q$  taraması yapılmış ve tarama sonucu model uyumunda en küçük  $\Sigma(O-C)^2$  değeri elde edilen kütle oranı  $q=0,20$  değeri serbest parametre olarak kullanılmıştır. Analizlerde üçüncü ışık katkısı görülmemesi nedeniyle 0 olarak sabit alınmıştır. Işık eğrisi analizinin sonuçları ve elde edilen temel fiziksel parametreler Tablo 37 ve Tablo 38'de verilmiştir. Şekil 49'da ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 50'de yapılan  $q$  taraması gösterilmiştir.

Tablo 37  
KIC 9592145 sisteminin ışık eğrisi analizi sonuçları

Parametre	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2454965,015451
$P$ (gün)	0,4888674
$P_{kayma}$	-0,00075 (5)
$i$ (°)	69,836 (11)
$T_1$ (K)	6658
$T_2$ (K)	3696 (250)
$\Omega_1$	2,272 (1)
$\Omega_2$	2,198
$q$	0,186 (1)
$A_1 - A_2$	0,50 - 0,50
$g_1 - g_2$	0,32 - 0,32
$L_1/L_T$	0,977 (27)
$L_2/L_T$	0,023

Tablo 37'nin devamı

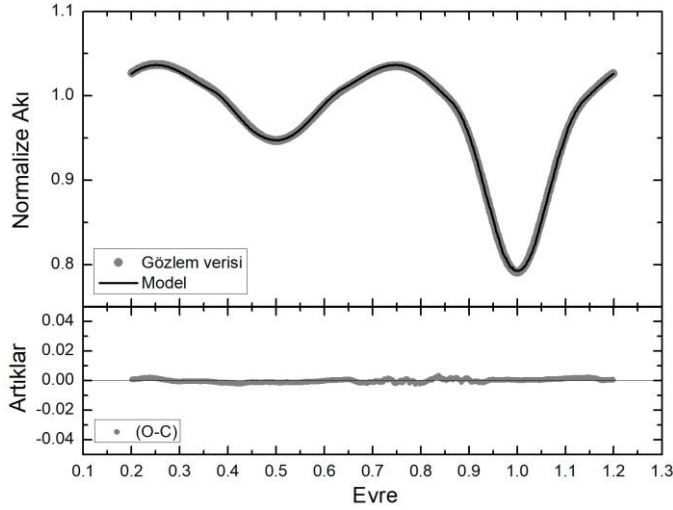
Parametre	Bu çalışma
$\ell_3$	–
$r_1$ (pole)	0,4755 (3)
$r_1$ (point)	0,5717 (9)
$r_1$ (side)	0,5130 (4)
$r_1$ (back)	0,5309 (5)
$r_1$ (ort.)	0,5117
$r_2$ (pole)	0,2280 (1)
$r_2$ (point)	0,3349 (7)
$r_2$ (side)	0,2372 (1)
$r_2$ (back)	0,2694 (1)
$r_2$ (ort.)	0,2643

Tablo 38

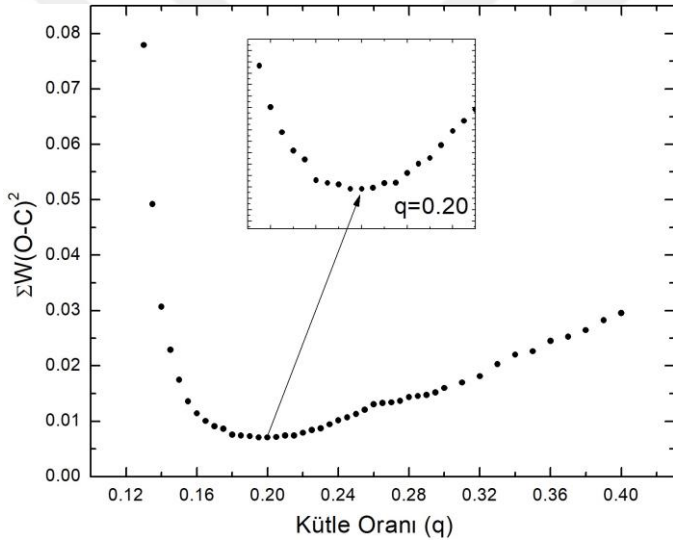
KIC 9592145 sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Bu çalışma
$M_1$ ( $M_\odot$ )	1,504 (54)
$M_2$ ( $M_\odot$ )	0,280 (10)
$R_1$ ( $R_\odot$ )	1,618 (19)
$R_2$ ( $R_\odot$ )	0,820 (10)
$a$ ( $R_\odot$ )	3,167 (38)
$T_1$ (K)	6658
$T_2$ (K)	3696 (250)
$\log g_1$ (cgs)	4,18 (1)
$\log g_2$ (cgs)	4,04 (1)
$M_{bol,1}$ ( $^m$ )	3,05 (16)
$M_{bol,2}$ ( $^m$ )	7,08 (29)
$L_1$ ( $L_\odot$ )	4,82 (67)
$L_2$ ( $L_\odot$ )	0,12 (3)
$V$ ( $^m$ )	14,01 <sup>a</sup>
$E(B-V)$ ( $^m$ )	0,0772 <sup>a</sup>
$d$ (pc)	1413 (110)
$d_{Gaia}$ (pc)	1473 (32)

a. TIC-8



Şekil 49. KIC 9592145 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 50. KIC 9592145 sisteminin  $q$  taraması

#### 4.1.14. KIC 10848807'nin Işık Eğrisi Analizi

Analizlerde başlangıç parametresi olarak birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=5681$  K (Armstrong ve diğerleri, 2014) sabit değer olarak kullanılmıştır. Yine başlangıç ve serbest parametreler olarak kullanılmak üzere sistemin  $i-q$  taraması yapılmıştır.  $i-q$  taraması sonucu elde edilen ışık eğrisi model uyumunda en küçük  $\Sigma(O-C)^2$  değeri,  $i=75^\circ$ ,  $q=0,35$  ve  $i=80^\circ$ ,  $q=0,25$  değerlerinde hesaplanmıştır. Tablo 39'da ve Tablo 40'ta ışık eğrisi analizinin sonuçları ve elde edilen temel fiziksel parametreler sunulmuştur. Şekil 51'de ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 52'de sistemin  $i=75^\circ$  ve  $i=80^\circ$  için yapılan  $q$  taramaları gösterilmiştir.



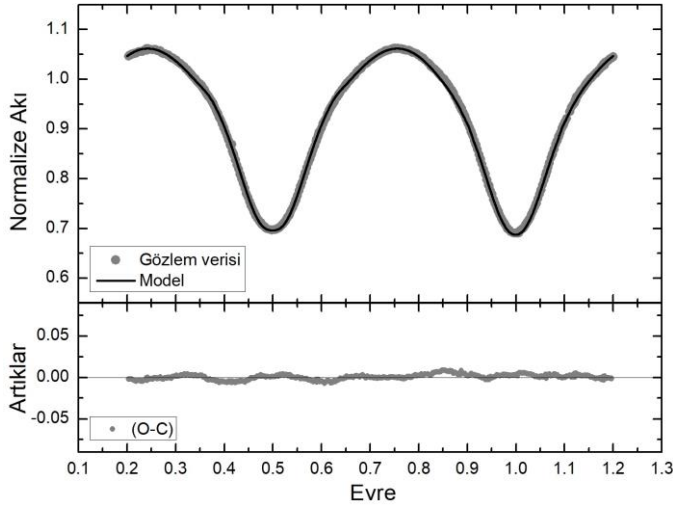
Tablo 39  
KIC 10848807 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2454999,987599
$P$ (gün)	0,3462467
$P_{kayma}$	-0,0003 (1)
$i$ (°)	78,047 (70)
$T_1$ (K)	5681
$T_2$ (K)	5706 (250)
$\Omega_1$	2,420 (3)
$\Omega_2$	2,420
$q$	0,287 (1)
$A_1 - A_2$	0,50 - 0,50
$g_1 - g_2$	0,32 - 0,32
$L_1/L_T$	0,752 (75)
$L_2/L_T$	0,248
$\ell_3$	-
$r_1$ (pole)	0,4632 (1)
$r_1$ (side)	0,4995 (1)
$r_1$ (back)	0,5256 (1)
$r_1$ (ort.)	0,4954
$r_2$ (pole)	0,2622 (12)
$r_2$ (side)	0,2735 (14)
$r_2$ (back)	0,3094 (26)
$r_2$ (ort.)	0,2810

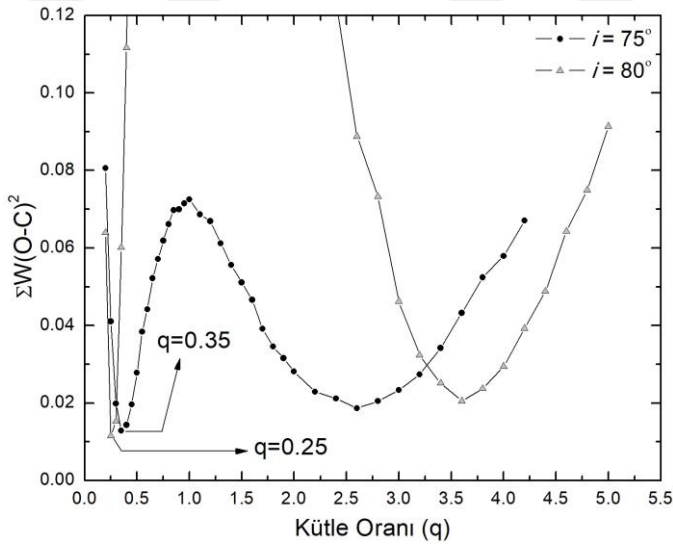
Tablo 40  
KIC 10848807 sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Bu çalışma
$M_1$ ( $M_\odot$ )	1,017 (40)
$M_2$ ( $M_\odot$ )	0,292 (12)
$R_1$ ( $R_\odot$ )	1,125 (15)
$R_2$ ( $R_\odot$ )	0,638 (9)
$a$ ( $R_\odot$ )	2,270 (30)
$T_1$ (K)	5681
$T_2$ (K)	5706 (250)
$\log g_1$ (cgs)	4,34 (1)
$\log g_2$ (cgs)	4,29 (1)
$M_{bol,1}$ ( $^m$ )	4,57 (18)
$M_{bol,2}$ ( $^m$ )	5,78 (19)
$L_1$ ( $L_\odot$ )	1,18 (20)
$L_2$ ( $L_\odot$ )	0,39 (7)
$V$ ( $^m$ )	16,359 <sup>a</sup>
$E(B-V)$ ( $^m$ )	0,138 <sup>b</sup>
$d$ (pc)	2076 (1093)
$d_{Gaia}$ (pc)	1269 (384)

a. TIC-8, b. KIC



Şekil 51. KIC 10848807 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 52. KIC 10848807 sisteminin  $i=75^\circ$  ve  $i=80^\circ$  için  $q$  taramaları

#### 4.1.15. KIC 10916675'in Işık Eğrisi Analizi

Armstrong ve diğerleri (2014) tarafından elde edilen birinci bileşenin sıcaklığı  $T_1=6784$  K değeri analizlerde sabit parametre olarak kullanılmıştır. Sistemin analizlerinde, serbest parametreler olarak kullanılmak üzere yapılan  $i-q$  taramasında ışık eğrisi ve model uyumunda en küçük  $\Sigma(O-C)^2$  değeri,  $i=55^\circ$  ve  $q=0,50$  değerlerinde elde edilmiştir. Işık eğrisi analizinin sonuçları ve elde edilen temel fiziksel parametreler Tablo 41 ve Tablo 42'de verilmiştir. Şekil 53'te ışık eğrisi ve analiz sonucu hesaplanan modelin uyumu ve Şekil 54'te sistemin  $i=55^\circ$  değerinde yapılan  $q$  taraması gösterilmiştir.

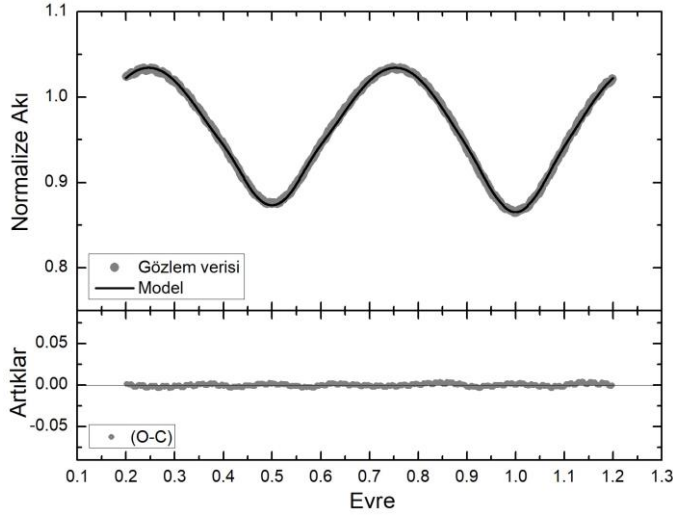
Tablo 41  
KIC 10916675 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları

Parametre	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2454953,700252
$P$ (gün)	0,4188679
$P_{kayma}$	-0,0003 (1)
$i$ (°)	55,372 (44)
$T_1$ (K)	6784
$T_2$ (K)	6649 (250)
$\Omega_1$	2,847 (1)
$\Omega_2$	2,847
$q$	0,495 (1)
$A_1 - A_2$	0,50 - 0,50
$g_1 - g_2$	0,32 - 0,32
$L_1/L_T$	0,679 (62)
$L_2/L_T$	0,321
$\ell_3$	-
$r_1$ (pole)	0,4183 (1)
$r_1$ (side)	0,4451 (2)
$r_1$ (back)	0,4743 (2)
$r_1$ (ort.)	0,4453
$r_2$ (pole)	0,3024 (4)
$r_2$ (side)	0,3161 (4)
$r_2$ (back)	0,3507 (7)
$r_2$ (ort.)	0,3224

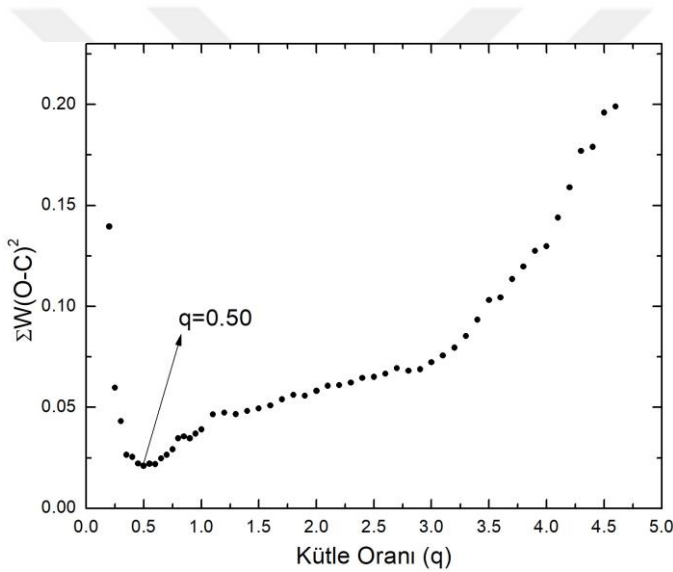
Tablo 42  
KIC 10916675 sisteminin temel fiziksel parametreleri

Parametre	Bu çalışma
$M_1$ ( $M_\odot$ )	1,563 (55)
$M_2$ ( $M_\odot$ )	0,774 (27)
$R_1$ ( $R_\odot$ )	1,392 (16)
$R_2$ ( $R_\odot$ )	1,008 (12)
$a$ ( $R_\odot$ )	3,126 (37)
$T_1$ (K)	6784
$T_2$ (K)	6649 (250)
$\log g_1$ (cgs)	4,34 (1)
$\log g_2$ (cgs)	4,32 (1)
$M_{bol,1}$ ( $^m$ )	3,28 (15)
$M_{bol,2}$ ( $^m$ )	4,12 (17)
$L_1$ ( $L_\odot$ )	3,89 (48)
$L_2$ ( $L_\odot$ )	1,78 (27)
$V$ ( $^m$ )	13,403 <sup>a</sup>
$E(B-V)$ ( $^m$ )	0,0361 <sup>a</sup>
$d$ (pc)	1217 (90)
$d_{Gaia}$ (pc)	1446 (49)

a. TIC-8



Şekil 53. KIC 10916675 sisteminin *Kepler* ışık eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları



Şekil 54. KIC 10916675 sisteminin  $q$  taraması ( $i=55^\circ$ )

#### 4.2. Tutulma Zamanı Değişimi (ETV) Analizleri

Örten çift yıldız sistemlerine bağlı ilave bileşenlerin yörünge parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan en etkili yöntemlerden biri ETV analizidir. Sisteme çekimsel olarak bağlı bir cismin varlığında çift sistemin, üçlü veya çoklu sistemin ortak kütle merkezi etrafında dolanması nedeniyle tutulma zamanlarında gerçek olmayan değişimler meydana gelir. Işık zaman gecikmesi (LTTE veya LTE) olarak adlandırılan bu durum ETV diyagramlarında kendini sinüs benzeri eğriler biçiminde gösterir (bkz. Şekil 6 ve Bölüm 1.2.2). Sinüs benzeri eğrilerin genliği, dönemi, kısacası eğrilerin biçimleri ilave cismin yörüngesini tanımlar. ETV analizleri yapılırken kullanılan modeller, minimum zamanlarının türleri ve sayısıyla birlikte, analizi yapılan sistemler hakkındaki bazı bilgiler Tablo 43'te verilmiştir.

Tablo 43  
ETV analizi yapılan sistemlerin bazı özellikleri

Sistem	Tür	$T_0$	$P$ (gün)	ETV modeli	Minimum	
					Türü	Sayısı
DP Leo	D	54914,832292	0,0623628565	I	I	89
HW Vir	D	45730,556	0,11671953	1+q	I + II	281
MXB 1658-258	X-Ray	43058,72595	0,29650453	1+q	I	62
NN Ser	D	47344,524617	0,1300801195	1	I	120
NY Vir	D	53174,44265	0,101015968	1+q	I	78
RR Cae	D	51523,04856	0,303703634	1+q	I	25
UZ For	D	45567,17754	0,087865465	1	I	86
V1828 Aql	D	54274,2088	0,1103741	1	I + II	217
KIC 3338660	D	55002,252623	1,8733805	1	I	390
KIC 3440230	SD	54967,238413	2,8811010	1+q	I	361
KIC 4574310	SD	54954,661614	1,3062201	1	I	687
KIC 5621294	SD	54954,510518	0,9389049	1+q	I	1107
KIC 7177553	D	54954,545842	17,9964667	1+d	I	79
KIC 7339345	C	54964,777196	0,2596643	1+q	Ort.	508
KIC 7821010	D	54969,615845	24,2382426	1+d	I	58
KIC 8081389	SD	54965,004201	1,4894405	1	I	891
KIC 8610483	D	54993,195479	48,7993681	1+d	I	28
KIC 9159301	SD	54956,302809	3,0447704	1	I	328
KIC 9592145	SD	54965,015451	0,4888674	1+q	I	962
KIC 10848807	C	54999,987599	0,3462467	1	Ort.	525
KIC 10916675	C	54953,700252	0,4188679	1	Ort.	394

Not. D: ayırık, SD: yarı-ayırık, C: değen tür sistemleri; I: doğrusal, q: parabol, d: dinamik modeli; I: birinci, II: ikinci ve ort: birinci ve ikinci minimumların ortalamasının kullanıldığını temsil eder

Bu tez çalışmasında, ETV diyagramlarında sinüs benzeri değişim görölmesinden dolayı üçüncü bir bileşene sahip olduğu varsayımıyla 21 adet örten çift yıldız sisteminin ETV analizi, bu çalışma kapsamında yazılan program kullanılarak yapılmıştır. Bu sistemlerden 3 tanesinin (KIC 7177553, KIC 7821010 ve KIC 8610483) ETV analizinde LTTE ve sistemin döneminde gerçek bir değişime neden olan dinamik etki birlikte (Denklem 3.1) araştırılmıştır. Diğer sistemlerde ise sadece LTTE (Denklem 3.2) göz önüne alınmıştır. Sadece LTTE kullanılarak yapılan analizlerde dış yörüngenin eğikliğiyle iç ve dış yörüngelerin çıkış düğüm noktalarının farkı  $\cos i_2 = \Delta\Omega = 0$  alınmıştır. Dolayısıyla  $i_2 = 90^\circ$  ve  $\sin i_2 = 1$  olduğundan, analizlerin sonucunda çift sistemin üçlü sistemin kütle merkezi etrafındaki yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğunun ( $a_{12}$ ), üçüncü cismin yarı-büyük eksen uzunluğunun ( $a_3$ ) ve üçüncü cismin kütlelerinin ( $M_3$ ) minimum değerleri elde edilmiştir. Dinamik etkinin hesaplandığı formüllerde  $e_1$ ,  $\omega_1$ ,  $i_1$  ve  $M_{12}$  parametreleri kullanıldığı için dinamik etki hesaplanırken program bu parametreleri de elde edebilir. Ancak, sistemlerin ışık eğrisi analizleri de yapılmış olduğundan, bu parametrelerin değerleri ışık eğrisi analizleri sonuçlarından alınarak sabit tutulmuştur.

Bölüm 3.4'te de anlatıldığı gibi ETV analizleri Bayezyan yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Bayezyan yöntem her bir parametre için çözüm uzayı yani sonsal dağılım vermektedir. Parametrelerin sonsal dağılımları içerisinde ETV eğrisini en iyi modelleyen parametre değerleri seti, analizlerin çözümü olarak kullanılmaktadır. Her bir parametrenin sonsal dağılımına Gauss yöntemi uygulanarak (bkz. Şekil 20)  $1\sigma$  hatasıyla hesaplanan çözüm değerinin hatası + ve - olmak üzere iki farklı değer alır. Örneğin,  $14,66^{+0,40}_{-0,36}$ . ETV analizi çözümlerinin verildiği tablolarda, parametre sayısının fazla olması ve elde edilen küçük ondalıklı değerler nedeniyle bu iki hatanın yazılması karmaşaya neden olduğundan, parametre hatası olarak +, - iki hata değerinden mutlak değeri büyük olan kullanılmıştır. Örneğin, 14,66 (40).

Tablo 44'te ETV analizleri sonucunda hesaplanan ve elde edilen parametrelerin tanımları verilmiştir. Türetilen parametreler, analizler sonucu elde edilen parametrelerden hesaplanmıştır. "1" alt indisi sistemdeki iç yörüngeyi yani çift sistemin yörüngesini, "2" alt indisi dış yörüngeyi dolayısıyla üçüncü cismin yörüngesini ifade etmektedir.

Tablo 44

ETV analizleri sonucunda hesaplanan ve elde edilen parametrelerin tanımları

Parametre	Tanım
$T_0$ (HJD-BJD)	Referans başlangıç zamanı
$P_1$ (gün)	Çift sistemin yörünge dönemi
$Q$ (gün)	Kuadratik terim
$e_1$	Çift sistemin yörüngesinin dış merkezliği
$\omega_1$ ( $^\circ$ )	Çift sistemin yörüngesinin enberi noktasının argümanı
$i_1$ ( $^\circ$ )	Çift sistemin yörünge eğikliği
$M_{12}$ ( $M_\odot$ )	Çift sistemin bileşenlerinin toplam kütlesi
$T_S$ (BJD)	Çift sistemin enberi noktasından geçiş zamanı
$P_2$ (gün)	Üçüncü cismin yörünge dönemi
$e_2$	Üçüncü cismin yörüngesinin dış merkezliği
$\omega_2$ ( $^\circ$ )	Üçüncü cismin yörüngesinin enberi noktasının argümanı
$i_2$ ( $^\circ$ )	Üçüncü cismin yörünge eğikliği
$M_3$ ( $M_\odot$ )	Üçüncü cismin kütlesi
$\Delta\Omega$ ( $^\circ$ )	İç ve dış yörüngelerin çıkış düğüm açıları farkı
Türetilen parametreler	
$K_{LTTE}$ (sn)	Sinüs eğrisinin genliği
$dp/dt$ (sn/yy)	Çift sistemin yüzyıldaki dönem değişimi
$a_{12}$ ( $R_\odot$ )	Çift sistemin yörüngesinin <sup>a</sup> yarı-büyük eksen uzunluğu
$a_2$ ( $R_\odot$ )	Üçüncü cismin yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğu
$f(m_3)$ ( $M_\odot$ )	Kütle fonksiyonu
$i_m$ ( $^\circ$ )	İç ve dış yörüngelerin eğimlerinin farkı ( $i_{mutual}$ )
$A_{dyn}/ALTE$	Dinamik ve ışık zaman gecikmesi etkilerinin oranı

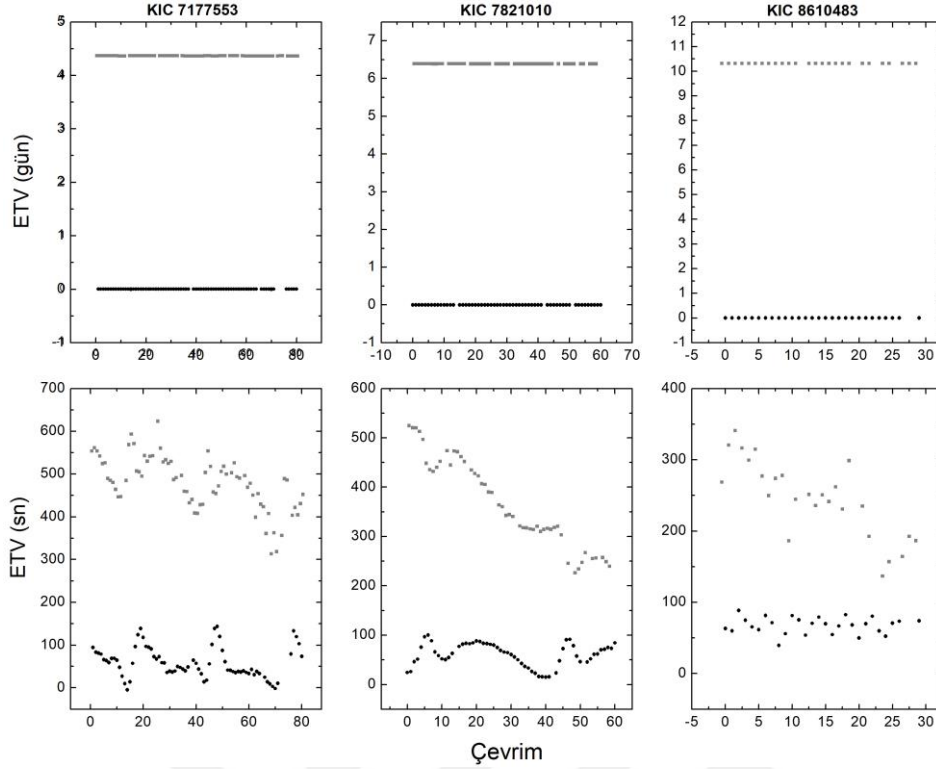
a. Çift sistemin, üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafındaki yörüngesi

*Kepler* tarafından gözlenmiş yarı-ayrık tür ve KIC 3338660 sistemlerinin ışık eğrilerinde Bölüm 3.4.2’de anlatılmış olan yöntem kullanılarak düzenlemeler yapılmış ve minimum zamanları düzenlenmiş olan ışık eğrilerinden hesaplanmıştır. Buna ek olarak, bu çalışmada ETV analizi yapılan sistemlerin ışık eğrilerinde ikinci minimum çukurları, birinci minimum çukurlarına göre daha az derinliğe sahiptir. Dolayısıyla sinyal/gürültü oranları azaldıkça minimum zamanlarının belirlenmesi daha güç olacağından ikinci minimum zamanları, ışık eğrisinde minimumları etkileyen etkenler olmasa dahi birinci minimum zamanlarına oranla daha az duyarlı belirlenebilmektedir. Analizlerde, LTTE ve dinamik etki araştırılması, birinci minimum zamanlarının yeterli sayıda olması nedeniyle ve ETV diyagramında sistemin dönem değişimini yeterince temsil ettiği görüldüğünden ışık eğrileri *Kepler*’den alınan sistemlerin sadece birinci minimum zamanları kullanılmıştır.

Basık yörüngeye sahip KIC 7177553, KIC 7821010 ve KIC 8610483 sistemlerinin ETV diyagramlarında eksen dönmesi nedeniyle birinci ve ikinci minimum değerlerinde zıt fazlı değişim görülmektedir. Şekil 55’te bu sistemlerin ETV diyagramları gösterilmiştir. ETV diyagramlarındaki değişimler, şeklin üst kısmında gün ve alt kısmında saniye biriminde verilmiştir. Sistemlerin yörüngelerinde bariz bir şekilde eksen dönmesinin etkisi görülmektedir. Yaklaşık dört yıllık bir süreci kapsayan *Kepler* gözlemleriyle eksen dönmesi parametrelerini belirlemek çok duyarlı olmasa da, KIC 7177553, KIC 7821010 ve KIC 8610483 sistemleri için eksen dönmesi analizleri yapılmış ve sistemlerin eksen dönemleri sırasıyla yaklaşık 13247, 61763 ve 167700 yıl olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ETV analizi yapılan bazı sistemlerin (HW Vir, UZ For gibi) ETV eğrilerinin artıklarında sisteme çekimsel olarak bağlı olası bir dördüncü cismin varlığı olarak yorumlanabilecek değişimler görülmektedir. Ancak programda kullandığımız NS algoritması ve PyMultiNest paketi dördüncü cismin yörünge parametrelerini, üçüncü cisimle birlikte eş zamanlı elde ederken oldukça fazla zaman harcamaktadır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında yalnızca üçüncü cismin oluşturduğu değişim incelenmiştir.

Sistemlerin ETV diyagramlarında, hata çubuklarıyla birlikte siyah–gri noktalar analizlerde kullanılan minimum zamanlarını, gri düz çizgiler parametrelerin sonsal dağılım setlerinden rastgele seçilmiş 50 modeli ve siyah düz çizgi en iyi modeli temsil etmektedir. Analizlerde, literatürden alınan minimum zamanlarında hata değeri bulunamayanlar için 0,0001 gün hata değeri kullanılmıştır. ETV analizlerinde Ek Tablo 1’de verilen ışık elemanları kullanılmıştır.



Şekil 55. KIC 7177553, KIC 7821010 ve KIC 8610483 sistemlerinin eksen dönmesi görülen ETV diyagramları. Siyah yuvarlaklar birinci, gri kareler ikinci minimum zamanlarını temsil eder. Daha iyi görünüm için alt kısımdaki grafiklerde sistemlerin ikinci minimum zamanlarından sırasıyla 4,36, 6,387 ve 10,315 gün çıkarılmıştır.

#### 4.2.1. DP Leo'nun ETV Analizi

DP Leo'nun ETV analizi literatürden toplanan 89 birinci minimum zamanı kullanılarak ETV analizi yapılmıştır. Analizde kullanılan ışık elemanları şu şekildedir:

$$Min. I (BJD) = 2454914,832292 + 0,06236285648xE \quad (4.1)$$

Çift sistemin bileşenlerinin toplam kütlesi  $0,69 M_{\odot}$  (Schwope ve diğerleri, 2002) alınmıştır. Tablo 45'te sistemin ETV analizinde elde edilen sonuçlar Beuermann ve diğerleri (2010) çalışmasıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 56'da ise doğrusal modelle düzeltilmiş sadece LTTE etkisinin görüldüğü ETV diyagramı ve analizden hesaplanan sonuçlardan elde edilen modeller gösterilmiştir.

Tablo 45  
DP Leo sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

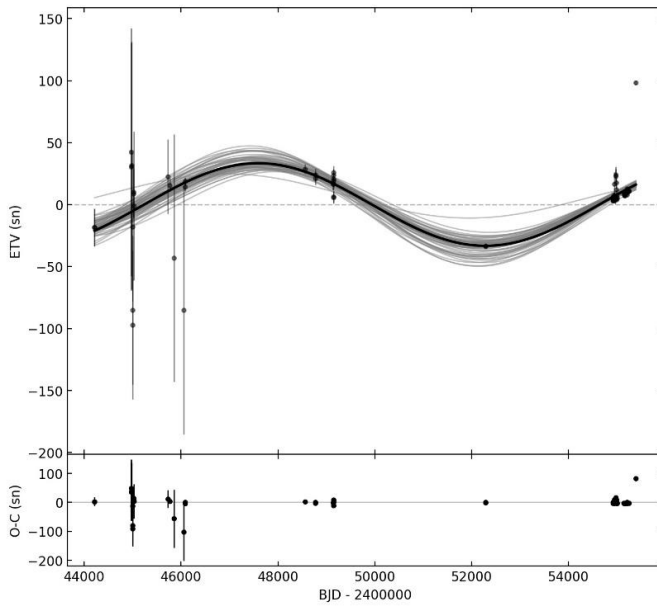
Parametre	Beuermann vd. (2010)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2448773,21461 (9)	2454914,832244 (56)
$P_1$ (gün)	0,0623628426 (6)	0,062362841895 (66)
$K_{LTTE}$ (sn)	33,7 (1,7)	33,22 (5,03)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	14,52 (72)	14,35 (2,17)



Tablo 45'in devamı

Parametre	Beuermann vd. (2010)	Bu çalışma
$e_2$	0,39 (13)	0
$\omega_2$ ( $^\circ$ )	-78 (20) <sup>a</sup>	90
$T_s$ (BJD)	2453025 (500)	2456987 (352)
$P_2$ (yıl)	28 (2)	25,73 (1,23)
$f$ ( $m_3$ ) ( $M_\odot$ )	–	$4,49 (2,27) \times 10^{-7}$
$M_{12}$ ( $M_\odot$ )	0,70	0,69
$M_3$ ( $M_j$ )	6,05 (47)	6,30 (92)
$a_2$ ( $R_\odot$ )	1761 (84)	1661 (54)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	–	~0

a. Enberi noktasının boylamı



Şekil 56. DP Leo sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin yapılan ETV analiz sonuçları çift sisteme bağlı yaklaşık 29,5 yıl dönemli ve 7,7  $M_j$  kütleli ilave bir cismin varlığını göstermektedir. Elde edilen bu kütle, ilave cismin DP Leo sisteminin etrafında dolanan bir ötegezegen olduğuna işaret etmektedir. ETV diyagramında üçüncü cismin bir çevrimlik etkisinin görülmesi parametre değerlerini hesaplamak adına olumlu olsa da, geçmiş yıllarda elde edilen minimum zamanlarının büyük hatalara sahip olması ve minimum zamanlarının ETV eğrisini homojen temsil etmemesi sonuçlarda bazı parametrelerin nispeten büyük hatalar vermesine neden olmuştur. Buna karşın analiz sonucu elde edilen model, ETV eğrisini iyi bir şekilde temsil etmektedir.

#### 4.2.2. HW Vir'in ETV Analizi

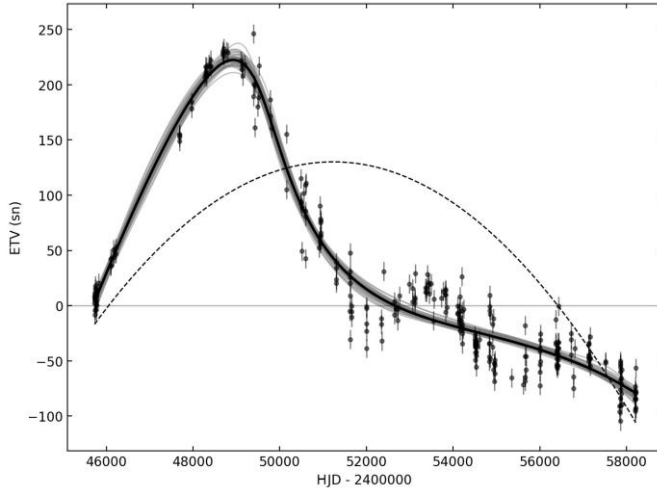
HW Vir sisteminin dönem analizi yapılırken literatürden toplanan 269 minimum zamanı ve buna ek olarak sistemin bu çalışma kapsamında elde edilen 12 yeni minimum zamanı (bkz. Bölüm 3.1, Tablo 4) kullanılmıştır. Analizlerde bileşenlerin kütleleri olarak sistemin bu çalışmada yapılan ışık eğrisi analizinden hesaplanan  $M_1=0,401 M_{\odot}$  ve  $M_2=0,107 M_{\odot}$  değerleri kullanılmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 46'da Lee ve diğerleri (2009) çalışmasıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 57'de parabol modeli uygulanmış ETV diyagramı ve Şekil 58'de parabol modeli çıkarılmış biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları şunlardır:

$$Min. I (HJD) = 2445730,556 + 0,11671953xE \quad (4.2)$$

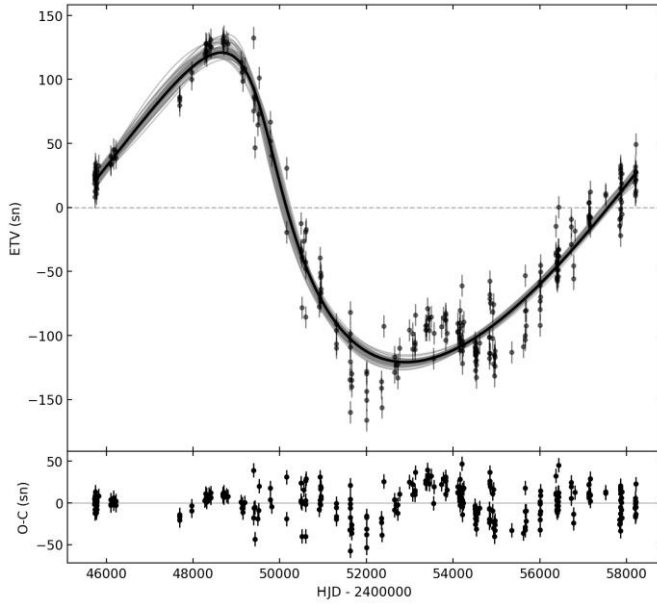
Tablo 46  
HW Vir sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Lee vd. (2009)	Bu çalışma
$T_0$ (HJD)	2445730,55713 (25)	2445730,55581 (57)
$P_1$ (gün)	0,11671959933 (55)	0,116719602 (13)
$Q$ (gün)	$-1,323 (10) \times 10^{-12}$	$-7,65 (54) \times 10^{-13}$
$K_{LTTE}$ (sn)	77,41 (2,68)	120,65 (24,33)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	33,35 (1,16)	60,88 (16,98)
$e_2$	0,46 (5)	0,586 (54)
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	90,8 (2,8)	152,10 (7,80)
$T_s$ (HJD)	2454500 (39)	2449646 (166)
$P_2$ (yıl)	15,84 (14)	33,76 (10,70)
$f(m_3)$ ( $M_{\odot}$ )	$1,486 (54) \times 10^{-5}$	$1,99 (44) \times 10^{-5}$
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	0,627	0,528
$M_3$ ( $M_j$ )	19,23 (24)	18,98 (1,23)
$a_2$ ( $R_{\odot}$ )	1140 (49)	1836,2 (360,4)
$dP/dt$ (sn/yy)	-0,0715 (5)	-0,041 (7)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	–	~0
$K_{LTTE4}$ (sn)	23,07 (3,28)	–
$e_4$	0,31 (15)	–
$\omega_4$ ( $^{\circ}$ )	60,6 (7,1)	–
$T_{s4}$ (HJD)	2449840 (63)	–
$P_4$ (yıl)	9,08 (22)	–
$f(m_3)_4$ ( $M_{\odot}$ )	$1,24 (18) \times 10^{-6}$	–
$M_4$ ( $M_j$ )	8,47 (42)	–
$a_4$ ( $R_{\odot}$ )	778 (112)	–

Not. "4" alt indisi dördüncü cismin parametrelerini ifade etmektedir



Şekil 57. HW Vir sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir



Şekil 58. HW Vir sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramında neredeyse bir dönemlik (12333 gün) sinüs benzeri bir değişim açıkça görülmektedir. ETV diyagramında sistemin döneminin azaldığını gösteren aşağı yönlü bir parabol üzerine binmiş çevrimsel bir değişim görülmektedir. Geri tayf türünden olan küçük kütleli ikinci bileşenin manyetik frenleme etkisinden dolayı sistemde meydana gelen açısal momentum kaybının dönem azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. ETV analizi, sisteme çekimsel olarak bağlı yaklaşık 33,8 yıl döneme sahip 19  $M_j$  kütleli bir cismin varlığını göstermektedir. Buna ek olarak ETV diyagramının artıklarına bakıldığında bir başka sinüs benzeri bir değişimin olduğu görülmektedir. Bu değişimin sisteme dâhil olan dördüncü cisimden kaynaklandığı

düşünülmektedir. Lee ve diğerleri (2008) çalışmasında dördüncü cismin dönemini ve kütlelerini sırasıyla yaklaşık olarak 9 yıl ve 8,5  $M_j$  olarak hesaplamıştır.

#### 4.2.3. MXB 1658-258'in ETV Analizi

Sistemin ETV analizinde literatürden toplanan 62 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. Analizde kullanılan ışık elemanları şu şekildedir:

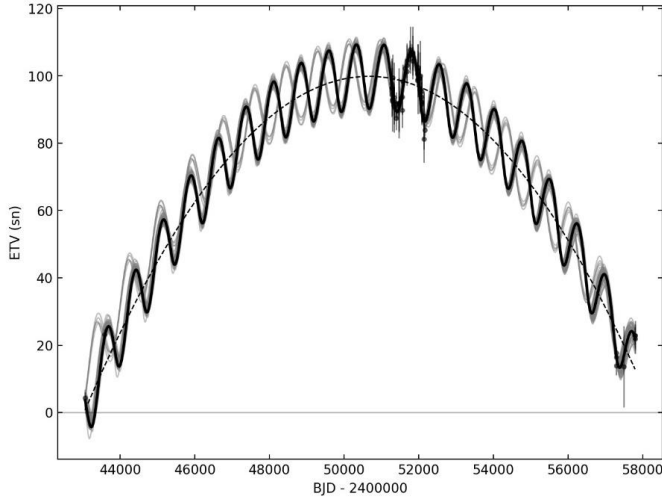
$$Min. I (BJD) = 2443058,72595 + 0,29650453xE \quad (4.3)$$

Ponti ve diğerleri (2017) tarafından birinci ve ikinci bileşenlerin toplam kütle aralığı  $1,5 \leq M_{12} \leq 3,8 M_{\odot}$  olarak elde edildiğinden analizlerde  $M_{12}$  değeri 1,0–4,0 başlangıç koşullarında serbest bırakılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlar Tablo 47’de verilmiştir. Şekil 59’da parabol modeliyle birlikte ETV diyagramı ve Şekil 60’ta parabol modeli çıkarılmış biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri ETV eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir.

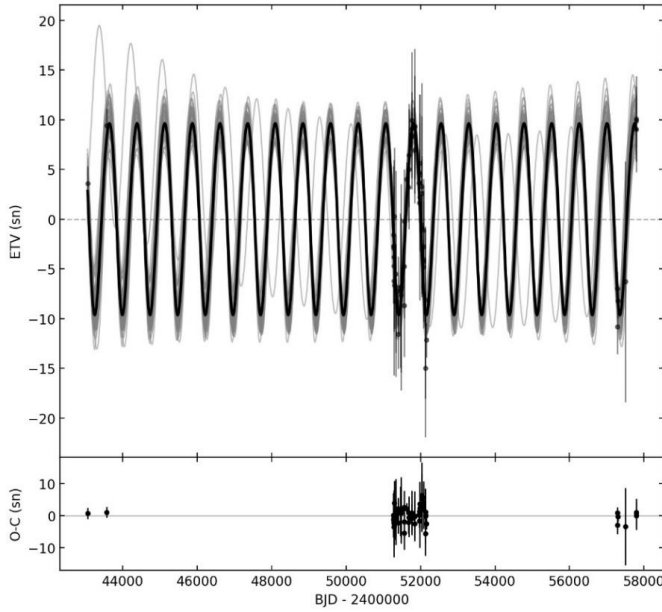
Tablo 47

MXB 1658-298 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Bu çalışma
$T_0$ (HJD)	2443058,725959 (36)
$P_1$ (gün)	0,2965046194 (15)
$Q$ (gün)	$-1,74 (29) \times 10^{-12}$
$K_{LTTE}$ (sn)	9,63 (66)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	4,18 (29)
$e_2$	0,15 (12)
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	-132,5 (58,5)
$T_s$ (HJD)	2450599 (680)
$P_2$ (yıl)	2,032 (8)
$f(m_3)$ ( $M_{\odot}$ )	$1,78 (39) \times 10^{-6}$
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	2,16 (99)
$M_3$ ( $M_j$ )	21,34 (6,44)
$a_2$ ( $R_{\odot}$ )	447,3 (68,8)
$dP/dt$ (sn/yy)	-0,037 (1)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	0,002



Şekil 59. MXB 1658-298 sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir



Şekil 60. MXB 1658-298 sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin yapılan ETV analizinde, ETV diyagramında görülen sinüs benzeri değişimin sisteme bağlı yaklaşık 2 yıl dönemli ve 21  $M_j$  kütleli bir cisimden kaynaklandığı görülmektedir. Iaria ve diğerleri (2018) çalışmasında çember ve “coplanar” yörünge varsayımıyla 2,3 yıl dönemli 21  $M_j$  kütleli bir cismin varlığından bahsetmişlerdir. Sistemin dönemindeki azalma durumu birkaç LMXB ve bazı BHXB (karadelik X-ışın çifti) sistemlerinde de görülmektedir. Bu tür sistemlerde yörünge bozulması sıra dışı bir durumdur. Bununla birlikte gözlenen yörünge bozulmaları çekimsel dalga ışınımı, manyetik frenleme ve sistemden kütle kaybı gibi konvansiyonel yöntemlerle hesaplanan yörünge

bozulma zamanlarından daha hızlı gerçekleşmektedir (Jain ve diğerleri, 2017). Dolayısıyla bu tür sistemlerin analizlerinde, sistemin bileşenlerinden birinin nötron yıldızı olması ve yoldaşının küçük kütleli geri tayf türünden bir yıldız olması manyetik aktivite olasılığını oldukça arttırdığını da göz önüne almak gerekir.

#### 4.2.4. NN Ser'in ETV Analizi

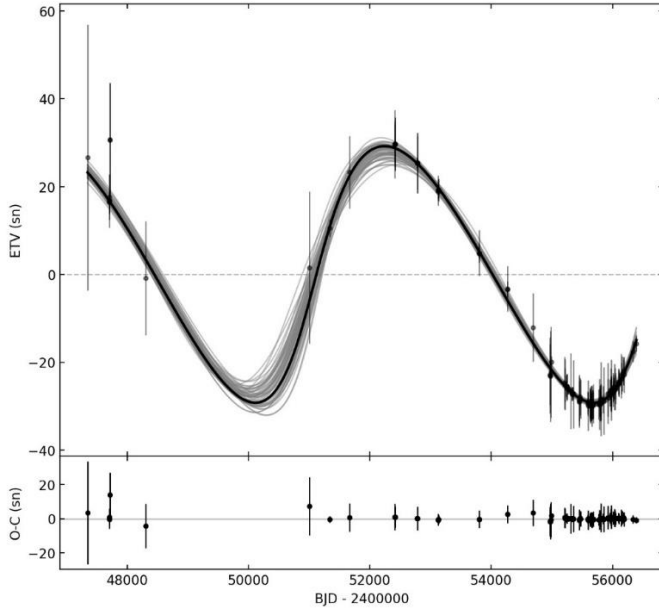
NN Ser'in ETV analizinde literatürden toplanan 120 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. Analizde kullanılan ışık elemanları aşağıdaki gibidir:

$$Min. I (BJD) = 2447344,524617 + 0,1300801195xE \quad (4.4)$$

Analizde bileşenlerin toplam kütlesi ( $M_{12}$ ) olarak Parsons ve diğerleri (2010a) tarafından elde edilen 0,646  $M_{\odot}$  değeri kullanılmıştır. ETV analiziyle elde edilen sonuçlar Tablo 48'de literatür sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 61'de doğrusal modelle düzeltilmiş biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri ETV eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir.

Tablo 48  
NN Ser sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Beuermann vd. (2013)	Marsch vd. (2014)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2447344,524368 (7)	2452942,93433 (4)	2447344,524355 (30)
$P_1$ (gün)	0,13008014203 (3)	0,1300801427 (1)	0,13008014267 (53)
$K_{LTTE}$ (sn)	27,65 (12)	–	29,15 (1,25)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	–	–	13,56 (98)
$e_2$	0,142 (11)	0,08 (5)	0,38 (7)
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	317,0 (6,4)	43 (119)	-9,24 (8,37)
$T_s$ (BJD)	2456145 (80)	2454016 (106)	2451021 (99)
$P_2$ (yıl)	15,482 (27)	15,26 (28)	15,27 (27)
$f(m_3)$ ( $M_{\odot}$ )	–	–	$1,08 (26) \times 10^{-6}$
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	0,646	0,646	0,646
$M_3$ ( $M_j$ )	6,96 (12)	7,33 (31)	8,09 (66)
$a_2$ ( $R_{\odot}$ )	1158,86 (9,68)	1150,5 (12,9)	1148,4 (13,2)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	–	–	$\sim 0$
$K_{LTTE4}$ (sn)	4,32 (22)	–	–
$e_4$	0,223 (19)	0,19 (4)	–
$\omega_4$ ( $^{\circ}$ )	48,0 (2,6)	-111 (13)	–
$T_{s4}$ (BJD)	2454406 (20)	2458106 (228)	–
$P_4$ (yıl)	7,647 (58)	7,9 (5)	–
$M_4$ ( $M_j$ )	1,74 (9)	2,3 (5)	–
$a_4$ ( $R_{\odot}$ )	722,11 (7,10)	737,59 (30,11)	–



Şekil 61. NN Ser sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV analizi sonucunda, ETV eğrisinde sinüs benzeri bir değişime neden olduğu düşünülen yaklaşık 15,5 yıl dönemli ve 7,5  $M_j$  kütleli sisteme bağlı ilave bir cismin varlığından bahsedilebilir. Bu sonuç farklı literatür çalışmalarında elde edilen sonuçlarda da belirtilen ilave cismin gezegen kütlelerinde olduğunu göstermektedir.

Buna ek olarak ETV eğrisinin artıklarında küçük genlikli çevrimsel bir değişimin olduğu Beuermann ve diğerleri (2013) ve Marsch ve diğerleri (2014) tarafından incelenmiştir. Bu tez çalışmasında ve farklı literatür çalışmalarında elde edilen sonuçlarda sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisimlerin gezegen kütlelerinde olduğu görülmektedir. Marsch ve diğerleri çalışmasında bu sistemin dinamik olarak sabit yörüngeye sahip olduğunu söylemiştir. Sistemin PCEB türü olduğu göz önüne alınırsa, gezegenlerin çiftin tüm anakol yaşamı ve özellikle ortak zarf aşaması boyunca hayatta kalmış olması genellikle pek olası değildir. Bu nedenle gezegenlerin, çift sisteme kütle çekimsel olarak bağlı kalan atılmış zarfın bir kesimde ikinci nesil genç gezegenler olarak oluşmuş olabileceği tahmin edilmektedir.

#### 4.2.5. NY Vir'in ETV Analizi

NY Vir sisteminin ETV analizinde literatürden toplanan 78 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. ETV eğrisi oluşturulurken kullanılan ışık elemanları şunlardır:

$$Min. I (BJD) = 2453174,44265 + 0,101015968xE \quad (4.5)$$

NY Vir sistemi için oluşturulan ETV eğrisinde üçüncü bir cismin etkisinden kaynaklandığı düşünülen sinüs benzeri bir değişim açıkça görülmektedir. Bileşenlerin toplam kütlesi için Vuckovic ve diğerleri (2007) tarafından verilen  $M_{12}=0,588 M_{\odot}$  değeri analizlerde kullanılmıştır. Analizler sırasında üçüncü cismin yörüngesi çember ( $e_2=0$  ve  $\omega_2=90^\circ$ ) kabul edilmiştir. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 49’da literatür sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 62’de doğrusal model çıkarılmış biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir.

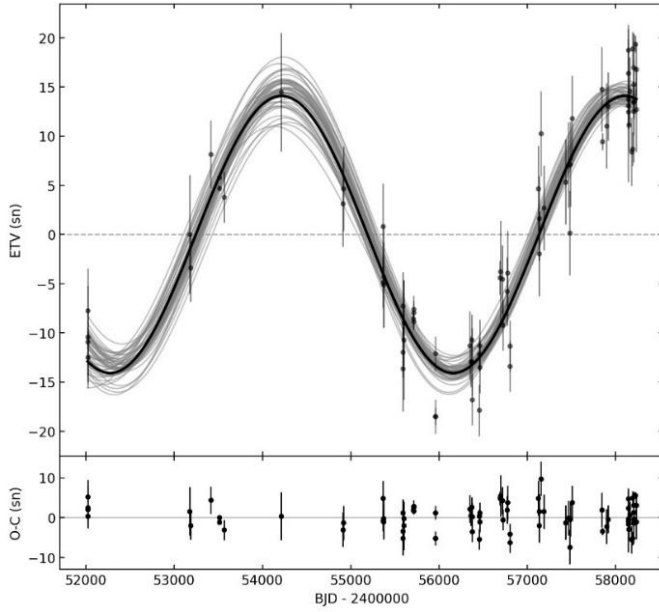
Tablo 49

NY Vir sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Lee vd. (2014)	Song vd. (2019)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2453174,442699 (91)	2453174,442647 (13)	2453174,442965 (14)
$P_1$ (gün)	0,1010159668 (43)	0,1010159677 (4)	0,1010159584 (41)
$Q$ (gün)	–	$1,44 \times 10^{-14}$	–
$K_{LTTE}$ (sn)	27,3 (8,2)	31,4 (1,1)	14,49 (75)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	–	–	6,26 (30)
$e_2$	0,00 (20)	0,15 (1)	0
$\omega_2$ ( $^\circ$ )	333 (15) <sup>a</sup>	320 (4) <sup>a</sup>	90
$T_s$ (BJD)	2450031 (497)	2450031	2458086 (133)
$P_2$ (yıl)	27,0 (3,7)	24,09 (65)	10,52 (34)
$f(m_3)$ ( $M_{\odot}$ )	–	–	$2,23 (38) \times 10^{-7}$
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	0,60	0,59	0,588
$M_3$ ( $M_j$ )	4,49 (72)	5,54 (2)	4,48 (28)
$a_2$ ( $R_{\odot}$ )	1621,4 (137,6)	1513,9 (53,8)	867,1 (16,0)
$dP/dt$ (sn/yy)	–	0,0089 (7)	–
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	–	–	$\sim 0$
$K_{LTTE4}$ (sn)	6,9 (1,0)	7,6 (7)	–
$e_4$	0,44 (17)	0,15 (8)	–
$\omega_4$ ( $^\circ$ )	346 (15) <sup>a</sup>	348 (6) <sup>a</sup>	–
$T_{s4}$ (BJD)	2453472 (141)	2453472	–
$P_4$ (yıl)	8,18 (18)	8,64 (17)	–
$M_4$ ( $M_j$ )	2,78 (19)	2,66 (26)	–
$a_4$ ( $R_{\odot}$ )	729 (26)	763,4 (2,2)	–

a. Enberi noktasının boylamı





Şekil 62. NY Vir sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Analiz sonucunda üçüncü cismin dönemi ve kütlesi yaklaşık olarak sırasıyla 10,7 yıl ve 4,4  $M_j$  olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç ilave bileşenin, sistemin etrafında yörünge hareketi yapan bir ötegezegen olabileceğini göstermektedir. Buna ek olarak literatür çalışmalarında dördüncü bir cismin varlığından bahsedilmektedir. Sistemin minimum zamanlarının yayıldığı tarih aralığında, dördüncü cismin ETV diyagramında ikiden fazla çevrim göstermesi bu cismin varlığını güçlendirse de oldukça etkin aktivite gösteren PCEB türü sistemlerde dördüncü cismin etkisiyle meydana gelen değişimin genliğinin küçük olması ( $< 8$  sn) durumu sorgulanabilir hale getirmektedir. Ayrıca Song ve diğerleri (2019) çalışmasında sistemin yörüngesinin ancak belirli koşullarda (bkz. Song ve diğerleri, 2019) kararlı olabileceğini söylemiştir.

#### 4.2.6. RR Cae'nin ETV Analizi

RR Cae örten çift yıldız sisteminin ETV analizi literatürden toplanan 25 birinci minimum zamanı kullanılarak yapılmıştır. ETV diyagramı oluşturulurken kullanılan ışık elemanları aşağıdaki gibidir:

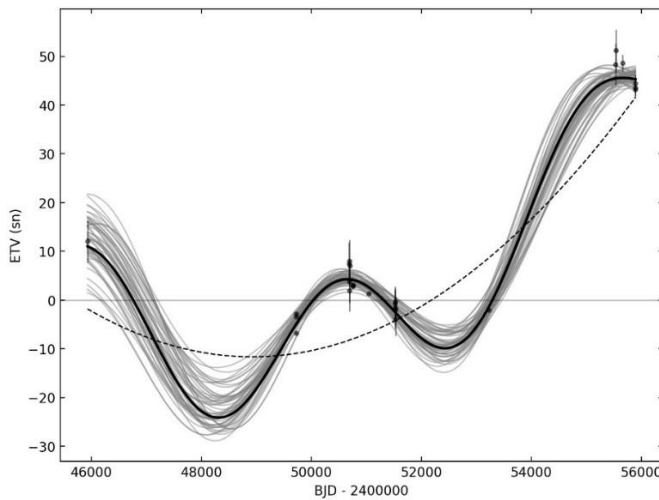
$$Min.I (BJD) = 2451523,04856 + 0,303703634xE \quad (4.6)$$

Analizlerde, Maxted ve diğerleri (2007) tarafından elde edilen bileşenlerin toplam kütlesi  $M_{12}=0,6225 M_{\odot}$  değeri kullanılmıştır. Minimum zamanlarının az olması ETV eğrisinde  $e_2$  ve  $\omega_2$  parametrelerinin hesaplanmasını zorlaştırmaktadır. Bu parametreler

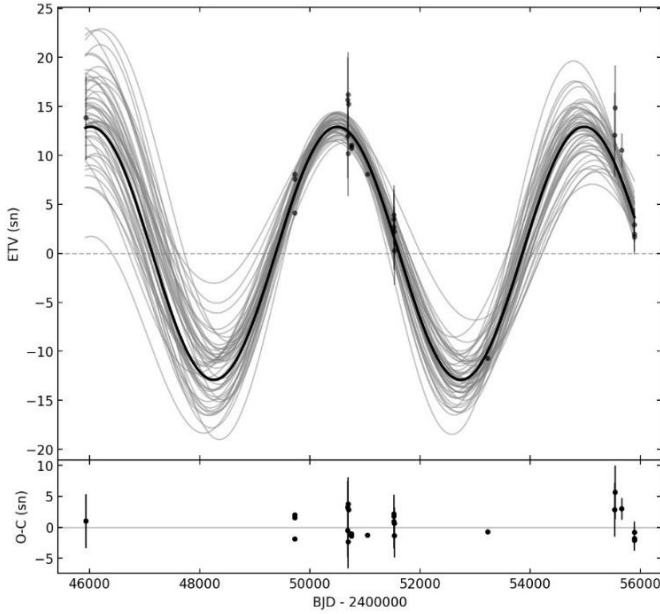
serbest bırakıldığında  $0,40 < e_2 < 0,95$  değerlerinde farklı çözümler elde edilmiştir. Ancak ETV diyagramında üçüncü cismin, çember veya çembere çok yakın bir yörüngede olabileceği görülmüştür. Bu nedenle analizler sırasında  $e_2=0$  ve  $\omega_2=90^\circ$  olarak sabit alınmıştır. Yapılan ETV analiziyle elde edilen sonuçlar Tablo 50’de literatür sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 63’te parabol modeli uygulanmış ETV diyagramı ve Şekil 64’te parabol modeli çıkarılmış bir biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri ETV eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir.

Tablo 50  
RR Cae sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Qian vd. (2012b)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2451523,048560	2451523,048511 (10)
$P_1$ (gün)	0,3037036340	0,3037036540 (17)
$Q$ (gün)	$1,90 \times 10^{-13}$	$1,17 (14) \times 10^{-12}$
$K_{LITE}$ (sn)	14,3 (1,1)	12,89 (1,56)
$a_{12}$ ( $R_\odot$ )	6,24 (43)	5,57 (67)
$e_2$	0	0
$\omega_2$ ( $^\circ$ )	90	90
$T_s$ (BJD)	–	2450499 (65)
$P_2$ (yıl)	11,9 (1)	12,27 (43)
$f$ ( $m_3$ ) ( $M_\odot$ )	$1,7 (3) \times 10^{-7}$	$1,15 (49) \times 10^{-7}$
$M_{12}$ ( $M_\odot$ )	0,622	0,6225
$M_3$ ( $M_j$ )	4,2 (4)	3,73 (48)
$a_2$ ( $R_\odot$ )	1139,7 (129,0)	978,4 (22,4)
$dP/dt$ (sn/yy)	0,013	0,024 (2)
$A_{dyn}/A_{LITE}$	–	$\sim 0$



Şekil 63. RR Cae sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir



Şekil 64. RR Cae sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV analizi, sisteme çekimsel olarak bağlı 12,27 yıl dönemli ve 3,73  $M_j$  kütleli bir ötegezegenin varlığını göstermektedir. Ayrık olan sistemin dönemindeki artış, bileşenler arası kütle aktarımı veya manyetik frenleme etkisini nedeniyle meydana gelen açısal momentum kaybıyla açıklanamaz. Sisteme bağlı büyük bir yörüngesi olan uzun dönemli bir başka cismin varlığı bu parabolik değişime neden olabilir.

#### 4.2.7. UZ For'un ETV Analizi

Analizlerde literatürden toplanan 86 birinci minimum zamanı ve Khangale ve diğerleri (2019) tarafından hesaplanan bileşenlerin toplam kütlesi  $M_{12}=0,84 M_{\odot}$  değeri kullanılmıştır. Yapılan ETV analiziyle elde edilen sonuçlar Tablo 51'de literatür sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 65'te parabol modeli uygulanmış ETV diyagramı ve Şekil 66'da parabol modeli çıkarılmış bir biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri ETV eğrisi ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları şunlardır:

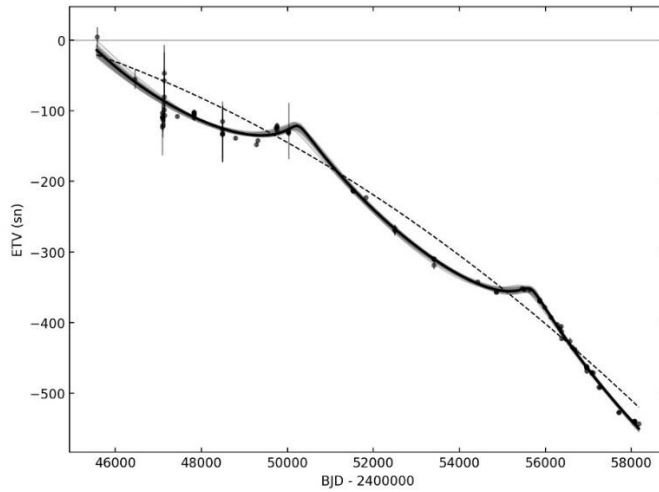
$$Min. I (BJD) = 2445567,1775445 + 0,0878654654xE \quad (4.7)$$

Tablo 51

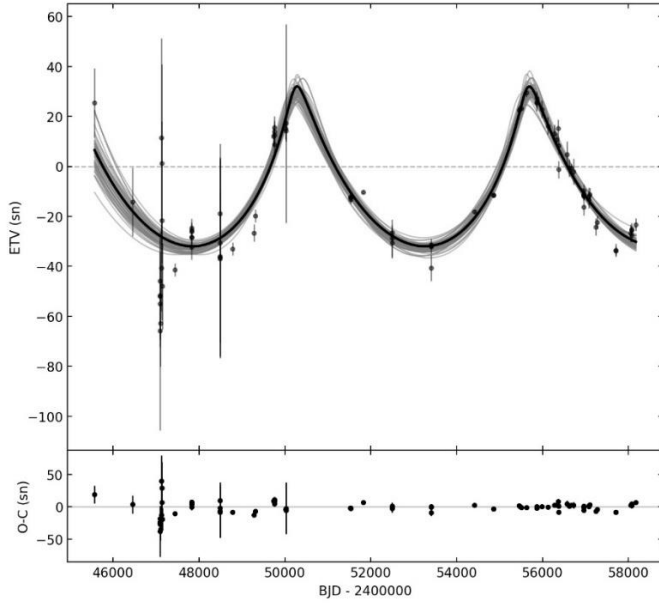
UZ For sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Potter vd. (2011)	Khangale vd. (2019)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2453405,30086 (3)	2453405,300833 (5)	2445567,177303 (68)
$P_1$ (gün)	0,087865425 (2)	0,087865421 (1)	0,0878654433 (12)
$Q$ (gün)	$-7 (2) \times 10^{-14}$	$-1,45 (20) \times 10^{-13}$	$-1,266 (7) \times 10^{-13}$
$K_{LTTE}$ (sn)	21,6 (1,7)	32,1 (3)	31,89 (1,47)
$a_{12}$ ( $R_\odot$ )	9,03 (22)	13,76 (22)	14,12 (74)
$e_2$	0,04 (5)	0,69 (1)	0,72 (8)
$\omega_2$ ( $^\circ$ )	0,85 (5)	2,10 (1)	72,2 (7,3)
$T_s$ (BJD)	60383 (416) <sup>a</sup>	67198 (145) <sup>a</sup>	2444816 (134)
$P_2$ (yıl)	16 (3)	14,67 (1)	14,81 (15)
$f$ ( $m_3$ ) ( $M_\odot$ )	$2,9 (1,1) \times 10^{-7}$	$1,326 (7) \times 10^{-6}$	$1,29 (20) \times 10^{-6}$
$M_{12}$ ( $M_\odot$ )	0,84	0,84	0,84
$M_3$ ( $M_j$ )	6,3 (1,5)	10,00 (2)	10,23 (53)
$a_2$ ( $R_\odot$ )	1268,7 (301,1)	1225,7 (21,5)	1228,1 (8,24)
$dP/dt$ (sn/yy)	-0,005 (1)	-0,0104 (1)	-0,0091 (3)
$A_{dyn}/ALTE$	–	–	$\sim 0$
$K_{LTTE4}$ (sn)	12,18 (52)	5,62 (26)	–
$e_4$	0,05 (5)	0,45 (6)	–
$\omega_4$ ( $^\circ$ )	1,20 (6)	-0,22 (5)	–
$T_{s4}$ (BJD)	4833 (215) <sup>a</sup>	7444 (219) <sup>a</sup>	–
$P_4$ (yıl)	5,25 (25)	5,82 (3)	–
$M_4$ ( $M_j$ )	7,7 (1,2)	5,54 (2)	–
$a_4$ ( $R_\odot$ )	602,1 (107,5)	645,1 (43,0)	–

a. Çift sistemin çevrim sayısı



Şekil 65. UZ For sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir



Şekil 66. UZ For sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV diyagramında sinüs benzeri bir değişim açıkça görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda bu değişime, yaklaşık 14,8 yıl dönemli ve 10,2  $M_J$  kütleli bir cismin neden olduğu söylenebilir. Bununla birlikte ETV diyagramında, model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklarda küçük genlikli bir değişim olduğu görülmektedir. Potter ve diğerleri (2011) ve Khangale ve diğerleri (2019) bu değişim için sisteme bağlı dördüncü bir cismin varlığını önermiştir. Ayrıca ortak zarf sonrasındaki aşamada bileşenler arası kütle aktarımıyla birlikte açısal momentum transferi olması, bileşenler arası uzaklığın azalmasına ve dolayısıyla yörünge döneminin kısılmasına neden olur.

#### 4.2.8. V1828 Aql'nın ETV Analizi

Bu çalışmada ETV analizi yapılan PCEB türü örten çift yıldız sistemlerinin sonuncusu V1828 Aql sistemidir. ETV analizi yapılırken literatürden toplanan 201 minimum zamanı ve buna ek olarak sistemin bu çalışma kapsamında elde edilen 16 minimum zamanı (bkz. Bölüm 3.1, Tablo 6) kullanılmıştır. Analizlerde, bileşenlerin kütleleri olarak bu çalışmada yapılan ışık eğrisi analizi sonuçlarından elde edilen  $M_1=0,351 M_\odot$  ve  $M_2=0,095 M_\odot$  değerleri sabit olarak alınmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 52'de literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 67'de doğrusal olarak düzeltilmiş biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir.

Analizde kullanılan ışık elemanları şunlardır:

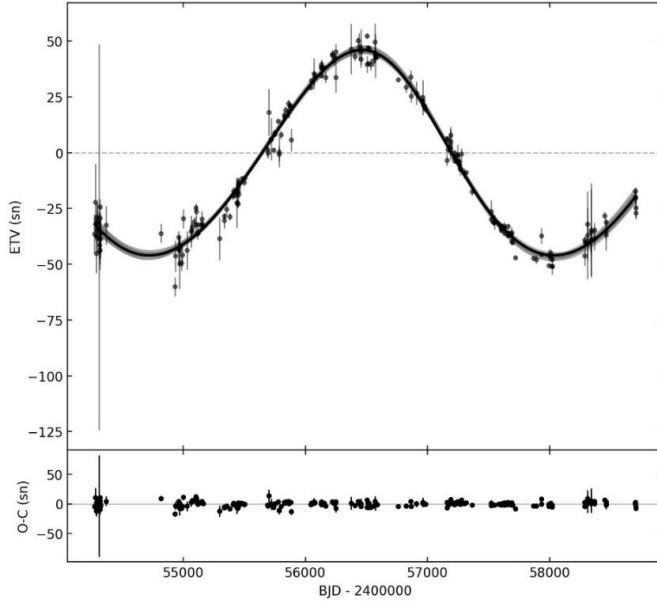
$$\text{Min. } I \text{ (BJD)} = 2454274,2088 + 0,1103741xE \quad (4.8)$$

Tablo 52

V1828 Aql sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Nasiroglu vd. (2017)	Zhu vd. (2019)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2455793,84005 (3)	2454274,20921 (1)	2454274,209220 (18)
$P_1$ (gün)	0,110374082 (3)	0,11103741030 (5)	0,11037410495 (37)
$K_{LTTE}$ (sn)	48,9 (1,6)	46,31 (43)	45,94 (45)
$a_{12}$ ( $R_\odot$ )	–	19,96 (19)	19,90 (19)
$e_2$	0,175 (12)	0,12 (2)	0,13 (2)
$\omega_2$ ( $^\circ$ )	90,11 (15,37) <sup>a</sup>	133,3 (10,3)	128,4 (8,77)
$T_s$ (BJD)	2457938,5 (246,5)	2456816 (94)	2453459 (86)
$P_2$ (yıl)	9,95 (46)	8,83 (6)	9,07 (5)
$f(m_3)$ ( $M_\odot$ )	–	$9,63 (32) \times 10^{-6}$	$9,63 (30) \times 10^{-6}$
$M_{12}$ ( $M_\odot$ )	0,528	0,528	0,4456
$M_3$ ( $M_j$ )	14,75 (13)	14,15 (16)	13,25 (14)
$a_2$ ( $R_\odot$ )	804,3 (25,8)	670,9 (15,1)	721,2 (2,7)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	–	–	$\sim 0$

a. Enberi noktasının boylamı



Şekil 67. V1828 Aql sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV diyagramında sinüs benzeri bir değişim açıkça görülmektedir. Yapılan ETV analizi sonucunda elde edilen değerlere göre yaklaşık 9 yıl dönemli ve 13,25  $M_j$  kütleli bir cismin varlığının bu değişime neden olduğu düşünülmektedir.

#### 4.2.9. KIC 3338660'ın ETV Analizi

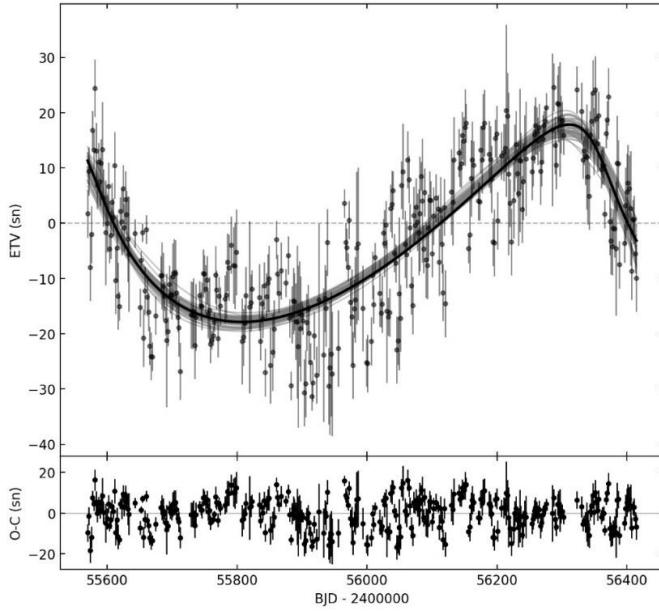
KIC 3338660'ın ETV analizi yapılırken bu çalışma kapsamında, sistemin düzeltilmiş ışık eğrilerinden (bkz. Bölüm 3.4.2) elde edilen 337 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. Analizlerde, sistemin ışık eğrisi analizi sonuçlarından hesaplanan bileşenlerin toplam kütlesi  $M_{12}=2,073 M_{\odot}$  değeri sabit alınmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 53'te literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 68'de doğrusal olarak düzeltilmiş biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları aşağıda verilmiştir:

$$Min. I (BJD) = 2455002,252623 + 1,8733805xE \quad (4.9)$$

Tablo 53  
KIC 3338660 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2455002,26294 (22)
$P_1$ (gün)	1,8733818 (1)	1,87338132 (37)
$K_{LTTE}$ (sn)	–	17,82 (4,33)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	7,7 (8)	8,75 (1,96)
$e_2$	0,76 (8)	0,61 (9)
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	308 (5)	141,8 (6,1)
$T_s$ (BJD)	2454821 (30)	2454774 (1575)
$P_2$ (yıl)	2,06 (5)	2,17 (14)
$f(m_3)$ ( $M_{\odot}$ )	$1,1 (3) \times 10^{-5}$	$1,44 (92) \times 10^{-5}$
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	2,0	2,073
$M_3$ ( $M_j$ )	41,89	41,93 (7,41)
$a_2$ ( $R_{\odot}$ )	–	461,99 (20,21)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	0,26	0,13

Sistemin ETV diyagramında bir dönemli sinüs benzeri bir çevrimsel değişim açıkça görülmektedir. ETV analizi sonucunda bu değişime yaklaşık 2,2 yıl dönemli ve 42  $M_j$  kütleli bir cismin neden olduğu düşünülmektedir. ETV diyagramının artıklarında düzensiz değişimler görülmektedir. Bu değişimler bileşenlerdeki manyetik aktivitelerden de kaynaklanabileceğinden Applegate mekanizmasının da araştırılması gereklidir.



Şekil 68. KIC 3338660 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

#### 4.2.10. KIC 3440230'un ETV Analizi

Sistemin ETV analizi yapılırken, sistemin ışık eğrileri düzenlenerek (bkz. Bölüm 3.4.2) bu eğrilerden elde edilen 361 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. Analizlerde, sistemin ışık eğrisi analizi sonucu hesaplanan bileşenlerin toplam kütlesi  $M_{12}=2,092 M_{\odot}$  değeri sabit alınmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 54'te literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 69'da sistemin ETV diyagramı ve parabol modeli ve Şekil 70'te parabol modeli çıkarılmış biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları aşağıda verilmiştir:

$$Min. I (BJD) = 2454967,238413 + 2,8811010xE \quad (4.10)$$

Tablo 54

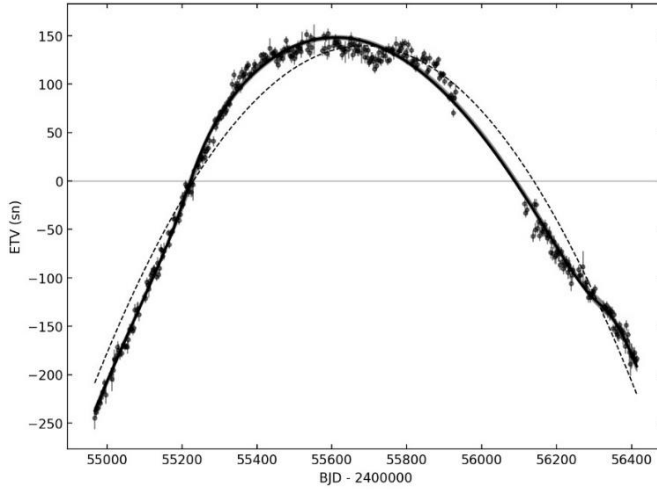
KIC 3440230 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Zasche vd. (2015)	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2455687,5150 (3)	–	2454967,235997 (32)
$P_1$ (gün)	2,8811052 (38)	2,8811326 (2)	2,88113338 (36)
$Q$ (gün)	–	$-4,43 (3) \times 10^{-8}$	$-6,50 (8) \times 10^{-8}$
$K_{LTE}$ (sn)	51,84 (21,60)	–	30,13 (94)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	–	17,6 (5)	17,24 (69)
$e_2$	0,264 (98)	0,56 (3)	0,66 (4)
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	111,3 (17,5)	178 (3)	6,2 (2,3)
$T_5$ (BJD)	2455818 (32)	2455203 (1)	2455222 (16)

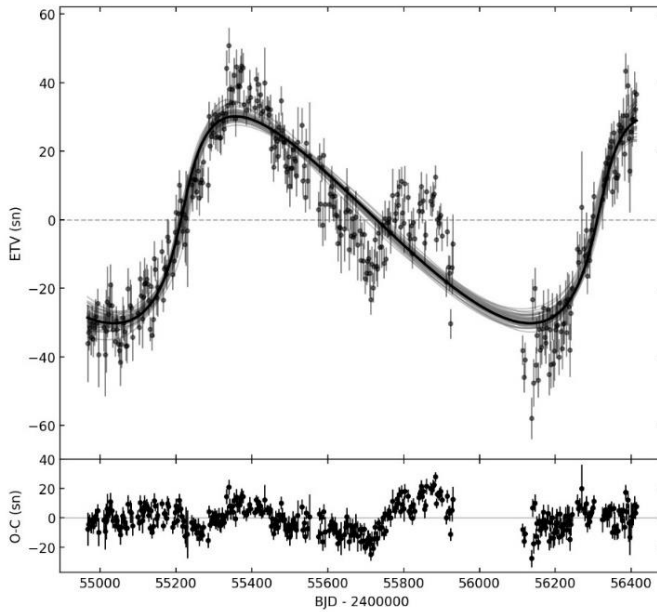


Tablo 54'ün devamı

Parametre	Zasche vd. (2015)	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$P_2$ (yıl)	1,04 (13)	2,96 (2)	3,00 (3)
$f(m_3)$ ( $M_\odot$ )	0,0010 (1)	$6,3 (5) \times 10^{-5}$	$5,71 (74) \times 10^{-5}$
$M_{12}$ ( $M_\odot$ )	—	2	2,092
$M_3$ ( $M_j$ )	—	62,84	67,32 (2,81)
$a_2$ ( $R_\odot$ )	—	—	578,2 (4,1)
$dP/dt$ (sn/yy)	—	—	-142,46 (1,07)
$A_{dyn}/ALTE$	—	0,17	0,23



Şekil 69. KIC 3440230 sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir



Şekil 70. KIC 3440230 sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

KIC 3440230 sisteminin ETV diyagramında görülen sinüs benzeri değişim için ETV analizi sonucunda 3 yıl dönemli ve yaklaşık 67  $M_j$  kütleli bir cismin neden olduğu önerilmektedir. Sistemde ikinci bileşenin Roche şişimini doldurduğu göz önüne alınacak olursa quadratik terimin işareti yani parabolün yönü, ışık eğrisi modellemesinden elde edilen sonuçların aksine, daha büyük kütleli yıldızın kütle kaybetmesini gerektirmektedir. Dolayısıyla sistemin dönemindeki azalma, bileşenler arasındaki kütle aktarımına bağlı olarak yorumlanamaz. Bu durum sistemden korunumsuz kütle kaybı veya manyetik frenleme nedeniyle açısal momentum kaybıyla açıklanabilir. Yörünge döneminin azaldığı süre boyunca birinci bileşenin doldurma faktörü artabilir ve sonunda Roche şişimini doldurabilir. Bu tür sistemler değer çift yıldız sistemlerinin öncüleri olabilir (Bradstreet ve Guinan, 1994; Qian, 2000).

#### 4.2.11. KIC 4574310'un ETV Analizi

KIC 4574310'un ETV analizi yapılırken sistemin ışık eğrileri düzenlenerek (bkz. Bölüm 3.4.2) bu eğrilerden elde edilen 687 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. Analizlerde, sistemin ışık eğrisi analizi sonucu hesaplanan bileşenlerin toplam kütleleri  $M_{12}=1,784 M_{\odot}$  değeri sabit alınmıştır. Analiz sonuçlarında elde edilen parametreler Tablo 55'te literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sistemin, Şekil 71'de ETV diyagramı ve parabol modeli ve Şekil 72'de parabol modeli çıkarılmış biçimde ETV diyagramı sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları aşağıda verilmiştir:

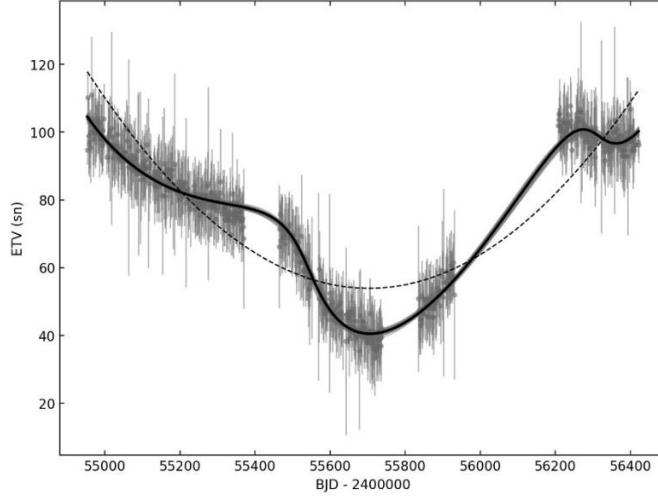
$$Min. I (BJD) = 2454954,661614 + 1,3062201xE \quad (4.11)$$

Tablo 55  
KIC 4574310 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

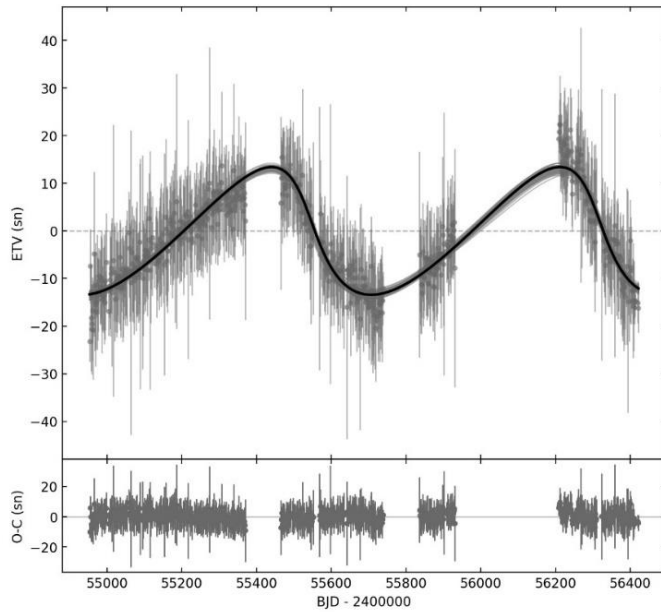
Parametre	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454954,6629758 (85)
$P_1$ (gün)	1,30622013 (1)	1,306217526 (36)
$Q$ (gün)	–	2,24 (33) $\times 10^{-9}$
$K_{LTE}$ (sn)	–	13,39 (29)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	14,9 (2)	6,63 (17)
$e_2$	0,56 (2)	0,51 (3)
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	154 (1)	165,6 (3,8)
$T_s$ (BJD)	2454557 (16)	2453995 (22)
$P_2$ (yıl)	3,69 (5)	2,11 (2)
$f(m_3)$ ( $M_{\odot}$ )	2,5 (1) $\times 10^{-5}$	6,59 (50) $\times 10^{-6}$
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	2	1,784

Tablo 55'in devamı

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$M_3$ ( $M_j$ )	52,37	29,18 (75)
$a_2$ ( $R_\odot$ )	–	431,5 (2,68)
$dP/dt$ (sn/yy)	–	10,84 (4)
$A_{dyn}/ALTE$	0,02	0,05



Şekil 71. KIC 4574310 sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir



Şekil 72. KIC 4574310 sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV diyagramında sinüs benzeri bir eğrinin varlığı açıkça görülmektedir. Yapılan ETV analizinde bu değişimin nedeni olarak yaklaşık 2,1 yıl dönemli ve 29,2  $M_j$  kütleli bir cismin varlığı önerilmiştir. Parabolün yönü, sistemin yörünge döneminin arttığı

göstermektedir. Bu artış, yarı-ayrık tür olan sistemde Roche şişimini doldurmuş küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru kütle aktarımıyla açıklanabilir.

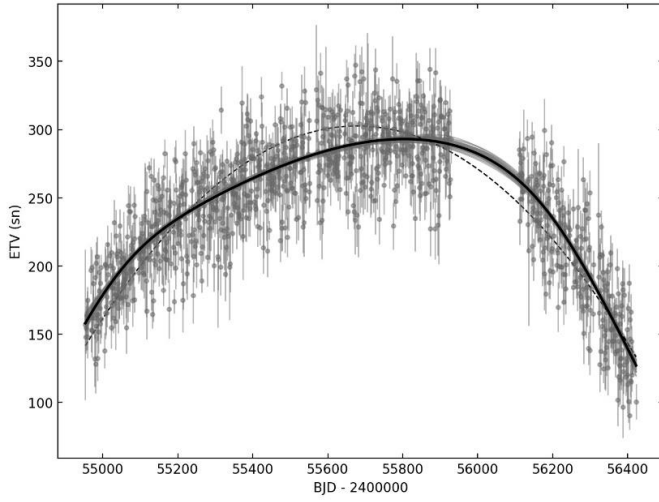
#### 4.2.12. KIC 5621294'ün ETV Analizi

Sistemin ETV analizi yapılırken, sistemin ışık eğrileri düzenlenerek (bkz. Bölüm 3.4.2) bu eğrilerden elde edilen 1107 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. Analizlerde, sistemin ışık eğrisi analizi sonucu hesaplanan bileşenlerin toplam kütlesi  $M_{12}=3,336 M_{\odot}$  değeri sabit alınmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 56'da literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 73'te sistemin ETV diyagramı ve parabol modeli ve Şekil 74'te parabol modeli çıkarılmış biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları şunlardır:

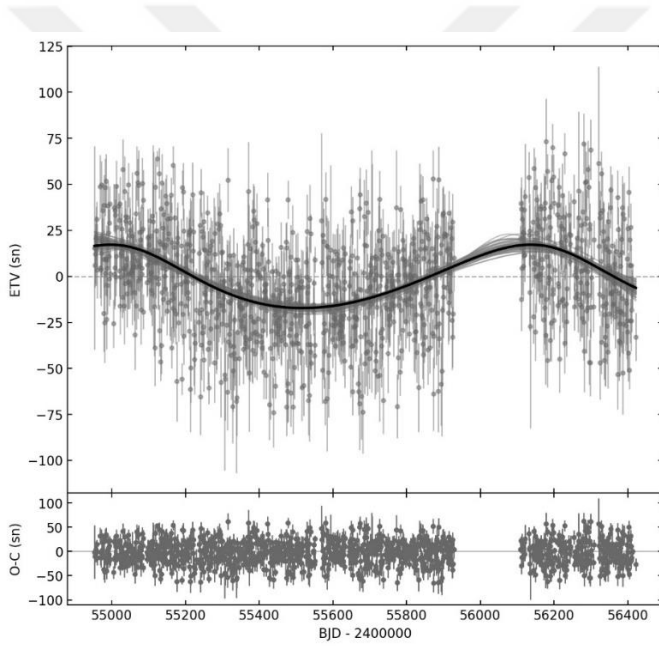
$$Min. I (BJD) = 2454954,510518 + 0,9389049xE \quad (4.12)$$

Tablo 56  
KIC 5621294 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Lee vd. (2014)	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	2455672,7763783 (27)	–	2454954,512161 (69)
$P_1$ (gün)	0,9389051610 (31)	0,93890979 (5)	0,93890972 (35)
$Q$ (gün)	$-3,4608 (82) \times 10^{-9}$	$-6,31 (9) \times 10^{-9}$	$-3,13 (28) \times 10^{-9}$
$K_{LTTE}$ (sn)	22,49 (17)	–	17,18 (6,12)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	10,14 (8)	6,8 (2)	7,49 (2,65)
$e_2$	0,434 (15)	0,43 (5)	0,24 (14)
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	312,6 (1,9)	323 (7)	124,9 (61,1)
$T_s$ (BJD)	2455163,4 (4,2)	2455143 (22)	2455079 (290)
$P_2$ (yıl)	2,631 (6)	2,97 (4)	3,12 (46)
$f(m_3)$ ( $M_{\odot}$ )	$1,515 (12) \times 10^{-5}$	$3,6 (4) \times 10^{-6}$	$4,34 (1,80) \times 10^{-6}$
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	–	2	3,336
$M_3$ ( $M_j$ )	46,90 (18)	20,95	38,41 (8,36)
$a_2$ ( $R_{\odot}$ )	541 (1)	–	689,1 (65,2)
$dP/dt$ (sn/yy)	-23,27	–	-21,01 (1,44)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	–	0,01	0,007



Şekil 73. KIC 5621294 sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir



Şekil 74. KIC 5621294 sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

KIC 5621294 sisteminin ETV diyagramında görülen sinüs benzeri eğrinin, yapılan ETV analizi sonucunda yaklaşık 12,3 yıl dönemli ve 3,7 Mj kütleli ilave bir bileşen nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca sistemin yörünge döneminde azalma görülmektedir. Yarı-ayrık tür olan KIC 5621294'ün dönemindeki azalma, bileşenler arasındaki kütle aktarımına bağlı olarak yorumlanamaz. KIC 3440230 sisteminde olduğu gibi bu durum, sistemden korunumsuz kütle kaybı veya manyetik frenleme nedeniyle açısal momentum kaybıyla açıklanabilir.

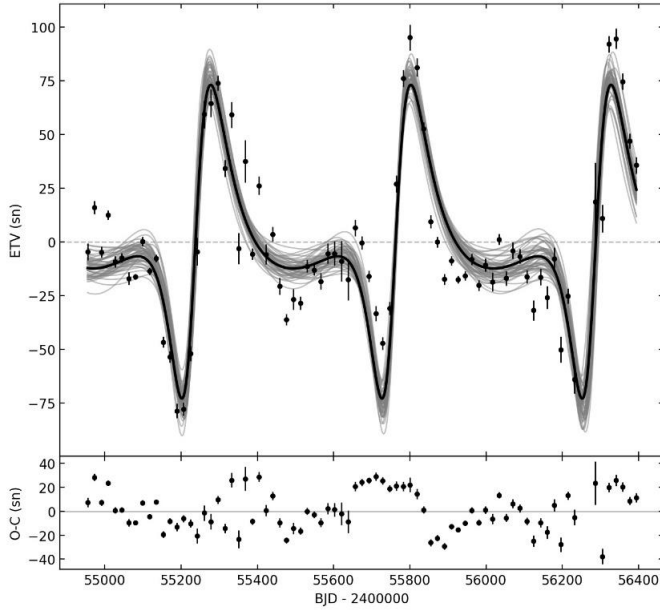
#### 4.2.13. KIC 7177553'ün ETV Analizi

Sistemin ETV analizi yapılırken *Kepler* ışık eğrilerinden elde edilen 79 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. Ayrıca sistemin bu çalışmada eş zamanlı yapılan dikine hız ve ışık eğrisi analizi sonucu hesaplanan bileşenlerin toplam kütlesi  $M_{12}=1,977 M_{\odot}$  değeri sabit alınmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 57'de literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 75'te doğrusal olarak düzeltilmiş biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları aşağıda verilmiştir:

$$Min. I (BJD) = 2454954,545842 + 17,9964667xE \quad (4.13)$$

Tablo 57  
KIC 7177553 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454954,5467385 (83)
$P_1$ (gün)	17,99628 (6)	17,99646072 (21)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	–	0,73 (9)
$e_1$	0,39412 (1)	0,3925
$e_2$	0,46 (2)	0,344 (27)
$\omega_1$ ( $^{\circ}$ )	179,7 (4)	5,51
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	201 (5)	15,91 (5,58)
$T_s$ (BJD)	2454701 (9)	2455230 (4)
$P_2$ (yıl)	1,448 (5)	1,437 (8)
$f(m_3)$ ( $M_{\odot}$ )	$4,1 (1) \times 10^{-8}$	$1,85 (74) \times 10^{-8}$
$i_1$ ( $^{\circ}$ )	84	88,855
$i_2$ ( $^{\circ}$ )	81	80,95 (18,07)
$i_m$ ( $^{\circ}$ )	26 (3)	12,06 (8,88)
$\Delta\Omega$ ( $^{\circ}$ )	26 (3)	-9,99 (6,52)
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	1,9 (8)	1,977
$M_3$ ( $M_j$ )	5,24 (2,09)	4,42 (48)
$a_2$ ( $R_{\odot}$ )	339 (50)	343,9 (1,3)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	47,93	47,80



Şekil 75. KIC 7177553 sisteminin doğrusal olarak düzeltilmiş ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV diyagramında sisteme dâhil olan üçüncü bir bileşenden kaynaklandığı öngörülen değişim açıkça görülmektedir. Dinamik etkinin varlığı nedeniyle sinüs benzeri çevrimsel değişim kendini farklı bir biçimde göstermektedir. Yapılan ETV analizi sonucunda üçüncü bileşenin dönemi ve kütlesi sırasıyla yaklaşık 1,4 yıl ve 4,4  $M_j$  olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte sistemde dinamik etki, LTTE'ye oranla 47,8 kat daha etkilidir. KIC 7177553 sisteminin aslında dörtlü bir sistemin A ve B bileşenleri ve diğer iki bileşenin de bir çift yıldız olduğunu daha önce belirtmiştik. ETV eğrisinin artıklarında da kısmen sinüs benzeri bir değişim görülmektedir. Artıklardaki bu değişimin, sistemin üyesi olduğu dörtlü sistem nedeniyle meydana geldiği söylenebilir.

#### 4.2.14. KIC 7339345'in ETV Analizi

Sistemin *Kepler* ışık eğrilerinden 10267 birinci ve ikinci minimum zamanı elde edilmiş ve Bölüm 3.4.2'de anlatıldığı gibi sistemin 5094 ortalama minimum zamanı hesaplanmıştır. Analizlerin daha hızlı yapılabilmesi için bu ortalama minimum zamanları ETV eğrisinin karakteristiğini yansıtacak şekilde seyreltilerek (508 adet) kullanılmıştır. Analizlerde, bu çalışmada yapılan ışık eğrisi analizinden elde edilen bileşenlerin toplam kütlesi  $M_{12}=1,341 M_{\odot}$  değeri kullanılmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 58'de literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 76'da sistemin ETV diyagramı ve parabol modeli ve Şekil 77'de parabol modeli çıkarılmış biçimde

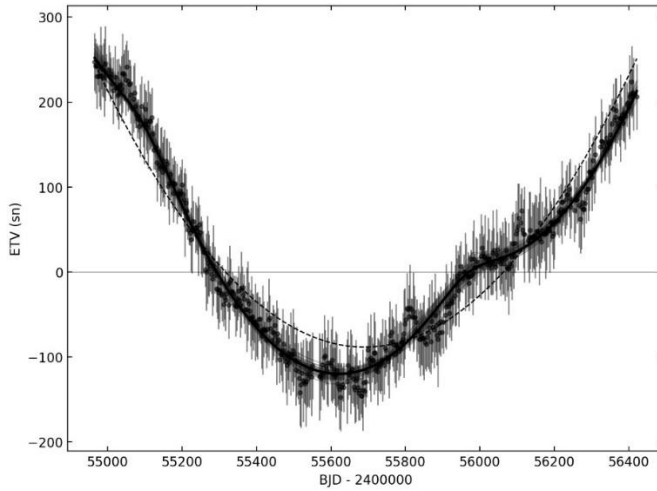
sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları aşağıdaki gibidir.

$$Min.I (BJD) = 2454964,777196 + 0,2596643xE \quad (4.14)$$

Tablo 58

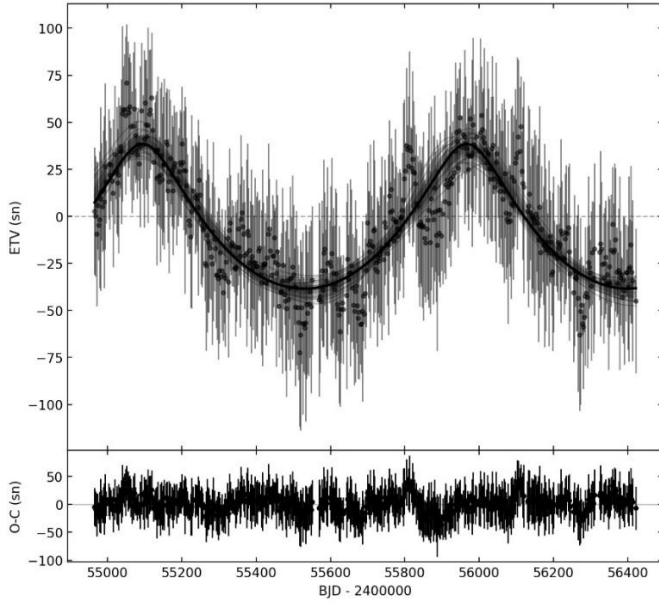
KIC 7339345 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454964,7800271 (91)
$P_1$ (gün)	0,25966151 (1)	0,2596615389 (39)
$Q$ (gün)	$3,86 (1) \times 10^{-9}$	$4,94 (66) \times 10^{-10}$
$K_{LTTE}$ (sn)	–	38,40 (1,96)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	15,3 (1)	16,58 (85)
$e_2$	0,40 (1)	0,46 (11)
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	286 (2)	90,8 (13,6)
$T_s$ (BJD)	2455120 (5)	2455095 (27)
$P_2$ (yıl)	2,44 (1)	2,39 (4)
$f$ ( $m_3$ ) ( $M_{\odot}$ )	$6,0 (1) \times 10^{-5}$	$8,03 (1,40) \times 10^{-7}$
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	2	1,3408
$M_3$ ( $M_j$ )	62,84	56,41 (3,12)
$a_2$ ( $R_{\odot}$ )	–	429,4 (5,0)
$dP/dt$ (sn/yy)	–	12,02 (1,19)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	0,001	0,002



Şekil 76. KIC 7339345 sisteminin ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Kesikli çizgi parabol modelini temsil etmektedir





Şekil 77. KIC 7339345 sisteminin parabol modeli çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV diyagramında parabol üzerinde sinüs benzeri çevrimli bir değişim görülmektedir. Parabolün yönü sistemin döneminde artış olduğunu göstermektedir. Bu artış, degen tür sistemde küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru kütle aktarımı nedeniyle olduğu söylenebilir. Bununla birlikte ETV diyagramında parabol modelini çıkardığımızda görülen çevrimli sinüs benzeri eğrinin, sisteme çekimsel olarak bağlı yaklaşık 2,4 yıl dönemli ve 56,4  $M_J$  kütleli bir cisim nedeniyle meydana geldiği söylenebilir.

#### 4.2.15. KIC 7821010'un ETV Analizi

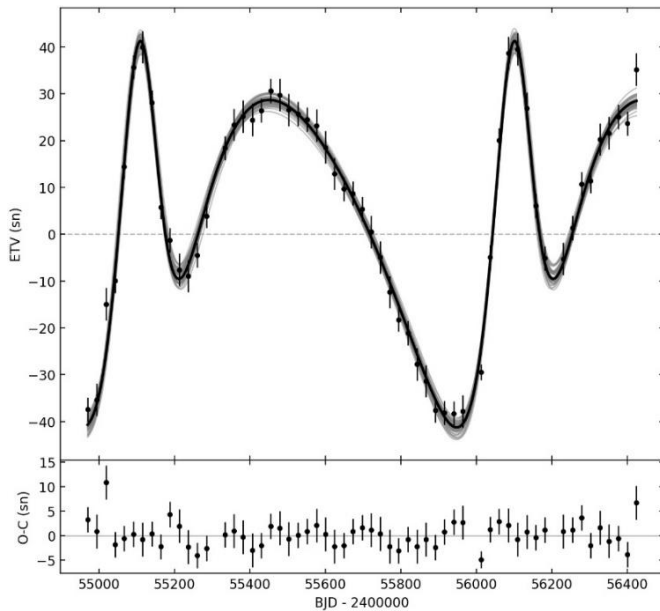
ETV analizi yapılan dış merkezli bir yörüngeye sahip sistemin ETV analizi yapılırken *Kepler* ışık eğrilerinden elde edilen 58 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. Ayrıca analizlerde sistemin bu çalışmada eşzamanlı yapılan dikine hız ve ışık eğrisi analizi sonucu hesaplanan bileşenlerin toplam kütleli  $M_{12}=2,525 M_{\odot}$  değeri sabit alınmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 59'da literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 78'de doğrusal olarak düzeltilmiş biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları aşağıda verilmiştir:

$$Min. I (BJD) = 2454969,615845 + 24,2382426xE \quad (4.15)$$

Tablo 59

KIC 7821010 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454969,6165607 (94)
$P_1$ (gün)	24,2382191 (1)	24,23824019 (26)
$a_{12}$ ( $R_\odot$ )	46,4 (2,0)	0,44 (5)
$e_1$	0,6791	0,6702
$e_2$	0,372 (9)	0,384 (7)
$\omega_1$ ( $^\circ$ )	239,234 (1)	59,182
$\omega_2$ ( $^\circ$ )	126 (2)	-47,9 (6,2)
$T_s$ (BJD)	2455124 (6)	2455119 (3)
$P_2$ (yıl)	2,713 (8)	2,715 (6)
$f(m_3)$ ( $M_\odot$ )	$3 (1) \times 10^{-9}$	$1,05 (45) \times 10^{-9}$
$i_1$ ( $^\circ$ )	88	89,56
$i_2$ ( $^\circ$ )	105	105,4 (22,9)
$i_m$ ( $^\circ$ )	25 (1)	50,9 (16,3)
$\Delta Q$ ( $^\circ$ )	-19 (2)	49 (21)
$M_{12}$ ( $M_\odot$ )	2,3 (3)	2,525
$M_3$ ( $M_j$ )	2,62 (31)	2,05 (20)
$a_2$ ( $R_\odot$ )	551 (23)	569,9 (8)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	32,60	39,45



Şekil 78. KIC 7821010 sisteminin doğrusal olarak düzeltilmiş ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV diyagramında bir dönemden fazla çevrimsel bir değişim açık bir şekilde görülmektedir. KIC 7177553'te olduğu gibi dinamik etkinin varlığı nedeniyle sinüs benzeri çevrimsel değişim kendini farklı bir biçimde göstermektedir. Bu değişimin sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü bir bileşen nedeniyle olduğu varsayılarak yapılan ETV analizi

sonucunda üçüncü bileşenin dönemi ve kütlesi sırasıyla yaklaşık 2,7 yıl ve 2,1  $M_j$  olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte sistemde dinamik etki, LTTE'ye oranla 39,45 kat daha etkilidir.

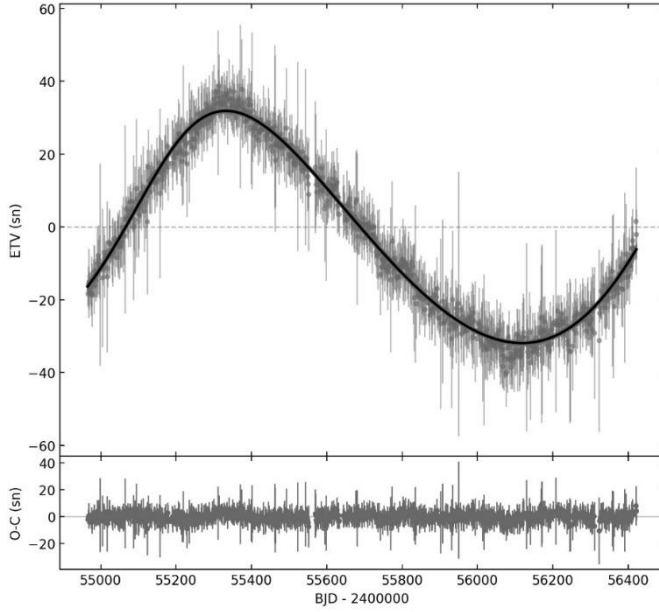
#### 4.2.16. KIC 8081389'un ETV Analizi

KIC 8081389'un ETV analizi yapılırken düzenlenmiş ışık eğrilerinden (bkz. Bölüm 3.4.2) elde edilen 891 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. Sistemin bu tez çalışması kapsamında yapılan ışık eğrisi analizi sonucunda elde edilen parametrelerden hesaplanan bileşenlerin toplam kütlesi  $M_{12}=1,70 M_{\odot}$  değeri ETV analizlerinde sabit olarak alınmıştır. Analiz sonuçlarında elde edilen parametreler Tablo 60'ta literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 79'da sistemin doğrusal model çıkarılmış biçimde ETV diyagramı sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları aşağıda verilmiştir:

$$Min. I (BJD) = 2454965,004201 + 1,4894405xE \quad (4.16)$$

Tablo 60  
KIC 8081389 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454965,003993 (34)
$P_1$ (gün)	1,48944301 (3)	1,489443028 (64)
$K_{LTTE}$ (sn)	–	31,84 (1,38)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	13,8 (2)	14,1 (5)
$e_2$	0,27 (1)	0,26 (2)
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	217 (2)	38 (4)
$T_s$ (BJD)	2454557 (16)	2455181 (12)
$P_2$ (yıl)	3,79 (4)	3,81 (9)
$f(m_3)$ ( $M_{\odot}$ )	$2,5 (1) \times 10^{-5}$	$1,93 (14) \times 10^{-5}$
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	2	1,70
$M_3$ ( $M_j$ )	52,37	40,60 (1,02)
$a_2$ ( $R_{\odot}$ )	–	630,2 (9,8)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	0,02	0,017



Şekil 79. KIC 8081389 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV diyagramında sinüs benzeri çevrimli bir değişim görülmektedir. Yapılan ETV analizi sonucunda yaklaşık 3,8 yıl dönemli ve 40,6  $M_j$  kütleli bir cismin sisteme çekimsel olarak bağlı olabileceği söylenebilir.

#### 4.2.17. KIC 8610483'ün ETV Analizi

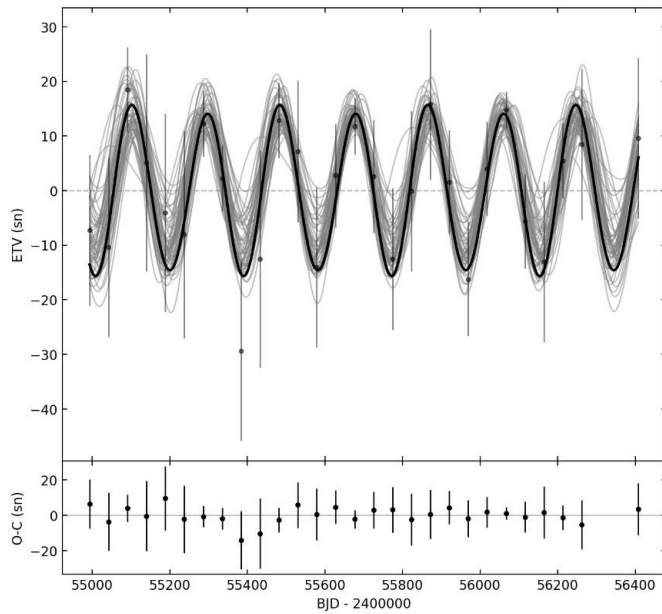
Sistemin ETV analizi yapılırken *Kepler* ışık eğrilerinden elde edilen 28 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. Ayrıca analizlerde sistemin bu çalışmada eş zamanlı yapılan dikine hız ve ışık eğrisi analizi sonucu hesaplanan bileşenlerin toplam kütlesi  $M_{12}=1,938 M_{\odot}$  değeri sabit alınmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 61'de literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 80'de doğrusal olarak düzeltilmiş biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları şu şekildedir:

$$Min. I (BJD) = 2454993,195479 + 48,7993681xE \quad (4.17)$$

Tablo 61

KIC 8610483 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Welsh (2014)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454993,196294 (40)
$P_1$ (gün)	–	48,7993657 (22)
$a_{12}$ ( $R_\odot$ )	–	0,022 (6)
$e_1$	0,4926 (11)	0,4944
$e_2$	0,029 (15)	0,021 (19)
$\omega_1$ ( $^\circ$ )	50,53 (15)	50,75
$\omega_2$ ( $^\circ$ )	28 (29)	27,7 (35,3)
$T_s$ (BJD)	–	2455782 (355)
$P_2$ (yıl)	1,088	1,045 (17)
$f$ ( $m_3$ ) ( $M_\odot$ )	–	$9,1 (3,1) \times 10^{-13}$
$i_1$ ( $^\circ$ )	88,83	88,858
$i_2$ ( $^\circ$ )	77,6	85,7 (15,9)
$i_m$ ( $^\circ$ )	11,44 (2,97)	31,7 (26,7)
$\Delta\Omega$ ( $^\circ$ )	–	-31,6 (30,1)
$M_{12}$ ( $M_\odot$ )	1,935 (35)	1,938
$M_3$ ( $M_\oplus$ )	45,069 (3,496)	50,29 (14,6)
$a_2$ ( $R_\odot$ )	283,4 (1,9)	276 (3)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	–	318 (93)



Şekil 80. KIC 8610483 sisteminin doğrusal olarak düzeltilmiş ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV diyagramında bir dönemden fazla çevrimsel bir değişim açık bir şekilde görülmektedir. Bu değişimin sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü bir bileşen nedeniyle olduğu varsayılarak yapılan ETV analizi sonucunda üçüncü bileşenin dönemi ve kütlesi

sırasıyla yaklaşık 1 yıl ve  $50 M_{\oplus}$  olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte sistemde dinamik etki, LTTE'ye oranla 318 kat daha etkilidir.

#### 4.2.18. KIC 9159301'in ETV Analizi

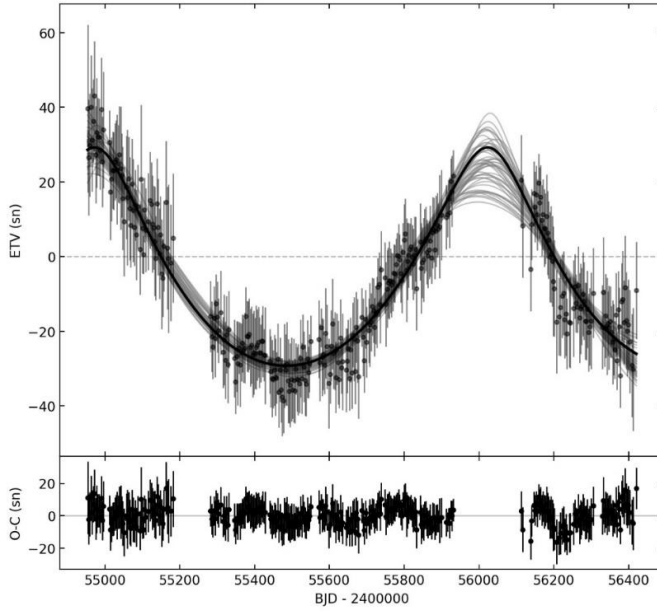
Sistemin *Kepler* ışık eğrileri düzenlenmiş (bkz. Bölüm 3.4.2) ve bu eğrilerden 328 birinci minimum zamanı sistemin ETV analizinde kullanılmak üzere elde edilmiştir. Analizlerde, sistemin ışık eğrisi analizi sonucu hesaplanan bileşenlerin toplam kütlesi  $M_{12}=2,156 M_{\odot}$  değeri sabit alınmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 62'de literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 81'de doğrusal olarak düzeltilmiş biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları şunlardır:

$$Min. I (BJD) = 2454956,302809 + 3,0447704xE \quad (4.18)$$

Tablo 62

KIC 9159301 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454956,302663 (66)
$P_1$ (gün)	3,0447717 (1)	3,04477190 (38)
$K_{LTTE}$ (sn)	–	29,18 (1,92)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	12,6 (3)	12,6 (9)
$e_2$	0,40 (4)	0,47 (15)
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	263 (7)	95,4 (22,4)
$T_s$ (BJD)	2454922 (27)	2454979 (987)
$P_2$ (yıl)	2,93 (6)	2,88 (22)
$f(m_3)$ ( $M_{\odot}$ )	$2,3 (2) \times 10^{-5}$	$2,44 (49) \times 10^{-5}$
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	2	2,156
$M_3$ ( $M_j$ )	52,37	51,45 (3,44)
$a_2$ ( $R_{\odot}$ )	–	566,1 (28,7)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	0,12	0,13



Şekil 81. KIC 9159301 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV diyagramında çevrimli sinüs benzeri bir değişim açıkça görülmektedir. Yapılan ETV analizi sonucunda, bu değişimin nedeni olarak sisteme çekimsel olarak bağlı yaklaşık 2,9 yıl dönemli ve 51,5  $M_j$  kütleli üçüncü bir bileşenin varlığı önerilmektedir.

#### 4.2.19. KIC 9592145'in ETV Analizi

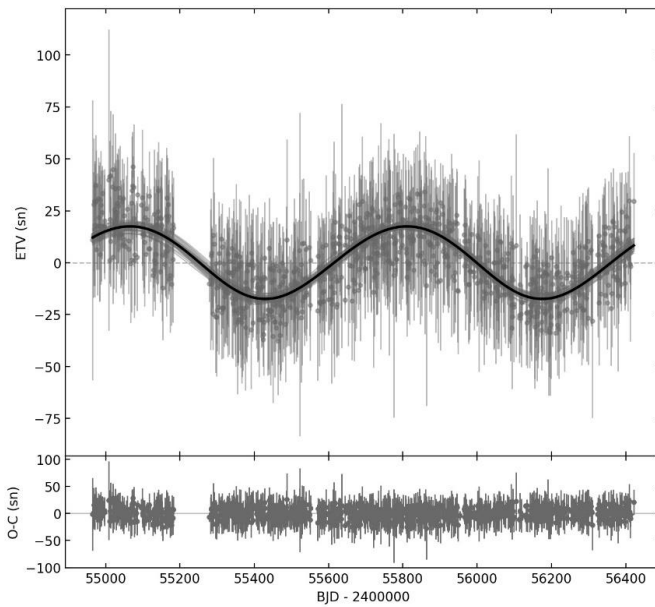
KIC 9592145 sisteminin ETV analizi yapılırken sistemin ışık eğrileri düzenlenerek (bkz. Bölüm 3.4.2) bu eğrilerden elde edilen 962 birinci minimum zamanı kullanılmıştır. Analizlerde, sistemin ışık eğrisi analizi sonucu hesaplanan bileşenlerin toplam kütleleri  $M_{12}=1,784 M_{\odot}$  değeri sabit alınmıştır. Analiz sonuçlarında elde edilen parametreler Tablo 63'te literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sistemin Şekil 82'de doğrusal model çıkarılmış biçimde ETV diyagramı sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları aşağıda verilmiştir:

$$Min. I (BJD) = 2454965,015451 + 0,4888674xE \quad (4.19)$$

Tablo 63

KIC 9592145 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454965,015331 (20)
$P_1$ (gün)	0,48886728 (1)	0,4888674789 (81)
$K_{LTTE}$ (sn)	–	17,43 (74)
$a_{12}$ ( $R_\odot$ )	6,88 (6)	7,53 (32)
$e_2$	0,28 (2)	0,06 (4)
$\omega_2$ ( $^\circ$ )	260 (3)	-129 (60)
$T_s$ (BJD)	2455041 (7)	2455354 (177)
$P_2$ (yıl)	1,999 (5)	2,04 (4)
$f(m_3)$ ( $M_\odot$ )	$8,2 (2) \times 10^{-7}$	$1,03 (14) \times 10^{-5}$
$M_{12}$ ( $M_\odot$ )	2	1,784
$M_3$ ( $M_j$ )	31,42	33,93 (1,54)
$a_2$ ( $R_\odot$ )	–	422,2 (3,79)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	0,005	0,005



Şekil 82. KIC 9592145 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV diyagramında yaklaşık iki çevrimlik sinüs benzeri bir değişim görülmektedir. Sisteme bağlı yaklaşık 2 yıl dönemli ve  $34 M_j$  kütleli üçüncü bir bileşenin bu değişime neden olduğu düşünülmektedir. Sistemin parabol modeli uygulanarak farklı bir analizi daha yapılmış ancak doğrusal modelin kanıt değeri daha büyük elde edildiğinden doğrusal model kullanılmıştır.



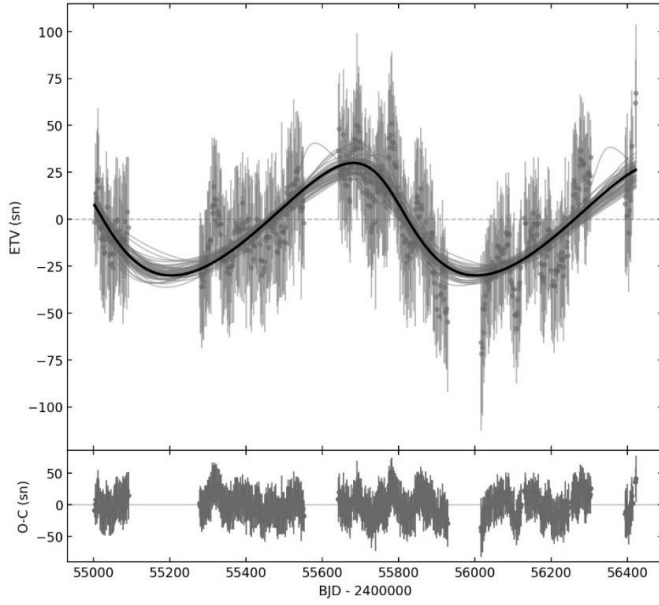
#### 4.2.20. KIC 10848807'nin ETV Analizi

Sistemin *Kepler* ışık eğrilerinden 5330 birinci ve ikinci minimum zamanı elde edilmiş ve Bölüm 3.4.2'de anlatıldığı gibi sistemin 2642 ortalama minimum zamanı hesaplanmıştır. Analizlerin daha hızlı yapılabilmesi için bu ortalama minimum zamanları ETV eğrisinin karakteristiğini yansıtacak şekilde seyreltilerek (525 adet) kullanılmıştır. Analizlerde sistemin, bu çalışmada yapılan ışık eğrisi analizinden elde edilen bileşenlerin toplam kütlesi  $M_{12}=1,31 M_{\odot}$  değeri kullanılmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 64'te literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 83'te sistemin ETV diyagramı, doğrusal model çıkarılmış biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları aşağıdaki gibidir.

$$Min. I (BJD) = 2454999,987599 + 0,3462467xE \quad (4.20)$$

Tablo 64  
KIC 10848807 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454999,987255 (87)
$P_1$ (gün)	0,34624670 (1)	0,346246702 (11)
$K_{LTTE}$ (sn)	–	29,93 (1,91)
$a_{12}$ ( $R_{\odot}$ )	11,3 (2)	13,59 (1,23)
$e_2$	0,36 (3)	0,34 (10)
$\omega_2$ ( $^{\circ}$ )	339 (1)	155 (33)
$T_s$ (BJD)	2455013 (11)	2454985 (59)
$P_2$ (yıl)	2,149 (8)	2,19 (3)
$f(m_3)$ ( $M_{\odot}$ )	$3,1 (2) \times 10^{-5}$	$5,28 (1,51) \times 10^{-5}$
$M_{12}$ ( $M_{\odot}$ )	2	1,31
$M_3$ ( $M_j$ )	52,37	48,14 (4,38)
$a_2$ ( $R_{\odot}$ )	–	400,9 (4,30)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	0,003	0,003



Şekil 83. KIC 10848807 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

KIC 10848807 sisteminin bu çalışmada yapılan ETV analizi sonucunda, ETV diyagramında görülen sinüs benzeri değişime sisteme çekimsel olarak bağlı yaklaşık 2,2 yıl dönemli ve 48,1  $M_j$  kütleli üçüncü bir bileşenin neden olduğu söylenebilir. Sistemin degen tür olması bileşenler arası kütle aktarımı olmasını mümkün kılrsa da minimum zamanlarını kapsayan yaklaşık 4 yıllık süreçte belirgin parabolik bir değişime rastlanmamıştır.

#### 4.2.21. KIC 10916675'in ETV Analizi

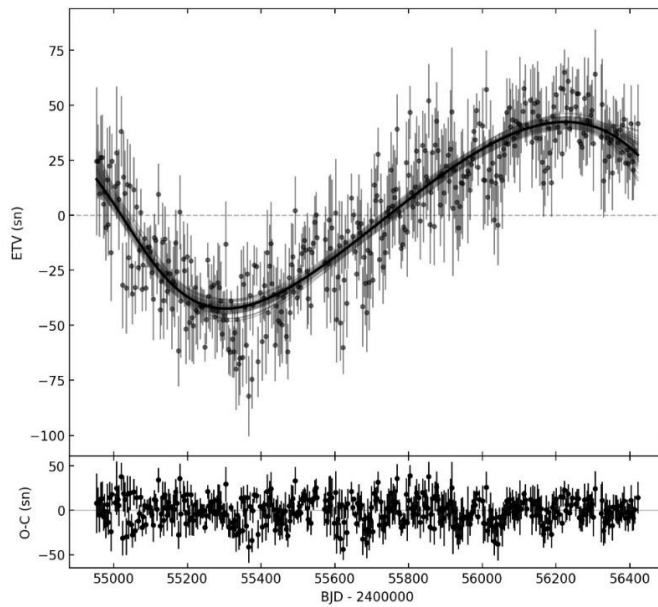
KIC 10916675 sisteminin ETV analizi için Kepler ışık eğrilerinden 6427 birinci ve ikinci minimum zamanı elde edilmiş ve Bölüm 3.4.2'de anlatıldığı gibi sistemin 3178 ortalama minimum zamanı hesaplanmıştır. Analizlerin daha hızlı yapılabilmesi için bu ortalama minimum zamanları ETV eğrisinin karakteristiğini yansıtacak şekilde seyreltilerek (394 adet) kullanılmıştır. Analizlerde, bu çalışmada yapılan ışık eğrisi analizinden elde edilen bileşenlerin toplam kütleleri  $M_{12}=2,336 M_{\odot}$  değeri kullanılmıştır. Analiz sonucu elde edilen parametreler Tablo 65'te literatürde elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 84'te sistemin ETV diyagramı doğrusal model çıkarılmış biçimde sadece sisteme çekimsel olarak bağlı ilave cisim nedeniyle meydana gelen çevrimsel sinüs benzeri eğri ve analiz sonucu elde edilen model ve artıkları gösterilmiştir. Analizde kullanılan ışık elemanları aşağıdaki gibidir.

$$Min. I (BJD) = 2454953,700252 + 0,4188679xE \quad (4.21)$$

Tablo 65

KIC 10916675 sisteminin ETV analizi sonucu elde edilen parametreler

Parametre	Borkovits vd. (2016)	Bu çalışma
$T_0$ (BJD)	–	2454953,70068 (37)
$P_1$ (gün)	0,41886753 (4)	0,41886758 (21)
$K_{LTTE}$ (sn)	–	42,30 (16,75)
$a_{12}$ ( $R_\odot$ )	20 (1)	19,33 (9,02)
$e_2$	0,31 (3)	0,33 (9)
$\omega_2$ ( $^\circ$ )	36 (7)	-167 (32)
$T_s$ (BJD)	2455133 (47)	2455059 (90)
$P_2$ (yıl)	4,45 (21)	4,18 (89)
$f(m_3)$ ( $M_\odot$ )	$4 (1) \times 10^{-5}$	$4,17 (2,14) \times 10^{-5}$
$M_{12}$ ( $M_\odot$ )	2	2,336
$M_3$ ( $M_j$ )	62,84	65,06 (18,75)
$a_2$ ( $R_\odot$ )	–	746,3 (83,5)
$A_{dyn}/A_{LTTE}$	0,001	0,001



Şekil 84. KIC 10916675 sisteminin doğrusal model çıkarılmış ETV diyagramı ve analiz sonucu elde edilen model eğrisi. Alt kısımda model eğrisi çıkarıldığında elde edilen artıklar gösterilmiştir

Sistemin ETV diyagramında yaklaşık bir çevrime sahip sinüs benzeri bir değişim görülmektedir. Yapılan ETV analizinde bu değişimin yaklaşık 4,2 yıl dönemli ve  $65 M_j$  kütleli sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü bir bileşenden kaynaklandığı düşünülmüştür. Değen tür olan sistemin ETV diyagramında KIC 10848807’de olduğu gibi bileşenler arası kütle aktarımı nedeniyle parabolik bir değişim olması beklense de minimum zamanlarının yayıldığı gözlem tarihlerinin aralığı bu değişimi görmek için yeterli değildir.

### 4.3. Gezegenli Çift Yıldız Sistemlerinin Kataloğu

Bu tez çalışmasında, ETV diyagramlarında sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü bir bileşenin varlığı çevrimsel sinüs benzeri bir değişim olarak görülen örten çift yıldız sistemleri, üçüncü bileşenin kütlelerinin  $<80 M_J$  olması koşuluyla incelenmiştir. ETV analizi sonucunda elde edilen ve literatürden toplanan değerler kullanılarak etrafında p-tipi yörüngede ilave cisme sahip olan çift yıldız sistemlerinin kataloğu oluşturulmuştur. Katalogda 58 barınak sistemi ve bu sistemlere ait 66 olası gezegen yer almaktadır. Katalog üç tablodan meydana gelmektedir. Birinci tablo CBp sistemlerde yer alan barınak yıldızların bazı genel özelliklerini (Ek Tablo 1), ikinci tablo barınak yıldızların temel fiziksel ve yörünge parametrelerini (Ek Tablo 2) ve üçüncü tablo ise CBp sistemlerde yer alan olası gezegenlerin temel fiziksel ve yörünge parametrelerini (Ek tablo 3) içermektedir. Tablolardaki değerler bu çalışmada yapılan analiz sonuçlarından ve literatürden alınmıştır. Tablolar sırasıyla aşağıdaki parametrelerle oluşturulmuştur:

Tablo 66

Barınak yıldızların bazı genel özellikleri (Ek Tablo 1) tablosunda yer alan parametrelerin tanımları

Sistem:	Sistemin adı
Tür:	Sistemin türü
Tayf türü:	Sistemdeki bileşenlerin Morgan-Keenan sınıflamasında tayf türleri
$T_0$ :	BJD biriminde referans minimum zamanı
$P$ :	Çift sistemin gün biriminde dönemi
Parlaklık:	Sistemin kadir biriminde $V$ süzgecindeki parlaklığı
Ref.:	Referanslar

Tablo 67

Barınak yıldızların temel fiziksel ve yörünge parametreleri (Ek Tablo 2) tablosunda yer alan parametrelerin tanımları

Sistem:	Sistemin adı
$T_1$ :	Birinci bileşenin Kelvin biriminde sıcaklığı
$T_2$ :	İkinci bileşenin Kelvin biriminde sıcaklığı
$M_1$ :	Birinci bileşenin Güneş kütlesi biriminde kütlesi
$M_2$ :	İkinci bileşenin Güneş kütlesi biriminde kütlesi
$q$ :	Bileşenlerin kütle oranı
$a$ :	Bileşenlerin yarı-büyük eksen uzunluğu (AB)
$e$ :	Sistemin yörünge dış merkezliği
$i$ :	Sistemin açılal yörünge eğikliği
$d$ :	Sistemin parsek biriminde uzaklığı
Ref.:	Referanslar

Tablo 68

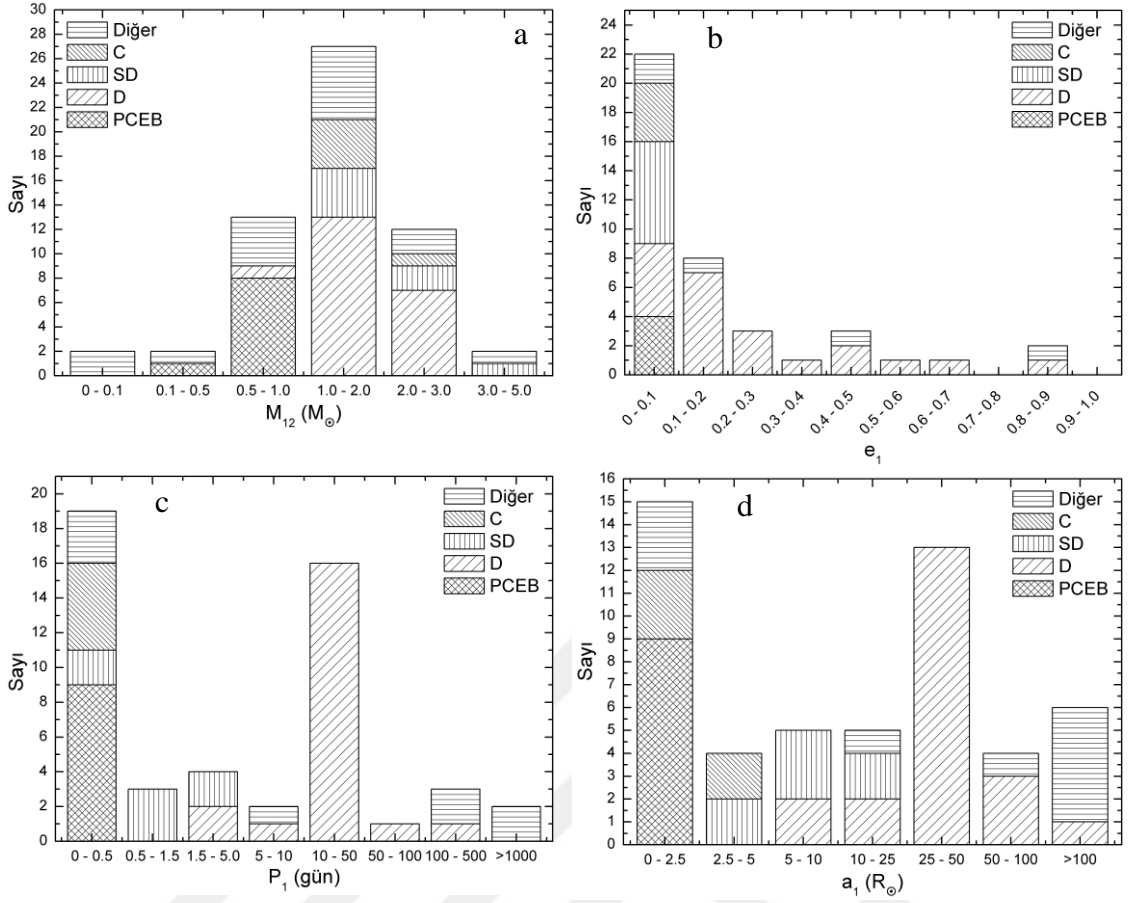
Olası gezegenlerin temel fiziksel ve yörünge parametreleri (Ek Tablo 3) tablosunda yer alan parametrelerin tanımları

Gezegen:	Olası gezegenin adı
$P$ :	Gezegenin yörüngesinin gün biriminde dönemi
$M_3$ :	Gezegenin Jüpiter kütlesi biriminde kütlesi
$a$ :	Gezegenin yörüngesinin yarı-büyük eksen uzaklığı (AB)
$e$ :	Gezegenin yörüngesinin dış merkezliği
$i$ :	Gezegenin yörüngesinin açılal eğikliği
Yöntem:	Gezegenin keşfedilme yöntemi
Ref.:	Referanslar

#### 4.3.1. Katalogdan Elde Edilen İstatistiksel Sonuçlar

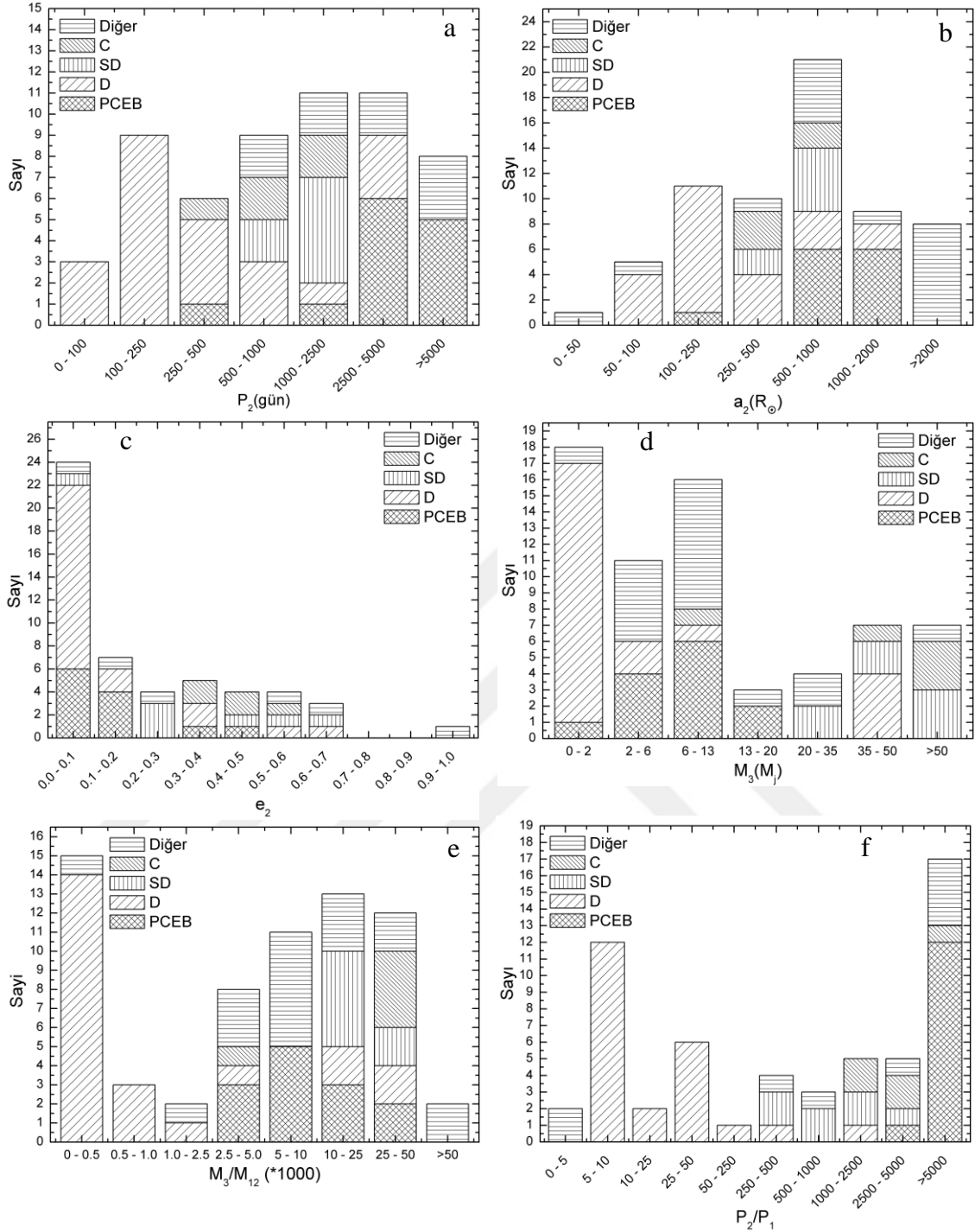
Bu bölümde p-tipi yörüngede gezegene veya gezegenlere sahip olan çift yıldız sistemlerinde yer alan 58 barınak sistemin (Ek Tablo 1 ve 2) ve bu sistemlere ait 66 gezegenin (Ek Tablo 3), yörünge ve fiziksel parametreleriyle elde edilen istatistiksel çıkarımlara yer verilmiştir. Sistemler türlerine göre, ortak zarf sonrası çiftler (PCEB, 9 sistem, 13 gezegen), ayırık tür (D, 21 sistem, 23 gezegen), yarı-ayırık tür (SD, 7 sistem, 7 gezegen), değer tür (C, 5 sistem, 5 gezegen) ve diğer (16 sistem, 18 gezegen) olmak üzere 5 sınıfa ayrılmıştır. Bu tez çalışmasında elde edilen ve literatürden toplanan parametreler kullanılarak bu sınıfların, aşağıdaki grafiklerde bazı parametre aralıklarına göre istatistiksel yayılımları ve sahip oldukları parametre değerlerine göre dağılımları gösterilmiştir.

Şekil 85'te barınak yıldızların toplam kütesinin, yörünge dış merkezliğinin, yörünge döneminin ve yarı-büyük eksen uzunluğunun dağılımları gösterilmiştir. Barınak yıldızların toplam kütleleri bakımında büyük çoğunluğunun (52) 0,5–3,0  $M_{\odot}$  aralığında olduğu görülmektedir. Diğer grubunda yer alan bazı sistemlerin toplam kütesinin neredeyse kahverengi cüce kütlesi düzeyindedir. Bununla birlikte hemen hemen yarısı (30) 0,0–0,2 aralığında yörünge dış merkezliğine sahiptir. Yörünge dönemi ve yarı-büyük eksen uzunluğu, sistemlerin türlerine göre ön görülebilecek düzeyde dağılmıştır. Ancak 21 ayırık tür sistemden 18'inin döneminin 10 günden büyük olduğu görülmektedir.

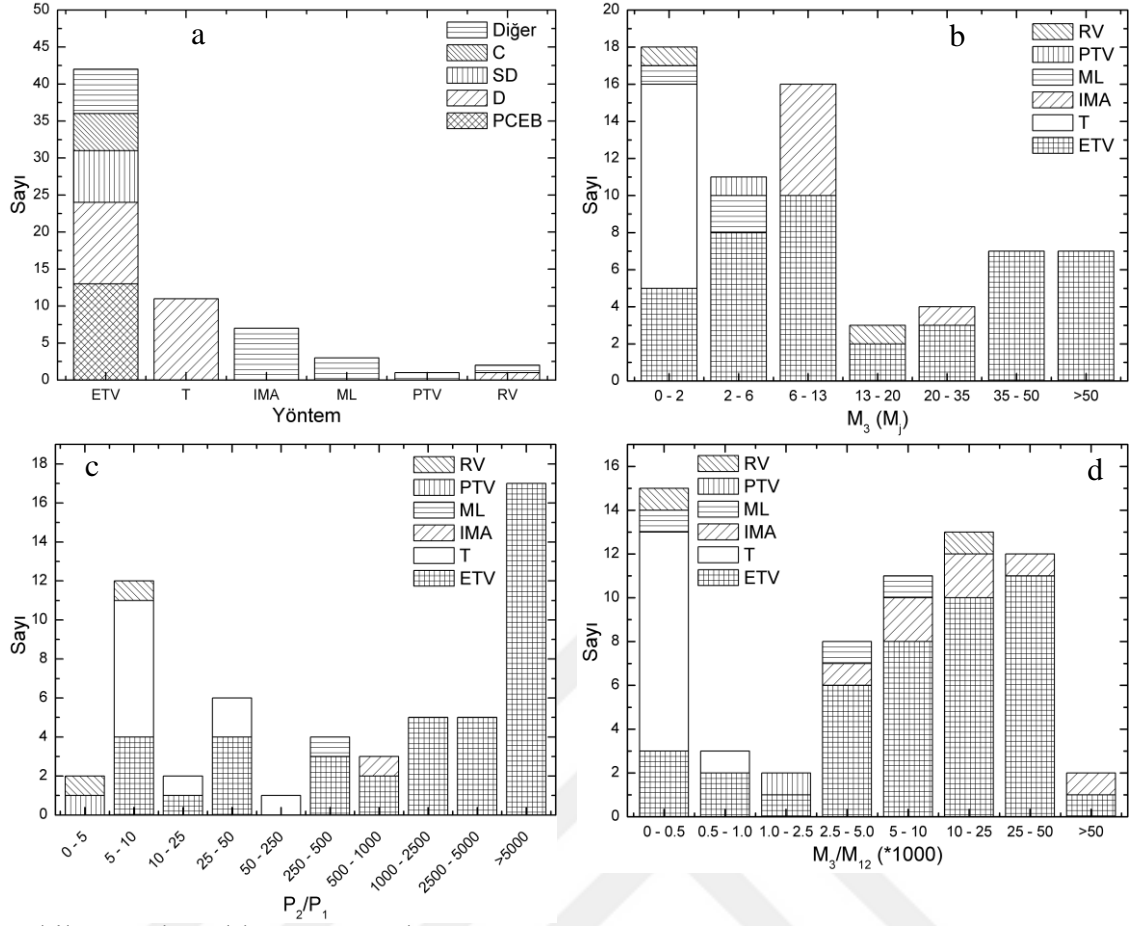


Şekil 85. Ek Tablo 1 ve 2’de sunulan barınak yıldızların, bileşenlerin toplam külesine (a), yörünge dış merkezliğine (b), yörünge dönemine (c) ve yörünge yarı-büyük eksen uzunluğuna (d) göre sayısal yayılımları

Şekil 86’da gezegenlerin  $P_2$ ,  $a_2$ ,  $e_2$ ,  $M_3$ ,  $M_3/M_{12}$  ve  $P_2/P_1$  parametre değerlerinin çeşitli aralıklarda yayılımları verilmiştir. 250 günden kısa yörünge dönemine sahip gezegenlerin hepsinin (12 gezegen, Şekil 86a) ayırık tür sistemlerin etrafında dolandığı görülmektedir. Benzer şekilde tüm sınıflarda  $a_2$  değerleri (59 gezegen, Şekil 86b) çoğunlukla 100  $R_{\odot}$  değerinin üzerinde ve  $e_2$  değerleri (24 gezegen, Şekil 86c) 0,1 değerinin altındadır. Gezegenlerin kütlelerine göre yayılımına bakıldığında (Şekil 86d) 45 gezegenin kütlesi 13  $M_j$  değerinden küçüktür. Sınıflara göre gezegenlerin kütesinin ve yörünge dönemlerinin sırasıyla barınak sistemdeki bileşenlerin toplam külesine (Şekil 86e) ve yörünge dönemine (Şekil 86f) dağılımı görülmektedir.



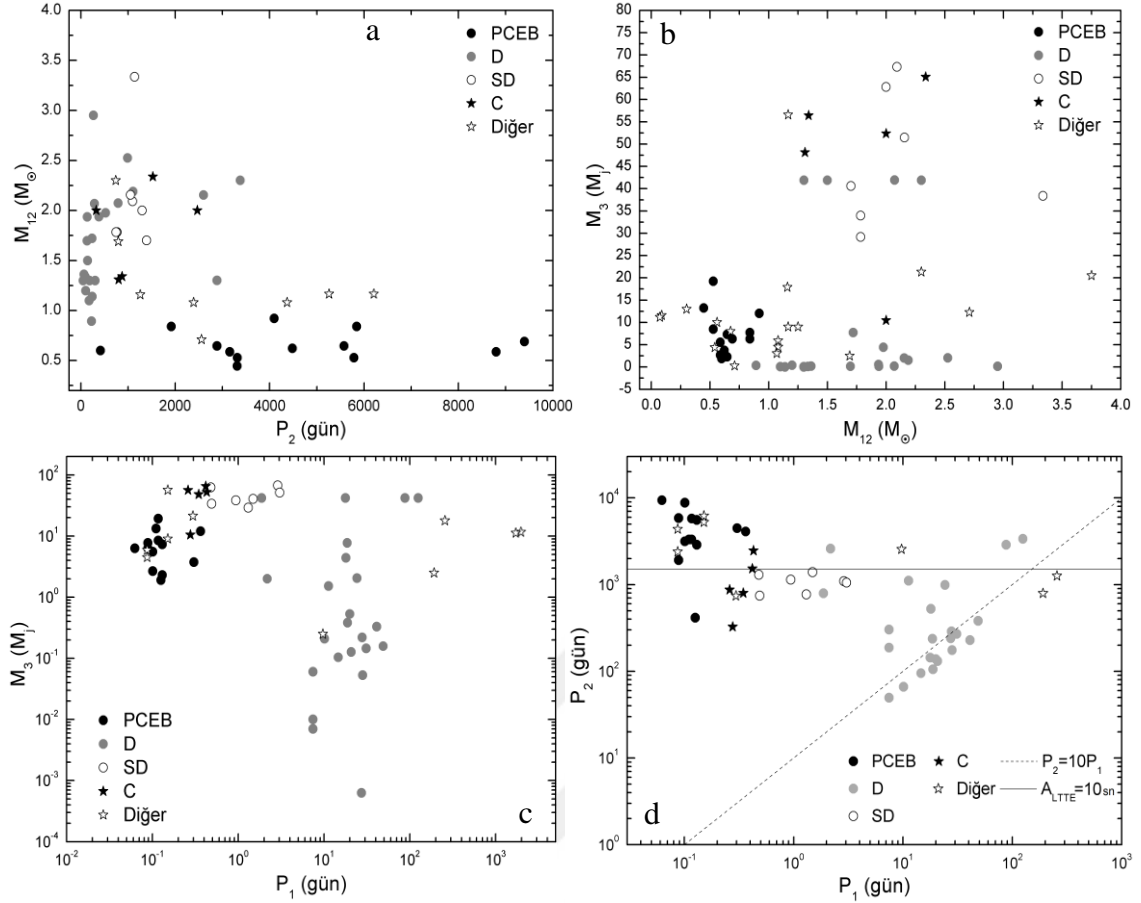
Şekil 86. Ek Tablo 3’te sunulan gezegenlerin, yörünge dönemine (a), yörünge yarı-büyük eksen uzunluğuna (b), yörünge dış merkezliğine (c), kütesine (d), barınak yıldızlarıyla kütle oranına (e) ve barınak yıldızın yörünge dönemi oranına (f) göre sayısal yayılımları



Şekil 87. Ek Tablo 3'te sunulan gezegenlerin bulunma yöntemlerine (a), kütlelerine (b), yörünge döneminin barınak yıldızların yörünge dönemine oranına (c) ve kütlelerinin barınak yıldızlarının toplam kütlelerine oranına (d) göre sayısal yayılımları

Şekil 87'de ETV tutulma zamanındaki değişim, T geçiş ışık değişimi, IMA doğrudan görüntüleme, ML mikromerceleme, PTV atarca zamanlaması değişimi ve RV dikine hız yöntemini temsil etmektedir. Şekil 87a'da görüldüğü üzere bu çalışmada incelenen 66 gezegenden 42'si ETV yöntemiyle keşfedilmiştir. ETV yöntemiyle keşfedilen gezegenlerin kütleleri (Şekil 87b) çeşitli aralıklarda yayılmış bir biçimdedir. Buna ek olarak geçiş (T) yapan gezegenlerin yer kütleleri düzeyinde olduğu ve ETV yöntemiyle keşfedilen 42 gezegenden 23'ünün  $13 M_j$  kütlelerinin altında olduğu görülmektedir. Ancak  $P_2/P_1$  (Şekil 87c) ve  $M_3/M_{12}$  (Şekil 87d) oranlarına bakıldığında, ETV yöntemiyle keşfedilen gezegenlerin oranlarının büyük olduğu buna karşılık geçiş ışık değişimi (T) yöntemiyle keşfedilen gezegenlerin oranlarının küçük olduğu görülmektedir. Bu, gezegenin geçişinin tespit edilebilmesinin kolaylığı bakımından barınak sistemine yakın olması ve oluşum mekanizmaları (bkz. Bölüm 1.3.1) açısından küçük kütleli gezegen oluşumunun beklenmesi gerekliliği nedeniyle beklenen bir durumdur.

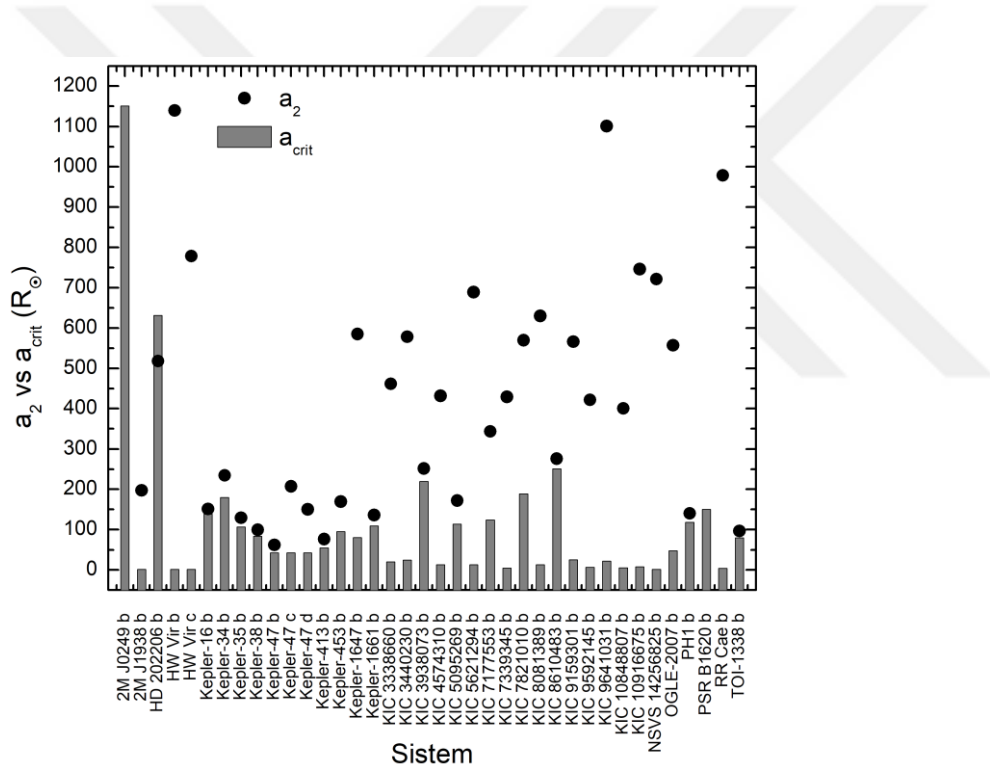




Şekil 88. Ek Tablo 3’te sunulan gezegenlerin, yörünge döneminin, bileşenlerin toplam kütesine (a), bileşenlerin toplam kütesinin gezegenin kütesine (b), barınak sistemin yörünge döneminin gezegenin kütesine (c) barınak sistemin yörünge döneminin gezegenin yörünge dönemine (d) göre dağılımları

Şekil 88’de gezegenlerin  $P_2$ – $M_{12}$  (a),  $M_{12}$ – $M_3$  (b),  $P_1$ – $M_3$  (c) ve  $P_1$ – $P_2$  (d) grafikleri verilmiştir. Şekil 88a’da PCEB sınıfının artan yörünge dönemine rağmen bileşenlerin toplam kütesinde kabaca doğrusal dağılım görülmektedir. Bu durum, PCEB türü sistemlerde, bileşenlerin etrafından farklı uzaklıklara atılmış ortak zarftan oluşabilecek 2. nesil genç gezegenler için kısmen açıklayıcı olabilir (Bkz. Bölüm 4.2.4). Ancak bu tür sistemlerde gezegenlerin göç mekanizmalarının da araştırılması gerekir. Şekil 88b’de, ayrık tür sistemler için artan bileşenlerin toplam kütesine göre üçüncü cismin kütesi kabaca doğrusal olduğu görülmektedir. CBp keşiflerinde geçiş ışık değişimi yöntemiyle keşfedilmiş gezegenlerin sayıca fazlalığının buna neden olduğu düşünülmektedir. Şekil 88d’de barınak sistemlerin ve gezegenlerinin yörünge dönemleri karşılaştırılmıştır. Kesikli çizgi, gezegenin yörünge döneminin, barınak sisteminkinin 10 katı olduğu değerleri belirtmiştir. Buna göre sadece ayrık tür sınıfında bazı sistemler hariç diğer tüm sistemlerdeki gezegenlerin yörünge dönemleri, barınak sistemlerinin yörünge dönemlerinin 10 katından fazladır. Sybilski,

Koncaki ve Kozłowski (2010) çalışmasında farklı koşullar altında *Kepler*'in ETV genliğine ( $A_{LITE}$ ) duyarlılığını 1–10 sn aralığında araştırmıştır. Şekil 88'de düz çizgi, Sybilski ve diğerlerinin elde ettiği 10 sn ETV genliği duyarlılığı baz alınarak Denklem 3.4 kullanılarak  $M_3=13 M_j$ ,  $M_{I2}=2 M_\odot$ ,  $e_2=0$  ve  $i_2=\omega_2=90^\circ$  koşulunda elde edilen  $P_2$  değerlerini temsil etmektedir. Daha gerçekçi olabileceği düşünülerek Sybilski ve diğerleri tarafından elde edilen en büyük ETV genliği duyarlılığıyla (10 sn) dahi gezegenlerin oluşturabileceği ETV genlikleri tespit edilebilecek düzeydedir. Yapılan  $A_{LITE}$  hesabının dinamik etkiyi kapsamadığına ve sadece bir koşula bağlı olduğuna dikkat etmek gerekir. Buna ek olarak Schwarz, Haghighipour, Eggl, Pilat-Lohinger ve Funk (2011) çalışmasında uygun koşullarda, bileşenleri güneş kütleli bir sistemin etrafında dolanan 1  $M_j$  kütleli bir cismin tespit edilebilecek yeteri düzeyde ETV sinyali üretebileceğini belirtmiştir.



Şekil 89. Gezegenlerin yarı-büyük eksen uzunluğuyla kritik yarı-büyük eksen uzunluğu ( $a_{crit}$ ) değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 89'da Ek Tablo 3'te verilen gezegenlerin parametreleri Denklem 2.1'de kullanılarak, gezegenlerin  $a_2$ – $a_{crit}$  karşılaştırması verilmiştir. Siyah noktalar üçüncü cismin yarı-büyük eksen uzunluğunu, sütunlar ise kritik yarı-büyük eksen uzunluğunu temsil etmektedir. Sütunların üzerinde kalan siyah noktaların kararlı yörüngede dolandığı söylenebilir. Hatırlatmak gerekir ki yörünge kararlılığı uzun zaman süreçlerinde çift sistemin ve üçüncü cismin tüm yörünge parametrelerini kullanarak araştırılması gereken bir olgudur.

Burada yaptığımız çalışma yörünge kararlılığında araştırılması gereken ilk nokta olarak düşünülebilir. Grafiğin daha iyi bir görsele sahip olması açısından  $a_{crit}$  değerinin oldukça üzerinde bir  $a_2$  değerine sahip olan diğer sınıftan bir sistem (2 M J0249 b) grafikte gösterilmemiştir. HD 202206 b gezegeni dışında diğer gezegenlerin  $a_2$  değerleri kritik yarı-büyük eksen uzunluklarından büyüktür. Buna göre 1 gezegen hariç tüm gezegenlerin kararlı yörüngede olabileceği söylenebilir.



## BÖLÜM 5

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, çevresinde muhtemel gezegen barındıran örten çift yıldız sistemleri incelenmiştir. Bunun için örten çift yıldız sistemlerinin etrafında p-tipi yörüngede dolanan ve ETV diyagramlarında kendini üçüncü cisim etkisi olarak gösteren 80  $M_j$ 'den küçük kütleyle sahip sistemler ele alınmıştır. Yıldızlara oranla oldukça küçük kütlelere sahip olan gezegenlerin sistemler üzerinde gösterdiği etkiler küçük ölçekte olmaktadır. Dolayısıyla gezegenlerin neden olduğu bu etkilerin görülebilmesi için verilerin elde edilmesinden analiz sonuçlarına kadar tüm çalışma boyunca her adımda duyarlı bir şekilde çalışılmıştır. Bölüm 1.3'te anlatıldığı üzere gezegen olma koşullarından kütlelerin üst sınırı Hatzes ve Rauer (2015) çalışmasında elde edilen 60  $M_j$  değeri baz alınarak ve hesaplarda yapılabilecek herhangi bir olası hata vb. durumlara karşılık bir cismin gözden kaçmaması için gezegen olma kütle üst sınır değeri 80  $M_j$  olarak kullanılmıştır.

Tez çalışmasında, üçüncü bir cismin varlığının etkisi, sistemlerin ETV diyagramlarında ışık-zaman gecikmesi ve dinamik etkiyle kendini gösteren 21 örten çift yıldız sisteminin ETV analizi yapılmıştır. Bu sistemlerden 2 tanesinin (HW Vir ve V1828 Aql) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde gözlenmiş ve diğer sistemlerin Kepler uzay teleskobu tarafından elde edilen ışık eğrisi verileri kullanılarak toplamda 15 örten çift yıldız sisteminin ışık eğrisi analizi yapılmıştır. Işık eğrisi analizi yapılan sistemlerin 2 tanesi ortak zarf sonrası, 4 tanesi ayırık, 6 tanesi yarı-ayırık ve 3 tanesi değen tür örten çift yıldız sistemidir. Işık eğrisi analizi yapılan sistemlerin (bkz. Bölüm 4.1) literatürde varsa dikine hız verileri eş zamanlı olarak analizlere dâhil edilmiştir. Dikine hız verisi olmayan sistemlerin ise kütle oranı ( $q$ ) taramaları yapılarak araştırılan  $q$  değerleri ışık eğrisi analizlerinde serbest parametre olarak kullanılmıştır. Buna ek olarak, sistemlerin ışık eğrisi analizlerinden hesaplanan parametreleriyle bileşenlerin temel fiziksel parametreleri elde edilmiştir. Bu parametreler sistemlere çekimsel olarak bağlı üçüncü cisimlerin kütlelerinin hesaplanmasında büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle ışık eğrisi analizi yapılan sistemlerin parametreleri ve özellikle bileşenlerin kütleleri mümkün olduğunca duyarlı bir biçimde hesaplanmış ve ETV analizlerinde kullanılmıştır.

Işık eğrisi analizi yapılan sistemlerden, literatürde tayfsal çalışması bulunmayan (bkz. Bölüm 4.1) KIC 3338660, KIC 7339345, KIC 8081389, KIC 9592145, KIC 10848807 ve KIC 10916675 sistemlerinin kütle oranı taramaları araştırılarak, KIC 3440230, KIC

4574310, KIC 5621294, KIC 8610483 ve KIC 9159301 sistemlerinin ise dikine hız verileriyle eş zamanlı ışık eğrisi analizleri ilk kez bu çalışma kapsamında yapılmıştır.

ETV analizleri için örten çift yıldız sistemlerinin gözlemlerinden hesaplanmış en doğru tutulma zamanları bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemlerin ETV analizlerinde, varsa literatürde yer alan ve bu tez çalışmasında yapılmış yer tabanlı gözlemlerden elde edilmiş tutulma zamanlarıyla birlikte *Kepler* verilerinden elde edilen tutulma zamanları kullanılmıştır. *Kepler* verilerinden tutulma zamanlarını duyarlı bir şekilde hesaplamak için bu çalışma kapsamında Python programlama diliyle yazılmış, Gauss yöntemini kullanan bir kod kullanılmıştır (bkz. Bölüm 3.4.1). Bu kod yardımıyla *Kepler* verilerinden sistemlerin toplamda 30000'in üzerinde tutulma zamanı hesaplanmış ve uygun olacak şekilde sayısal olarak indirgenerek (bkz. Bölüm 3.4.2) ETV analizlerinde kullanılmıştır. Buna ek olarak Bölüm 3.4.2'de anlatıldığı üzere ETV diyagramlarında gezegenlerin oluşturduğu etkiyi görebilmek için tutulma zamanlarını etkileyen diğer faktörler mümkün olduğunca giderilmiştir.

Dinamik etki, LTTE'nin aksine üçüncü bileşenin ve çift yıldızın etkileşimlerinden kaynaklı olarak üçüncü bileşenin yörüngesinde gerçek bir değişime neden olmaktadır (bkz. Bölüm 1.2.2). Dinamik etki uzun yıllardan beri (Harrington, 1968) çalışılmasına rağmen uzay teleskoplarının duyarlı gözlemleri sayesinde ETV diyagramlarında belirgin bir biçimde kendini göstermektedir. ETV diyagramlarına ek olarak dinamik etkinin TTV diyagramlarında da görülebildiğini hatırlatmamız gerekir (bkz. Holman ve Murray, 2005). Dolayısıyla gelinen noktada örten çift yıldız sistemlerinin etrafındaki üçüncü bileşen incelenirken LTTE ile birlikte dinamik etkinin araştırılması da önemlidir. Bu bağlamda, sistemlerin ETV analizleri, literatürden toplanan ve elde edilen tutulma zamanları kullanılarak yine bu çalışma kapsamında, dinamik ve ışık-zaman etkisini birlikte analiz edebilen Python programlama dilinde yazılmış bir kod yardımıyla yapılmıştır (bkz. Bölüm 3.4.3). Yazılan ETV analiz kodu, ETV analizlerinde dinamik etkiyi araştırabilen ulusal ölçekte ilk ve şu an için tek program olma özelliğindedir. Programın, uzay teleskoplarıyla elde edilen duyarlı veriler kullanılarak yukarıda bahsettiğimiz iki etkiyi sağlıklı bir şekilde analiz etmesi ve geliştirilmeye açık olması nedeniyle bundan sonraki çalışmalarda da kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir.

KIC 7177553, KIC 7821010 ve KIC 8610483 sistemlerinin ETV analizlerinde dinamik etki araştırması yapılmış ve bu etkiyle ilgili parametrelerin sonuçları elde edilmiştir. ETV analizi yapılan diğer 18 sistemde ise sadece ışık-zaman gecikmesi araştırılmıştır. ETV analizlerinde, sistemlerin literatürden toplanan tüm tutulma zamanlarıyla birlikte bu

çalışmada hesaplanan minimum zamanları birlikte kullanılmıştır. Işık eğrisi analizleriyle belirlenen parametrelerle birlikte ETV analizlerinden en duyarlı sonuçlara ulaşmaya çalışılmıştır. Analizi yapılan toplam 21 sistemden 9 tanesinin, üçüncü bileşenin yaklaşık 13  $M_j$  kütesinden küçük bir kütleyle sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, KIC 8610483 sistemi için hesaplanan yaklaşık 50  $M_\oplus$  kütleli üçüncü cisim, bu çalışmada bulunan en küçük kütleli olası gezegendir. ETV diyagramında, yer kütesiyle kıyaslanacak derecede küçük kütleli üçüncü bileşenlerin etkisinin görülebilmesi ve analiz edilebilmesi, yörünge ve temel parametre değerlerinin elde edilmesinde ETV analizinin gezegenli çift sistemler için de önemli bir yöntem olduğunu göstermektedir. Yine de görünmeyen bir bileşenin, barınak çift sisteme etkisinin araştırıldığı, bu nedenle dolaylı bir analiz yöntemi olduğu ve diğer yöntemlerle birlikte destekleyici bir rol üstlendiği unutulmamalıdır.

Bu çalışmada yapılan analizler kullanılarak ve literatürde yer alan, etrafında p-tipi yörüngede 80  $M_j$  kütesinden daha küçük kütleli bileşen dolanan örten çift yıldız sistemlerinin, barınak yıldızlar ve gezegenler olarak temel ve yörünge parametre değerlerinin yer aldığı bir katalog hazırlanmıştır (bkz. Ek Tablo 1, 2 ve 3). Katalogda 80  $M_j$ 'den daha küçük kütleli üçüncü bir bileşene sahip 58 tane çift yıldız sistemi bulunmaktadır. Bu sistemlerle ilgili bilgiler üç tabloda toplanmıştır. Tablolarda barınak yıldızlar ile olası gezegenlerin temel ve yörünge parametre değerleri yer almaktadır. Olası gezegen barındıran çift yıldız sistemlerinin listesini bulunduran bu katalog, gelecekte bu tür sistemler üzerine yapılacak çalışmalar için önemli bir kaynak olacaktır.

Katalogda yer alan çift sistemlerin ve gezegenlerin bilgileri, Bölüm 4.3.1'de ortak zarf sonrası, ayırık, yarı-ayırık, değen ve diğer türler sınıflandırılması yapılarak incelenmiştir. Türler bakımından parametre dağılımlarının, özellikle ortak zarf sonrası ve ayırık türler için kendi içinde doğrudan ilişkili (örn.  $P_2-a_2$  vb.) parametreler dışında da (örn.  $P_1-P_2$ , bkz. Şekil 89d) genel olarak gruplandığı görülmektedir. Bu durum, gezegenlerin, çekimsel olarak bağlı oldukları çift yıldız sistemindeki barınak yıldızların evrimine doğrudan bağlı olduklarını gösterdiği gibi oluşumlarının ve evrimlerinin farklılıklar gösterebileceğine de işaret etmektedir.

İncelenen örten çift yıldız sistemlerindeki (bkz. Ek Tablo 2) bileşenlerin kütle oranlarının ortalaması yaklaşık olarak 0,46'dır. Bu değer, Roche geometrisine göre sınıflandırmada tüm türler için genel olarak makul bir değer olduğu söylenebilir. Sadece buraya bakarak çift yıldızların oluşumunda kütle oranını belirleyen süreçlerin bu sistemlerde gezegen oluşumunu ve evrimini güçlü bir şekilde etkilediğini söyleyebilmek zordur. Ancak diğerinden yaklaşık 2 kat daha fazla kütleyle sahip olan bileşenin doğal olarak küçük kütleli

bileşene kıyasla anakolda kalma süresi daha kısa olacak ve daha hızlı evrimleşecektir. Bu durum beklendiği gibi sistemin evrimini de etkileyecektir. Bununla birlikte çift yıldız bileşenlerinin kütle oranı sistemin dinamiğinde ve gezegenin yörünge kararlılığında etkilidir (bkz. Denklem 2.1,  $q/(1+q)$ ). Dolayısıyla buradan çift sistemin kütle oranı parametresinin gezegen oluşumu ve evrimi üzerinde etkisinin olduğunu söyleyebiliriz.

CBp'ler, tek yıldız etrafında bilinen gezegen oluşum ve evrim teorilerine meydan okumaktadır (bkz. Bölüm 1.3.1). Farklı türden sistemlere çekimsel olarak bağlı, farklı kütle ve yörünge yapıları olan gezegenlerin her biri kendine özgü karmaşık özellikler gösterebilmektedir. Gezegenlerin sistemsel olarak sahip oldukları bu farklılıklar, hem gezegenler hem de barınak sistemler için oldukça duyarlı araştırmalar gerektirmektedir. Böylece ana hedef olarak görünen yaşanabilir gezegenlerin keşfi için sonsuz denebilecek kadar büyük olan evrenimizde nereye, nasıl bakmamız gerektiğini daha iyi anlayıp bu alanda daha sağlam adımlarla ilerleyebileceğiz.

## KAYNAKLAR

- Abe, Y., Ohtani, E., Okuchi, T., Righter, K. ve Drake, M. (2000). Water in the early Earth. *Origin of the earth and moon, edited by R.M. Canup and K. Righter and 69 collaborating authors. Tucson: University of Arizona Press, 413–433.* Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2000orem.book..413A/abstract>
- Agol, E., Steffen, J., Sari, R. ve Clarkson, W. (2005). On detecting terrestrial planets with timing of giant planet transits. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 359(2), 567–579.* doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2005.08922.x>
- Almeida, L. A. ve Jablonski, F. (2010). Two bodies with high eccentricity around the cataclysmic variable QS Vir. *Proceedings of the International Astronomical Union, 6(S276), 495–496.* doi: <https://doi.org/10.1017/S1743921311020941>
- Almeida, L. A., Jablonski, F. ve Rodrigues, C. V. (2013). Two possible circumbinary planets in the eclipsing post-common envelope system NSVS 14256825. *The Astrophysical Journal, 766(1), 11.* doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/766/1/11>
- Almeida, L. A., Jablonski, F., Tello, J. ve Rodrigues, C. V. (2012). A photometric and spectroscopic study of NSVS 14256825: the second sdOB+dM eclipsing binary. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 423(1), 478–485.* doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.20891.x>
- Applegate, J. H. (1992). A mechanism for orbital period modulation in close binaries. *The Astrophysical Journal, 385, 621.* doi: <https://doi.org/10.1086/170967>
- Armitage, P. J. (2007). Lecture notes on the formation and early evolution of planetary systems. *eprint arXiv:astro-ph/0701485.* Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2007astro.ph..1485A/abstract>
- Armitage, P. J. (2009). *Astrophysics of Planet Formation.* Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511802225>
- Armitage, P. J. (2010). *Astrophysics of planet formation.* *Astrophysics of Planet Formation, by Philip J. Armitage, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 294.* Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010apf..book.....A/abstract>



- Armstrong, D. J., Gómez Maqueo Chew, Y., Faedi, F. ve Pollacco, D. (2014). A catalogue of temperatures for Kepler eclipsing binary stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 437(4), 3473–3481. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stt2146>
- Artymowicz, P. ve Lubow, S. H. (1994). Dynamics of binary-disk interaction. 1: Resonances and disk gap sizes. *The Astrophysical Journal*, 421, 651. doi: <https://doi.org/10.1086/173679>
- Artymowicz, P. ve Lubow, S. H. (1996). Mass flow through gaps in circumbinary disks. *The Astrophysical Journal*, 467(2), L77–L80. doi: <https://doi.org/10.1086/310200>
- Baglin, A. (2003). COROT: A minisat for pionnier science, asteroseismology and planets finding. *Advances in Space Research*, 31(2), 345–349. doi: [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(02\)00624-5](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(02)00624-5)
- Bailey, V., Meshkat, T., Reiter, M., Morzinski, K., Males, J., Su, K. Y. L., Hinz, P. M., Kenworthy, M., Stark, D., Mamajek, E., Briguglio, R., Close, L. M., Follette, K. B., Puglisi, A., Rodigas, T., Weinberger, A. J. ve Xompero, M. (2013). HD 106906 b: A planetary-mass companion outside a massive debris disk. *The Astrophysical Journal*, 780(1), L4. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/780/1/L4>
- Balaji, B., Croll, B., Levine, A. M. ve Rappaport, S. (2015). Tracking the stellar longitudes of starspots in short-period Kepler binaries. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 448(1), 429–444. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stv031>
- Baran, A. S., Zola, S., Blokesz, A., Østensen, R. H. ve Silvotti, R. (2015). Detection of a planet in the sdB + M dwarf binary system 2M 1938+4603. *Astronomy & Astrophysics*, 577, A146. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201425392>
- Baran, A. S., Østensen, R. H., Telting, J. H., Vos, J., Kilkeny, D., Vučković, M., Reed, M. D., Silvotti, R., Jeffery, C. S., Parsons, S. G., Dhillon, V. S. ve Marsh, T. R. (2018). Pulsations and eclipse-time analysis of HW Vir. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 481(2), 2721–2735. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty2473>
- Batalha, N. M., Borucki, W. J., Koch, D. G., Bryson, S. T., Haas, M. R., Brown, T. M., Caldwell, D. A., Hall, J. R., Gilliland, R. L., Latham, D. W., Meibom, S. ve Monet, D. G. (2010). Selection, prioritization and characteristics of Kepler target stars. *The Astrophysical Journal*, 713(2), L109–L114. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/713/2/L109>

- Benedict, G. F. ve Harrison, T. E. (2017). HD 202206: A circumbinary brown dwarf system. *The Astronomical Journal*, 153(6), 258. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/aa6d59>
- Bennett, D. P., Rhie, S. H., Udalski, A., Gould, A., Tsapras, Y., Kubas, D., Bond, I. A., Greenhill, J., Cassan, A., Rattenbury, N. J., Boyajian, T. S., Luhn, J., Penny, M. T. veerson, J., Abe, F., Bhattacharya, A., Botzler, C. S., Donachie, M., Freeman, M., Fukui, A. Hirao, Y., Itow, Y., Koshimoto, N., Li, M. C. A., Ling, C. H., Masuda, K., Matsubara, Y., Muraki, Y., Nagakane, M., Ohnishi, K., Oyokawa, H., Perrott, Y. C., Saito, To., Sharan, A., Sullivan, D. J., Sumi, T., Suzuki, D., Tristram, P. J., Yonehara, A., Yock, P. C. M., MOA Collaboration, Szymański, M. K., Soszyński, I., Ulaczyk, K., Wyrzykowski, Ł., OGLE Collaboration, Allen, W., DePoy, D., Gal-Yam, A., Gaudi, B. S., Han, C., Monard, I. A. G., Ofek, E., Pogge, R. W.,  $\mu$ FUN Collaboration, Street, R. A., Bramich, D. M., Dominik, M., Horne, K., Snodgrass, C., Steele, I. A., Robonet Collaboration, Albrow, M. D., Bachelet, E., Batista, V., Beaulieu, J. -P., Brilliant, S., Caldwell, J. A. R., Cole, A., Coutures, C., Dieters, S., Dominis Prester, D., Donatowicz, J., Fouqué, P., Hundertmark, M., Jørgensen, U. G., Kains, N., Kane, S. R., Marquette, J. -B., Menzies, J., Pollard, K. R., Ranc, C., Sahu, K. C., Wambsganss, J., Williams, A., Zub, M. ve PLANET Collaboration (2016). The first circumbinary planet found by microlensing: OGLE-2007-BLG-349L(AB)c. *The Astronomical Journal*, 152(5), 125. doi: <https://doi.org/10.3847/0004-6256/152/5/125>
- Benz, W. ve Asphaug, E. (1999). Catastrophic disruptions revisited. *Icarus*, 142(1), 5–20. doi: <https://doi.org/10.1006/icar.1999.6204>
- Beuermann, K., Breitenstein, P., Debski, B., Diese, J., Dubovsky, P. A., Dreizler, S., Hessman, F. V., Hornoch, K., Husser, T.-O., Pojmanski, G., Wolf, M., Woźniak, P. R., Zasche, P., Denk, B., Langer, M., Wagner, C., Wahrenberg, D., Bollmann, T., Habermann, F. N., Haustovich, N., Lauser, M., Liebing, F. ve Niederstadt, F. (2012 b). The quest for companions to post-common envelope binaries - II. NSVS14256825 and HS0705+6700 *Astronomy & Astrophysics*, 540, A8. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201118105>
- Beuermann, K., Dreizler, S. ve Hessman, F. V. (2013). The quest for companions to post-common envelope binaries - IV. The 2:1 mean-motion resonance of the planets orbiting NN Serpentis. *Astronomy & Astrophysics*, 555, A133. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201220510>

- Beuermann, K., Dreizler, S., Hessman, F. V. ve Deller, J. (2012a). The quest for companions to post-common envelope binaries - III. A reexamination of HW Virginis. *Astronomy & Astrophysics*, 543, A138. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201219391>
- Beuermann, K., Dreizler, S., Hessman, F. V. ve Schwöpe, A. D. (2014). Evidence for an oscillation of the magnetic axis of the white dwarf in the polar DP Leonis. *Astronomy & Astrophysics*, 562, A63. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201323192>
- Beuermann, K., Hessman, F. V., Dreizler, S., Marsh, T. R., Parsons, S. G., Winget, D. E., Miller, G. F., Schreiber, M. R., Kley, W., Dhillon, V. S., Littlefair, S. P., Copperwheat, C. M. ve Hermes, J. J. (2010). Two planets orbiting the recently formed post-common envelope binary NN Serpentis. *Astronomy and Astrophysics*, 521, L60. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201015472>
- Blum, J. ve Wurm, G. (2008). The growth mechanisms of macroscopic bodies in protoplanetary disks. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 46(1), 21–56. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.astro.46.060407.145152>
- Bodenheimer, P., D'Angelo, G., Lissauer, J. J., Fortney, J. J. ve Saumon, D. (2013). Deuterium burning in massive giant planets and low-mass brown dwarfs formed by core-nucleated accretion. *The Astrophysical Journal*, 770(2), 120. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/770/2/120>
- Boley, A. C., Morris, M. A. ve Ford, E. B. (2014). Overcoming the meter barrier and the formation of systems with tightly packed inner planets (STIPs). *The Astrophysical Journal*, 792(2), L27. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/792/2/L27>
- Borkovits, T., Csizmadia, S., Forgács-Dajka, E. ve Hegedüs, T. (2011). Transit timing variations in eccentric hierarchical triple exoplanetary systems. *Astronomy & Astrophysics*, 528, A53. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201015867>
- Borkovits, T., Érdi, B., Forgács-Dajka, E. ve Kovács, T. (2003). On the detectability of long period perturbations in close hierarchical triple stellar systems. *Astronomy & Astrophysics*, 398(3), 1091–1102. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20021688>
- Borkovits, T., Forgács-Dajka, E. ve Regály, Z. (2007). Tidal and rotational effects in the perturbations of hierarchical triple stellar systems. *Astronomy & Astrophysics*, 473(1), 191–206. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20077793>

- Borkovits, T., Hajdu, T., Sztakovics, J., Rappaport, S., Levine, A., Bíró, I. B. ve Klagyivik, P. (2016). A comprehensive study of the Kepler triples via eclipse timing. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 455(4), 4136–4165. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stv2530>
- Borkovits, T., Rappaport, S., Hajdu, T. ve Sztakovics, J. (2015). Eclipse timing variation analyses of eccentric binaries with close tertiaries in the Kepler field. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 448(1), 946–993. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stv015>
- Borucki, W. J., Koch, D. G., Basri, G., Batalha, N., Boss, A., Brown, T. M., Caldwell, D., Christensen-Dalsgaard, J., Cochran, W. D., DeVore, E., Dunham, E. W., Dupree, A. K., Gautier III, T. N., Geary, J. C., Gilliland, R., Gould, A., Howell, S. B., Jenkins, J. M., Kjeldsen, H., Latham, D. W., Lissauer, J. J., Marcy, G. W., Monet, D. G., Sasselov, D., Tarter, J., Charbonneau, D., Doyle, L., Ford, E. B., Fortney, J., Holman, M. J., Seager, S., Steffen, J. H., Welsh, W. F., Allen, C., Bryson, S. T., Buchhave, L., Chandrasekaran, H., Christiansen, J. L., Ciardi, D., Clarke, B. D., Dotson, J. L., Endl, M., Fischer, D., Fressin, F., Haas, M., Horch, E., Howard, A., Isaacson, H., Kolodziejczak, J., Li, J., MacQueen, P., Meibom, S., Prša, A., Quintana, E. V., Rowe, J., Sherry, W., Tenenbaum, P., Torres, G., Twicken, J. D., Van Cleve, J., Walkowicz, L. ve Wu, H. (2011). Characteristics of Kepler planetary candidates based on the first data set. *The Astrophysical Journal*, 728(2), 117. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/728/2/117>
- Bradstreet, D. H. ve Guinan, E. F. (1994). Stellar mergers and acquisitions: the formation and evolution of W Ursae Majoris binaries. *Astronomical Society of the Pacific*, 56, 228. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1994ASPC...56..228B/abstract>
- Broeg, C., Fortier, A., Ehrenreich, D., Alibert, Y., Baumjohann, W., Benz, W., Deleuil, M., Gillon, M., Ivanov, A., Liseau, R., Meyer, M., Oloffson, G., Pagano, I., Piotto, G., Pollacco, D., Queloz, D., Ragazzoni, R., Renotte, E., Steller, M. ve Thomas, N. (2013). CHEOPS: A transit photometry mission for ESA's small mission programme. *EPJ Web of Conferences*, 47, 03005. doi: <https://doi.org/10.1051/epjconf/20134703005>
- Bromley, B. C. ve Kenyon, S. J. (2015). Planet formation around binary stars: tatooine made easy. *The Astrophysical Journal*, 806(1), 98. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/806/1/98>

- Buchner, J., Georgakakis, A., Nandra, K., Hsu, L., Rangel, C., Brightman, M., Merloni, A., Salvato, M., Donley, J. ve Kocevski, D. (2014). X-ray spectral modelling of the AGN obscuring region in the CDFS: Bayesian model selection and catalogue. *Astronomy & Astrophysics*, 564, A125. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201322971>
- Burgasser, A. J., Simcoe, R. A., Bochanski, J. J., Saumon, D., Mamajek, E. E., Cushing, M. C., Marley, M. S., McMurtry, C., Pipher, J. L. ve Forrest, W. J. (2010). Clouds in the coldest brown dwarfs: fire spectroscopy of ROSS 458C. *The Astrophysical Journal*, 725(2), 1405–1420. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/725/2/1405>
- Burrows, A., Marley, M., Hubbard, W. B., Lunine, J. I., Guillot, T., Saumon, D., Freedman, R., Sudarsky, D. ve Sharp, C. (1997). A Nongray Theory of Extrasolar Giant Planets and Brown Dwarfs. *The Astrophysical Journal*, 491(2), 856–875. doi: <https://doi.org/10.1086/305002>
- Caldwell, D. A., Kolodziejczak, J. J., Van Cleve, J. E., Jenkins, J. M., Gazis, P. R., Argabright, V. S., Bachtell, E. E., Dunham, E. W., Geary, J. C., Gilliland, R. L., Chandrasekaran, H., Li, J., Tenenbaum, P., Wu, H., Borucki, W. J., Bryson, S. T., Dotson, J. L., Haas, M. R. ve Koch, D. G. (2010). Instrument performance in Kepler 's first months. *The Astrophysical Journal*, 713(2), L92–L96. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/713/2/L92>
- Çamurdan, C. M., Zengin Çamurdan, D. ve İbanoğlu, C. (2012). Photometric observations and orbital period variations of HS 0705+6700 and NY Vir. *New Astronomy*, 17(3), 325–330. doi: <https://doi.org/10.1016/j.newast.2011.08.004>
- Chabrier, G., Baraffe, I., Allard, F. ve Hauschildt, P. H. (2005). Review on low-mass stars and brown dwarfs. *eprint arXiv:astro-ph/0509798*. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2005astro.ph..9798C/abstract>
- Chamberlin, T. C. (1901). On a Possible Function of Disruptive Approach in the Formation of Meteorites, Comets, and NEBULAE. *The Astrophysical Journal*, 14, 17. doi: <https://doi.org/10.1086/140831>
- Charbonneau, D., Brown, T. M., Latham, D. W. ve Mayor, M. (2000). Detection of Planetary Transits Across a Sun-like Star. *The Astrophysical Journal*, 529(1), L45–L48. doi: <https://doi.org/10.1086/312457>

- Chauvin, G., Lagrange, A. M., Dumas, C., Zuckerman, B., Mouillet, D., Song, I., Beuzit, J. L. ve Lowrance, P. (2004). A giant planet candidate near a young brown dwarf Direct VLT/NACO observations using IR wavefront sensing. *Astronomy & Astrophysics*, 425(2), L29–L32. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:200400056>
- Claret, A. ve Gimenez, A. (1992). Circularization and synchronization times in detached main-sequence eclipsing binaries. In *Evolutionary Processes in Interacting Binary Stars* (pp. 269–272). Springer Netherlands. doi: [https://doi.org/10.1007/978-94-011-2542-0\\_27](https://doi.org/10.1007/978-94-011-2542-0_27)
- Cominsky, L. R. ve Wood, K. S. (1984). Discovery of a 7.1 hour period and eclipses from MXB 1659-29. *The Astrophysical Journal*, 283, 765. doi: <https://doi.org/10.1086/162361>
- Conroy, K. E., Prša, A., Stassun, K. G., Orosz, J. A., Fabrycky, D. C. ve Welsh, W. F. (2014). Kepler eclipsing binary stars. Iv. Precise eclipse times for close binaries and identification of candidate three-body systems. *The Astronomical Journal*, 147(2), 45. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/147/2/45>
- Correia, A. C. M., Udry, S., Mayor, M., Laskar, J., Naef, D., Pepe, F., Queloz, D. ve Santos, N. C. (2005). The CORALIE survey for southern extra-solar planets. *Astronomy & Astrophysics*, 440(2), 751–758. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20042376>
- Currie, T., Daemgen, S., Debes, J., Lafreniere, D., Itoh, Y., Jayawardhana, R., Ratzka, T. ve Correia, S. (2013). Direct imaging and spectroscopy of a candidate companion below/near the deuterium-burning limit in the young binary star system, ROXs 42B. *The Astrophysical Journal*, 780(2), L30. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/780/2/L30>
- Dai, Z. B., Qian, S. B., Lajús, E. F. ve Baume, G. L. (2010). Orbital period analyses for two cataclysmic variables: UZ Fornacis and V348 Puppis inside the period gap. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 409(3), 1195–1202. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2010.17384.x>
- de Bruijne, J. H. J. (2012). Science performance of Gaia, ESA's space-astrometry mission. *Astrophysics and Space Science*, 341(1), 31–41. doi: <https://doi.org/10.1007/s10509-012-1019-4>

- Dormand, J. R. ve Woolfson, M. M. (1989). Book-review - the origin of the Solar System - the capture theory. *Science*, 246, 1332. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1989Sci...246.1332D/abstract>
- Doyle, L. R., Carter, J. A., Fabrycky, D. C., Slawson, R. W., Howell, S. B., Winn, J. N., Orosz, J. A., Pr sa, A., Welsh, W. F., Quinn, S. N., Latham, D., Torres, G., Buchhave, L. A., Marcy, G. W., Fortney, J. J., Shporer, A., Ford, E. B., Lissauer, J. J., Ragozzine, D., Rucker, M., Batalha, N., Jenkins, J. M., Borucki, W. J., Koch, D., Middour, C. K., Hall, J. R., McCauliff, S., Fanelli, M. N., Quintana, E. V., Holman, M. J., Caldwell, D. A., Still, M., Stefanik, R. P., Brown, W. R., Esquerdo, G. A., Tang, S., Furesz, G., Geary, J. C., Berlind, P., Calkins, M. L., Short, D. R., Steffen, J. H., Sasselov, D., Dunham, E. W., Cochran, W. D., Boss, A., Haas, M. R., Buzasi, D. ve Fischer, D. (2011). Kepler-16: A Transiting Circumbinary Planet. *Science*, 333(6049), 1602–1606. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1210923>
- Dupuy, T. J., Liu, M. C., Allers, K. N., Biller, B. A., Kratter, K. M., Mann, A. W., Shkolnik, E. L., Kraus, A. L. ve Best, W. M. J. (2018). The Hawaii Infrared Parallax Program. III. 2MASS J0249–0557 c: A Wide Planetary-mass companion to a Low-mass Binary in the  $\beta$  Pic Moving Group. *The Astronomical Journal*, 156(2), 57. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/aacbc2>
- Dvorak, R. (1984). Numerical experiments on planetary orbits in double stars. *Celestial Mechanics*, 34(1–4), 369–378. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01235815>
- Dvorak, R. (1986). Critical orbits in the elliptic restricted three-body problem. *The Astronomy and Astrophysics*, 167, 379–386. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1986A%26A...167..379D/abstract>
- Eker, Z., Bakiş, V., Bilir, S., Soyduğan, F., Steer, I., Soyduğan, E., Bakiş, H., Aliçavuş, F., Aslan, G. ve Alpsöy, M. (2018). Interrelated main-sequence mass-luminosity, mass-radius, and mass-effective temperature relations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 479(4), 5491–5511. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty1834>
- Feroz, F. ve Hobson, M. P. (2008). Multimodal nested sampling: an efficient and robust alternative to Markov Chain Monte Carlo methods for astronomical data analyses. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 384(2), 449–463. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2007.12353.x>

- Feroz, F., Hobson, M. P. ve Bridges, M. (2009). MultiNest: an efficient and robust Bayesian inference tool for cosmology and particle physics. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 398(4), 1601–1614. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2009.14548.x>
- Forbes, J. C. ve Loeb, A. (2019). On the existence of brown dwarfs more massive than the hydrogen burning limit. *The Astrophysical Journal*, 871(2), 227. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aafac8>
- Fortier, A., Beck, T., Benz, W., Broeg, C., Cessa, V., Ehrenreich, D. ve Thomas, N. (2014). CHEOPS: A space telescope for ultra-high precision photometry of exoplanet transits. In J. M. Oschmann, M. Clampin, G. G. Fazio, & H. A. MacEwen (Eds.), *Space Telescopes and Instrumentation 2014: Optical, Infrared ve Millimeter Wave* (p. 91432J). doi: <https://doi.org/10.1117/12.2056687>
- Gaia Collaboration (2016). The Gaia mission. *The Astronomy and Astrophysics*, 595, A1. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201629272>
- Gaia Collaboration (2020b). Gaia Early Data Release 3. Summary of the contents and survey properties. *The Astronomy and Astrophysics (in prep.)*. eprint [arXiv:2012.01533](https://arxiv.org/abs/2012.01533)  
Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020arXiv201201533G/abstract>
- Gauza, B., Béjar, V. J. S., Pérez-Garrido, A., Osorio, M. R. Z., Lodieu, N., Rebolo, R., Pallé, E. ve Nowak, G. (2015). Discovery of a young planetary mass companion to the nearby M dwarf VHS J125601.92-125723.9. *The Astrophysical Journal*, 804(2), 96. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/804/2/96>
- Getley, A. K., Carter, B., King, R. ve O’Toole, S. (2017). Evidence for a planetary mass third body orbiting the binary star KIC 5095269. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 468(3), 2932–2937. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stx604>
- Gies, D. R., Matson, R. A., Guo, Z., Lester, K. V., Orosz, J. A. ve Peters, G. J. (2015). Kepler eclipsing binaries with stellar companions. *The Astronomical Journal*, 150(6), 178. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/150/6/178>
- Gies, D. R., Williams, S. J., Matson, R. A., Guo, Z., Thomas, S. M., Orosz, J. A. ve Peters, G. J. (2012). A search for hierarchical triples using Kepler eclipse timing. *The Astronomical Journal*, 143(6), 137. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/143/6/137>



- Gimenez, A. (1985). General-relativistic periastron advances in eclipsing binary systems. *The Astrophysical Journal*, 297, 405. doi: <https://doi.org/10.1086/163539>
- Gimenez, A. ve Garcia-Pelayo, J. M. (1983). A new method for the analysis of apsidal motions in eclipsing binaries. *Astrophysics and Space Science*, 92(1), 203–222. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00653602>
- Giommi, P., Angelini, L., Osborne, J., Stella, L., Tagliaferri, G., Beuermann, K. ve Thomas, H. C. (1987). EXO 033319-2554.2. *IAU Circular, No. 4486, 1 (1987)*. Edited by Green, D. W. E. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1987IAUC.4486....1G/abstract>
- Goldreich, P. ve Ward, W. R. (1973). The Formation of Planetesimals. *The Astrophysical Journal*, 183, 1051. doi: <https://doi.org/10.1086/152291>
- Gyergyovits, M., Eggl, S., Pilat-Lohinger, E. ve Theis, C. (2014). Disc-protoplanet interaction. *Astronomy & Astrophysics*, 566, A114. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201321854>
- Haefner, R. (1989). PG 1550+131: a short periodic precataclysmic binary with very deep eclipses. *The Astronomy and Astrophysics*, 213, L15–L18. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1989A%26A...213L..15H/abstract>
- Haghighipour, N. ve Kaltenegger, L. (2013). Calculating the habitable zone of binary star systems. II. P-type binaries. *The Astrophysical Journal*, 777(2), 166. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/777/2/166>
- Hajdu, T., Borkovits, T., Forgács-Dajka, E., Sztakovics, J., Marschalkó, G., Benkő, J. M., Klagyivik, P. ve Sallai, M. J. (2017). A search for tight hierarchical triple systems amongst the eclipsing binaries in the CoRoT fields. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 471(1), 1230–1245. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stx1523>
- Han, C., Udalski, A., Gould, A., Lee, C. U., Shvartzvald, Y., Zang, W. C., Mao, S., Kozłowski, S., Albrow, M. D., Chung, S. J., Hwang, K. H., Jung, Y. K., Kim, D., Kim, H. W., Ryu, Y. H., Shin, I. G., Yee, J. C., Zhu, W., Cha, S. M., Kim, S. L. Kim, D. J., Lee, Y., Park, B. G., Kmtnet Collaboration, Skowron, J., Mróz, P., Pietrukowicz, P., Poleski, R., Szymański, M. K., Soszyński, I., Ulaczyk, K., Pawlak, M., Ogle Collaboration, Beichman, C., Bryden, G., Novati, S. Cc, Gaudi, B. S., Henderson, C. B., Howell, S. B., Jacklin, S., Ukirt Microlensing Team, Penny, M. T., Fouqué, P.,

- Wang, T. S. ve Cfht-K2C9 Microlensing Collaboration (2017). OGLE-2016-BLG-0613LABb: A microlensing planet in a binary system. *The Astronomical Journal*, 154(6), 223. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/aa9179>
- Han, C., Lee, C. U., Udalski, A., Gould, A., Bond, I. A., Albrow, M. D., Chung, S. J., Hwang, K. H., Jung, Y. K., Ryu, Y. H., Shin, I. G., Shvartzvald, Y., Yee, J. C., Zang, W., Cha, S. M., Kim, D. J., Kim, H. W., Kim, S. L., Lee, D. J., Lee, Y., Park, B. G., Pogge, R. W., Jee, M. J., Kim, D., KMTNET COLLABORATION, Mróz, P., Szymański, M. K., Skowron, J., Poleski, R., Soszyński, I., Pietrukowicz, P., Kozłowski, S., Ulaczyk, K., Rybicki, K. A., Iwanek, P., Wrona, M., THE OGLE COLLABORATION, Abe, F., Barry, R., Bennett, D. P., Bhattacharya, A., Donachie, M., Fujii, H., Fukui, A., Itow, Y., Hirao, Y., Kamei, Y., Kondo, I., Koshimoto, N., Li, M. C. A., Matsubara, Y., Muraki, Y., Miyazaki, S., Nagakane, M., Ranc, C., Rattenbury, N. J., Suematsu, H., Sullivan, D. J., Sumi, T., Suzuki, D., Tristram, P. J., Yamakawa, T., Yonehara, A. ve THE MOA Collaboration (2020). OGLE-2018-BLG-1700L: Microlensing planet in binary stellar system. *The Astronomical Journal*, 159(2), 48. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab5db9>
- Han, Z. T., Qian, S. B., Zhu, L. Y., Zhi, Q. J., Dong, A. J., Soonthornthum, B., Poshyachinda, S., Sarotsakulchai, T., Fang, X. H., Wang, Q. S. ve Voloshina, I. (2018). DE CVn: An eclipsing post-common envelope binary with a circumbinary disk and a giant planet. *The Astrophysical Journal*, 868(1), 53. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aae64d>
- Harmanec, P. (1988). Stellar masses and radii based on modern binary data. *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, 39, 329. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1988BAICz..39..329H/abstract>
- Harrington, R. S. (1968). Dynamical evolution of triple stars. *The Astronomical Journal*, 73, 190. doi: <https://doi.org/10.1086/110614>
- Harrington, R. S. (1969). The stellar three-body problem. *Celestial Mechanics*, 1(2), 200–209. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01228839>
- Hatzes, A. P. ve Rauer, H. (2015). A definition for giant planets based on the mass–density relationship. *The Astrophysical Journal*, 810(2), L25. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/810/2/L25>

- Hayashi, C. ve Nakano, T. (1963). Evolution of stars of small masses in the pre-main-sequence stages. *Progress of Theoretical Physics*, 30(4), 460–474. doi: <https://doi.org/10.1143/PTP.30.460>
- Heber, U. (2009). Hot subdwarf stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 47(1), 211–251. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-082708-101836>
- Hełminiak, K. G., Konacki, M., Maehara, H., Kambe, E., Ukita, N., Ratajczak, M., Pigulski, A. ve Kozłowski, S. K. (2019). HIDES spectroscopy of bright detached eclipsing binaries from the Kepler field – III. Spectral analysis, updated parameters and new systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 484(1), 451–475. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/sty3528>
- Henden, A. A., Levine, S., Terrell, D. ve Welch, D. L. (2015). APASS - The latest data release. *American Astronomical Society, AAS Meeting*, 225. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015AAS...22533616H/abstract>
- Henry, G. W., Marcy, G. W., Butler, R. P. ve Vogt, S. S. (2000). A Transiting “51 Peg–like” Planet. *The Astrophysical Journal*, 529(1), L41–L44. doi: <https://doi.org/10.1086/312458>
- Heppenheimer, T. A. (1978). On the formation of planets in binary star systems. *The Astronomy and Astrophysics*, 65(3), 421–426. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1978A%26A....65..421H/abstract>
- Hinse, T. C., Lee, J. W., Goździewski, K., Horner, J. ve Wittenmyer, R. A. (2014). Revisiting the proposed circumbinary multiplanet system NSVS 14256825. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 438(1), 307–317. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stt2183>
- Holman, M. J. ve Murray, N. W. (2005). The use of transit timing to detect terrestrial-mass extrasolar planets. *Science*, 307(5713), 1288–1291. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1107822>
- Holman, M. J. ve Wiegert, P. A. (1999). Long-term stability of planets in binary systems. *The Astronomical Journal*, 117(1), 621–628. doi: <https://doi.org/10.1086/300695>
- Horner, J., Hinse, T. C., Wittenmyer, R. A., Marshall, J. P. ve Tinney, C. G. (2012). A dynamical analysis of the proposed circumbinary HW Virginis planetary system.

- Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427(4), 2812–2823. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.22046.x>
- Horner, J., Wittenmyer, R. A., Hinse, T. C. ve Tinney, C. G. (2012). A detailed investigation of the proposed NN Serpentis planetary system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 425(1), 749–756. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.21620.x>
- Howell, S. B., Sobeck, C., Haas, M., Still, M., Barclay, T., Mullally, F., Troeltzsch, J., Aigrain, S., Bryson, S. T., Caldwell, D., Chaplin, W. J., Cochran, W. D., Huber, D., Marcy, G. W., Miglio, A., Najita, J. R., Smith, M., Twicken, J. D. ve Fortney, J. J. (2014). The K2 Mission: Characterization and Early Results. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 126(938), 398–408. doi: <https://doi.org/10.1086/676406>
- Huang, S. S. (1960). Life-supporting regions in the vicinity of binary systems. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 72, 106. doi: <https://doi.org/10.1086/127489>
- Iaria, R., Gambino, A. F., Di Salvo, T., Burderi, L., Matranga, M., Riggio, A., Sanna, A., Scarano, F. ve D’Ai, A. (2018). A possible solution of the puzzling variation of the orbital period of MXB 1659–298. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 473(3), 3490–3499. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stx2529>
- Irwin, J. B. (1952). The determination of a light-time orbit. *The Astrophysical Journal*, 116, 211. doi: <https://doi.org/10.1086/145604>
- Irwin, J. B. (1959). Standard light-time curves. *The Astronomical Journal*, 64, 149. doi: <https://doi.org/10.1086/107913>
- Jain, C., Paul, B., Sharma, R., Jaleel, A. ve Dutta, A. (2017). Indication of a massive circumbinary planet orbiting the low-mass X-ray binary MXB 1658–298. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 468(1), L118–L122. doi: <https://doi.org/10.1093/mnrasl/slx039>
- Janson, M., Asensio-Torres, R. veré, D., Bonnefoy, M., Delorme, P., Reffert, S., Desidera, S., Langlois, M., Chauvin, G., Gratton, R., Bohn, A. J., Eriksson, S. C., Marleau, G.-D., Mamajek, E. E., Vigan, A. ve Carson, J. C. (2019). The B-star exoplanet abundance study: a co-moving 16–25 M Jup companion to the young binary system HIP 79098.

- Astronomy & Astrophysics*, 626, A99. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935687>
- Jeans, J. H. (1917). The part played by rotation in cosmic evolution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 77(3), 186–199. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/77.3.186>
- Jeffreys, H. (1929). The early history of the solar system on the collision theory. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 89(9), 731–739. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/89.9.731>
- Jeffreys, H. (1929). Collision and the origin of rotation in the solar system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 89(7), 636–641. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/89.7.636>
- Kaiser, N. ve Team, P. S. (2002). The Pan-STARRS optical survey telescope project. 201st AAS Meeting, *American Astronomical Society*, 34, 1304
- Kasting, J. F., Whitmire, D. P. ve Reynolds, R. T. (1993). Habitable zones around main sequence stars. *Icarus*, 101(1), 108–128. doi: <https://doi.org/10.1006/icar.1993.1010>
- Kepler Mission Team (2009). VizieR online data catalog: Kepler Input Catalog (Kepler Mission Team, 2009). *VizieR On-line Data Catalog: V/133*. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2009yCat.5133...0K/abstract>
- Khangale, Z. N., Potter, S. B., Kotze, E. J., Woudt, P. A. ve Breytenbach, H. (2019). High-speed photometry of the eclipsing polar UZ Fornacis. *Astronomy & Astrophysics*, 621, A31. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201834039>
- Kilkenny, D. (2011). The orbital periods of AA Dor and NY Vir. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412(1), 487–491. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2010.17919.x>
- Kilkenny, D. ve Koen, C. (2012). Detection of an increasing orbital period in the subdwarf B eclipsing system NSVS 14256825. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421(4), 3238–3241. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.20547.x>
- Kilkenny, D., O'Donoghue, D., Koen, C., Lynas-Gray, A. E. ve van Wyk, F. (1998). The EC 14026 stars - VIII. PG 1336 - 018: a pulsating sdB star in an HW Vir-type eclipsing binary. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 296(2), 329–338. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.1998.01432.x>

- Kirk, B., Conroy, K., Prša, A., Abdul-Masih, M., Kochoska, A., Matijevič, G., Hambleton, K., Barclay, T., Bloemen, S., Boyajian, T., Doyle, L. R., Fulton, B. J., Hoekstra, A. J., Jek, K., Kane, S. R., Kostov, V., Latham, D., Mazeh, T., Orosz, J. A., Pepper, J., Quarles, B., Ragozzine, D., Shporer, A., Southworth, J., Stassun, K., Thompson, S. E., Welsh, W. F., Agol, E., Derekas, A., Devor, J., Fischer, D., Green, G., Gropp, J., Jacobs, T., Johnston, C., LaCourse, D. M., Saetre, K., Schwengeler, H., Toczyski, J., Werner, G., Garrett, M., Gore, J., Martinez, A. O., Spitzer, I., Stevick, J., Thomadis, P. C., Vrijmoet, E. H., Yenawine, M., Batalha, N. ve Borucki, W. (2016). Kepler eclipsing binary stars. VII. The catalog of eclipsing binaries found in the entire Kepler data set. *The Astronomical Journal*, 151(3), 68. doi: <https://doi.org/10.3847/0004-6256/151/3/68>
- Kjurkchieva, D., Vasileva, D. ve Dimitrov, D. (2016). Light curve solutions of 12 eccentric Kepler binaries and analysis of their out-of-eclipse variability. *The Astronomical Journal*, 152(6), 189. doi: <https://doi.org/10.3847/0004-6256/152/6/189>
- Kley, W. ve Nelson, R. P. (2008). Planet formation in binary stars: the case of  $\gamma$  Cephei. *Astronomy & Astrophysics*, 486(2), 617–628. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20079324>
- 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., Geary, J. C., Gilliland, R. L., Gould, A., Jenkins, J., Kondo, Y., Latham, D. W., Lissauer, J. J., Marcy, G., Monet, D. S., 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. ve Wu, H. (2010). Kepler mission design, realized photometric performance ve early science. *The Astrophysical Journal*, 713(2), L79–L86. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/713/2/L79>
- Kopparapu, R. K. (2013). A revised estimate of the occurrence rate of terrestrial planets in the habitable zones around Kepler M-dwarfs. *The Astrophysical Journal*, 767(1), L8. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/767/1/L8>
- Kopparapu, R. K., Ramirez, R., Kasting, J. F., Eymet, V., Robinson, T. D., Mahadevan, S., Terrien, R. C., Domagal-Goldman, S., Meadows, V. ve Deshpande, R. (2013).

- Habitable zones around main-sequence stars: new estimates. *The Astrophysical Journal*, 765(2), 131. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/765/2/131>
- Kostov, V. B., McCullough, P. R., Carter, J. A., Deleuil, M., Díaz, R. F., Fabrycky, D. C., Hébrard, G., Hinse, T. C., Mazeh, T., Orosz, J. A., Tsvetanov, Z. I. ve Welsh, W. F. (2014). Kepler-413B: A slightly misaligned, Neptune-size transiting circumbinary planet. *The Astrophysical Journal*, 784(1), 14. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/784/1/14>
- Kostov, V. B., Orosz, J. A., Feinstein, A. D., Welsh, W. F., Cukier, W., Haghighipour, N., Quarles, B., Martin, D. V., Montet, B. T., Torres, G., Triaud, A. H. M. J., Barclay, T., Boyd, P., Briceno, C., Cameron, A. C., Correia, A. C. M., Gilbert, E. A., Gill, S., Gillon, M., Haqq-Misra, J., Hellier, C., Dressing, C., Fabrycky, D. C., Furesz, G., Jenkins, J. M., Kane, S. R., Kopparapu, R., Hodžić, V. K., Latham, D. W., Law, N., Levine, A. M., Li, G., Lintott, C., Lissauer, J. J., Mann, A. W., Mazeh, T., Mardling, R., Maxted, P. F. L., Eisner, N., Pepe, F., Pepper, J., Pollacco, D., Quinn, S. N., Quintana, E. V., Rowe, J. F., Ricker, G., Rose, M. E., Seager, S., Santerne, A., Ségransan, D., Short, D. R., Smith, J. C., Standing, M. R., Tokovinin, A., Trifonov, T., Turner, O., Twicken, J. D., Udry, S., Vanderspek, R., Winn, J. N., Wolf, E. T., Ziegler, C., Ansgore, P., Barnet, F., Bergeron, J., Hutten, M., Pappa, G. ve van der Straeten, T. (2020). TOI-1338: TESS' first transiting circumbinary planet. *The Astronomical Journal*, 159(6), 253. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab8a48>
- Kostov, V. B., Orosz, J. A., Welsh, W. F., Doyle, L. R., Fabrycky, D. C., Haghighipour, N., Quarles, B., Short, D. R., Cochran, W. D., Endl, M., Ford, E. B., Gregorio, J., Hinse, T. C., Isaacson, H., Jenkins, J. M., Jensen, E. L. N., Kane, S., Kull, I., Latham, D. W., Lissauer, J. J. Marcy, G. W., Mazeh, T., Müller, T. W. A., Pepper, J., Quinn, S. N., Ragozzine, D., Shporer, A., Steffen, J. H., Torres, G., Windmiller, G. ve Borucki, W. J. (2016b). Kepler-1647B: The largest and longest-period Kepler transiting circumbinary planet. *The Astrophysical Journal*, 827(1), 86. doi: <https://doi.org/10.3847/0004-637X/827/1/86>
- Kouzuma, S. (2018). Mass-transfer properties of overcontact systems in the Kepler eclipsing binary catalog. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 70(5). doi: <https://doi.org/10.1093/pasj/psy086>

- Kozyreva, V. S., Bogomazov, A. I., Demkov, B. P., Zotov, L. V. ve Tutukov, A. V. (2015). An Exo-Jupiter candidate in the eclipsing binary FL Lyr. *Astronomy Reports*, 59(11–12), 1036–1052. doi: <https://doi.org/10.1134/S1063772915110050>
- Kraus, A. L., Ireland, M. J., Cieza, L. A., Hinkley, S., Dupuy, T. J., Bowler, B. P. ve Liu, M. C. (2013). Three wide planetary-mass companions to FW Tau, ROXs 12, and ROXs 42B. *The Astrophysical Journal*, 781(1), 20. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/781/1/20>
- Krzeminski, W. (1984). Lft 349. *IAU Circular, No. 4014, 4 (1984). Edited by Marsden, B. G.* Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1984IAUC.4014....4K/abstract>
- Kuzuhara, M., Tamura, M., Ishii, M., Kudo, T., Nishiyama, S. ve Kandori, R. (2011). The widest-separation substellar companion candidate to a binary T Tauri star. *The Astronomical Journal*, 141(4), 119. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/141/4/119>
- Kwee, K. K. ve 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, 327. Erişim adresi: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1956BAN....12..327K>
- Kyoto Üniversitesi (t.y.). ExoKyoto, Extrasolar planet's catalogue. Erişim adresi: <http://www.exoplanetkyoto.org/?lang=en>
- Latković, O., Cséki, A., Djurašević, G., Essam, A., Hamed, A. S. ve Youssef, S. M. (2018). Long-term Spot Stability in the Post-common-envelope Binary QS Vir. *The Astronomical Journal*, 157(1), 3. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/aaeff1>
- Lee, J. W., Hinse, T. C., Youn, J. H. ve Han, W. (2014). The pulsating sdB+M eclipsing system NY Virginis and its circumbinary planets. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 445(3), 2331–2339. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stu1937>
- Lee, J. W., Hong, K. ve Hinse, T. C. (2015). The Kepler eclipsing system KIC 5621294 and its substellar companion. *The Astronomical Journal*, 149(3), 93. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/149/3/93>
- Lee, J. W., Kim, S. L., Kim, C. H., Koch, R. H., Lee, C. U., Kim, H. I. ve Park, J. H. (2009). The sdB+M eclipsing system HW Virginis and its circumbinary planets. *The Astronomical Journal*, 137(2), 3181–3190. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/137/2/3181>



- Lehmann, H., Borkovits, T., Rappaport, S. A., Ngo, H., Mawet, D., Csizmadia, S. ve Forgács-Dajka, E. (2016). KIC 7177553: A quadruple system of two close binaries. *The Astrophysical Journal*, 819(1), 33. doi: <https://doi.org/10.3847/0004-637X/819/1/33>
- Lohr, M. E., Norton, A. J., Veerson, D. R., Collier Cameron, A., Faedi, F., Haswell, C. A., Hellier, C., Hodgkin, S. T., Horne, K., Kolb, U. C., Maxted, P. F. L., Pollacco, D., Skillen, I., Smalley, B., West, R. G. ve Wheatley, P. J. (2014). Period and amplitude variations in post-common-envelope eclipsing binaries observed with SuperWASP. *Astronomy & Astrophysics*, 566, A128. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201424027>
- Lucy, L. B. (1967). Gravity-darkening for stars with convective envelopes. *Zeitschrift Für Astrophysik*, 65, 89–92. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1967ZA.....65...89L/abstract>
- Lyttleton, R. A. (1961). An accretion hypothesis for the origin of the solar system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 122(5), 399–407. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/122.5.399>
- Maceroni, C., Bianchini, A., Rodono, M., van't Veer, F. ve Vio, R. (1990). Magnetic cycles in solar-type single and close binary stars. *Astronomy and Astrophysics*, 237, 395. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1990A%26A...237..395M/abstract>
- Mardling, R. A. ve Aarseth, S. J. (2001). Tidal interactions in star cluster simulations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 321(3), 398–420. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2001.03974.x>
- Marsh, T. R., Parsons, S. G., Bours, M. C. P., Littlefair, S. P., Copperwheat, C. M., Dhillon, V. S., Breedt, E., Cáceres, C. ve Schreiber, M. R. (2014). The planets around NN Serpentis: still there?. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 437(1), 475–488. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stt1903>
- Martin, R. G., Armitage, P. J. ve Alexander, R. D. (2013). Formation of circumbinary planets in a dead zone. *The Astrophysical Journal*, 773(1), 74. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/773/1/74>

- Marzari, F., Thébault, P. ve Scholl, H. (2009). Planet formation in highly inclined binaries. *Astronomy & Astrophysics*, 507(1), 505–511. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/200912379>
- Masset, F. S., D'Angelo, G. ve Kley, W. (2006). On the migration of protoplanetary solid cores. *The Astrophysical Journal*, 652(1), 730–745. doi: <https://doi.org/10.1086/507515>
- Masuda, K. (2017). Eccentric companions to Kepler-448b and Kepler-693b: Clues to the formation of Warm Jupiters. *The Astronomical Journal*, 154(2), 64. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/aa7aeb>
- Martínez, P. F. L., O'Donoghue, D., Morales-Rueda, L., Napiwotzki, R. ve Smalley, B. (2007). The mass and radius of the M-dwarf in the short-period eclipsing binary RR Caeli. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 376(2), 919–928. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2007.11564.x>
- Mayer, P. (1990). Eclipsing binaries with light-time effect. *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, 41, 231. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1990BAICz..41..231M/abstract>
- Mayor, M. ve Queloz, D. (1995). A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature*, 378(6555), 355–359. doi: <https://doi.org/10.1038/378355a0>
- McCrea, W. (1988). Formation of the solar system: brief review and revised protoplanet theory. *The physics of the planets: Their origin, evolution and structure*, Chichester, England and New York, 421–439. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1988phpl.book..421M/abstract>
- McCrea, W. H. (1960). The origin of the Solar System. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 256, 245–266. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.1960.0108>
- Menzies, J. W. ve Marang, F. (1986). A new B-subdwarf eclipsing binary with an extremely short period. *Symposium - International Astronomical Union*, 118, 305–306. doi: <https://doi.org/10.1017/S0074180900151629>
- Morbidelli, A., Chambers, J., Lunine, J. I., Petit, J. M., Robert, F., Valsecchi, G. B. ve Cyr, K. E. (2000). Source regions and timescales for the delivery of water to the Earth. *Meteoritics & Planetary Science*, 35(6), 1309–1320. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2000.tb01518.x>

- Moriwaki, K. ve Nakagawa, Y. (2004). A planetesimal accretion zone in a circumbinary disk. *The Astrophysical Journal*, 609(2), 1065–1070. doi: <https://doi.org/10.1086/421342>
- Moulton, F. R. (1905). On the evolution of the Solar System. *The Astrophysical Journal*, 22, 165. doi: <https://doi.org/10.1086/141260>
- Müller, T. W. A. ve Kley, W. (2012). Circumstellar disks in binary star systems. *Astronomy & Astrophysics*, 539, A18. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201118202>
- Musielak, Z. E., Cuntz, M., Marshall, E. A. ve Stuit, T. D. (2005). Stability of planetary orbits in binary systems. *Astronomy & Astrophysics*, 434(1), 355–364. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20040238>
- Nelson, R. P. (2003). On the evolution of giant protoplanets forming in circumbinary discs. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 345(1), 233–242. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2003.06929.x>
- Nesvorný, D., Kipping, D. M., Buchhave, L. A., Bakos, G. A., Hartman, J. ve Schmitt, A. R. (2012). The detection and characterization of a nontransiting planet by transit timing variations. *Science*, 336(6085), 1133–1136. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1221141>
- Newville, M., Stensitzki, T., Allen, D. B. ve Ingargiola, A. (2014). Non-linear least-squares minimization and curve-fitting for python. doi: <https://doi.org/10.5281/ZENODO.11813>
- Orosz, J. A., Welsh, W. F., Carter, J. A., Brugamyer, E., Buchhave, L. A., Cochran, W. D., Endl, M., Ford, E. B., MacQueen, P., Short, D. R., Torres, G., Windmiller, G., Agol, E., Barclay, T., Caldwell, D. A., Clarke, B. D., Doyle, L. R., Fabrycky, D. C., Geary, J. C., Haghighipour, N. H., Matthew J., Ibrahim, K. A., Jenkins, J. M., Kinemuchi, K.; Li, J., Lissauer, J. J., Prša, A., Ragozzine, D., Shporer, A., Still, M. ve Wade, R. A. (2012b). The Neptune-Sized circumbinary planet Kepler-38b. *The Astrophysical Journal*, 758(2), 87. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/758/2/87>
- Orosz, J. A., Welsh, W. F., Carter, J. A., Fabrycky, D. C., Cochran, W. D., Endl, M., Ford, E. B., Haghighipour, N., MacQueen, P. J., Mazeh, T., Sanchis-Ojeda, R., Short, D. R., Torres, G., Agol, E., Buchhave, L. A., Doyle, L. R., Isaacson, H., Lissauer, J. J., Marcy, G. W., Shporer, A., Windmiller, G., Barclay, T., Boss, A. P., Clarke, B. D., Fortney,

- J., Geary, J. C., Holman, M. J., Huber, D., Jenkins, J. M., Kinemuchi, K., Kruse, E., Ragozzine, D., Sasselov, D., Still, M., Tenenbaum, P., Uddin, K., Winn, J. N., Koch, D. G. ve Borucki, W. J. (2012a). Kepler-47: A transiting circumbinary multiplanet system. *Science*, 337(6101), 1511–1514. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1228380>
- Orosz, J. A., Welsh, W. F., Haghighipour, N., Quarles, B., Short, D. R., Mills, S. M., Satyal, S., Torres, G., Agol, E., Fabrycky, D. C., Jontof-Hutter, D., Windmiller, G., Müller, T. W. A., Hinse, T. C., Cochran, W. D., Endl, M., Ford, E. B., Mazeh, T. ve Lissauer, J. J. (2019). Discovery of a third transiting planet in the Kepler-47 circumbinary system. *The Astronomical Journal*, 157(5), 174. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab0ca0>
- Paardekooper, S. J., Leinhardt, Z. M., Thébault, P. ve Baruteau, C. (2012). How not to build tatooine: The difficulty of in situ formation of circumbinary planets Kepler 16b, Kepler 34b, and Kepler 35b. *The Astrophysical Journal*, 754(1), L16. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/754/1/L16>
- Pandel, D., Cordova, F. A., Shirey, R. E., Ramsay, G., Cropper, M., Mason, K. O., Much, R. ve Kilkeny, D. (2002). First XMM-Newton observations of strongly magnetic cataclysmic variables - II. Timing studies of DP Leo and WW Hor. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 332(1), 116–126. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.2002.05279.x>
- Parsons, S. G., Marsh, T. R., Bours, M. C. P., Littlefair, S. P., Copperwheat, C. M., Dhillon, V. S., Breedt, E., Caceres, C. ve Schreiber, M. R. (2014). Timing variations in the secondary eclipse of NN Ser. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 438(1), L91–L95. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/slt169>
- Parsons, S. G., Marsh, T. R., Copperwheat, C. M., Dhillon, V. S., Littlefair, S. P., Gänsicke, B. T. ve Hickman, R. (2010a). Precise mass and radius values for the white dwarf and low mass M dwarf in the pre-cataclysmic binary NN Serpentis. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 402(4), 2591–2608. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2009.16072.x>
- Parsons, S. G., Marsh, T. R., Copperwheat, C. M., Dhillon, V. S., Littlefair, S. P., Hickman, R. D. G., Maxted, P. F. L., Gänsicke, B. T., Unda-Sanzana, E., Colque, J. P., Barraza, N., Sánchez, N. ve Monard, L. A. G. (2010b). Orbital period variations in eclipsing

- post-common-envelope binaries. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 407(4), 2362–2382. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2010.17063.x>
- Pierens, A. ve Nelson, R. P. (2008). Constraints on resonant-trapping for two planets embedded in a protoplanetary disc. *Astronomy & Astrophysics*, 482(1), 333–340. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20079062>
- Pilat-Lohinger, E., Funk, B. ve Dvorak, R. (2003). Stability limits in double stars: A study of inclined planetary orbits. *Astronomy & Astrophysics*, 400(3), 1085–1094. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20021811>
- Ponti, G., Bianchi, S., Muñoz-Darias, T. ve Nandra, K. (2018). Measuring masses in low mass X-ray binaries via X-ray spectroscopy: the case of MXB 1659-298. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 481(1), L94–L99. doi: <https://doi.org/10.1093/mnrasl/sly120>
- Potter, S. B., Romero-Colmenero, E., Ramsay, G., Crawford, S., Gulbis, A., Barway, S., Zietsman, E., Kotze, M., Buckley, D. A. H., O’Donoghue, D., Siegmund, O. H. W., McPhate, J., Welsh, B. Y. ve Vallergera, J. (2011). Possible detection of two giant extrasolar planets orbiting the eclipsing polar UZ Fornacis. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 416(3), 2202–2211. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.19198.x>
- Prentice, A. J. R. (1978). Towards a modern Laplacian theory for the formation of the solar system. Chichester, Sussex, England and New York, Wiley-Interscience. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1978orss.book..111P/abstract>
- Prentice, A. J. R. (1978). Origin of the solar system - I: Gravitational contraction of the turbulent protosun and the shedding of a concentric system of gaseous laplacian rings. *The Moon and the Planets*, 19(3), 341–398. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00898829>
- Prša, A., Batalha, N., Slawson, R. W., Doyle, L. R., Welsh, W. F., Orosz, J. A., Seager, S., Rucker, M., Mjaseth, K., Engle, S. G., Conroy, K., Jenkins, J., Caldwell, D., Koch, D. ve Borucki, W. (2011). Kepler eclipsing binary stars. I. catalog and principal characterization of 1879 eclipsing binaries in the first data release. *The Astronomical Journal*, 141(3), 83. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/141/3/83>

- Qian, S. B. (2000). AV Hydrae: a near-contact semi-detached binary with possible mass and angular momentum loss. *The Astrophysics and Space Science*, 274, 711–718. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2000Ap%26SS.274..711Q/abstract>
- Qian, S. B., Liao, W. P., Zhu, L. Y. ve Dai, Z. B. (2010). Detection of a giant extrasolar planet orbiting the eclipsing polar DP Leo. *The Astrophysical Journal*, 708(1), L66–L68. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/708/1/L66>
- Qian, S. B., Liu, L., Liao, W. P., Li, L. J., Zhu, L. Y., Dai, Z. B., He, J. J., Zhao, E. G., Zhang, J. ve Li, K. (2011). Detection of a planetary system orbiting the eclipsing polar HU Aqr. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 414(1), L16–L20. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-3933.2011.01045.x>
- Qian, S. B., Liu, L., Zhu, L. Y., Dai, Z. B., Fernández Lajús, E. ve Baume, G. L. (2012). A circumbinary planet in orbit around the short-period white dwarf eclipsing binary RR Cae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 422(1), L24–L27. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-3933.2012.01228.x>
- Qian, S. B., Zhu, L. Y., Dai, Z. B., Fernández-Lajús, E., Xiang, F. Y. ve He, J. J. (2012). Circumbinary planets orbiting the rapidly pulsating subdwarf b-type binary NY Vir. *The Astrophysical Journal*, 745(2), L23. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/745/2/L23>
- Quintana, E. V., Adams, F. C., Lissauer, J. J. ve Chambers, J. E. (2007). Terrestrial planet formation around individual stars within binary star systems. *The Astrophysical Journal*, 660(1), 807–822. doi: <https://doi.org/10.1086/512542>
- Rabl, G. ve Dvorak, R. (1988). Satellite-type planetary orbits in double stars: a numerical approach. *The Astronomy and Astrophysics*, 191, 385–391. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1988A%26A...191..385R/abstract>
- Rafikov, R. R. (2013). Planet formation in small separation binaries: Not so secularly excited by the companion. *The Astrophysical Journal*, 765(1), L8. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/765/1/L8>
- Rafikov, R. R. (2013). Building tatoonie: Suppression of the direct secular excitation in kepler circumbinary planet formation. *The Astrophysical Journal*, 764(1), L16. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/764/1/L16>

- Ricker, G. R., Winn, J. N., Vanderspek, R., Latham, D. W., Bakos, G. Á., Bean, J. L., Bert-Thompson, Z. K., Brown, T. M., Buchhave, L., Butler, N. R., Butler, R. P., Chaplin, W. J., Charbonneau, D., Christensen-Dalsgaard, J., Clampin, M., Deming, D., Doty, J., De Lee, N., Dressing, C., Dunham, E. W., Endl, M., Fressin, F., Ge, J., Henning, T., Holman, M. J., Howard, A. W., Ida, S., Jenkins, J. M., Jernigan, G., Johnson, J. A., Kaltenegger, L., Kawai, N., Kjeldsen, H., Laughlin, G., Levine, A. M., Lin, D., Lissauer, J. J., MacQueen, P., Marcy, G., McCullough, P. R., Morton, T. D., Narita, N., Paegert, M., Palle, E., Pepe, F., Pepper, J., Quirrenbach, A., Rinehart, S. A., Sasselov, D., Sato, B., Seager, S., Sozzetti, A., Stassun, K. G., Sullivan, P., Szentgyorgyi, A., Torres, G., Udry, S. ve Villaseñor, J. (2015). Transiting Exoplanet Survey Satellite. *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1(1), 014003. doi: <https://doi.org/10.1117/1.JATIS.1.1.014003>
- Ruciński, S. (1969). The proximity effects in close binary systems. II. The bolometric reflection effect for stars with deep convective envelopes. *Acta Astronomica*, 19, 245–255.
- Sahlmann, J., Ségransan, D., Queloz, D., Udry, S., Santos, N. C., Marmier, M., Mayor, M., Naef, D., Pepe, F. ve Zucker, S. (2011). Search for brown-dwarf companions of stars. *Astronomy & Astrophysics*, 525, A95. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201015427>
- Saumon, D. ve Marley, M. S. (2008). The evolution of L and T Dwarfs in color-magnitude diagrams. *The Astrophysical Journal*, 689(2), 1327–1344. doi: <https://doi.org/10.1086/592734>
- Schlichting, H. E. (2014). Formation of close in super-earths and Mini-Neptunes: required disk masses and their implications. *The Astrophysical Journal*, 795(1), L15. doi: <https://doi.org/10.1088/2041-8205/795/1/L15>
- Schmidt O. J. (1945). Book reviews: A meteoric theory of the origin of the Earth and planets. *Popular Astronomy*, 53, 358. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1945PA.....53..358S/abstract>
- Schwamb, M. E., Orosz, J. A., Carter, J. A., Welsh, W. F., Fischer, D. A., Torres, G., Howard, A. W., Crepp, J. R., Keel, W. C., Lintott, C. J., Kaib, N. A., Terrell, D., Gagliano, R., Jek, K. J., Parrish, M., Smith, A. M., Lynn, S., Simpson, R. J., Giguere, M. J. ve Schawinski, K. (2013). Planet hunters: A transiting circumbinary planet in a

- quadruple star system. *The Astrophysical Journal*, 768(2), 127. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/768/2/127>
- Schwamb, M. E., Orosz, J. A., Carter, J. A., Welsh, W. F., Fischer, D. A., Torres, G., Howard, A. W., Crepp, J. R., Keel, W. C., Lintott, C. J., Kaib, N. A., Terrell, D., Gagliano, R., Jek, K. J., Parrish, M., Smith, A. M., Lynn, S., Simpson, R. J., Giguere, M. J. ve Schawinski, K. (2013). Planet Hunters: A transiting circumbinary planet in a quadruple star system. *The Astrophysical Journal*, 768(2), 127. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/768/2/127>
- Schwope, A. D., Hambaryan, V., Schwarz, R., Kanbach, G. ve Gänsicke, B. T. (2002). A multiwavelength timing analysis of the eclipsing polar DP Leo. *Astronomy and Astrophysics*. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20011651>
- Sigurdsson, S., Richer, H. B., Hansen, B. M., Stairs, I. H. ve Thorsett, S. E. (2003). A young white dwarf companion to pulsar B1620-26: Evidence for early planet formation. *Science*, 301(5630), 193–196. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1086326>
- Skilling, J. (2004). Nested Sampling. *AIP Conference Proceedings*, 735, 395–405. doi: <https://doi.org/10.1063/1.1835238>
- Skilling, J. (2006). Nested sampling for general Bayesian computation. *Bayesian Analysis*, 1(4), 833–859. doi: <https://doi.org/10.1214/06-BA127>
- Slawson, R. W., Prša, A., Welsh, W. F., Orosz, J. A., Rucker, M., Batalha, N., Doyle, L. R., Engle, S. G., Conroy, K., Coughlin, J., Gregg, T. A., Fetherolf, T., Short, D. R., Windmiller, G., Fabrycky, D. C., Howell, S. B., Jenkins, J. M., Uddin, K., Mullally, F., Seader, S. E., Thompson, S. E., Sanderfer, D. T., Borucki, W. ve Koch, D. (2011). Kepler eclipsing binary stars. II. 2165 eclipsing binaries in the second data release. *The Astronomical Journal*, 142(5), 160. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/142/5/160>
- Socia, Q. J., Welsh, W. F., Orosz, J. A., Cochran, W. D., Endl, M., Quarles, B., Short, D. R., Torres, G., Windmiller, G. ve Yenawine, M. (2020). Kepler-1661 b: A Neptune-sized Kepler transiting circumbinary planet around a grazing eclipsing binary. *The Astronomical Journal*, 159(3), 94. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab665b>



- Soderjhelm, S. (1975). The three-body problem and eclipsing binaries. Application to Algol and lambda Tauri. *The Astronomy and Astrophysics*, 42, 229–236. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1975A%26A....42..229S/abstract>
- Soderjhelm, S. (1982). Studies of the stellar three-body problem. *The Astronomy and Astrophysics*, 107(1), 54–60. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1982A%26A...107...54S/abstract>
- Song, S., Mai, X., Mutel, R. L., Pulley, D., Faillace, G. ve Watkins, A. (2019). An updated model for circumbinary planets orbiting the sdB binary NY Virginis. *The Astronomical Journal*, 157(5), 184. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab1139>
- Southworth, J. (2013). The solar-type eclipsing binary system LL Aquarii. *Astronomy & Astrophysics*, 557, A119. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201322195>
- Speagle, J. S. (2020). DYNESTY: a dynamic nested sampling package for estimating Bayesian posteriors and evidences. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 493(3), 3132–3158. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/staa278>
- Stassun, K. G., Oelkers, R. J., Paegert, M., Torres, G., Pepper, J., Lee, N. De, Collins, K., Latham, D. W., Muirhead, P. S., Chittidi, J., Rojas-Ayala, B., Fleming, S. W., Rose, M. E., Tenenbaum, P., Ting, E. B., Kane, S. R., Barclay, T., Bean, J. L., Brassuer, C. E., Charbonneau, D., Ge, J., Lissauer, J. J., Mann, A. W., McLean, B., Mullally, S., Narita, N., Plavchan, P., Ricker, G. R., Sasselov, D., Seager, S., Sharma, S., Shiao, B., Sozzetti, A., Stello, D., Vanderspek, R., Wallace, G. ve Winn, J. N. (2019). The revised TESS input catalog and candidate target list. *The Astronomical Journal*, 158(4), 138. doi: <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab3467>
- Stern, S. A. ve Levison, H. F. (2002). Regarding the criteria for planethood and proposed planetary classification schemes. *Highlights of Astronomy*, 12, 205–213. doi: <https://doi.org/10.1017/S1539299600013289>
- Stevenson, K. B. (2016). Quantifying and predicting the presence of clouds in exoplanet atmospheres. *The Astrophysical Journal*, 817(2), L16. doi: <https://doi.org/10.3847/2041-8205/817/2/L16>
- Stökl, A., Dorfi, E. A., Johnstone, C. P. ve Lammer, H. (2016). Dynamical accretion of primordial atmospheres around planets with masses between 0.1 and 5  $M_{\oplus}$  in the

- habitable zone. *The Astrophysical Journal*, 825(2), 86. doi: <https://doi.org/10.3847/0004-637X/825/2/86>
- Sumi, T., Kamiya, K., Bennett, D. P., Bond, I. A., Abe, F., Botzler, C. S., Fukui, A., Furusawa, K., Hearnshaw, J. B., Itow, Y., Kilmartin, P. M., Korpela, A., Lin, W., Ling, C. H., Masuda, K., Matsubara, Y., Miyake, N., Motomura, M., Muraki, Y., Nagaya, M., Nakamura, S., Ohnishi, K., Okumura, T., Perrott, Y. C., Rattenbury, N., Saito, To., Sako, T., Sullivan, D. J., Sweatman, W. L., Tristram, P. J., Udalski, A., Szymański, M. K., Kubiak, M., Pietrzyński, G., Poleski, R., Soszyński, I., Wyrzykowski, Ł., Ulaczyk, K. ve Microlensing Observations in Astrophysics (MOA) Collaboration (2011). Unbound or distant planetary mass population detected by gravitational microlensing. *Nature*, 473(7347), 349–352. doi: <https://doi.org/10.1038/nature10092>
- Sybilski, P., Konacki, M. ve Kozłowski, S. K. (2010). Detecting circumbinary planets using eclipse timing of binary stars - from simulations to observations. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 41, 838. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010AAS...21642503S/abstract>
- Thebault, P. (2011). Against all odds? Forming the planet of the HD 196885 binary. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 111(1–2), 29–49. doi: <https://doi.org/10.1007/s10569-011-9346-2>
- Thorsett, S. E., Arzoumanian, Z. ve Taylor, J. H. (1993). PSR B1620-26 - A binary radio pulsar with a planetary companion? *The Astrophysical Journal*, 412, L33. doi: <https://doi.org/10.1086/186933>
- Tokovinin, A. (2014a). From binaries to multiples. I. Data on F and G dwarfs within 67 pc of The Sun. *The Astronomical Journal*, 147(4), 86. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/147/4/86>
- Tokovinin, A. (2014b). From binaries to multiples. II. hierarchical multiplicity of f and g dwarfs. *The Astronomical Journal*, 147(4), 87. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/147/4/87>
- Tran, K., Levine, A., Rappaport, S., Borkovits, T., Csizmadia, S. ve Kalomeni, B. (2013). The anticorrelated nature of the primary and secondary eclipse timing variations for the Kepler contact binaries. *The Astrophysical Journal*, 774(1), 81. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/774/1/81>

- Tyson, J. A. (2002). Large Synoptic Survey Telescope: Overview. In J. A. Tyson & S. Wolff (Eds.), *Survey and Other Telescope Technologies and Discoveries* (p. 10). doi: <https://doi.org/10.1117/12.456772>
- Udry, S. (2010, Ekim). *Detection and characterization of exoplanets: from gaseous giants to super-Earths*. Direct Detection of Exoplanets and Circumstellar Disks. October 25 - 29, 2010. University of Paris Diderot, Paris, France. Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010lyot.confE..11U/abstract>
- Van Hamme, W. ve Wilson, R. E. (2007). Third-body parametres from whole light and velocity curves. *The Astrophysical Journal*, 661(2), 1129–1151. doi: <https://doi.org/10.1086/517870>
- Völschow, M., Schleicher, D. R. G., Perdelwitz, V. ve Banerjee, R. (2016). Eclipsing time variations in close binary systems: Planetary hypothesis vs. Applegate mechanism. *Astronomy & Astrophysics*, 587, A34. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201527333>
- Vučković, M., Aerts, C., Østensen, R., Nelemans, G., Hu, H., Jeffery, C. S., Dhillon, V. S. ve Marsh, T. R. (2007). The binary properties of the pulsating subdwarf B eclipsing binary PG 1336-018 (NY Virginis). *Astronomy & Astrophysics*, 471(2), 605–615. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20077179>
- Walker, G., Matthews, J., Kuschnig, R., Johnson, R., Rucinski, S., Pazder, J., Burley, G., Walker, A., Skaret, K., Zee, R., Grocott, S., Carroll, K., Sinclair, P., Sturgeon, D. ve Harron, J. (2003). The MOST Asteroseismology Mission: Ultraprecise Photometry from Space. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 115(811), 1023–1035. doi: <https://doi.org/10.1086/377358>
- Wenger, M., Ochsenbein, F., Egret, D., Dubois, P., Bonnarel, F., Borde, S., Genova, F., Jasiewicz, G., Laloë, S., Lesteven, S. ve Monier, R. (2000). The SIMBAD astronomical database. The CDS reference database for astronomical objects. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 143(1), 9–22. doi: <https://doi.org/10.1051/aas:2000332>
- Weidenschilling, S. J. (1977). Aerodynamics of solid bodies in the solar nebula. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 180(2), 57–70. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/180.2.57>

- Welsh, B. (2014, Eylül). *Two new kepler circumbinary planets*. Towards other earths II-The star-planet connection, Centro de Astrofísica, Porto, Portugal. Erişim adresi: <https://www.astro.up.pt/investigacao/conferencias/toe2014/files/wwelsh.pdf>
- Welsh, W. F., Orosz, J. A., Carter, J. A., Fabrycky, D. C., Ford, E. B., Lissauer, J. J., Prša, A., Quinn, S. N., Ragozzine, D., Short, D. R., Torres, G., Winn, J. N., Doyle, L. R., Barclay, T., Batalha, N., Bloemen, S., Brugamyer, E., Buchhave, L. A., Caldwell, C., Caldwell, D. A. Christiansen, J. L., Ciardi, D. R., Cochran, W. D., Endl, M., Fortney, J. J., Gautier, T. N. III, Gilliland, R. L., Haas, M. R., Hall, J. R., Holman, M. J., Howard, A. W., Howell, S. B., Isaacson, H., Jenkins, J. M., Klaus, T. C., Latham, D. W., Li, J., Marcy, G. W., Mazeh, T., Quintana, E. V., Robertson, P., Shporer, A., Steffen, J. H., Windmiller, G., Koch, D. G. ve Borucki, W. J. (2012). Transiting circumbinary planets Kepler-34 b and Kepler-35 b. *Nature*, *481*(7382), 475–479. doi: <https://doi.org/10.1038/nature10768>
- Welsh, W. F., Orosz, J. A., Short, D. R., Cochran, W. D., Endl, M., Brugamyer, E., Haghhighipour, N., Buchhave, L. A., Doyle, L. R., Fabrycky, D. C., Hinse, T. C., Kane, S. R., Kostov, V., Mazeh, T., Mills, S. M., Müller, T. W. A., Quarles, B., Quinn, S. N., Ragozzine, D., Shporer, A., Steffen, J. H., Tal-Or, L., Torres, G., Windmiller, G. ve Borucki, W. J. (2015). Kepler 453 b-The 10th Kepler transiting circumbinary planet. *The Astrophysical Journal*, *809*(1), 26. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/809/1/26>
- Whitmire, D. P., Matese, J. J., Criswell, L. ve Mikkola, S. (1998). Habitable planet formation in binary star systems. *Icarus*, *132*(1), 196–203. doi: <https://doi.org/10.1006/icar.1998.5900>
- Williams, P. R. Woźniak, S. J., Vestrand, W. T. ve Gupta, V. (2004). Identifying red variables in the Northern Sky Variability Survey. *The Astronomical Journal*, *128*(6), 2965–2976. doi: <https://doi.org/10.1086/425526>
- Williams, S. ve Woolfson, M. M. (1983). Planetary spin and satellite formation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *204*(3), 853–863. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/204.3.853>
- Wils, P., di Scala, G., Otero, S. A. (2007). NSVS 14256825: A new HW Vir type system. *Information Bulletin on Variable Stars*, *5800*(1). Erişim adresi: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2007IBVS.5800....1W/abstract>

- Wilson, R. E. (1979). Eccentric orbit generalization and simultaneous solution of binary star light and velocity curves. *The Astrophysical Journal*, 234, 1054. doi: <https://doi.org/10.1086/157588>
- Wilson, R. E. (1990). Accuracy and efficiency in the binary star reflection effect. *The Astrophysical Journal*, 356, 613. doi: <https://doi.org/10.1086/168867>
- Wilson, R. E. (2008). Eclipsing binary solutions in physical units and direct distance estimation. *The Astrophysical Journal*, 672(1), 575–589. doi: <https://doi.org/10.1086/523634>
- Wilson, R. E. (2012). Spotted star light curves with enhanced precision. *The Astronomical Journal*, 144(3), 73. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/144/3/73>
- Wilson, R. E. ve Devinney, E. J. (1971). Realization of accurate close-binary light curves: Application to MR Cygni. *The Astrophysical Journal*, 166, 605. doi: <https://doi.org/10.1086/150986>
- Wilson, R. E. ve Van Hamme, W. (2013). Unification of binary star ephemeris solutions. *The Astrophysical Journal*, 780(2), 151. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/780/2/151>
- Wilson, R. E., Van Hamme, W. ve Terrell, D. (2010). Flux calibrations from nearby eclipsing binaries and single stars. *The Astrophysical Journal*, 723(2), 1469–1492. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-637X/723/2/1469>
- Wittenmyer, R. A., Horner, J. ve Marshall, J. P. (2013). On the dynamical stability of the proposed planetary system orbiting NSVS 14256825. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 431(3), 2150–2154. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stt299>
- Wolf, M., Kučáková, H., Hynek, T. ve Šmelcer, L. (2010). The triple system AO Monocerotis. *Astronomy and Astrophysics*, 514, A75. doi: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201014181>
- Wozniak, P. R., Vestrand, W. T., Akerlof, C. W., Balsano, R., Bloch, J., Casperson, D., Fletcher, S., Gisler, G., Kehoe, R., Kinemuchi, K., Lee, B. C., Marshall, S., McGowan, K. E., McKay, T. A., Rykoff, E. S., Smith, D. A., Szymanski, J. ve Wren, J. (2004). Northern Sky Variability Survey: Public data release. *The Astronomical Journal*, 127(4), 2436–2449. doi: <https://doi.org/10.1086/382719>

- Wood, J. H. ve Marsh, T. R. (1991). IUE spectra of the eclipsing binary NN Serpentis. *The Astrophysical Journal*, 381, 551. doi: <https://doi.org/10.1086/170679>
- Wood, J. H. ve Saffer, R. (1999). Spectroscopy of the post-common envelope binary HW Virginis. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 305(4), 820–828. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-8711.1999.02501.x>
- Woolfson, M. M. (1964). A capture theory of the origin of the Solar System. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 282(1391), 485–507. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.1964.0247>
- Woolfson, M. M. (2013). The capture theory and the inclinations of exoplanet orbits. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 436(2), 1492–1496. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stt1668>
- Woolfson, M. M. (2016). The proportion of stars with planets. *Earth, Moon, and Planets*, 117(2–3), 77–91. doi: <https://doi.org/10.1007/s11038-016-9482-5>
- Zasche, P., Wolf, M., Kučáková, H., Vraštil, J., Juryšek, J., Mašek, M. ve Jelínek, M. (2015). Ten Kepler eclipsing binaries containing the third components. *The Astronomical Journal*, 149(6), 197. doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/149/6/197>
- Zhu, L. Y., Qian, S. B., Lajús, E. F., Wang, Z. H. ve Li, L. J. (2019). A close-in substellar object orbiting the sdOB-type eclipsing-binary system NSVS 14256825. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 19(9), 134. doi: <https://doi.org/10.1088/1674-4527/19/9/134>
- Zola, S. (2000). Reflection effect in PG 1336-018. *Open Astronomy*, 9(2). doi: <https://doi.org/10.1515/astro-2000-0203>



**EKLERİ**

Ek Tablo 1. Barınak yıldızların genel özellikleri

Sistem	Tür	Tayf türü	$T_0$ (BJD)	$P$ (gün)	Parlaklık ( $m$ )	Ref.
2MASS J19383260+4603591	PCEB	sdB + dM	54953,643178	0,1257653	12,264	1
2MASS J02495639-0557352	–	M6	–	5,4 <sup>a</sup>	11,885 <sup>b</sup>	2
DE CVn	PCEB	dA + M3V	52784,554043	0,3641393	12,956	3
DP Leo	PCEB	dA + M5V	54914,832292	0,0623629	18,684	4
FW Tau	T-Tau	M4 + L1.5	–	–	9,390 <sup>b</sup>	5
HD 106906	–	F5V + F5V	–	–	8,110	6
HD 202206	–	G6V + M	52176,140000	256,33	8,080	7
HIP 79098	–	B9V	–	–	5,860	8
HU Aqr	Polar	D + M4.5V	53504,888500	0,0868204	16,183	9
HW Vir	PCEB	sdB + dM	45730,556000	0,1167195	10,500	10
Kepler-16	EA	K7V	54965,657634	41,0775867	11,762	1
Kepler-34	EA	G	54979,723069	27,7958079	14,875	1
Kepler-35	EA	G	54965,845830	20,7337490	15,726	1
Kepler-38	EA	G4V	54971,667903	18,7952663	13,941	1
Kepler-47	EA	G	54970,693646	7,4483776	15,178	1
Kepler-413	EA	dK + dM	54972,981520	10,1161484	15,520	1
Kepler-453	EA	–	54965,424466	27,3220462	13,552	1
Kepler-1647	EA	F8	54956,478952	11,2588244	13,545	1
Kepler-1661	EA	–	54976,717044	28,1625998	14,216	1
KIC 2576692	EA	–	55027,103323	87,8782329	12,744	1
KIC 3338660	EA	–	55002,252623	1,8733805	14,848	1
KIC 3440230	EA	–	54967,238413	2,8811010	13,363	1
KIC 3853259	ELV (EW)	–	54964,780871	0,2766478	13,922	1
KIC 3938073	EA	–	54960,840071	31,0243119	12,512	11
KIC 4079530	EA	–	54994,771374	17,7271000	15,556	1
KIC 4574310	EA	–	54954,661614	1,3062201	13,242	1
KIC 4937217	EW	–	54964,627168	0,4293417	15,402	1
KIC 5095269	EA	–	54966,865286	18,6119616	13,528	1
KIC 5621294	EA	–	54954,510518	0,9389049	13,825	1
KIC 7177553	EA	–	54954,545842	17,9964667	11,638	1



Ek Tablo 1'in devamı

Sistem	Tür	Tayf türü	$T_0$ (BJD)	$P$ (gün)	Parlaklık ( $m$ )	Ref.
KIC 7339345	EW	–	54964,777196	0,2596643	15,674	1
KIC 7821010	EA	–	54969,615845	24,2382426	10,816	1
KIC 8081389	EA	–	54965,004201	1,4894405	13,990	1
KIC 8610483	EA	–	54993,195479	48,7993681	15,050	1
KIC 9028474	EA	–	55010,672516	124,9365790	12,338	1
KIC 9091810	EB	–	54953,601177	0,4797214	12,755	1
KIC 9159301	EA	–	54956,302809	3,0447704	12,146	1
KIC 9592145	EB	–	54965,015451	0,4888674	14,010	1
KIC 9641031	EA	F8V + G8V	54954,132713	2,1781543	9,177	1
KIC 10848807	EW	–	54999,987599	0,3462467	15,788	1
KIC 10916675	EW	–	54953,700252	0,4188679	13,377	1
MXB 1658-298	X-Işın	–	43058,725950	0,2965045	18,300	12
NN Ser	PCEB	DAO1 + M4.75	47344,524617	0,1300801	16,943	13
NSVS 14256825	PCEB	–	54274,208800	0,1103741	13,296	14
NY Vir	PCEB	–	53174,442650	0,1010160	13,496	15, 16
OGLE-2007-BLG-349L	–	M9	–	9,7	24,730	17
OGLE-2016-BLG-0613L	–	M9	–	–	22,000 <sup>c</sup>	18
OGLE-2018-BLG-1700L	–	M9	–	–	22,000 <sup>c</sup>	19
PH1	EA	F	54967,819337	20,0002491	13,718	1
PSR B1620-26	Atarca	Atarca + dB	–	191	24,000	20, 47
QS Vir	Patlayan	–	48689,139950	0,1507575	14,400	21
Ross 458	Patlayan	M2V + M7V	–	–	9,760	22
ROXs 42	T-Tau	dMO	–	–	14,661	23
RR Cae	PCEB	DAZ8 + M4V	51523,048560	0,3037036	14,379	24
SR 12	–	K4-M2.5	–	–	13,355	25
TOI-1338	EA	M	58522,824500	14,6085610	11,722	26
UZ For	PCEB	M4.5	45567,177545	0,0886547	16,775	27
VHS J125601.92-125723.9	–	M7.5 + L7	–	4,7 <sup>a</sup>	17,730	28

Not. Referanslar Ek Tablo 3'ün dipnotunda verilmiştir. "1" numaralı referansla verilen parlaklık değerleri KIC kataloğundan, özel durumu belirtilmeyenler ise  $V$  süzgeci parlaklığı olup ve SIMBAD veritabanından (Wenger ve diğerleri, 2000) alınmıştır.

*a.* Yıl biriminde, *b.*  $J$  süzgeci parlaklığı, *c.* ExoKyoto (<http://www.exoplanetkyoto.org/?lang=en>)

Ek Tablo 2. Barınak yıldızların yörünge ve temel parametreleri

Sistem	$T_1$ (K)	$T_2$ (K)	$M_1$ ( $M_{\odot}$ )	$M_2$ ( $M_{\odot}$ )	$q$	$a$ (AB)	$e$	$i$ ( $^{\circ}$ )	$d$ (pc)	Ref.
2MASS J19383260+4603591	10645 <sup>a</sup>	–	0,480	0,120	0,250	0,004	~0	69,45	410	29
2MASS J02495639-0557352	–	–	0,046	0,042	0,913	1,800	>0,200	–	66	2
DE CVn	8000 <sup>a</sup>	–	0,510	0,410	0,804	0,010	–	–	31	3
DP Leo	13500 <sup>a</sup>	–	0,600	0,090	0,150	–	–	79,50	318	4
FW Tau	3270 <sup>a</sup>	–	0,280	0,280	1,000	11,000	–	–	145 <sup>h</sup>	5
HD 106906	6516 <sup>a</sup>	–	1,340	1,370	1,022	–	–	–	102	6
HD 202206	5739 <sup>a</sup>	–	1,070	0,089	0,083	0,83	0,432	10,90	46	7
HIP 79098	12647 <sup>a</sup>	–	2,5–5,0 <sup>b</sup>	–	–	–	–	–	154	8
HU Aqr	5952 <sup>a</sup>	–	0,880	0,200	0,250	0,004	–	–	191	9
HW Vir	28488 <sup>c</sup>	3231	0,401	0,127	0,913	0,004	0	80,48	173	B.Ç.
Kepler-16	4013	3984	0,690	0,203	0,804	0,224	0,159	90,34	75	30
Kepler-34	5937	5943	1,048	1,021	0,150	0,229	0,521	89,86	1809	31
Kepler-35	5902	4913	0,888	0,809	1,000	0,176	0,140	90,42	1905	31
Kepler-38	5834	3539	0,949	0,249	1,022	0,147	0,103	89,27	1170	32
Kepler-47	5636	3357	0,957	0,342	0,083	0,081	0,029	89,61	1048	33
Kepler-413	4700	3463	0,820	0,542	0,250	0,099	0,037	87,33	837	34
Kepler-453	5527	3226	0,944	0,195	0,913	0,185	0,052	90,27	444	35
Kepler-1647	6210	5813	1,221	0,968	0,804	0,128	0,160	87,92	1214	36
Kepler-1661	5100	3585	0,840	0,260	0,150	0,187	0,112	88,76	409	37
KIC 2576692	5784	5643	1,300 <sup>d</sup>	–	–	0,419	0,150	88,00	784	38
KIC 3338660	6100	3921	1,197	0,876	0,732	0,038	0	72,96	2530	B.Ç.
KIC 3440230	10298	5240	1,692	0,400	0,236	0,051	0	80,74	2436	B.Ç.
KIC 3853259	4861	4858	2,000 <sup>d</sup>	–	–	0,010	–	–	455	38
KIC 3938073	6130	4576	1,980	0,970	0,490	0,277	0,433	–	701	11
KIC 4079530	6268	5032	1,500 <sup>d</sup>	–	–	0,153	0,299	88,00	1400	38
KIC 4574310	7153	4820	1,464	0,320	0,219	0,028	0	79,65	1040	B.Ç.
KIC 4937217	6796	6646	2,000 <sup>d</sup>	–	–	0,014	0	–	2568	38
KIC 5095269	6794	3763	1,210	0,510	0,421	0,165	0,246	80,00	1188	39
KIC 5621294	8425	4191	2,660	0,676	0,254	0,028	0	75,67	2216	B.Ç.
KIC 7177553	5800 <sup>e</sup>	5803	1,005	0,972	0,967	0,169	0,393	87,86	261	B.Ç.
KIC 7339345	5236	5248	0,919	0,421	0,458	0,009	0	74,58	1090	B.Ç.

Ek Tablo 2'nin devamı

Sistem	$T_1$ (K)	$T_2$ (K)	$M_1$ ( $M_{\odot}$ )	$M_2$ ( $M_{\odot}$ )	$q$	$a$ (AB)	$e$	$i$ ( $^{\circ}$ )	$d$ (pc)	Ref.
KIC 7821010	6720 <sup>f</sup>	6593	1,321	1,204	0,911	0,223	0,670	89,56	367	B.Ç.
KIC 8081389	6639	4611	1,499	0,201	0,134	0,030	0	79,73	1367	B.Ç.
KIC 8610483	6345	6323	0,961	0,977	1,017	0,326	0,494	88,86	2523	B.Ç.
KIC 9028474	5724	5709	2,300 <sup>d</sup>	–	–	0,646	0,806	88,00	629	38
KIC 9091810	5781	3531	2,000 <sup>d</sup>	–	–	0,015	0	–	460	38
KIC 9159301	7959	4362	1,718	0,438	0,255	0,053	0	77,67	1333	B.Ç.
KIC 9592145	6658	3696	1,504	0,280	0,186	0,015	0	69,84	1413	B.Ç.
KIC 9641031	6264	5490	1,210	0,951	0,786	0,042	0	87,13	134	40
KIC 10848807	5681	5706	1,017	0,292	0,287	0,011	0	78,05	2076	B.Ç.
KIC 10916675	6784	6649	1,563	0,774	0,495	0,015	0	55,37	1217	B.Ç.
MXB 1658-298	–	–	1,400	0,25–0,90 <sup>b</sup>	–	0,011	–	–	–	12
NN Ser	57000	~3366	0,535	0,111	0,207	0,004	–	89,60	514	13
NSVS 14256825	42000 <sup>g</sup>	3077	0,351	0,095	0,271	0,003	0	82,18	730	B.Ç.
NY Vir	31300	3000	0,466	0,122	0,262	0,004	–	80,67	552	15, 41
OGLE-2007-BLG-349L	–	–	0,410	0,300	0,732	0,080	~0,100	–	2760 <sup>h</sup>	17
OGLE-2016-BLG-0613L	–	–	~0,745	~0,324	~0,435	–	–	–	3410 <sup>h</sup>	18
OGLE-2018-BLG-1700L	–	–	0,420	0,120	0,286	–	–	–	7600 <sup>h</sup>	19
PH1	6705	4626	1,528	0,408	0,267	0,180	0,218	87,58	1906	42
PSR B1620-26	–	–	1,350	0,340	0,252	~0,300	0,025	55,00	3780 <sup>h</sup>	20
QS Vir	14200	3200	0,783	0,383	0,489	0,006	–	77,90	50	43
Ross 458	3646 <sup>a</sup>	–	0,600	0,075	0,125	–	–	–	12	22
ROXs 42	3433 <sup>a</sup>	–	0,890	0,360	0,404	–	–	–	146	23
RR Cae	7540	–	0,440	0,182	0,414	0,008	~0	–	21	24
SR 12	5150	2500	0,300	–	–	~26	–	–	125 <sup>h</sup>	25
TOI-1338	6050	5990	1,038	0,297	0,286	0,129	0,156	89,66	404	26
UZ For	5287 <sup>a</sup>	–	0,700	0,140	0,200	0,004	–	80,00	239	27
VHS J125601.92-125723.9	2620 <sup>a</sup>	–	0,073	–	–	1,173	~0,840	–	21	28

Not. Referanslar Ek Tablo 3'ün dipnotunda verilmiştir. Sistemlerin uzaklıkları, bu çalışmada (B.Ç) ışık eğrisi analizi yapılan ve özel durumu belirtilen sistemlerin haricinde GAIA verilerinden hesaplanmıştır. *a.* TIC-8'den, *Kepler* (“Kepler” ve “KIC”) sistemlerinin  $T_1$  ve  $T_2$  sıcaklıkları Armstrong ve diğerleri'den (2014) alınmıştır. *b.* Aralık değer, *c.* Lee ve diğerleri (2009), *d.* Bileşenlerin toplam kütlesi ( $M_{12}$ ), *e.* Lehmann ve diğerleri (2016), *f.* Helminiak ve diğerleri (2019), *g.* Almeida ve diğerleri (2012), *h.* ExoKyoto (<http://www.exoplanetkyoto.org/?lang=en>)

Ek Tablo 3. Olası gezegenlerin yörünge ve temel parametreleri

Gezegen	$P$ (gün)	$M_3$ ( $M_j$ )	$a$ (AB)	$e$	$i$ ( $^\circ$ )	Yöntem	Ref.
2MASS J19383260+4603591 b	416	1,90	0,920	–	–	ETV	29
2MASS J02495639-0557352 b	–	11,60	1618	–	–	IMA	2
DE CVn b	4098	12,03	5,750	0	86	ETV	3
DP Leo b	9398	6,30	7,724	0	90	ETV	B.Ç.
FW Tau b	–	10,00		–	–	IMA	5
HD 106906 b	–	12,30	650	–	–	IMA	6
HD 202206 c	1260	17,90	2,410	0,220	7,70	RV	44
HIP 79098 AB b		20,50	345			IMA	8
HU Aqr AB b	2390	5,90	3,600	0	90	ETV	9
HU Aqr AB c	4368	4,50	5,400	0,510	90	ETV	9
HW Vir b	5786	19,23	5,300	0,460	–	ETV	10
HW Vir c	3316	8,47	3,620	0,310	–	ETV	10
Kepler-16 b	228,78	0,33	0,705	0,007	90,03	T	30
Kepler-34 b	288,82	0,22	1,090	0,182	90,36	T	31
Kepler-35 b	131,46	0,13	0,603	0,042	90,76	T	31
Kepler-38 b	105,60	<0,38	0,463	<0,032	89,44	T	32
Kepler-47 b	49,46	0,01	0,288	0,021	89,75	T	33
Kepler-47 c	303,23	0,01	0,964	0,044	90,19	T	33
Kepler-47 d	187,37	0,06	0,699	0,024	90,40	T	33
Kepler-413 b	66,26	0,21	0,355	0,118	89,93	T	34
Kepler-453 b	240,50	0,0002	0,790	0,036	89,44	T	35
Kepler-1647 b	1107,59	1,52	2,721	0,058	90,10	T	36
Kepler-1661 b	175,06	0,05	0,633	0,057	89,46	T	37
KIC 2576692 b	2884	41,89	4,353	0,560	102	ETV	38
KIC 3338660 b	793	41,93	2,148	0,610	90	ETV	B.Ç.
KIC 3440230 b	1096	67,32	2,689	0,660	90	ETV	B.Ç.
KIC 3853259 b	325,70	10,47	1,167	0,600	90	ETV	38
KIC 3938073 b	269,60	0,145	1,171	0,070	71	–	11
KIC 4079530 b	144	41,89	0,623	0,060	88	ETV	38
KIC 4574310 b	771	29,18	2,007	0,510	90	ETV	B.Ç.
KIC 4937217 b	2468	52,37	4,503	0,490	90	ETV	38
KIC 5095269 b	237,70	7,70	0,800	0,060	105,90	ETV	39
KIC 5621294 b	1140	38,41	3,204	0,240	90	ETV	B.Ç.
KIC 7177553 b	525	4,42	1,599	0,344	80,95	ETV	B.Ç.
KIC 7339345 b	873	56,41	1,997	0,460	90	ETV	B.Ç.
KIC 7821010 b	992	2,05	2,650	0,384	105,40	ETV	B.Ç.
KIC 8081389 b	1392	40,60	2,931	0,260	90	ETV	B.Ç.
KIC 8610483 b	382	0,16	1,283	0,021	85,70	–	B.Ç.
KIC 9028474 b	3378	41,89	5,650	0,090	87	ETV	38
KIC 9091810 b	1298	62,84	2,934	0,250	90	ETV	38
KIC 9159301 b	1052	51,45	2,633	0,470	90	ETV	B.Ç.
KIC 9592145 b	745	33,93	1,963	0,060	90	ETV	B.Ç.
KIC 9641031 b	>2600	>4,0	>5,120	–	–	ETV	45
KIC 10848807 b	800	48,14	1,864	0,360	90	ETV	B.Ç.
KIC 10916675 b	1527	65,06	3,470	0,330	90	ETV	B.Ç.
MXB 1658-298 b	742	21,34	2,080	0,150	90	ETV	B.Ç.
NN Ser c	5574	7,33	5,350	0,080	–	ETV	46
NN Ser d	2884	2,30	3,430	0,190	–	ETV	46
NSVS 14256825 b	3313	13,25	3,354	0,130	–	ETV	B.Ç.
NY Vir b	3156	2,66	3,550	0,150	–	ETV	16

Ek Tablo 3'ün devamı

Gezegen	$P$ (gün)	$M_3$ ( $M_j$ )	$a$ (AB)	$e$	$i$ ( $^\circ$ )	Yöntem	Ref.
NY Vir c	8799	5,54	7,040	0,150	–	ETV	16
OGLE-2007-BLG-349L AB c	2557	0,25	2,590	–	–	ML	17
OGLE-2016-BLG-0613L AB b	–	3,05	3,990	–	–	ML	18
OGLE-2018-BLG-1700L AB b	–	4,40	2,800	–	–	ML	19
PH1 b	138,32	0,53	0,652	0,070	90,05	T	42
PSR B1620-26 b	795	2,50	23	–	–	PT	20
QS Vir b	5260	9,01	0,045	0,620	–	ETV	21
QS Vir c	6206	56,56	0,320	0,920	–	ETV	21
Ross 458 c	–	8,00	>1100	–	–	IMA	22
ROXs 42 B b	–	9	157	–	–	IMA	23
RR Cae b	4482	3,73	4,550	0	90	ETV	24
SR 12 AB c	–	13	1083	–	–	IMA	25
TOI-1338 b	95,14	0,10	0,449	0,093	89,22	T	26
UZ For b	5844	6,30	5,900	0,040	80,00	ETV	27
UZ For c	1918	7,70	2,800	0,050	80,00	ETV	27
VHS J125601,92-125723,9 b	3900 <sup>a</sup>	11,20	102	–	–	IMA	28

*Not.* ETV: tutulma zamanı değişimi, IMA: doğrudan görüntüleme, RV: dikine hız, T: transit geçiş, ML: mikromerçekleme ve PT: atarca zamanı değişimi tekniğini ifade etmektedir.

*a.* Yıl biriminde.

Referanslar: 1: Kirk ve diğerleri (2016), 2: Dupuy ve diğerleri (2018), 3: Han ve diğerleri (2018), 4: Qian ve diğerleri (2010), 5: Kraus ve diğerleri (2013), 6: Bailey ve diğerleri (2013), 7: Correia ve diğerleri (2005), 8: Janson ve diğerleri (2019), 9: Qian ve diğerleri (2011), 10: Beuermann ve diğerleri (2012a), 11: Welsh (2014), 12: Jain ve diğerleri (2017), 13: Beuermann ve diğerleri (2013), 14: Zhu ve diğerleri (2019), 15: Qian ve diğerleri (2012a), 16: Song ve diğerleri (2019), 17: Bennet ve diğerleri (2016), 18: Han ve diğerleri (2017), 19: Han ve diğerleri (2020), 20: Sigurdsson ve diğerleri (2003), 21: Almeida ve Jablonski (2010), 22: Burgasser ve diğerleri (2010), 23: Currie ve diğerleri (2013), 24: Qian ve diğerleri (2012b), 25: Kuzuhara ve diğerleri (2011), 26: Kostov ve diğerleri (2020), 27: Potter ve diğerleri (2011), 28: Gauza ve diğerleri (2015), 29: Baran ve diğerleri (2015), 30: Doyle ve diğerleri (2011), 31: Welsh ve diğerleri (2012), 32: Orosz ve diğerleri (2012b), 33: Orosz ve diğerleri (2019), 34: Kostov ve diğerleri (2014), 35: Welsh ve diğerleri (2015), 36: Kostov ve diğerleri (2016), 37: Socia ve diğerleri (2020), 38: Borkovits ve diğerleri (2016), 39: Getley, Carter, King ve O'Toole (2017), 40: Helminiak ve diğerleri (2019), 41: Vuckovic ve diğerleri (2007), 42: Schwamb ve diğerleri (2013), 43: Latkovic ve diğerleri (2018), 44: Benedict ve Harrison (2017), 45: Kozyreva, Bogomazov, Demkov, Zotov ve Tutukov (2015), 46: Marsh ve diğerleri (2014)

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Çağlayan NEHİR  
Doğum Yeri :   
Doğum Tarihi :

### EĞİTİM DURUMU

Doktora Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, 2021  
Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, 2015  
Yüksek Lisans Öğrenimi : Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, 2014-2015.  
Lisans Öğrenimi : Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 2010  
Lisans Öğrenimi : Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, 2011  
Önlisans Öğrenimi : Atatürk Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Bilgisayar Programcılığı Programı, Devam ediyor  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

### BİLİMSEL FAALİYETLERİ

#### a) Yayınlar

##### 1) SCI

– Nehir, C., Bulut, I. (2020). New light curve analysis and period changes of the HW Vir-type binary system V1828 Aql. *New Astronomy*. (SCI-Yayın aşaması)

## 2) Diğer

- Nehir, Ç. Bulut, İ. (2020). KIC 7821010 Çift Yıldız Sisteminin Işık Eğrisi ve ETV Analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 629-636. doi: <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.633829>

## b) Bildiriler

### 1) Uluslararası

- Çağlayan Nehir, İbrahim Bulut. (2017). Orbital Period Variations of HW Virginis. Turkish Physical Society 33<sup>rd</sup> International Physics Congress (TPS33) – 02OP20. September 6-10, 2017. Bodrum, Turkey.
- Nehir, C., Bulut, I. (2019). Eclipse Timing Study of a Quadruple System: KIC 7177553. Book of Full Text Proceedings Turkish Physical Society 35<sup>th</sup> International Physics Congress (TPS35). TPS35, Vol.01, No.02, pp.134-138.
- Nehir, C., Bulut, I. (2019). A Study for KIC 5621294 and Its Component. Book of Full Text Proceedings Turkish Physical Society 35<sup>th</sup> International Physics Congress (TPS35). TPS35, 1 (02), 139-144.
- Nehir, C., Bulut, I. (2019). Eclipse Timing Variations of KIC 5095269. 9<sup>th</sup> International Workshop on Occultation and Eclipse Congress. 17th May, 2019.
- Nehir, C., Bulut, I. (2019). Eclipse Timing Variations of KIC 7821010. 9<sup>th</sup> International Workshop on Occultation and Eclipse Congress. 17th May, 2019.
- Nehir, C., Bulut, I. (2020). A Third Body with Earth Mass in Eclipsing Binary System KIC 8610483. Book of Full Text Proceedings Turkish Physical Society 36<sup>th</sup> International Physics Congress (TPS36) – 07OP5. September 1-5, 2020. Bodrum, Turkey.
- Nehir, C., Bulut, I. (2020). Orbital Period Changes of Semi-Detached Systems KIC 4574310 and KIC 9159301. Book of Full Text Proceedings Turkish Physical Society 36<sup>th</sup> International Physics Congress (TPS36). TSP36, Vol.02, pp. 115-119.

## c) Katıldığı Projeler

- TÜBİTAK Projesi (114F116) Tek Yıldız Dönüşüm Yolundaki Çift Yıldızlar - Contact Binaries, on the Way of Merging into Single Stars (2014-2017)
- TÜBİTAK Projesi (111T224) Çift Sistemlerde Açısal Momentum ve Yörünge Evrimi. - Angular Momentum and Orbital Evolution in Binary Systems (2014)

## **İŞ DENEYİMİ**

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: –

## **İLETİŞİM**

E-posta Adresi :

ORCID :

